

ISSN: 2707-7993

№4 / 2023

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ





НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ ОБ'ЄДНАННЯ
«ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ»

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

№4, 2023

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Виходить 2 рази на рік

Заснований у 2019 році

Редакційна колегія:

Головний редактор

Улицький Олег Андрійович
Доктор геологічних наук

Науковий редактор

Машков Олег Альбертович
Доктор технічних наук

Редакційна колегія:

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

Літературний редактор (англійська мова)

Іващенко Катерина Тарасівна

Відповідальний редактор, науковий співробітник

Гуленко Олена Борисівна

ЗАСНОВНИК:

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

Науковий парк «ЧОРНОБИЛЬ»

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

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

ISSN: 2707-7993

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

Рекомендовано до друку науково-технічною радою
Корпорації «Науково-виробниче об'єднання «Технології
захисту довкілля»». Підписано до друку 05.07.2023 р.

Адреса редакції:

Вул. Вознесенський узвіз 10а, прим. 602. М. Київ, 04055

Тел: +380980625787

(контактна особа-Печений Володимир)

Corporation_office@ukr.net

<https://ecocorptzd.com.ua>

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

Видавництво ТОВ «Основа»

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи

до Державного реєстру видавців

ДК №1981 від 21.10.2004 р.

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

Тел.: (044) 584-38-97, 584-38-95(96).

Формат 60x84/8

Наклад 100 прим.

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

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

Відповідальність за добір і викладення фактів несуть автори.

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

ЗМІСТ

Степова О.В., Степовий Є.Б.	БІОКОРОЗІЙНА АКТИВНІСТЬ ҐРУНТІВ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	3
Улицький О.А., Риженко Н.О., Похил Ю.Г., Коротецький В.П.	ЯКІСНИЙ СКЛАД ПОВЕРХНЕВИХ ВОД КРИВОРІЗЖЯ ТА УТВОРЕННЯ ГІДРОХІМІЧНИХ ПОТОКІВ В УМОВАХ ТЕХНОГЕНЕЗУ	10
Машков О.А., Іващенко Т.Г., Мухіна К.Є., Печений В.Л.	ІНТЕГРАЦІЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ: ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ	20
Проскурнін О.А., Цапко Н.С. Василенко С.Л.	АНАЛІЗ ВПЛИВУ СКИДАННЯ СТИЧНИХ ВОД У ВОДОЙМИЩЕ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ВОДОПРИЙМАЧА З ПОЗИЦІЇ МОЖЛИВОГО ЙОГО ЕВТРОФУВАННЯ	28
Ольховик Ю.О., Бондар Ю.В., Азаров І.С.	АЛЬТЕРНАТИВНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЯДЕРНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	35
Нонік Л.Ю., Пацева І.Г., Пічкур Т.В.	РОЗРОБЛЕННЯ СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ РУЙНАЦІЙ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ	40
Донцова Т.А.	ПОРІВНЯННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕМОДИФІКОВАНИХ ТА МОДИФІКОВАНИХ SnO ₂ ПОРОШКІВ, СИНТЕЗОВАНИХ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ	47
Оводенко Т.С., Покшевницька Т.В., Смоляр В.В.	МЕТОДИКА ОЦІНКИ ВПЛИВУ ПЛАНОВАНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ	56
Кірейцева Г.В., Циганенко- Дзюбенко І.Ю., Пацева І.Г., Демчук Л.І., Палій О.В.	ОЦІНКА ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПОЛІЕТИЛЕНОВОЇ ПЛІВКИ ТА ЇЇ ЕНВАЙРОМЕНТОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ	63
Клименко А. О. , Матвієнко М.Г.	ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА УЧНІВ ЯК ВАЖЛИВА ПЕРЕДУМОВА ФОРМУВАННЯ СУСПІЛЬСТВА ПІД ЧАС ЕКОЛОГІЧНОЇ КРИЗИ	70
Громова І.Ю., Делікатна Н.М.	ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ЗДІЙСНЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО АУДИТУ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ НА ПІДПРИЄМСТВІ	76
Седміров Є.А., Клименко А.О., Матвієнко М.Г.	ПРИДАТНІСТЬ ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ ҐРУНТІВ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	82
Лубенська Н.О., Бондар О.І., Дятел О.О.	ДОСВІД РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ ЗЕМЛІ ПІВНІЧНИЙ РЕЙН-ВЕСТФАЛІЯ З ПОЗИЦІЇ ДЕРЖАВНО- ГРОМАДСЬКОГО ПАРТНЕРСТВА	88

УДК 622.4.076:620.197.6

БІОКОРОЗІЙНА АКТИВНІСТЬ ҐРУНТІВ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Степова О.В., Степовий Є.Б.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
просп. Першотравневий, 24, м. Полтава, 36011
alenastepovaja@gmail.com

Одним із негативних чинників, які підвищують екологічні ризики виникнення надзвичайних ситуацій пов'язаних із забрудненням ґрунтів, водою, та атмосферного повітря, є зовнішні біокорозійні процеси сталевих нафтопроводів. В статті представлені результати аналізу та оцінювання впливу індикаторів біокорозійної активності ґрунтів Полтавської області на зовнішню поверхню сталевих нафтопроводів задля можливості своєчасного контролю біокорозійних процесів. Об'єктом досліджень є біокорозійна активність ґрунтів. Предметом дослідження є вплив чинників на процеси зовнішньої біокорозії діючих сталевих нафтопроводів. Для досягнення поставленої мети розв'язувались такі завдання як: аналіз ґрунтових умов експлуатації нафтопроводів регіону; встановлення критеріїв біокорозійної активності ґрунтів; картографічна інтерпретація показників біокорозійної активності ґрунтів, визначення деяких індикаторів та їх динаміки. Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: встановлено та обґрунтовано індикатори біокорозійної активності ґрунтів Полтавщини; побудовано карту біокорозійної активності ґрунтів; встановлено потенційно небезпечні райони щодо можливості протікання біокорозійних процесів. Практичне значення результатів роботи полягає в отриманні результатів, що дозволить більш точно оцінити реальні умови експлуатації нафтопроводів в ґрунтах. Це дає змогу прогнозувати реальні строки роботи конструкції, а також переглянути режим експлуатації та зменшити екологічні ризики через недопущення аварійних розливів нафти.

Результати даної статті комплексно з іншими дослідженнями дозволяють вчасно запобігти потенційним екологічним загрозам внаслідок біоко-

розійних процесів трубопроводів та обладнання при транспортуванні нафти (нафтопродуктів), що уможливить розробити заходи по запобіганню виникнення шкідливих впливів при розгерметизації нафтопроводів.

Ключові слова: екологічна безпека, біологічна корозія, мікроорганізми, індикатори біокорозії.

Biocorrosion activity in the soils of poltava region. Stepova O., Stepovyi Ye.

External biocorrosive processes in steel oil pipelines are one of the factors increasing the pollution of soils, water bodies, and atmospheric air. This article presents the assessment of the biocorrosive activity in the soils of the Poltava region and the effect it has. This research strives to aid the timely control of biocorrosive processes. The object of the research is the biocorrosive activity in soils. The subject is the processes of external biocorrosion on the operating steel oil pipelines. In order to achieve the set goal, the following tasks were solved: analyzing the soil conditions in which oil pipelines in the region operate; establishing the criteria for biocorrosive activity of soils; cartographic interpretation of biocorrosive activity in soils; determining some of the indicators and their dynamic. The scientific novelty of the obtained results is as follows: the indicators of biocorrosive activity in the soils of the Poltava region have been established and substantiated; a map of soil biocorrosion activity was constructed; potentially dangerous areas in regards to biocorrosive processes have been identified. The practical significance of the results of this work lies in the obtained results, which will allow a more accurate assessment of the real operating conditions of the oil pipelines in soils. This research will help

predict the real longevity of the structure, as well as review the operating mode and reduce environmental risks by preventing accidental oil spills.

The results of this article, combined with other studies, will make it possible to timely prevent potential environmental threats due to biocorrosive processes during the transportation of oil (petroleum products), which will make it possible to develop measures to prevent the occurrence of harmful effects during depressurization of oil pipelines.

Keywords: environmental safety, biological corrosion, microorganisms, indicators of biocorrosion.

Постановка проблеми

Серед основних екологічних проблем, пов'язаних з функціонуванням нафтогазової галузі, вітчизняні науковці виділяють транспортування нафти й газу, а також вирішення проблеми екологічної безпеки під час експлуатаційних робіт [1]. Цей напрям ґрунтується на недопущенні екологічних аварій та катастроф, пов'язаних з експлуатацією трубопровідного транспорту. Аналіз причин ушкоджень нафтопроводів вказує на те, що найбільш частою причиною виходу з ладу промислового обладнання є корозія, зокрема біокорозія сталевих труб [2]. Також, окремі методи оцінювання біокорозійного стану нафтопроводів побудовані на врахуванні процесів корозії сталі, які представлені емпіричними формулами, що не пов'язуються з наявністю пошкоджень в ізоляційних покриттях, наявних електролітів, тощо. Коректні оцінки корозійного стану нафтопроводів можливо отримати виключно на вивчення самого процесу корозії та його впливу на опір конструкції.

Актуальність дослідження. У процесі тривалої експлуатації підземних нафтопроводів формується екологічна небезпека, зумовлена розгерметизацією трубопроводів, витоків вуглеводнів та забруднення всіх компонентів довкілля: атмосферного повітря, водного середовища та ґрунтів. Магістральні нафтопроводи експлуатуються переважно під землею, тому вони підлягають впливу підземної корозії (біокорозія).

Для запобігання забруднення навколишнього середовища при експлуатації нафтопроводів необхідно оцінювати умови експлуатації конструкції та шляхом встановлення індикаторів

можливості біокорозії, здійснення моніторингу корозійної, біокорозійної активності ґрунтів та врахування закономірностей біокорозійних процесів на поверхні труб для оцінювання їх довговічності.

Біологічна корозія нафтопроводів є одним з найбільш небезпечних видів корозії, яку спричиняють бактерії, що утворюють біоплівки на поверхні труби, що спричиняє їх біопошкодження.

Найвідчутніше на корозію металу в підземному середовищі впливають сіркобактерії - тіонові та сульфатвідновлювальні.

Умови для розвитку біокорозії в ґрунтах в умовах техногенезу існують завжди, тому розроблення заходів запобігання розгерметизації нафтопроводів, а отже й запобігання забрудненню довкілля це актуальне питання сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питаннями безпеки експлуатації, у тому числі екологічної безпеки сталевих нафтопроводів, займалися такі вчені, як: Андрейків О.Є., Герасименко Ю.С., Грабовський Р.С., Дмитрах І.М., Ждек А.Я., Іваницький Я.Л., Клименко А.В., Крижанівський Є.І., Лобанов Л.М., Никифорчин Г.М., Побережний Л.Я., Скальський В.Р., Федірко В.М. та інші. Проте, в їхніх роботах недостатньо було приділено питанню саме запобігання ризиків забруднення довкілля, внаслідок зовнішніх корозійних процесів сталевих нафтопроводів, зокрема біокорозійних. Біопошкодження знижують довговічність та збереження техніки і споруд, завдають істотних економічних й екологічних збитків. Тому останніми роками корозія металевих та неметалевих матеріалів виявилася об'єктом дослідження ще й мікробіологів, а не тільки електрохіміків і матеріалознавців. Вплив біологічного чинника в корозії металів та неметалевих матеріалів важко переоцінити, адже мікробному руйнуванню піддається майже все, що нас оточує: метал, бетон, скло, камінь, гума, шкіра, асфальт, текстиль, пластмаси тощо [3]. Біологічна корозія, залежно від виду мікроорганізмів, поділяється на бактеріальну, мікробіологічну або змішану [4].

Для розвитку деяких видів бактерій необхідні специфічні умови, а саме: температура, вологість, рН, Eh, присутність чи відсутність інших бактерій тощо. Зарубіжні вчені дослідили, що СВБ-ко-

розія (сульфатвідновлювальні бактерії) є серйозною проблемою, що роз'єдналася у нейтральному ґрунтовому розчині, а також визначили, що корозію сталі прискорює СВБ під роз'єднаним покриттям у кислому ґрунтовому розчині [5, 6].

Вперше корозійне руйнування металу в ґрунті під дією СВБ виявили голландські вчені [7]. Вони звернули увагу на активність СВБ у прилеглому до труби ґрунті, яка була під катодним захистом. Саме так виникла гіпотеза катодної деполяризації бактеріями як механізму корозії в анаеробних умовах траншеї газопроводу. В подальшому цей механізм підтвердили багато інших науковців [8]. Зокрема, мікробіологічні дослідження зразків ґрунтів з траншеї трансконтинентальних газопроводів виявили значну кількість СВБ на поверхні масиву труби [9]. Отже, залізовмісні конструкції, які кородують, створюють відповідні умови для росту таких бактерій.

Нині встановлений наявний вплив мікроорганізмів на корозійні процеси сталі, проте універсальної залежності яка оцінює швидкість біокорозійного процесу поки що не має.

Викладення основного матеріалу

Магістральні нафтопроводи експлуатуються в природних умовах, переважно, під землею, тому вони підлягають впливу підземної корозії, яка здебільшого визначається ґрунтовою корозією. Дослідження корозійних властивостей ґрунтів в умовах експлуатації нафтотранспортної системи України, зокрема Полтавської області є особливо доречним, оскільки мережа нафтопроводів є розгалуженою, а ґрунти, в яких вони пролягають, є надзвичайно різноманітними за своїм типом, механічним складом, рН й іншими властивостями. До того ж, узагальнених праць з цього питання, зокрема для Полтавщини, не існує, а їх наявність в комплексі з іншими дослідженнями уможливить визначити потенційні небезпечні ділянки місцевості і нафтопроводів, що дозволить попередити виникнення аварійних ситуацій та негативних впливів на довкілля шляхом вчасного вжиття необхідних заходів.

Особливо небезпечною є біокорозія зовнішньої поверхні нафтопроводів. Умови для її виникнення є постійно. Техногенне забруднення води, повітря, ґрунту, широке використання штучних матеріалів веде до заселення нових екологічних

ніш або до змін в структурах мікробних ценозів, що впливає на техногенез. Такими антропогенними нішами є - нафтопроводи.

Практично все, що знаходиться на Землі, піддається впливу мікроорганізмів - сталь, бетон, скло, дерево, каміння, тощо. Тому проблема біопшкоджень і, зокрема, біокорозії, досягла в наш час небувалих розмірів.

Ґрунт становить складну гетерогенну систему. Неоднорідність ґрунту за якісними показниками обумовлює відповідний вплив на процес корозії, але конкретні залежності між характеристиками ґрунту і швидкістю корозії є відносними, оскільки на ґрунтову корозію діє багато факторів одночасно.

В ґрунтовому середовищі є всі умови для існування різноманітних мікроорганізмів. Життєдіяльність деяких мікроорганізмів сприяє розвитку та протікання корозійних процесів на зовнішній поверхні нафтопроводів, тобто відбувається біокорозія. Мікроорганізми використовують метал як джерело живлення або виділяють продукти життєдіяльності які його руйнують. З мікроорганізмів, що беруть участь у процесах корозії, велику роль відіграють сульфатвідновлюючі бактерії типу *Sporovibrio desulfuricans* (найбільш поширені у природі), тіосульфатоокиснючі типу *Thiobacillus thioparus*, сіркобактерії типу *Thiobacillus thiooxidans*, залізоспоживаючі типу *Gallionella ferruginea*, водозв'язуючі типу *Hydrogenomonas flava*, залізні бактерії типу *Crenothrix* і *Leptothrix* і нітратовідновлюючі типу *Thiobacillus denitrificans*.

Ґрунтовий покрив Полтавської області, зумовлений помірним континентальним кліматом, лісовою та степовою рослинністю, різноманітністю рельєфу, ґрунтового зволоження та має територіальні відмінності, що дає підстави виділити чотири ґрунтово-кліматичні зони. Ґрунтовий покрив Полтавщини досить строкатий: виділяють 13 типів та 20 підтипів ґрунтів. Найбільш поширеними в області є різні види чорноземів (майже 2/3 території області, 93 %) і опідзолені ґрунти (сірі лісні, 2,6 %). Серед чорноземів основними є чорноземи типові та звичайні мало- і середньогумусні на лесових породах (59,5 %) [10].

Розгляд лише типів ґрунтів засвідчує, що на Полтавщині є умови для розвитку й протікання біокорозійних процесів на нафтогазопроводах. Це зумовлює необхідність проведення досліджень біокорозійної активності ґрунтів області.

Основою для визначення ступеня біокорозійної активності ґрунту були вибрані рН, вологість та повітропроникність ґрунту, вміст сульфатів, нітратів та хлоридів, наявність яких забезпечує життєдіяльність мікроорганізмів.

Активна життєдіяльність бактерій можлива лише в умовах достатнього зволоження, тому вологість ґрунтів це важливий індикатор біокорозійної активності ґрунтів. При мінімальній вологості ґрунту швидкість корозії невелика. З підвищенням вологи до 10-12 % швидкість корозії зростає внаслідок збільшення інтенсивності роботи корозійних елементів, зменшення їх опору

При такій вологості насичення ґрунту водою ще не досягає максимуму, зберігається можливість доступу кисню до металу, яка необхідна для підтримання деполяризації і забезпечення постійної швидкості корозії.

Після вказаної межі настає таке насичення ґрунту водою, при якому утворюється суцільний її шар, що різко уповільнює доступ кисню до металу, тому і швидкість корозії знижується через усунення деполяризації.

Нафтопроводи Полтавської області також перетинають водні середовища: водосховища та річки (рис. 1).

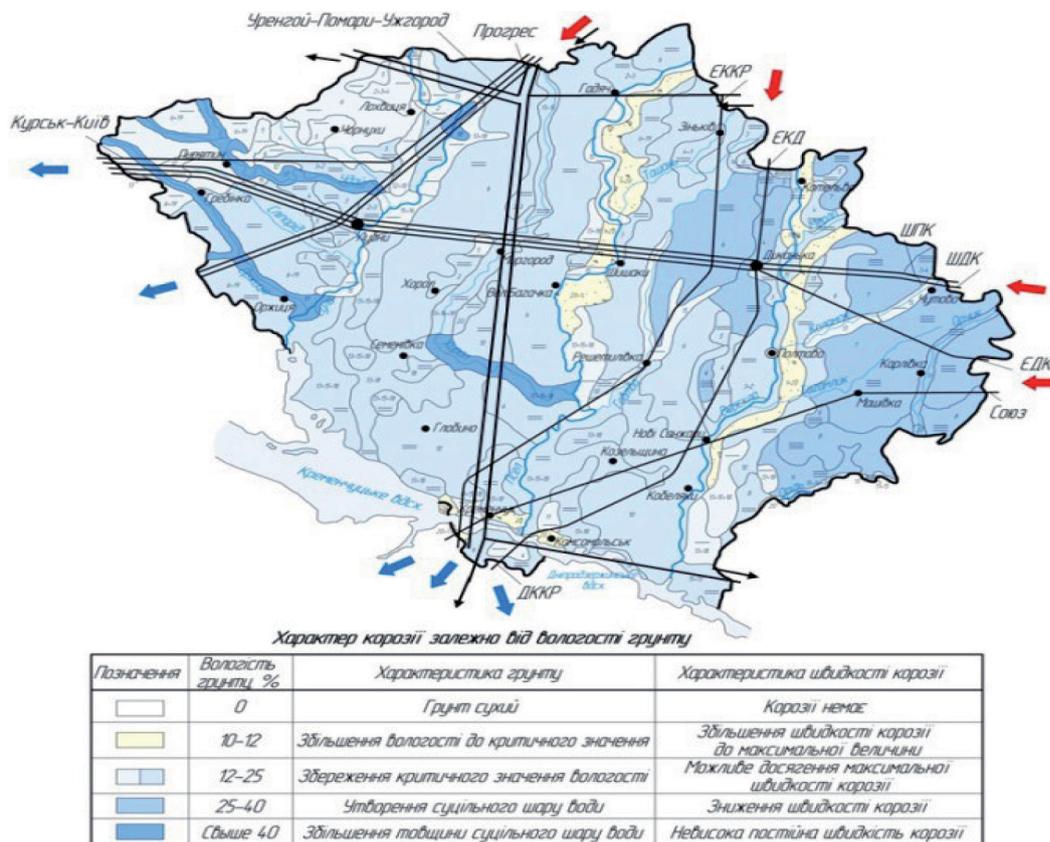


Рисунок 1 – Карта біокорозійної активності ґрунтів Полтавської області з врахуванням їх вологості

і збільшення їх розміру. Гранична вологість, що забезпечує максимальну швидкість корозії, залежить від природи ґрунту: для глини і суглинків – близько 10-12 %, для піску – нижче.

Якщо відсоток вологості перевищує зазначену цифру, то максимальна величина швидкості корозії не змінюється до деякої межі. Згідно з роботами Соловійова А.В., Негреєва В.Ф. і Аллахвердієва Г.А. такою межею можна вважати 20-25 %.

Картографічна інтерпретація біокорозійної активності ґрунтів Полтавської області, демонструє, що більшість території області відноситься до ґрунтів з помірною біокорозійною активністю за індикатором вологість, проте є ділянки нафтопроводів, які експлуатуються в умовах підвищеної біокорозійної активності ґрунтів за зазначеним індикатором.

Властивість ґрунтів, зумовлена присутністю в

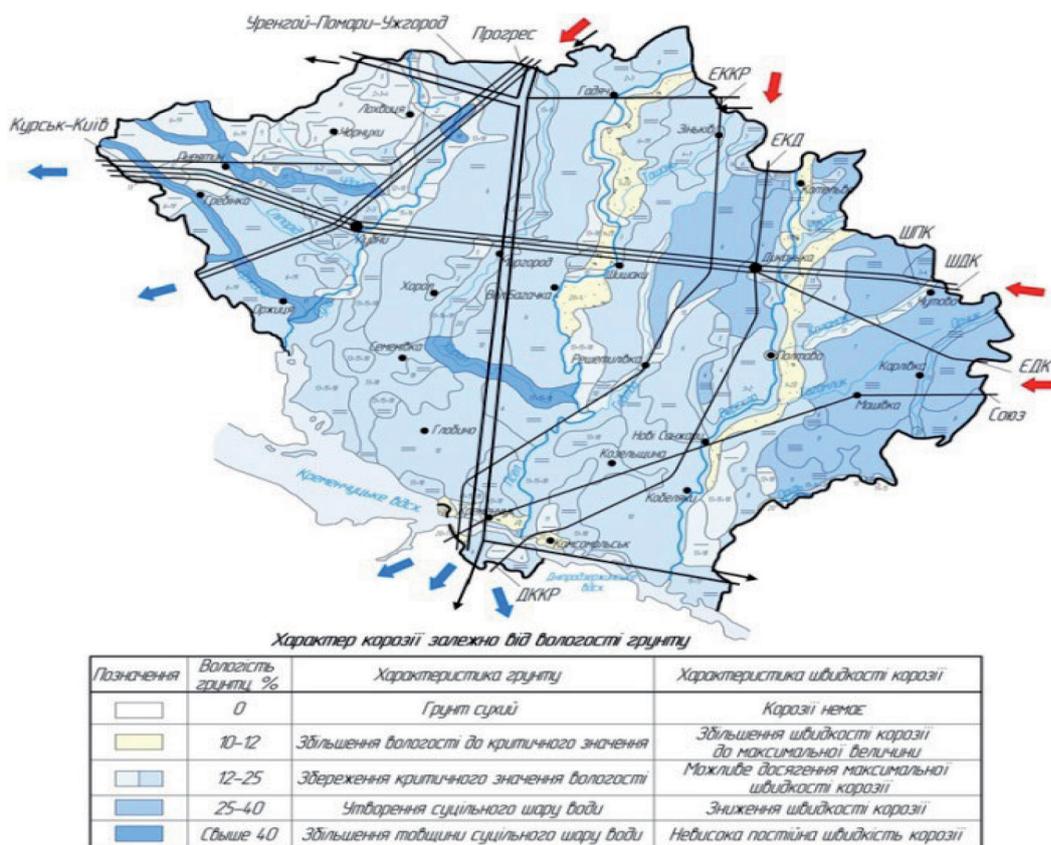


Рисунок 2 – Карта корозійної активності ґрунтів Полтавської області з урахуванням рН і вмісту хлорид-іонів у ґрунті

ґрунтовому розчині водневих іонів; представляється через рН. Від реакції середовища залежить активність ферментів, яка є основою біохімічної активності мікробів. Сірководневі бактерії добре розвиваються в кислому середовищі.

В ґрунтах рН коливається від 3,5 (верхові торф'яники) до 8-9 (солончаки і солонці). Сильно кислі ґрунти мають рН 3,5-4,0, кислі – 4,0-5,0, слабо кислі – 5,0-6,0, нейтральні – 6,0-7,0, лужні – 7,0-8,0, сильнолужні – 8,0-8,5.

Для ґрунтових умов Полтавщини досліджено рН ґрунти за типами ґрунту. Інтенсивна корозія може спостерігатися при різних значеннях рН: у кислих ґрунтах з рН 3-4, в лужних з рН до 14 і в нейтральних з рН = 7. Однак при високих показниках кислотності (рН = 2-3) і лужності (рН = 11-14) завжди спостерігається інтенсивна корозія. При кислотності, близькій до нейтральної (рН = 5-8), інтенсивна корозія обумовлюється іншими факторами.

Із врахуванням оцінки корозійної активності ґрунту Тарана В.Д., Нікітенка Е. А. та Атабекова В.Б. побудовано карти корозійної активності

ґрунтів Полтавщини з врахуванням показників рН і вмісту сульфат-іонів (рис. 2).

Основна частина ґрунтів (північ, схід, захід і центр області) має підвищену корозійну активність (це чорноземи типові), південна частина, окрім правобережжя області – низьку (чорноземи звичайні, чорноземи залишково-солонцюваті, лучно-чорноземні і лучні ґрунти). Частина області на правому березі Дніпра має підвищену та високу активність ґрунту. Висока активність ґрунтів спостерігається і поблизу річок області (це дерново-підзолисті, опідзолені і торф'яні ґрунти).

Отже, корозійна активність ґрунту залежно від значення рН і вмісту хлорид-іонів у ґрунті Полтавської області, здебільшого, є підвищеною.

Корозійну активність ґрунту залежно від вмісту гумусу за типами ґрунтів показано на рис 3.

Майже по всій території Полтавської області корозійна активність ґрунтів є високою, найвищою – у торф'яних ґрунтах (у заплавах річок Удай, Оржиця і Сула). Середню корозійну активність мають опідзолені ґрунти (в основному біля річок Ворскла, Удай та Хорол), а низьку – дерно-

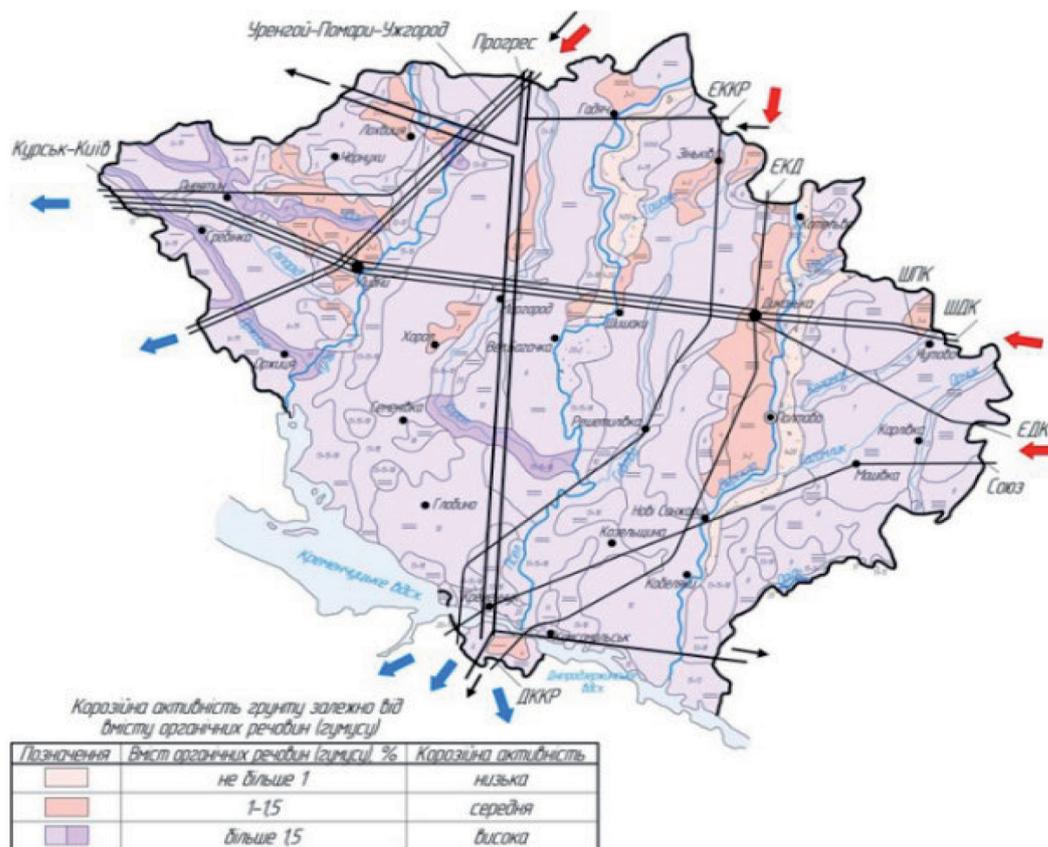


Рисунок 3 – Карта корозійної активності ґрунтів Полтавської області залежно від вмісту органічних речовин (гумусу)

во-підзолисті, піщаними за механічним складом (біля р. Псел і р. Ворскла).

Згідно чинного ДСТУ 4219-2003, виявлення наявності мікробної корозії на поверхні підземних металевих споруд полягає у визначенні концентрації сірки та заліза, електроопору в пробах ґрунту, прилеглому до підземних споруд та співвідношення цих показників. Окрім зазначених показників, суттєвий вплив на життєдіяльність сіркобактерій вносить рН ґрунту, вологість та повітропроникність.

Для аналізу зміни вологості ґрунту за глибиною проведено експериментальні дослідження відібраних проб ґрунту.

Авторами статті було визначено рН водного витягу ґрунтів, вміст SO_4^{2-} , вологість ґрунту. Відібрано проби ґрунту на території області (м. Горішні Плавні, колишні Глобинський та Зіньківський райони), на різних глибинах: 5, 25, та 60 см від поверхні землі.

Визначення вологості ґрунту проводилося термостатичним методом, сутність якого полягає у визначенні кількості води, яка видаляється з ньо-

го при висушуванні при температурі 100-105°C до постійної маси.

При вологості ґрунту 9,0% – 10,0% спостерігається поляризація анодного процесу, тобто уповільнення процесу корозії. Підвищена вологість формує сприятливі умови для життєдіяльності сіркобактерій та супроводжує деполіаризацію корозії – підвищення швидкості корозії. Отже, сприятливі умови для розвитку сіркобактерій та протікання біокорозії спостерігаються у всіх трьох випадках на глибині відбору проб 60 см. Саме на цій глибині прокладені нафтопроводи в ґрунтах.

В даній роботі визначена актуальна кислотність відібраних проб ґрунту за допомогою універсального індикатора та рН-метра марки рН-150МИ.

Одержані результати показали, що досліджений ґрунт, однорідний за кислотністю. За величиною рН ґрунти є лужними. Проте, для характеристики корозійної активності ґрунтів недостатньо оперувати тільки значенням рН, оскільки рН вказує лише на активність іонів Гідрогену в ґрунтовому розчині, але не вказує на кількісний вміст кислот в ґрунті.

В подальших дослідженнях оцінена можливість посилення корозійних процесів наявністю сульфат-іонів (SO_4^{2-}). Для цього проаналізовано водні витяжки ґрунтів на наявність SO_4^{2-} якісною реакцією з водним розчином барій хлориду. Випадання білого осаду (пооява муті) свідчило про наявність іонів SO_4^{2-} в ґрунтових пробах.

З одержаних даних видно, що сульфат-іони присутні в ґрунтових водах відібраних проб на відмітках 60 см в усіх пробах, та наявна присутність у пробах на позначці 25 см, що свідчить про наявність в ґрунтах сульфатів (можливо Na_2SO_4 , FeSO_4 , MgSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Наявність сульфат-іонів в ґрунтових водах сприяє розвитку мікробіологічної корозії підземних нафтопроводів.

В результаті проведення наукових досліджень та розв'язанні поставлених завдань зроблені наступні висновки:

1. За результатами аналізу сучасного стану науково-технічних досягнень з питань шкідливого впливу на довкілля внаслідок аварійних витоків, виявлено, що одним із небезпечних чинників є зовнішні біокорозійні процеси з наступною розгерметизації сталевих нафтопроводів і виникненням аварійних ситуацій. Наслідками зазначеного є значні екологічні збитки, що пов'язані з втратою нафтопродуктів та суттєвими забрудненнями компонентів довкілля.

2. За результатами аналізу науково-технічної літератури встановлено основні індикатори активної життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів, які сприяють біокорозійним процесам.

3. Побудовано карти ґрунтів за індикаторами їх біокорозійної активності на прикладі Полтавської області. Встановлено, що за своїми властивостями в ґрунтах Полтавщини існують всі умови для виникнення та розвитку біокорозійних процесів на зовнішніх поверхнях нафтопроводів, що значно підвищує ризики розгерметизації сталевих нафтопроводів та забруднення довкілля.

4. На основі досліджень проб ґрунту, експериментально встановлено наявність умов для розвитку біокорозійних процесів за індикаторами рН, наявність сульфатів та вологість ґрунту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Підвищення рівня екологічної безпеки трубопроводних мереж нафтогазового комплексу

України. / Побережний Л.Я, Яворський А.В, Цих В.С, Станецький А.І. // Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека».. – 2017. – №1. – С. 24–31.

2. Полутренко М.С. Мікробіологічна корозія підземних металокопункцій та способи їх захисту. / Полутренко М.С. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.. – 2012. – №4. – С. 145.

3. Микробная коррозия и ее возбудители / Андреев Е.И, Билай В.И, Ковель Э.З, Козлова И.А.. – Киев: Наукова думка, 1980. – 287 с.

4. Глазков В. И. Защита от коррозии прожженных металлических сооружений. / Глазков В. И, Зиневич А. М., Котик В. Г. – М: Недра, 1969.

5. Xu, J.; Wang, K.X.; Sun, C.; Wang, F.H.; Li, X.M.; Yang, J.; Yu, C.K. The effects of sulfate reducing bacteria on corrosion of carbon steel Q235 under simulated disbonded coating by using electrochemical impedance spectroscopy. *Corros. Sci.* 2011, 53, 1554–1562.

6. Wei, B.X.; Xu, J.; Fu, Q.; Qin, Q.Y.; Bai, Y.L.; Sun, C.; Wang, C.; Wang, Z.Y.; Ke, W. Effect of sulfate-reducing bacteria on corrosion of X80 pipeline steel under disbonded coating in a red soil solution. *J. Mater. Sci. Technol.* 2021, 87, 1–17.

7. Von Volzogen Kuhr C. A. H. and Van der Vlugt L. S. Grafication of cast-iron as an electro biological process in anaerobic soils. *Water.* 1934. 18. P. 147–165.

8. Booth G. H. Sulfur bacteria in relation to corrosion. *J. Appl. Bacteriol.* 1964. – 27. – P. 147–181.

9. Mc Comb G. B. New light on anaerobic corrosion. *Corrosion control handbook: Energy Commun. Inc.* New York, 1985. P. 122–125.

10. Степова О.В. Аналіз стану корозійної безпеки газопроводів в Полтавській області. / Степова О.В, Галькевич В.І., Гудзь Я.Р. // Вісник Полтавської державної аграрної академії.. – 2013. – №2. – С. 132–135.

11. Степова О.В. Врахування корозійних процесів сталевих нафтопроводів з метою підвищення екологічної безпеки. / Степова О.В.. // Екологічні науки: науково-практичний журнал. – 2018. – №1. – С. 15–21.

12. Степова О.В. Районування території Полтавської області за показниками корозійної агресивності ґрунтів./ Степова О.В.// Екологічні науки: науково-практичний журнал.-2018.-№3.- С.106-112.

УДК 622.5:504.4.054

ЯКІСНИЙ СКЛАД ПОВЕРХНЕВИХ ВОД КРИВОРІЖЖЯ ТА УТВОРЕННЯ ГІДРОХІМІЧНИХ ПОТОКІВ В УМОВАХ ТЕХНОГЕНЕЗУ

Улицький О.А., Риженко Н.О., Похил Ю.Г., Коротецький В.П.

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

Гірничо-видобувні території Криворіжжя традиційно відносяться до найбільш проблемних в екологічному відношенні. Гідросистеми, впродовж тривалого часу, піддаються інтенсивному техногенному впливу, внаслідок якого є широкомасштабне забруднення водного середовища. Причому, здебільшого у цих негативних процесах, відіграють техногенні геохімічні потоки (ТГП), що формуються протягом експлуатації родовищ. З огляду на це, виділені первинні ТГП забруднювачів, які утворюються в процесі виробничої діяльності та на технологічному етапі. До них можна віднести розкривні і вміщуючі породи, що представляють первинні ТГП та літохімічні потоки. У місцях акумуляції цих потоків формуються первинні ареали забруднення водного середовища.

Дана стаття присвячена характеристиці ТГП в межах прилеглої до ТОВ «Рудомайн» території. Басейн річки Саксагань можна віднести до складних природно-водних об'єктів Криворіжжя. Велика кількість екологічно потенційно небезпечних об'єктів, урбанізованість території з малоефективним асиміляційним потенціалом надають особливої гостроти гідроекологічній проблемі в регіоні. Наразі, відповідно до основних положень «Національної програми екологічного оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води», необхідно реалізовувати нові підходи у вирішенні гідроекологічних задач.

Ключові слова: родовище, геохімічні потоки, екологічна безпека, ареал забруднення, асиміляційні процеси.

The qualitative composition of the surface waters in the kryvyi rih area and the dangers of hydrochemical flows formed under technogenic influence. Ulytskyi O., Ryzhenko N., Pokhyl Yu., Korotetskyi V.

The mining areas of Kryvyi Rih are among the most environmentally problematic. Hydrosystems are exposed to severe technogenic influence, which results in large-scale pollution of the water environment. The geochemical flows formed during the exploitation of deposits contribute massively to these negative processes. Therefore, we highlighted the initial geochemical flows of pollutants, formed in the process of production and at the technological stage. Those include overburden and host rocks representing initial geochemical flows and lithochemical flows. In the areas where these flows accumulate, begins the initial water pollution.

This article describes the man-made geochemical flows within the territory adjacent to «Rudomine» LLC. The basin of the Saksagan River is classified as one of the more complex natural water bodies of the Kryvyi Rih area. A large number of potentially environmentally hazardous sites, as well as the urbanization of the area without an efficient assimilation process, create a particular urgency for solving the hydro-environmental problems in the area. Currently, in accordance with the main provisions of the «National Program of Environmental Improvement of the Dnipro Basin and Improvement of the Quality of Drinking Water», it is crucial to implement new approaches for solving the hydro-environmental problems.

Keywords: deposit, geochemical flows, environmental hazard, area of pollution, assimilation processes

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Одним з перших наукових описів р. Саксагань наведено в роботі Максимовича (1901 р.), в якій охарактеризовані природні умови та гідрологічні особливості району протікання річки [1]. Крім того, важливою роботою є фізико-географічні дослідження на регіональному рівні Л.Н. Булави, в якій детально відображені природні умови досліджуваної території в межах Криворізького промислового регіону.

Гідрогеологічні дослідження в басейні р. Саксагань у її верхів'ї здійснювали Ніколаєв М.І., та Жернов І.Є., (1932 р.), тріщинні води в кристалічних докембрійських породах вивчали Зеленко А.Є., (1938 р.), водоносні горизонти палеоген-неогенових і четвертинних відкладах у своїх роботах вивчав Натаров В.Д., (1962 р). За результатами геологічного вивчення території була складена гідрогеологічна карта Кривбасу. В своїх наукових роботах Натаров В.Д., досліджував режим шахтних вод, умови формування хімічного складу підземних вод. У 70-90 роках гідрологічні дослідження виконували Андріяш О.П., Денисов А.І., Целіков С.Л. та інші. Гідрохімічні дослідження річкової води р. Саксагань виконані за такими напрямками: вивчення хімічного стану річкової води та дослідження гідрохімічного складу водного об'єкту. Найбільш вагомий внесок у вивчення закономірностей змін хімічного складу річкової води здійснив відділ гідрохімії Інституту гідробіології НАН України [2-5]. У роботі Вишневського В.І. та Косовця В.О. [6] наводиться табличний матеріал середніх значень (за 1997-2000 рр.) суми іонів, вмісту розчиненого кисню у воді, сполук азоту, фосфору та специфічних забруднювальних речовин, притаманних у поверхневих водах р. Саксагань. У статті Осадчого В.І. [7] висвітлені особливості кисневого режиму р. Саксагань та наведені основні чинники, що впливають на величину концентрації розчиненого кисню у воді. Крім того, виявлений значний кореляційний зв'язок між концентраціями у воді міді, цинку та сухим залишком. Основні аспекти формування хімічного складу води

р. Саксагань під впливом зворотних вод гірничо-добувних підприємств Кривбасу висвітлені в працях Криворізького технічного університету [8]. Цікавим є результати моніторингових досліджень Інституту геологічних наук НАН України, проведених у 2002-2004 рр. і наведених в роботі [9], в якій здійснено детальну екологічну оцінку якості вод річки Саксагань за сольовим складом. Досить важливим інформаційним джерелом для гідрогеологічних досліджень є ціла низка картографічних матеріалів. В основу досліджень покладено гідрогеологічний підхід, як метод вивчення цілісно-функціональних геосистем [10]. На підготовчому етапі вивчення та аналізу гідрогеологічних умов було зібрано і систематизовано низку фондових та літературних матеріалів, які відображають результати сучасних досліджень, що проводилися в межах басейну р. Саксагань. Це дало змогу визначити пріоритетні напрямки вивчення гідрогеологічного та гідрохімічного режиму поверхневих вод і методи досягнення основної мети даної роботи. Для досліджень використані гідрохімічні дані багаторічних спостережень Гідрометслужби України (1988-2016 рр.) та результати моніторингових досліджень Інституту геологічних наук України, що проводилися в період 1996-2016 роках на пунктах: р. Саксагань, гирло; р. Саксагань, міст у с. Веселі Терни; р. Саксагань, гребля в с. Кам'яне Поле; хвостосховище ПівніГЗК; р. Стара Саксагань, гирло та р. Саксагань – м. Кривий Ріг. Гідрохімічна зйомка досліджуваної території проводилась з виїздом на об'єкти ТОВ «Рудомайн» та відбором проб води на хімічний аналіз. Проби відбиралися на умовно створених пунктах на стрижні потоку з глибини 0,2-0,5 метрів в пластмасові пляшки ємністю 1,5 дм³ і надсилалися в лабораторію Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» (Дніпропетровська філія), для визначення концентрації окремих хімічних компонентів у воді. До складу робіт дослідницького характеру входило вивчення особливостей гідрохімічного режиму. Дослідження хімічного складу річкової води виконувалися відповідно за основними гідрохімічними показниками п'яти груп хімічних елементів - головних макрокомпонентів: хлориди (Cl⁻), сульфати (SO₄²⁻), гідрокарбонати (HCO₃⁻), кальцій (Ca²⁺), магній (Mg²⁺), натрій і калій (Na⁺ + K⁺), а також специфічних забруднюючих речо-

вин: Hg, Pb та Cd. Екологічна оцінка якості води за відповідними категоріями проводилась за середніми значеннями для показників двох блоків: сольового та специфічних речовин токсичної дії і визначення рухливості хімічних елементів. Систематизація вихідної гідрохімічної інформації, розрахунки, графічні побудови та обробка даних хімічних аналізів виконувалося з використанням комп'ютерних засобів та прикладного програмного забезпечення і спеціального призначення.

