

DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2025.331566>

УДК 502.62:(504.43.054+504.53.054):(477.41)

E-mail:

shpak_lena@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0002-7021-0842>
gavrilyuk.ruslan@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6465-9440>
ynegoda2008@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7708-0040>
lohvynenko.olha@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8193-4144>
olgagrigr88@ukr.net
<https://orcid.org/0009-0003-1307-4818>

Keywords: екоіндустріальний парк, підземні води, забруднення, нафтопродукти, моніторинг.

Ключові слова: eco-industrial park, groundwater, contamination, petroleum products, monitoring.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

КОНТРОЛЬ ВПЛИВУ ЕКОІНДУСТРІАЛЬНИХ ПАРКІВ НА ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ НА ПРИКЛАДІ СТВОРЕННЯ ЕКОІНДУСТРІАЛЬНОГО ПАРКУ «БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ ВАНТАЖНИЙ АВІАЦІЙНИЙ КОМПЛЕКС»

CONTROL OF THE IMPACT OF ECO-INDUSTRIAL PARKS ON THE WATER ENVIRONMENT: CASE STUDY OF BILA TSERKVA CARGO AVIATION COMPLEX ECO-INDUSTRIAL PARK

**О. М. Шпак, Р. Б. Гаврилюк, Ю. О. Негода, О. І. Логвиненко, О. Г. Нікіташ
Olena M. Shpak, Ruslan B. Havryliuk, Yuriy O. Negoda, Olha I. Lohvynenko, Olha G. Nikitash**

Розглянуто актуальну проблему контролю впливу екоіндустріальних парків на довкілля. В Україні, де існує значний рівень промислового забруднення, надмірного використання природних ресурсів та накопичення відходів, запровадження моделі екоіндустріального парку з метою поліпшення економічних, екологічних і соціальних показників та ефективності управління є дієвим прикладом екологізації промисловості. Моніторинг стану водного середовища в зоні впливу екоіндустріальних парків є важливим для збереження довкілля та забезпечення сталого розвитку країни. Метою роботи є обґрунтування системи контролю впливу екоіндустріального парку, що створюється на базі виробничих потужностей Білоцерківського вантажного авіаційного комплексу, на водне середовище для розв'язання проблеми нафтопродуктового забруднення у зв'язку з його поширенням у напрямку державного дендропарку «Олександрія». Забруднення геологічного середовища нафтопродуктами було виявлено на початку 1990-х років у період функціонування авіаремонтного заводу. Проведеним нами еколого-геологічним обстеженням встановлено, що процес поширення забруднення триває дотепер. Виявлено забруднення нафтопродуктами ґрунтового водоносного горизонту у підморенно-льодовикових відкладах і водоносного горизонту в тріщинуватій зоні кристалічних порід. Шар мобільних нафтопродуктів завтовшки до 0,34 м зафіксований у свердловинах, обладнаних на ґрунтовий водоносний горизонт, на західному схилі урочища Потерчате дендропарку «Олександрія». Концентрації розчинених вуглеводнів у поверхневих водах ставка становлять 0,36–1,33 мг/дм³. Реалізація запропонованого моніторингу дасть можливість прогнозувати поширення нафтопродуктів у підземних водах. Результати виконаних досліджень слугують основою для створення системи контролю впливу екоіндустріального парку «Білоцерківський вантажний авіаційний комплекс» на водне середовище та розроблення рекомендацій стосовно планування ремедіаційних заходів.

This paper describes the current problem of controlling the impact of eco-industrial parks on the environment. In Ukraine, where is a significant level of industrial pollution and waste accumulation, the implementation of an eco-industrial park model in order to improve economic, ecological and social indicators and management efficiency is an effective example of industrial greening. Monitoring the state of the water environment

Цитування: Шпак О. М., Гаврилюк Р. Б., Негода Ю. О., Логвиненко О. І., Нікіташ О. Г. Контроль впливу екоіндустріальних парків на водне середовище на прикладі створення екоіндустріального парку «Білоцерківський вантажний авіаційний комплекс». Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. 2025. Том 18. Вип. 1. С. 72–89. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2025.331566>.

Citation: Shpak O. M., Havryliuk R. B., Negoda Y. O., Lohvynenko O. I., Nikitash O. G., 2025. Control of the impact of eco-industrial parks on the water environment: case study of Bila Tserkva Cargo Aviation Complex eco-industrial park. Collection of Scientific Works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine. Vol. 18. Iss. 1, Pp. 72–89. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2025.331566>.

in eco-industrial parks is important to preserve the environment and provide sustainable development. The purpose of this study is to justify the system of controlling the impact of the eco-industrial park, which is being created on the basis of the production facilities of Bila Tserkva Cargo Aviation Complex, on the water environment in order to solve the problem of subsurface contamination with petroleum products in connection with its spreading towards Olexandria State Arboretum. Subsurface contamination with petroleum products was found in the early 1990s during the period of operation of the former aircraft repair plant. Environmental and geological survey conducted by us has revealed that contamination spreading continues until now. The aquifers of submarine-glacial sediments and fractured crystalline rocks are contaminated with petroleum products. A mobile petroleum product layer with a thickness up to 0.34 m is observed in wells on the western slope of the Poterchate pond of Olexandria Arboretum. Dissolved hydrocarbon concentrations in surface water of the pond are 0.36–1.33 mg/l. Realization of the proposed layout of a monitoring well network will provide to predict spreading of petroleum products in groundwater. This study serves as the basis for development of a control system for the negative impact of Bila Tserkva Cargo Aviation Complex eco-industrial park on the environment and recommendations for planning of remedial actions.

ВСТУП

У зв'язку зі складною екологічною ситуацією, що склалася на даний час, увагу наукової спільноти привертають питання підвищення якості життя людства, збереження довкілля та забезпечення сталого розвитку за рахунок розв'язання проблем, безпосередньо пов'язаних з нераціональним використанням ресурсів та мінімізацією рівня техногенного навантаження на довкілля. У цьому контексті актуальними стають дослідження на тему екоіндустріальних парків (ЕІП).

Особливості формування та розвитку ЕІП найбільш повно висвітлені в роботах (Екоіндустріальні ..., 2019; Implementation ..., 2017; Міжнародні ..., 2021). Слід зазначити, що дослідження стосувались переважно економіко-правових аспектів діяльності ЕІП, а також визначення їх ролі у забезпеченні сталого соціально-економічного розвитку країн (Мартінова, 2020; Dick van Beers et al., 2020; Melnychenko et al., 2022; Son et al., 2023). Обсяг досліджень, в яких розглянута екологічна складова функціонування ЕІП, зокрема, організація системи контролю якості підземних та поверхневих вод, незначний. Забруднення підземних вод нафтопродуктами має регулярний і складний характер, і на сьогодні бракує комплексної оцінки забруднення підземних вод, системи виявлення та управління забрудненням в ЕІП (Wu S. et al., 2023; Yang et al., 2024).

1 січня 2019 р. було розпочато реалізацію проєкту «Глобальна програма екоіндустріальних парків в Україні: впровадження на місцевому рівні (ГПЕІП – Україна)», ініціатором якої є Організація Об'єднаних Націй з промислового розвитку (UNIDO). Метою цієї програми є демонстрація переваг ЕІП, що виражаються у підвищенні продуктивності ресурсів, покращенні економічних, екологічних та соціальних показників підприємств і сприянні інклюзивному та сталому розвитку (Implementation ..., 2017). У 2020 р. комунальне підприємство (КП) Білоцерківської

міської ради «Білоцерківський вантажний авіаційний комплекс» (БВАК)) стало одним з трьох учасників ГПЕІП в Україні (Створення ..., 2019). Участь у ГПЕІП є перспективою для отримання нових можливостей розвитку КП БВАК на засадах існуючих виробничих потужностей авіагалузі та необхідної інфраструктури, з урахуванням вигідного географічного розміщення, логістичного сполучення і потужного економічного потенціалу для залучення інвестицій. Участь у ГПЕІП дає можливість скористатися досвідом провідних компаній і впровадити світові практики в сфері екологічності, енергоефективності та сталого розвитку, що сприятиме створенню перших в Україні ЕІП.

При перетворенні промислового майданчика БВАК, поряд з яким знаходяться важливі об'єкти екологічної мережі – державний дендрологічний парк «Олександрія» та річка Рось, у ЕІП потрібно враховувати необхідність розв'язання довготривалої екологічної проблеми, пов'язаної із забрудненням геологічного середовища нафтопродуктами. Значна увага має бути приділена моніторингу джерела нафтопродуктового забруднення у зв'язку з поширенням забруднення ґрунтових вод у напрямку дендропарку.

Метою дослідження є обґрунтування системи контролю впливу екоіндустріального парку «БВАК» на водне середовище для розв'язання проблеми нафтопродуктового забруднення території.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Основні положення про екоіндустріальні парки

Спочатку розглянемо основну відмінність поняття «екоіндустріальний парк» від поняття «індустріальний парк».

Під індустріальним парком (ІП) мається на увазі промислова ділянка, на якій розташовано декілька незалежних підприємств. Концепція сучасного ІП була винайдена в Англії у 1896 р. інвестором

та забудовником Ернестом Фарра Хули. На ділянці площею 12 га у передмісті Манчестера він створив ІП, де завдяки вигідному розміщенню та інфраструктурі розташувались численні англійські та міжнародні компанії, зокрема, філіал заводу Ford. У чинному законодавстві України ІП визначається як облаштована відповідною інфраструктурою територія, у межах якої учасники індустріального парку можуть здійснювати господарську діяльність (Кампо, 2024). ІП передбачають інтеграцію промисловості з комерцією, створення єдиної інфраструктури та мають відповідати вимогам сталості (Міжнародні ..., 2021).

