УДК504.5:628.3
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.6-69.46

АНАЛІЗ ВПЛИВУ НАКОПИЧУВАЧІВ РІДКИХ ВІДХОДІВ НА КОМПОНЕНТИ ДОВКІЛЛЯ

Бутко В.С. (orcid.org/0009-0006-8790-0387),
Трембіцький Д.С. (orcid.org/0009-0000-2023-9885)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків
Vladyslav.Butko@khpi.edu.ua, Dmytro.Trembitskyi@mit.khpi.edu.ua

У статті було проведено аналіз впливу накопичувачів рідких відходів на основні компоненти довкілля, такі як ґрунти, поверхневі й підземні води, атмосферне повітря та екосистеми. Актуальність дослідження зумовлена тривалим накопиченням значних обсягів промислових відходів, а також ризиками порушення герметичності накопичувальних споруд і поширення забруднювальних речовин. Метою роботи є систематизація основних напрямів негативного впливу накопичувачів рідких відходів, визначення шляхів міграції забруднювачів та обґрунтування заходів щодо мінімізації екологічних ризиків. Методологічною основою дослідження є аналіз, узагальнення та систематизація результатів сучасних наукових публікацій відносно екологічних наслідків зберігання рідких відходів, забруднення фільтратом і технологій їх переробки. Встановлено, що основними механізмами поширення забруднювальних речовин є витоки рідкої фази, інфільтрація через основу накопичувачів, випаровування летких сполук, утворення газів та вітрове перенесення пилу. Визначено, що такі процеси можуть спричиняти зміну фізико-хімічних властивостей ґрунтів, погіршення якості поверхневих і підземних вод, забруднення атмосферного повітря та порушення функціонування природних екосистем. Систематизовано основні напрями впливу накопичувачів на компоненти довкілля, можливі екологічні наслідки та відповідні заходи мінімізації. Обґрунтовано доцільність комплексного екологічного моніторингу, контролю технічного стану й герметичності накопичувачів, очищення та зневоднення відходів. Перспективним напрямом є впровадження ресурсоефективних технологій, які будуть спрямовані на відновлення води, вилучення корисних компонентів і переробку органічної фракції на паливні пелети. Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості їх використання для оцінювання екологічних ризиків та розробки природоохоронних заходів.
Ключові слова: накопичувачі рідких відходів, шламонакопичувачі, ґрунти, компоненти довкілля, поверхневі води, підземні води, атмосферне повітря, екологічний моніторинг.

Analysis of the impact of liquid waste storage tanks on environmental components. Butko V., Trembitskyi D.
This article analyzes the impact of liquid waste storage facilities on key environmental components, such as soil, surface and groundwater, atmospheric air, and ecosystems. The relevance of this study stems from the long-term accumulation of significant volumes of industrial waste, as well as the risks of leaks from storage facilities and the spread of pollutants. The aim of this study is to systematize the main areas of negative impact caused by liquid waste storage facilities, identify the migration pathways of pollutants, and justify measures to minimize environmental risks. The methodological basis of the study is the analysis, generalization, and systematization of the results of contemporary scientific publications regarding the environmental consequences of liquid waste storage, leachate contamination, and waste treatment technologies. It has been established that the main mechanisms for the spread of pollutants are liquid-phase leaks, infiltration through the base of the storage facilities, evaporation of volatile compounds, gas formation, and wind-borne dust. It has been determined that such processes can cause changes in the physicochemical properties of soils, deterioration of surface and groundwater quality, atmospheric air pollution, and disruption of natural ecosystems. The main ways in which storage facilities affect environmental components, possible environmental consequences, and corresponding mitigation measures have been systematized. The feasibility of comprehensive environmental monitoring, control of the technical condition and leak-tightness of storage facilities, as well as waste treatment and dewatering, has been substantiated. A promising direction is the implementation of resource-efficient technologies aimed at water recovery, the extraction of useful components, and the processing of the organic fraction into fuel pellets. The practical significance of the obtained results lies in their potential use for assessing environmental risks and developing environmental protection measures. *Key words:* liquid waste storage facilities, sludge storage facilities, soils, environmental components, surface water, groundwater, atmospheric air, environmental monitoring.