Мета роботи

Формування гідрохімічного режиму поверхневих вод басейну р. Саксагань, пов'язаного з факторами дії геохімічних потоків в умовах експлуатації родовищ (техногенезу).

Результати досліджень

За природних умов, гідрохімічний режим та якість річкової води формується під дією низки факторів, з яких головними є:

- клімат, що визначає умови концентрування речовин у поверхневих водах р. Саксагань;
- розчинення гірських порід;

– умови іонного обміну в системі «вода – ґрунт», та літологічний склад порід, що складає річковий басейн.

Територія басейну р. Саксагань знаходиться в межах типової степової зони [10]. Швидкість течії незначна. Гідрологічний режим річки суттєво змінений регулювальним впливом дамб, скиданням шахтних і промислових вод, а також відбиранням води для технічних потреб. Найбільші витрати води р. Саксагань досягали 240 м³/с (2013 р.). Стік річки регулюють Макортівське і Кресівське водосховища, які розташовані відповідно вище і нижче району Північно гірничо-збагачувального комбінату (Північний ГЗК).

Слід звернути увагу на реалізований проєкт зміни русла Саксагані. Відведення річки здійснено шляхом побудови відвідного тунелю довжиною 5300 метрів, з діаметром – 3,5 метра від Держинського водосховища до Інгульця (рис. 1). Реалізація проєкту з будівництва дериваційного тунелю завершена у 1957 році.

Річка Саксагань – ліва притока р. Інгулець, бере початок у місці виходу ґрунтових вод на захід від с. Адалімівка, Дніпропетровська область на висоті 150 метрів над рівнем моря. Довжина

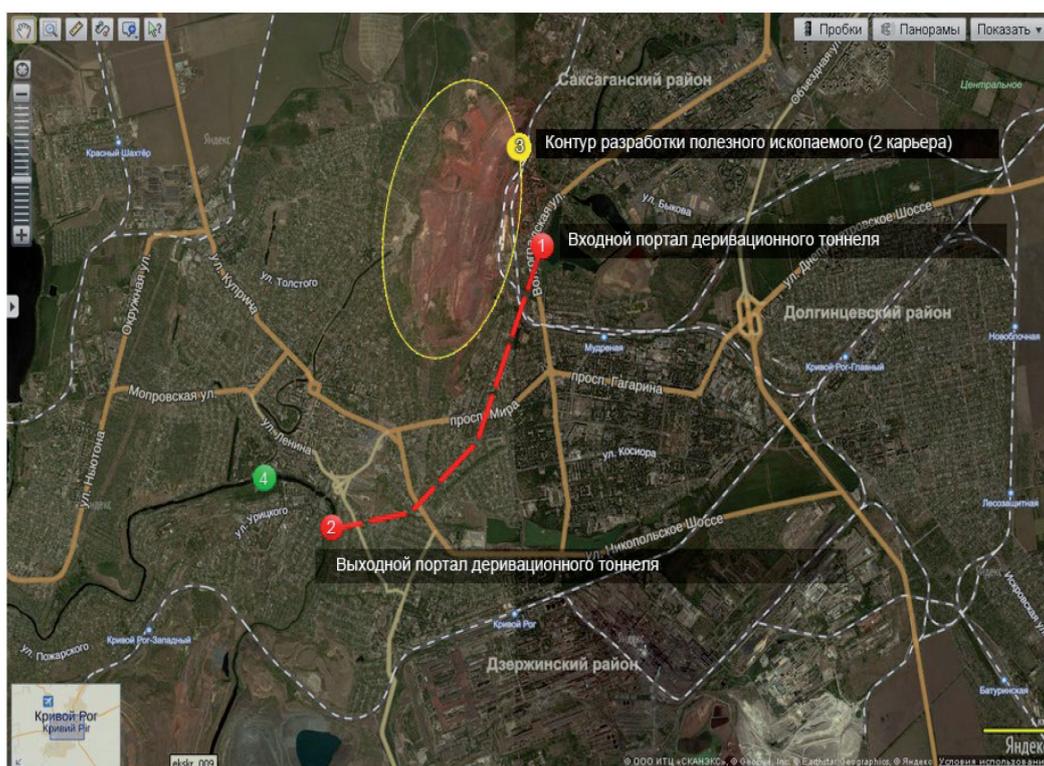


Рисунок 1 – Пояснювальна схема до проєкту зміни русла р. Саксагань

р. Саксагань становить 144 км, площа басейну – 2025 км². Річкова мережа басейну р. Саксагань помірно розвинута і складається з 10 річок довжиною понад 10 км кожна, 29 річок менших за 10 км, що мають відносно постійну течію та близько 100 незначних, зазвичай сухих балок, що мають поверхневий стік під час весняного сніготанення і літніх злив. Основні притоки – р. Лозоватка та р. Демурина. Штучні водосховища і ставки мають площу водної поверхні 24 км², в тому числі Кресівське водосховище – 5 км² і Макортівське – 12 км² [11].

У 2020 році у р. Саксагань скинуто 95 млн м³ стічних вод, у тому числі шахтних, без очищення.

У 2019 році отримані результати спостереження за якісними показниками річки по створу Макортівське водосховище КП ПМР «Житлокомплекс» питний в/з м. П'ятихатки. Результати вимірювань середньорічних концентрації (в мг/дм³) за основними показниками забруднення за 2019 рік приведені в таблиці 1.

бучацької серії; відкладів еоцену й олігоцену та відкладів четвертинних утворень.

Води цих водоносних горизонтів мають єдину гідравлічно пов'язану систему. Глибина залягання вод коливається від кількох до 115 метрів. Переважають сульфатно-гідрокарбонатні, сульфатні, гідрокарбонатно-сульфатні прісні та слабосолонуваті води з мінералізацією від 0,6-1,0 до 2,5-5,1 г/дм³. Режим вод вищевказаних порід порушений штучним водопониженням та шахтним водовідливом, внаслідок чого сформувалася депресійна лійка, в центрі якої рівень підземних вод знизився до глибин 720 метрів і більше, а на крилах (у зоні гірничих виробок) – до 450-600 метрів.

Водоносний горизонт у відкладах бучацької світи має локальний характер і залягає безпосередньо на кристалічних породах. Водоносними є піски різнозернисті, іноді гравелісті, що залягають у нижній частині розрізу бучацької світи або товщі вуглистих глин та пісків. Води напірні.

Хімічний склад різноманітний, переважають –

Таблиця 1

Основні показники забруднення у р. Саксагань за 2019 рік

Показники вимірювання	КП ПМР «Житлокомплекс» питний в/з м. П'ятихатки (2019 р.)
Сухий залишок	3264
Сульфат-іони	1360
Хлорид-іони	452,4
Амоній-іони	0,37
Нафтопродукти	0,04
Залізо загальне	0,15
БСК ₅	3,0
ХСК	32,1
Марганець	0,05

Гідрогеологічні особливості. У гідрогеологічному відношенні територію досліджень можна характеризувати як гідрогеологічну провінцію, що належить до Українського Щита (УЩ), при цьому водоносні горизонти не мають великого практичного значення.

У межах р. Саксагань виділяються водоносні горизонти, які приурочені до: тріщинуватих кристалічних порід докембрію; відкладів піску

гідрокарбонатно-сульфатні води змішаного катіонного складу. Води жорсткі й дуже жорсткі, мінералізація їх змінюється від 0,4 до 3 г/дм³[12].

Водоносний горизонт у четвертинних відкладах приурочений до суглинків та алювіальних утворень, широко розповсюджений. Глибина його залягання від 1,5-12 метрів, потужність від кількох дециметрів до 20 метрів, середня – 2-5 м. За хімічним складом води хлоридно-сульфатно

¹ <https://krmisto.gov.ua/ua/ecology/wastesources.html>

натрієві з мінералізацією до 12 г/дм³. Живлення горизонту відбувається завдяки інфільтрації атмосферних опадів, а також різних вод техногенного походження. Режим горизонту сильно порушений, водонасиченість і якість води дуже непостійні, проте він широко використовується місцевим населенням. Водонесний горизонт сучасних алювіальних відкладів має обмежене поширення і простежується в долинах річки Саксагань. Горизонт безнапірний, глибина залягання ґрунтових вод змінюється від 0,5 до 5 метрів. Води прісні, гідрокарбонатно-сульфатні кальцієві і гідрокарбонатно-сульфатні-магнієво-кальцієві.

Характеристика виробничо-господарської діяльності. Виробничо-господарська (видобувна) діяльність ТОВ «Рудомайн» навколо р. Саксагань має складну та багатогалузеву структуру. Поєднання основних циклів виробництва з особливостями функціонування гідросистем утворили низку інших потужних природно-техногенних систем (ПТС) – водогосподарських, функціонування яких ставить р. Саксагань у ряд особливого типу річок України [13, 14]. Видобуток залізної руди супроводжується постійним відкачуванням підземних вод з кар'єрів та шахт.

Вплив виробничо-господарської діяльності на гідрорежим річки проявляється, насамперед, у зміні гідролого-гідрохімічного режиму та якості поверхневих та підземних вод р. Саксагань через геосистемні взаємодії. Не менш важливим чинником змін гідрохімічних показників поверхневих вод р. Саксагань наявність – кар'єру ТОВ «Рудомайн», який є водокористувачем підземних та поверхневих вод. Про вплив техногенезу на якісний стан р. Саксагань свідчить зафіксована аварія, що трапилась 26 березня 2007 року в м. Кривий Ріг на каналізаційній насосній станції № 8 (НКС), що розташована на вул. Мелешкіна. В результаті розриву електромотора напірного засуву насосного агрегату № 1, неочищені стоки води обсягом 16893,5 м³ потрапили в р. Саксагань, що створило загрозу для життя і здоров'я населення та завдало шкоди гідросистемі. Проби води, які були відібрані, показали помітне погіршення її якості. Слід зазначити, що із діяльністю перших промислових гірничо-видобувних

підприємств було пов'язано забруднення р. Саксагань (нижче с. Веселі Терни). Забруднення гідросистеми відбувалося за рахунок скиду високомінералізованих рудничних шахтних і кар'єрних вод, а також недоочищених стічних вод металургійних підприємств у поверхневі водойми. На основі даних, наведених у геоінформаційних ресурсах – «Інтерактивна карта спецдозволів на користування надрами» (ДНВП «Геоінформ України», металічні корисні копалини) та «Державний водний кадастр: Облік поверхневих водних об'єктів» (Державне агентство водних ресурсів України), – складена комплексна схема розміщення гірничо-видобувних об'єктів та місць скиду зворотних вод (рис. 2), що в цілому відображає потенційні джерела антропогенного навантаження на хімічний та екологічний стан поверхневих вод р. Саксагань.

У межах водозбірної площі басейну р. Саксагань з надр щорічно відкачується 50 млн м³ високомінералізованих вод (мінералізація понад 30 г/дм³), з яких шахтних – 20 млн м³, кар'єрних – 10 млн м³ [14, 15].

Підприємство ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» здійснює скид зворотних вод у р. Саксагань у межах м. Кривий Ріг (басейн р. Саксагань, район басейну р. Дніпро). Фактичні та гранично допустимі концентрації (за наявним дозволом на спеціальне водокористування) сульфатів складають – 270 мг/дм³; за сухим залишком – 980 мг/дм³.

Скид зворотних вод з проммайданчика шахти «Октябрська» (ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат») у р. Саксагань в межах м. Кривий Ріг, (басейн р. Саксагань, район басейну р. Дніпро) – нормується за сухим залишком – 1360 мг/дм³.

КП «Кривбасводоканал» здійснює скид біологічно очищених комунальних стічних вод у р. Саксагань в межах м. Кривий Ріг. Нормування мінералізації по сухому залишку складає – 2299 мг/дм³; по сульфатах – 758 мг/дм³. ТОВ «Метінвест – Криворізький ремонтно-механічний завод» також здійснюється скид зворотних вод у р. Саксагань. Норми якості скидних вод, встановлені для даного підприємства, є заниженими. Так, у поверхневі води можуть потрапляти скидні води

² <https://geoinf.kiev.ua/interaktivni-karti-specdozvoliv/>

³ <http://geoportal.davr.gov.ua/>

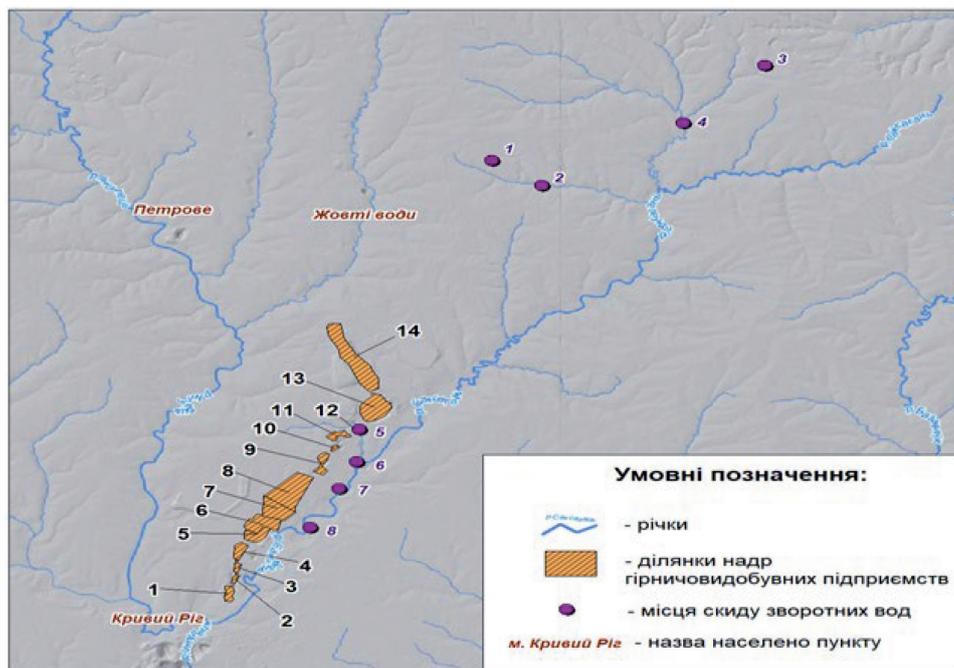


Рисунок 2 – Схема розміщення гірничо-видобувних об'єктів та місць скиду зворотних вод у межах водозбірної площі р. Саксагань:

Ділянки надр гірничо-видобувних підприємств (за наданими спецдозволами на надрокористування): 1 – родовище, ТОВ «Українська гірничодобувна компанія»; 2 – ділянка №2 кар'єру Південний ТОВ «Рудомайн»; 3 – рудник «ім. Кірова» ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг»; 4 – поле шахти «Родіна» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»; 5 – ділянка родовища ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат»; 6 – поле шахти «Октябрська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»; 7 – поле шахти «ім. Фрунзе» ПАТ «Суша Балка»; 8 – поле шахти «Ювілейна» ПАТ «Суша Балка»; 9 – поле шахти «Гвардійська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»; 10 – поле шахти «ім. Орджонікідзе» ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат»; 11 – поле шахти «ім. В.І. Леніна» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»; 12 – ділянка родовища Червона Балка ТОВ «Кривбас Цемент Пром»; 13 – родовище Первомайське ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат»; 14 – родовище Ганівське ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат».

Місця скиду зворотних вод (назва водокористувача): 1 – КП ПМР «Житлокомплекс»; 2 – КП ПМР «Житлокомплекс»; 3 – ПРАТ «Дніпровський металургійний завод»; 4 – АТ «Укрзалізниця» Філія «ЦУП» ВП «Ерастівський кар'єр»; 5 – ПАТ «Кривбасзалізрудком»; 6 – КП «Кривбасводоканал»; 7 – ПАТ «Кривбасзалізрудком»; 8 – ТОВ «МЕТІНВЕСТ КРМЗ».

із мінералізацією, яка може сягати 2749 мг/дм^3 , та із вмістом сульфатів – до 1309 мг/дм^3 .

Пункти моніторингу поверхневих вод у р. Саксагань не представлені на геопорталі водних ресурсів. Про хімічний склад поверхневих вод поблизу місця впадіння р. Саксагань у р. Інгулець а також в районі впливу об'єктів промисловості (кар'єру ТОВ «Рудомайн», ділянок розробки родовищ ТОВ «Українська гірничодобувна компанія) можна дізнатися тільки з результатів аналізу проб поверхневих вод, відібраних під час польових досліджень.

Значну роль в погіршенні екологічного стану р. Саксагань відіграють кар'єрні води. Нині ці води відводяться до спеціальних відстійників-хвостосховищ (або ставків-накопичувачів), де промислові стічні води змішуються з річковою (при цьому, у водоймах знижується загальна мінералізація до $5\text{-}20 \text{ г/дм}^3$ і використовуються в системах оборотного водопостачання (СОВ) підприємств).

Усього було відібрано 4 проби води із 4 пунктів спостережень. Пункти №№ 1-2 знаходяться вздовж лівого борту кар'єру «Південний» і характеризують стан поверхневих вод р. Саксагань на

відстані 3 км перед впадінням річки у р. Інгулець. Пункт відбору проби води № 3 знаходиться у межах водотоку, що впадає в р. Саксагань і протікає в межах населеного пункту. Пункт відбору проби води № 4 знаходиться нижче за течією місця скиду зворотних вод ТОВ «МЕТІНВЕСТ КРМЗ» (рис. 2, № 8) на відстані 9 км.

Схема розташування пунктів відбору проб води в 2021 році р. Саксагань наведена на рисунку 3.

Результати виконаного аналізу хімічного складу води із відібраних проб вказують на прийнятну якість води (відповідно до нормативів вмісту показників основної аніонно-катионної групи, наведених у ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості») у районі розташування пунктів відбору проб №1-3. Показники сухого залишку коливаються у межах 740-1130 мг/дм³, вміст сульфатів – 264-503 мг/дм³ (на декілька одиниць перевищено ГДК сульфатів, що становить 500 мг/дм³, у пробах води за пунктом №3), вміст хлоридів коливається в межах 110-159 мг/дм³ (при ГДК 350 мг/дм³),

перевищення ГДК за іншими компонентами також не спостерігається. У той же час, стан поверхневих вод р. Саксагань за місцем відбору проб у п. 4 за результатами виконаного хімічного аналізу є незадовільним. У пробах води перевищений відносно ГДК вміст хлоридів – 596 мг/дм³ (при ГДК 350 мг/дм³), сульфатів – 501 мг/дм³ (при ГДК 500 мг/дм³), кальцію – 140 мг/дм³ (при ГДК 130 мг/дм³) та натрію – 441 мг/дм³ (при ГДК 200 мг/дм³).

Загальна мінералізація води (за сухим залишком) становить 1930 мг/дм³. Це вказує на загальне сольове забруднення поверхневих вод у р. Саксагань, що є результатом скиду високомінералізованих зворотних вод підприємств, що знаходяться вище за течією. Разом із стічними водами підприємств до поверхневих джерел надходить значна кількість забруднювальних хімічних речовин. Але, введення системи оборотного водопостачання (в системі знаходиться понад 4,3 млн м³ технічної води) дозволило підприємствам значно скоротити обсяги скидів забруднювальних речовин до р. Саксагань.

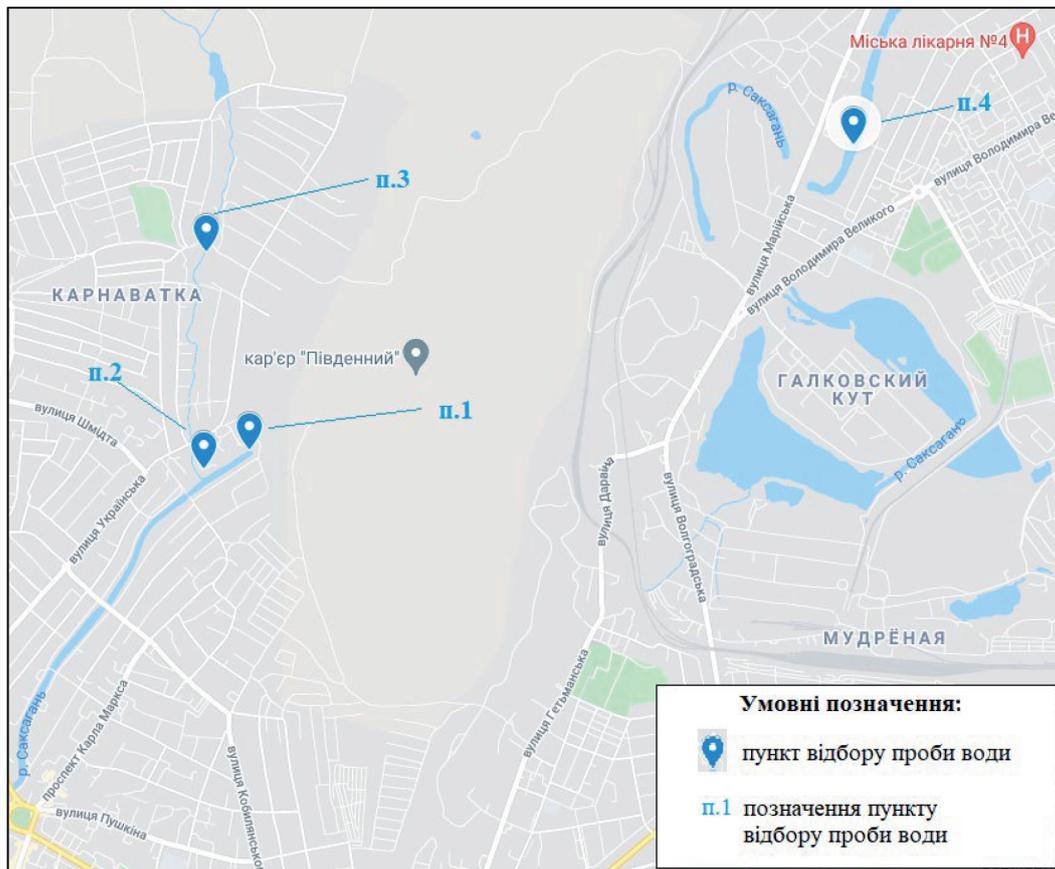


Рисунок 3 – Схема розміщення пунктів відбору проб води із р. Саксагань

Закономірності накопичення і міграції мікрокомпонентів у природному середовищі. Більшість мікроелементів, що приймає участь у будові Землі, відносяться до мікрокомпонентного складу водних розчинів, тобто вони присутні у водах у мікрокількостях, зазвичай до сотень мг/дм³.

Визначення рухливості вищенаведених елементів здійснено методом Перельмана, - коефіцієнт водної міграції (K_x), який розраховують за формулою:

$$K_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x},$$

m_x – вміст елемента X у воді, мг/дм³;

n_x – вміст X у породах, %;

a – мінералізація (сухий залишок), мг/дм³.

Замість вмісту елемента в породах застосували кларки елементів у літосфері. Місцеві кларки елементів в ландшафті місцевості Криворіжжя не вивчалися. Отже, доцільно було використати глобальні кларки літосфери і осадових порід, що є загальноприйнятими і ґрунтуються на дослідженнях Виноградова А.П. (таблиця 2).

Ця заміна дозволила оцінити положення елемента в рядах міграції. Отже, отримання коефіцієнта водної міграції характеризувало означені елементи з точки зору швидкості виносу відносно їх кларкового вмісту в гірських породах. Чим

вище K_x , тим інтенсивніше елемент виводиться з порід, і тим вище його водна міграція в розчині. В таблиці 3 наведені дані щодо вмісту мікроелементів у поверхневих водах р. Саксагань у різних місцях відбору проб води.

Результати розрахунку значень коефіцієнту водної міграції мікрокомпонентів Hg, Pb та Cd у воді р. Саксагань за формулою Перельмана наведені у таблиці 4.

Розрахунок дозволив оцінити діапазон рухливості елементів у поверхневих водах р. Саксагань в районі відбору проб води. Так рухливість ртуті є найвищою і коливається в межах 28-50 од., рухливість кадмію знаходиться в діапазоні 20-33 од., рухливість свинцю є в десятки разів меншою за рухливість ртуті та кадмію – 2,5-4,2 од.

За результати оцінених діапазонів рухливості складена класифікаційна таблиця рядів міграції мікроелементів за формулою Перельмана О.І. (табл.5).

Результати таблиці 5 співставні із загальними уявленнями щодо міграції мікроелементів у гідросфері та літосфері. Рядом досліджень встановлено, що кадмій – це високо токсична речовина, оскільки внаслідок забруднення ґрунтів він проникає у рослини. У конкретних умовах іони кадмію мають дуже сильну рухливість, тому достатньо легко потрапляють у рослини та накопичуються в них. Забруднення ґрунтів кадмієм може

Таблиця 2

Кларки мікроелементів у літосфері та осадових породах, $n \cdot 10^{-3} \%$

Хімічний елемент	Кларки мікроелементів за Виноградовим	Осадові породи	
		глини	карбонатні породи
Mn	100	85.0	40.0
Ba	65.0	58.0	1.0
Sr	34.0	30.0	61.0
V	9.0	13.0	2.0
Zn	8.3	9.5	2.0
Cr	8.3	9.0	1.1
Ni	5.8	6.8	0.2
Cu	4.7	4.5	0.4
Co	1.8	1.9	0.01
Pb	1.6	2.0	0.9
As	0.17	0.13	0.10
Mo	0.11	0.26	0.04
Hg	0.08	0.04	0.004
Cd	0.013	0.03	0.004

Таблиця 3

Результати визначення вмісту мікроелементів у поверхневих водах за місцем відбору проб води на хімічний аналіз

№ з/п	Шифр проби води	Місце відбору проби води	Координати	Результати випробувань		
				свинець, мг/кг	кадмій, мг/кг	ртуть, мг/кг
1	1312. 22.07.21/02	м. Кривий Ріг, р. Саксагань	47°55'30,6" 33°21'33,0"	0,06	0,003	0,04
2	1313. 22.07.21/02	м. Кривий Ріг, р. Саксагань	47°55'27,2" 33°21'19,9"	0,04	0,003	0,02
3	1314. 22.07.21/02	м. Кривий Ріг, безіменний водотік	47°56'04,2" 33°21'20,9"	0,05	0,003	0,03
4	1315. 22.07.21/02	м. Кривий Ріг, р. Саксагань	47°56'22,1" 33°23'59,8"	0,08	0,005	0,05

Таблиця 4

Значення коефіцієнту водної міграції мікрокомпонентів Hg, Pb та Cd у воді р. Саксагань

Шифр проби води	Коефіцієнт водної міграції, K_x		
	Hg	Pb	Cd
1312. 22.07.21/02	40	3,31	20
1313. 22.07.21/02	28	3,05	30
1314. 22.07.21/02	50	4,20	33
1315. 22.07.21/02	33	2,50	25

спостерігатися достатньо тривалий час, навіть після його надходження із джерела забруднення. Причому, кадмій, який надійшов до ґрунту, присутній у ньому у рухливій формі, що має несприятливий екологічний ефект. Ртуть потрапляє у ґрунт та поверхневі води з пестицидами та промисловими водами, також характеризується підвищеною рухливістю і високою міграцією.

Забруднення свинцем через його низьку рухливість проявляється у зміні його фонових концентрацій. Іони свинцю швидко втрачають рухливість у ґрунті внаслідок хімічних реакцій з утворенням важкорозчинних фосфатів, сульфатів, карбонатів та інших сполук, а також в результаті поглинання органічними та мінеральними колоїдами. Свинець характеризується низькою

Таблиця 5

Класифікація досліджуваних мікроелементів відповідно до рядів міграції елементів у водах гідросфери

Ряд міграції	Інтенсивність міграції	Діапазон коефіцієнта водної міграції, K_x	Хімічні елементи
I	Дуже сильна	$n*10 - n*100$	Hg, Cd
II	Сильна	$n - n*10$	Pb
III	Середня	$0,1*n - n$	-
IV	Слабка та дуже слабка	$0,01*n$ та менше	-

фітотоксичністю, що пояснюється його не високою рухливістю і наявністю в рослинах механізму інактивації даного елемента.

Висновок

Встановлено, що мінералізація річкової води змінюється в межах від 740 до 1930 мг/дм³, досягає найбільших значень в зонах нижче за течією від місця скиду зворотних вод ряду промислових підприємств. Оцінивши міграційні властивості ртуті, свинцю та кадмію у воді р. Саксагань, ми можемо зробити наступні висновки:

- коефіцієнти водної міграції всіх компонентів мають більші значення у воді р. Саксагані;
- збільшення мінералізації води в річках в результаті скидання шахтних вод зменшує міграційні властивості компонентів;
- складено ряди міграції мікроелементів для досліджуваних річок, проаналізовані їх особливості;
- виявлено дефіцит цинку та мангану у воді згаданих водних об'єктів (цей факт слід враховувати під час складання медико-гігієнічних рекомендацій);
- коефіцієнт водної міграції - важливий інструмент дослідження водного об'єкта як елемента ландшафту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Максимович Н.И. Днепр и его бассейн / Н.И. Максимович – К. : (б.и.) 1901. – 626 с.
2. Алмазов А.М. Гидрохимия устьевых областей рек / А.М. Алмазов. – Киев. : Из-во Академии Наук Украинской ССР. -1962. – 254 с.
3. Алмазов О.М. Про зв'язок між гідрохімічними та гідрологічними режимами рік / О.М. Алмазов. // Доповідь Академії наук Української РСР. – К. : -1952. Вип. № 3. С. 208– 212.
4. Алмазов А.М. Гидрохимия Днепра, его водохранилищ и притоков / А.М. Алмазов, А.И. Денисова, Ю.Г. Майстренко и др. – К. : Наукова думка. 1967. – 316 с.
5. Коненко А.Д. Гидрохимическая характеристика малых рек УССР / А.Д. Коненко. – Из-во АН УССР. – 1952. – 172 с.
6. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання / В.І. Вишневський. – К. : ВІ-ПОЛ. 2000. – 376 с.
7. Осадчий В.І. Вплив урбанізованих територій на формування хімічного складу поверхневих вод басейну Дніпра / В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, Н.М. Мостова // Наукові праці УкрНДГМІ. – К., 2007. – С. 265-285.
8. Могилевський Л.М. Вплив техногенезу надр на поверхневі водні об'єкти Кривбасу / Л.М. Могилевський // Деякі чинники техногенезу. Серія: Геологічне середовище антропогенної екосистеми. – Кривий Ріг : ОКТАН-ПРИНТ. – 2002. – С. 80-96.
9. Багрій І.Д. Гідроекосистема Криворізького басейну – стан і напрямки поліпшення / І.Д. Багрій, П.Ф. Гожик, Е.В. Самоткал та ін. – Київ. : Фенікс. 2005. – 213 с.
10. Сніжко С.І. Теорія і методи аналізу регіональних гідрохімічних систем: автореф. Дис. на здобуття наук ступеня доктора геогр. наук : спец. 11.00.07 «Гідрологія суші, гідрохімія та водні ресурси» / С.І. Сніжко. – К., 2002. – 30 с.
11. Натаров В.Д. К вопросу об условиях питания м стока подземных вод Криворожского бассейна / В.Д. Натаров // НИГРИ. Бюллетень научно-техн. Информации. - М. : 1957. – Вып. 2. – С. 102-105.
12. Алексеев А.К. Гидрогеологические исследования долины рек Ингульца / А.К. Алексеев. – Одесса : Издание Южной областной мелиоративной организации. – 1928. – 108 с.
13. Вишневський В.І. Гідрологічні характеристики річок України / В.І. Вишневський, В.О. Косовець. – К. : Ніка-Центр. 2003. – 324 с.
14. Кравчинський Р.Л. Характеристика водогосподарської діяльності в басейні р. Інгулець / Р.Л. Кравчинський, В.К. Хільчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2009. № 16. – С. 72-82.
15. Епатко Ю.М. Геоэкологические последствия эксплуатации железорудных месторождений Украины (на примере Криворожского железорудного бассейна) / Ю.М. Епатко, И.Н. Малахов // Геологический журнал. – 1992. - № 1. – С. 78-87.
16. Паламарчук М.М. Водний фонд України / М.М. Паламарчук, Н.Б. Загорчевна. // Довідковий посібник. (2-е вид. доп.) – К. : Ніка-Центр. - 2006. – 320 с.
17. Шерстюк Н.П. Вплив гірничо-видобувної промисловості на міграційні властивості головних іонів у поверхневих водах / Н.П. Шерстюк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т.4(21). – С. 92-105.

ІНТЕГРАЦІЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ: ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

Машков О.А., Іващенко Т.Г., Мухіна К.Є., Печений В.Л.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035,
mashkov_oleg_52@ukr.net, *tvn.prof@gmail.com*

Авторами статті розглянуто ефективність застосування системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень в умовах екологічних надзвичайних ситуацій та надано рекомендації щодо її впровадження. Запропонована авторами статті технологія, передбачає виконання наступних функцій: приймання і оброблення даних моніторингу стану об'єктів планової діяльності в умовах можливих надзвичайних екологічних ситуацій; моделювання екологічних процесів та уточнення параметрів моделі відповідно до даних екологічного моніторингу; візуальне відображення та діагностика розповсюдження надзвичайної екологічної ситуації; візуалізація геопросторової інформації. В статті запропоновано, що використання системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень дозволяє збільшити ефективність за рахунок скорочення часу підготовки документів щодо стратегічного екологічного оцінювання, оцінки впливу на навколишнє природне середовище та оцінювання екологічних загроз й ризиків. Результати експерименту доводять, що використання системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень дозволяє зменшити тривалість оцінки ситуації та вибору відповідного рішення, що надає можливість знизити залежність від психофізіологічних і евристичних властивостей особи, яка приймає рішення та зменшити екологічні ризики від надзвичайних екологічних ситуацій в об'єктах критичної інфраструктури.

Ключові слова: геоінформаційна система, екологічні ризики, моніторинг, об'єкт планової діяльності, оцінка впливу на навколишнє природне середовище, природно-техногенна система, стратегічна екологічна оцінка, управлінські екологічні рішення.

Integrating aerospace technology into the environmental safety management system: assessing the efficiency of environmental decision-making. Mashkov O., Ivashchenko T., Mukhina K., Pechenyi V.

The authors of the article consider the effectiveness of environmental decision-making in environmental emergencies and provide recommendations. The technology proposed by the authors of the article provides for the following functions: processing the monitoring data in emergency environmental situations; modeling environmental processes according to environmental monitoring data; visual diagnosis of the spread of an emergency environmental situation; visualization of geospatial information. The article suggests that the use of an environmental decision-making management system can increase efficiency by reducing the time, required to prepare for strategic environmental assessment. The results prove that the use of a decision-making environmental management system allows to reduce the duration of assessing the situation and choosing the appropriate solution, which makes it possible to reduce the risks from emergency environmental

situations at the objects of critical infrastructure.

Keywords: geoinformation system, environmental risks, monitoring, assessment of the impact on the environment, strategic environmental assessment, managerial environmental decisions.

Постановка проблеми

Створення загальнодержавної системи управління навколишнім природним середовищем передбачає створення в Україні ефективної системи управління екологічною безпекою. Натепер основною метою управління навколишнім природним середовищем є збирання, збереження та оброблення достовірної та оперативної інформації необхідної для розроблення заходів щодо запобігання та зменшення негативних наслідків змін навколишнього природного середовища. Управління екологічною безпекою планованої діяльності можна розглядати як комплекс взаємопов'язаних інформаційних процесів в екосистемах, які використовують певні методи та моделі і спрямовані на вирішення завдань планованої діяльності за допомогою інтегрованих автоматизованих систем [1-3]. Процес прийняття управлінських екологічних рішень розглядається як сукупність взаємопов'язаних процедур перетворення екологічної інформації від моменту отримання вихідних даних до надання екологічної інформації особі, яка приймає управлінські екологічні рішення для досягнення певної мети [3-8]. Існуюча система управління екологічною безпекою базується на реалізації її суб'єктами розподілених функцій і складається з підпорядкованих підсистем. Кожна підсистема на рівні окремих суб'єктів системи управління навколишнім природним середовищем має свої структурно-організаційні, науково-методичні та технічні основи.

Отже, існує наукова проблема інтеграції аерокосмічних технологій у систему управління екологічною безпекою за допомогою системи підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень.

Зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями

Розвиток ефективної системи управління екологічною безпекою відповідає європейським і

світовим підходам до управління навколишнім природним середовищем, у тому числі вимогам і директивам Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом. Створення такої системи значно розширить міжнародне співробітництво України у сфері охорони довкілля та сприятиме приведенню стану довкілля у відповідність до європейських та світових вимог. Незадовільний стан екологічного моніторингу визначено як загрозу національній безпеці в екологічній сфері. Наразі в Україні відсутня цілісна система управління екологічною безпекою, функціонують лише відомчі мережі, які вирішують вузькопрофільні управлінські завдання. Система екологічного управління навколишнім природним середовищем як важлива складова системи державного управління національною безпекою та формуванням державної політики сталого розвитку, виконанням міжнародних зобов'язань України у сфері охорони навколишнього природного середовища потребує докорінного вдосконалення, особливо в частині впровадження сучасних технологій геоінформаційних систем і дистанційного зондування Землі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема інтеграції аерокосмічних технологій у систему управління екологічною безпекою розглядалася в роботах багатьох науковців [3-9]. Завданням побудови систем підтримки прийняття рішень на основі математичних моделей багато уваги приділено у працях вітчизняних та зарубіжних дослідників, а саме: Дейнека В.С., Додонов О.Г., Згуровський М.З., Казимір В.В., Куссул Н.М., Лаврищева К.М., Литвинов В.В., Мокін В.Б., Петренко А.І., Петрухін В.О., Сергієнко І.В., Трофімчук О.М., Тульчинський В.Г., Верес О.М., Гофман Д.С., Аргент Р.М., Ягерс Б., Маракас Г.М., Мур А.В., Різоллі А.Е., та інші).

Проведений аналіз відображає, що тепер залишаються невирішеними питання наукового обґрунтування процедур оцінки ефективності застосування системи підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень. Порівняльний аналіз запропонованих нових рішень з відомими дозволяє визначити нові підходи до інтеграції аерокосмічних технологій у систему управління екологічною безпекою при оцінці ефектив-

ності системи підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень.

Раніше невирішена частина загальної проблеми

Розвиток сучасних телекомунікаційних технологій, глобальних інформаційних мереж та автоматизація технологій отримання, оброблення та візуалізації даних сприяють підвищенню ефективності управління екологічною безпекою як складовою національної безпеки держави. Запропонований критерій дозволить сформувати підхід до інтеграції аерокосмічних технологій у систему управління екологічною безпекою з використанням інформаційних технологій для підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень. У статті розроблено наукові основи інтеграції аерокосмічних технологій у систему управління екологічною безпекою та оцінено ефективність застосування системи підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень.

Мета дослідження – оцінка ефективності системи підтримки управлінських екологічних рішень в природних і техногенних системах в умовах надзвичайних екологічних ситуацій та наукове обґрунтування рекомендацій щодо її впровадження з використанням аерокосмічних технологій.

Результати досліджень

Система підтримки прийняття управлінських екологічних рішень передбачає: просторове уявлення об'єктів планованої діяльності; моделювання динаміки надзвичайних екологічних ситуацій; аналіз екологічних загроз і ризиків для об'єктів планованої діяльності; діагностика екологічної ситуації в зоні планованої діяльності на основі оцінки екологічних загроз і ризиків; підтримка прийняття управлінських екологічних рішень шляхом представлення та відображення оперативної екологічної ситуації засобами візуалізації.

До основних властивостей системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень відносяться:

1) Веб-орієнтованість, що дозволяє організувати безперервний зв'язок користувачів з вели-

кою кількістю складових (елементів) об'єктів планованої діяльності в режимі он-лайн незалежно від місця розташування користувачів, а також надає можливість в ситуаційних центрах різного рівня оперативно отримувати в мережі Інтернет вичерпну інформацію про стан та розташування об'єктів планованої діяльності;

2) використання геоінформаційної технології, що дає змогу відображати візуальну екологічну інформацію на цифровій карті, а також підтримувати динамічні шари картографічних даних;

3) модульна архітектура системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень, що дозволяє замінювати окремі модулі, а також розширювати функціональний потенціал за рахунок додавання нових модулів;

4) наявність графічного інтерфейсу для візуального проектування та введення інформації в систему підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

Система передбачає послідовне виконання наступних процедур:

- створення статичного шару просторової моделі об'єктів планованої діяльності, що складається з геотаксонів, створення атрибутивної бази даних, яка описує геотаксони та закріпити її до шару геотаксонів;

- створення шару комірок змінного розміру;

- приймання та оброблення даних для моніторингу стану об'єктів планованої діяльності в умовах можливих надзвичайних екологічних ситуацій;

- моделювання екологічних процесів у зоні діяльності об'єкта планованої діяльності та уточнення параметрів моделі відповідно до даних екологічного моніторингу;

- візуальне представлення динаміки поширення надзвичайних екологічних ситуацій, у вигляді відповідного шару просторової моделі району планованої діяльності;

- візуалізація геопросторової інформації, необхідної для підтримки прийняття управлінських рішень під час планованої діяльності з метою підвищення ефективності її сприйняття особою, яка приймає рішення;

- діагностика ситуації в районі планованої діяльності в умовах можливих надзвичайних екологічних ситуацій шляхом розрахунку екологічних загроз і ризиків для об'єктів планованої ді-

яльності та візуального відображення цих оцінок у просторовій моделі у вигляді динамічних зон на відповідний шар просторової моделі району планованої діяльності.