Індустріальні парки ще в середині минулого століття зарекомендували себе потужним і дієвим інструментом економічного розвитку, що сприяло виведенню ряду європейських держав зі стану рецесії. Ефективність ІП, доведена на прикладі багатьох країн світу, спонукає все більше розвивати їх мережу і в наш час. На сьогодні існує близько 20 000 ІП, найбільше — у Китаї, США, Туреччині, Чехії. В Європі останні 15 років ІП активно розвиваються, зокрема і в сусідніх державах, близько 80 з них функціонують у Польщі (Грищенко, 2023). В Україні на сьогодні існує 70 парків, включених до Реєстру індустріальних (промислових) парків (Пилипів, 2023).

Незважаючи на те що ІП сприяють економічному зростанню та соціальному розвитку, їх діяльність може мати негативні наслідки. Зокрема, ІП спричиняють зміни клімату та забруднення, вичерпують природні ресурси, часто характеризуються незадовільними умовами роботи та негативним впливом на сусідні громади. Серйозними екологічними проблемами є погіршення якості води, неефективне управління відходами та стічними водами, викиди у повітря тощо. Дефіцит води стає дедалі більшим, створюючи можливу загрозу для розвитку ІП та водної безпеки в цілому. Подібним чином із зростанням виробництва та споживання збільшується кількість відходів, з якими потрібно поводитись належним чином.

Отже, свого часу «традиційні» ІП почали викликати у суспільній свідомості негативний образ через забруднення повітря, води і ґрунту, викиди відходів, аварійність та занепокоєння місцевих мешканців (Міжнародні ..., 2021; Wu J. et al., 2023).

У зв'язку з цим, у 1990-х роках у Сполучених Штатах Америки з'явилась нова концепція **ЕІП**, фундаментальною основою якої стала спрямованість на узгодження економічних показників

та екологічної стійкості (Міжнародні ..., 2021). Вперше ідея створення ЕІП була презентована на Конференції ООН з навколишнього середовища та розвитку (UNCED) у Ріо-де-Жанейро в 1992 р. і набула популярності в багатьох країнах за останні десятиліття. Кількість ЕІП поширюється в усьому світі як в економічно розвинутих країнах — США, Німеччина, Італія, Корея, Туреччина (Dolgen et al., 2020; Perrucci et al., 2022; Son et al., 2023), так і в країнах, що розвиваються — Індія, Китай, В'єтнам, Зімбабве, Нігерія та інших (Bilyaminu et al., 2024; Dick van Beers et al., 2020; Madanhire et al., 2018; Wu J. et al., 2023).

Міжнародною спільнотою ЕІП визначається як **«розташована на спільній території група підприємств, що працюють у сфері виробництва та послуг, співпрацюють між собою в сферах екології та управління ресурсами задля поліпшення економічних, екологічних та соціальних показників»** (Еко-індустріальні ..., 2019).

Концепція ЕІП походить від **промислового симбіозу**, за допомогою якого компанії можуть отримати конкурентну перевагу шляхом фізичного обміну матеріалами, енергією, водою та побічними продуктами, сприяючи у такий спосіб інклюзивному та сталому розвитку. Яскравим прикладом успіху промислового симбіозу є ЕІП Kalundborg, Данія (Brears, 2023). Концепція ЕІП схематично зображена на рис. 1.

Екоіндустріальні парки виходять за рамки традиційних індустріальних зон, використовуючи методи ресурсоефективного та більш чистого виробництва, сприяючи зменшенню обсягу відходів і переробці, мінімізуючи споживання енергії, води та ресурсів, а також заохочуючи використання відновлюваних джерел енергії. ЕІП створюють середовище, в якому промислові галузі можуть процвітати, мінімізуючи свій вуглецевий слід і екологічну деградацію та збалансовуючи соціальні аспекти.

Екологічними перевагами ЕІП є зменшення обсягів забруднення завдяки більш ефективному використанню ресурсів (сировини, води, енергії), скороченню кількості відходів та їх переробці. ЕІП можуть сприяти збереженню біологічного різноманіття. Більш ефективні заходи поводження з хімікатами та небезпечними речовинами, які застосовують в ЕІП, можуть мати позитивний вплив на довкілля та безпеку працівників (Еко-індустріальні ..., 2019).



Рис. 1. Концепція екоіндустріального парку (Міжнародні ..., 2021)

Fig. 1. The concept of an eco-industrial park (International ..., 2021)

У зарубіжній літературі термін «Грінфілд» (**Greenfield**) використовується для створених з нуля ЕІП, а термін «Браунфілд» (**Brownfield**) означає, що існуючий ІП перетворився на ЕІП (Implementation ..., 2017). Прикладами ЕІП «Грінфілд» є парки APSEZ в Індії та Капрікорн у Південній Африці (Global ..., 2016; Eco-Industrial ..., 2014), а прикладами ЕІП «Браунфілд» — Вапі в Індії, Рустенбург у Південній Африці (Global ..., 2016), Cia Mercantil Ingá та Cidade dos Meninos у Бразилії (Veiga et al., 2010).

UNIDO, група Світового банку та GIZ (Німецьке товариство міжнародного співробітництва) спільно розробили Міжнародні рамкові положення про ЕІП, в яких визначено поняття, що таке ЕІП, і показано, як ІП може працювати над тим, щоб стати ЕІП. Мета розробки Міжнародних рамкових положень про ЕІП така: (а) допомога відповідним зацікавленим сторонам у розробці та переході до ЕІП; (б) послідовний підхід, заохочення та визнання ЕІП; (в) покращення результативності, сталості та інклюзивності промислового сектора та рух до міжнародного стандарту ЕІП (Міжнародні ..., 2021; Dick van Veers et al., 2020).

Основні вимоги до ЕІП визначені за чотирма категоріями: управління парком, екологічні показники, соціальні показники та економічні показники (рис. 2). На їх основі визначені так звані передумови та цільові показники для ЕІП. Дотримання державних і місцевих норм є основою діяльності всіх ІП, незалежно від географічного положення та специфічних характеристик. Однак ЕІП слід виходити за межі відповідності цим нормативним вимогам та визначати для

себе більш амбітні цілі в екологічній та соціальній сферах (Міжнародні ..., 2021).

Головною рисою ЕІП є системний підхід, який враховує не лише економічні переваги кластерного промислового розвитку, а і його екологічний і соціальний виміри. Сторони, зацікавлені в розвитку спеціально виділених індустріальних зон, мають усвідомлювати свою відповідальність стосовно довкілля перед нинішнім та майбутнім поколіннями у місцевому та світовому масштабах та боротися із забрудненням довкілля та виснаженням запасів унаслідок виробничої діяльності (Global ..., 2016).

Уряд України за підтримки проєкту ГПЕІП — Україна прийняв розпорядження від 14 березня 2023 р. № 221-р «Про затвердження плану пріоритетних дій Уряду на 2023 рік», яким визначено впровадження моделі ЕІП через зміни до відповідних законів однією з пріоритетних дій Уряду (Кабінет ..., 2023).

Затверджена «Стратегія розвитку індустріальних парків» на період до 2030 р. на виконання Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про індустріальні парки» щодо вдосконалення функціонування індустріальних парків і запровадження моделі еко-індустріального парку» (Про схвалення ..., 2023). Стратегія покликана допомогти ефективніше використовувати потенціал ІП у рамках процесу децентралізації управління та сприяти розв'язанню питань щодо припинення деградації довкілля, створення додаткової вартості та нових кваліфікованих робочих місць, а також запровадження моделі ЕІП з метою підвищення економічних, екологічних і соціальних показ-



Рис. 2. Загальна схема опису екоіндустріальних парків за матеріалами (Міжнародні ..., 2021)

Fig. 2. General scheme for describing eco-industrial parks based on (International ..., 2021)

ників, законодавчого визначення і забезпечення практичної моделі ЕІП в Україні. Зазначено, що модель ЕІП включає впровадження принципів сталого розвитку, підходів циркулярної економіки, ресурсоефективного та чистого виробництва, зменшення негативного впливу, зумовленого забрудненням довкілля, підвищення ефективності використання ресурсів і відходів, зокрема шляхом створення замкнутих циклів їх використання та промислового симбіозу, використання енергії з відновлюваних джерел, поліпшення якості соціальної складової, як у межах парку, так і поза його межами, в тому числі в місцевому та регіональному масштабах, підвищення якості управління на рівні парку).

На сьогодні Україна дотримується курсу у відповідності до цілей сталого розвитку ООН та курсу ЄС на екологізацію всіх сфер економіки ([https://](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text)

zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text). Зазначимо, що ІП не продемонстрували значної ефективності, а країна має високий рівень промислового забруднення та накопичення відходів, тому запровадження моделі ЕІП з метою поліпшення економічних, екологічних і соціальних показників та ефективності управління на рівні парків може бути ефективним прикладом екологізації промисловості.

Модель ЕІП пропонує чимало можливостей у воєнний період та під час післявоєнного відновлення та розвитку економіки. Екологічні стандарти ЕІП сприятимуть відповідності української продукції міжнародним стандартам та підвищенню її конкурентоспроможності на світових ринках (Клещов, 2022). Крім того, передбачені моделлю ЕІП ресурсоефективність, чисте виробництво та зменшення викидів вуглецю не лише захищати-

муть довкілля України, а їй наблизатимуть державу до відповідності із законодавством ЄС, що відповідає прагненню країни стати повноцінною державою-членом європейської сім'ї.