Постановка проблеми. Накопичення рідких промислових відходів у шламонакопичувачах і мулонакопичувачах є актуальною екологічною проблемою, оскільки тривале зберігання значних обсягів шламів та осадів створює ризики забруднення основних компонентів довкілля. Як зазначають автори [1], відкриті накопичувачі можуть бути джерелами надходження забруднювальних речовин у ґрунти, поверхневі й підземні води, а також викидів газоподібних сполук і пилу в атмосферне повітря. Це може призводити до погіршення якості природних ресурсів, порушення стану екосистем і виникнення довготривалих екологічних ризиків на прилеглих територіях.

Попри наявність технологій переробки накопичених відходів у вторинні ресурси, актуальним залишається питання комплексного оцінювання їх

© Бутко В.С., Трембіцький Д.С., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

впливу на довкілля. Необхідно враховувати склад відходів, шляхи міграції забруднювальних речовин і взаємозв'язки між компонентами природного середовища. Отже, проблема полягає у визначенні основних напрямів негативного впливу накопичувачів рідких відходів на ґрунти, води, атмосферне повітря та екосистеми для обґрунтування заходів екологічного моніторингу, зменшення техногенного навантаження й відновлення забруднених територій.

Актуальність дослідження. Актуальність теми зумовлена накопиченням значних обсягів рідких промислових відходів та ризиками їх негативного впливу на компоненти навколишнього середовища. Неналежне утримання шламонакопичувачів може спричиняти аварійні ситуації, поширення забруднювальних речовин і довготривалі екологічні наслідки [2]. Особливу небезпеку становить забруднення ґрунтів і вод важкими металами, що створює ризики для екосистем і здоров'я населення [3]. Водночас перспективним напрямом зменшення екологічного навантаження є зневоднення накопичених відходів із подальшим відновленням води та її повторним використанням [4]. У зв'язку з цим актуальним є комплексний аналіз впливу накопичувачів рідких відходів на ґрунти, поверхневі й підземні води, атмосферне повітря та екосистеми для визначення основних екологічних ризиків і обґрунтування заходів щодо їх мінімізації.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дане дослідження спрямоване на систематизацію відомостей про вплив накопичувачів рідких відходів на основні компоненти довкілля, визначенні потенційних шляхів поширення забруднювальних речовин і характеристиці пов'язаних із цим екологічних ризиків. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення систем екологічного моніторингу, обґрунтування природоохоронних заходів, визначення пріоритетів відновлення забруднених територій і впровадження ресурсоефективних технологій поводження з промисловими відходами. Практичне значення роботи полягає у можливості застосування її положень під час оцінювання екологічного стану територій, прилеглих до накопичувачів, та розроблення заходів зі зниження техногенного навантаження на довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікаціях останніх років значну увагу приділено екологічним наслідкам накопичення фільтрату та рідких відходів, зокрема їхньому впливу на ґрунти, поверхневі й підземні води. У працях [5–7] розглянуто небезпеку забруднювальних компонентів фільтрату, їхню токсичність і підходи до управління небезпечними відходами. У роботах [8–10] основну увагу зосереджено на міграції важких металів, забрудненні ґрунтів і підземних вод та оцінюванні пов'язаних із цим екологічних ризиків. Окремий напрям становлять питання екотоксикологічного впливу полігонів відходів і поширення нових забруднювачів [11, 12].

Водночас актуальними залишаються вдосконалення технологій очищення фільтрату та управління рідкими відходами [13, 14], оцінювання ефективності очищення стічних вод у ставках-накопичувачах [15] і можливостей повторного використання очищеної води [16]. Попри значну увагу до забруднення водного й ґрунтового середовища та технологій поводження з рідкими відходами, актуальним є комплексний розгляд впливу накопичувачів на ґрунти, води, атмосферне повітря та екосистеми. Це зумовлює необхідність систематизації основних шляхів поширення забруднювальних речовин і визначення пріоритетних заходів зі зниження екологічних ризиків.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри значну кількість публікацій щодо забруднення довкілля фільтратом і рідкими відходами, недостатньо систематизованими залишаються питання комплексного впливу накопичувачів на ґрунти, поверхневі й підземні води, атмосферне повітря та екосистеми. Потребують подальшого опрацювання взаємозв'язки між шляхами міграції забруднювальних речовин, масштабами їх поширення та рівнем екологічного ризику. Саме цим питанням присвячено дане дослідження з метою визначення основних напрямів негативного впливу накопичувачів рідких відходів і обґрунтування заходів його мінімізації.