Систему підтримки прийняття управлінських екологічних рішень можна створити шляхом модернізації класичного шаблону MVC («Model-View-Controller»), а саме: користувач взаємодіє з графічним інтерфейсом, контролер обробляє отриманий запит і формує модель для відображення результатів. За допомогою шаблону MVT URL –запит передається для опрацювання, а картографічна інформація (Google maps) зберігається в базі даних PostgreSQL.

Концепція програмної частини системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень базується на блочно-модульній архітектурі з можливістю ефективною заміни функціональних блоків без зміни загального дизайну. Використовувати сучасні підходи до проектування програмного забезпечення, окремі функціональні блоки системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень запропоновано об'єднати в підсистеми за схожими функціональними характеристиками (рис. 1).

прив'язки об'єкта планованої діяльності; підсистема моделювання та прогнозування; підсистема екологічного моніторингу; підсистема аналізу екологічних ризиків; підсистема діагностики екологічної ситуації; підсистема подання інформації (візуалізації).

Репозиторій даних містить такі ресурси: дані моніторингу; статистика; налаштування системи та окремих її елементів; проміжні розрахункові дані тощо. Підсистема зв'язку пристрою містить низку допоміжних системних алгоритмів і додатків для взаємодії з наземними та аерокосмічними пристроями спостереження та передачі інформації. За допомогою даної підсистеми здійснюється прийом інформації та сигналів, що надходять від обладнання, встановленого на стаціонарних і мобільних об'єктах моніторингу довкілля, з метою моніторингу території об'єкта планованої діяльності.

Підсистема просторової прив'язки функціонально відповідає за створення та відображення пошарової просторової моделі території планованої діяльності з можливістю налаштування параметрів відображення (порядок відображення шарів, кольори та стиль ліній і заливок, шрифти написів, використання умовних символів тощо). Кожен

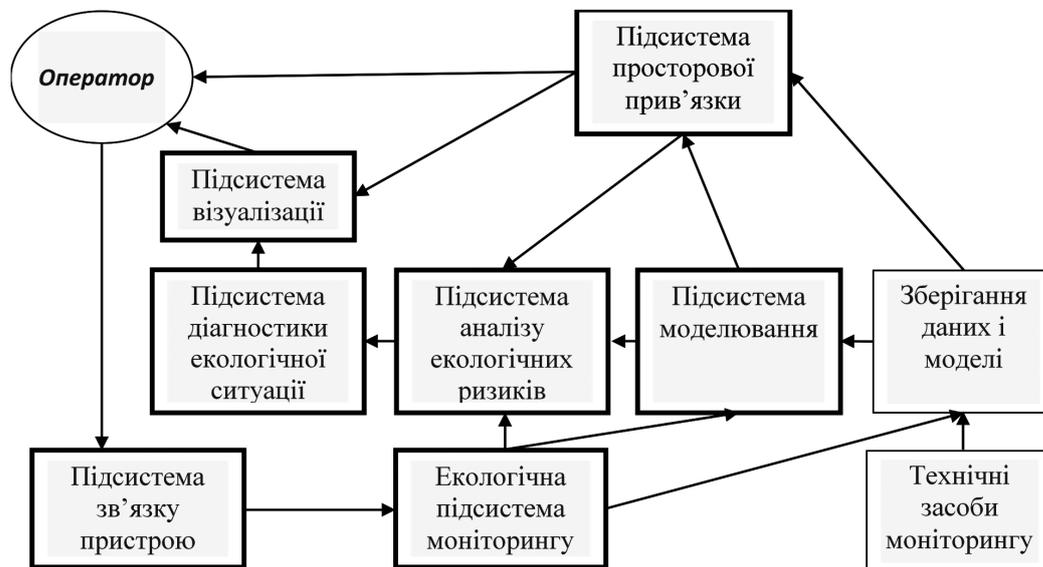


Рисунок 1 – Концептуальна модель програмної системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

Структура системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень складається з таких підсистем: зберігання даних; підсистема зв'язку з пристроями; підсистема просторової

шар складається з об'єктів карти, представлених у вигляді багатокутників, до яких прив'язана атрибутивна база даних.

Підсистема моделювання та прогнозування

містить комплекс моделей динаміки об'єктів планової діяльності певних класів, які дозволяють розрахувати швидкість розповсюдження надзвичайної екологічної ситуації на основі вхідних даних, які описують природні умови та стан навколишнього природного середовища. Засоби реалізації, закладені в підсистему моделювання, що дозволить формувати динаміку контуру надзвичайної екологічної ситуації на основі існуючих моделей.

У підсистемі моніторингу навколишнього природного середовища за станом території планованої діяльності обробляються сигнали від засобів спостереження, встановлених на окремих стаціонарних та мобільних об'єктах, надається моніторингова та архівна інформація для прийняття управлінських рішень, створення та ведення архівної бази даних, моніторингу та архівної інформації, запис інформації моніторингу та архівування. Підсистема аналізу ризиків дозволяє оцінити екологічні загрози та ризики для кожного об'єкта планованої діяльності. У підсистемі діагностики ситуації здійснюється аналіз поточної ситуації в зоні планованої діяльності, що дозволяє на основі оцінки екологічних загроз і ризиків для кожного напрямку планованої діяльності визначити об'єкти, які потребують першочергового захисту або втручання, забезпечення екологічної безпеки. Підсистема візуального представлення інформації призначена для інформаційної підтримки під час прийняття управлінських рішень щодо екстреного реагування на загрозу або виникнення надзвичайної екологічної ситуації та планування їх реалізації.

Вхідною інформацією для програмного продукту системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень є: сканована копія території ділянки, на якій здійснюється планована діяльність; значення атрибутів статичних даних картографічних об'єктів; значення параметрів середовища (метеорологічних умов); фото- та відеозображення, що отримані за допомогою аерокосмічних технологій. На основі відсканованої карти за допомогою інструментів Google Maps створюється електронна карта, на якій об'єкти нанесені у вигляді багатокутників. На основі атрибутивних параметрів картографічних об'єктів розроблено базу даних у форматі PostgreSQL. Електронна карта містить полігони, які є наборами об'єктів просторової моделі та відображаються на карті відповідними кольорами. Вихід-

ними даними ГІС є розподіл оцінок ризику, що міститься в класі ризику. Для прийняття рішень інформація, що отримана в результаті діагностики ситуації, подається у візуальному вигляді.

Для оцінки результатів дослідження було проведено експеримент з використанням системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень. Для цього були використані ретроспективні дані, що описують екологічний стан об'єктів спостереження. Відповідно до отриманих оцінок ризиків були розраховані прогнозовані наслідки та порівняні з реальними наслідками. Проведено оцінку видів та обсягів очікуваних відходів, викидів (скидів), забруднення води, повітря, ґрунту, надр, шуму, вібрації, світлового, теплового та радіаційного забруднення, а також радіації, які виникають внаслідок виконання підготовчих та будівельних робіт. Описуються фактори навколишнього природного середовища, на які ймовірно вплине запланована діяльність та її альтернативні варіанти, включно: здоров'я населення, стан фауни, флори, біорізноманіття, землі, ґрунтів, води, повітря, кліматичні фактори, матеріальні об'єкти, у тому числі архітектурна, археологічна та культурна спадщина, ландшафт, соціально-економічні умови та взаємозв'язок між цими факторами. Описано та оцінено можливі впливи на навколишнє природне середовище планованої діяльності, зокрема величину та масштаби таких впливів, характер, інтенсивність та складність, ймовірність, очікуваний початок, тривалість, частоту та неминучість впливу. Проведено оцінку методів прогнозування, які використовуються для оцінки впливу на довкілля. Проведено аналіз очікуваного негативного впливу діяльності на навколишнє природне середовище, заходів із запобігання або пом'якшення впливу надзвичайних ситуацій на навколишнє природне середовище та заходів реагування на надзвичайні ситуації.

Для оцінки ефективності запропонованої інтегрованої автоматизованої системи використано опис запланованих заходів у системі підтримки прийняття управлінських інформаційних рішень.

Стратегічна екологічна оцінка проєкту містобудівної документації «Детальний план території земельної ділянки площею 11,4288 га (Кадастровий номер 3221287001:01:012:0001) для реконструкції майнового комплексу ПАТ «ППР». Броварський» (рис. 2). Метою стратегічної екологіч-

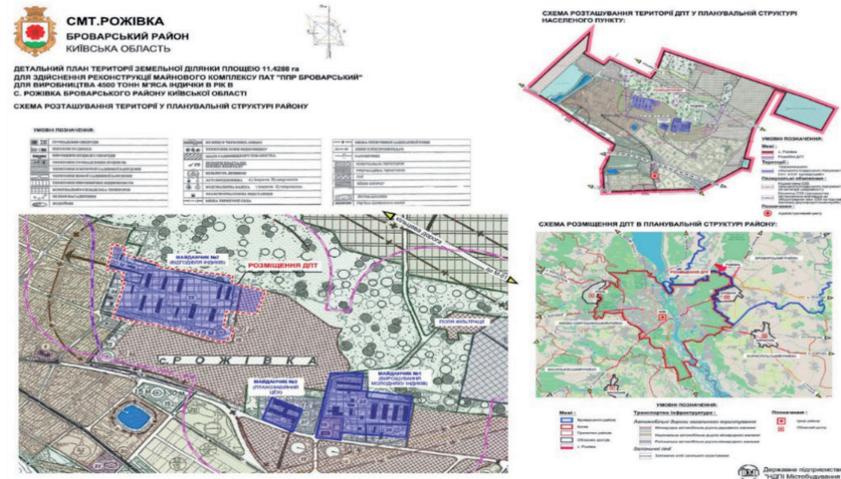


Рисунок 2 – Схема розташування території СПД

ної оцінки є сприяння сталому розвитку шляхом забезпечення охорони навколишнього природного середовища, безпеки життя і здоров'я населення та врахування екологічних вимог під час розроблення та затвердження документів державного планування.

Стратегічна екологічна оцінка проєкту Генерального плану міста Боярка Києво-Святошинського району Київської області, 2020 року. Метою стратегічної екологічної оцінки є сприяння сталому розвитку шляхом забезпечення охорони навколишнього природного середовища, безпеки життєдіяльності населення та охорони здоров'я, врахування екологічних вимог під час розроблення та затвердження документів державного планування (рис. 3).

При забезпеченні прийняття управлінських екологічних рішень можна визначити два критерії вибору способу реалізації заходу підтримки

(комплексу заходів): час і витрати на підготовку пропозицій.

Ці критерії суперечать один одному (чим менше часу витрачається на реалізацію заходу, тим більші витрати), що є основною складністю у виборі конкретного методу формування пропозиції щодо стратегічної екологічної оцінки, оцінки впливу на довкілля, оцінки довкілля, загрози та ризику. Крім того, витрати на локалізацію та ліквідацію надзвичайних екологічних ситуацій прийнято відносити до завданих втрат і екологічних збитків.

Результати експерименту аналізувалися з точки зору трьох основних показників, прийнятих особою, з прийняття рішення, з урахуванням особливостей перерахованих критеріїв: своєчасність; ефективність; якість.

Оперативність (своєчасність) можна оцінити як проміжок часу від моменту виявлення надзви-

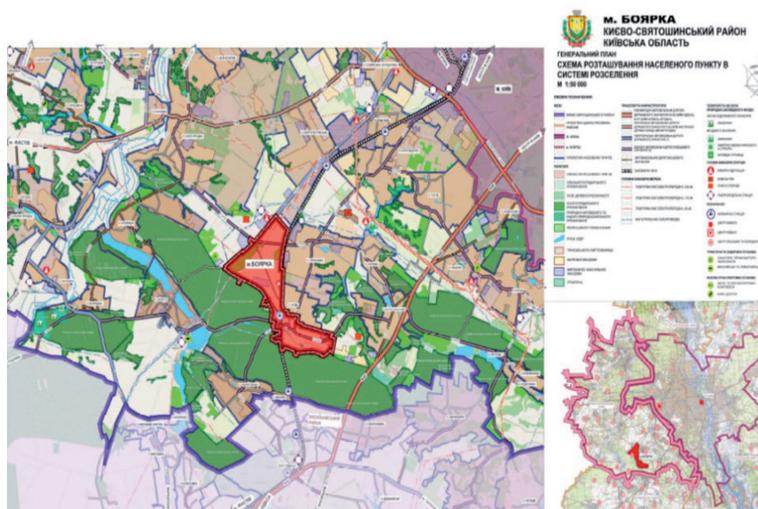


Рисунок 3 – Схема розташування Боярки в системі розселення.

чайної екологічної ситуації до моменту її остаточного усунення.

Ефективність можна оцінити як сукупну вартість сил, засобів і ресурсів, які були задіяні на всіх етапах локалізації та ліквідації надзвичайної екологічної ситуації. Якість можна оцінити як загальну вартість втрат при локалізації та ліквідації надзвичайної екологічної ситуації.

Результати експерименту підтвердили, що використання системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень дозволяє підвищити ступінь ефективності управлінських екологічних рішень за рахунок:

- скорочення часу на підготовку документів щодо стратегічної екологічної оцінки, оцінки впливу на довкілля, оцінки екологічних загроз та ризиків (зменшується час: до 1-2 годин при проведенні стратегічної екологічної оцінки, оцінки впливу на довкілля; 5-10 хв.) при опрацюванні повідомлень про виникнення надзвичайних екологічних ситуацій, оцінці екологічних загроз і ризиків);

- автоматизація доставки інформації, отриманої службами оперативного реагування;

- інформаційно-аналітичне забезпечення прийняття управлінських рішень при ліквідації надзвичайних екологічних ситуацій;

- зберігання інформації в базі даних з прив'язкою до об'єктів планованої діяльності;

- можливості автоматизації створення звітів, ведення статистики, аналізу оперативної обстановки;

- єдиний інформаційний простір для підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

Крім того, проведено дослідження помилок 1 та 2 типу в управлінні екологічною безпекою запланованих заходів.

Результати експерименту дозволяють зробити наступні висновки.

Дискретизація простору розгляду при координатній сітці комірок розміром менше 10 м призводить до різкого збільшення часу обчислення, а при розмірі комірки 20 м і більше точність апроксимації є недостатньою.

Отже, запропонована система підтримки прийняття управлінських екологічних рішень може забезпечити прийнятні характеристики за точністю та швидкістю за умови дискретизації простору (локальності) з розмірами осередків від 10 до 20 м.

При виконанні планованої діяльності помилки першого і другого роду взаємно симетричні, помилки першого роду будуть переходити в помилки другого роду і навпаки. Однак у більшості практичних ситуацій плутанини не виникає, оскільки прийнято вважати, що нульова гіпотеза відповідає стану «за замовчуванням» (природному, найбільш очікуваному стану речей) – наприклад, що досліджувана територія є екологічно безпечною, або система спостереження не виявила екологічних загроз чи ризиків. Відповідно, альтернативна гіпотеза позначає протилежну ситуацію, яка зазвичай інтерпретується як менш ймовірна, екстраординарна, така, що вимагає певної реакції.

Проведені експерименти також підтвердили, що використання GISForestProject забезпечує зменшення помилок типу 1 (до 10-2) і типу 2 (до 10-3) і дозволяє особі, яка приймає рішення, своєчасно приймати адекватні рішення на основі оцінки екологічного ризику під час планової діяльності об'єктів критичної інфраструктури у разі виникнення надзвичайних екологічних ситуацій та відповідно зменшити реальні збитки в умовах надзвичайних екологічних ситуацій. Результати експерименту доводять, що використання системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень дозволяє скоротити тривалість оцінки ситуації та вибору рішення, що дає змогу зменшити залежність від її психофізіологічних та евристичних властивостей та знизити екологічні ризики від надзвичайні екологічні ситуації на об'єктах критичної інфраструктури.

Система підтримки прийняття управлінських екологічних рішень у GISForestProject апробована на вирішенні ряду завдань підтримки прийняття рішень зі стратегічної екологічної оцінки та оцінки впливу на навколишнє середовище. Отже, запропонована інтеграція аерокосмічних технологій у систему управління екологічною безпекою дозволяє ефективно використовувати систему підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень.

Висновки

У статті оцінено ефективність системи забезпечення прийняття управлінських екологічних рішень у природних і техногенних системах в

умовах надзвичайних екологічних ситуацій та надано рекомендації щодо її впровадження.

Запропоновану технологію підтримки прийняття екологічних управлінських рішень доцільно використовувати як основу веб-орієнтованої геоінформаційної системи GISForestProject, яка створена на мові програмування Python з використанням фреймворку Django та його розширення GeoDjango. Для створення системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень використано бібліотеку OpenLayers (для створення карт) та систему управління базами даних PostgreSQL.

Система забезпечує виконання наступних функцій: приймання та оброблення даних моніторингу стану об'єктів планової діяльності в умовах можливих надзвичайних екологічних ситуацій; моделювання екологічних процесів у зоні діяльності об'єкта планованої діяльності та уточнення параметрів моделі відповідно до даних екологічного моніторингу; наочне відображення динаміки поширення надзвичайних екологічних ситуацій у вигляді відповідного шару просторової моделі району планованої діяльності; діагностика ситуації в районі планованої діяльності в умовах можливих надзвичайних екологічних ситуацій шляхом розрахунку екологічних загроз і ризиків для об'єктів планованої діяльності та візуального відображення цих оцінок у просторовій моделі у вигляді динамічних зон на відповідний шар просторової моделі території планованої діяльності; візуалізація геопросторової інформації, необхідної для підтримки прийняття управлінських рішень під час планових заходів з метою підвищення ефективності її сприйняття особою, що приймає рішення. Програмний продукт розроблено з використанням Python 3.2, Django, GeoDjango, OpenLayers, СУБД PostgreSQL 9.4, PostGIS.

Результати експерименту доводять, що використання системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень дозволяє скоротити тривалість оцінки ситуації та вибору відповідного рішення, що дає змогу зменшити залежність від психофізіологічних та евристичних властивостей особистості який приймає рішення та зменшує екологічні ризики від надзвичайних екологічних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>.
2. Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text>.
3. Машков О. А. Застосування системного підходу до проведення оцінки та вивчення еколого-техногенного стану зони відчуження та розроблення рекомендацій щодо природно-ресурсного відновлення на екологічних засадах. / О. А. Машков, Т. Г. Іващенко, І. Ю. Денисенко. – Київ: Основа, 2021. – 80 с.
4. Іващенко Т.Г. Стратегічна екологічна оцінка документів державного планування: Монографія / Під загальною науковою редакцією д.б.н. Г. Г. Шматкова / Т. Г. Іващенко. К.: Основа. 2021. – 60с.
5. Бондар О. І. Системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави / О. І. Бондар, О. А. Машков, В. С. Міхеєв. // Екологічні науки: науково-практичний журнал.. – 2020. – №3. – С. 30–38.
6. Машков О. А. Проблеми управління екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою систем підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень / О. А. Машков, Т. Г. Іващенко. // Науковий часопис Академії національної безпеки. – 2020. – №3. – С. 7–34.
7. Машков О. А. Застосування аерокосмічних технологій при управлінні екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою інтегрованих автоматизованих систем. / О. А. Машков, Т. Г. Іващенко, К. Є. Мухіна. // Науковий часопис Академії національної безпеки. – 2021. – №1. – С. 4–27.
8. Innovative approaches of using the methods for remote sensing of the earth for monitoring the ecological-technical condition of water ecosystems / O.Mashkov, S. Zhukauskas, S. Nigorodova, V. Kosenko. // Екологічні науки: науково-практичний журнал. – 2019. – №3. – С. 115–125.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СКИДАННЯ СТИЧНИХ ВОД У ВОДОЙМИЩЕ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ВОДОПРИЙМАЧА З ПОЗИЦІЙ МОЖЛИВОГО ЙОГО ЕВТРОФУВАННЯ

Проскурнін О.А.¹, Цапко Н.С.¹, Василенко С.Л.²

¹НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»,
вул. Бакуліна, 6, м. Харків, 61166
proskurnin_o@ukr.net tsapkonatali@ukr.net

²Комунальне підприємство «Харківводоканал»
вул. Шевченка, м. Харків, 261013
texvater@rambler.ru

Стаття присвячена загрозі евтрофуванню водойм внаслідок їх забруднення стічними водами. Особливо гостро ця проблема постала для водойм, які використовуються як джерела питної води. При цьому, система нормування скидів забруднюючих речовин зі стічними водами, що діє в Україні, розрахована на не перевищення допустимої забрудненості природної води за санітарними показниками, що не гарантує загрози евтрофуванню водойм. Дана проблема розглядається на прикладі Краснопавлівського водосховища (м. Харків), що використовується для питного водопостачання і водночас є приймачем стічних вод Комплексу водопідготовки (КВ) «Дніпро» у складі Комунального підприємства «Харківводоканал». У статті досліджується загрозу виникнення евтрофування визначати з ймовірності перевищення у воді критичних концентрацій біогенних речовин. Критичні концентрації є властивістю окремої водойми та можуть бути визначені шляхом регулярних лабораторних спостережень з використанням методів математичного моделювання. За відсутності зазначених досліджень, критичні значення біогенних речовин можуть бути отримані за довідковими даними. За результатами хімічних аналізів за 2017-2019 рр., проведено розрахунок допустимого вмісту біогенних речовин у стічних водах КВ «Дніпро», а також визначення ймовірності перевищення критичних концентрацій азотовмісних мінеральних речовин

та фосфатів у воді Краснопавлівського водосховища у зоні впливу скидання.

Авторами визначено що, допустимий склад стічних вод забезпечує дотримання санітарних нормативів якості природної води, проте загроза евтрофування Краснопавлівського водосховища залишається. А саме, має високу ймовірність перевищення критичної концентрації нітратів, що вимагає від підприємства-водокористувача підвищеного контролю за екологічним станом водойми. У статті пропонуються заходи які спрямовані на мінімізацію ризику евтрофування водоприймачів стічних вод промислових, комунальних та сільськогосподарських підприємств.

Ключові слова: екологічна безпека, водоймище, стічні води, евтрофування, допустиме скидання, біогенні речовини, ймовірність.

Analysing the process of wastewater discharge into a water reservoir: the risks of eutrophication of the reservoir and the potential effects on the environment. Proskurnin O., Tsapko N., Vasylenko S.

This article analyzes the threat of waterbody eutrophication because of pollution by sewage water. This problem is especially significant for reservoirs that are used as sources of drinking water. It is noted that the methodology currently used in Ukraine to control pollutant discharge in wastewater is designed to simply not exceed the permissible pollution level

in natural water based on sanitary indicators, which does not guarantee the absence of the eutrophication risk to the reservoir. This problem is considered using the Krasnopavlivske reservoir in Kharkiv City as an example. This particular reservoir is used both as a source of drinking water supply, and a receiver of wastewater from the Water Treatment Complex “Dnipro” (which is part of the Municipal Enterprise “Kharkivvodokanal”). The article examines the threat of eutrophication due to exceeding critical concentrations of nutrients in the water. Critical concentrations differ for every individual water body and can be determined through regular laboratory observations using mathematical modeling methods. If this method is not available, critical values of nutrients can be obtained from reference data. According to the results of chemical analysis from the years 2017-2019, the permissible content of nutrients in the wastewater from the Water Treatment Complex “Dnipro” was calculated. The probability of exceeding the critical concentrations of nitrogen-containing minerals and phosphates in the water of the Krasnopavlivske reservoir was calculated as well.

The authors determined that the permissible composition of wastewater ensures compliance with sanitary standards of natural water quality, but the threat of eutrophication of the Krasnopavlivske reservoir remains. Namely, there is a high probability of exceeding the critical concentration of nitrates, which requires the water user enterprise to pay close attention to the ecological state of the reservoir. The article proposes measures aimed at minimizing the risk of eutrophication of wastewater at industrial, communal, and agricultural enterprises.

Keywords: environmental safety, reservoir, wastewater, eutrophication, permissible discharge, biogenic substances, probability.

Проблема антропогенного забруднення водних об’єктів (ВО) зокрема, водойм (озер, водосховищ, ставків тощо), постає гостро у всіх економічно розвинених країнах. Одним із можливих наслідків забруднення є евтрофування водойм – насичення їх біогенними елементами, що призводить до зростання біологічної продуктивності [1,2]. Внаслідок евтрофування відбувається активний розвиток та збільшення синьо-зелених водоростей у водоймах. Вода стає непридатною для пиття (неприємний смак, запах) та рекреацій-

ного використання (купання та риболовлі). Така вода насичена продуктами метаболізму водоростей, стає алергенною та токсичною. Метаболіти синьо-зелених водоростей викликають різні захворювання у риб та теплокровних тварин. Це ускладнює ситуацію щодо запасів чистої води та її використання людиною, а також сприяє зростанню захворюваності [3-5].

Одним з основних антропогенних факторів евтрофування є надходження у водоймища біогенних елементів (передусім, фосфатів та азотвмісних речовин) зі стічними водами комунальних, промислових та сільськогосподарських підприємств. Згідно як з європейським законодавством, так і з українським, для підприємств-водокористувачів розробляються та затверджуються нормативи водовідведення – гранично допустимі скидання (ГДС) забруднюючих речовин, що надходять до водних об’єктів (ВО) зі стічними водами (СВ). Метою встановлення таких нормативів є збереження та відновлення водних ресурсів через недопущення забрудненості природної води вище за встановлений допустимий рівень [6]. Однак, висновок про допустиму забрудненість водойм визначається з хімічного складу води за санітарними показниками [7]. А проведення аналізу загрози виникнення евтрофування водоприймача СВ існуюча методологія встановлення ГДС речовин не передбачає.

Особливо гостро ця проблема виявляється для водойм, що використовуються як джерело питної води. Прикладом такого водного об’єкту є Краснопавлівське водосховище, яке використовується для питного водопостачання м. Харкова, і водночас є водоприймачем СВ Комплексу водопідготовки (КВ) «Дніпро» у складі Комунального підприємства «Харківводоканал».

Метою роботи є оцінка впливу скидання СВ на якість води водоприймача з позиції загрози його евтрофування (на прикладі Краснопавлівського водосховища).

Краснопавлівське водосховище обсягом 410 млн м³ було споруджено у 1984 році, як складову частину каналу Дніпро-Донбас. Водосховище насамперед, призначене для забезпечення безперебійної роботи каналу у випадку аварії, а також резервуаром прісної води. Підприємство КВ «Дніпро» здійснює забір води для забезпечення потреб м. Харкова, але при цьому скидає у водо-

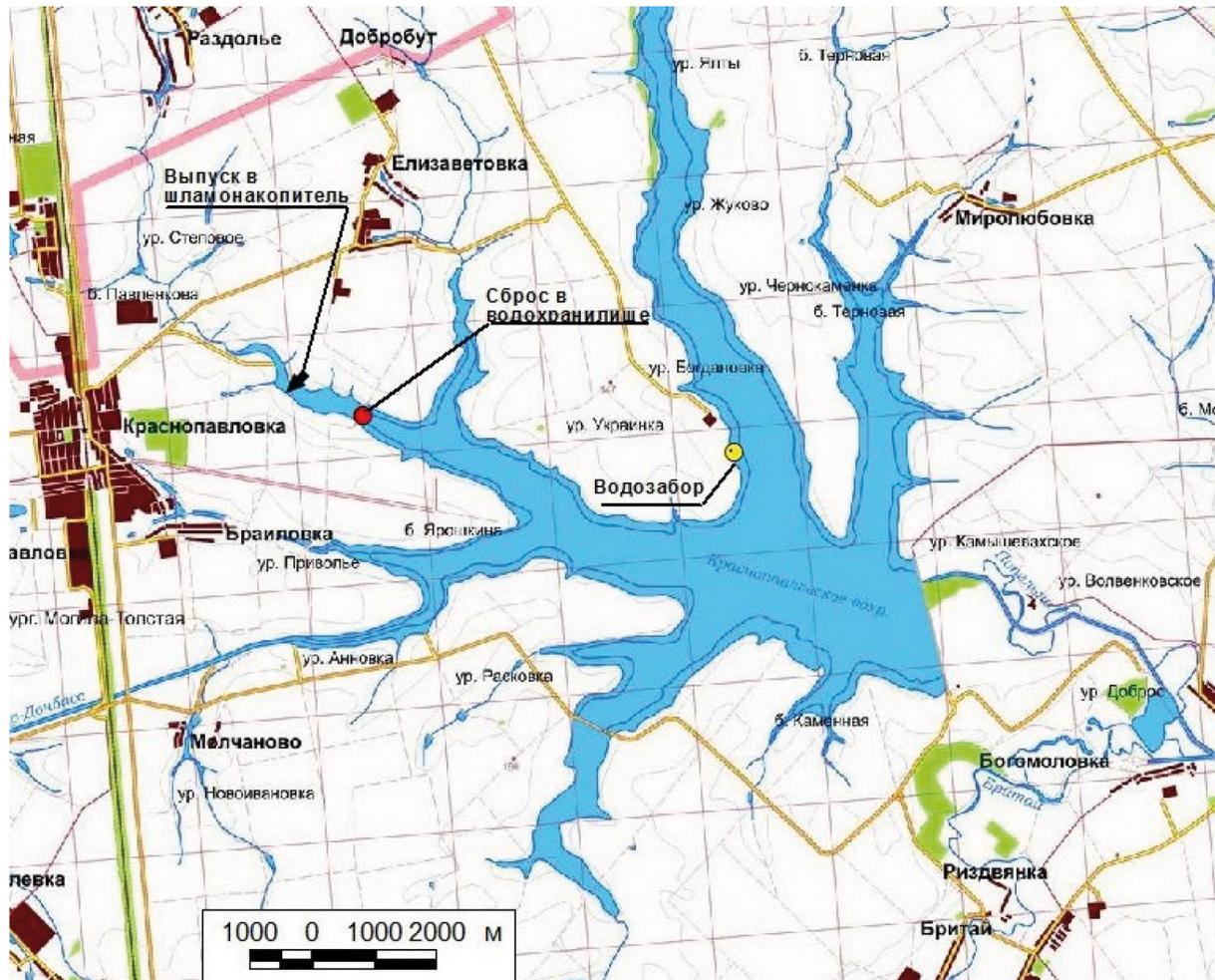


Рисунок 1. Схема відведення промивних вод фільтрувальної станції КВ «Дніпро»

сховище промивні води фільтрувальної станції. Стічні води спочатку перекачуються в шламонакопичувач, влаштований шляхом відділення дамбою частини верхів'я найближчого відрогів водосховища, а потім через дамбу відбувається скидання у водосховище їх надлишкового обсягу. Схема відведення промивних вод фільтрувальної станції КВ «Дніпро» наведена на рисунку 1.

У 2020 році для підприємства були розраховані нормативи ГДС забруднюючих речовин, що надходять із промивними водами [8]. Розрахунок проводився за Інструкцією з розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами [9]. Однак, з 2021 року розрахунки ГДС вже проводились за Методичними рекомендаціями [10]. З метою обґрунтованості подальших міркувань у статті наведений розрахунок допустимих концентрацій за обома пропонуваними методичними документами.

Розрахунок допустимої концентрації забруднюючої речовини $C_{гдс}^{разр}$ в СВ визначається за формулою:

$$C_{гдс}^{разр} = n \cdot [(C_{гдк} - C_{нф}) \cdot \exp(-k \cdot t) + C_{нф}] + F, \quad (1)$$

де n – кратність розбавлення СВ водою ВО в контрольній точці (КТ), віддаленої на відстані 500 м від випуску; F – фонові забрудненість води водоприймача; $C_{нф}$ – природний фон забруднюючої речовини, незалежний від антропогенного навантаження на ВО; k – коефіцієнт неконсервативності речовини, що характеризує ступінь самоочищення води від речовини, що розглядається; t – час переміщення СВ від випуску до КТ; $C_{гдк}$ – гранично допустима концентрація речовини (ГДК).

Відповідно до Методичних рекомендацій, фонові концентрації речовин розраховується як

середньоарифметичне значення за результатами спостережень. Згідно Інструкції, фонові концентрації розраховуються з огляду статистичної обробки як верхня межа довірчого інтервалу визначається за формулою [11]

$$F = F^{сер} + \frac{\sigma_F \cdot s}{\sqrt{N}}, \quad (2)$$

де $F^{сер}$ – середня концентрація речовини за результатами вимірів; σ_F – середньоквадратичне відхилення концентрації; s – коефіцієнт Ст'юдента (визначається згідно [11]); N – обсяг вибірки.

При ігноруванні процесів самоочищення води (що виправдано при нормуванні скидання забруднюючих речовин не за басейновим принципом) розрахункова формула (1) спрощується:

$$C_{гдс}^{разр} = n \cdot (C_{ГДК} - F) + F, \quad (3)$$

Остаточна прийнята допустима концентрація визначається виходячи з принципу непогіршення якості води, що склалася:

$$C_{гдс} = \min(C_{гдс}^{разр}, C), \quad (4)$$

де C – фактична концентрація речовини, що визначається як середня за результатами спостережень (при розрахунку за Інструкцією – з відрахуванням найбільшого та найменшого значень із ряду спостережень).

Концентрація речовини в контрольній точці водного об'єкта при ігноруванні самоочищення визначається за формулою:

$$y = \frac{(C - F)}{n} + F, \quad (5)$$

Розрахунок ГДС біогенних речовин для КВ «Дніпро» виконувався за результатами спосте-

Таблиця 1

Результат статистичної обробки вихідних даних для розрахунку ГДС та результат розрахунку допустимих концентрацій

Показник	Нітрати	Нітриди	Азот амонійний	Фосфати
Кількість спостережень, N	36	36	36	36
Краснопавлівське водосховище				
Середня концентрація, $F^{сер}$	0,62	0,015	0,19	0,11
Коефіцієнт Ст'юдента, s	1,69	1,69	1,69	1,69
Середньоквадратичне відхилення F	0,32	0,03	0,06	0,06
Фонові концентрації (згідно з Інструкцією / МР) F	0,71/0,62	0,02/0,015	0,21/0,19	0,12/0,11
Стічні води КВ «Дніпро»				
Середнє значення	1,04	0,021	0,17	0,09
Максимальне	2,64	0,07	0,46	0,17
Мінімальне	0,5	0,007	0,1	0,025
Фактичне (згідно з Інструкцією / МР) C	1,01/1,04	0,02/0,021	0,16/0,17	0,09/0,09
Результат розрахунку (згідно з Інструкцією / МР)				
Розрахункове допустиме, $C_{гдс}^{разр}$	319,6/320,16	23,62/23,66	13,13/13,23	24,45/24,55
Прийняте допустиме	1,01/1,04	0,02/0,021	0,16/0,17	0,09/0,09
Концентрація в КТ за умови досягнення ГДС, y	0,75/0,68	0,02/0,02	0,20/0,19	0,12/0,10
ГДК	45	3,3	2	3,5

Критичні концентрації біогенних речовин, що відповідають 3-й категорії якості води

Речовина	Критична концентрація, мг/дм ³ , $C_{кр}$
Нітрати	0,31
Нітрити	0,046
Азот амонійний	2,26
Фосфати	0,16

режень у період з 2017 по 2019 рр. Результат статистичної обробки вихідних даних, а також результат розрахунку допустимих концентрацій наведено у таблиці 1.

Як видно з табл. 1, для всіх біогенних речовин за допустиму концентрацію прийнята фактична, яка забезпечує неперевикнення ГДК речовин в КТ водойми. Однак, як було зазначено вище, залишається відкритим питання щодо загрози евтрофування.

Мінімальний вміст біогенних речовин у воді, при якому відсутня загроза початку процесу евтрофування, є властивістю конкретної водойми. Для його визначення розроблені різні математичні моделі [12]. Однак, подібні моделі включають велику кількість параметрів, ідентифікація яких являє собою складний наукомісткий процес. Стосовно Краснопавлівського водосховища така робота не проводилася. Як спрощення, для розв'язання цієї задачі можна скористатися екологічними нормативами, що містяться у Методиці екологічної оцінки водних об'єктів за відповідними критеріями [13] (далі – Методика). Відповідно до неї, природній воді за будь-яким показником, присвоюється категорія якості від 1 до 7 (1 – найкраща якість, 7 – найгірша.) Вода вважається, «евтрофованою» при категорії якості, починаючи з 3-ї. Критичні концентрації біогенних речовин $C_{кр}$, відповідні даної категорії, наведено у таблиці 2.

Бачиться доцільним загрозу початку евтрофування визначати виходячи з ймовірності перевищення у воді величини $C_{кр}$. У цьому випадку, концентрації речовин у СВ та фонові концентрації розглядаються як випадкові величини. Концентрація речовини в КТ у як комбінація випадкових величин, також буде випадковою величиною. Тому для визначення ймовірності переви-

щення нею величини $C_{кр}$ необхідно побудувати функцію імовірнісного розподілу величини u .

Як спрощення передбачається, що імовірнісний розподіл концентрацій речовин у воді підпорядкований нормальному закону. Виправданість цього припущення базується на центральній граничній теоремі [14], а також на тому факті, що на вміст забруднюючих речовин у СВ та на фонову забрудненість водоприймача, впливає велика кількість приблизно рівноважних факторів. Також для побудови функції розподілу величини будуть використані наступні закони теорії ймовірностей [14]:

1) Математичне очікування та середньоквадратичне відхилення довільної випадкової величини x є однорідними відображеннями на числову вісь:

$$\langle c \cdot x \rangle = c \cdot \langle x \rangle, \quad (6)$$

$$\sigma_{cx} = c \cdot \sigma_x, \quad (7)$$

$\langle \rangle$ де – позначення математичного очікування; c – константа.

2) Сума двох нормально розподілених випадкових величин $N(a1, \sigma1)$ і $N(a2, \sigma2)$ є також нормально розподілена випадкова величина з математичним очікуванням та дисперсією відповідно $a1 + a2$ та $\sigma_1^2 + \sigma_2^2$.

Запишемо (5) у вигляді комбінації двох випадкових величин:

$$y = \frac{C}{n} + F \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right) = \frac{C}{n} + F \cdot \frac{n-1}{n} \quad (8)$$

Складові правої частини (8) позначимо відповідно $y1$ і $y2$.

Виходячи з наведених вище закономірностей, математичне очікування концентрації речовини в контрольній точці і середньоквадратичне відхилення дорівнюють відповідно:

$$\langle y \rangle = \frac{1}{n} \cdot \langle C \rangle + \frac{n-1}{n} \cdot \langle F \rangle, \quad (9)$$

та

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n^2} \cdot \sigma_C^2 + \left(\frac{n-1}{n}\right)^2 \cdot \sigma_F^2}, \quad (10)$$

Отже, ймовірність неперевищення критичного значення концентрації речовини в контрольній точці дорівнює

$$P(y \leq C_{кр}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_y} \cdot \int_{-\infty}^{C_{кр}} \exp\left(-\frac{(t - \langle y \rangle)^2}{2\sigma_y^2}\right) dt \quad (11)$$

На рис. 2 наведено графік функції ймовірнісного розподілу концентрації нітритів у КТ.

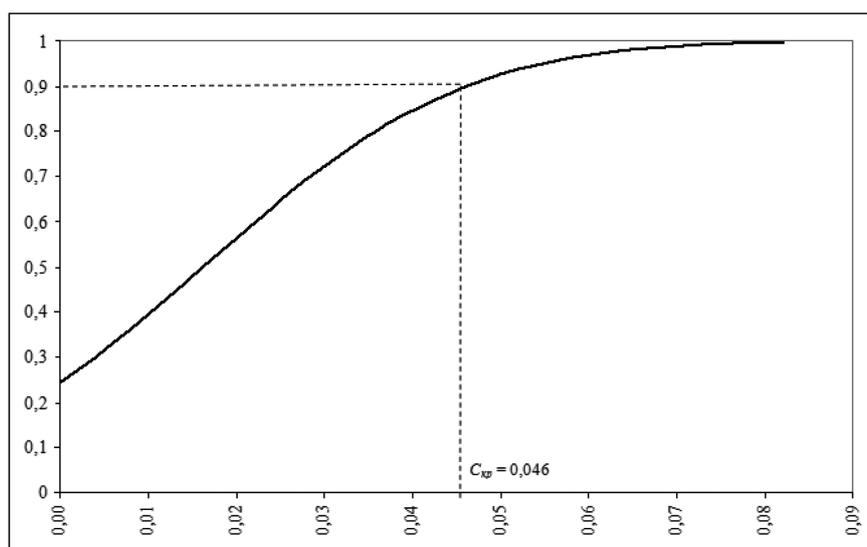


Рисунок 2 – Функція ймовірнісного розподілу концентрації нітритів у КТ Краснопавлівського водосховища

Як видно з графіка, ймовірність неперевищення критичного значення нітритів дорівнює 0,90, що можливо вважати високою. Аналогічні розрахунки були проведені і для інших біогенних речовин. Ймовірності неперевищення критичних значення азоту амонійного, нітратів та фосфатів дорівнює відповідно: 1,00, 0,10, 0,88. Відтак, концентрація нітратів у КТ Краснопавлівського водосховища з боку загрози евтрофування досить висока, що спричинено фоновим перевищенням критичної концентрації Скр, а також забруднен-

ням водоймища стічними водами. Оскільки законодавча база обмеження надходження біогенних забруднюючих речовин із СВ із позиції можливої евтрофування на даний час відсутня, підприємству необхідно проводити підвищений контроль за екологічним станом водосховища у зоні впливу скидання СВ.

Висновок. У статті обґрунтовано, що для забезпечення екологічної безпеки скидання СВ у водоймища необхідно проводити аналіз впливу скидів на екологічний стан водоприймача з позиції можливого евтрофування. Авторами статті запропоновано механізм оцінки, що враховує ймовірнісні фактори формування якості води. Розрахунок для Краснопавлівського водосховища, що є водоприймачем СВ підприємства-водокористувача КВ «Дніпро», показав високу ймовірність перевищення критичного значення нітратів у воді водойми, що може призвести до початку

евтрофування. Розглянутий приклад демонструє недосконалість діючої методичної бази призначення допустимих концентрацій речовин у СВ, яка не враховує загрози евтрофування водойм.