Контроль впливу екоіндустріальних парків на водне середовище.

Моніторинг стану водного середовища в зоні впливу ЕІП є важливим елементом для збереження довкілля та забезпечення сталого розвитку. Це дає можливість уникнути забруднення та виснаження водних ресурсів, підтримувати біорізноманіття та створювати безпечні умови для життєдіяльності. Завдяки використанню сучасних технологій моніторингу, забезпечується ефективна й точна система контролю за якістю підземних і поверхневих вод.

Оцінка екологічного ризику водного середовища є необхідною для забезпечення стабільного та здорового розвитку ЕІП, що сприяє зміцненню їх екологічних функцій для підтримки сталого виробництва. Сучасні екологічні виклики потребують оновлених системних підходів до оцінки водного ризику в ЕІП. Всесвітній фонд природи (World Wide Fund for Nature (WWF)) пропонує визначати потенційні ризики, пов'язані з водним середовищем, спричинені природними чинниками та діяльністю людини, з точки зору фізичних, нормативних і репутаційних ризиків, наведених в табл. 1 (Industrial ..., 2019; Water ..., 2022). WWF запропонував систему показників оцінки водних ризиків на рівні країни, басейну та ділянки (WWF ..., 2025).

Згідно з (Industrial ..., 2019), одним із ключових положень системи управління водними ресурсами в ЕІП є необхідність обмежити надходження забруднення у водні об'єкти, а саме:

- встановити ліміт забруднення для водних об'єктів та суворо контролювати загальну кількість стічних вод, що скидаються в річки та озера;
- зменшити загальний обсяг скиду забруднювачів як важливу підставу для запобігання забрудненню води та зменшити викиди;
- якщо скидання стічних вод перевищує загальний ліміт на водних об'єктах, обмежити обстеження та погодження нових водозаборів та скидання стічних вод у річки;
- запровадити стандартну систему оцінки якості води для водних об'єктів, яка включає моніторинг та контроль за раннім попередженням про небезпеку забруднення і систему управління;

- здійснювати охорону джерел води та управління надзвичайними ситуаціями стосовно джерел питної води;
- здійснювати охорону та відновлення водної екосистеми за допомогою механізму водної екологічної компенсації.

З метою запобігання забрудненню води та його контролю необхідно аналізувати базові показники водного середовища – вміст органічних речовин і важких металів, вплив забруднення води на здоров'я людини, оцінювати ризик появи нових забруднювачів, здійснювати моніторинг водного середовища та раннє попередження про небезпеку забруднення. Моніторинг і контроль конкретних забруднювачів або токсичності дренажної води стає ще одним напрямом управління водними ресурсами. Пропонується керуючим органам парку проводити регулярний моніторинг та аналіз стічних вод, що скидаються в мережу, конкретних забруднювачів і токсичності дренажних вод із централізованих очисних споруд і розробляти відповідні заходи запобігання забруднення та його контролю через співпрацю з промисловістю, університетами та науково-дослідними установами. Потрібно здійснювати моніторинг інтенсивності та кількості конкретних забруднювачів і токсичності води, що скидається з очисних станцій основних об'єктів та централізованих очисних споруд (Industrial ..., 2019).

У дослідженні Gao et al. (2019) оцінено показники водного ризику шляхом поєднання аналітичного ієрархічного процесу і комплексного методу нечіткості на прикладі ЕІП Шеньчжень (Китай). Виділено такі ступені водного ризику:

Відсутність ризику – водна екосистема може зберегти свої природні властивості та має сильні екологічні функції;

низький ризик – водна екосистема зберігає свої природні властивості, екологічні функції є сильнішими, а забруднення знаходиться в межах пропускну здатності водної екосистеми.

помірний ризик – водна екосистема переважно зберігає свої природні властивості, забруднення вже перевищує її власну пропускну здатність; коли тиск забруднення усунено або послаблено, екосистема все ще може бути самостійкою.

високий ризик – природні властивості водної екосистеми явно змінилися, забруднення перевищило пропускну здатність самої системи, і вона може бути стійкою лише за допомогою зовнішніх сил.

Таблиця 1. Основні водні ризики в екоіндустріальних парках (Industrial ..., 2019)

Table 1. The main water risks in eco-industrial parks (Industrial ..., 2019)

Фізичні ризики R1	Нормативні ризики R2	Репутаційні ризики R3
R1.1. Загальна потреба у воді перевищує наявний запас води через сезонну нестачу води R1.2. Дефіцит води через забруднення джерел води	R2.1. Відсутній контроль загального споживання води R2.2. Великий об'єм витоків із водопроводів	R3.1. Прямий або непрямий вплив, спричинений інцидентами екологічної безпеки на регіональне водне середовище, подальші втрати репутації та ризик
R1.3. Збільшення споживання прісної води через зростання водоемних виробництв	R2.3. Відсутність інформаційної системи або чіткого управління	R3.2. Криза водопостачання через забруднення джерел води та інші громадські події
R1.4. Потенційні ризики для інфраструктури ЕІП та якості водного середовища, спричинені комбінованою/роздільною дренажною системою	R2.4. Низька ефективність управління тому що різні адміністративні департаменти відповідають за управління водопостачанням, водокористуванням і скиданням води	R3.3. Урядові покарання або штрафи, отримані об'єктами через надмірні скиди, нефункціональні екологічні об'єкти, забруднення довкілля та інциденти екологічної безпеки
R1.5. В ЕІП ще не побудовано централізованих очисних споруд R1.6. Відсутність автоматичного онлайн-моніторингу для основних об'єктів та централізованих очисних споруд	R2.5. Широка реєстрація моніторингу використання води на промислових підприємствах та недоліки управління R2.6. Наявність власних свердловин у компанії R2.7. Низький рівень повторного використання води в компаніях	R3.4. Розголошення в пресі аварій (інцидентів) із забрудненням води, таких як недозволений скид, заперечення факту скиду та надмірний скид R3.5. Громадські інциденти, спричинені забрудненням довкілля або побудовою програми
R1.7. Недостатня стабільність якісного скиду централізованих очисних споруд R1.8. Ризики, пов'язані з технологіями, інвестиціями та експлуатаційними витратами централізованих очисних споруд через вищі стандарти скидів	R2.8. Надмірний скид на об'єктах R2.9. Система онлайн-моніторингу нездатна контролювати окремі забруднювачі R2.10. Висока концентрація окремих забруднювачів і висока токсичність стічних вод	R3.6. Нижча оцінка ефективності використання води порівняно з іншими ЕІП чи тією ж галуззю, неконкурентоспроможна продуктивність використання води та втрата переваги в ринковій конкуренції
R1.9. Потенційна шкода екосистемі водних об'єктів-приймачів через надмірний вміст забруднювальних речовин і високу токсичність стічних вод з централізованих очисних споруд	R2.11. Відсутність можливостей запобігання та реагування на нові заходи безпеки та захисту довкілля R2.12. Неналежний нагляд за вторинним забрудненням у процесі видалення або повторної утилізації осаду на очисних спорудах	R3.7. Концентрації забруднювальних речовин перевищені у воді об'єктів-приймачів, навіть якщо викиди відповідають стандартам ЕІП.

Виявлено, що екологічна небезпека, спричинена однаковим вмістом забруднювальних речовин у посушливий сезон, становить набагато більший ризик, ніж у вологий сезон. Тому формулювання стандартів контролю забруднення та скидів мають бути різними на різних стадіях. Gao et al. (2019) запропоновані загальні рекомендації щодо раннього попередження ризиків для водної екосистеми в ЕІП, зокрема, суворі норми скидання забруднювачів у посушливий сезон.

Як приклад в роботі (Yang et al., 2024) розглянуто типовий парк з хімічною промисловістю у провінції Шаньдун (Китай) для оцінки стану забруднення підземних вод вуглеводнями. Запропонована нова система виявлення та оцінки вуглеводневих забруднювачів, яку використовують для кількісного визначення та виявлення зон витоків та визначення основних чинників впливу в ЕІП. У поєднанні з вимиванням забруднювачів у ґрунт численні ризики вуглеводневого забруднення підземних вод були всебічно охарактеризовані відповідно до чотириетапного підходу «виявлення ризику, оцінка дозування, оцінка впливу та характеристика ризику», щоб оцінити якість підземних вод та ризик для здоров'я людини. Це дослідження формує основу оцінки ризику для здоров'я людини з метою управління та відновлення забруднених вуглеводнями підземних вод, а також управління та контролю ресурсів водопостачання.

Оцінка комплексного ризику ІП, що вийшли з експлуатації, залишається серйозною проблемою через складність джерел забруднення та властивостей міграції забруднювачів, що створює загрозу для здоров'я людини та довкілля. В роботі (Wu S. et al., 2023) оцінено забруднення ґрунтів та підземних вод леткими та напівлеткими нафтопродуктами колишнього ІП у провінції Чжецзян, Китай. Встановлено, що загальні нафтові вуглеводні (TPHs), ді(2-етилгексил)фталат (DEHP), бензол і етилбензол були критичними забруднювачами ґрунту, тоді як TPHs, 1,2-дихлорпропан (1,2-DCP), толуол, бензо[а]антрацен (BaA) і бензо[б]флуорантен (BbF) були визначені як критичні забруднювачі ґрунтових вод через перевищення державних стандартів. Наявність бензолу, етилбензолу і DEHP у ґрунті та 1,2-DCP у підземних водах було основною причиною загального ризику для здоров'я людини. Запропонований у цьому дослідженні систематичний і комплексний підхід до оцінки ризиків, створених органічними забруднювачами в різних середовищах довкілля, забезпечує засади

для класифікації ризиків, оцінювання та зонування ІП, що вийшли з експлуатації, та дає можливість розробити стратегію управління колишніми ІП.