Новизна. Наукова новизна статті полягає в тому, що в ній:

1. Систематизовано основні напрями впливу накопичувачів рідких відходів на ґрунти, води, атмосферне повітря та екосистеми;
2. Визначено ключові шляхи поширення забруднювальних речовин між компонентами довкілля;
3. Обґрунтовано необхідність комплексного оцінювання екологічних ризиків для визначення пріоритетних заходів зі зниження техногенного навантаження та мінімізації негативних наслідків функціонування накопичувачів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення полягає у систематизації підходів до комплексного оцінювання впливу накопичувачів рідких відходів на основні компоненти довкілля з урахуванням шляхів міграції забруднювальних речовин. Отримані положення можуть бути використані для подальшого розвитку методів екологічного моніторингу, оцінювання техногенного навантаження та обґрунтування природоохоронних заходів.

Виклад основного матеріалу. Накопичувачі рідких промислових відходів є потенційними джерелами тривалого техногенного впливу на довкілля. Рівень екологічної небезпеки залежить від хімічного складу відходів, умов зберігання, технічного стану споруд і здатності забруднювальних речовин мігрувати в природному середовищі. В роботі [1] розглянуто можливості переробки рідких відходів шламонакопичувачів і мулонакопичувачів у вторинні ресурси. Водночас важливим залишається оціню-

вання екологічних ризиків, пов'язаних із тривалим зберіганням таких відходів і порушенням цілісності накопичувачів.

Основними шляхами негативного впливу на ґрунти й водні ресурси є витоки рідкої фази та інфільтрація забруднювальних речовин (рис. 1). Це може спричиняти зміну хімічних властивостей ґрунтів, забруднення підземних вод і погіршення якості поверхневих водойм. В дослідженні [3] розглядають екологічні ризики, пов'язані з поширенням важких металів, зокрема кадмію, свинцю та ртуті, а також їх потенційним впливом на здоров'я населення. Подібні механізми міграції забруднювачів у ґрунти й підземні води розглянуто в роботі [8]. Хоча характеристики промислових накопичувачів і полігонів відходів відрізняються, наведені результати підтверджують необхідність систематичного контролю стану ґрунтів і вод у зонах їх впливу.

Узагальнену схему впливу накопичувачів рідких відходів на основні компоненти довкілля, основні шляхи поширення забруднювальних речовин, пов'язані з ними екологічні наслідки представлено на рис. 2.

Накопичувачі рідких відходів можуть впливати на ґрунти, поверхневі й підземні води, атмосферне пові-