Для забезпечення екологічної безпеки скидання СВ у водоймища необхідно:

1) удосконалити методологію розрахунку ГДС у плані визначення допустимого складу СВ, при якому загроза початку процесу евтрофування у водоприймачі буде мінімальною;

2) для водойм, що використовуються як джере-

ло питного водопостачання, за наявності фінансових ресурсів методом математичного моделювання визначати критичні концентрації біогенних речовин, при яких можливе евтрофування.

Слід зазначити, що хоча запропонований імовірнісний механізм аналізу впливу скидання СВ на екологічний стан водоприймача в розглянутому аспекті схожий з механізмом оцінки екологічного ризику, однак таким не є. Для оцінки ризику евтрофування, виходячи зі складу СВ, що скидаються, необхідно визначити ймовірність виникнення евтрофування при перевищенні критичних значень концентрацій біогенних речовин, що є предметом подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Prepas E. E. Worldwide Eutrophication of Water Bodies / E. E. Prepas, T. Charette. // *Treatise on Geochemistry*. – 2003. – №9. – С. 311–331.
2. Rodriguez B. Eutrophication in bodies of water: an overview of pollution effects and removal technologies [Електронний ресурс] / Rodriguez // *Writer for Save The Water™*. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://savethewater.org/eutrophication-an-overview-of-pollution-effects-and-removal-technologies/>.
3. Open information system on biodiversity cyanoprokaryotes and lichens CRIS / A. V. Melechin, D. A. Davydov, S. S. Shalygin, E. A. Borovichev. // *Bull. MOIP. department of Biology*. – 2013. – №6. – С. 51–56.
4. CRIS – service for input, storage and analysis of the biodiversity data of the cryptogams / [A. V. Melechin, D. A. Davydov, E. A. Borovichev та ін.]. // *Folia Cryptog. Estonica*. – 2019. – №56. – С. 99–108.
5. Ковальчук Л. Й. Гігієнічна оцінка евтрофікації поверхневих водойм Українського Придунав'я / Л. Й. Ковальчук, А. В. Мокієнко. // *Актуальні проблеми сучасної медицини*. – 2014. – №4. – С. 73–78.
6. Водный кодекс Украины. К., Видавничий Дім "Ін Юре", 2004. – 138 с.
7. Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 02.05.2022 № 721. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#>.
8. Проект гранично-допустимого скидання (ГДС) забруднюючих речовин із зворотними водами Комунального підприємства «Харківводоканал»: Звіт про НДР УКРНДІЕП. Харків: 2020. 82 с.
9. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично-допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами. Мінприроди України [Електронний ресурс]. – 1994. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0313-94#Text..> – Київ, 1994. – 89 с.
10. Методичні рекомендації з розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти із зворотними водами. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 05.03.2021 р. № 173. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://mepr.gov.ua/documents/3331.html>.
11. Временные методические указания по проведению расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. Гидрометеоиздат, Ленинград. 1983. 52 с.
12. Tuchkovenko Y. S. The model of eutrophication of marine and estuarine ecosystems in the northwest black sea region / Y. S. Tuchkovenko, O. A. Tuchkovenko. // *Ukrainian hydrometeorological journal*. – 2018. – №21. – С. 75–89.
13. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Романенко В.Д. Київ: Символ-Т, 1998. 28 с.
14. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. / Г. Корн, Т. Торн. – Москва: Наука, 1968. – 720 с.

УДК 621.039.7: 621.039.5

АЛЬТЕРНАТИВНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЯДЕРНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Ольховик Ю.О.¹, Бондар Ю.В.², Азаров І.С.¹.

¹Київський Національний авіаційний університет
проспект Любомира Гузара, 1, Київ, 03058
yolkhovyk@ukr.net

²Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»
проспект Академіка Палладіна, 34А, Київ, 02000
juliavad_peremoga@ukr.net

В умовах широкомасштабних військових дій в Україні та застосування агресором потужного ракетного озброєння для руйнування енергетичної системи, можливість цілеспрямованої повітряної атаки на ядерні енергетичні установки стала реальною загрозою для екологічної безпеки держави. Захисна оболонка водо-водяного реактору типу ВВЕР-1000 не розрахована на захист від потужних ракетних ударів. Руйнація якої може призвести до розплавлення активної зони відпрацьованого ядерного палива, що зберігається у басейнах витримки з відповідним масштабним забрудненням прилеглої території довгоживучими радіонуклідами.

В той же час, реалії сьогодення вказують, на неможливість в існуючих умовах відмовитись від ядерної енергії. З огляду на можливість зловмисного впливу на ядерну установку альтернативним напрямом розвитку більш безпечної ядерної енергетики може бути впровадження малих модульних водо-водяних реакторів типу NuScale Power. Згаданий реактор має властивості внутрішнього самозахисту і з огляду на невеликі розміри реактор і басейн витримки відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) можуть розміщатися у охолоджувальних басейнах нижче рівня землі, що підвищує їхню безпеку і практично виключає руйнування ядерної установки внаслідок ракетної атаки.

В статті розглянуто можливі сценарії поведінки з відпрацьованим ядерним паливом і радіоактивними відходами, що будуть утворю-

ватись при експлуатації реактора типу NuScale Power. Оскільки активна зона реактора має невеликий розмір, ядерне паливо матиме меншу ступінь вигорання порівняно з ВВЕР, що потребує відповідних конструктивних рішень для його подальшого зберігання у Центральному сховищі відпрацьованого ядерного палива.

На відміну від ВВЕР-1000 тверді металічні відходи можуть мати значно вищий вміст радіонуклідів активаційного походження. Активована сталь корпусу і обладнання реактору типу NuScale Power будуть містити радіоізотопи з періодом напіврозпаду більше кількох тисяч років (наприклад, ^{59}Ni , ^{14}C , ^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{93}Zr , ^{93}Mo і ^{36}Cl), тому ці відходи повинні бути захоронені в геологічному сховищі, що накладає спеціальні умови при поводженні із радіоактивними відходами.

Створення нових енергетичних ядерних установок з використанням малих модульних реакторів є одним із перспективних напрямків щодо підвищення як енергетичної безпеки країни, так і мінімізації можливих негативних впливів на довкілля внаслідок руйнування таких установок.

Ключові слова: малий модульний реактор, безпека експлуатації, радіоактивні відходи, цементування, сорбенти.

Alternative ways of enhancing environmental safety of the nuclear energy facilities. Olkhovyk Yu., Bondar Yu., Azarov I.

In the conditions of Russia's large-scale military

invasion of Ukraine, and the aggressor's use of powerful missile weapons to destroy the energy system, the possibility of a targeted air attack on nuclear power plants has become a real threat to the environmental security of Ukraine. The protective shell of the water-water energy reactor (WWER-1000) is not designed to withstand powerful missile strikes. The destruction of such a protective shell can lead to the melting of the spent nuclear fuel's active zone (stored in special pools), followed by large-scale contamination of the surrounding area with long-lived radionuclides.

At the same time, the realities of today indicate the impossibility of giving up nuclear energy yet. Given the possibility of a malicious influence on a nuclear installation, an alternative direction for the development of safer nuclear energy may be the introduction of small modular water-water reactors NuScale Power. This reactor has internal self-protection properties and due to its small size, the reactor and the spent nuclear fuel (SNF) storage pool can be placed below ground level, which increases their safety and virtually eliminates the chances of destruction due to a missile attack.

The article considers possible scenarios for handling spent nuclear fuel and radioactive waste that will be generated during the operation of a NuScale Power reactor. Since the active zone of the reactor is small, the nuclear fuel will have a lower degree of burnout compared to the WWER, which requires appropriate design solutions for its storage in the Central Storage of Spent Nuclear Fuel.

Creating new energy nuclear facilities using small modular reactors is one of the more promising directions for increasing the country's energy security, and minimizing the possible negative effects on the environment due to the destruction of such facilities.

Keywords: small modular reactor, operational safety, radioactive waste, cementation, sorbents.

Існуюча проблема

Нині використання атомних електростанцій з реакторами ВВЕР в Україні несе екологічну небезпеку з огляду на широкомасштабні воєнні дії, і які безпосередньо загрожують руйнацією ядерної установки внаслідок цілеспрямованої повітряної атаки з застосуванням крилатих чи балістичних ракет.

Не менш небезпечними є цілеспрямовані атаки на розподільчі станції Укренерго, що вже призводило до аварійних відключень енергоблоків атомних електростанцій (далі-АЕС). Адже, ресурс дизель-генераторів, призначених для підтримки охолодження активної зони у разі втрати зовнішнього електроживлення, є обмеженим і ці установки теж можуть стати об'єктом руйнації.

Результатом вищезазначених прецедентів може стати запроєктна аварія з розплавленням активної зони і руйнуванням басейну витримки ядерного палива з наступним масштабним надходженням залишкових та подільних радіонуклідів у навколишнє природне середовище. Ймовірність повторення можливої аварії на АЕС у префектурі Фукусіма (2011 р.).

Аналіз останніх досліджень

Жоден оператор АЕС так і Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ, англ. International Atomic Energy Agency) метою діяльності якого є контроль за мирним використанням атомної енергії, не передбачали можливість військової діяльності безпосередньо на майданчику АЕС. У проєктах українських атомних електростанцій неврахований ризик наслідків ведення військових дій. Вітчизняні АЕС спроектовані виключно для виробництва електричної та теплової енергії. Це означає, що об'єкти АЕС можуть бути суттєво зруйновані в результаті ймовірних ракетних або артилерійських обстрілів.

Всі енергоблоки АЕС України оснащені захисними оболонками. Їх застосування необхідне для захисту довкілля у разі внутрішньої аварії з розривом великих трубопроводів та втратою теплоносія, а також у разі зовнішніх подій: землетрусів, цунамі, ураганів, смерчів, падіння літаків, вибухів, ракетних ударів і таке інше (рис.1). Наприклад, гермооболонка ВВЕР-1000 розрахована на падіння невеликого літака масою до 6 тонн зі швидкістю до 200 м/с [1, 2]. В проєкті АЕС – 2006 реалізованому в Білорусі зазначено, що купольна конструкція гермооболонки розрахована максимум на падіння літака вагою 5,7 тонн зі швидкістю 100 м/с.

Однак, жоден енергоблок АЕС не розрахований на бойові дії та загрози ракетних атак. Цілеспрямована ракетна атака з застосуванням сучас-



Рис. 1 Зовнішні впливи, що враховуються при проектуванні захисної оболонки реакторного відділення.

ної високоточної зброї цілком може призвести до руйнування купольної армованої залізобетонної конструкції.

Дійсно, енергія падіння літака із зазначеними параметрами у нереально консервативному сценарію повного перетворення кінетичної енергії літального апарата на енергію руйнування купола гермооболонки не перевищить 1200 кДж. Водночас, бойові частини крилатих ракет містять від 400 до 600 кг вибухівки, що достатньо для руйнування армованого купола та бетонного перекриття над реактором з відповідними наслідками розгерметизації активної зони і обладнання першого контуру. Подальший розвиток ініційованої ракетною атакою аварії призведе до розплавлення активної зони і відпрацьованого ядерного палива у басейнах витримки. Якщо в результаті схожої атаки будуть зруйновані системи каталітичного окиснення водню, якими наразі обладнані енергоблоки АЕС України, то цілком можливе повторення «фукусімського» сценарію з вибухами воднево-повітряної суміші та масштабними викидами радіонуклідів у навколишнє природне середовище.

Мета статті

З огляду на притаманну потужним водо-водяним реакторам вразливість до цілеспрямованої руйнівної дії сучасних ракетних систем у якості перспективного напрямку підвищення екологічної безпеки України при подальшому розвитку ядерної енергетики можна розглядати впровадження малих модульних реакторів (ММР).

Використання ММР може вирішити дану проблему, оскільки реактор і басейн витримки відпрацьованого ядерного палива можна розмістити під землею, що захистить ядерну установку від повітряних атак таких як: літаки, ракети, артилерійські обстріли, використання безпілотних літальних апаратів тощо.

Нині ММР розглядаються суспільством як перспективна технологія розвитку атомної енергетики, яка має переваги порівняно із великими ядерними реакторами, оскільки потребує менших капітальних інвестицій, має невеликий термін реалізації, вищі показники безпеки та можливість маневрування потужністю.

Виклад основного матеріалу. У вересні 2021 року НАЕК «Енергоатом» та компанія NuScale Power підписали Меморандум про взаєморозуміння з метою вивчення можливості будівництва АЕС з реакторами NuScale в Україні. Будівництво і експлуатація малих модульних реакторів (ММР) розглядається як реальні заходи на заміну вуглецевим тепловим електростанціям та збільшення маневрових потужностей в Об'єднаній енергосистемі України [3]. Такий реактор може швидко змінювати потужність – від 20 до 100%, має короткий інтервал часу для виходу на повну потужність після зупинки, що становить лише 13 годин. Це дозволяє використовувати реактори у якості маневрових потужностей.

Такий реактор має невеликий розмір та автономну систему пасивного охолодження. Гаряча вода піднімається через теплообмінник, охолоджується і опускається до паливних елементів. Такий підхід виключив із конструкції реактора наявність насосів та додаткових рухливих елементів, які можуть зламатися. Ця конструктивна особливість суттєво підвищує екологічну безпеку ядерної установки. У випадку виникнення аварійних ситуацій, навіть у випадку повного відключення електроживлення, реактор за допомогою керуючих стрижнів гарантовано заглушає реакцію, оскільки для руху керуючих стрижнів потрібна тільки гравітація. Теоретично досягнутий рівень безпеки реактора NuScale відповідає слогану «Walk way safe – йди безпечно». Це означає, що у випадку аварії, яка виникла з будь-яких причин (у тому числі внаслідок диверсії або теракту), реактор перейде в безпечний стан без втручання людини.

Крім того, реактор і басейн витримки відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) розміщуються у охолоджувальних басейнах нижче рівня землі, що підвищує їхню безпеку і практично виключає руйнування ядерної установки внаслідок ракетної атаки. У випадку нештатної ситуації басейни охолоджують реактор та відведуть надлишок тепла. Оскільки активна зона реактора має невеликий розмір, а ядерне паливо має меншу ступінь вигорання порівняно з водо-водяним енергетичним реактором (ВВЕР), то для відведення залишкового тепла не виникне жодних технічних проблем.

Слід зазначити, що реактор типу ММР – це не компактний пристрій у вигляді одного блоку (модуля), який можна просто встановити на майданчику, включити та отримати на виході електроенергію. Незалежно від потужності та розмірів реактора, будь-яка АЕС є складною системою, що включає крім реактору, ще турбогенератор, захисну оболонку, а також комплекс активних та пасивних систем безпеки, та допоміжних систем, обладнання, що забезпечують роботу реактора, турбіни і генератор тощо. Звичайно, дані елементи розташовані на поверхні і можуть бути зруйнованими внаслідок цілеспрямованої атаки, але це не призведе до ядерної аварії та забруднення прилеглих територій радіоактивними аерозолями або диспергованим опроміненим паливом.

Слід зазначити, що проблеми, пов'язані з поведінням з відпрацьованим паливом та з утворенням радіоактивних відходів під час експлуатації ММР NuScale Power Module, поки що, не знайшли екологічно безпечного та економічно доцільного інженерного і технологічного вирішення.

В Україні, де ядерна енергетика функціонує понад 60 років, є певний досвід поводження з відпрацьованим ядерним паливом та з радіоактивними відходами. АЕС України з реакторами ВВЕР мають належну інфраструктуру. Тому поводження з відпрацьованим паливом, що виробляється ММР NuScale Power Module, який заснований на відомих технологіях легководних реакторів, не буде проблематичним. Оскільки ММР працюватимуть на такому ж пальному, що й великі атомні електростанції з реакторами ВВЕР, з відпрацьованим паливом можна поводитися так само, хоча безумовно в ході експлуатації будуть визначені деякі відмінності, які пов'язані з різною геометрією активної зони та різним ступенем ви-

горяння ядерного палива. Відповідно повинно внесені зміни у проєкті Центрального сховища відпрацьованого ядерного палива, призначеного для довгосторокового зберігання відпрацьованих тепловиділяючих збірок на території Зони відчуження.

Група дослідників зі Стенфордського університету та Університету Британської Колумбії порівняли різні конструкції ММР з водяним реактором під тиском PWR потужністю 1100 МВт за показниками еквівалентності маси і енергії, радіохімії, тепла розпаду та складу ізотопів, що розщеплюються, питомого утворення радіоактивних відходів високого, середнього та низького рівня активності [4].

Ці розрахунки показали, що у перерахунку на еквівалент енергії маса ВЯП, яке буде вивантажена з ММР NuScale Power Module, в 1,7 рази більша, ніж маса ВЯП, що утворюється реактором PWR потужністю 1 ГВт. Також ММР NuScale збільшить енергетичний еквівалент об'єму довгоіснуючих радіоактивних відходів зняття з експлуатації, які потребують геологічного захоронення, у 9-17 разів.

АЕС з використанням ММР повинно мати відповідні системи поводження з радіоактивними відходами (РАВ), які утворюються в режимі нормальної експлуатації. Однак, склад цих систем може помітно відрізнятися залежно від прийнятих рішень щодо вибору майданчиків розміщення цих ядерних установок. Якщо ММР будуть збудовані на майданчиках діючих АЕС, відповідно існуюча система поводження з РАВ має бути адаптована до потоку відходів, що будуть генерувати модульні реактори.

При розташуванні ММР NuScale на майданчиках діючих ТЕС цілком можливе використання деяких вже існуючих елементів інфраструктури для безпечної експлуатації реактора – насамперед, системи водопідготовки.

Однак, якщо АЕС буде побудована на окремому майданчику і експлуатуватися у складі декількох (до 12) одиниць ММР NuScale, виникає питання економічної ефективності створення повномасштабної системи поводження з РАВ, з відповідними установками перероблення і зберігання кондиційованих РАВ на майданчику. З огляду на це, як перспективне рішення можна розглядати спрощену лінію перероблення твердих

низько та середньо активних відходів (НСАВ) відходи у складі дільниці сортування і характеристики РАВ з наступною підпресовкою. Тимчасове зберігання кондиційованих у такий спосіб твердих РАВ доцільно виконувати у захисних контейнерах в легкому ангарному сховищі.

Наразі будь-які кількісні оцінки утворення рідких РАВ на ЯУ з ММР відсутні. Оскільки ММР NuScale є легководним енергетичним реактором, можливо використовувати деякі аналогії з відомим реактором PWR. Очікується, що рідкі РАВ, які утворюються при експлуатації ЯУ з ММР NuScale, будуть мати відносно невеликий об'єм з огляду на геометричні розміри парогенератору.

Це дає змогу залучати для створення системи перероблення рідких РАВ вже відомі технології, що застосовуються на практиці експлуатації АЕС з водо-водяними реакторами, а саме - пряме цементування рідких РАВ із застосуванням портландцементу або геоцементів з метою створення стійкої довговічної матриці для гарантованої іммобілізації радіонуклідів [5, 6].

Паралельно можливий інший підхід щодо організації системи поводження з РРВ на АЕС. У його основі закладено концепцію роздільного збирання РРВ різних джерел із подальшим створенням замкнутих схем їх роздільного перероблення. Розвиток та впровадження такого підходу дозволить значно підвищити надійність та знизити витрати на перероблення РРВ. Для цих технологій в Україні розроблені зразки селективних сорбентів на основі цеолітвмісного туфу Сокирницького родовища (Закарпатська обл.) [7].

Вищезгадані розробки дозволяють створювати системи перероблення рідких РАВ безпосередньо на майданчику, відповідно надавати можливість періодичного застосування мобільних установок для декількох майданчиків АЕС з малими модульними реакторами. Проектне рішення повинно базуватися на принципах гарантування безпеки при поводженні з накопиченими рідкими РАВ і економічної доцільності використання відповідних технологій та планувати проведення науково-дослідних робіт, а також удосконалення нормативної бази в галузі паливного циклу, пов'язаного з технологіями експлуатації ММР NuScale Power Module.

Висновки

Відтак, загрози для нормального функціонування ядерної енергетики України, внаслідок воєнного вторгнення, призводять до необхідності невідкладних дій щодо підвищення як енергетичної безпеки, так і мінімізації можливих негативних впливів на довкілля внаслідок руйнування ядерних установок. Створення нових енергетичних ядерних установок з використанням малих модульних реакторів є одним із перспективних напрямків такої діяльності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ядерна безпека та радіаційний захист [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.uatom.org/zagalni-vidomosti/pidvischenny-bezpeky-aes>.
2. Чем грозит авария на Запорожской АЭС [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/685504>.
3. <https://khnpp.atom.gov.ua/store/pages/ukr/archive/2021-09-w35/all.html>
4. Lindsay M. Krall. Nuclear waste from small modular reactors. [Електронний ресурс] / Lindsay M. Krall, Allison M. Macfarlane – Режим доступу до ресурсу: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2111833119>.
5. Ольховик Ю. О. Цементування боратвмісних рідких радіоактивних відходів за підвищеної температури / Ю. О. Ольховик, Ю. Г. Федоренко, А. М. Розко. // Ядерна енергетика та довкілля. – 2019. – №1. – С. 59–66.
6. Ольховик Ю.О. Вплив компонентів геополімерних в'язучих речовин на властивості компаундів за цементування борвмісних рідких радіоактивних відходів / Ю. О. Ольховик, Ю. Г. Федоренко, А. М. Розко. // Ядерна енергетика та довкілля. – 2021.- № 2(21). – С.72-77
7. Бондар Ю. В. Вилучення іонів цезію з високосольових розчинів природним клиноптилолітом і композитним сорбентом на його основі / Ю. В. Бондар, С. В. Кузенко. // Геохімія техногенезу. – 2021. – №5. – С. 86–93.

РОЗРОБЛЕННЯ СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ РУЙНАЦІЙ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Нонік Л.Ю.¹, Пацева І.Г.¹, Пічкур Т.В.²

¹Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005
kgt_nlyu@ztu.edu.ua

²Державний університет інфраструктури та технологій
вул. М. Котельникова, 29/18, м. Київ, 04071

Поряд з багаторічною, нерозв'язаною проблемою поводження з відходами в Україні однією з найгостріших нині проблем є накопичення відходів руйнацій внаслідок воєнних дій. Такі відходи накопичуються щоденно, постійно розбираються завали, що утворилися внаслідок воєнних дій. Відходи від руйнацій схожі за складом з відходами, які утворюються внаслідок стихійних лих, але вони не повторюють склад відходів будівництва та знесення. На відміну від останніх, відходи від руйнувань можуть містити вкрай небезпечні компоненти, а саме: токсичні, вибухонебезпечні, легкозаймисті, біологічні та радіоактивні компоненти медичних або лабораторних установ, які несуть загрозу навколишньому середовищу. Тому нині важливим завданням перед нашим суспільством є розроблення стратегій управління відходами руйнацій в умовах воєнного стану.

Надважливим завданням є визначення пріоритетних шляхів реалізації Закону України «Про управління відходами», вирішення проблем перероблення та утилізації відходів війни без негативного впливу на довкілля, сприяння залученню інвестицій у створення екологічно дружньої інфраструктури перероблення відходів.

Огляд та аналіз наукових праць, щодо управління відходами руйнацій, про негативний вплив таких відходів на довкілля підтверджує актуальність та нагальність питання. Авторами надається оцінка загальносвітовим тенденціям у сфері управління відходами, в тому числі відходами руйнацій, визначається необхідність невідкладного формування ефективної системи управління цих відходів в Україні.

Україна повинна стати державою, де застосовуватимуть новітні підходи стосовно ліквідації наслідків війни, поводження з відходами руйнації житлової та транспортної інфраструктури. Важливим напрямом екологічної політики нашої держави має бути шлях щодо зменшення обсягів розміщення промислових відходів і збільшення обсягів їх рециклінгу (перероблення, повторного використання й утилізації).

Ключові слова: відходи руйнації, воєнні дій, рециклінг, стратегії управління відходами.

Waste management strategies for handling hazardous debris during war. Nonik L., Patseva I., Tsyhanenko-Dziubenko I., Pinchuk T.

Along with the long-standing problem of waste management in Ukraine, one of the most urgent problems today is the accumulation of waste from the destruction caused by military actions. The emergency rescue missions disassemble the debris from buildings that collapsed as a result of military action practically every day. Destruction waste is similar in composition to the waste generated as a result of natural disasters, but it does not repeat the composition of demolition waste. Unlike the latter, destruction waste can contain extremely dangerous components, namely: toxic, explosive, flammable, biological, and radioactive components of medical or laboratory facilities that pose a threat to the environment. Therefore, it is essential for our society today to develop strategies for managing destruction waste during the war.

Currently, the biggest tasks for us are to determine

the main ways of implementing the Law of Ukraine «On Waste Management, solve the problems of processing and disposing of destruction waste without negative impact on the environment, and create an environmentally friendly waste processing infrastructure.

The analysis of scientific works on the subject confirms the relevance and urgency of the issue. The authors provide an assessment of global trends in the field of waste management, including destruction waste.

An important direction of the environmental policy of our state should be the way to reduce the volume of industrial waste storage and increase the volume of its recycling.

Keywords: destruction waste, military action, recycling, waste management strategies.

Постановка проблеми

В умовах воєнного стану продовжується накопичення відходів руйнацій, постійно проводяться роботи з розбирання завалів, що утворилися внаслідок бойових дій та очищення населених пунктів від уламків зруйнованих об'єктів. Такі будівельні відходи можуть бути повторно використані не тільки під час відновлення пошкоджених об'єктів, а й під час виробництва будівельних матеріалів.

Відходи від руйнацій схожі за складом з відходами, які утворюються в наслідок стихійних лих та не повторюють склад відходів будівництва і знесення. Відходи від руйнувань можуть містити вкрай небезпечні компоненти, а саме: токсичні, вибухонебезпечні, легкозаймисті, біологічні та радіоактивні елементи медичних або лабораторних установ, які несуть загрозу навколишньому середовищу та здоров'ю людей. У зв'язку з цим, постає проблема перероблення відходів руйнацій та розроблення відповідних стратегій поводження з ними.

Актуальність проблеми

Поряд з багаторічною, нерозв'язаною проблемою поводження з відходами в Україні, однією з найгостріших проблем сьогодення є накопичення відходів руйнацій внаслідок воєнних дій. Злочини проти довкілля також є частиною військових злочинів. Відповідно до Женевської конвенції за-

бороняється використовувати методи або засоби війни, що мають на меті нанесення широкомасштабної, тривалої та серйозної шкоди природному середовищу [1]. Снаряди, які не розірвалися та уламки від них, пошкоджений транспорт та військова техніка, руїни будівель – це все відходи, які залишаються на території України після бойових дій. Вони називаються відходами руйнацій внаслідок воєнних дій, і обов'язок суспільства – не допустити подальшого негативного впливу від неправильного перероблення та захоронення таких елементів на території України [2].

Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України оцінює екологічні збитки від воєнної агресії майже у 1 трлн грн. Саме тому, надважливим завданням сьогодення є визначення пріоритетних шляхів реалізації Закону України «Про управління відходами», вирішення проблем перероблення та утилізації відходів війни без негативного впливу на довкілля, сприяння залученню інвестицій у створення екологічно дружньої інфраструктури перероблення відходів [3].

Мета дослідження

Розробити стратегії управління відходами руйнацій в умовах воєнного стану.

Викладення основного матеріалу дослідження

Відповідно до Порядку поводження з відходами руйнації (Постанова Кабінету Міністрів України від 27.09.2022 р., №1073), за походженням відходи від руйнувань поділяються на:

1. Відходи, що утворилися внаслідок пошкодження (руйнування) об'єктів, – повного або часткового порушення їх цілісності внаслідок позапроектних впливів, зумовлених бойовими діями, зокрема потрапляння засобів ураження, вибухів, пожеж.

2. Відходи, що утворилися в результаті виконання робіт з демонтажу пошкоджених (зруйнованих) об'єктів (поетапного контрольованого часткового чи повного розбирання на окремі елементи та виробу або неконтрольованого знесення внаслідок обвалення під час використання бульдозерів, металевої кулі на стрілі, вибухової сили тощо).

Означені відходи від руйнувань складаються з таких компонентів:

а) Основних компонентів – частин (уламків, бою) будівельних конструкцій, заповнень дверних та віконних блоків, інженерних мереж, санітарно-технічних приладів тощо;

б) супутніх компонентів – матеріалів, предметів, які були всередині або поряд з об'єктом у момент пошкодження (руйнування) або виконання робіт з його демонтажу, зокрема устаткування, особистих речей, предметів вжитку (меблів, побутової техніки), органічних речовин [4].

Чинний Закон України «Про управління відходами» дає визначення відходам будівництва та знесення. Це відходи, що утворилися внаслідок діяльності з капітального ремонту, будівництва або знесення будівель та споруд. Частина сьома статті 13 вищезгаданого Закону визначає загальні вимоги щодо управління відходами будівництва та знесення: «суб'єкти господарювання, що здійснюють будівництво або знесення будівель та інженерних споруд, зобов'язані забезпечити роздільне збирання відходів будівництва та знесення, їх облік та передачу суб'єктам господарювання у сфері управління відходами для забезпечення їх оброблення. Відходи будівництва та знесення, що не є небезпечними, підлягають підготовці до повторного використання, рециклінгу, іншому матеріальному відновленню, включаючи зворотне заповнення» [5]. Однак, у рамковому законі немає жодної згадки про відходи руйнації, які утворилися і щодня утворюються внаслідок збройної агресії [6].

За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, обсяг відходів, що утворилися у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, вже можна порівняти з кількістю твердих побутових відходів, що в середньому утворюються в країні за рік. Це становить близько 10-12 млн тон. Остаточні цифри таких відходів у Міндовкіллі зможуть назвати після звільнення території України від окупантів [7].

За інформацією, що була опублікована 15 грудня 2022 року на сайті Київської школи економіки відомо, що станом на грудень на території України вже зруйновано 143,8 тис будівель, 126,7 тисяч з цієї кількості є індивідуальні будинки, 16,8

тисяч – багатоквартирні і майже 300 гуртожитків [8].

У найбільш постраждалих регіонів за руйнуваннями житлового фонду входять Донецька, Київська, Луганська, Чернігівська та Харківська області. У Донецькій області зруйновано 78,7 тис. будинків на \$14,3 млрд. Збитки Київщини від руйнувань та пошкоджень 22,8 тис. житлових будинків складають \$8,2 млрд. У столиці за час воєнних дій зруйновано та пошкоджено 348 житлових будинків, переважна більшість яких багатоквартирні, на \$0,9 млрд.

Станом на листопад 2022 року з початку воєнного стану було пошкоджено, зруйновано або захоплено щонайменше 84,2 тис одиниць сільгосптехніки, 153 заклади соціальної сфери, 2692 заклади дошкільної, середньої та вищої освіти, 305 автозаправних станцій, 27 торгових центрів, 14,4 тис комунального транспорту, 194,8 тис приватних легкових авто, 330 лікарень, 880 об'єктів культури, 94 релігійні споруди, 157 закладів туризму, 595 адміністративних будівель державного та місцевого управління.

Також за даними Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України внаслідок ракетних обстрілів пошкоджено 592 об'єкти теплопостачання, а саме: 444 котельні, 13 ТЕЦ, 7 ТЕС та 128 центральних теплових пунктів. З них вже відновлено майже 300 об'єктів теплопостачання.

Внаслідок руйнацій після вибухів утворюються відходи з різних матеріалів і залишків, що відрізняються за структурою та походженням. Це залишки металопластику, скла, цегли й арматури, уламки покрівлі та стін, металевих конструкцій, побутової техніки, меблів, уламки деревини, тощо [9].

Основними характеристиками відходів руйнацій є їх багатоскладовість: будівельні відходи, металеві відходи (арматура, труби, тощо), деревина, електронні й електричні відходи, медичні (термометри з ртуттю), матеріали з тканини (штори, килимові покриття, одяг), меблі різноманітного матеріалу, скло, пластик, лінолеуми, ламінати, кольорові метали, харчові відходи, рослини, тварини та багато всього іншого, що при контакті з навколишнім середовищем несе значну небезпеку для всього живого та спричиняє зростання еколого-безпекових ризиків України.

Відбувається також значне забруднення земельних і водних ресурсів внаслідок руйнування транспортної і промислової інфраструктури, що призводить до масштабних розливів нафтопродуктів та інших небезпечних речовин [10].

Відходи від руйнацій війни в Україні вже набули таких масштабів, яких на Європейському континенті не існувало з часів Другої світової війни. На цьому наголосив заступник Міністра захисту довкілля та природних ресурсів України Євгеній Федоренко під час виступу на одному з сайд-івентів, які проходили на конференції ООН зі зміни клімату (COP27). На цьому міжнародному заході також було зазначено, що сотні тисяч тонн відходів руйнації забруднюють територію України а також негативно впливають на клімат в цілому. Лише від знищеної російської техніки на українській землі накопичено понад 325 тис. тонн відходів. Нині є відходи руйнації житлової та транспортної інфраструктури. Це величезний виклик для нашої країни [11].

За словами посадовця, лише на деокупованих територіях Київської, Чернігівської та Сумської областей від руйнувань будівель та споруд через військові дії утворилося близько 15,2 млрд тонн відходів. В Україні знищено понад 200 тисяч легкових і вантажних автомобілів, які зараз складуються у спеціально відведених місцях.

Важливим для наслідування є міжнародний досвід поводження з відходами руйнувань. Одним із кроків, що прискорив відбудову міста Варшави після Другої світової війни, стало застосування матеріалів, які залишилися після війни. Наприклад, неушкоджену цеглу використовували повторно, а будівельне сміття подрібнювали як складову для виготовлення бетону.

В європейських країнах відходи руйнацій вже давно використовують повторно. Наприклад, в таких країнах як Німеччина, Данія, Нідерланди існує пряма вимога використовувати певний відсоток продукції з переробленого сміття у новому будівництві. У Австрії переробляють близько 87% відходів будівництва та зносу. Зазвичай відходи збираються безпосередньо на місці руйнації [2].

Найрадикальніші заходи боротьби з захороненням будівельних відходів вжито у Фландрії (одна з трьох земель Бельгії), де діють прямі заборони на звалища для вторинної переробки фрак-

цій будівельних відходів. Такий підхід пояснюється високою щільністю населення Фландрії та дефіцитом вільних ділянок на наявних полігонах.

У Нідерландах понад 10 років діє закон, який забороняє звозити на полігони будівельні відходи, які можна переробити. У деяких інших країнах під час приймання відходів на полігон потрібні офіційні дозволи того, що ці відходи не піддаються переробленню.

Мартін Б'єррегаард, директор компанії з розчищення відходів після катастроф Disaster Waste Recovery, зазначає, що таке сміття – справді складне середовище для роботи, адже його не можна просто скинути його в яму. Водночас, за словами експерта, нерідко відбувається саме так. До прикладу, після урагану «Катріна» у 2005 році, за даними Британської телерадіомовної компанії BBC (англ. British Broadcasting Corporation, аббревіатура BBC), державні службовці Луїзіани (США) скинули понад 30 млн куб. м сміття на місцеві звалища. Нові полігони будували терміново, часто з порушенням санітарних норм, а відходи не сортували. Крім того, місцева влада тимчасово, дозволила вивозити відходи, утилізація яких у мирний час заборонена. В результаті чого, в ґрунт потрапляли небезпечні для людини та довкілля нафтопродукти, пестициди, азбест тощо. Для уникнення подібних випадків неурядові організації та Організація Об'єднаних Націй (ООН) серйозно ставляться до розбору завалів після глобальних катастроф та воєн. Вони вважають, що ситуація поліпшиться лише в тому випадку, коли країни змінять підхід до відбудови міст, а державне керівництво кваліфікуватиме руїни як цінний ресурс, а не сміття.

Поводження з відходами від руйнувань передбачає комплекс організаційно-технічних заходів та робіт, що здійснюються з метою забезпечення екологічно безпечного збирання, перевезення, сортування, зберігання, видалення, знешкодження та захоронення [12]. Для цього територіальним громадам потрібне розуміння механізмів утилізації будівельних відходів, що утворилися внаслідок масових руйнувань інфраструктури, а також можливостей їх повторного використання.

Якщо йдеться про утилізацію відходів від руйнації, насамперед, їх необхідно відсортувати. Вони відрізняються від будівельних відходів,

адже металопластик і скло, матеріали оздоблення фасаду, армувальна сітка, мінеральна вата, матеріали внутрішнього оздоблення, стінові матеріали, покрівля, побутові речі й уламки деревини – окремо всі ці залишки могли б бути використані повторно, але в наявному стані, коли всі вони перемішані в масах руйнацій, потребують ретельного сортування. Такі відходи мають бути розібрані вручну, або механічним способом, оскільки всередині можуть знаходитись вибухонебезпечні предмети[2].

Після сортування необхідно визначити групи матеріалів, які можуть бути використані повторно (наприклад, скло, метал, пластик, бетон), а які не підлягають переробленню й потребують утилізації (наприклад, термомодеформовані елементи теплоізоляції фасаду). Після цього необхідно провести лабораторні дослідження щодо токсичності, радіаційно-гігієнічного стану, фізико-механічних властивостей відсортованих матеріалів. І насамкінець визначити відповідні технології повторного використання для кожного сегменту відходів [6].

Наступним кроком після сортування є зменшення об'єму цих відходів. Наприклад, у м. Харкові використовується обладнання фірми HAMMEL (Німеччина), по переробці твердих побутових та промислових відходів. Обладнання зменшує об'єм відходів у 5-8 разів, залежно від матеріалів, з яких було збудовано будівлю. Для управління таким комплексом потрібен один працівник, відповідно часо- та трудовитрати значно скорочуються. Комплекс оснащений подрібнювачем та магнітним сепаратором, що дає можливість подрібнювати бетонні плити на щебінь, а потім магнітом відсортовувати металеву арматуру. В Україні є лише декілька бригад, які мають подібне обладнання та можуть залучатись до сортування відходів руйнації, але цього поки замало.

Третій етап передбачає повернення зібраних матеріалів у цивільний обіг із використанням їх як вторинної сировини:

- «Чернець», так називають подрібнений метал, може бути повторно використаний після переплавлення.

- Будівельні «кам'яні» залишки придатні для виробництва різного виду будівельної продукції. Насамперед йдеться про підсіпки дороги, або ж

засипати вирви від розривів снарядів.

- Уцілілі уламки будинків годяться як будівельні матеріали.

- Повалені дерева йдуть на друзки.

- Щебінь, отриманий із переробленого бетону, слугує для засипки боліт і котлованів, а також для створення тимчасових доріг.

- Асфальт повторно застосовують у будівництві доріг, але спочатку його термічно обробляють за дуже високої температури.

- Арматуру так само повторно використовують у будівництві й у багатьох інших випадках [13].

Також таке сміття може застосовуватись у будівельних конструкціях для створення бетону низької марки. В Україні є заводи для виготовлення такого бетону, а якщо їх потужностей не вистачатиме, можливо допоможуть наші європейські партнери. Інститут ДП «НДІБК», є представником України в Міжнародній федерації бетону, співробітники установи вже розмістили відповідне звернення про можливість використовувати досвід європейських країн із використання бетону з будівельних відходів [2].

З означеного вище, варто дотримуватися наступних дій відповідно до «Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків» постанова КМУ від 27 вересня 2022 р. №1073:

- первинне розчищення територій (збирання відходів від руйнувань, зокрема за можливості – сортування окремих компонентів відходів від руйнувань);

- транспортування відходів від руйнувань від місця їх утворення до об'єктів поводження з відходами або місць тимчасового зберігання;

- остаточне (після виконання робіт з демонтажу пошкоджених (зруйнованих) об'єктів) розчищення та прибирання територій (у разі потреби);

- зберігання відходів від руйнувань на місцях тимчасового зберігання або на інших об'єктах поводження з відходами (до їх утилізації чи видалення);

- оброблення (перероблення) відходів від руйнувань та/або їх знешкодження (у разі потреби);

- утилізація відходів від руйнувань (викори-

стання відходів як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів);

– видалення відходів від руйнувань, включаючи їх захоронення.

За визначенням вітчизняних вчених Ткаченка Т. М., Волошкіної О. С. для транспортування відходів від руйнувань рекомендовано застосовувати автосамоскиди або інші спеціально обладнані транспортні засоби [14].

Місця тимчасового зберігання та сортування необхідно організувати з дотриманням вимог екологічної та пожежної безпеки, охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, а також необхідних санітарно-захисних зон, а саме:

- 2 кілометри – від об'єктів водного фонду;
- 0,5 кілометра – від житлової та громадської забудови, об'єктів соціальної інфраструктури;
- 0,2 кілометра – від сільськогосподарських угідь, доріг загального користування та залізничних шляхів загальної мережі;
- 0,05 кілометра – від лісів.

Місця тимчасового зберігання та сортування відходів руйнування організуються на твердій та рівній основі, зокрема з бетону, асфальту чи ущільненого ґрунту, покритого шаром геомембрани завтовшки не менше ніж 1,5 міліметра, захищеної від механічних пошкоджень шаром завтовшки не менше 0,5 метра.

Залишкові інертні відходи після сортування на майданчику тимчасового зберігання підлягають захороненню на полігонах для інертних відходів. Такі полігони являють собою спеціально відведені майданчики призначені для надійного та довгострокового зберігання відходів – мінеральних речовин з інертними властивостями, що не містять потенційно небезпечних або шкідливих для навколишнього середовища речовин у підвищеній концентрації та не становлять небезпеки для навколишнього середовища.

Для таких цілей можуть використовуватись шахти, виведені з експлуатації кам'яні кар'єри або колишні родовища корисних копалин з відкритим способом видобутку, що відповідають принципам гідрологічним вимогам. Цей тип полігону є найпоширенішим технічним варіантом захоронення інертних відходів або залишкових матеріалів після обробки цих відходів [15].