Проаналізувавши світовий досвід стосовно організації системи моніторингу довкілля в ЕІП, ми дійшли висновку, що у Міжнародних рамкових положеннях про ЕІП та в Україні на законодавчому рівні відсутні вимоги щодо заходів запобігання забрудненню підземних вод в ЕІП. З огляду на зазначене, ми розробили пропозиції до проєкту ДСТУ «Еко-індустріальні парки. Критерії сталості та метод оцінювання» (Розпочата ..., 2024), які полягають у тому, що стратегія із запобігання забрудненню геологічного середовища має визначати заходи запобігання надходженню з інфільтрацією в підземну гідросферу розчинених забруднювачів (нафтопродуктів, важких металів тощо) і створення системи моніторингу (контролю) якості підземних вод, що поширюються за межі території ЕІП.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Територія досліджень розміщується в межиріччі Рось – Кам'янка, у північно-західній частині м. Біла Церква, між р. Рось, автомобільною трасою Біла Церква – Сквиря та с. Фурси, на сході межує з дендропарком державного значення «Олександрія» (рис. 3).

Район належить до Правобережжя Дніпра в межах Придніпровської височини на хвилястій рівнині, яка розчленована річковими долинами, балковою мережею та ярами.

В геоструктурному відношенні район робіт знаходиться на північно-східному схилі Українського кристалічного щита. В геологічній будові району робіт беруть участь породи кристалічного фундаменту та четвертинних відкладів, представлені озерно-алювіальними суглинками та пісками; еолово-делювіальними супісками та суглинками; підморенними озерно-льодовиковими суглинками, супісками та пісками; моренними важкими суглинками; надморенними озерно-льодовиковими суглинками та супісками та водно-льодовиковими пісками.

Для гідрогеологічних умов території характерною рисою є пошарове розміщення водоносних горизонтів, їх невитриманість у плані та прямий гідравлічний зв'язок між ними. Вони утворюють єдину водоносну систему, що належить до зони вільного водообміну. Виділяють:

- водоносний горизонт у сучасних алювіальних відкладах;



Рис. 3. Оглядова схема території досліджень за Bricks et al. (2020), з оновленнями: 1 — межа території дендропарку; 2 — лінії гідроізогіпс; 3 — зона забруднення геологічного середовища нафтопродуктами (за даними Правобережної геологічної експедиції, 1990 р.); 4 — склад паливно-мастильних матеріалів; 5 — каскад штучних ставків (Потерчате, Русалка і Водяник); 6 — шар мобільних нафтопродуктів (за даними Інституту геологічних наук НАН України, 2007 р.); 7 — авіаремонтна майстерня — джерело забруднення ґрунтових вод; 8 — свердловини, рекомендовані до включення в Державну систему моніторингу підземних вод України (за даними Інституту геологічних наук НАН України, 2021 р.).

Fig. 3. The overview scheme of the research area based on Bricks et al. (2020) and updated: 1 — the boundary of the arboretum; 2 — a contour line; 3 — the area of subsurface contamination with petroleum products (by Pravoberezhna Geological Expedition, 1990); 4 — a fuel and lubricant warehouse; 5 — the cascade of artificial ponds (Poterchata, Rusalka and Vodyanik); 6 — a mobile petroleum product layer (by Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 2007); 7 — an aircraft repair workshop—the source of groundwater contamination; 8 — wells recommended to be included in the State Groundwater Monitoring System of Ukraine (by Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 2021).

- водоносний комплекс у середньочетвертинних льодовикових, водно-льодовикових та озерно-льодовикових відкладах;
- водоносний горизонт у тріщинуватій зоні кристалічних порід докембрію.

Еколого-геологічні дослідження, що проводились на об'єкті, включали обстеження забрудненої території, виявлення існуючих та потенційних джерел забруднення, буріння розвідувальних і спостережних свердловин, проведення моніторингу стану забруднення підземних вод із замірами рівнів води та нафтопродуктів, відбір проб ґрунтів, підземних і поверхневих вод, порових розчинів.

Рівні ґрунтових вод (РГВ) і товщини шару мобільних нафтопродуктів у спостережних свердловинах замірялись один раз на місяць. Проби ґрунтів, підземних і поверхневих вод та порового розчину з донних відкладів відбирались один раз на півроку в районі каскаду ставків Західної балки дендропарку «Олександрія» з метою виявлення місць переважного надходження нафтопродуктового забруднення. Проби води зі свердловин відбирались за допомогою ручної желонки.

Лабораторні аналізи виконано за допомогою атестованих методик в сертифікованій лабораторії нафтохімічних досліджень геологічного середо-

вища Інституту геологічних наук НАН України. Вміст нафтопродуктів у пробах ґрунтів, підземних і поверхневих вод визначали за допомогою фотометричного методу з використанням аналізатора «Мікран». Діапазон вимірювань аналізатора «Мікран» становить 0,01–900,0 мг/дм³. Межа повної відносної похибки δ дорівнює 20% з довірчою ймовірністю $P = 0,95$.

Для просторового та висотного прив'язування гідрогеологічних свердловин було використано лазерний нівелір та GPS-приймач. Лазерний нівелір забезпечує високоточне вертикальне прив'язування гирла свердловини відносно реперів місцевості, що є особливо важливим для коректного побудування гідрогеологічних розрізів. За допомогою GPS-приймача було визначено координати свердловини в плані (широта, довгота) з високою точністю, що дало можливість інтегрувати дані в геоінформаційні системи. Спільне використання цих інструментів забезпечило надійну просторову ідентифікацію свердловин та точність під час подальшої інтерпретації даних.

РЕЗУЛЬТАТИ

Еколого-геологічні дослідження забруднення нафтопродуктами каскаду ставків дендропарку «Олександрія» та прилеглих територій розпочато в 1990 р. у зв'язку з появою нафтопродуктів у водоймах Західної балки дендропарку. Так, у воді ставка Потерчате концентрації нафтопродуктів варіювали від 0,12 до 4,94 мг/дм³, ставка Русалка — від 0,07 до 4,40 мг/дм³, ставка Водяник — від 0,04 до 3,68 мг/дм³, що у десятки разів перевищували гранично допустимі концентрації (0,1 мг/дм³) (Плескач, 2004).

Дослідженнями, виконаними Інститутом геологічних наук НАН України в 2000–2001 і в 2006–2007 рр., виявлено, що основними джерелами забруднення геологічного середовища нафтопродуктами на території, прилеглої до дендропарку «Олександрія», були об'єкти колишнього Білоцерківського авіаремонтного заводу (БАРЗ): склади паливно-мастильних матеріалів (ПММ), цех з ремонту літаків, цехи з ремонту та випробування двигунів та автозаправна станція (рис. 3). БАРЗ функціонував протягом кількох десятиліть, починаючи з 1944 р., коли на базі ремонтних майстерень з обслуговування авіаційної техніки був сформований спеціалізований авіаремонтний промисловий об'єкт, що супроводжувалося тривалим надходженням паливно-мастильних матеріалів у ґрунти та підземні води. Активна

фаза забруднення припадає на період інтенсивної експлуатації підприємства до 1990-х років. Після припинення основної виробничої діяльності БАРЗ техногенне навантаження на довкілля суттєво зменшилось, однак сформований осередок забруднення зберігся.

Були виявлені та оконтурені три лінзи мобільних нафтопродуктів з товщиною шару до 2,5 м у водоносному горизонті у підморенних воднольодовикових відкладах. Зафіксовано площинне забруднення ґрунтових вод розчиненими нафтопродуктами, яке охоплювало всі три балки дендропарку — західну, центральну й східну та урочище «Будинок лісника». Максимальний вміст нафтопродуктів у ґрунтових водах (30 мг/дм³) і донних відкладах (5600 мг/кг) було зафіксовано у верхів'ї урочища Потерчате у місці розвантаження ґрунтового потоку (Негода, 2014). Води водойм усіх каскадів розвантажуються в р. Рось, тому екологічна ситуація в дендропарку «Олександрія» суттєво впливала на стан басейну р. Рось, яка є основним джерелом питної води для жителів м. Біла Церква та інших населених пунктів нижче за течією.

Незважаючи на проведені ремедіаційні заходи (застосування дренажних систем на шляху поширення та розвантаження забруднених нафтопродуктами підземних вод), забруднення існувало та становило загрозу довкіллю. Біоценози дендропарку «Олександрія» перебували під загрозою деградації внаслідок екологічних порушень. Тривале забруднення негативно впливало на стан деревної та трав'янистої рослинності парку, а через високу токсичність розчинених у воді вуглеводнів у ставках західного каскаду загинуло поголів'я риб (Галкін, 2011).