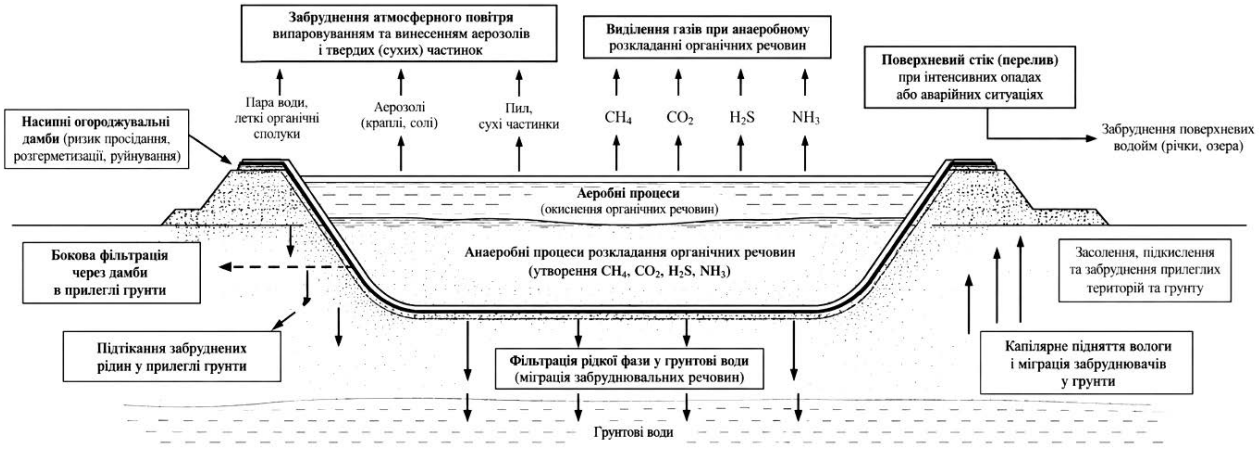

Рис. 1. Шляхи впливу накопичувачей рідких відходів на довкілля

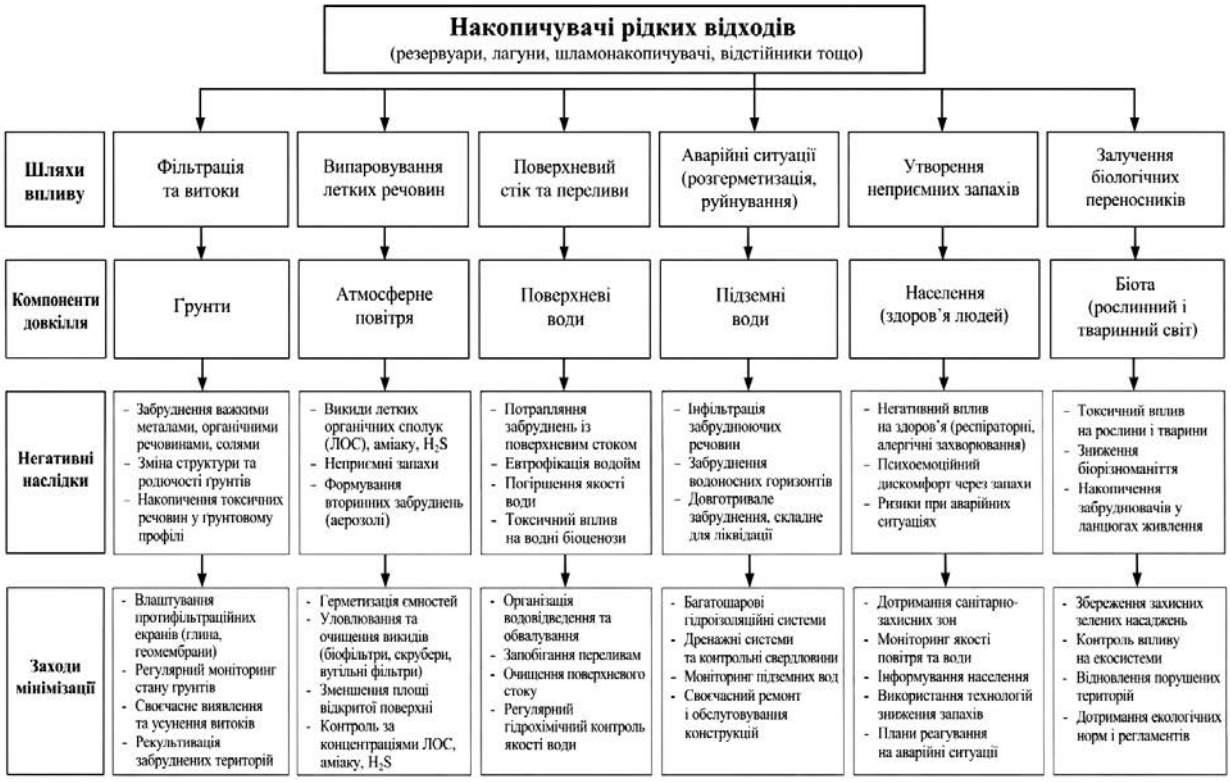

Рис. 2. Аналіз впливу накопичувачів рідких відходів на компоненти довкілля та заходи мінімізації негативних наслідків

тря та екосистеми через витоки, інфільтрацію, випаровування й поширення пилу. Наслідками такого впливу є забруднення природних компонентів і виникнення екологічних ризиків для біоти та населення.