Висновки

Україна може стати країною, де застосовуватимуться новітні підходи до ліквідації наслідків війни, поводження з відходами руйнації житлової та транспортної інфраструктури. Важливим напрямом екологічної політики держави має бути шлях до зменшення обсягів розміщення промислових відходів і збільшення обсягів їх рециклінгу (перероблення, повторного використання та утилізації). Важливим на всіх етапах застосування відходів обов'язково повинно бути сортування, оскільки від цього залежить можливість подальшого перероблення й утилізації відходів війни. Після сортування визначаються групи матеріалів, які можуть бути використані повторно, та ті, що не підлягають переробленню й потребують утилізації. Після цього має відбутися перехід до наступного етапу – лабораторних досліджень і визначення технології повторного використання для кожної з груп із залученням профільних підприємств. Український досвід відбудови після деокупації окремих місцевостей буде використаний при подальшій відбудові країни, де українці матимуть шанс побудувати сучасні екоміста, які будуть зручними для життя, екологічно чистими, економічно розвиненими та з достатньою кількістю додаткових робочих місць.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сучасний стан навколишнього природного середовища в умовах впливу війни. / [І. Г. Пацева, О. М. Алпатова, Л. І. Демчук та ін.]. // Екологічні науки: науково-практичний журнал.. – 2022. – №4. – С. 19–22.
2. Губарева В. Відходи від війни: що це таке та як із ними впоратись? [Електронний ресурс] / В. Губарева – Режим доступу до ресурсу: <https://rubryka.com/article/waste-from-war/>.
3. Драчук Ю. З. Аспекти технологічних рішень щодо повторного використання відходів війни Дорожня карта реалізації Закону України «Про управління відходами» / Ю. З. Драчук. // збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Київ, 24–25 листопада 2022 р.). – 2022. – С. 63–65.
4. Порядок поводження з відходами, що утво-

рили у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків: Постанова Кабінету Міністрів України від 27 вересня 2022 р. №1073. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%D0%BF#Text>

5. Про управління відходами: Закон України від 20 червня 2022 р. №2320-IX// <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>

6. Тимочко Т. В. Нові підходи до поводження з відходами війни: позиція громадськості. Дорожня карта реалізації Закону України «Про управління відходами»: зб. матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Київ, 24–25 листопада 2022 р.). – К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2022. С. 9–13.

7. Відходи руйнації в Україні вже можна порівняти з кількістю твердих побутових відходів, що в середньому утворюються в країні за рік. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. Офіційний веб-портал Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. – Режим доступу : <https://mepr.gov.ua/vidhody-rujnatsiyi-v-ukrayini-vzhe-mozhna-porivnyaty-z-kilkistyutverdyh-pobutovyh-vidhodiv-shho-v-serednomu-utvoryuyutsya-v-ukrayini-za-rik/>

8. Звіт Київської школи економіки (KSE Institute) щодо загальної суми прямих збитків, завдана інфраструктурі України через війну. Kyiv School of Economics. – Режим доступу : <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/na-listopad-2022-roku-zagalna-suma-zbitkivzavdana-infrastrukturii-ukrayini-skladaye-mayzhe-136-mlrd/>.

9. Стрельник В. В., Батуринець Б. Д. Особливості поводження з відходами руйнації. Дорожня карта реалізації Закону України «Про управління відходами»: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Київ, 24–25 листопада 2022 р.). К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2022. С. 70–71.

10. Федоренко Є. О. Дорожня карта реалізації закону України «про управління відходами».

Дорожня карта реалізації Закону України «Про управління відходами»: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Київ, 24–25 листопада 2022 р.). К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2022. С.8–9.

11. Відходи війни в Україні вже набули таких масштабів, яких на Європейському континенті не існувало з часів Другої світової війни. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. <https://www.kmu.gov.ua/news/vidhodi-vijni-v-ukrayini-vzhe-nabuli-takih-masshtabiv-yakih-na-yevropejskomu-kontinenti-ne-isnuvalo-z-chasiv-drugoi-svitovoi-vijni>

12. Іванов П. С. Як столичний регіон справляється з відходами війни та руйнації: досвід після деокупації. Дорожня карта реалізації Закону України «Про управління відходами»: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Київ, 24–25 листопада 2022 р.). – К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2022. С.66–68.

13. Khrutba V., Morozova T., Kotsiuba I., Shamrai V. (2021) Simulation Modeling for Predicting the Formation of Municipal Waste. In: Shkarlet S., Morozov A., Palagin A. (eds) Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2020). MODS 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1265.

14. Сатін І. В., Ткаченко Т. М., Волошкіна О. С. Технічні та організаційні особливості поводження з відходами від руйнувань. Дорожня карта реалізації Закону України «Про управління відходами»: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Київ, 24–25 листопада 2022 р.). К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2022. С.72–74.

15. Kotsiuba I., Herasymchuk O., Shamrai V., Lukianova V., Anpilova Y., Rybak O., Lefter I. A. Strategic Analysis of the Prerequisites for the Implementation of Waste Management at the Regional Level. Ecological Engineering & Environmental Technology. 2023. 24 (1). P. 55-66.

УДК 546.05+546.06

ПОРІВНЯННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕМОДИФІКОВАНИХ ТА МОДИФІКОВАНИХ SnO_2 ПОРОШКІВ, СИНТЕЗОВАНИХ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ

Донцова Т. А.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,
просп. Берестейський, 37, м. Київ, 03056
t.dontsova@kpi.ua

Стаття присвячена синтезу порошків стануму (IV) оксиду різними методами, такими як золь-гель та CVD технології, та їх модифікуванню манганом (IV) та молібдено (VI) оксидами для подальшого використання їх як чутливі шари газових сенсорів, зокрема для визначення CO у повітряному середовищі. Детектування CO у повітрі є вкрай актуальним питанням через його токсичність, яка у поєднанні з відсутністю запаху, робить його дуже небезпечним у домашніх господарствах, що використовують печі для опалення та в ряді промислових процесів, у яких зустрічаються неповні процеси згоряння. У літературі наявно багато відомостей щодо створення газових сенсорів на основі SnO_2 , але існує брак інформації щодо порівняння електричних властивостей стануму (IV) оксиду, одержаними різними методами, зокрема золь-гель і CVD методами. У роботі цими методами було одержано немодифіковані та модифіковані зразки SnO_2 з вмістом MnO_2 і MoO_3 0,5; 1; 2 % мас. відповідно, в яких досліджували електричні та сенсорні характеристики. Для цього вимірювались вольт-амперні характеристики за різних температур – від кімнатної температури (20 °C) до 200 °C за прикладених напруг від 0 В до 16 В. Аналіз отриманих вольт-амперних характеристик свідчить про різні механізми детектування CO зразками SnO_2 , одержаних різними методами. Виявлено, що для золь-гель зразків найкращим модифікатором є MnO_2 , для CVD – MoO_3 , де серед яких деякі зразки мали чутливість до CO на рівні 7 та на рівні 12 відповідно. Отримані дані вказують на високий потенціал використання модифікатору MnO_2 для модифікування SnO_2 , одержаного золь-гель мето-

дом, а модифікатору MoO_3 – для модифікування зразка CVD SnO_2 та свідчать про перспективність використання досліджених модифікованих шарів для детектування CO і потребує подальших детальних досліджень у цьому напрямку.

Ключові слова: стануму (IV) оксид, модифікація, мангану (IV) оксид, молібдену (VI) оксид, металоксидні сенсори, золь-гель метод, метод парогазового транспорту

Comparing properties of unmodified and modified SnO_2 powder, synthesized using different methods. Dontsova T.

The article looks into the synthesis of carbonium (IV) oxide powders by various methods, such as sol-gel and chemical vapor deposition technology, and their modification with manganese (IV) and molybdenum (VI) oxides for their further use as sensitive layers of gas sensors, particularly, to detect CO in the air. Detecting CO in the air is an extremely important issue because of its toxicity, which, combined with its lack of smell, makes it particularly dangerous for households where furnaces are used for heating and in a number of industrial processes that involve incomplete combustion processes. During our research, we found a lot of information on creating gas sensors based on SnO_2 , but little information comparing the electrical properties of stannum (IV) oxide, obtained by different methods, in particular, sol-gel and chemical vapor deposition methods. Using those methods, we obtained both unmodified and modified SnO_2 samples with MnO_2 and MoO_3 content of 0.5%; 1%; and 2% mass respectively, and studied their electrical and sensorial characteristics. The current-voltage characteristics were measured

at different temperatures – from 20°C to 200°C, and at applied voltages from 0 V to 16 V. The analysis of the obtained indicates different mechanisms of CO detection by SnO₂ samples obtained by different methods. It was found that for sol-gel samples the best modifier is MnO₂, for chemical vapor deposition it is MoO₃, among which some samples had sensitivity to CO at level 7 and at level 12, respectively. The obtained data indicate a high potential of using the MnO₂ modifier for the modification of SnO₂ obtained by the sol-gel method, and the MoO₃ modifier for the modification of the chemical vapor deposition SnO₂ sample. The data also suggests the prospects of using the studied modified layers for CO detection, which requires further detailed research in this area.

Keywords: titanium (IV) oxide, modification, manganese (IV) oxide, molybdenum (VI) oxide, metal oxide sensors, sol-gel method, steam-gas transport method.

Постановка проблеми

Стануму (IV) оксид є киснево-дефіцитним напівпровідником *n*-типу з великою шириною забороненої зони (3,6 eV), хімічно стабільним за високих температур, оптично прозорим у зоні видимого світла, з сприятливою електронною провідністю та високою питомою площею поверхні [1]. Завдяки своїм властивостям він має широкий спектр застосувань у сучасному світі, наприклад, у літій-іонних акумуляторах, сонячних батареях, рідкокристалічних дисплеях, як каталізатор у органічному синтезі та, оскільки SnO₂ виявляє чутливість до різних відновлювальних та окиснювальних газів, як чутливий шар газових сенсорів.

Газові сенсори на основі SnO₂ мають велике значення в області виявлення токсичних газів. Металооксидні напівпровідникові датчики газу мають низку переваг, включаючи низьку вартість виробництва, термічну стабільність, високу чутливість, швидкий час відгуку та відновлення, простий електронний інтерфейс, простоту використання, низьку вартість обслуговування та здатність виявляти великі кількості газу [2]. Їх широко вивчають з метою застосування при визначенні якості повітря, виявлення горючих та вибухових газів та моніторингу навколишнього середовища. Зокрема, як чутливий шар він перспективний для визначення парів спиртів, аце-

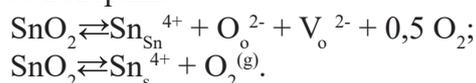
тону, метану, аміаку, оксидів карбону, азоту та сульфуру, сірководню тощо [3]. Серед зазначених CO є дуже важливим цільовим газом через його токсичність, яка у поєднанні з відсутністю запаху, робить його дуже небезпечним у домашніх господарствах, що використовують печі для опалення та в ряді промислових процесів, у яких зустрічаються неповні процеси згоряння.

Датчики на основі стануму (IV) оксиду, здебільшого, мають високу чутливість, і виявлення низьких рівнів забруднюючих речовин цілком можливе. Проте, основним недоліком є їх недостатня селективність; наприклад, перехресна чутливість до етанолу, монооксиду вуглецю та метану перешкоджає точному виявленню водню.

Для покращення характеристик газових сенсорів SnO₂ можна використовувати безліч методів, наприклад, механічне змішування мезопористих матеріалів з високою питомою поверхнею, створення композитів з дорогоцінними металам, нанесення каталітичних мембран, отримання наноматеріалів гетеропереходами, модифікування поверхні і т.д. [4–6]. Серед перелічених методів модифікування поверхні стануму (IV) оксиду є найбільш раціональним через простоту реалізації та цілеспрямовану зміну хімії поверхні чутливого шару. Серед модифікацій стануму (IV) оксиду цікавими є оксидами мангану та молібдену через невелику їх досліджуваність як модифікаторів чутливих шарів газових сенсорів [7–10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомо, що електропровідність стануму (IV) оксиду виникає через існування точкових дефектів, які виступають донорами або акцепторами електронів [11]. Відхилення від стехіометричного складу, природа та концентрації чужорідних атомів, включених до складу кристалічної решітки суттєво впливають на фізичні властивості SnO₂. Оскільки стануму (IV) оксид є напівпровідником *n*-типу, донорами в чистому SnO₂ будуть або кисневі вакансії, V_o, або проміжні атоми стануму – Sn_i. З огляду на це, можливі наступні реакції на його поверхні:



При використанні для синтезу SnO_2 прекурсорів, що містять хлорид-іони, можлива поява хлору у кристалічній ґратці SnO_2 через подібні іонні радіуси: $1,88 \text{ \AA}$ і $1,40 \text{ \AA}$ для хлору (Cl^-) і кисневу (O^{2-}) відповідно. Подібність розмірів призводить до включення іонів хлору в решітку SnO_2 на місцях іонів кисню. Оскільки хлор має на одну орбіталь $2p$ менше, ніж кисень, заміщення іонів O^{2-} іонами Cl^- призводить до збільшення кількості вільних електронів на одиницю формули SnO_2 . Для кожного заміщеного хлору атом стануму утримує зайвий електрон на орбіталі $5s$, який входить у зону провідності ґратки [12].

Нанорозмірний SnO_2 існує за різних морфологій: нуль-вимірні (0D) наночастинки; одновимірні (1D) нанотрубки, нанострижні, нанопояси, нанонитки; двовимірні (2D) нанолисти; тривимірні (3D) структури, що збираються з простіших структур за рахунок різноманітних сил взаємодії [13–14]. Серед перелічених для використання як чутливі шари газових сенсорів найбільш досліджуваними є 0D та 1D наночастинки SnO_2 , які з успіхом можуть отримуватись різними методами синтезу [15–18].

Нині існує багато способів синтезу нанокристалічного стануму (IV) оксиду, гідротермальний, випаровування, золь-гель, метод парогазового транспорту або хімічне осадження з парової фази та електроспінінг та багато інших [17–19]. Найбільш розповсюдженими серед перелічених в науковій літературі є золь-гель метод та метод парогазового транспорту. Однак, слід зазначити, що існує брак інформації щодо порівняння електричних властивостей стануму (IV) оксиду, одержаними цими двома методами.

Також, механізм газочутливості сенсорів на основі SnO_2 ще не до кінця вивчений, але модель поверхневого контролю найбільш широко прийнята [20]. Газочутлива реакція викликає зміну поверхневої провідності напівпровідника. Коли датчик SnO_2 контактує з газом, що детектується, його опір змінюється відповідно до характеристик окислення або відновлення газу. Зокрема CO виступає як відновник і його окислення збільшує концентрацію електронів на поверхні. Відома різниця й в механізмах для стануму (IV) оксиду різної морфології [21].

Отже, метою роботи був здійснений синтез порошків SnO_2 золь-гель методом та осадженням

з газової фази, модифікування поверхні стануму (IV) оксиду оксидами молібдену та мангану, дослідження електричних і сенсорних характеристик з метою їх порівняння.

Експериментальна частина

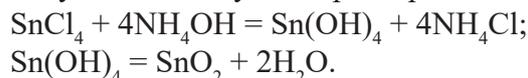
В роботі були використані реактиви: оксалатна кислота ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), стануму (II) хлорид ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), стануму (IV) хлорид пентагідрат ($\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), мангану нітрат ($\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), амоній гептамолібдат тетрагідрат ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), етиленгліколь ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$), етанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Усі реактиви були аналітичної кваліфікації («чда» або «хч»).

Для дослідження селективності чутливих шарів використовували повірену суміш карбону (II) оксид у повітрі (об'ємна частка CO_2 становила 10062 млн^{-1}).

Синтез зразків SnO_2

Синтез стануму (IV) оксиду золь-гель методом

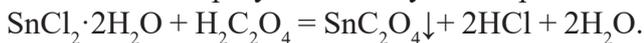
Синтез стануму (IV) оксиду золь-гель методом (sol-gel) реалізовували з використанням $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ і етиленгліколю. Для цього $10,5 \text{ г}$ $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ розчиняли в 150 см^3 дистильованої води, до якої додавали 150 см^3 етиленгліколю. Отриману суміш перемішували на магнітній мішалці при 450 об/хв та по краплях додавали $0,5 \text{ М}$ водного розчину аміаку до досягнення рН 7-8. Під час синтезу підтримувалась температура суміші $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Після 2 годин перемішування отриману суміш центрифугували, промивали та знову центрифугували, далі відмитий віддлений осад сушили при $80 \text{ }^\circ\text{C}$ впродовж 5 годин. Після цього висушений осад переміщали в сушильну шафу та прожарювали за температури $500 \text{ }^\circ\text{C}$. В результаті відбувалися наступні перетворення:



Синтез стануму (IV) оксиду CVD методом

Для синтезу SnO_2 методом парогазового транспорту (CVD) використовували стануму (II) оксалат, який попередньо отримували зі стануму (II) хлориду та оксалатної кислоти. Для цього готу-

вали спочатку розчин стануму (II) хлориду: в 50 см³ дистильованої води вносили 4,9 г кристалів SnCl₂·2H₂O; далі готували 50 см³ розчину оксалатної кислоти, куди вносили оксалатну кислоту кількістю 5,0 г. Після цього обидва розчини нагрівали до температури 343 К і до гарячого розчину стануму (II) хлориду приливали гарячий розчин оксалатної кислоти. В результаті відбувалась реакція:



Далі одержану суспензію фільтрували та промивали осад дистильованою водою до відсутності реакції на Cl-йони. Після цього одержаний стануму (II) оксалат висушували за температури 358 К впродовж 2 годин.

Висушені кристали стануму (II) оксалату вносили до кварцового реактору, який приєднувався до балону з азотом для його продування інертним газом зі швидкістю 100 см³/хв для попередження окиснення прекурсору SnO₂. Процес розкладу стануму (II) оксалат проводили за температури 1173-1273 К протягом 5 годин. В результаті перебігали реакції розкладу оксалату і диспропорціонування оксиду:



та потім прожарювали за температури 270 °С впродовж 2 годин. В результаті отримано 3 модифіковані зразки з теоретичним вмістом Мо, % мас.: 0,5, 1, 2.

Дослідження електричних та сенсорних властивостей

Для вивчення електричних і сенсорних властивостей зразки наносили на спеціальні підкладки (рисунок 1) методом осадження.

Для нанесення готували суспензію зразків концентрацією 2 г/дм³ у етанолі у скляному бюксі. Для бюкс поміщали в УЗ-диспергатор УХ-3030 для деагрегування частинок в суспензії. Після цього отриману суспензію наносили на поверхню підкладки для отримання чутливого шару.

Дослідження електричних та сенсорних властивостей проводили за допомогою мультиметра. Дослідження електричних властивостей проводили шляхом вимірювання напруги від температури в середовищі повітря та досліджуваної газової системи. Зразок стануму (IV) оксиду на підкладці поміщали в трубчатую піч та створювали задану температуру.

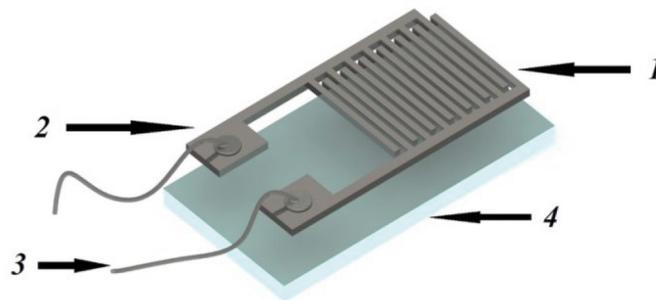


Рисунок 1 – Геометрія підкладки:

1 – електроди; 2 – контактні площадки; 3 – виводи, 4 – сітал

Модифікування зразків

Модифікування SnO₂ манганом проводили методом просочування SnO₂ розчином Mn(NO₃)₂ з подальшим прожарюванням за температури 180°С впродовж 2 годин. В результаті отримано 3 модифіковані зразки з теоретичним вмістом Mn, % мас.: 0,5, 1, 2.

Аналогічно здійснювалась модифікація зразків SnO₂ молібденом. Для цього зразки просочували розчином (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O протягом доби

За нижче представленими формулами розраховували струм, що перебігав через підкладку, та опір чутливого шару:

$$I = \frac{U_1}{R_f}, \quad (1)$$

де U₁ – виміряне значення напруги за мультиметром, В;

R_f – зразковий опір (становив 10 МОм).

Результати та їх обговорення

Вольт-амперні характеристики (ВАХ) для усіх зразків вимірювались за різних температур – від кімнатної температури (20 °C) до 200 °C, напруга від 0 до 16 В з інтервалом 2В.

На рисунках 2–5 представлені обрані ВАХ, а саме, для немодифікованих SnO₂ (рис. 2 та рис. 3) та модифікованих SnO₂ (рис. 4 та рис. 5), які знімалися за температурою 50 °C. Решта зразків мали схожий характер з незначними відмінностями.

Як видно з рисунку 2 для золь-гель зразку ВАХ мають нелінійний та типовий для напівпровідників характер. Провідність цих зразків невелика, але спостерігається чутливість до CO, що супроводжується відмінністю провідності SnO₂ в повітряному середовищі та у модельній системі з газом CO в залежності від прикладеної напруги.

Рисунок 3 показує на відсутність чутливості немодифікованого зразку SnO₂, що синтезований методом CVD, по відношенню до CO (графіки

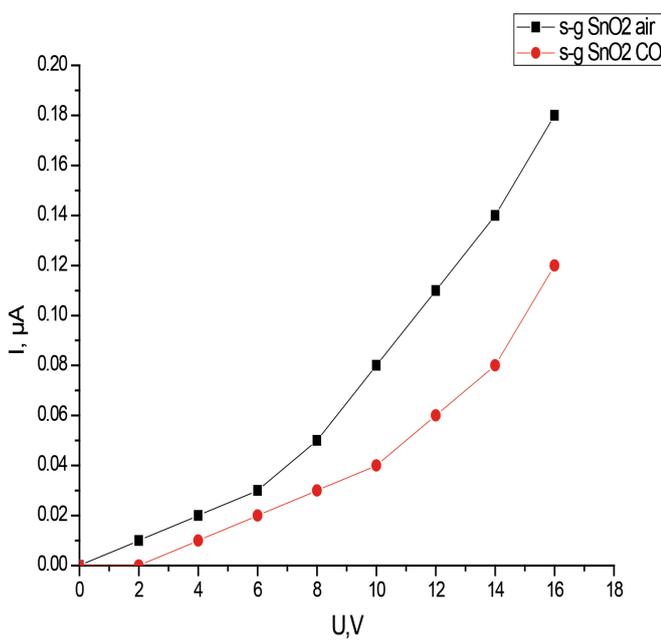


Рисунок 2 – ВАХ плівок на основі золь-гель немодифікованого зразку SnO₂

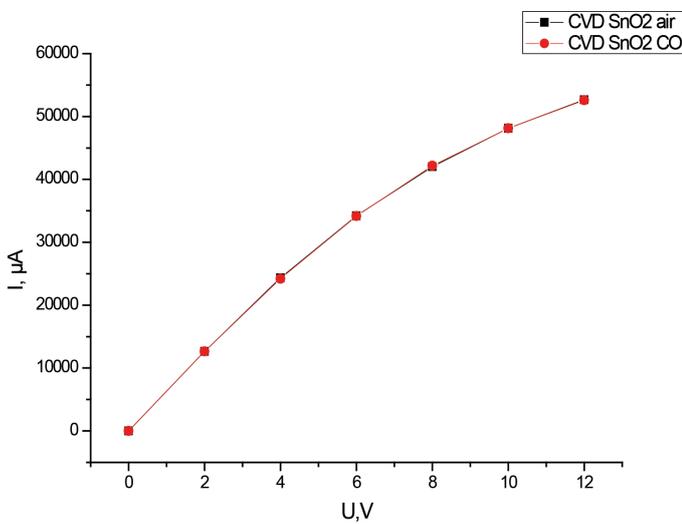


Рисунок 3 – ВАХ плівок на основі CVD немодифікованого зразку SnO₂

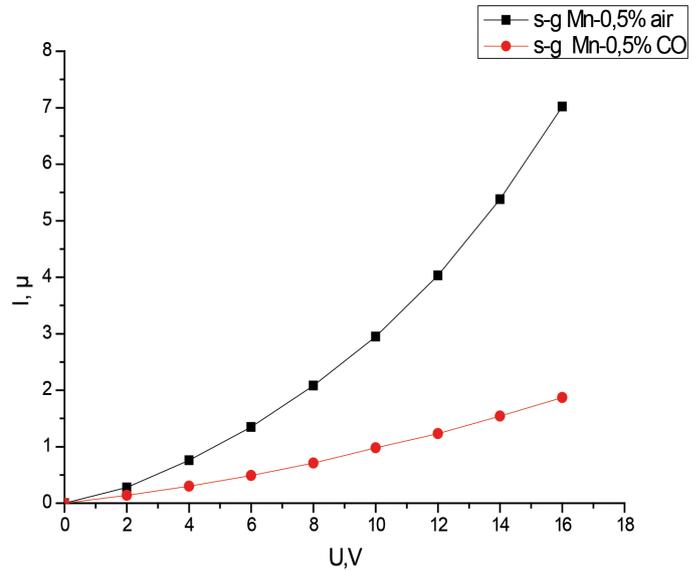


Рисунок 4 – ВАХ плівок на основі золь-гель модифікованого зразку SnO₂ 0,5 % манганом (IV) оксидом

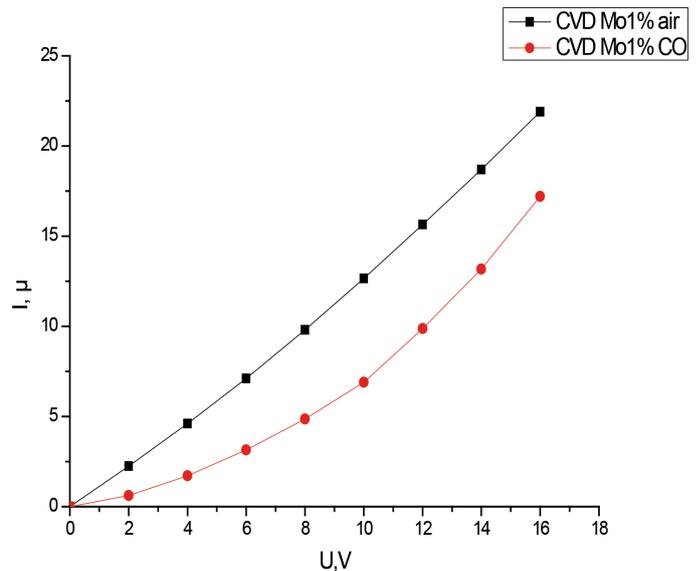


Рисунок 5 – ВАХ плівок на основі CVD немодифікованого зразку SnO₂ 1 % молібдену (VI) оксидом

ВАХ накладаються). При цьому аналогічний характер відслідковується за всіх температур, що досліджувались. Також, слід відзначити не типовість ВАХ напівпровідниковим матеріалам та високу провідність немодифікованого зразка SnO_2 , отриманого CVD методом, у порівнянні з золь-гель зразком. Це свідчить про дещо інший характер електронних властивостей, що нагадує металічні структури [15].

Стосовно модифікованих, то як видно з рисунків 3 та 4, провідність для золь-гель модифікованого зразку SnO_2 збільшується у порівнянні з немодифікованим, а для CVD SnO_2 – зменшується. Також, слід зазначити, що ВАХ усіх зразків (модифікованих та немодифікованих) починають набувати лінійного характеру вже за температури $100\text{ }^\circ\text{C}$ та мають в усіх випадках лінійний характер за $200\text{ }^\circ\text{C}$.

Таблиця 1

Чутливість зразків SnO_2 , синтезованих золь-гель методом, до CO за температури $50\text{ }^\circ\text{C}$ та напруги 5 вольт

Зразок	Температура, $^\circ\text{C}$	Чутливість
s-g SnO_2	20 $^\circ\text{C}$	-
	50 $^\circ\text{C}$	-
	100 $^\circ\text{C}$	1
	200 $^\circ\text{C}$	1
s-g $\text{SnO}_2 + 0,5\%$ MnO_2	20 $^\circ\text{C}$	-
	50 $^\circ\text{C}$	1,5
	100 $^\circ\text{C}$	2
	200 $^\circ\text{C}$	-
s-g $\text{SnO}_2 + 1\%$ MnO_2	20 $^\circ\text{C}$	-
	50 $^\circ\text{C}$	3
	100 $^\circ\text{C}$	7
	200 $^\circ\text{C}$	-
s-g $\text{SnO}_2 + 2\%$ MnO_2	20 $^\circ\text{C}$	-
	50 $^\circ\text{C}$	4
	100 $^\circ\text{C}$	8
	200 $^\circ\text{C}$	-
s-g $\text{SnO}_2 + 0,5\%$ MoO_3	20 $^\circ\text{C}$	-
	50 $^\circ\text{C}$	-
	100 $^\circ\text{C}$	-
	200 $^\circ\text{C}$	-
s-g $\text{SnO}_2 + 1\%$ MoO_3	20 $^\circ\text{C}$	-
	50 $^\circ\text{C}$	-
	100 $^\circ\text{C}$	-
	200 $^\circ\text{C}$	-
s-g $\text{SnO}_2 + 2\%$ MoO_3	20 $^\circ\text{C}$	-
	50 $^\circ\text{C}$	-
	100 $^\circ\text{C}$	-
	200 $^\circ\text{C}$	-

Таблиця 2

Чутливість зразків SnO₂, синтезованих CVD методом, до CO за температури 50 °C та напруги 5 вольт

Зразок	Температура, °C	Чутливість
CVD SnO ₂	20 °C	-
	50 °C	-
	100 °C	-
	200 °C	-
CVD SnO ₂ + 0,5 % MnO ₂	20 °C	-
	50 °C	-
	100 °C	2
	200 °C	-
CVD SnO ₂ + 1 % MnO ₂	20 °C	-
	50 °C	-
	100 °C	-
	200 °C	-
CVD SnO ₂ + 2 % MnO ₂	20 °C	-
	50 °C	-
	100 °C	-
	200 °C	-
CVD SnO ₂ + 0,5 % MoO ₃	20 °C	-
	50 °C	-
	100 °C	-
	200 °C	2
CVD SnO ₂ + 1 % MoO ₃	20 °C	4
	50 °C	5
	100 °C	10
	200 °C	12
CVD SnO ₂ + 2 % MoO ₃	20 °C	1
	50 °C	2
	100 °C	3
	200 °C	2

В цілому, найкращі результати показали зразки s-g SnO₂ з вмістом 1% MnO₂ та 2% MnO₂ і CVD SnO₂ з 1% MoO₃ та з 2% MoO₃ за температур 100 °C і 200 °C відповідно через практично прямолінійні ВАХ і високу чутливість до CO.

В таблицях 1 та 2 наведено чутливість (сенсорна характеристика) усіх досліджених зразків по відношенню до CO при прикладеній напрузі 5 В. Як можна бачити з таблиць спостерігається різна чутливість у модифікованих зразках, отри-

маних золь та CVD методами. За даної напруги немодифіковані зразки не проявляють достатньої чутливості по відношенню до CO, модифіковані – мають різну закономірність: для золь-гель зразків найкращим модифікатором є MnO₂, для CVD – MoO₃.

Аналіз таблиць 1,2 свідчить, що найбільшу чутливість до CO виявили модифіковані зразки s-g SnO₂ + 2 % MnO₂ (на рівні 7) та CVD SnO₂ + 1 % MoO₃ (на рівні 12). Це свідчить про достат-

ньо високий потенціал цих чутливих шарів для використання в газових сенсорах.

Висновки та перспективи

Синтезовано порошки SnO_2 золь-гель методом і методом осадження з газової фази (CVD) та проведено модифікування їх поверхні для використання в металоксидних газових сенсорів для детектування CO у повітряному середовищі. Як модифікатори на підставі літературного огляду було обрано MnO_2 та MoO_3 .

Досліджено електричні і сенсорні характеристики немодифікованих та модифікованих зразків SnO_2 , одержаних золь-гель та CVD методами. Отримані ВАХ за різних температур та прикладеної напруги свідчать про різні механізми детектування CO зразками SnO_2 , одержаних різними методами. Аналіз отриманих даних вказує на високий потенціал використання модифікатору MnO_2 для модифікування SnO_2 , одержаного золь-гель методом, а модифікатору MoO_3 – для модифікування зразка CVD SnO_2 .

Одержанні дані свідчать про перспективність використання досліджених модифікованих шарів для детектування CO і потребує подальших детальних досліджень у цьому напрямку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Tadatsugu M. New n-Type Transparent Conducting Oxides. *MRS Bulletin*. 2000. Vol. 25 (8). P. 38–44.
2. Pinto A. H., Nogueira A. E., Dalmaschio C. J., Frigini I. N., de Almeida J. C., Ferrer M. M., Berengue O. M., Gonçalves R. A., de Mendonça V. R. Doped Tin Dioxide ($d\text{-SnO}_2$) and Its Nanostructures: Review of the Theoretical Aspects, Photocatalytic and Biomedical Applications. *Solids*. 2022. Vol. 3. P. 327–360.
3. Masuda Y. Recent advances in SnO_2 nanostructure based gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2022. Vol. 364. 131876.
4. Xiong Y., Lin Y., Wang X., Zhao Y., Tian J. Defect engineering on SnO_2 nanomaterials for enhanced gas sensing performances. *Advanced Powder Materials*. 2022. Vol. 1 (3). 100033.
5. Nascimento E. P., Firmino H. C. T., Neves G. A., Menezes R. R. A review of recent developments in tin dioxide nanostructured materials for gas sensors. *Ceramics International*. 2022. Vol. 48 (6). P. 7405–7440.
6. Sohal M. K., Mahajan A., Gasso S. Rare earth-tuned oxygen vacancies in gadolinium-doped tin oxide for selective detection of volatile organic compounds. *J Mater Sci: Mater Electron*. 2020. Vol. 31. 8446–8455.
7. Ahmed A., Singh A., Young S.-J., Gupta V., Singh M., Arya S. Synthesis techniques and advances in sensing applications of reduced graphene oxide (rGO) Composites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2023. Vol. 165. 107373.
8. Aravanakumar M., Agilan S., Muthukumarasamy N., Rukkumani V., Marusamy A., Ranjitha, A. Effect of Mn Doping on the Structural, Optical and Magnetic Properties of SnO_2 Nanoparticles. *Acta Physica Polonica A*. 2015. Vol. 127. P. 1656–1661.
9. Wei Y., Liu J., Chen F., Chen J. Mn-doped atomic SnO_2 layers for highly efficient CO_2 electrochemical reduction. *Journal of Materials Chemistry A*. 2019. Vol. 34 (7), 19651–19656.
10. Bierwagen O., Nagata T., White M. E., Tsai M.-Y., Speck J. S. Electron transport in semiconducting SnO_2 : intentional bulk donors and acceptors, the interface, and the surface. *Journal of Materials Research*. 2012. Vol. 27 (17). 2232–2236.
11. Benhaliliba M, Benouis C.E., Yakuphanoglu F., Tiburcio-Silver A.; Aydin C; Hamzaoui S., Mouffak Z. Detailed investigation of submicrometer-sized grains of chemically sprayed ($\text{Sn}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$) ($0 \leq x \leq 0.085$) thin films. *Journal of Alloys and Compounds*. 2012. Vol. 527. P. 40–47.
12. Wang H., Rogach A. L. Hierarchical SnO_2 Nanostructures: Recent Advances in Design, Synthesis, and Applications, *Chemistry of Materials*. 2014. Vol. 26. P. 123–133.
13. Sviderskyi A., Nahirniak S., Yashchenko T., Dontsova T., Kalinowski S. Properties of TiO_2 and SnO_2 in a State of Different Dispersion and Morphology. 2018 IEEE 8th International Conference Nanomaterials: Application &

Properties (NAP), Zatoka, Ukraine. 2018. P. 1–4.

14. Nahirniak S., Lutz V., Dontsova T., Astrelin I. Synthesis and Characterization of Tin (IV) Oxide Obtained by Chemical Vapor Deposition Method. *Nanoscale Research Letters*. 2016. Vol. 11. 343.

15. Нагірняк С. В. Наноструктури SnO₂ різної морфології: синтез, властивості, застосування.: дис. канд. техн. Наук: Київ. 2018. 196 с.

16. Inderan V., Lim S. Y., Ong T. S., Bastien S., Braidy N., Lee H. L. Synthesis and characterisations of SnO₂ nanorods via low temperature hydrothermal method. *Superlattices and Microstructures*. 2015. Vol. 88. P. 396–402.

17. Khan D., Rehman A., Rafiq M. Z., Khan A. M., Ali M. Improving the optical properties of SnO₂ nanoparticles through Ni doping by sol-gel technique. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 2021. Vol. 4. 100079.

18. Nahirniak S., Dontsova T., Astrelin I. Directional Synthesis of SnO₂-Based

Nanostructures for Use in Gas Sensors. In book: *Nanochemistry, Biotechnology, Nanomaterials, and Their Applications*. Springer Proceedings in Physics. 2018. Vol. 214. P. 233–245.

21. Messad A., Bruneaux J., Cachet H. Analysis of the effects of substrate temperature, concentration of tin chloride and nature of dopants on the structural and electrical properties of sprayed SnO₂ films. *J Mater Sci*. 1994. Vol. 29. P. 5095–5103.

22. Yan B. P., Peng J., Chai C. K. Preparation, structure and gas sensing properties of Fe₂O₃ thin films. *Journal of Electronics & Information Technology*. 1995. Vol. 17. P. 506–511.

23. Yashchenko T., Sviderskyi A., Nahirniak S., Dontsova T., Kalinowski S. Electrical Properties and Sensitivity of SnO₂ Nanostructures to Organic Compounds. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. 2021. Т. 19 (1), С. 53–70.

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ВПЛИВУ ПЛАНОВАНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Оводенко Т.С.¹, Покшевницька Т.В.², Смоляр В.В.³

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

²Національний транспортний університет
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 1010,

³ТОВ «Науково-дослідний центр екологічної безпеки та природокористування»
пров. Машинобудівний, 28, м. Київ, 02000

Прийняття та введення в дію Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» є значним кроком України при переході до європейських вимог та стандартів у сфері охорони довкілля і забезпеченні прозорості процесу надання дозвільних документів для об'єктів господарської діяльності. Оцінка впливу на довкілля є інструментом визначення потенційного негативного впливу планованої діяльності на стан довкілля, здоров'я населення та встановлення заходів для мінімізації такого впливу на етапі планування проєктів. Оцінка впливу на довкілля повинна визначати величини та масштаби такого впливу (площа території та кількість населення), характеру (за наявності – транскордонного), інтенсивності та складності, ймовірності, очікуваного початку, тривалості, частоти й невідворотності впливу (в тому числі прямий або опосередкований, побічний, кумулятивний, транспортний, коротко-, середньо- та довгострокові, постійний або тимчасовий тощо) проєкту на безпечність життєдіяльності людей.

Практика проведення оцінки впливу на довкілля планованої діяльності свідчить, що оцінка соціальних наслідків господарської діяльності є однією з найскладніших та найменш вивчених проблем сучасної науки. Оцінка соціальних наслідків господарських ініціатив становить для підприємств велику складність у зв'язку з відсут-

ністю в Україні нормативних документів та методичних рекомендацій. У зв'язку з цим, автори статті поставили за мету розробити методику оцінки впливу планованої діяльності на соціально-економічне середовище. У запропонованій методиці використовуються прийоми отримання напівкількісної оцінки у формі балів.

Результати дослідження можуть стати основою для оцінки соціальних наслідків господарської діяльності в рамках проведення комплексної екологічної оцінки планованої діяльності, а також дозволять зробити якісний науковий прогноз можливих соціально-економічних змін в результаті реалізації того чи іншого господарського рішення.

Ключові слова: оцінка впливу на довкілля, соціально-економічне середовище, оцінка соціальних наслідків господарської діяльності, методика оцінки, компоненти соціально-економічного середовища

Methods of assessing the impact of the planned activity on the socioeconomic environment.
Ovodenko T., Pokshevnytska T., Smoliar V.

The environmental impact assessment is an instrument for determining the potential negative impact of the planned activity on the environment. The assessment of the impact on the environment should determine the magnitude and scale of such impact (the affected area and its population),

the intensity and complexity of such impact, its frequency, etc on the safety of people's livelihoods and their well-being.

The practice of conducting an environmental impact assessment of planned activity shows that the assessment of the overall effects of economic activity is one of the most complex and least studied problems in its field. The assessment of the social consequences of economic initiatives is a major challenge for enterprises because there is an evident lack of normative documents and methodical recommendations on the subject. Because of this, the authors of the article set out to make a methodical assessment of the impact of the planned activity on the socioeconomic environment. The authors propose methods of obtaining semi-quantitative evaluations in the form of points.

The results of the study can serve as a basis for assessing the social consequences of economic activity, as well as make it possible to create a qualitative scientific forecast regarding the possible socioeconomic changes that might occur as a result of implementing future decisions.

Keywords: environmental impact assessment, socioeconomic environment, assessment of social consequences of economic activity, assessment methodology, socioeconomic components.

Постановка проблеми

Введення у дію Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» є значним кроком України при переході до європейських вимог та стандартів у сфері охорони довкілля і забезпеченні прозорості процесу надання дозвільних документів для об'єктів господарської діяльності й врахування інтересів усіх зацікавлених сторін [1].

Оцінка впливу на довкілля, є інструментом визначення потенційного негативного впливу планованої діяльності на стан довкілля і здоров'я населення та встановлення заходів для мінімізації такого впливу на етапі планування проєктів. Оцінка впливу на довкілля повинна визначати, описувати та оцінювати величини та масштаби такого впливу (площа території та чисельність населення, які можуть зазнати впливу), характеру (за наявності – транскордонного), інтенсивності та складності, ймовірності, очікуваного

початку, тривалості, частоти і невідворотності впливу (включаючи прямий, будь-який опосередкований, побічний, кумулятивний, транспортний, короткостроковий, середньостроковий та довгостроковий, постійний і тимчасовий, позитивний і негативний вплив) проєкту на:

- безпечність життєдіяльності людей та їхнє здоров'я;
- навколишнє природне середовище та його елементи;
- природні території та об'єкти;
- історичні пам'ятки та інші матеріальні об'єкти;
- об'єкти культурної спадщини;
- соціально-економічні умови.

Згідно зі ст. 50 Конституції України, «кожен має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди» [6].

Згідно зі ст. 298 Цивільного кодексу України, право на безпечне для життя і здоров'я довкілля належить до особистих немайнових прав, що забезпечують природне існування фізичної особи [7]. Натомість це означає, що особисті немайнові права тісно пов'язані з фізичною особою, тому вона не може відмовитися від особистих немайнових прав, а також не може бути позбавлена цих прав.

Право на безпечне для життя і здоров'я довкілля базується на взаємодії людини і навколишнього природного середовища. Людина може зазнавати негативного впливу від прояву техногенної або природної небезпеки, тому вимагає й державного захисту. Зміст цього права безпосередньо пов'язаний із розумінням і характеристикою безпечного довкілля.