У 2019 р. у рамках договору про наукове співробітництво з Державним дендропарком «Олександрія» співробітники відділу охорони підземних вод ІГН НАН України виконали обстеження забрудненої території. Встановлено, що забруднення нафтопродуктами каскаду ставків у західній балці дендропарку «Олександрія» тривало. Виявлено ознаки розвантаження потоку нафтопродуктів в гирловій частині однієї з бічних улоговин, що пересікають поверхню західного схилу балки (ставок Потерчате). Це дало підставу вважати, що міграція нафтопродуктів з області живлення ґрунтових вод, де існують джерела забруднення, до місця їх дренажування в Західній балці крізь моренні відклади відбувається в зонах підвищеної провідності, утворених прошарками

флювіогляціального піску (Bricks et al., 2020). Щоб підтвердити це припущення та розв'язати проблему захисту водного середовища дендропарку, запропоновано облаштувати пункти спостережень у місцях, де очікується надходження нафтопродуктів у водойми.

У 2021–2024 рр. нами були продовжені дослідження забрудненої території. Польові роботи включали відбір проб ґрунту, поверхневих і підземних вод каскаду ставків у Західній балці з метою визначення місць надходження нафтопродуктів, обстеження спостережних свердловин та буріння і облаштування додаткових свердловин, періодичні заміри РГВ і рівнів нафтопродуктів у спостережних свердловинах. Виконано просторове та висотне прив'язування гідрогеологічних свердловин на територіях БВАК і дендропарку «Олександрія».

Виявлено, що стан частини спостережних свердловин незадовільний. Пробурено п'ять додаткових свердловин у районі каскаду ставків Західної балки (рис. 4). Кілька спостережних свердловин, пробурених понад 30 років тому на водоносний горизонт у зоні тріщинуватості кристалічних докембрійських порід, були розконсервовані. Цей водоносний горизонт гідравлічно пов'язаний з ґрунтовими водами, тому він також зазнав забруднення (Navryliuk et al., 2022). Опробування свердловин виявило забруднення тріщинних вод нафтопродуктами: за даними лабораторії ДП «Українська геологічна експедиція» вміст нафтопродуктів становив 0,5 мг/дм³. Дві

з цих свердловин рекомендовано включити до Державної системи моніторингу підземних вод України (рис. 5).

За даними спостережень в усіх свердловинах, розташованих на західному схилі ставка Потерчатє, було виявлено шар мобільних нафтопродуктів завтовшки до 0,34 м (табл. 2). Зменшення товщини шару мобільних нафтопродуктів у травні 2023 р. у порівнянні з даними на серпень 2022 р. імовірно пов'язано з впливом коливань РГВ (Шпак, 2022). Концентрації розчинених вуглеводнів у воді ставка Потерчатє досягали 0,36–1,33 мг/л (табл. 3).

Таким чином, результати досліджень свідчать про несприятливу екологічну ситуацію в районі БВАК. Згідно з класифікацією Gao et al. (2019), існує високий ризик для водної екосистеми. ЕІП «БВАК» створюється за типом «Браунфілд», наявність потужного об'єкта-забруднювача на його ділянці визначила масштабне нафтохімічне забруднення підземної гідросфери, що залишилось у спадок від колишнього БАРЗ. За сучасними даними вторинне забруднення триває внаслідок міграції раніше накопичених нафтопродуктів у геологічному середовищі. Розвантаження забрудненого підземного потоку на території дендропарку «Олександрія» призводить до стійкого забруднення західного каскаду ставків дендропарку (урочище Потерчатє) протягом уже кількох десятиліть. Це підтверджується результатами досліджень Інституту мікробіології (Pasichna et al., 2024), відповідно до яких у водоймах Західної балки дендропарку



Рис. 4. Буріння спостережних свердловин і заміри рівнів ґрунтових вод і нафтопродуктів.

Fig. 4. Drilling of observation wells and measurements of groundwater and petroleum product levels.



Рис. 5. Свердловина в низовині урочища Потерчате (на правому схилі), яку рекомендовано включити до Державної моніторингової мережі.

Fig. 5. A well in the lowland of the Poterchate ravine (on the right slope), which is recommended to be included in the State monitoring network.

«Олександрія» зафіксовано підвищені концентрації важких металів, нафтопродуктів і синтетичних ПАР, що може негативно впливати на життєдіяльність водної рослинності та риби.

Рекомендовано подальше детальне обстеження забрудненої території, дослідження каскаду ставків дендропарку «Олександрія» для визначення основних шляхів потрапляння нафтопродуктів з потоком ґрунтових вод у поверхневі води ставків

і визначення механізмів забруднення водоносного горизонту в тріщинуватих кристалічних породах.

Через те що існуюча моніторингова мережа не є досконалою, ґрунтуючись на власних розроблених рекомендаціях стосовно проведення моніторингу підземних вод, забруднених нафтопродуктами (Гаврилук, 2024; Огняник, 2013), пропонується закласти моніторингову мережу в такий спосіб. Спостережні свердловини

Таблиця 2. Результати замірів глибин рівнів ґрунтових вод і нафтопродуктів

Table 2. The results of measurements of groundwater and petroleum product levels

№ свердловини	Рівень нафтопродуктів, м	09.08.2022		26.05.2023		
		РГВ, м	Товщина шару нафтопродуктів, м	Рівень нафтопродуктів, м	РГВ, м	Товщина шару нафтопродуктів, м
1	10,02	10,23 *	0,21	9,93	10,11	0,18
2	10,05	10,38	0,33	9,98	10,10	0,12
3	Закрита			9,76	9,84	0,08
4	10,19	10,40 *	0,21	10,06	10,07	0,01
5	10,08	10,28 *	0,2	10,01	10,19	0,18
6	9,85	10,19 *	0,34	9,77	9,96	0,19
7	10,12	10,27	0,15	9,97	10,08	0,11
8	10,23	11,00 *	0,77	10,13	10,20	0,07

* Забій свердловини

Таблиця 3. Результати визначення загального вмісту нафтопродуктів у воді та поровому розчині донних відкладів (дата відбору – 26.05.2023)

Table 3. The results of determination of the total petroleum product content in water and pore solution from sediments (the date of sampling is May 26, 2023)

№ п/п	Місце відбору	Концентрація нафтопродуктів, мг/дм ³
1	Свердловина 3м	1,68
2	Свердловина 5м	2,90
3	Ставок Потерчате, улоговина 2 (3 м від берега)	1,31
4	Ставок Водяник	0,44
5	Ставок Русалка	0,03
6	Ставок Потерчате (злив через дамбу)	0,36
7	Ставок Потерчате, улоговина 1 (біля берега)	0,61
8	Ставок Потерчате, улоговина 1 (3 м від берега)	1,33
9	Поровий розчин донних відкладів	30,66

розміщують за потоком ґрунтових вод уздовж центральної лінії плями забруднення: одну вверх за потоком від джерела забруднення в чистій зоні, дві-три – в межах забрудненої зони. Спостережні свердловини в межах забрудненої зони, пробурені попередніми дослідженнями, можуть бути використані для проведення моніторингу (рис. 6). Першу свердловину обладнують у межах лінзи нафтопродуктів з фільтром, який охоплює товщину лінзи та максимальний діапазон коливань РГВ, а дві інші свердловини з фільтром завдовжки приблизно 0,5 м пробурюють у ґрунтовому водноносному горизонті – одну на межі лінзи мобільних нафтопродуктів, а іншу на межі забруднення розчиненими вуглеводнями. Відомо, що за межами розповсюдження лінзи мобільних нафтопродуктів підвищених концентрацій розчинених вуглеводнів не спостерігається, тому слід обладнати одну свердловину на межі лінзи мобільних нафтопродуктів. Три спостережні свердловини розміщують нижче за потоком від плями забруднення перпендикулярно до центральної лінії на відстані, яку фронт забруднення може подолати за один – два роки. За даними математичного моделювання (Негода, 2014), за один – два роки фронт забруднення на ділянці досліджень може подолати відстань приблизно 50 м. Цей прогноз можна вважати максимально несприятливим за умови інтенсифікації джерела забруднення або у разі зниження РГВ і вивільнення додаткової кількості

мобільних нафтопродуктів. Отже, спостережні свердловини слід розміщувати нижче за потоком на відстані 50 м від плями забруднення. Заміри РГВ і рівнів нафтопродуктів потрібно проводити поквартально з метою урахування впливу сезонних коливань РГВ, атмосферних опадів тощо протягом періоду, поки триває забруднення. Проби води на визначення вмісту нафтопродуктів слід відбирати поквартально.

У зоні забруднення ґрунтових вод розчиненими нафтопродуктами можуть відбуватись процеси біодеградації, для кількісної оцінки яких необхідно простежити природне затухання забруднення. Біодеградація виявляється за наявністю донора електронів, відповідних мікроорганізмів та акцепторів електронів. У межах плями забруднення концентрація речовин-акцепторів зменшується, а концентрація побічних продуктів метаболізму збільшується. Розклад нафтопродуктів відбувається за такої послідовності приєднання електронів акцепторами: кисень, нітрати, марганець, залізо, сульфати, вуглекислий газ та органічний вуглець – всі вони визначаються в процесі моніторингу.