Вплив накопичувачів на атмосферне повітря може бути пов'язаний із випаровуванням летких сполук, утворенням газів і вітровим перенесенням пилу з висушеної поверхні відходів. Надходження токсичних речовин до природних середовищ створює передумови для порушення стану рослинності, водних організмів і наземних екосистем. Взаємопов'язане поширення забруднювачів між ґрунтами, водою та повітрям зумовлює необхідність комплексного оцінювання екологічних наслідків, а не лише визначення концентрацій окремих речовин.

Для систематизації основних напрямів негативного впливу накопичувачів рідких відходів на компоненти довкілля, визначення можливих екологічних наслідків і відповідних заходів мінімізації узагальнено інформацію, наведену в наукових джерелах. Результати систематизації представлено в табл. 1.

Таким чином, найбільші екологічні ризики пов'язані з можливістю одночасного забруднення кількох компонентів довкілля внаслідок витоків, інфільтрації та аварійного поширення відходів. Пріоритетними заходами є забезпечення технічної надійності накопичувачів, систематичний моніторинг прилеглих територій і впровадження технологій переробки, що дають змогу зменшити обсяги відходів та повторно використовувати воду й корисні компоненти.

Зменшення техногенного навантаження передбачає контроль герметичності накопичувачів, моніторинг ґрунтів, вод і атмосферного повітря, а також упровадження технологій переробки відходів. У роботі [4] розглянуто можливості зневоднення мінеральних хвостів для відновлення води та скорочення обсягів матеріалу, що потребує зберігання. Вилучення води й корисних компонентів із накопичених відходів також відповідає підходам до ресурсоефективного поводження з ними, представленим у роботі [1]. Вибір технологій має враховувати склад відходів, ефективність очищення та безпечність повторного використання отриманих ресурсів.

Перспективним напрямом рециклінгу органічної складової накопичувачів рідких відходів є виробництво паливних пелет або термохімічна переробка. Практичну доцільність першого напряму підтверджують дослідження післяспиртової барди зі старих накопичувачів [17, 18]. Описана технологія передбачає вилучення барди, механічне зневоднення її в центрифугах, сушіння та пелетування (гранулювання). Отримані зразки характеризувалися високою теплотою згоряння, що підтверджує можливість використання накопичених органічних відходів як вторинного твердого палива або основою для виготовлення пелет із суміші відходів (з додаванням лузги, тирси та інших горючих органічних відходів). Не менш перспективним напрямом є піроліз підготовленої органічної фракції – термічне розкладання за відсутності або обмеженого доступу кисню з утворенням газоподібних, рідких і твердих горючих продуктів. Проте застосування цього методу до осадів зі старих накопичувачів потребує окремого експериментального обґрунтування та розробки відповідної технології, яка має ґрунтуватися на властивостях сировини, виході продуктів та екологічній безпечності як самого процесу, так і продуктів згорання, можливості накопичення потенційно небезпечних компонентів у золі та твердих залишках.

Головні висновки. Проведений аналіз свідчить, що накопичувачі рідких відходів негативно впливають на ґрунти, водні ресурси, атмосферне повітря та екосистеми внаслідок міграції забруднюючих речовин і аварійних ситуацій. Мінімізація