Тому питання оцінки впливу планованої діяльності на соціально-економічне середовище в умовах напруженої екологічної ситуації в країні набирає першочергового значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України було розроблено такі документи, як: «Загальні методичні рекомендації щодо змісту та порядку складання звітів з оцінки впливу на довкілля» [2]; «Методичні рекомендації з розробки звіту з оцінки впливу на довкілля в галузі лісового господарства» [3]; «Методичні рекомендації з підготовки звіту з оцінки

впливу на довкілля для видів діяльності у галузі видобування корисних копалин» [4].

Так, в «Загальних методичних рекомендаціях щодо змісту та порядку складання звітів з оцінки впливу на довкілля» в оцінці впливу на соціально-економічні умови рекомендується застосовувати методологію оцінки ризику згідно з методичними рекомендаціями «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря», затвердженими наказом Міністерства охорони здоров'я України від 13.04.2007 р., №184, або іншими рекомендаціями з оцінки ризику для здоров'я, наприклад, розробленими Всесвітньою організацією охорони здоров'я (з урахуванням нормативів якості атмосферного повітря, прийнятих (ВООЗ), економічні методи, метод експертних оцінок.

В «Методичних рекомендаціях з розробки звіту з оцінки впливу на довкілля в галузі лісового господарства» зазначено, що оцінку впливу проводять за показниками, які можна виміряти – показники-індикатори. Для кожного показника-індикатора, використаного в оцінці, необхідно описати методику виконання вимірювань або вказати джерело, де така методика описана.

В «Методичних рекомендаціях з підготовки звіту з оцінки впливу на довкілля для видів діяльності у галузі видобування корисних копалин» зазначено, що для оцінки умов життєдіяльності (рівня життя) рекомендується застосовувати показники та дані, що прийняті у державній статистичній звітності, у класифікації державних соціальних стандартів і нормативів, у наукових дослідженнях за даним питанням.

Проте, в методичних рекомендаціях немає визначеного методологічного підходу до оцінки впливу планованої діяльності на соціально-економічне середовище.

Мета та завдання дослідження

Метою даної роботи є розроблення загального методологічного підходу до оцінки впливу планованої діяльності на соціально-економічне середовище.

Завданням досліджень є врахування усіх аспектів планованої діяльності, яка може по-різному вплинути на соціально-економічне середовище.

Методи дослідження

Оцінка впливу на соціально-економічне середовище проводиться в декілька етапів:

1. Визначення складу компонентів соціально-економічного середовища, які будуть розглядатися в процесі оцінки впливу.

2. Скринінг потенційних впливів планованої діяльності на соціально-економічне середовище.

3. Розробка заходів щодо пом'якшення оцінки впливів.

4. Оцінка величини та значимості залишкових впливів. Критерії оцінки величини і ймовірності впливів.

5. Інтегральна оцінка залишкових впливів планованої діяльності на компоненти соціально-економічного середовища при штатних ситуаціях.

Оцінка впливу планованої діяльності на соціально-економічне середовище базується на:

- характеристики планованої діяльності (зокрема виробничих процесів);

- поточному стані довкілля та величині *фонових концентрацій забруднюючих речовин* в атмосферному повітрі;

- тих потенційних впливів, які беруться з досвіду проєктів, що раніше реалізувалися в даному регіоні.

Компоненти соціально-економічного середовища, які будуть піддаватися оцінці, представлено в таблиці 1.

Важливою початковою складовою оцінки впливу на довкілля є скринінг. Під скринінгом розуміється відкритий процес, який здійснюється на початкових стадіях реалізації планованої діяльності, метою якого є виявлення потенційно значимих впливів, у тому числі тих, що можуть викликати стурбованість громадськості.

Скринінг здійснюється на початковому етапі де ідентифікуються потенційні прямі, непрямі та стимулюючі впливи, що виникають у соціальній та економічних сферах.

Стимулюючі впливи – це впливи, які викликані змінами у соціальному середовищі у зв'язку з можливою реалізацією планованої діяльності, що вплине на економічну сферу територіальної громади.

Заходи щодо пом'якшення впливів – це

Таблиця 1

Компоненти соціально-економічного середовища

Компоненти соціального середовища	Компоненти економічного середовища
Зайнятість населення	Економічний розвиток території
Здоров'я населення	Промисловість та сільське господарство
Освіта і культурна сфера	Землекористування
Доходи та рівень життя населення	Зовнішньоекономічна діяльність
Інфляція	Інвестиційна діяльність
Рекреаційні ресурси	Транспортна інфраструктура

система дій, яка використовується для управління впливами – запобігання, відвернення, уникнення, зменшення, усунення значного негативного впливу або посилення позитивних впливів в інтересах населення, яке зачіпається об'єктом планованої діяльності, як в населеному пункті, регіоні, області та держави в цілому.

Система необхідних заходів визначається суб'єктом господарювання, що планує реалізувати господарську діяльність, уже на стадії планування. Ієрархія пом'якшуючих заходів включає:

- розроблення проекту таким чином, щоб мінімізувати потенційні негативні наслідки від можливих впливів;
- внесення змін до проєктів, що зменшують вплив;
- застосування компенсаційних заходів. Вони застосовуються тоді, коли інші підходи з пом'якшення не забезпечують зниження впливів до прийнятно низьких рівнів.

Впливи, що залишаються після вживання заходів з пом'якшення, називаються залишковими впливами. Рівень значимості залишкового впливу оцінюється на основі:

- наслідків впливу;
- ймовірності того, що вплив відбудеться.

Оцінка можливих позитивних і негативних залишкових впливів проводиться на наступних рівнях:

- локальний (територія, географічно розташована в безпосередній близькості до об'єкту планованої діяльності);
- місцевий (адміністративний район або кіль-

ка районів, найближчих до території об'єкту планованої діяльності);

- обласний;
- регіональний;
- державний.

При оцінці особлива увага приділяється локальному і місцевому рівням, тобто територіях, на яких безпосередньо планується здійснення планованої діяльності. Оцінюючи вплив на населення в цілому, відстежити вплив на категорію «уразливі групи населення» – це безробітні, пенсіонери та низькооплачувані (некваліфіковані) працівники.

У багатьох випадках, при оцінці змін у стані показників соціально-економічного середовища, вкрай важко знайти способи отримання величини зміни у кількісному значенні. У зв'язку з цим, у даній методиці використовуються прийоми отримання напівкількісної оцінки у формі балів, принципи побудови яких викладені у статті [5].

Наслідки впливів оцінюються для комбінації обраних факторів, що дозволяють коротко охарактеризувати вплив за: просторовими масштабами впливу, масштабами тривалості та інтенсивності впливу.

Для кожного соціально-економічного показника методологією визначається ряд впливів відповідно зі шкалою градації з масштабом від 0 до 5.

Для кожної градації впливу планованої діяльності на компоненти соціально-економічного середовища вироблені відповідні критерії. Вони базуються на авторському досвіді підготовки Звітів з оцінки впливу на довкілля і ураховують специфіку соціально-економічних умов відповідних територій (таблиці 2, 3, 4).

Таблиця 2

Градація просторових масштабів впливу на соціально-економічну сферу

Градація просторових масштабів	Критерії	Бал
Нульовий	Вплив відсутній або є незначним	0
Локальний	Вплив проявляється на території планованої діяльності	1
Місцевий	Вплив проявляється на території прилеглих населених пунктів	2
Обласний	Вплив проявляється на території одного або декількох адміністративних районів	3
Регіональний	Вплив проявляється на території декількох областей	4
Національний	Вплив проявляється на території декількох суміжних областей або держави в цілому	5

Таблиця 3

Градація масштабів тривалості впливу на соціально-економічну сферу

Градація тимчасових масштабів	Критерії	Бал
Нульовий	Вплив відсутній або є незначним	0
Короткостроковий	Вплив проявляється за період часу не більше 1 року	1
Середньостроковий	Вплив проявляється від 1 до 3-х років	2
Довгостроковий	Вплив проявляється від 3-х років	3
Тривалий	Вплив проявляється понад 10 років	4
Постійний	Вплив, який спостерігається увесь час (без перерв, але, можливо, з різною інтенсивністю) протягом однієї або кількох фаз життєвого циклу проекту	5

Інтегральна оцінка складається з двох етапів.

На першому етапі, відповідно до градацій масштабів впливу, що представлено в таблицях 2, 3 і 4, сумуються бали окремо негативних і окремо позитивних просторових впливів, тривалості й інтенсивності впливу для одержання комплексного балу по кожному виявленому виду впливу для кожного розглянутого компонента. Одержуємо підсумковий бал негативних або позитивних впливів.

На другому етапі для кожного розглянутого компонента визначається інтегрований бал за допомогою підсумовування підсумкових негативних або позитивних впливів.

Бал отриманої інтегральної оцінки дозволяє визначити інтегрований, підсумковий рівень

впливу (високий, середній, низький), на конкретний компонент соціально-економічного середовища (табл. 5).

Для більш детального роз'яснення показано наступний приклад (табл. 6).

Необхідно відзначити, що використання балів не націлене на подання конкретної величини, пов'язаної із впливом. Система бальної оцінки розроблена з метою забезпечення інструментарію для полегшення диференціації впливів щодо їх очікуваних наслідків. Згодом аналіз впливів може бути переведений з використанням вищенаведених таблиць на якісний рівень, що дозволить здійснювати порівняння широкого діапазону різномірних типів впливу.

Таблиця 4

Градації масштабів інтенсивності впливу на соціально-економічну сферу

Градація інтенсивності впливу	Критерії	Бал
Нульовий	Вплив відсутній або є незначним	0
Мінімальний	Позитивні і негативні відхилення в соціально-економічній сфері діють у межах існуючих до початку реалізація проєкту	1
Дуже слабкий	Позитивні і негативні відхилення в соціально-економічній сфері можуть перевищити існуючі умови місцевих населених пунктів	2
Слабкий	Позитивні і негативні відхилення в соціально-економічній сфері ймовірно перевищать існуючі умови обласного рівня	3
Помірний	Позитивні і негативні відхилення в соціально-економічній сфері ймовірно перевищать існуючі умови регіонального рівня	4
Сильний	Позитивні і негативні відхилення в соціально-економічній сфері ймовірно перевищать існуючі умови державного рівня	5

Таблиця 5

Підсумкові бали та вплив

Підсумковий бал	Підсумковий вплив
від +1 до +5	Низький позитивний вплив
від +6 до +10	Середній позитивний вплив
від +11 до +15	Високий позитивний вплив
0	Вплив відсутній
від -1 до -5	Низький негативний вплив
від -6 до -10	Середній негативний вплив
від -11 до -15	Високий негативний вплив

Таблиця 6

Визначення рівня впливу планованої діяльності

Компонент соціально-економічного середовища. Зайнятість населення					
Позитивний вплив – збільшення робочих місць			Негативний вплив – невикористані надії на отримання роботи		
Бали			Бали		
Просторовий	Тривалість	Інтенсивність	Просторовий	Тривалість	Інтенсивність
+4	+3	+4	-3	-1	-1
Сума = (+4) + (+3) + (+4) = +11			Сума = (-3) + (-1) + (-1) = -5		
Підсумкова оцінка: (+11) + (-5) = (+6)					
Позитивний вплив середнього рівня					

Очікувані результати та їх практичне значення

1. Представлені методологічні підходи описують порядок оцінки впливу планованої діяльності на соціально-економічне середовище.

2. Методологія оцінки впливу базується на визначенні трьох масштабів впливу для кожного компонента соціально-економічного середовища:

- просторового масштабу впливу;
- масштабу тривалості впливу;
- масштабу інтенсивності впливу.

Кожний із яких оцінюється по п'ятибальній шкалі (від 0 до 5 балів). Для кожної градації шкали вироблені відповідні критерії, які включені до узагальнюючої таблиці, що підсумовують впливи.

Результати, які отримані за допомогою даної методики оцінки впливу планованої діяльності на соціально-економічне середовище зможуть визначити просторовий масштаб впливу та масштаби тривалості й інтенсивності впливів планованої діяльності на соціально-економічне середовище.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про оцінку впливу на довкілля. [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради.

– 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19/print>.

2. Загальні методичні рекомендації щодо змісту та порядку складання звітів з оцінки впливу на довкілля [Електронний ресурс] – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://mepr.gov.ua/documents/pro-zatverdzhennya-zagalnyh-metodychnyh-rekomendatsij-shhodo-zmistu-ta-poryadku-skladannya-zvitiv-z-otsinky-vplyvu-na-dovkillya/>.

3. Методичні рекомендації з розробки звіту з оцінки впливу на довкілля в галузі лісового господарства [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://eia.menr.gov.ua/>.

4. Методичні рекомендації з підготовки звіту з оцінки впливу на довкілля для видів діяльності у галузі видобування корисних копалин. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://eia.menr.gov.ua/>.

5. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику.

6. Конституція України [Електронний ресурс]. – 1996. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text>.

7, Цивільний кодекс України [Електронний ресурс]. – 2003. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text>.

УДК 504:678.7

ОЦІНКА ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПОЛІЕТИЛЕНОВОЇ ПЛІВКИ ТА ЇЇ ЕНВАЙРОМЕНТОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ

Кірейцева Г.В. , Циганенко-Дзюбенко І.Ю. , Пацева І.Г. , Демчук Л.І. , Палій О.В.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005

gef_kgv@ztu.edu.ua, ke_miyu@ztu.edu.ua, rig@ztu.edu.ua, asp_pov@student.ztu.edu.ua

Обсяги накопичення пластикових відходів в країні стрімко збільшуються через урбанізацію та глобалізацію. Об'єм виробництва пластикових відходів становить близько 9 млрд тонн на рік, і ця кількість щорічно збільшується. Із загальної кількості відходів тільки 10% відходів полімерних матеріалів піддається рециклінгу, а ті що залишаються, компостуються на полігонах або накопичуються на місцевих сміттєзвалищах та несанкціонованих звалищах. Для багатьох великих міст України це спричинило значні екологічні проблеми.

Останніми роками Уряди багатьох країн світу оголосили про політику зменшення використання одноразового пластику. Україною також було прийнято закон та розроблено програми поступового вилучення із вжитку поліетилену, який суттєво обмежує використання тонких поліетиленових пакетів.

Нові екологічні норми та зростаюча турбота про довкілля призвели до розробки різних типів полімерних матеріалів, які сумісні з навколишнім природним середовищем. Зокрема, використання оксо-біорозкладних домішок у виробництві полімерів та виробництво біорозкладних полімерів. Відомі на ринку типи полімерних матеріалів з оксо-біорозкладними добавками розкладаються по-різному не тільки по швидкості але і за механізмом деструкції. До класу оксо-біорозкладних відносять полімери, що виготовлені із застосуванням добавки d2w (дитіокарбонат заліза або нікелю), оскільки їх розкладання відбувається в два етапи: окиснення та біорозпад. З метою вивчення впливу оксо-біорозкладної добавки d2w на деструкцію поліетиленових пакувальних плі-

вок було проведено дослідження якісних показників двох типів поліетиленової плівки. Показано, що термін розпаду матеріалу довший за вимоги стандарту та становить 15 місяців. А дрібні фрагменти (мікропластик), що утворюються під дією кисню та ультрафіолетового випромінювання, нікуди не зникають і назавжди залишаються у ґрунті та воді, що становить суттєву небезпеку для навколишнього природного середовища. Тому необхідний пошук інших аналогів пластикових пакетів, які б відповідали вимогам щодо біорозкладання полімерних сполук і були б безпечними для довкілля.

Ключові слова: екологічна безпека, пластик, полімерні матеріали, поліетиленові пакети, оксо-біорозкладні домішки, біорозкладний пластиковий пакет.

Assessing the quality indicators of polyethylene film and its environmental impact. Kireitseva H., Tsyhanenko-Dziubenko I., Matviienko M., Patseva I., Demchuk L., Paliy O.

The volume of plastic waste in the country is rapidly increasing due to urbanization and globalization. The production volume of plastic waste is about 9 billion tons per year, and this amount is increasing annually. Out of the total amount of waste, only 10% of polymer waste is recycled, and the rest is composted at landfills or accumulated at local landfills and unauthorized landfills. For many large cities of Ukraine, this has caused significant environmental problems.

In recent years, the Governments of many countries around the world have announced policies to reduce the use of single-use plastic. Ukraine adopted a law

and developed programs for the gradual withdrawal from the use of polyethylene, which significantly limits the use of thin polyethylene bags.

New environmental regulations and growing concern for the environment have led to the development of various types of polymer materials that are compatible with the natural environment. In particular, the use of oxo-biodegradable additives in the production of polymers and the production of biodegradable polymers. The types of polymer materials known on the market with oxo-biodegradable additives decompose differently not only by speed but also by the mechanism of destruction. The oxo-biodegradable class includes polymers made with the addition of d2w (iron or nickel dithiocarbonate) since their destruction occurs in two stages: oxidation and biodegradation. In order to study the effect of the oxo-biodegradable additive d2w on the destruction of polyethylene packaging films, a study of the quality indicators of two types of polyethylene film was conducted. It is shown that the period of decay of the material is 15 months, which is longer than the requirements of the standard. Also, small fragments (microplastics) formed under the influence of oxygen and ultraviolet radiation do not disappear anywhere and remain forever in the soil and water, which poses a significant danger to the environment. Therefore, it is necessary to search for other options that would meet the requirements for the biodegradation of polymeric compounds and would be safe for the environment.

Keywords: environmental safety, plastic, polymer materials, polyethylene bags, oxo-biodegradable additives, biodegradable plastic bag.

Загальна суть проблеми

Обсяги накопичення пластикових відходів стрімко зростають через урбанізацію та глобалізацію. В останні десятиліття використання пластику зросло, і очікується, що ця тенденція не тільки збережеться але й збільшиться. Згідно з другим звітом, складеним благодійним фондом Minderoo Foundation, у 2021 році в світі утворилося 139 млн тонн пластикових відходів, що на 6 млн тонн більше, ніж у 2019 році, з моменту опублікування першого звіту [1]. Велика кількість пластикових відходів може завдати непоправної шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю

людей. На жаль, існуючі засоби поводження з пластиковими відходами (перероблення, захоронення та спалювання) виявилися недостатніми.

Загальна кількість відходів полімерів в Україні, що утворились в 2020 році, становить 40,8 тис. тонн [2]. У загальній масі полімерних відходів основна питома вага займає поліетилентерфталат – 25%, поліетилен високої та низької щільності (ПЕВЩ, ПЕНЩ) – по 15%, поліпропілен (ПП) – 13%, полістирол (ПС) – 6%, полівінілхлорид (ПВХ) – 5% та інші полімери – 21%. Однак, лише 10% відходів полімерних матеріалів піддаються рециклінгу, а ті полімерні відходи, що залишаються, компостуються на полігонах, або накопичуються на місцевих сміттєзвалищах та несанкціонованих звалищах. Для більшості міст України це стало значною екологічною проблемою.

Отже, необхідно знайти вирішення проблеми поліетиленових пакетів, і такі альтернативи повинні мати відповідний експлуатаційний цикл.

Актуальність дослідження

Обсяги виробництва пластикових відходів становить близько 9 млрд тонн на рік, і ця цифра збільшується з кожним роком. З них переробляється менше 10%, приблизно стільки ж спалюється, решта потрапляє в навколишнє природне середовище. Основним звалищем пластикових відходів є Світовий океан – існують великі сміттєві острови в Атлантичному, Тихому та Індійському океанах. Через колообіг течій у Тихому океані сформувалась Велика тихоокеанська сміттєва пляма, розмір якої перевищує площу України. Дрейфуючи, пластикові відходи потрапляють у найвіддаленіші куточки планети. Було встановлено, що сміття може тонути через склеювання з органічними речовинами – поліетиленові пакети можна знайти навіть на дні Маріанської западини [3].

Останніми роками Уряди багатьох країн світу оголосили про політику зменшення вживання одноразового пластику. Поліетиленові пакети становлять лише незначну частку загального потоку відходів. Наприклад, у Великобританії поліетиленові пакети становлять лише 0,1% міського потоку відходів, а в Іспанії, вони становлять 0,4% загального потоку міських відходів [4].

Погляди на вплив поліетиленових пакетів на навколишнє природне середовище дуже різняться. Основні аргументи «проти» поліетиленових пакетів пов'язані з питанням засмічення, включаючи і засмічення морів. Дослідження які проводились в Ірландії показало, що поліетиленові пакети становлять лише 0,24% із загальної кількості сміття [4].

За даними моніторингових досліджень Комісії OSPAR [5], з тисячі предметів, знайдених у морі, невеликі поліетиленові пакети та пакети для покупок займають 17-е і 18-е місце у списку найбільших забруднювачів Світового океану.

Нині для вирішення проблеми забруднення навколишнього природного середовища поліетиленовими пакетами використовуються різні механізми: заборона поліетиленових пакетів; ринкові інструменти (обов'язкові або на добровільних засадах), такі як введення податків або зборів; відповідальність виробника (розвиток інфраструктури для утилізації використаних поліетиленових пакетів); зв'язок із споживачами; виробництво пакетів, що біологічно розкладаються.

На жаль, в Україні вплив поліетиленових пакетів на складові довкілля досі не постає серйозною екологічною проблемою, хоча державою вже розроблено програми з поступового вилучення поліетилену. З цих міркувань, в Україні в 2021 році ухвалили закон, який суттєво обмежує обіг тонких поліетиленових пакетів [6] і очікувалося, що до кінця 2023 року, залишиться лише їх екологічні альтернативи. Проте повністю з обігу поліетиленові пакети не зникнуть. Їх можна буде придбати за кошти для особистого використання [7].

Отже, нові екологічні норми та зростаюча турбота про довкілля призвели до розробки різних типів полімерних матеріалів, які сумісні з навколишнім природним середовищем, зокрема, використання оксо-біорозкладних домішок у виробництві полімерів та виробництво біорозкладних полімерів.

Мета роботи

Вивчення впливу оксо-біорозкладної добавки d2w на деструкцію поліетиленових пакувальних плівок. Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені такі завдання:

- розробка програми та методики дослідження впливу оксо-біорозкладної добавки d2w на деструкцію поліетиленових пакувальних плівок;
- проведення дослідження зміни якісних показників двох типів поліетиленової плівки при деструкції за різних умов;
- обґрунтування результатів дослідження та розробка рекомендацій щодо використання безпечних для довкілля біорозкладних пластикових пакетів, що компостуються.

Викладення основного матеріалу

Відомі на ринку вжитку типи полімерних матеріалів з оксо-біорозкладними добавками розкладаються по-різному по швидкості та за механізмом деструкції. До класу оксо-біорозкладних відносять полімери, виготовлені із застосуванням добавки d2w (дитіокарбонат заліза або нікелю), і їх руйнування відбувається в два етапи: окиснення і біорозпад. Сфера застосування добавки d2w велика: від упаковки з поліпропілену до будь-яких виробів, яким необхідно надати властивість «швидко зникнути».

Технологія d2w розроблена британською компанією Symphony Environmental Ltd, що входить в групу Symphony Environmental Technologies Plc, яка була заснована в 1995 році і займається розробкою нових технологій [8]. Технологія d2w є системою присадок, що додаються в основну сировину на етапах екструзії або лиття з метою управління терміном життя пластикових виробів і пакування. Формула оксо-біорозкладної добавки d2w досить ефективна, потрібно додати лише 1% від маси виробу, що призводить до значної економії витрат на виробництво, транспортування та зберігання. Поліетилен і поліпропілен, що використовуються при виробництві пластикових пакетів є вуглеводнями. Їх молекулярна структура складається з атомів водню, з'єднаних з атомами вуглецю в довгі заплутані ланцюжки. Саме ці ланцюжки, які забезпечують гнучкість і міцність виробів, перешкоджають з'єднанню атомів кисню з атомами вуглецю та водню, тобто окиснення, яке і є причиною руйнування поліетилену. Оксо-біорозкладна добавка d2w працює як каталізатор, ініціюючи фрагментацію і окиснення цих довгих молекул полімеру, причому через «запрограмований» проміжок часу. Добавка

d2w руйнує вуглецеві зв'язки і активує розпад довгих молекулярних ланцюжків поліетилену. Під час абіотичної фази утворюються молекули з короткими ланцюжками і малої молекулярної масою. Поліетилен втрачає міцність, стає крихким та розпадається на клаптики. Вільні радикали, що утворилися під впливом кисню, утворюють гідропередоксид, поліетилен стає гідрофільним – вбирає воду і збільшується у розмірі. Далі утворені гідропередоксиди починають біорозчинятись природним шляхом. Вони стають доступними для мікроорганізмів, які переробляють їх з утворенням води, вуглецю і біомаси (кетонів, альдегідів, складних ефірів тощо) [9].

Як зазначає у своїх працях шведський професор Ігнасі Якубович, керівник відділу досліджень і розробок хімії матеріалів і поверхонь, науково-дослідного інституту RISE - «процес оксо-біорозкладання поліетилену являє собою не тільки фрагментацію, але й повну зміну структури термопласта з високомолекулярного полімеру до мономерних і олігомерних фрагментів і від вугле-

водневих молекул до кислотовмісних молекул, які схильні до біоасиміляції» [10].

З метою вивчення впливу оксо-біорозкладної добавки d2w на деструкцію поліетиленових пакувальних плівок, було проведено дослідження якісних показників двох типів поліетиленової плівки це, поліетиленова плівка (виробник ТОВ «Грайф Флексіблс Україна») – дослідні зразки №1, №3; пакет для пакування харчових продуктів – поліетиленова плівка з додаванням добавки d2w (виробник ТОВ «Дніпропластавтомат») – дослідні зразки №2, №4.

Дослідні зразки №1, №2 були розміщені у Везерометрі QUV с УФ-лампами (при вологості 90%, температурі 40°C). Ці зразки підлягали впливу ультрафіолетового випромінювання зі зміною температурних режимів і конденсації води протягом 200 годин у Везерометрі QUV, що відповідає терміну протягом 15 місяців за природних умов. Спостереження за деструкцією полімерних плівок проводились по зміні зовнішнього вигляду, стійкості до ультрафіолетового випромінювання,

Таблиця 1

Методики експерименту

Характеристика, що визначалась	Нормативний документ	Назва методики
Зовнішній вигляд	ГОСТ 10354-82 «Плівка поліетиленова. Технічні умови» [11]	МК-9.1.1-06 «Методика визначення фізико-механічних характеристик плівки поліетиленової і мішків укладок».
Стійкість до ультрафіолетового випромінювання	ISO 21898:2004(E) «UV resistance test» [12]	МК-9.1.1-02 «Методика тестування матеріалів на показник чутливості до УФА випромінювання» ТОВ «Грайф Флексіблс Україна».
Коефіцієнт руйнування	ASTM D1709-15 «Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method» [13]	МК-9.1.1-06 «Методика визначення фізико-механічних характеристик плівки поліетиленової і мішків укладок».
Товщина	ГОСТ 10354-82 «Плівка поліетиленова. Технічні умови» [11]	МК-9.1.1-06 «Методика визначення фізико-механічних характеристик плівки поліетиленової і мішків укладок».
Розпад	ДСТУ EN 13432:2015 «Упаковка. Вимоги до упаковки, утилізованої способом компостування і біодеградації. Тестові схеми та критерії оцінювання для остаточного прийняття упаковки» (EN 13432:2000, IDT) [14]	Метод фізичного руйнування упаковки і пакувального матеріалу на дуже малі фрагменти і речовини.

Таблиця 2

Послідовність спостережень за зразком №1

Назва зразка/Опис	Тривалість досліджу	Спостереження досліджу	Зображення дослідного зразка
Поліетиленова плівка LDPE (поліетилен високого тиску низької щільності з додаванням барвника)	5 місяців	Візуальний тест - зміни відсутні	
	10 місяців	Візуальний тест - зміни відсутні.	
	15 місяців	Візуальний тест - зміни відсутні, цілісність плівки без руйнувань.	

Таблиця 3

Послідовність спостережень за дослідним зразком №2

Назва зразка/Опис	Тривалість досліджу	Спостереження досліджу	Зображення дослідного зразку
Поліетиленова плівка (пакет для пакування харчових продуктів), HDPE (Поліетилен високої щільності низького тиску з додаванням біорозкладної добавки d2w)	5 місяців	Візуальний тест - зміни відсутні	
	10 місяців	Візуальний тест – значна втрата кольору нанесеного логотипу.	
	15 місяців	Візуальний тест - втрата кольору нанесеного друку, втрата цілісності матеріалу.	

товщині та розпаду, які визначалися за стандартними методиками (табл. 1). Дослідні зразки №3, №4 були поміщені у ґрунт та перебували там протягом 15 місяців з вересня 2021 р., по листопад 2022 р., без доступу вологи та світла.

Встановлено, що деструкція зразків №1, №2, що знаходилися у Везерометрі QUV, на світлі і за присутності вологи, відбувається швидше, ніж деструкція зразків, що знаходилися в ґрунті. Послідовність проведення експерименту наведено у табл. 2 і 3 відповідно.

Отже, на всіх етапах експерименту зміни стану дослідного зразка №1 відсутні.

Результати досліджень свідчать про те, що з часом, під дією умов зовнішнього середовища

(температури, світла, вологості) деструктивні зміни полімерної плівки відбулися у дослідному зразку №2 (полімер з додаванням оксо-біорозкладної добавки d2w). Поліетилен втратив свої властивості: колір нанесеного друку, цілісність матеріалу. Крім того, під час дотику, зразок розпався на дрібні частки, утворюючи мікропластик. Однак, зразок за №1 залишився без змін (рис. 1).

Зразки, що були поміщені в ґрунт, не зруйнувалися (рис. 2).

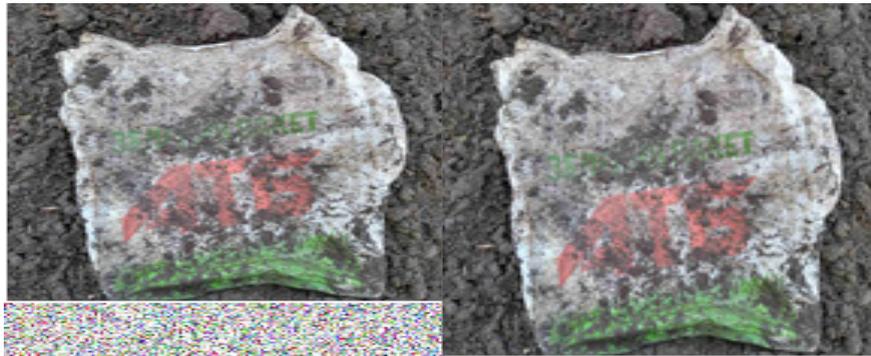
Отже, деструкція зразків №1, №2, що знаходилися в кліматичній камері, на світлі та вологи, відбувається швидше, ніж деструкція тих зразків, що знаходилися в ґрунті. Зразки №3, №4, поміщені в ґрунт, без світла і вологи, практично



а) зразок №1

б) зразок №2

Рисунок 1 – Фото дослідних зразків №1, №2 після закінчення експерименту у Везерометрі QUV



а) зразок №3

б) зразок №4

Рисунок 2 – Дослідні зразки №3, та №4 після закінчення експерименту в ґрунті

не зруйнувалися. Отож, полімерні плівки, що містять оксо-біорозкладну добавку d2w, і знаходяться в природних умовах на поверхні ґрунту, самочинно зруйнуються в середньому, через 1,5–3 роки. При цьому утворюються вуглекислий газ, вода, гумус та мікропластик.

Висновки

Відповідно до проведеного дослідження та посиляючись на стандарт ДСТУ EN 13432:2015 (EN 13432:2000, IDT), пакувальний матеріал повинен мати ступінь біорозкладу, що складає не менше 90% від максимального розкладання [14]. Час проведення дослідження на біорозкладання не повинен перевищувати 6 місяців. Згідно з проведеним дослідженням, термін розпаду матеріалу довший за вимоги стандарту та складає 15 місяців. Окремі дрібні фрагменти (мікропластик), що утворюються під дією кисню та ультрафіолетового випромінювання, нікуди не зникають і назавжди залишаються у ґрунтах та воді, що є джерелом серйозної небезпеки для навколишнього природ-

ного середовища.

Отже, оксо-біорозкладні пакети які є у продажу та позиціонуються як «цілком безпечні» для довкілля, такими не є. З огляду на цей факт, доцільно замінити пластикові пакети на біорозкладні, що компостуються. Вони виготовляються з матеріалу органічного походження – рослинного, тваринного, мікробіологічного або іншого. Технічні характеристики яких на даний момент не поступаються їх «нафтовим» аналогам.

Перспективи використання результатів дослідження.

Розв'язання порушених авторами проблем в сфері створення біорозкладних полімерів важливо не тільки для подальшого розвитку ринку біорозкладної полімерної упаковки, а є одним з перспективних напрямків вирішення глобальної екологічної проблеми, пов'язаної із забрудненням навколишнього середовища відходами полімерних матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Annual Reports Minderoo foundation. Challenge impossible. [Електронний ресурс] / group of authors // Annual Reports Minderoo foundation.. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.minderoo.org/annual-reports/>.
2. Державний комітет статистики України [Електронний ресурс] : https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/oper_new.html Електронні дані. – Київ.
3. Охрей А. Чим небезпечний пластик для довкілля? [Електронний ресурс] / Анна Охрей – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://ecogrizzly.shop/dangerous-plastic/>.
4. Знову про полімерні пакети (позиція Pro Europe). URL: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Urakovka_2013_3_19.pdf
5. OSPAR's Assessment Portal. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://oarp.ospar.org/en/>.
6. Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України. : Закон України від 01.06.2021 р. № 1489-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1489-20#Text>.
7. Гордійчук, Б. Прощай, пакете з пакетами? Що зміниться після заборони пластикових пакунків [Електронний ресурс] / Б. Гордійчук, І. Колдомасов // Економічна правда. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/06/14/674966/>.
8. Biodegradable Plastic technology – an environmentally responsible solution for your plastic product, film, or packaging needs: <https://www.symphonyenvironmental.com/additives/biodegradable-plastic/>
9. Біорозкладні пакети - ЕКО рішення сміттевого питання. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mpak.ua/info/articles/biorazlagaemye-pakety-statija/>.
10. Jakubowicz I. Evaluation of degradability of biodegradable polyethylene (PE). / Ignacy Jakubowicz. // Polymer Degradation and Stability. – 2013. – С. 39–43.
DOI: 10.1016/S0141-3910(02)00380-4.
11. ГОСТ 10354-82 «Плівка поліетиленова. Технічні умови». Міністерство хімічної промисловості СРСР (Мінхімпром), 1982.
12. ISO 21898:2004(E) «Packaging — Flexible intermediate bulk containers (FIBCs) for non-dangerous goods». ISO/TC 122/SC 3, 2004 (2019).
13. ASTM D1709-15 «Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method». ASTM International [astm], 2015.
14. ДСТУ EN 13432:2015 «Упаковка. Вимоги до упаковки, утилізованої способом компостування і біодеградації. Тестові схеми та критерії оцінювання для остаточного прийняття упаковки». ДП «УкрНДНЦ», 2016. EN 13432:2000.
15. Коцюба І. Г. Методологія екологічного краудсорсингу у сфері поводження з відходами / І. Г. Коцюба, В. В. Хрутьба. // Науково-практичний журнал «Екологічні науки». – 2019. – №2. – С. 203–205.
16. Пацева І. Г. Системний підхід управління відходами об'єднаних територіальних громад / І. Г. Пацева, О. Л. Герасимчук, А. М. Кагукіна. // Науково-практичний журнал «Екологічні науки». – 2022. – №43. – С. 181–184.

УДК 37.01: 574.42

ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА УЧНІВ ЯК ВАЖЛИВА ПЕРЕДУМОВА ФОРМУВАННЯ СУСПІЛЬСТВА ПІД ЧАС ЕКОЛОГІЧНОЇ КРИЗИ

Клименко А. О.¹, Матвієнко М.Г.²

¹Пирятинський ліцей № 4 Пирятинської міської ради Полтавської області,
вул. Європейська 2, м. Пирятин, 37000
klimenkoalla2107@gmail.com

²Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035
matvienko.imdlab@gmail.com

У статті розглянуто та проаналізовано основні складові екологічної освіти учнів, зокрема з досвіду роботи ліцею №4 Пирятинської міської ради, Полтавської області. Проведено огляд досліджень та публікацій щодо проблем екологічного виховання молоді, розкрито важливість екологічного виховання учнів на сучасному етапі під час екологічної кризи; наведено форми та методи освітньої діяльності, що сприяють формуванню екологічного мислення. Акцентується увага на недосконалості змісту освітнього процесу в учнів 5-11 класів щодо формування ціннісного ставлення до навколишнього природного середовища, розуміння наслідків антропогенного впливу на довкілля та відповідального ставлення до природи. Розкрито актуальність підготовки школярів з високим рівнем екологічних знань, екологічної свідомості та культури на основі нових реалій сьогодення.

Ключові слова: екологічна освіта, екологічне виховання, екологічна свідомість, криза, екологічна криза, учнівська молодь, заклад загальної середньої освіти, освітня діяльність.

Environmental education in schools as an important factor in building an environmentally conscious society during a crisis. Klymenko A., Matviienko M.

The article examines the main components of environmental education using the experience of Lyceum No. 4 of the Pyryatyn City in the Poltava Region. A review of the problems of environmental

education in schools is conducted; the forms and methods of educational activities that contribute to forming the environmentally conscious worldview are given. The authors draw attention to the many issues in the educational process of the students in grades 5-11. The article highlights the crucial relevance of educating schoolchildren on the consequences of anthropogenic influence and suggests ways to form responsible attitudes toward nature in young people.

Keywords: environmental education, environmental awareness, environmental crisis, student youth, institutions of general secondary education, educational activity.

Постановка проблеми

Наслідки впливу діяльності людини на навколишнє природне середовище стають все відчутнішими, тому людство нарешті почало усвідомлювати неможливість власного існування без збереження природи у всьому її розмаїтті [1]. Однак, екологічна культура сучасного українського суспільства залишається низькою і без підвищення її рівня неможливо сподіватися на позитивні зміни в довкіллі [2].

Особливо актуальним є формування екологічного мислення, виховання майбутнього покоління, якому доведеться відновлювати екологію України після завершення військових дій. Адже повномасштабне вторгнення завдало та продовжує завдавати колосальної шкоди навколишньому природному середовищу, що може призвести до екологічної кризи в деяких регіонах.

Поняття «криза» методологічно цілком виправдано використовувати для аналізу та стану природного довкілля, історії природокористування, характеристики негативного антропогенного впливу на екосистеми. Загальні ознаки екологічної кризи в різних тлумаченнях постають як нестійкий стан екосистеми, що формується в результаті появи критичних або лімітуючих екологічних факторів [3].

Екологічна освіта є важливою умовою формування повноцінного суспільства, особливо нині, коли внаслідок військових дій екології нашої країни завдано непоправної шкоди. Сучасна молодь – це покоління, якому доведеться в подальшому відновлювати нашу країну після війни, ліквідувати наслідки забруднення навколишнього середовища завданого бойовими діями. І чим раніше почнеться формування екологічної грамотності, екологічної свідомості, екологічної культури підлітків, тим вище ефективність виховного впливу на особистість. Основною ланкою такого впливу на молодь є заклад освіти, який покликаний забезпечити учнів знаннями про взаємозв'язок природи та суспільства, осмислити наслідки діяльності людини щодо впливу на навколишнє середовище, сформулювати прагнення брати активну участь у природоохоронній діяльності.

Екологічна освіта – надпредметний напрямок зміни загальної середньої освіти, спрямований на вирішення сучасних соціально-екологічних проблем, що створює умови для самореалізації та розвитку особистості в соціальному природному середовищі, що швидко змінюється. Мета екологічної освіти визначається як навчання молоді управлінню якістю життя, усвідомлення об'єктивно існуючих екологічних можливостей і обмежень економічного розвитку і необхідності адаптації до них. Завданнями екологічного освіти є: формування надпредметних знань, умінь, навичок і способів діяльності на основі розуміння основних законів екології та концепції сталого розвитку; створення умов для усвідомленої мотивації навчально-дослідницької та соціально-значимої діяльності, спрямованої на поліпшення стану навколишнього середовища і підвищення якості життя [4].

Актуальність дослідження

Екологічна ситуація в Україні, що пов'язана з активними бойовими діями, засвідчує важливість

розуміння учнівською молоддю нинішніх реалій екологічної кризи для довкілля та готовність вирішувати наслідки негативного впливу війни. Актуальність проблеми обумовлена недосконалістю змісту освітнього процесу щодо формування екологічної компетентності учнів 5-11 класів та відсутністю належних умов для екологічного виховання учнівської молоді. Адже саме в закладі освіти закладається фундамент активної екологічної позиції, здійснюється організація підвалин екологічної свідомості. Залучення школярів до різних методів наукових досліджень, виховних заходів спрямованих на формування ціннісного ставлення до природи, дозволяє їм усвідомлювати важливість навколишнього середовища, визначати наслідки регіональних та глобальних екологічних проблем, а також здійснювати пошук шляхів для їх вирішення.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями

Тематика даної статті відповідає ключовим компетентностям, а саме «Екологічна компетентність», визначеним у Законі України «Про освіту» від 05.09.2017 № 2145-VIII (Редакція станом на 01.01.2023), цілям викладених у Концепції екологічної освіти України, затвердженій рішенням Колегії Міністерства освіти і науки України від 20.12.2001 № 13/6-19 «Про Концепцію екологічної освіти України». Питання які висвітлені у статті відповідають основним положенням та пріоритетним напрямкам Національної доктрини розвитку освіти, затвердженій указом Президента України від 17.04.2022 р., № 347/2002 та Цілям сталого розвитку України на період до 2030 року, затверджених Указом Президента України від 30.09.2019 №722/2019.

Аналіз досліджень та публікацій

Основоположниками розвитку екологічного виховання молоді були Захлебний О., Зверев І., Суравегіна І., які обґрунтували теоретичні засади, розробили концептуальні положення та заклали підґрунтя екологічної освіти. Фундаментальними дослідженнями в галузі екологічного виховання займалися Крисаченко В., Павленко І., Пустовіт Г., Скрипник С., Симонова Л. та ін. Теоретичну основу сучасних досліджень проблем виховання підростаючого покоління становить теорія неперервного екологічного виховання (Карова Г., Кисельов М., Мамедов М.);

ідеї екологічного виховання дітей і молоді та їх застосування в педагогічних дослідженнях (Білик Л., Лук'янова Л., Марченко Г., Плахотнік О., Пустовіт Н., Степанюк А. та ін.). Питаннями екологічного виховання, які частково відображають методичні, організаційні та технологічні аспекти здійснення природоохоронних заходів, займалися Казанішена Н., Кот Н., Лисенко Н., Лук'янова Л., Науменко Р., Плохій З., Соннова М. та інші [5].