Дані моніторингу слугують основою для створення геофільтраційної та міграційної математичних моделей осередку нафтопродуктового забруднення на території ЕІП «БВАК» і прогнозування процесу розповсюдження нафтопродуктів у підземних водах. На підставі результатів прогнозу заплановано розробити рекомендації

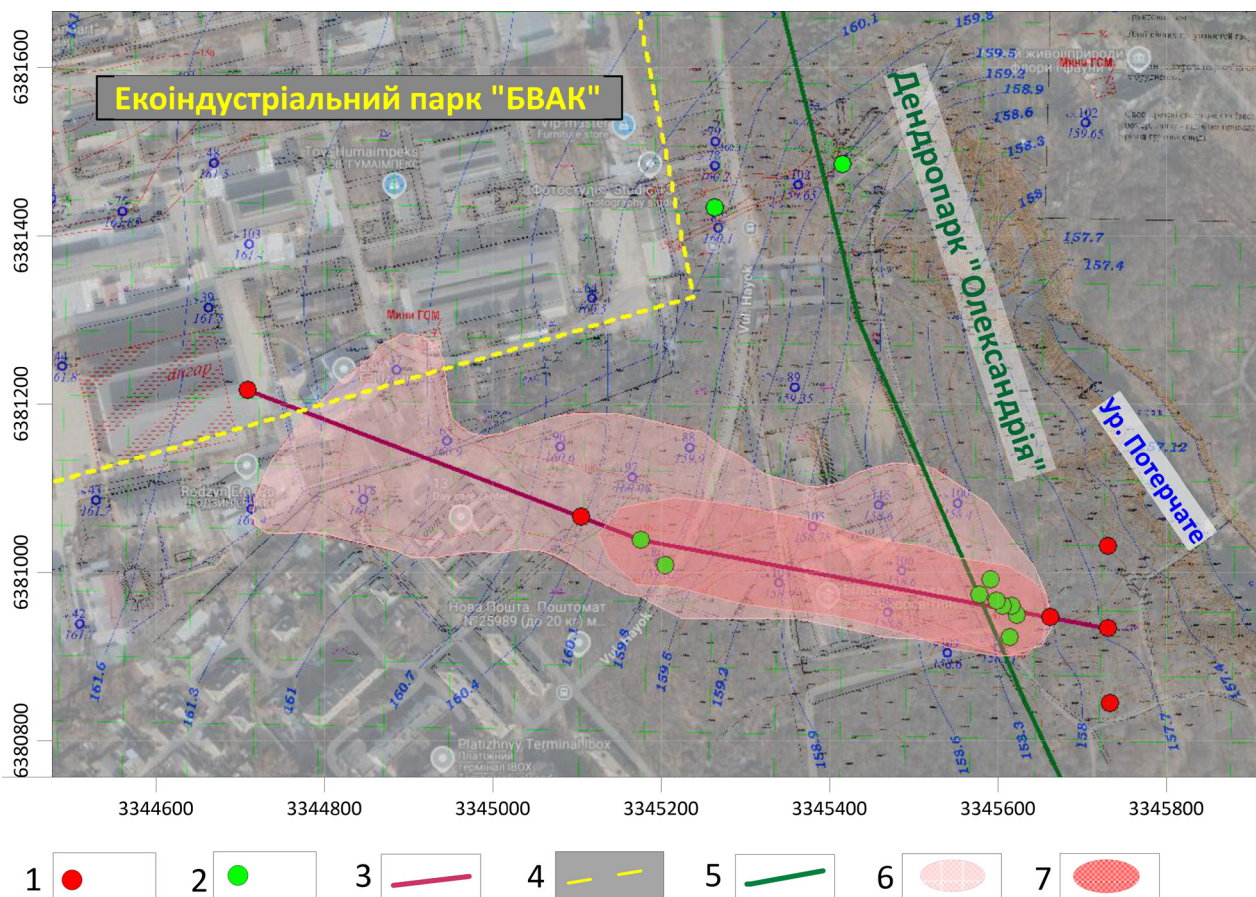


Рис. 6. Схема розміщення моніторингової мережі в зоні забруднення підземних вод нафтопродуктами: 1 – проєктні спостережні свердловини; 2 – існуючі спостережні свердловини; 3 – центральна лінія плями забруднення; 4 – границя екоіндустріального парку «Білоцерківський вантажний авіаційний комплекс»; 5 – границя території дендропарку «Олександрія»; 6 – лізна мобільних нафтопродуктів (за даними Інституту геологічних наук НАН України, 2007); 7 – лізна мобільних нафтопродуктів (за даними Інституту геологічних наук НАН України, 2023).

Fig. 6. Development of a groundwater monitoring network: 1 – projected monitoring wells; 2 – existing monitoring wells; 3 – the central line of the contamination plume; 4 – the boundary of Bila Tserkva Cargo Aviation Complex eco-industrial park; 5 – the boundary of Olexandria arboretum; 6 – a mobile petroleum product lens (by Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 2007); 7 – a mobile petroleum product lens (by Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 2023).

щодо продовження моніторингу або проведення ремедіаційних заходів на межі з дендропарком «Олександрія».

ВИСНОВКИ

Упродовж останніх десятиліть у всьому світі, зокрема, в Україні, наростають проблеми, пов'язані із забрудненням довкілля під впливом антропогенної діяльності. Численні екологічні проблеми спонукали до створення ЕІП, що стало важливим кроком до зменшення негативного впливу промисловості на довкілля. Здійснення моніторингу (контролю) стану водного середовища є важливим елемен-

том функціонування ЕІП з метою збереження довкілля та забезпечення сталого розвитку. На сьогодні в Україні на законодавчому рівні відсутні вимоги щодо заходів запобігання забрудненню підземних вод в ЕІП.

У 2020 р. індустріальний парк «БВАК» став учасником проєкту ГПЕІП в Україні. В рамках створення ЕІП у м. Біла Церква на базі колишнього авіаремонтного заводу, значну увагу приділяють моніторингу осередку нафтопродуктового забруднення підземних вод у зв'язку з його поширенням у напрямку Державного дендропарку «Олександрія».

Забруднення геологічного середовища нафтопродуктами в межах території досліджень зафіксовано на початку 1990-х років. Джерелом забруднення була територія колишнього БАРЗ. Попередніми еколого-геологічними дослідженнями виявлені лінзи мобільних нафтопродуктів з товщиною шару до 2,5 м на поверхні водоносного горизонту у підморенних водно-льодовикових відкладах. Встановлено забруднення ґрунтових вод розчиненими нафтопродуктами, яке охоплювало всі балки дендропарку «Олександрія» та урочище «Будинок лісника». Максимальний вміст нафтопродуктів у ґрунтових водах та донних відкладах було зафіксовано у верхів'ї урочища Потерчате.

На цей час екологічна ситуація в районі БВАК залишається несприятливою. Наявність потужного об'єкта-забруднювача на ділянці майбутнього ЕІП обумовила масштабне нафтохімічне забруднення підземної гідросфери. Розвантаження потоку забруднених підземних вод на території дендропарку «Олександрія» призводить до тривалого забруднення західного каскаду ставків дендропарку (урочище Потерчате) протягом кількох десятиліть. Шар мобільних нафтопродуктів потужністю до 0,34 м спостерігається в усіх свердловинах, пробурених

на західному схилі ставка Потерчате, а концентрації розчинених вуглеводнів у поверхневих водах ставка дорівнюють 0,36–1,33 мг/дм³. Забруднення підземних вод було вперше підтверджено у водоносному горизонті кристалічних порід у двох свердловинах, які рекомендовано включити до Державної системи моніторингу підземних вод України.

Запропоновано принципи розміщення мережі моніторингових свердловин з метою контролю негативного впливу на довкілля з боку БВАК. Дані моніторингу є основою для побудови геофільтраційної та міграційної математичних моделей та прогнозування процесу поширення нафтопродуктів у підземних водах. На підставі результатів прогнозу заплановано розробку рекомендації щодо продовження моніторингу осередку нафтопродуктового забруднення або проведення ремедіаційних заходів на межі з дендропарком «Олександрія».

Дослідження виконано в рамках бюджетної теми «Гідрогеологічне обґрунтування системи контролю впливу екоіндустріальних парків на довкілля».

REFERENCES

- Havryliuk R., Shpak O., Lohvynenko O., Zapolskiy I., 2024. Methodical aspects of the assessment of the state of subsurface contamination with petroleum products caused by the military aggression of the Russian Federation against Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*. Vol. 61. Pp. 23–38. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-02>.
- Galkin S. I., 2011. Dendrological parks of the National Academy of Sciences of Ukraine: problems of preservation of historical plantations associated with increased anthropogenic influence on their territories (on the example of «Olexandria» arboretum of the National Academy of Sciences of Ukraine). *Introduction of plants*. Iss. 2. Pp. 118–123. (In Ukrainian).
- Gryshchenko K. O., Shpak O. V., 2023. Industrial parks in Ukraine: kinds, state and prospects. *Universum*. Iss. 3. Pp. 8–16. (In Ukrainian).
- Eco-industrial parks. Achievements and Key Findings of the Global Program of Resource-Efficient and Clean Production (RECP) for 2012–2018. 2019. GEIPP-Ukraine. (In Ukrainian). <https://geipp-ukraine.org/dosiahnennia-ta-kliuchovi-vysnovky-hlobalnoi-prohramy-rechv/>. Accessed May 7, 2025.
- The Cabinet of Ministers of Ukraine has published Resolution No. 221-p, which determines the development and submission of amendments to certain laws of Ukraine regarding the introduction of an eco-industrial park model among the priority actions of the Government for 2023. 2023. GEIPP-
- Гаврилук Р. Шпак О., Логвиненко О., Запольський І. Методичні аспекти оцінки стану забруднення геологічного середовища нафтопродуктами, спричиненого військовою агресією РФ проти України. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2024. Вип. 61. С. 23–38. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-02>.
- Галкін С. І. Дендрологічні парки Національної Академії наук України: проблеми збереження історичних насаджень, пов'язані з посиленням антропогенного впливу на їхні території (на прикладі Дендропарку «Олександрія» НАН України). *Інтродукція рослин*. 2011. № 2. С. 118–123.
- Грищенко К. О., Шпак О. В. Індустріальні парки в Україні: види, стан та перспективи. *Universum*. 2023. № 3. С. 8–16.
- Еко-індустріальні парки. Досягнення та ключові висновки глобальної програми РЕЧВ 2012–2018. 2019. GEIPP-Ukraine. <https://geipp-ukraine.org/dosiahnennia-ta-kliuchovi-vysnovky-hlobalnoi-prohramy-rechv/>. Дата звертання 7 травня 2025.
- Кабінет Міністрів України оприлюднив розпорядження № 221-р, яким визначено розроблення та подання змін до деяких законів України щодо запровадження моделі еко-індустріального парку серед пріоритетних дій Уряду на 2023й рік. 2023. GEIPP-Ukraine. <https://www.geipp-ukraine.org/>