Таблиця 1

Основні напрями впливу накопичувачів рідких відходів на компоненти довкілля

Компонент довкілля	Основні чинники та шляхи впливу	Можливі екологічні наслідки	Заходи мінімізації впливу	Джерела
Ґрунти	Просочування рідкої фази, осідання забрудненого пилу	Накопичення важких металів, зміна властивостей ґрунту	Контроль герметичності накопичувачів, моніторинг і відновлення забруднених ґрунтів	[3, 7, 13]
Поверхневі води	Витоки, аварійні скиди, потрапляння відходів у водойми	Погіршення якості води, токсичний вплив на водні організми	Контроль технічного стану споруд, запобігання витокам, очищення забруднених вод	[2, 3, 5]
Підземні води	Інфільтрація забруднювальних речовин крізь основу накопичувача	Забруднення водоносних горизонтів, ризики для водопостачання	Гідроізоляція, контроль фільтраційних витоків, моніторинг підземних вод	[7–9]
Атмосферне повітря	Випаровування летких сполук, утворення газів, вітрове перенесення пилу	Погіршення якості повітря, поширення забруднювачів за межі об'єкта	Контроль газових викидів, пилопригнічення, належне утримання поверхні накопичувача	[2, 5, 13]
Екосистеми	Надходження забруднювачів у ґрунти й води, аварійне поширення відходів	Токсичний вплив на організми, порушення екологічних зв'язків і стану оселищ	Комплексний екологічний моніторинг, оцінювання ризиків, відновлення порушених територій	[2, 3, 11]
Водні та матеріальні ресурси	Тривале накопичення відходів без вилучення корисних компонентів	Збільшення обсягів відходів і потреби в площах для їх зберігання	Зневоднення, очищення води, вилучення корисних компонентів і повторне використання ресурсів	[1, 4, 6]

 ISSN: 2306-9716 (Print), ISSN: 2664-6110 (Online)

цих ризиків потребує поєднання екологічного моніторингу, оцінювання стану природних компонентів і впровадження технологій очищення, зневоднення та повторного використання ресурсів. В процесі теоретичного дослідження встановлено, що накопичувачі рідких органічних відходів є потенційними джерелами вторинних енергетичних ресурсів. Їх переробка дає змогу поєднати зменшення обсягів накопичених відходів із виробництвом енергетично цінних продуктів.

Реалізація ресурсоефективних технологій переробки органічних відходів шломонакопичувачей у енергетичні ресурси сприятиме зменшенню техногенного навантаження, пов'язаного з тривалим накопиченням рідких відходів та їх розкладанню, на компоненти навколишнього середовища.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати можуть бути використані для розробки технологічних схем вилучення органічної фракції накопичувачів рідких відходів та її подальшої переробки на паливні пелети. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію процесів вилучення та етапів підготовки до рециклінгу відходів в енергоцінну сировину. Важливим напрямом подальших досліджень є оцінка екологічних ризиків і безпечне поводження з накопиченими відходами та продуктами їх переробки.

Використання штучного інтелекту. Під час підготовки статті використовувався інструмент штучного інтелекту ChatGPT–5,5 (OpenAI) виключно для допоміжних завдань, зокрема мовного редагування тексту, удосконалення формулювань та покращення візуальної якості та редагування зображення. Використання інструменту не замінювало наукової роботи авторів, а отримані результати перевірялися авторами на відповідність змісту дослідження.