Необхідність екологічного виховання висвітлено у працях видатних педагогів. Відомі педагоги (Прокіпович Ф., Козельський Я., Ушинський К., Ващенко Г., Сухомлинський В. та інші.) наголошували на великому значенні екологічного виховання, вони стверджували, що екологічна вихованість особистості підвищує рівень естетичної культури учня, сприяє розвитку логічного мислення, уваги [1].

Питання змісту, форм екологічної освіти й виховання школярів розкрито в дослідженнях Горова В., Фоміна С. та багатьох інших. *Різноманітність* методів навчання і виховання описано у працях: Бугайової С., Пометун О., Рикун С., Шорохової В., Пироженко Л., Вітохіної К. Теоретичні аспекти, пов'язані з визначенням сутності активних методів, їх класифікації, визначенням найпоширеніших і адекватних для розв'язання навчальних завдань набули висвітлення у публікаціях українських вчених: Мартинець А., Скрипник М., Пироженко Л., Пометун О. [6].

Мета

Мета статті – з'ясувати теоретичні основи та обґрунтувати педагогічні умови розвитку екологічної компетентності, розглянути основні аспекти формування екологічної свідомості учнів 5-11 класів на природничих уроках, здоров'язбережувальних дисциплін в позаурочний час, виокремити ефективні форми організації пізнавальної діяльності учнів, що сприяють формуванню екологічного мислення.

Виклад основного матеріалу

У закладах загальної середньої освіти екологічна освіта є складовою в багатьох навчальних предметів: біології, географії, фізики, хімії. Але саме під час вивчення біології в учнів суттєво формується уявлення про цілісність природи, про взаємодію природи та суспільства, про вплив природних умов на існування людини, про зміну навколишнього середовища внаслідок діяльності людини.

Екологічне виховання неможливе без розуміння суті екологічних явищ, робити певні висновки щодо стану довкілля, продукувати способи мудрої взаємодії з нею. Ці уміння учнів накопичують як на уроках так і в позаурочній діяльності.

Головна функція екологічного виховання полягає в придбанні і накопиченні особистістю досвіду взаємодії з навколишнім середовищем природним і соціальним на когнітивному, емоційному і нормативному рівнях. Саме сукупність знань, емоційних переживань і практичних умінь в екологічній діяльності дозволяє перевести свідомість молоді в іншу площину – з природоспоживальної в природозберігаючу, а отже, подолати в їхній свідомості бачення, пов'язане з перевагою людини над природою, під впливом якого природа сприймається ними тільки як утилітарна цінність [7].

Хоча екологічне виховання багатогранне, проте його розглядають з трьох позицій:

- екологічне виховання є частиною загального всебічного виховання особистості;
- воно є самостійним видом виховання, тому що відрізняється від інших видів з цілями, завданнями, а головне, за методами реалізації в конкретних варіантах виховної роботи;
- екологічне виховання - це «системоутворювальний фактор» всієї системи виховання [8].

Завдання школи полягає не тільки в тому, щоб сформувати певний обсяг знань з екології, а й сприяти придбанню навичок наукового аналізу явищ природи, осмислення взаємодії суспільства і природи, усвідомлення своєї значущості і практичної допомоги природі. Тепер екологізація виховної роботи школи стала одним з головних напрямів розвитку системи шкільної освіти. Для більшої ефективності та успіху екологічного виховання учнів дуже важливо наповнити всі заходи місцевим матеріалом про стан середовища в регіоні, місті, районі. Основними формами та методами екологічного виховання учнів має бути проведення інтерактивних екологічних заходів, планування і подорожі екологічними стежками та дослідницька діяльність учнів [9].

Екологічна освіта учнів нерозривно пов'язана з викладанням інтегрованого курсу для учнів 5 класів «Пізнаємо природу», предметами «Біологія» (6-9 клас), «Біологія та екологія» (10-11 клас), «Основи здоров'я» (6-9 клас) в рамках яких є теми, що охоплюють питання екологічної освіти молоді. А саме, під час вивчення інтегровано-

го курсу «Пізнаємо природу» вивчаються теми: «Як людина взаємодіє з природою», «Поводимося екологічно грамотно», «Як долають екологічні проблеми сучасності», «Зміни в природі, що виникають унаслідок природних чинників і діяльності людини», «Охорона природи. Заповідники, заказники, національні парки та їхнє значення для збереження природи Землі», «Червона книга України». Також передбачено проведення досліджень «Один із способів опріснення води», «Використане пакування для харчових продуктів» та виконання проєкту «Смітити не можна переробляти». Під час вивчення біології в 6-9 класах розглядаються теми: «Екосистема. Різноманітність екосистем», «Харчові зв'язки, потоки енергії та колообіг речовин в екосистемах», «Біотичні, абіотичні та антропогенні (антропогенні, техногенні) фактори», «Стабільність екосистем та причини її порушення», «Біосфера як цілісна система», «Захист і збереження біосфери, основні заходи щодо охорони навколишнього середовища» тощо. У програмі для 10-х класів окремо не передбачено вивчення тем екоосвітньої тематики. В 11-х класах представлена найбільша кількість тем екологічної освіти, вивчаються два великих розділи «Екологія» (15 годин) та «Сталий розвиток та раціональне природокористування» (12 годин). Під час вивчення предмету «Основи здоров'я» питання екологічної грамотності розглядаються лише в 9-х класах. В програмі інтегрованого курсу для 5-х класів «Здоров'я, безпека та добробут» тем екологічного спрямування не передбачено зовсім.

Формування екологічної культури учнів, а також залучення їх до природоохоронної діяльності можливе при застосуванні на уроках та у позаурочний час наступних форм і методів:

- індивідуальних (робота з науково-популярною літературою екологічного змісту, довідниками; підготовка доповідей, рефератів, проведення фенологічних спостережень тощо);

- групових (випуск бюлетенів, стіннівок, участь в екологічних іграх);

- колективних (проведення тижнів екології, вікторин, конференцій) [10].

Основні методи навчання на уроках біології це: дослідницький (спостереження, виконання проблемних завдань), частково-пошуковий (вікторини, кросворди, ребуси), пояснювально-ілюстративний (розповідь, робота з підручником, бесіда), репродуктивний (застосування опорних

схем, створення інтелект-карт), проблемний (бесіда, висунення гіпотез, пояснення).

Провідна роль у формуванні екологічної свідомості учнів належить урокам, які проводяться в ігровому форматі. Такі уроки завжди змістовні, цікаві, пізнавальні, учні самі охоче беруть участь у їх підготовці.

Ігровий формат навчання, має широкі та виховні можливості, адже спочатку учень зацікавиться лише грою, а згодом його зацікавить і навчальний матеріал. Крім того, дидактична гра стимулює інтерес до глибокого, усвідомленого пізнання. Оскільки пізнавальний інтерес багатогранний, він може виступати як засіб активізації цього процесу, або як мотив пізнання, стикаючись та взаємодіючи при цьому з іншими мотивами [11].

За умов дистанційного та змішаного навчання ефективними є використання різних навчальних платформ для проведення ігор, вікторин, створення інтелект-карт, розв'язування кросвордів та ребусів, тестування учнів тощо. Значна кількість інтерактивних вправ екологічної тематики є на таких онлайн-сервісах: «На урок», «Всеосвіта», «Quizizz», «LearningApps.org», «Kahoot», «AR_Teacher», «Jamboard» та інші.

Для формування екологічної культури велике значення має залучення учнів до участі у наукових роботах Малої Академії наук (МАН) та проєктах. Зокрема теми, що стосуються екологічних проблем та наслідків військової діяльності на території України є надзвичайно актуальними. Під час виконання таких робіт піднімаються важливі екологічні проблеми сьогодення, наслідки антропогенної діяльності людини, здійснюється пошук шляхів покращення екологічної ситуації як в цілому так і окремих регіонів, прищеплюються екологічні цінності, формуються екологічні потреби.

Зважаючи на важливість вирішення проблеми забруднення довкілля в результаті воєнних дій, учень 9 класу Пирятинського ліцею №4 Седмиров Євген став учасником Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів-членів Київського територіального відділення Малої Академії Наук України та опублікував тези наукового дослідження «Придатність забруднених нафтопродуктами ґрунтів для вирощування провідних сільськогосподарських культур» у збірнику наукових праць I Міжнародної науково-практичної конференції «Innovations and prospects in modern science» (Стокгольм, Швеція).

Також ефективним методом у екологічному вихованні учнів є екскурсії. Проводяться екскурсії, як позашкільною програмою, так і для закріплення отриманого матеріалу [12]. На екскурсіях діти знайомляться з природними об'єктами та явищами, різними видами рослин і тварин, умовами їх існування, сезонними змінами, наслідками антропогенного впливу на екосистеми. У Пирятинському ліцеї №4 учні 5-11 класів є активними учасниками екскурсійних походів, велосипедої стежками Національного природного парку «Пирятинський».

Важливим аспектом екологічного виховання учнів є позакласна діяльність, участь у загальношкільних заходах, проведення виховних годин, спільних акцій разом з працівниками природоохоронних об'єктів, співпраця з науковцями. Традиційними стали тематичні кейс-дні, кейс-тижні, в рамках яких до виховного освітнього процесу залучаються всі учасники. Яскравим прикладом такої діяльності є заходи спрямовані на формування екологічної компетентності, зокрема активно та яскраво проходять тематичні кейс-дні: «Всесвітній день Землі», «Всесвітній день захисту тварин», «День науки в Україні».

Адміністрація Пирятинського ліцею №4 максимально сприяє залученню ресурсів для створення умов підвищення якості екологічної освіти молоді. Зокрема, заклад є переможцем конкурсу громадських екологічних ініціатив Полтавської області (проект «Еко-клас на шкільному подвір'ї»). Альтанку під відкритим небом оснащено відповідною наочністю: екологічні стенди «Рослини Червоної книги України», «Тварини Червоної книги України», «Забруднення довкілля», «Терміни розкладання продуктів» (ламіновані з бортами), фліп-чарт дошка, облаштовано місце для сидіння.

За участі вчителів та працівників відділу еколого-освітньої роботи та рекреації Національного природного парку «Пирятинський» в еко-класі здійснюються різноманітні форми екологічного виховання:

- тематичні виховні години на екологічну тематику (бесіди, лекції, диспути, заочні екскурсії, віртуальні екскурсії);
- екологічно-просвітницька діяльність навчальних дисциплін «Біологія та екологія», «Біологія», «Пізнаємо природу»;
- конкурси, вікторини, заходи на екологічну

тематику, природоохоронні акції;

- робота учнівських груп, розроблення проєктів на теми захисту довкілля.

Отже, необхідність посилення впливу на духовну сферу особистості, формування етичного компоненту екологічної культури є необхідною умовою екологічного виховання шкільної молоді. Подолання екологічної кризи залежить від морального вдосконалення людини, її культури та відносин із природою. Усвідомлення невідворотності екологічних проблем без формування екологічної культури обумовлює необхідність формування екологічної культури, яка забезпечить активну екологічну позицію у питанні охорони довкілля [13].

Висновки

В результаті проведеного дослідження з'ясовано теоретичні основи розвитку екологічної компетентності учнів 5-11 класів та проаналізовано педагогічні умови її реалізації на уроках та позакласній роботі з досвіду роботи Пирятинського ліцею №4.

Огляд стану викладання предметів природничого циклу («Пізнаємо природу», «Біологія», «Біологія та екологія») та здоров'язберігаючої галузі («Здоров'я, безпека та добробут», «Основи здоров'я») виявив недосконалість викладу освітнього процесу щодо формування ціннісного ставлення до навколишнього середовища. Зокрема у навчальних програмах з біології для учнів 10-х класів не передбачено вивчення тем з екологічної тематики. Також під час вивчення інтегрованого курсу «Здоров'я, безпека та добробут» теми екологічного спрямування не вивчаються взагалі. Навчальна програма «Основи здоров'я» для 9-х класів передбачає вивчення декількох тем з Міжнародного екологічного права та Концепції сталого розвитку. У програмі інтегрованого курсу «Пізнаємо природу» (5 клас) в достатній кількості подано теми, що сприяють формуванню екологічної свідомості та екологічного мислення, розумінню наслідків антропогенного впливу на навколишнє середовище.

На уроках біології та під час вивчення інтегрованого курсу «Пізнаємо природу» здійснюється системний підхід щодо активізації екологічної свідомості учнів та формування екологічної культури. Зокрема робота продовжується під час дистанційного та змішаного навчання.

Ефективними формами позакласної виховної діяльності, з досвіду роботи Пирятинського ліцею №4, є виховні години та загальношкільні заходи, що сприяють формуванню екологічних знань, вихованню у дітей любові до природи, прагнення берегти, та примножувати її. Систематично здійснюється співпраця з працівниками Національного природного парку «Пирятинський»: проводяться екскурсії, спільні виховні години, бесіди та екологічні акції.

Враховуючи реалії сьогодення, а саме активні бойові дії на території України, необхідно чітко розуміти вплив такої діяльності на навколишнє середовище, планувати подальші дії щодо відновлення гомеостазу екосистем, що постраждали від війни, виховувати покоління свідомого, екологічно освіченого суспільства, готового ліквідувати наслідки екологічних катастроф, гармонійно існувати з природою та розбудовувати державу в контексті сталого розвитку. І оскільки провідником в цьому процесі є вчитель, то для виховання екологічно свідомого громадянина надзвичайно важливими є освітня діяльність в закладах загальної середньої освіти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Коваленко О. Про екологічне виховання молодших школярів / О. Коваленко. // Педагогічні науки: зб. тез наукових доповідей студентів Бердянського державного педагогічного інституту. – 2017. – №1. – С. 21–22.
2. Скрипник С. В. Особливості формування активної екологічної позиції учнів старших класів / С. В. Скрипник. // Педагогічний дискурс.. – 2016. – №20. – С. 167–171.
3. Сулацкова О. Антропогенні чинники екологічної кризи / О. Сулацкова. // Науковий вісник Східноєвропейського національного університету ім.і Лесі Українки. – 2013. – №27. – С. 63–68.
4. Прохорова Л. А. Готовність майбутніх вчителів географії до екологічного виховання учнівської молоді у сучасній загальноосвітній школі / Л. А. Прохорова, Т. В. Зав'ялова, О. В. Непша. // Екологія – філософія існування людства: зб. наук. праць. – 2018. – С. 96–100.
5. Люленко С. Екологічне виховання школярів засобами природоохоронної діяльності / С. Люленко. // Проблеми підготовки сучасного вчителя. – 2017. – №15. – С. 337–343.
6. Мітрясова О. Активні методи екологічного виховання молодших школярів за умов позашкільної освіти / О. Мітрясова, А. Озерянська. // Наукові праці. Екологія.. – 2015. – №224. – С. 114–117.
7. Прохорова Л. Екологічна освіта та виховання молоді як основа екологічної культури суспільства / Л. Прохорова, Т. Зав'ялова, О. Непша. // зб. наук. праць науково-практична конференція з міжнародною участю до 95-річчя Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Богдана Хмельницького.. – 2018. – С. 20–21.
8. Непша О. В. З досвіду проведення еколого-освітніх акцій на факультативі з екології на об'єктах природно-заповідного фонду Рівненського району / О. В. Непша, В. В. Чорнобай. // Гуманітарний простір науки: досвід та перспективи: зб. матеріалів V Міжнарод. наук. практ. інтернет- конф. (Переяслав Хмельницький, 20 вересня 2016 р.. – 2016. – №5. – С. 24–29.
9. Актуальність проблеми екологічного виховання школярів. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://vosпитanie.at.ua/blog/2012-06-11-178>.
10. Домусчі С. Екологічне виховання на уроках географії та у позаурочний час / Домусчі С., Тригуб В.. // Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. – 2021. – №2. – С. 182–187.
11. Тонка Ю. В. Використання інноваційних методів навчання у формуванні екологічної свідомості учнів на уроках географії / Ю. В. Тонка. // Таврійський вісник освіти.. – 2013. – №1. – С. 259–264.
12. Місце екскурсій і походів у вивченні корисних копалин в шкільному курсі географії / Даценко Л.М, Зав'ялова Т.В., Непша О.В, Самек Ю.І.. – Умань: СПД Сочінський, 2008. – 80 с. – // Географія та екологія: наука і освіта.
13. Наливайко Л. Формування активної екологічної позиції / Наливайко Л. // Студентський науковий вісник. – 2022. – №47. – С. 80–82.

УДК 504.064.2

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ЗДІЙСНЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО АУДИТУ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Громова І.Ю., Делікатна Н. М.

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

Denisenko15@ukr.net

ema.a.dea@ukr.net

У статті розглянуто питання здійснення екологічного експрес-аудиту системи поводження з відходами на підприємстві ТОВ «Група компаній «Чиста планета». Досліджено та проаналізовано систему поводження з відпрацьованими ртутними та люмінесцентними лампами від етапу їх прийняття до перероблення та зберігання.

Із врахуванням сучасного стану поводження з небезпечними відходами, а також великими обсягами їх накопичення, існує нагальна потреба застосування екологічного аудиту як інструменту оцінювання системи поводження з ними.

Особливості застосування екологічного аудиту, як інструменту оцінювання екологічного стану окремих об'єктів і територій полягає в тому, що оцінюється стан поводження з відходами комплексно, тобто досліджується дотримання підприємством чинного законодавства України у питанні поводження з відходами, а також обстеження фактичного стану об'єкту.

Ключові слова: екологічна безпека, екологічний аудит, система поводження з відходами, небезпечні відходи, об'єкти підвищеної екологічної безпеки.

Specifics of an environmental waste management audit at the enterprise. Hromova I., Delikatna N.

The article reviews the implementation of an environmental express audit of the waste management system at the LLC «Chysta Planeta Group of Companies» enterprise. The system of handling spent mercury and fluorescent lamps from

the stage of receiving them to processing and storage has been studied and analyzed.

Considering the state of modern management of hazardous waste, as well as the large volumes of its accumulation, there is an urgent need to apply environmental audit as a tool for evaluating the system of handling hazardous waste.

The specificity of environmental audit as a tool for assessing the environmental condition of individual objects and territories is that waste management is assessed comprehensively. It includes a study of the company's compliance with the current Ukrainian legislation regarding waste management, as well as an examination of the actual condition of the facility.

Keywords: environmental safety, environmental audit, waste management system, hazardous waste, objects of increased environmental hazard.

Вступ

Розвиток інтеграційних процесів, а також зацікавленість у фінансуванні різноманітних проєктів іноземними інвесторами, вимагає застосування загальноприйнятих у світовій практиці екологічних процедур. Такою процедурою є екологічний аудит. Відповідно до законодавства України екологічний аудит – це документально оформлений системний незалежний процес оцінювання об'єкта екологічного аудиту, що включає збирання і об'єктивне оцінювання доказів для встановлення відповідності визначених видів діяльності, заходів, умов, системи екологічного управління та інформації з цих питань вимогам

законодавства про охорону навколишнього природного середовища та іншим критеріям екологічного аудиту [1].

Особливо дієвою вона є для оцінки стану об'єктів поводження з небезпечними відходами. В законодавстві окрема увага приділяється небезпечним відходам, тому що вони самостійно або під час контакту з іншими речовинами можуть заподіяти шкоду навколишньому природному середовищу і здоров'ю людини. Небезпечними є відходи, що мають фізичні, хімічні, біологічні чи інші небезпечні властивості, які створюють або можуть створити значну небезпеку для навколишнього природного середовища і здоров'я людини та потребують спеціальних методів і засобів поводження з ними.

В статті авторами проаналізовано систему поводження з відходами, зокрема, небезпечними на виробничому майданчику ТОВ «Група компаній «Чиста планета» та окреслено практичні рекомендації щодо її удосконалення.

Постановка проблеми

З урахуванням підвищеного рівня антропогенного навантаження великих міст, та в умовах військової агресії особливої уваги заслуговує стан навколишнього природного середовища. Так, наприклад, великі площі та окремі території забруднюються відходами різного виду та класу. Основними забруднювачем є великі промислові підприємства.

Відтак актуальними постали нові заходи щодо розроблення й удосконалення системи моніторингу об'єктів розміщення та накопичення відходів, у тому числі небезпечних.

Погіршення стану довкілля населених пунктів в цілому негативно впливає на стан навколишнього природного середовища в Україні. Тому, актуальною для вирішення є проблема зменшення антропогенного навантаження на довкілля від об'єктів поводження з відходами.

Ситуація у сфері поводження з відходами характеризується зменшенням загального обсягу утворення відходів, але прогресуюче накопичення їх триває і досягло критичних меж. Внаслідок діяльності численних промислових підприємств, які використовували недосконалі ресурсоємні технології, загалом в Україні накопичилося

близько 30 млрд т відходів на площі понад 160 тис. гектарів. Нині в Україні щороку 1500 підприємствами утворюється до 1,7 млрд т відходів, а використовується в господарстві приблизно 5-12%, натомість в розвинених країнах вони використовуються на 60-80%.

Результати досліджень

Процедура здійснення екологічного експрес-аудиту ТОВ «Група компаній «Чиста планета» передбачала дослідження системи поводження з відходами. Встановлено, що ТОВ «Група компаній «Чиста планета» передбачає здійснювати свою господарську діяльність у сфері поводження з відходами, зокрема з небезпечними відходами, різного агрегатного стану, а саме:

1. Відпрацьовані нафтопродукти непридатні для використання за призначенням (відпрацьовані моторні, індустріальні оливи та їх суміші) (збирання, зберігання, оброблення (перероблення), знешкодження, утилізація, видалення);

2. клінічні та подібні їм відходи, а саме - відходи, що виникають у результаті медичного догляду, ветеринарної чи подібної практики, і відходи, що утворюються у лікарнях або інших закладах під час досліджень, догляду за пацієнтами або при виконанні дослідницьких робіт (збирання, зберігання, оброблення (перероблення), знешкодження, утилізація, видалення);

3. відходи виробництва, а саме – відходи, держані й застосованні в фармацевтичних препаратах, за винятком відходів, зазначених у Зеленому переліку відходів [2];

4. відходи сумішей мастила/вода, вуглеводні/вода, емульсії (збирання, зберігання, оброблення (перероблення), утилізація, видалення);

5. ртуть; сполуки ртуті (збирання, зберігання, знешкодження, видалення);

6. відпрацьовані батареї свинцевих акумуляторів, цілі або пошкодженні (збирання, зберігання, оброблення (перероблення), знешкодження, утилізація) тощо.

Збирання відходів здійснюють їх власники з урахуванням хімічного складу, агрегатного стану та класу безпеки.

Для збирання і транспортування відходів I-го класу безпеки використовують герметичну тару, зазвичай жорстку, закриту тару (сталеві боч-



1а. Контейнер для зберігання рідких радіоактивних відходів



1б. Контейнер для зберігання хімічних засобів захисту рослин



1в. Контейнер для збирання ртутних ламп

ки, контейнери тощо); II-го і III-го класу небезпеки виходячи з їх фізичного стану, в поліетиленових мішках, пакетах, бочках тощо. Для безпечних відходів - упаковку з урахуванням агрегатного стану і форми, інших властивостей відходів, які транспортуються. Деякі типи контейнерів наведено на рисунках 1а, 1б, 1в.

Перевезення (транспортування) відходів, у тому числі небезпечних до виробничого майданчику ТОВ «Група компаній «Чиста планета», здійснюється орендованим або власним спеціалізованим автотранспортом з дотриманням вимог законодавства.

Перевезення (транспортування) небезпечних відходів здійснюється за умови обов'язкового страхування відповідальності суб'єктів перевезення небезпечних вантажів на випадок настання негативних наслідків під час перевезення небезпечних вантажів. Транспортування відходів використовуються спеціально обладнані транспортні засоби, зареєстровані відповідно до процедури державної реєстрації (перереєстрації) затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку державної реєстрації (перереєстрації), зняття з обліку автомобілів, автобусів, а також самохідних машин, сконструйованих на шасі автомобілів, мотоциклів усіх типів, марок і моделей, причепів, напівпричепів, мотоколясок, інших прирівняних до них транспортних засобів та мопедів» [3].

Транспортування відходів здійснюється за встановленим маршрутом, погодженим з уповноваженим органом. Водії транспорту, які перевозять небезпечні відходи, зобов'язані пройти медичний огляд, навчання з питань перевезення

небезпечних відходів з отриманням відповідного свідоцтва та спеціальний інструктаж з техніки безпеки при поводженні з небезпечними відходами.

Кількість відходів, що перевозяться, не повинна перевищувати вантажний об'єм відповідного транспортного засобу.

Вивантаження відходів зі спеціалізованої машини здійснюється на виробничому майданчику ТОВ «Група компаній «Чиста планета».

На виробничому майданчику передбачається збирання, накопичення та тимчасове зберігання відходів окремо за видами сумісного зберігання, класами небезпеки та агрегатного стану в критому складському приміщенні та на відкритому майданчику з твердим покриттям, що унеможливує проникнення в ґрунт забруднюючих речовин.

Змішування відходів, якщо це не передбачено технологічним регламентом, не допускається.

Залежно від агрегатного стану відходи I-IV класів небезпеки передбачається зберігати:

- Відходи I класу небезпеки – у герметичній тарі (в індивідуальних картонних коробках);
- відходи II класу небезпеки – з урахуванням їх фізичного стану в поліетиленових мішках, пакетах, діжках тощо;
- відходи III класу небезпеки – у тарі з урахуванням їх фізичного стану в закритій тарі (поліетиленові мішки, пластикові пакети, картонні коробки, металеві або пластикові контейнери).

Рідкі відходи повинні зберігатись в наземних резервуарах, герметичних ємностях, пластикових чи інших герметичних контейнерах з кришками, які розміщуються на відкритих майданчиках або

в складському приміщенні на твердому покритті або стелажах;

– відходи IV класу небезпеки – у тарі з урахуванням їх фізичного стану, як на відкритих виробничих майданчиках, так і в закритих складських приміщеннях.

Під час зберігання відходів підприємством не допускалося пошкодження корпусів, тари або упаковок.

Місця для зберігання небезпечних відходів спеціально обладнані неруйнівним і непроникним для небезпечних речовин матеріалом (асфальтобетонне та/або бетонне покриття) та ливневою каналізацією.

Складські приміщення повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією та засобами протипожежної безпеки. Також слід зазначити, що працівники підприємства забезпечені засобами індивідуального захисту та інструктовані з питань з охорони праці на робочих місцях.

Приймання відходів на підприємстві здійснюється партіями або поштучно.

Партією вважається будь-яка кількість відходів, що супроводжується одним документом і направляється одночасно з однієї адреси.

Під час приймання відходів відповідальним особам за прийняття:

– одержуються супровідні транспортні документи;

– перевіряється технічний стан;

– перевіряється цілісність тари.

Приймання усіх видів відходів, що надходять на підприємство розфасованих у дрібну тару, проводиться за товарно-транспортною накладною. Під час приймання відходів визначають загальну масу відходів шляхом зважування.

На кожну партію відходів, що здаються, здавач подає товарно-транспортну накладну із зазначенням їх виду та маси. За відсутності розходження між фактично прийнятою кількістю відходів і кількістю, вказаною у товарно-транспортній накладній, оператор розписується про приймання в накладній, один примірник якої залишає підприємству, а три – повертає водієві, який доставив відходи.

На всі відходи, що приймаються складається «Акт приймання» за кількістю згідно рекомендованих форм. Акт підписується особами, які брали участь у прийманні відходів.

На підставі вхідних та видаткових документів ведеться журнал обліку приймання відходів за рекомендованими формами. Документи обліку підлягають нумеруванню, шнуруванню та скріпленню печаткою за підписом керівника та головного бухгалтера підприємства.

Під час приймання, зберігання та відвантаження відходів керівник підприємства здійснює контроль за дотриманням регламенту та нормативних вимог посадовими особами, задіяними в операціях поводження з відходами.

Вантажно-розвантажувальні операції проводяться з використанням рокли або механічного штабелера.

Персонал із обслуговування установки забезпечений спецодягом та спецвзуттям, індивідуальними засобами захисту і первинними засобами пожежогасіння.

В процесі здійснення екологічного експрес-аудиту авторами було обстежено установку для знешкодження відпрацьованих люмінесцентних та ртутних ламп.

Установка призначена для знешкодження відпрацьованих люмінесцентних та ртутних ламп (відходи I класу небезпеки) шляхом демеркуризації ртуті з отриманням вторинних відходів, а саме крихти – багатокомпонентної суміші IV класу небезпеки, що містить нерозчинний і стійкий до впливу зовнішніх факторів сульфід ртуті.

Потужність установки розраховано на одночасну переробку 100 ламп.

Герметичність барабана під час закривання забезпечується за допомогою гумових прокладок на кришках люків. Технологія знешкодження відпрацьованих ламп передбачає їх механічне подрібнення у герметичному замкнутому просторі барабана, де металічна ртуть, що міститься у відходах під час взаємодії з газогенеруючою сумішшю (ГГС) перетворюється у сульфід ртуті.

Загальний вигляд установки для знешкодження відпрацьованих люмінесцентних та ртутних ламп наведено на рис. 2.

Установка являє собою барабан (10) об'ємом 400 дм³, через який проходить труба, де знаходиться вал (5), навколо якого цей барабан обертається. Вал спирається на підшипникову пару (6) закріплену в опорних стійках установки (9). Опорою для вала є підшипникова пара, яка закріплена в опорних стійках установки. На валі кріпиться-

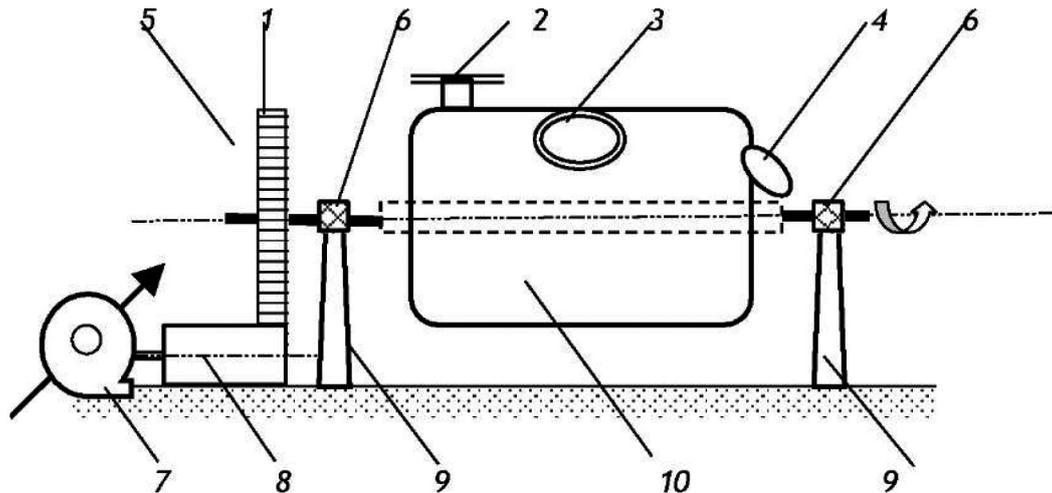


Рис. 2 – Схематичне зображення установки для знешкодження відпрацьованих люмінесцентних та ртутних ламп.

ся веде зубчасте колесо (1), яке приводиться в рух через редуктор (8) за допомогою електродвигуна (7).

Барабан має 2 люки:

- для завантаження ламп і вивантаження продуктів переробки (вторинних відходів) (3);
- для введення газогенеруючої суміші (ГГС) (4).

Конструкція барабану передбачає розміщення запобіжного клапану (2), що спрацьовує при перевищенні тиску всередині барабану.

Технологічний процес знешкодження ламп періодичний, здійснюється в одну зміну й включає такі стадії: підготовку й транспортування сировини; хімічну обробку ламп (демеркурація); витримку крихти; накопичення та транспортування.

Сировина надходить на дільницю знешкодження ламп із складського приміщення в запакованому вигляді. Необхідну кількість компонентів відбирають з пакунків, зважують та подають на завантаження. Решта сировини знаходиться в тарі в складському приміщенні.

Спочатку в кульовий млин завантажують металеві кулі (діаметр – 80-150 мм, вага – до 2,5 кг кожна, кількість – 100 шт., або інші металеві предмети, що близькі за розмірами), далі послідовно: сірку, соду кальциновану, крейду, лампи відпрацьовані. В останню чергу до барабана завантажують сірковмісну газогенеруючу суміш (ГГС), після чого люк герметично закривають, витримують 10 хвилин і включають мотор-редуктор. Процес знешкодження ламп проходить за 3 цикли.

Вивантаження крихти проводять вручну через люк у поліетиленовий мішок, який зав'язують і після маркування переміщують на спецмайданчик, де витримують протягом певного часу. Цей час необхідний для одержання стабільних результатів аналізу повітряного простору на відстані 0,5 м над крихтою з метою перевірки його на вміст парів ртуті, концентрація якої не повинна перевищувати 0,0017 мг/м³. Таким чином перевіряється ефективність проведення демеркурації. У разі невідповідності отриманих результатів нормативу (0,0017 мг/м³) по вмісту парів ртуті, крихту повертають на повторне знешкодження. Згідно з документами, повторна демеркурація складає близько 10% від проведених процесів знешкодження відпрацьованих ламп.

Після підтвердження ефективності демеркурації відходів, крихту вагою до 26 кг у поліетиленових закритих мішках накопичують у межах промислового майданчику, де розміщується установка, з наступним вивезенням на полігон у порядку, визначеному законодавством України та дотриманням вимог СанПіН 2.2.7.029-99 «Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення» та за погодженням з територіальним управлінням Державної служби України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів (далі-Держпродспоживслужба).

Під час обслуговування установки персонал забезпечений спецодягом та спецвзуттям, рука-

вицях та застосовує відповідні засоби індивідуального захисту (протигази ФГ чи ФУ з протигазовими коробками, патронами і фільтрами марки «Г», респіратори фільтруючі протигазові РПГ- 67 або респіратори «Лепесток-Г»).

Вміст парів ртуті металічної в повітрі робочої зони не перевищує гранично допустимих концентрацій (ГДК) – 0,01/0,005 мг/м³ згідно з ГОСТ 12.1.005-88.

Згідно з технологічним регламентом, крихта, що утворюється як вторинний відхід в результаті знешкодження відпрацьованих люмінесцентних та ртутних ламп, являє собою механічну суміш склобою, сульфідів металів і неорганічних наповнювачів (сода кальцинована – близько 7,5 %, крейда – близько 6,5 %, склобій – близько 69,0 %, сірка – близько 14,0%, цоколь лампи (алюміній, мідь, гетинакс)) – близько 2,6 %, неорганічні сполуки ртуті – не більше 0,25 %.

Відповідно до вимог ДСТУ 3211-95 (ГОСТ 1639-93) «Брухт і відходи кольорових металів і сплавів. Загальні технічні умови», утворений відхід – крихта, не підлягає здачі на переробні підприємства як вторинна сировина (брухт кольорових металів), а може бути захороненим на полігоні як промисловий відход IV класу небезпеки або може бути використаний для підсипки доріг під час їх асфальтування (бетонування) згідно з експертним висновком Інституту медицини праці АМНУ.

Висновки

Отже, за результатами екологічного експрес-аудиту ТОВ «Група компаній «Чиста планета» на прикладі дослідження поводження з відпрацьованими люмінесцентними та ртутними лампами встановлено, що підприємство здійснює діяльність відповідно до законодавства України, а саме: Водного кодексу України, Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про охорону атмосферного повітря», «Про відходи», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», а також

відповідно Державних санітарно-протиепідемічних правил і норм щодо поводження з медичними відходами (наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08.06.2015 за № 325), норми НАПБ А.01.001-2014, «Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів» (наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.96 р. № 173).

Підприємство реалізує повний технологічний цикл поводження з відпрацьованими ртутними та люмінесцентними лампами. Комплексний підхід дає можливість реалізувати кожний етап поводження з небезпечними відходами з урахуванням вимог не лише екологічного законодавства але з охорони праці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про екологічний аудит [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2004, № 45, ст.500. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1862-15#Text>.
2. «Про затвердження переліків відходів і їх небезпечних властивостей та інструкцій щодо контролю за транскордонним перевезенням відходів і їх утилізацією/видаленням» [Електронний ресурс]. – 1987. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0502-97#Text>.
3. «Про затвердження Порядку державної реєстрації (перереєстрації), зняття з обліку автомобілів, автобусів, а також самохідних машин, сконструйованих на шасі автомобілів, мотоциклів усіх типів, марок і моделей, причепів, напівпричепів, мотоколясок, інших при [Електронний ресурс]. – 1998. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1388-98-%D0%BF#Text>.
4. «Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення» [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0029588-99?lang=ru#Text>.

ПРИДАТНІСТЬ ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ ҐРУНТІВ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Седміров Є. А.¹, Клименко А. О.¹, Матвієнко М.Г.²

¹ліцей № 4 Пирятинської міської ради Полтавської області,
вул. Європейська 2, м. Пирятин, 37000
klimenkoalla2107@gmail.com

²Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035
matvienko.imdlab@gmail.com

Стаття присвячена вивченню впливу нафтопродуктів на ростові процеси сільськогосподарських культур соняшнику та кукурудзи. Для виявлення особливостей росту сільськогосподарських культур в умовах забруднення ґрунтів нафтопродуктами було проведено дослідження таким способом. Ґрунт у різних концентраціях піддавали забрудненню відпрацьованим мастилом, бензином 95 та дизельним паливом. Для контролю якості використовували чистий ґрунт. Посадка рослин здійснювалася відразу після забруднення ґрунту. Досліджувалися такі параметри: схожість та терміни проростання насіння, довжина пагону та кореня на фазі проростання й розвитку розетки листя. Результати дослідження показали, що невеликі концентрації забруднювачів нафтопродуктами мають стимулюючий вплив на ростові процеси кукурудзи та соняшнику (схожість насінин, довжину стебла). Найбільш виражений пригнічуючий вплив на рослини з трьох нафтопродуктів має дизельне паливо порівняно з бензином 95 та відпрацьованим мастилом. Цінність отриманих результатів полягає в тому, що вони можуть бути використані для визначення стресостійкості та урожайності кукурудзи і соняшника. Також, врахування результатів дослідження надасть можливість вирощувати згадані культури на ґрунтах, забруднених нафтопродуктами внаслідок бойових дій та іншої техногенної діяльності людини.

Ключові слова: забруднення ґрунтів, нафтопродукти, сільськогосподарські культури, соняшник, кукурудза.

Study of the suitability of soils contaminated by petroleum products for growing various types of agricultural crops. Sedmirov Ye., Klymenko A., Matviienko M.

The article is devoted to studying the influence of petroleum products on the growth of agricultural crops, namely sunflower and corn. In order to identify the peculiarities of the agricultural crops' growth in the petroleum-polluted soil, the research was carried out like this: the soil was contaminated with used oil, gasoline 95, and diesel fuel at different concentrations; clean soil was used for quality control; plants were planted as soon as possible after soil contamination. The following parameters were studied: likeness and timing in the germination of seeds, length of shoot and root during the phase of germination, the development of the rosette in leaves. The results of the study showed that small concentrations of pollutants with petroleum products have a stimulating effect on the growth processes of corn and sunflower (seed similarity, stem length). Of the three petroleum products, diesel fuel has the most pronounced inhibitory effect on plants compared to gasoline 95 and used oil.

The value of the obtained results is that they can be used to determine the stress resistance and yield

capacity of corn and sunflower. Also, using the results of the research will provide an opportunity to grow the aforementioned crops on soils contaminated with oil products as a result of warfare and other anthropogenic activities.

Keywords: soil pollution, oil products, agricultural crops, sunflower, corn.

Постановка проблеми

Зважаючи на важливість проблеми забруднення довкілля в результаті воєнних дій і відновлення ґрунтів, у даному дослідженні вивчався вплив нафтопродуктів на вирощування сільськогосподарських культур, таких як соняшник та кукурудза.

Після знищення бойової техніки на землі може залишатися метал та паливо, яке є небезпечним забруднювачем ґрунту. Тому для повного розуміння цієї проблеми, в експерименті спочатку ґрунт забруднювався нафтопродуктами, після чого висаджувалися рослини.

Дане дослідження здійснить свій внесок в покращення технологій вирощування сільськогосподарських культур у післявоєнний період.

Актуальність дослідження

Екологічна безпека в умовах воєнного стану становить серйозну проблему як для навколишнього природного середовища, так і для економіки країни в цілому. Адже Україна є аграрною країною, де вирощують сільськогосподарські культури для власного споживання та на експорт. Найрентабельнішими культурами є соняшник, кукурудза, сорго, пшениця та соя.

В даній роботі представлені результати дослідження впливу нафтопродуктів на найбільш рентабельні сільськогосподарські рослини України – кукурудзу та соняшник. Досить важливо дослідити, чи можливе вирощування даних культур на ґрунтах, що забруднені нафтопродуктами, чи виникне потреба їх відновлювати. Крім того, необхідно розшукувати шляхи очищення ґрунтів [1].

Аналіз досліджень та публікацій

Аналіз основних досліджень і публікацій свід-

чить про те, що екологічні наслідки забруднення нафтою залежать від трьох груп факторів: параметрів забруднення; властивостей ґрунту; характеристик зовнішнього середовища. Варто зазначити, що нині є достатньо наукової інформації про хімічний склад нафти та її впливу на об'єкти навколишнього середовища. Однак нафта кожного регіону має свій характерний склад і в кожній ґрунтово-кліматичній зоні проявляє свої властивості по-різному. Добре відомо, що ґрунт, забруднений сировою нафтою, не здатний повноцінно виконувати свої екологічні, зокрема загальнобіосферні та сільськогосподарські функції. В Україні проводяться комплексні дослідження з розроблення технологій використання нафтозабруднених земель для потреб сільського господарства. З огляду на те, що на Полтавщині значна частина аграрно-промислового комплексу (АПК) знаходиться в нафтовидобувних районах, актуальним питанням залишається обґрунтування екологічної оцінки агрофітоценозів, що підпадають під техногенний вплив, міграції хімічних речовин та їх наслідків у системі «ґрунт – рослина», небезпечності використання зеленої маси та зерна, отриманих на нафтозабруднених ґрунтах [2].