Ukraine. (In Ukrainian). <https://www.geipp-ukraine.org/kabinet-ministriv-ukrainy-opryliudnyv-rozporiadzhennia-221-riakym-vyznacheno-rozroblennia-ta-podannia-zmin-do-deiakikh-zakoniv-ukrainy-shchodo-zaprovdzhennia-modeli-eko-industrialnoho-parku-sered-pr/?fbclid=IwAR09Gue-DD81xK12ygRePg6yeYUZ8D8FhPP-2HmOtofYtNb2F-6k-g9Yl60>. Accessed May 8, 2025.

Campo S, Serdyuk V., 2024. Industrial parks: from concept to creation. *Yurydychna gazeta*. Iss. 1 (779). (In Ukrainian). <https://yur-gazeta.com/publications/practice/inshe/industrialni-parki-vid-koncepciyi-do-stvorennia.html>. Accessed May 9, 2025.

Kleshchov A. Why does Ukraine need eco-industrial parks? 2022. *Economichna Pravda*. (In Ukrainian). <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/07/14/689172/>. Accessed April 30, 2025.

Martynova L. V., Voronko O. I., 2020. Economic and legal aspects of the activity of eco-industrial parks in Ukraine. *Actual problems of law: theory and practice*. Iss. 1 (39). Pp. 81–90. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.33216/2218-5461-2020-39-1-81-90>.

International framework provisions on eco-industrial parks. Version 2.0. 2021. (In Ukrainian). <https://geipp-ukraine.org/wp-content/uploads/2021/08/Mizhnarodni-ramkovi-polozhennia-pro-EIP.pdf>.

Negoda Yu.O., Golub G. I., Shpak O. M., 2014. Assessment of subsurface contamination with petroleum products and heavy metals within the Olexandria State Arboretum (Bila Tserkva). *Proceedings of the International scientific and practical conference «National natural parks: past, present, and future» for the 30th anniversary of the creation of Shatsk National Natural Park (Svityaz, April 23–25, 2014)*. Pp. 168–172. (In Ukrainian).

Ognianik N. S., Paramonova N. K., Bricks A. L., 2013. Ecological and hydrogeological monitoring of territories of subsurface contamination with light petroleum products. Kyiv, LAT&K. (In Russian).

Pylypiv I., 2023. 70 industrial parks have already been created in Ukraine — Shmyhal. *Economichna Pravda*. (In Ukrainian). <https://www.epravda.com.ua/news/2023/10/29/705993/>. Accessed May 14, 2025.

Pleskach L. Ya., 2004. Pollution of ponds of the Olexandria Arboretum and its effect on the state of vegetation. *Introduction of plants*. Iss. 2. Pp. 80–89. (In Ukrainian).

On approval of the Strategy for Development of Industrial Parks for 2023–2030. 2023. Official portal of the Verkhovna Rada of Ukraine. (In Ukrainian). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-2023-%D1%80#Text>. Accessed May 15, 2025.

Development of a draft national standard, which will determine a sustainability criteria for eco-industrial parks, has begun. 2024. All-Ukrainian public organization “Living Planet”. (In Ukrainian). <https://livingplanet.org.ua/novuny/rozpochata-rozrobka-proektu-natsionalnogo-standartu-yakij-viznachatime-kriteriji-stalosti-eko-industrialnikh-parkiv>. Accessed May 20, 2025.

Creation of an eco-industrial park in Bila Tserkva will become a case of successful functioning of BCAC industrial site — Mayor Gennady Dyky. 2019. Bila Tserkva: official website of the city

kabinet-ministriv-ukrainy-opryliudnyv-rozporiadzhennia-221-riakym-vyznacheno-rozroblennia-ta-podannia-zmin-do-deiakikh-zakoniv-ukrainy-shchodo-zaprovdzhennia-modeli-eko-industrialnoho-parku-sered-pr/?fbclid=IwAR09Gue-DD81xK12ygRePg6yeYUZ8D8FhPP-2HmOtofYtNb2F-6k-g9Yl60. Дата звертання 8 травня 2025.

Кампо С, Сердюк В. Індустріальні парки: від концепції до створення. *Юридична газета*. 2024. № 1 (779). <https://yur-gazeta.com/publications/practice/inshe/industrialni-parki-vid-koncepciyi-do-stvorennia.html>. Дата звертання 9 травня 2025.

Клещов А. Навіщо Україні еко-індустріальні парки. 2022. *Економічна правда*. <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/07/14/689172/>. Дата звертання 30 квітня 2025.

Мартінова Л. В., Воронько О. І. Економіко-правові аспекти діяльності еко-індустріальних парків в Україні. *Актуальні проблеми права: теорія і практика*. 2020. № 1 (39). <https://doi.org/10.33216/2218-5461-2020-39-1-81-90>.

Міжнародні рамкові положення про еко-індустріальні парки. Версія 2.0. 2021. 83 с. <https://geipp-ukraine.org/wp-content/uploads/2021/08/Mizhnarodni-ramkovi-polozhennia-pro-EIP.pdf>.

Негода Ю. О., Голуб Г. І., Шпак О. М. Оцінка забруднення геологічного середовища нафтопродуктами та важкими металами в районі державного дендропарку «Олександрія» (м. Біла Церква). *Національні природні парки — минуле, сьогодення, майбутнє: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції до 30-річчя створення Шацького НПП (Світязь, 23–25 квітня 2014 р.)*. Київ: ЦП «КОМПРИНТ». 2014. С. 168–172.

Огняник Н. С., Парамонова Н. К., Брикс А. Л. Эколого-гидрогеологический мониторинг территорий загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами. Киев: LAT&K, 2013. 254 с.

Пилипів І. В Україні вже створено 70 індустріальних парків — Шмигаль. 2023. *Економічна правда*. <https://www.epravda.com.ua/news/2023/10/29/705993/>. Дата звертання 14 травня 2025.

Плескач Л. Я. Забруднення водойм дендропарку Олександрія та його вплив на стан рослинності. *Інтродукція рослин*. 2004. № 2. С. 80–87.

Про схвалення Стратегії розвитку індустріальних парків на 2023–2030 роки. 2023. Офіційний портал Верховної Ради України. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-2023-%D1%80#Text>. Дата звертання 15 травня 2025.

Розпочата розробка проєкту національного стандарту, який визначатиме критерії сталості еко-індустріальних парків. 2024. Всеукраїнська громадська організація “Жива Планета”. <https://livingplanet.org.ua/novuny/rozpochata-rozrobka-proektu-natsionalnogo-standartu-yakij-viznachatime-kriteriji-stalosti-eko-industrialnikh-parkiv>. Дата звертання 20 травня 2025.

Створення еко-індустріального парку в Білій Церкві стане взірцем успішного функціонування промислового майданчика «БВАК» — міський голова Геннадій Дикий. 2019. Біла

council and its executive bodies (in Ukrainian). <https://bc-rada.gov.ua/node/10458>. Accessed May 21, 2025.

Shpak O. M., Havryliuk R. B., Lohvynenko O. I., Zapolskiy I. M., 2023. Assessment of the impact of groundwater table fluctuations on the transformation of subsurface contamination with petroleum products. *Geologičnij žurnal*. Iss. 2. Pp. 40–57. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.2.273586>.

Bilyaminu A. M., Rene E. R., Pandey A., Babel S., Clement Q. B., James A., Hernande H. G., 2024. Industrial symbiosis and eco-industrial transformation opportunities for environmental protection in Nigeria. *Sustainable Production and Consumption*. Vol. 49. Pp. 219–235. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.06.010>.

Brears R. C., 2023. Industrial symbiosis and wastewater: exploring the success of Kalundborg eco-industrial park. Medium. <https://medium.com/mark-and-focus/industrial-symbiosis-and-wastewater-exploring-the-success-of-kalundborg-eco-industrial-park-631329cf86df>. Accessed April 29, 2025.

Bricks A. L., Gavryliuk R. B., Negoda Y. O., 2020. Hazard of petrochemical pollution of ponds of the «Olexandria» arboretum (Bila Tserkva). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. Vol. 29. Iss. 2. Pp. 243–251. DOI: 10.15421/112022.

Dick van Beers, Tyrkko K., Flammini A., Barahona C., Susan C., 2020. Results and Lessons Learned from Assessing 50 Industrial Parks in Eight Countries against the International Framework for Eco-Industrial Parks. *Sustainability*. Iss. 12 (24), 10611. <https://doi.org/10.3390/su122410611>.