Література

1. Шкоп А. О., Шестопалов О. В., Бутко В. С., Босюк А. С., Авдєєва О. П., Пономарьова Н. Г. Аналіз методів переробки рідких відходів шламо- та мулонакопичувачей у вторинні ресурси: промисловий досвід. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* 2026. № 1 (27). С. 120–126. DOI: https://doi.org/10.20998/2413-4295.2026.01.16
2. Hudson-Edwards K. A., Kemp D., Torres-Cruz L. A. et al. Tailings storage facilities, failures and disaster risk. *Nature Reviews Earth & Environment.* 2024. Vol. 5. P. 612–630. DOI: https://doi.org/10.1038/s43017-024-00576-4
3. Su C., Rana N. M., Zhang S., Wang B. Environmental pollution and human health risk due to tailings storage facilities in China. *Science of the Total Environment.* 2024. Vol. 928. Article 172437. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172437
4. Hamraoui L., Bergani A., Ettoumi M., Aboulaich A., Taha Y., Khalil A., Neculita C. M., Benzaazoua M. Towards a Circular Economy in the Mining Industry: Possible Solutions for Water Recovery through Advanced Mineral Tailings Dewatering. *Minerals.* 2024. Vol. 14, No. 3. Article 319. DOI: https://doi.org/10.3390/min14030319
5. Gunarathne V., Phillips A. J., Zanoletti A., Rajapaksha A. U., Vithanage M., Di Maria F., Pivato A., Korzeniewska E., Bontempi E. Environmental pitfalls and associated human health risks and ecological impacts from landfill leachate contaminants: Current evidence, recommended interventions and future directions. *Science of the Total Environment.* 2024. Vol. 912. Article 169026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169026
6. Dagwar P. P., Dutta, D. Landfill leachate a potential challenge towards sustainable environmental management. *Science of the Total Environment.* 2024. Vol. 926. Article 171668. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171668
7. El-Saadony M. T., Saad A. M., El-Wafai N. A., Abou-Aly H. E., Salem H. M., Soliman S. M., Abd El-Mageed T. A., Elrys A. S., Selim S., Abd El-Hack M. E., Kappachery S., El-Tarabily K. A., AbuQamar S. F. Hazardous wastes and management strategies of landfill leachates: A comprehensive review. *Environmental Technology & Innovation*. 2023. Vol. 31. Article 103150. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103150
8. Drall J. K., Rautela R., Jambhulkar R., Kataria A. K., Kumar S. Effect of heavy metals contamination due to leachate migration from uncontrolled dumpsites: A comprehensive analysis on soil and groundwater. *Journal of Environmental Management.* 2025. Vol. 373. Article 123473. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123473
9. Huang Z., Liu G., Zhang Y., Yuan Y., Xi B., Tan W. Assessing the impacts and contamination potentials of landfill leachate on adjacent groundwater systems. *Science of the Total Environment.* 2024. Vol. 930. Article 172664. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172664
10. Lu Y., Xie Q., Cao C., Huang J., Wang J., Ren B., Liu Y. Determination of leachate leakage around a valley type landfill and its pollution and risk on groundwater. *Scientific Reports.* 2025. Vol. 15. Article 9465. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-025-94518-9
11. Gautam K., Pandey N., Yadav D., Parthasarathi R., Turner A., Anbumani S., Jha A. N. Ecotoxicological impacts of landfill sites: Towards risk assessment, mitigation policies and the role of artificial intelligence. *Science of the Total Environment.* 2024. Vol. 927. Article 171804. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171804
12. Das R., Raj D. Sources, distribution, and impacts of emerging contaminants – a critical review on contamination of landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials Advances.* 2025. Vol. 17. Article 100602. DOI: https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100602
13. Igwegbe C. A., López-Maldonado E. A., Landázuri A. C., Ovuoraye P. E., Ogbu A. I., Vela-García N., Białowiec A. Sustainable municipal landfill leachate management: Current practices, challenges, and future directions. *Desalination and Water Treatment.* 2024. Vol. 320. Article 100709. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100709
14. Abdelhamid C., Latrach A., Rabiei M., Venugopal K. Produced Water Treatment Technologies: A Review. *Energies.* 2025. Vol. 18, No. 1. Article 63. DOI: https://doi.org/10.3390/en18010063
15. Calabrò P. S., Pangallo D., Zema D. A. Wastewater treatment in lagoons: A systematic review and a meta-analysis. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 359. Article 120974. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120974
16. Thompson M., Dvorak B. Wastewater reuse benefits for municipal complete retention lagoons: Life cycle assessment and dynamic modeling. *Water Environment Research.* 2024. Vol. 96. No. 8. DOI: https://doi.org/10.1002/wer.11098
17. Шкоп А. О., Пономарьова Н. Г., Шестопалов О. В. та ін. Розробка технології переробки післяспиртової барди зовнішніх бардонакопичувачів у паливні пелети. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2025. № 3. С. 142 – 159. DOI: https://doi.org/10.20998/2078-5364.2025.3.13
18. Shkop A., Shestopalov O., Ponomarova N., et al. Method Design for Distillers Solubles Recycling and Reusing into Fuel Pellets. *Petroleum and Coal.* 2025. Vol. 67, No. 2. P. 508–522.

Дата першого надходження статті до видання: 15.10.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.11.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 23.11.2026