Мета дослідження

Проаналізувати результати досліджень щодо придатності забруднених ґрунтів для вирощування сільськогосподарських рослин; вплив нафтопродуктів (відпрацьовані мастила, бензин 95, дизельне паливо) на проростання насіння кукурудзи та соняшника; порівняти стійкість кукурудзи й соняшника щодо можливості проростання при різних концентраціях забруднювачів; представити результати дослідження впливу нафтопродуктів на швидкість проростання насіння, а також впливу різних концентрацій забруднювачів на довжину стебла, кореня кукурудзи та соняшника.

Викладення основного матеріалу

Однією із поширених екологічних проблем є забруднення нафтою навколишнього природного середовища, зокрема ґрунтів сільськогосподарського призначення [3].

Основними джерелами таких забруднень є нафтопереробні підприємства, нафтосховища, на-

фтопроводи і транспорт, а основними шляхами забруднення – аварійні виливи нафтопродуктів під час їх транспортування до місця призначення та аварії на підприємствах. Тому нині, стали закономірними екологічні катастрофи, що пов'язані з наземними виливами нафтопродуктів. Такі забруднення негативно впливають на ґрунтовий покрив, поверхневі та підземні води [4].

Джерелами забруднення можуть бути об'єкти постачання нафти, тобто всі об'єкти, що пов'язані з видобутком, зберіганням та переробкою нафти, транспортуванням та споживанням нафти та нафтопродуктів [5].

В місцях розташування польових таборів, казарм та полігонів територія може бути засміченою промасленим ганчір'ям та сміттям, пакувальними матеріалами з-під боєприпасів, маскувальним матеріалом, комунально-побутовими відходами тощо. Ґрунти і води поблизу полігонів забруднені нафтопродуктами, що потрапляють в ґрунт в результаті обслуговування техніки, аварійних розливів паливно-мастильних матеріалів, а також відпрацьованими мастилами, антифризами тощо.

Вплив на навколишнє природне середовище під час бойових дій виявляється ще більш небезпечним. Найзначніші негативні екологічні наслідки – це забруднення довкілля внаслідок аварійного порушення роботи великих промислових підприємств. Нанесення прямого збитку виробничому обладнанню та інфраструктурі, аварійні зупинки підприємств через пошкодження і відсутність сировини, енергоносіїв та електроенергії збільшують ризики негативного впливу на навколишнє природне середовище. В деяких випадках наслідком цього впливу є аварійні залпові викиди та скиди шкідливих речовин, в інших – більш тривалий вплив на довкілля через зниження ефективності очищення та використання у виробництві сировини низької якості [6].

Для виявлення особливостей росту сільськогосподарських культур в умовах забруднення ґрунтів нафтопродуктами було проведено дослідження таким способом. Ґрунт у різних концентраціях піддавали забрудненню відпрацьованим мастилом, бензином 95 та дизельним паливом.

Перш ніж вибрати концентрації нафтопродуктів для моделювання забруднення ґрунтів у даному дослідженні, вивчалися відповідні документи, де були визначені норми по гранично допусти-

мих концентраціях даних продуктів.

Відповідно до Додатку 1 «Коефіцієнти небезпечності забруднюючих речовин (Кн)» наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 04.04.2022 р. № 167 «Про затвердження Методики визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану» для нафти та нафтопродуктів визначено показник ГДК/ОДК < 0,2 мг/кг [7].

Відповідно до статті 9 Закону України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», підпункту 14 пункту 4 Положення про Міністерство охорони здоров'я України, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 25 березня 2015 року № 267 (у редакції постанови Кабінету Міністрів України від 24 січня 2020 року № 90), наказом Міністерства охорони здоров'я України від 14.07.2020 № 1595, затверджено «Гігієнічні регламенти допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті», які 31 липня 2020 р., № 722/35005 зареєстровано у Міністерстві юстиції України. Цим нормативно-правовим актом, вперше в Україні встановлено величину гранично допустимої концентрації (ГДК) в ґрунті, з урахуванням фону (кларка), окремо для бензину – 0,1 мг/кг, бензолу – 0,3 мг/кг та нафтопродуктів – 1000 мг/кг (1 г/кг) [8].

Оскільки в навколишньому природному середовищі трапляється більше бензину та інших нафтопродуктів, ніж зазначено в нормативах щодо гранично допустимої концентрації, в даному дослідженні було створено дві експериментальні серії залежно від культури, яка пророщується (кукурудза і соняшник). А в межах кожної серії було кілька експериментальних груп залежно від концентрацій нафтопродуктів, якими забруднювався ґрунт для пророщування рослин (табл. 1).

– Група 1 Контрольна. Чистий ґрунт, у який не додавалися нафтопродукти.

– Група 2. Нафтопродукт у концентрації 0,1 г/кг ґрунту.

– Група 3. Нафтопродукт у концентрації 1 г/кг ґрунту.

– Група 4. Нафтопродукт у концентрації 10 г/кг ґрунту.

– Група 5. Нафтопродукт у концентрації 100 г/кг ґрунту.

Таблиця 1

Експериментальні групи

Рослина	Група	1	2	3	4	5	
Кукурудза	Концентрація нафтопродукту в ґрунті, г/кг	Бензин А95	0	0,1	1	10	100
		Дизельне паливо	0	0,1	1	10	100
		Відпрацьоване мастило	0	0,1	1	10	100
Соняшник	Концентрація нафтопродукту в ґрунті, г/кг	Бензин А95	0	0,1	1	10	100
		Дизельне паливо	0	0,1	1	10	100
		Відпрацьоване мастило	0	0,1	1	10	100

Для контролю використовували чистий ґрунт. Посадка рослин здійснювалася в найкоротші терміни після забруднення ґрунту. Досліджувалися такі параметри: схожість, терміни проростання, довжина пагону, кореня на фазі проростання та розвитку розетки листя.

На 1-му етапі проводилася організація бази та підготовка матеріалів для дослідження.

На 2-му етапі моделювалося забруднення ґрунту за допомогою нафтопродуктів. В якості забруднювачів було вибрано три типи нафтопродуктів: бензин А95, дизельне паливо та відпрацьоване мастило. Усі зазначені нафтопродукти широко зустрічаються в навколишньому середовищі внаслідок вихлопів автомобілів та внаслідок забруднення в результаті воєнної діяльності.

На 3-му етапі сільськогосподарські культури висаджували в забруднений ґрунт. Посадка рослин також здійснювалася в найкоротші терміни після забруднення ґрунту. В контейнер було висаджено по 30 насінин. При цьому, приділялася увага правилам посадки насіння, оскільки вкрай важливо забезпечити оптимальні умови, в яких рослини проростуть. Середня температура приміщення в якому знаходилися рослин 15,5 °С, вологість – 65%. Рослини поливалися відстояною водою, періодичністю один раз на 3 дні.

На 4-му етапі безпосередньо оцінювався вплив різних нафтопродуктів на ріст сільськогосподарських культур. Досліджувалися такі параметри: схожість насіння, терміни проростання, довжина пагону та кореня на фазі проростання та розвитку розетки листя (заміри на 3, 6, 9 добу).

При вимірюванні довжини кореня та стебла, враховувалося середнє значення (M) та похибка середнього (m). Порівнювалися показники між

групами, на основі чого робилися висновки про вплив різних концентрацій забруднювачів на ріст сільськогосподарських культур.

Результати дослідження показали неоднозначність впливу нафтопродуктів на схожість насіння та ріст кукурудзи залежно від різновиду концентрації нафтопродуктів

Аналіз результатів виявив, що невеликі концентрації забруднювача (відпрацьоване мастило концентрація 0,1 г/кг та 1 г/кг) суттєво не вплинули на кількість насінин кукурудзи, що проросли і становили 80%, а у чистому ґрунті - 76,7%. Але при концентрації відпрацьованого мастила в ґрунті 10 г/кг кількість насінин що проросла, значно зменшилась і становила 60%. При концентрації 100 г/кг жодна насінина не проросла.

Встановлено, що невеликі концентрації бензину 95 (0,1 г/кг, 1 г/кг) стимулюють схожість насіння кукурудзи порівняно з чистим ґрунтом (80%) і становлять відповідно 90% та 86,7%. При концентрації забруднювача 10 г/кг схожість насіння залишається високою – 80%. При концентрації в ґрунті бензину 100 г/кг проростання насіння не відбувається зовсім.

Забруднення ґрунту дизельним паливом в концентраціях 1 г/кг має найбільший відсоток сходження насінин кукурудзи і становить 90% (чистий ґрунт – 76,7%). При концентрації 10 г/кг схожість насінин всього 16,6 %. При концентрації 100 г/кг проростання насіння не відбулося.

Виявлено, що для проростання насіння кукурудзи в чистому ґрунті потрібно 8 днів, при забрудненні бензином 95 та дизельним паливом в концентраціях 0,1г/кг, 1 г/кг, 10 г/кг – 6 днів. При забрудненні ґрунту відпрацьованим мастилом в різних концентраціях – 5 днів.

При аналізі впливу різних забруднювачів на довжину кореня кукурудзи на 3, 6 та 9 день було виявлено, що при концентраціях 10 г/кг відпрацьованого мастила, бензину 95 та дизельного палива довжина кореня кукурудзи суттєво зменшується порівняно з контролем. Чіткої взаємозалежності довжини кореня кукурудзи при концентраціях різних забруднювачів 0,1 г/кг та 1 г/кг не виявлено.

При порівнюванні довжини стебла кукурудзи при різних типах забруднювачів було показано, що найкоротший пагін рослини мають при забрудненні дизельним паливом у різних концентраціях. Але при незначних концентраціях 0,1 г/кг, 1 г/кг, 10 г/кг забруднювачів бензин 95 та відпрацьоване мастило спостерігається збільшення довжини стебла порівняно з рослинами, які вирощені на чистому ґрунті.

Результати дослідження також показали, неоднозначність впливу нафтопродуктів на схожість насіння та ріст соняшника залежно від різновиду та концентрації нафтопродуктів. При дослідженні впливу відпрацьованого мастила на проростання соняшника було виявлено, що насіння соняшника проростає при будь-яких концентраціях забруднювача. При незначних забрудненнях відпрацьованим мастилом спостерігається збільшення кількості пророслих насінин, яке становить при 0,1 г/кг – 60%; 1 г/кг – 63,3%; 10 г/кг – 63,3%. При концентрації 100 г/кг схожість насіння становить 40%.

Забруднення ґрунту бензином 95 не мало суттєвого впливу на схожість насіння соняшника, становила від 40% до 53,3% (чистий ґрунт – 50%). Але при концентрації забруднювача 100 г/кг насінини не проростають.

Забруднення ґрунту дизельним паливом спричиняло суттєве зниження кількості насінин соняшника, що проросли порівняно з чистим ґрунтом 9 (50%), що становило: 0,1 г/кг – 13,3%, 1 г/кг – 26,7%, 10 г/кг – 23,3%. Виявлена незначна кількість насінин, що проросли при концентрації дизельного палива 100 г/кг – 10%.

В результаті дослідження виявлено, що для проростання насіння соняшника в чистому ґрунті потрібно 8 днів, при забрудненні бензином 95 та дизельним паливом в концентраціях 0,1 г/кг, 1 г/кг, 10 г/кг – 6 днів, при забрудненні відпрацьованим мастилом при таких самих концентраціях – 5

днів. При забрудненні ґрунту в концентраціях 100 г/кг дизельним паливом – 9 днів, відпрацьованим мастилом – 6 днів. При забрудненні бензином у концентраціях 100 г/кг сходи не з'являються зовсім.

В результаті дослідження впливу забруднювачів на довжину кореня соняшника було виявлено, що дизельне паливо найбільше пригнічує ріст кореня. Відпрацьоване мастило та бензин 95 у більшості випадків не значно стимулюють ріст або ж не мають значного впливу на довжину кореня соняшника.

При вимірюванні довжини стебла соняшника при різних концентраціях забруднення ґрунту нафтопродуктами було виявлено, що дизельне паливо в різних концентраціях пригнічує ріст стебла соняшника. При концентраціях бензину 95 0,1 г/кг, 1 г/кг, 10 г/кг спостерігається збільшення довжини стебла рослини в порівнянні з контролем. Відпрацьоване мастило в концентраціях 0,1 г/кг, 1 г/кг стимулює ріст стебла соняшника.

Висновки

1. При забрудненні ґрунту нафтопродуктами в незначних концентраціях (0,1 г/кг, 1 г/кг, 10 г/кг) спостерігається збільшення пророслих насінин кукурудзи. Зокрема, при незначному забрудненні ґрунту відпрацьованим мастилом та бензином збільшується кількість пророслих насінин соняшнику, але дизельне паливо при різних концентраціях суттєво пригнічує проростання насіння соняшника.

2. Насіння кукурудзи має кращу схожість при забрудненні дизельним паливом, але насіння соняшника сходять навіть при забрудненні відпрацьованим мастилом в концентрації 100 г/кг.

3. Забруднення ґрунту відпрацьованим мастилом, бензином 95 та дизельним паливом в невеликих концентраціях зменшує час, який необхідний для проростання насіння кукурудзи та соняшника. Найкраще стимулює проростання насіння відпрацьоване мастило.

4. Різні концентрації дизельного палива пригнічують ріст стебла та кореня як кукурудзи, так і соняшника. Невеликі концентрації бензину 95 та відпрацьованого мастила мають стимулюючий вплив на збільшення довжини стебла кукурудзи та соняшника. При концентраціях 10 г/кг

відпрацьованого мастила, бензину 95 та дизельного палива довжина кореня кукурудзи зменшується порівняно з контролем. Серед досліджених забруднювачів виявлено, що найбільше пригнічує ріст кореня рослин дизельне паливо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Процько Я. І. Вплив нафти та нафтопродуктів на ґрунтовий покрив / Процько Я. І. // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2010. – №2. – С. 189–191.
2. Семерня О. М. Екологічна безпека в умовах воєнного стану / О. М. Семерня, О. І. Любинський, І. В. Федорчук. // Екологічні науки. Науково-практичний журнал. – 2022. – №2. – С. 62–66.
3. Колесніков Л. А. Реакція сільськогосподарських рослин на забруднення ґрунту нафтою / Л. А. Колесніков, М. А. Галицька, М. А. Піщаленко. // Вісник Полтавської державної академії. – 2019. – №4. – С. 100–107.
4. Гричишин Н. М. Реабілітація ґрунтів, забруднених аварійними виливами нафтопродуктів / Н. М. Гричишин, О. Ф. Бабажданова. // Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – №22. – С. 43–49.
5. Некос В. Ю. Екологічні проблеми забруднення компонентів природного середовища нафтопродуктам / Некос В. Ю., М. О. Крайнюков. // Всеукраїнський з'їзд екологів: міжнар. наук.-техн. конф.: тези допо. – 2011. – С. 237.
6. Мірошниченко О. Вплив військової діяльності на навколишнє середовище / О. Мірошниченко, В. Клеєвська, В. Кручина. // Актуальні наукові дослідження в сучасному світі. – 2021. – №6. – С. 182–185.
7. «Про затвердження Методики визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану» [Електронний ресурс] // Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 04.04.22 р., № 167. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22#Text..>
8. «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони» [Електронний ресурс] // Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 14.07.2020 р., № 1596. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text>.

ДОСВІД РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ ЗЕМЛІ ПІВНІЧНИЙ РЕЙН-ВЕСТФАЛІЯ З ПОЗИЦІЇ ДЕРЖАВНО-ГРОМАДСЬКОГО ПАРТНЕРСТВА

Лубенська Н.О.²., Бондар О.І.,¹ Дятел О.О.¹.

²Центр пост-майнінгу, Вища технічна школа Георга Агріколи, (Bochum, Germany)

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035
lubenskaja@gmail.com, dei2005@ukr.net, alexandr_dyatel@ukr.net

Будь-які війни неодмінно закінчуються, і незважаючи на скрутні часи для України, водночас необхідно думати про майбутнє. Тому що, після закінчення війни ми маємо відбудувати Україну. Набутий досвід роботи з міжнародними партнерами знадобиться у відновленні зруйнованої чи пошкодженої інфраструктури.

Земля Північний Рейн-Вестфалія (Німеччина), пройшла важкий шлях, від колапсу економіки після Другої Світової війни, поступової відбудови, енергетичної кризи у 60-х роках минулого сторіччя, відмови від дотаційних шахт і припинення *вуглевидобутку* у 2018 році до повної трансформації у інноваційний хаб Німеччини.

Автори статті планують опублікувати низку публікацій в даному журналі з теми реструктуризації вугільної промисловості Німеччини. Ця стаття, присвячена темі реструктуризації з позиції державно-громадського партнерства. У статті відтворена ретроспектива розвитку вуглевидобутку в Північний Рейн-Вестфалії, та створення фонду RAG, який працює над вирішенням довічних пост-майнінгових задач. А також показаний як приклад успішного державно-громадського партнерства на прикладі *Initiativkreis Ruhrgebiet* та *Regionalverband Ruhr*.

Ключові слова: пост-майнінг, шахта, трансформація екологічна небезпека, промисловий туризм.

Restructuring of the north rhine-westphalia land as an example of the state-public partnership.

Lubenska N., Bondar O., Diatel O.

All wars come to an end, and despite the difficult times for Ukraine, it is necessary to think about the future right now. The acquired experience of working with international partners will be crucial in the process of rebuilding Ukraine and its damaged infrastructure.

The land of North Rhine-Westphalia (Germany) has overcome quite a lot of challenges. From the collapse of the economy after the Second World War, gradual reconstruction, the energy crisis in the 60s, abandonment of subsidized mines, and cessation of coal production in 2018, to the complete transformation into the innovation hub of Germany.

The authors plan to publish a number of articles in this magazine over the years on the topic of restructuring the coal industry in Germany. This first article is dedicated to studying the state-public partnership, it gives a retrospective of the coal mining development in North Rhine-Westphalia and the creation of the RAG fund, which deals with the lifelong post-mining problems and is an example of a successful state-public partnership where the “*Initiativkreis Ruhrgebiet* та *Regionalverband Ruhr*” is used as an example.

Keywords: post-mining, mine, transformation, environmental hazard, industrial tourism.

Постановка проблеми

Сучасні проблеми екологічного стану навколишнього природного середовища навколо вугільних шахт України стосуються порушення екосистем та природних територій, руйнування промислових та екологічно небезпечних об'єктів, забруднення джерел питної води, земель, атмосферного повітря, а також порушення геологічного середовища тощо. Серед негативних наслідків, що супроводжують процеси закриття шахт, найбільш розповсюдженим та характерним, практично для усіх вуглевидобувних регіонів, є фактор значного погіршення гідрогеологічного стану територій їх розташування. Про це свідчить досвід ліквідації шахт не тільки у різних регіонах України та в інших країнах. Необхідно відзначити, що розроблення родовищ кам'яного вугілля обумовлює зміни у водообміні та гідрохімічному режимі підземних вод на території, що значно перевищує площу гірничих робіт.

До початку військових дій всі вугленосні басейни знаходились на тому етапі розвитку, коли обсяги видобутку вугілля зменшувались, значна кількість шахт припиняла розробку запасів вугілля і ці шахти перебували у стадії ліквідації. Такі обставини призвели до суттєвої зміни в межах басейнів повною мірою усталених природно-техногенних умов, які сформувались в результаті впливу на природні компоненти розробки вугільних родовищ.

Військовий конфлікт призвів до прямого небезпечного впливу бойових дій на усі екологічні складові довкілля особливо на сході нашої країни, зокрема, на поверхневі і підземні води, оскільки значно збільшилися ризики виникнення аварійних ситуацій на вугільних підприємствах. Основна небезпека в умовах конфлікту пов'язана з можливістю забруднення навколишнього середовища через аварії та неконтрольоване затоплення шахт на територіях, які не контролюються Урядом України.

Враховуючи, що значна частина шахт східного регіону затоплюється, нам необхідно переймати досвід успішної реструктуризації інших країн, особливо Німеччини.

Данна стаття побудована на матеріалах публікацій компанії RAG AG, котра займалася видобутком кам'яного вугілля в Німеччині до 2018

р., а також дослідженнях вчених провідного гірничого університету Вища технічна школа Георга Агріколи (нім. Technische Hochschule Georg Agricola) в місті Бухом, а також на дослідницькій праці доктора Міхаеля Фаренкопфа, який з 2001 року очолює Гірничо-історичний центр при Бухумському гірничому музеї.

Мета роботи

Аналіз існуючого стану шахт внаслідок неконтрольованого затоплення гірничодобувних підприємств, що знаходяться як на тимчасово неконтрольованих територіях, так і шахт, що перебувають у стадії ліквідації, а також розроблення пропозицій щодо забезпечення екологічної стійкості територій прилеглих до вуглевидобувних підприємств.

Результати дослідження

Історія розвитку вугільної промисловості в Німеччині. Винахід парової машини у XVIII столітті призвело до індустріальної революції та відкрило нові горизонти у використанні кам'яного вугілля. Паровий двигун знайшов застосування майже у всіх галузях господарства. Новий двигун використовувався в гірській промисловості: для видобування порожньої породи на поверхню та відкачування води, так щоб гірники могли працювати глибше під землею [1].

До середини XX століття видобуток кам'яного вугілля був ключовим економічним фактором розвитку Німеччини, завдяки чому Рурська область (земля Північний Рейн-Вестфалія) перетворилася на найбільший гірничодобувний та сталеливарний регіон у Європі.

Після Другої Світової війни країни Європи для відновлення своєї економіки та інфраструктури потребували більшої кількості вугілля та сталі. Для спрощення торгівлі було створено митний союз безмитної торгівлі, який увійшов в історію у 1957 році під назвою «Римські договори» (англ. Treaties of Rome) і був прототипом Європейського Союзу (ЄС). Договори підписали країни-засновниці – Бельгія, Німеччина, Франція, Італія, Люксембург та Нідерланди, укладали між собою угоди та у такий спосіб засновували регіональні зони вільної торгівлі або митні спілки. Тобто пев-

ною мірою земля Північний Рейн-Вестфалія, завдяки своїй промисловій спрямованості, посприяла не лише розвитку Німеччини, а й зародженню основ майбутнього Європейського союзу.

У 1956 р., було досягнуто максимального рівня видобутку кам'яного вугілля Німеччини (ФРН) – 125 млн т/рік. Однак, наприкінці 1950-х років виникла енергетична криза після того, як на світовій арені з'явився інший енергетичний ресурс – нафта. Кам'яне вугілля у Німеччині видобували на глибині понад 1000 метрів. Необхідність видобування вугілля і породи та відкачування води з таких глибин призводили до нерентабельності гірничих підприємств.

У 1959 році невеликі шахти «Клостерштолен» (Klosterstollen) у Базінгхаузені та «Югман» (Jugmann) в Ессені були закриті. Потім коксохімічний завод «Фрідріх-Ернестіне» (Friedrich-Ernestine), вугільні шахти «Амалія» (Amalie) та «Хелене» (Helene) у Ессен-Альтенессен, «Фрідріх-Йоахім» (Friedrich-Joachim) у Ессен-Шонне Вікторія-Матіас» (Victoria Mathias) у центрі Ессена та «Розенблюменделле» (Rosenblumendelle) у Мільгеймі. У 1960 році першою було закрито шахту «Вільгеміна-Вікторія» (Wilhelmine Victoria) у Гельзенкірхені. На цих об'єктах працювало понад 13 тис. шахтарів. Тоді 23 гірничодобувних компаній, які ще існували, об'єдналися в одну компанію (рис. 1) [3].

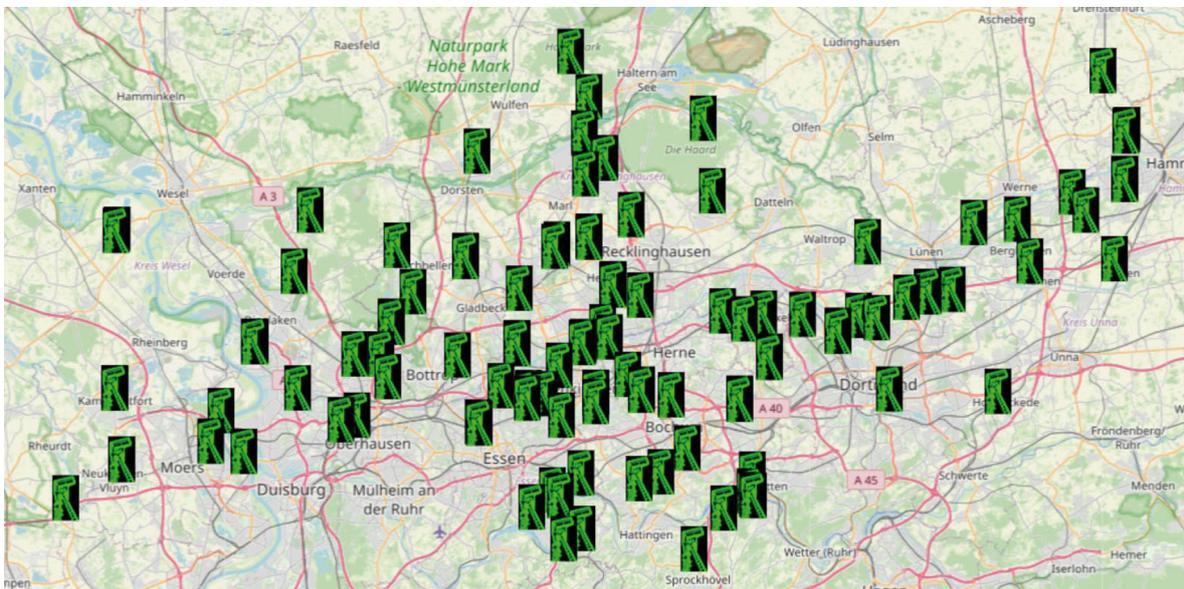


Рисунок 1 – Карто-схема шахтних стволів (116 шт.) у землях Північної Рейн-Вестфалії [3]



Рисунок 2 – Еволюція компанії RAG [4]

Для державної підтримки підприємств було прийнято низку документів, у тому числі, «Закон про реструктуризацію та оновлення кам'яновугільної промисловості Німеччини» (1968 р.), так званий «вугільний закон», який передбачав державне субсидування та сприяв виходу галузі із економічної кризи. У 1968 р. був ратифікований «Договір з підприємствами металургійної промисловості» («Huettenvertrag»), а у 1980 р. «Договір з електроенергетичними компаніями» («Jahrhundertvertrag mit der Elektrizitaetswirtschaft»). Цей договір передбачав запровадження вугільного пфенігу (Kohlerpfennig), який компенсував виробникам електроенергії різницю у цінах між імпортом та місцевим кам'яним вугіллям та сприяв енергетичній незалежності країни [2].

Відповідно до «вугільного закону» державою у 1969 р. була створена компанія, яка займалася видобутком вугілля в Рурі - Рурколе АГ (Ruhrkohle AG), що сконцентрувала 80% видобутку кам'яного вугілля в країні. Штаб-квартира цієї компанії розташована у м. Ессен (рис.2). За даними Федерального міністерства економіки, останніми роками суми грошових вливань становили близько одного мільярда євро на рік [3].

В грудні 2018 року закрилася остання кам'яновугільна шахта Німеччини «Проспер-Ханіель» у місті Ботроп [4].

На даний момент в Європейському Союзі є лише 2 виробники кам'яного вугілля: Польща з 55,0 млн т., у 2021 р., та 54,4 млн т., у 2020 р., Чехія з 2,2 млн т., у 2021 р. та 2,1 млн т., у 2020 р. та 9 виробників бурого вугілля: Болгарія з 28,3 млн т., у 2021 р. 22,3 млн т., у 2020 р., Чехія 29,3 млн т., у 2021 р., та 29,5 млн т., у 2020 р., Німеччина з 126,3 млн т., у 2021 р. та 5107,4 млн т., у 2020 р., Греція з 12,1 млн т., у 2021 р. та 13,9 млн т., у 2020 р., Угорщина з 5,0 млн т., у 2021 р., та 4,7 млн т., у 2020 р., Польща 52,4 млн т., у 2021 р., та 46,0 млн т., у 2020 р., Румунія з 17,7 млн т., у 2021 р., та 15,0 млн т., у 2020 р., Словаччина з 1,1 млн т., у 2021 р., та 1,0 млн т., у 2020 р., Словенія 2,6 млн т., у 2021 р. та 3,2 млн т., у 2020 р. [5].

Заснування та функції фонду RAG. Федеральний уряд Німеччини, вугільні землі Північної Рейн-Вестфалії та Саару, а також RAG Aktiengesellschaft підписали в лютому 2007 р. так

звані «Ключові угоди», взявши на себе зобов'язання до кінця 2018 року закрити останню кам'яновугільну шахту. Угода означала закінчення субсидованого видобутку кам'яного вугілля. За ініціативою групи RAG 26 червня 2007 року за погодженням з федеральним урядом, вугільними землями Північної Рейн-Вестфалії та Саару та IG BCE було засновано фонд RAG. 7 серпня 2007 року попередні акціонери RAG Aktiengesellschaft (E.ON, RWE, ThyssenKrupp AG і Société Nouvelle Sidéchar SARL) передали свої акції фонду RAG [6].

Станом на кінець 2013 року активи RAG-фонду становили 3,8 мільярда євро, а на кінець 2017 року вони зросли приблизно до 7,2 мільярда євро.

За своїм статутом RAG-фонд має такі завдання:

- фінансування безстрокових зобов'язань RAG Aktiengesellschaft: відкачування шахтних вод, польдерні заходи та очищення ґрунтових вод;

- сприяння освіти, науки та культури в колишніх шахтарських регіонах Рур, Саар та Іббенбюрен.

У разі ліквідації фонду одна третина активів фонду переходить до Федеративної Республіки Німеччини, землі Північний Рейн-Вестфалія та Саар.

Initiativkreis Ruhrgebiet як приклад державно-громадського партнерства. Асоціація **Initiativkreis Ruhrgebiet** була заснована в 1989 році першим єпископом Ессена, Францом Кардиналом Хенгсбахом, речником правління Deutsche Bank Альфредом Герргаузенем, профспілковим діячем і політиком Адольфом Шмідтом і головою VEBA Рудольфом фон Бенігсенем Фордер.

Initiativkreis Ruhr – це асоціація, в якій об'єдналися понад 70 комерційних компаній та установ. Асоціація сприяє економічному розвитку та структурним змінам у Рурській області та підтримує проекти у сфері бізнесу, освіти та культури.

Компанії, представлені в ініціативній групі, походять з таких секторів, як: енергетика, хімічна промисловість, послуги, торгівля, логістика та консалтинг, включаючи Evonik, E.ON, Borussia Dortmund і Deutsche Bahn. Ініціативна група компаній називає себе одним із «найсильніших регіональних економічних альянсів Німеччини» [4]. Діяльність якого контролюється дочірньою компанією Initiativkreis Ruhr GmbH.

Актуальні проекти Initiativkreis Ruhr такі:

- Urbane Zukunft Ruhr;
- Innovation City Ruhr;
- Gründer-Initiative;
- Talent Metropole Ruhr;
- Klavier-Festival Ruhr;
- Junger Initiativkreis Ruhr.

У Innovation City Ruhr розробляються інноваційні ідеї та рішення щодо того, як протистояти викликам кліматичних та структурних змін у містах. В пілотному проєкті «зразкового міста» Ботроп планується скоротити викиди CO₂ вдвічі протягом десяти років та підвищити якість життя населення.

Метою Gründer-Initiative Ruhr є перетворення Рурської області на привабливе місце для молодих підприємців Німеччині.

Рурський фортепіанний фестиваль (Klavier-Festival Ruhr) є найважливішою світовою зустріччю піаністів. Щороку він представляє митців з багатьох країн світу.

Промисловий туризм у Північній Рейн-Вестфалія. Regionalverband Ruhr займається розвитком промислового туризму в землях Північної Рейн-Вестфалії, ними був розроблений маршрут промислової культури, до якого належать 27 найважливіших об'єктів промислової спадщини, серед яких всесвітньо відомий музей «Цольферайн» (знаходиться під захистом ЮНЕСКО), а також 17 панорамних платформ, 13 колишніх вугільних поселень (рис.3), чисельні велосипедні та пішохідні маршрути.



Рисунок 3– Фестиваль Extra Schicht в парку шахти «Фрідріх-Хайнріх» в Камп-Лінфорті [5]

Висновки

В Німеччині реструктуризація вугільної промисловості відбувалась поступово. Наприкінці 1950-х років налічувалось 500 тис. співробітників гірничої промисловості та 300 тис. сталеливарній промисловості, нині 35 тис. співробітників видобувної промисловості і 60 тис. відповідно у сталеливарній промисловості [7,8].

Реструктуризація галузі відбувалась за підтримки держави та ініціатив державно-громадського партнерства. За цей час вдалося створити новий імідж колишніх мономіст: від старої промислової зони до головного офісу з виробничою компетенцією та інноваціями. Міська агломерація з 5-мільйонним населенням отримала нові горизонти: спеціалізація на основі екологічних технологій і нової мобільності, цифрових комунікацій і кібербезпеки, логістики та охорони здоров'я.

Нині земля Північний Рейн-Фестфалія – це один з культурних центрів Німеччини із потужними 130 музеями, 6 університетами, 15 коледжами та 60 дослідницькими центрами, 6 оперними театрами та багатьма об'єктами культурно-промислової спадщини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Dr. Lars Bluma, Dr. Michael Farrenkopf, Dr. Stefan Przigoda, Geschichte des Bergbaus. Verlag: Berlin, L&H-Verlag, 2018.
2. J. Klute, „Strukturwandel und Industriepolitik im Ruhrgebiet“, April 2015.
3. Електронний ресурс: <http://www.zechenkarte.de/>.
4. Електронний ресурс: www.rag.de.
5. Електронний ресурс: EURACOAL-Market-Report-2022-1_v03-rlw.pdf.
6. Електронний ресурс: RAG-Stiftung offiziell besiegelt. In: Spiegel Online. 11. Juli 2007.
7. Електронний ресурс: mwide.nrw.de.
8. Електронний ресурс: „Initiativkreis Ruhr“, <https://i-r.de/>.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Азаров Іван Сергійович (Київ) – аспірант. Кафедра екології. Національний авіаційний університет.

Бондар Олександр Іванович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НААНУ. Ректор Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління.

Бондар Юлія Вадимівна (Київ) – канд. геол.-мін. наук, старший науковий співробітник. Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України».

Василенко Сергій Леонідович (Харків) – доктор технічних наук, головний гідролог. Комунальне підприємство «Харківводоканал».

Громова Інна Юрївна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екологічного аудиту та експертизи. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Делікатна Наталія Михайлівна (Київ) – магістр. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Демчук Людмила Іванівна (Житомир) – кандидат педагогічних наук, доцент. Кафедра екології та природоохоронних технологій. Державний університет «Житомирська політехніка».

Донцова Тетяна Анатоліївна (Київ) – доктор технічних наук, професор. Завідувач кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології. Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Дятел Олександр Олексійович (Київ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екологічного аудиту та експертизи. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Іващенко Тарас Григорович (Київ) – доктор технічних наук, професор. Завідувач кафедри еко-

логічного аудиту та експертизи. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Кірейцева Ганна Вікторівна (Житомир) – кандидат економічних наук, доцент. Кафедра екології та природоохоронних технологій. Державний університет «Житомирська політехніка».

Клименко Алла Олександрівна (Пирятин) – вчитель біології, спеціаліст вищої категорії, вчитель-методист Пирятинського ліцею №4 Пирятинської міської ради Полтавської області.

Коротецький Василь Павлович (Київ) – аспірант. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Лубенська Наталія Олександрівна (м. Бохум, Німеччина) – Центр пост-майнінгу. Вища технічна школа Георга Аґріколи (нім. Technische Hochschule Georg Agricola).

Матвієнко Марія Григорівна (Київ) – кандидат біологічних наук, заступник директора Центру Європейської та Євроатлантичної інтеграції. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Машков Олег Альбертович (Київ) – доктор технічних наук, професор. Кафедра екологічної безпеки. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Мухіна Катерина Євгенівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент. Кафедра інформатики. Національний університет харчових технологій.

Нонік Людмила Юрївна (Житомир) – аспірант. Кафедра екології та природоохоронних технологій. Державний університет «Житомирська політехніка».

Оводенко Тамара Сергіївна (Київ) – аспірант. Кафедри екологічного аудиту та експертизи. Державна екологічна академія післядипломної освіти і управління.

Ольховик Юрій Олександрович (Київ) – доктор технічних наук, професор кафедри екології. Національний авіаційний університет.

Палій Ольга Вікторівна (Житомир) – аспірант. Кафедра екології та природоохоронних технологій. Державний університет «Житомирська політехніка».

Пацева Ірина Григорівна (Житомир) – доктор технічних наук, професор. Завідувачка кафедри екології та природоохоронних технологій. Державний університет «Житомирська політехніка».

Печений Володимир Леонідович (Київ) – аспірант. Завідувач лабораторії прикладної екології. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Пічкур Тетяна Валеріївна (Київ) – кандидат історичних наук. Кафедра екології та безпеки життєдіяльності. Державний університет інфраструктури та технологій.

Покшевницька Тетяна Василівна (Київ) – аспірант. Національний транспортний університет.

Похил Юлія Георгіївна (Київ) – аспірант. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Проскурнін Олег Аскольдович (Харків) – доктор технічних наук, старший науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем».

Риженко Наталія Олександрівна (Київ) – доктор біологічних наук, професор. Завідувачка ка-

федри екології та екологічного контролю. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Седміров Євгеній Андрійович (Пирятин) – учень 9 класу, ліцею №4 Пирятинської міської ради Полтавської області, студент гуртка «Загальна біологія», Київського Палацу дітей та юнацтва.

Смоляр Віра Василівна (Київ) – директор ТОВ «Науково-дослідний центр екологічної безпеки та природокористування».

Степова Олена Валеріївна (Полтава) – доктор технічних наук, професор. Завідувачка кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка».

Степовий Євген Борисович (Полтава) – аспірант. Кафедра прикладної екології та природокористування. Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка».

Улицький Олег Андрійович (Київ) – доктор геологічних наук, професор. Директор Навчально-наукового інституту екобезпеки та управління. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Цапко Наталія Сергіївна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент. Завідувачка лабораторії. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем».

Циганенко-Дзюбенко Ілля Юрійович (Житомир) – аспірант, асистент кафедри екології та природоохоронних технологій. Державний університет «Житомирська політехніка».

ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ СТАТТІ

наукового журналу «Екологічна безпека та технології захисту довкілля»

Обсяг статті не менше 10-15-ти повних сторінок.

Структура статті має відповідати вимогам до наукових статей й складатися з таких частин:

- **УДК**;
- назва статті;
- прізвище автора (авторів), науковий ступінь, назва кафедри, посада, назва установи (організації) та міста;
- контакти автора (телефон, електронна адреса);
- анотація **1800** знаків без пробілів;
- ключові слова;
- загальна суть проблеми;
- аналіз останніх досліджень та публікацій;
- формулювання мети статті;
- виклад основного матеріалу;
- висновки;
- список використаної літератури

Статті публікуються українською, англійською, польською або російською мовами.

Автор зазначає рубрику, в якій публікується стаття, індекс за універсальною десятиковою класифікацією. В кінці статті наводить повну назву організації, де виконане дослідження, свою поштову і електронну адресу та номер телефону.

Фізичні величини наводяться в одиницях СІ.

Повна назва статті, анотація, ключові слова, а також написання прізвищ додаються українською, англійською, польською або російською мовами.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

Текстовий редактор – Word for Windows.

Розмір сторінки: А5, 148x210.

Поля: верхнє, ліве, праве – 1,5 см, нижнє – 1,7 см.

Розмір шрифту «Times New Roman».

- Для УДК – 10 кегель, великі літери, жирний шрифт.
- Для заголовку статті 10 кегель, великі літери, жирний шрифт.
- Для прізвища авторів – 10 кегель, жирний шрифт.
- Для назви організації і міста – 10 кегель, нормальний шрифт.
- Для анотації, ключових слів (3-4 рядки через 1 інтервал) 10 кегель, жирний шрифт.
- Для заголовків розділів в тексті – 10 кегель, жирний шрифт.
- Для основного тексту – 10 кегель, нормальний шрифт.
- Для переліку використаних джерел (через 1 інтервал, слово Література) – 9 кегель, нормальний шрифт.

Текст друкується через 1 інтервал і вирівнюється на ширину листа.

Абзацний відступ від основного тексту – 0,5 см.

УДК, прізвище (-а) автора (-ів), назва статті, рядки тексту анотації, номери джерел вирівнюються по лівому краю сторінки.

Формули необхідно друкувати по центру, нумерація формул в кінці рядка.

Розмір формул такий: основний . – 12; крупний індекс –7; дрібний індекс – 5; крупний символ – 18; дрібний символ – 12.

Якщо рисунок один чи таблиця одна на статтю, то підпис здійснюється «Рисунок. Назва» чи відповідно «Таблиця», а продовження «продовження таблиці». Якщо декілька, то «Рис.1. Назва» чи відповідно «Таблиця 1», а продовження «продовження табл. 1».

Між рядком з вказаним індексом УДК і рядком з прізвищем автора (-ів), рядком з прізвищем автора (-ів) та назвою, назвою та анотацією, анотацією та текстом, текстом та переліком джерел – віддаль повинна бути в 2 інтервали.

Переноси в назві статті не допускаються.

Нумерований перелік літератури подати в кінці статті одним абзацем, через крапку і оформлюється згідно ДСТУ 7,1:2006 (див. Бюлетень ВАК України №3, 2008). Нумерація джерел йде підряд і номер джерела виділяється жирним шрифтом. В переліку повинна вказуватись сучасна англійська література з ретроспективою не більше 5 років.

До статті подається рецензія від фахівця з науковим ступенем доктора наук і витяг з протоколу засідання кафедри про рекомендацію статті до друку.

Довідково (інтернет ресурси):

<https://vak.in.ua/>

https://www.narodnaosvita.kiev.ua/?page_id=105

<http://www.ukrbook.net/biblzak.html>

http://www.library.ukma.edu.ua/fileadmin/documents/Bibliography/26_DCTU3582-97.pdf

[«Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України» від 15 січня 2003 № 7-05/1.](#)

Онлайн-конвертер з української мови для транслітерації: <http://translit.kh.ua/?passport>
ДСТУ 8302:2015.

<https://www.grafiati.com/uk/blogs/dstu-8302-2015-referencing-generator/>

Екологічна безпека та технології захисту довкілля

Вул. Вознесенський узвіз 10а,
прим. 602. М. Київ, 04055

Тел: +380980625787
(контактна особа-Печений Володимир)

Corporation_office@ukr.net
<https://ecocorptzd.com.ua>
<https://facebook.com/SIAS.Techecosafety/>