Dolgen D., Alpaslan M. N., 2020. Eco-Industrial Parks: Experiences from Turkey. Case Report. *Global Journal of Ecology*. Iss. 5 (1). Pp. 30–32. DOI: <https://dx.doi.org/10.17352/gje>.

Eco-industrial parks in emerging and developing countries. 2014. ACADEMIA. <https://www.academia.edu/35810438/>. Accessed April 14, 2025.

Gao C., Gao C., Song K., Ye Z., Dong J., 2019. Regional water ecosystem risk assessment based on GIS and pollutant diffusion model: A case study of Shenzhen eco-industrial park. *Process Safety and Environmental Protection*. Vol. 130. Pp. 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.004>.

Global assessment of eco-industrial parks in developing and emerging countries. 2016. UNIDO Report. https://www.unido.org/sites/default/files/2017-02/2016_Unido_Global_Assessment_of_Eco-Industrial_Parks_in_Developing_Countries-Global_RECP_programme_0.pdf.

Implementation handbook for eco-industrial parks. 2017. UNIDO. <https://geipp-ukraine.org/implementation-handbook-for-eco-industrial-parks/>.

Industrial park water stewardship implementation guidance. 2019. WWF Report. https://www.wwfchina.org/content/press-publication/2019/WWF%20IP%20WS%20Guidance_EN.pdf.

Havryliuk R. B., Shpak O. M., Negoda Y. O., Lohvynenko O. I., Nikitash O. G., 2022. Study of environment contamination with petroleum products in the region of Bila Tserkva eco-industrial park. *Proceedings of 16th International Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological*

Церква: офіційний сайт міської ради та її виконавчих органів. <https://bc-rada.gov.ua/node/10458>. Дата звертання 21 травня 2025.

Шпак О. М., Гаврилюк Р. Б., Логвиненко О. І., Запольський І. М. Оцінка впливу коливань рівня ґрунтових вод на трансформацію нафтопродуктового забруднення підземного середовища. *Геологічний журнал*. 2023. № 2 (383). С. 40–57. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.2.273586>.

Bilyaminu A. M., Rene E. R., Pandey A., Babel S., Clement Q. B., James A., Hernande H. G. Industrial symbiosis and eco-industrial transformation opportunities for environmental protection in Nigeria. *Sustainable Production and Consumption*. 2024. 49. 219–235. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.06.010>.

Brears R. C. Industrial symbiosis and wastewater: exploring the success of Kalundborg eco-industrial park. 2023. Medium. <https://medium.com/mark-and-focus/industrial-symbiosis-and-wastewater-exploring-the-success-of-kalundborg-eco-industrial-park-631329cf86df>. Дата звертання 29 квітня 2025.

Bricks A. L., Gavryliuk R. B., Negoda Y. O. Hazard of petrochemical pollution of ponds of the «Olexandria» arboretum (Bila Tserkva). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2020. № 29 (2). С. 243–251. DOI: 10.15421/112022.

Dick van Beers, Tyrkko K., Flammini A., Barahona C., Susan C. Results and Lessons Learned from Assessing 50 Industrial Parks in Eight Countries against the International Framework for Eco-Industrial Parks. *Sustainability*. 2020. 12 (24), 10611. <https://doi.org/10.3390/su122410611>.

Dolgen D., Alpaslan M. N. Eco-Industrial Parks: Experiences from Turkey. Case Report. *Global Journal of Ecology*. 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.17352/gje>.

Eco-Industrial Parks in Emerging and Developing Countries. ACADEMIA. 2014. <https://www.academia.edu/35810438/>. Дата звертання 14 квітня 2025.

Gao C., Gao C., Song K., Ye Z., Dong J. Regional water ecosystem risk assessment based on GIS and pollutant diffusion model: A case study of Shenzhen eco-industrial park. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019. Vol. 130. P. 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.004>.

Global assessment of eco-industrial parks in developing and emerging countries. UNIDO Report. 2016. 43 p.

Implementation handbook for eco-industrial parks. UNIDO, 2017.

Industrial park water stewardship implementation guidance. WWF Report. 2019. 54 p.

Havryliuk R. B., Shpak O. M., Negoda Y. O., Lohvynenko O. I., Nikitash O. G. Study of environment contamination with petroleum products in the region of Bila Tserkva eco-industrial park // *Proceedings of 16th International Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition*

Condition of the Environment. Vol. 2022. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580153>.

Madanhire I., Mupaso T., 2018. Industrial area into eco-industrial park (EIP). Case study of Harare. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Washington DC, USA, September 27–29, 2018*. Pp. 977–987.

Melnychenko A., Shevchuk N., Babiy I., Blyznyiuk T., Akimova O., 2022. Transformation of industrial parks in the direction of providing of the purposes achievement of sustainable development. *International Journal of Computer Science and Network Security*. Vol. 22. Iss. 1. Pp. 7–14. DOI: 10.22937/IJCSNS.2022.22.1.2.

Pasichna O. O., Gorbatiuk L. O., Platonov M. O., Burmistrenko S. P., Nezbyrska I. M., Godlevska O. O., Vitovetska T. V., 2024. Pollutants and their potential toxicity in the water bodies of the «Oleksandriya» arboretum (Ukraine). *Hydrobiological Journal*. Vol. 60. Iss. 1. Pp. 69–83. DOI: 10.1615/HydrobJ.v60.i1.50.

Perrucci D. V., Aktaş C. B., Sorentino J., Akanbi H., Curabba J., 2022. A review of international eco-industrial parks for implementation success in the United States. *City and Environment Interactions*. Vol. 16, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2022.100086>.

Son C. H., Oh D., Ban Y. U., 2023. Eco-industrial development strategies and characteristics according to the performance evaluation of eco-industrial park projects in Korea. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 416. Iss. 1, 137971. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137971

Veiga Elabras L. B., Magrini A., 2010. Eco-industrial parks in Rio de Janeiro State, Brazil: a proposal for brownfield revitalization. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. Vol 141. Pp. 195–205. DOI: 10.2495/BF100171.

Water stewardship for sustainable water management: standard operating procedures for industrial parks. 2022. https://www.industrialefficiency.co.za/wp-content/uploads/2022/07/Water-Stewardship-SOP_June-amended.pdf.

Wu J., Nie X., Wang H., Li W., 2023. Eco-industrial parks and green technological progress: Evidence from Chinese cities. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 189, 122360. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122360>.

Wu S., Xiang Z., Lin D., Zhu L., 2023. Multimedia distribution and health risk assessment of typical organic pollutants in a retired industrial park. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. Vol. 17. Iss. 11: 142. <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1742-9>.

WWF Risk Filter Suite v2.0. 2025. <https://riskfilter.org>. Accessed April 16, 2025.

Yang X., Du J., Jia C., Yang T., Shao S., 2024. Groundwater pollution risk, health effects and sustainable management of halocarbons in typical industrial parks. *Environmental Research*. Vol. 250. Iss. 1, 118422. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118422>.

of the Environment. Nov 2022. Vol. 2022. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580153>.

Madanhire I., Mupaso T. Industrial area into eco-industrial park (EIP). Case study of Harare. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Washington DC, USA, September 27–29, 2018*. P. 977–987.

Melnychenko A., Shevchuk N., Babiy I., Blyznyiuk T., Akimova O. Transformation of Industrial Parks in the Direction of Providing of the Purposes Achievement of Sustainable Development. *International Journal of Computer Science and Network Security*. January 2022. Vol. 22, No.1. P. 7–14.

Pasichna O. O., Gorbatiuk L. O., Platonov M. O., Burmistrenko S. P., Nezbyrska I. M., Godlevska O. O., Vitovetska T. V. Pollutants and their potential toxicity in the water bodies of the «Oleksandriya» arboretum (Ukraine). *Hydrobiological Journal*. 2024. Vol. 60. Iss. 1. P. 69–83. DOI: 10.1615/HydrobJ.v60.i1.50.

Perrucci D. V., Aktaş C. B., Sorentino J., Akanbi H., Curabba J. A review of international eco-industrial parks for implementation success in the United States. *City and Environment Interactions*. 2022. Vol. 16, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2022.100086>.

Son C. H., Oh D., Ban Y. U. Eco-industrial development strategies and characteristics according to the performance evaluation of eco-industrial park projects in Korea. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 416. Iss. 1, 137971.

Veiga Elabras L. B., Magrini A. Eco-industrial parks in Rio de Janeiro State, Brazil: a proposal for brownfield revitalization. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2010. Vol. 141. P. 195–205.

Water stewardship for sustainable water management: standard operating procedures for industrial parks. https://www.industrialefficiency.co.za/wp-content/uploads/2022/07/Water-Stewardship-SOP_June-amended.pdf.

Wu J., Nie X., Wang H., Li W. Eco-industrial parks and green technological progress: Evidence from Chinese cities. *Technological Forecasting and Social Change*. April 2023. Vol. 189, 122360. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122360>.

Wu S., Xiang Z., Lin D., Zhu L. Multimedia distribution and health risk assessment of typical organic pollutants in a retired industrial park. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. 2023. Vol. 17. Iss. 11: 142. <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1742-9>.

WWF Risk Filter Suite v2.0. 2025. <https://riskfilter.org>. Дата звертання 16 квітня 2025.

Yang X., Du J., Jia C., Yang T., Shao S. Groundwater pollution risk, health effects and sustainable management of halocarbons in typical industrial parks. *Environmental Research*. 2024. Vol. 250. Iss. 1, 118422. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118422>.

Manuscript received March 20, 2025;
revision accepted May 24, 2025.

Інститут геологічних наук НАН України,
Київ, Україна