

## БІОЛОГІЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ТЕРИКОНІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

### BIOLOGICAL CONTAMINATION OF WASTEWATER FROM COAL MINES

**Павло Босак**, доцент кафедри цивільного захисту, e-mail: bosakp@meta.ua, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: 0000-0002-0303-544X

**Андрій Остап'юк**, перший проректор університету, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.

**Наталія Лазаренко**, сектор науково-проектного менеджменту науково-дослідного центру, e-mail: lazarenkonata85@gmail.com. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: 0009-0004-6782-9021

<https://doi.org/10.32447/bcet.2025.15>

#### Анотація

У дослідженні розглядаються підтериконові стічні води та порода териконів, що формуються внаслідок фільтрації через терикони вугільних шахт у межах Нововолинського гірничопромислового району. Предметом дослідження виступали мікробіологічні показники цих вод та породи, зокрема кількість колонієутворюючих одиниць (КУО) та видовий склад мікрофлори. Мікробіологічні показники, насамперед колонієутворюючі одиниці, є важливими індикаторами санітарного стану водного середовища. Вони дозволяють оцінити ступінь бактеріального забруднення, визначити потенційну загрозу для екосистем та населення, а також спрогнозувати процеси біодеструкції й самоочищення.

**Ключові слова:** терикон, вугільні шахти, підтериконові стічні води, гірничопромислові райони, мікрофлора, мікробіологічні показники, колонієутворюючі одиниці, екологічна безпека, довкілля.

#### Abstract

The study examines sub-terrain wastewater and rock from spoil tips formed as a result of filtration through coal mine spoil tips within the Novovolynsk mining and industrial area. The subject of the study was the microbiological indicators of these waters and rocks, in particular the number of colony-forming units and the species composition of the microflora. Microbiological indicators, primarily colony-forming units, are important indicators of the sanitary condition of the aquatic environment. They allow assessing the degree of bacterial contamination, determining the potential threat to ecosystems and the population, and predicting the processes of biodegradation and self-purification.

**Keywords:** heap, coal mines, sub-heap wastewater, mining areas, microflora, microbiological indicators, colony-forming units, environmental safety, environment.

## 1. ВСТУП

Збереження довкілля є одним з пріоритетних напрямів сучасної науки, особливо в контексті індустріального розвитку. Гірничопромислові комплекси, зокрема вугільні шахти, є джерелом значного техногенного навантаження на природне середовище. Однією з найменш контрольованих і водночас критично важливих проблем залишається якість стічних вод, які надходять у навколишні водойми з територій териконів. Особливу увагу привертає мікробіологічний склад таких вод, зокрема рівень мікрофлори, представлений КУО. Ці показники є не лише індикаторами санітарно-

епідеміологічного стану водного середовища, а й дозволяють оцінити біохімічну активність, здатність до самоочищення та наявність патогенної мікрофлори.

Питання мікробіологічного стану стічних вод промислового походження привертає все більшу увагу як вітчизняних, так і зарубіжних науковців. У дослідженнях<sup>505</sup> зазначено, що мікрофлора є чутливим індикатором антропогенного впливу на водне середовище. Встановлено, що колонієутворюючі одиниці (КУО) вказують на ступінь бактеріального навантаження і можуть відображати як наявність природних мікроорганізмів, так і забруднення патогенною флорою.

Дослідження впливу гірничопромислових об'єктів, зокрема вугільних шахт, на мікробіологічні характеристики навколишнього середовища проведено у працях<sup>506,507</sup>, де наголошується на ролі териконів як джерел довготривалого мікробного і хімічного навантаження. Виявлено також, що в умовах високої концентрації металів та інших хімічних сполук у таких водах зростає резистентність мікроорганізмів, включно з потенційно патогенними формами.

Окремий напрям становлять роботи з аналізу біоекологічного моніторингу та систем очищення стічних вод із використанням біоіндикаторів<sup>508</sup>. Зокрема, відзначається ефективність використання мікробіологічного аналізу як інструменту для контролю якості води і попередження екологічних ризиків.

Попри численні наукові публікації, специфіка мікробіологічного забруднення саме у водах, пов'язаних із териконами вугільних шахт, залишається недостатньо вивченою. Існує потреба в комплексному підході, що поєднує мікробіологічні, хімічні та екологічні методи дослідження, що й зумовило актуальність даної монографії.

Дана робота присвячена вивченню мікробіологічних показників стічних вод та териконів гірничопромислових об'єктів на прикладі вугільних шахт. Метою дослідження є оцінка якісного та кількісного складу мікроорганізмів, що дає змогу визначити екологічні ризики, пов'язані з функціонуванням гірничої промисловості, та розробити рекомендації щодо біоекологічного моніторингу та очищення таких вод. В умовах зростаючого техногенного навантаження на довкілля особливої актуальності набувають питання збереження водних ресурсів, що піддаються постійному впливу забруднень антропогенного походження. Одним із таких джерел є стічні води, що формуються внаслідок експлуатації гірничих підприємств, зокрема вугільних шахт. У зв'язку з цим необхідним є системний підхід до вивчення як хімічного, так і біологічного складу цих вод, що дозволяє комплексно оцінити рівень екологічної безпеки в регіоні.

Особливе занепокоєння викликає той факт, що терикони, як залишки після збагачення вугілля, здатні виділяти в навколишнє середовище не лише важкі метали та токсичні речовини, а й активізувати розвиток умовно-патогенної мікрофлори. Наявність у водах значної кількості мікроорганізмів, які здатні до швидкої колонізації та утворення біоплівки, створює потенційні ризики для поверхневих вод, ґрунтів та здоров'я населення, особливо при недостатньому очищенні чи неконтрольованому скиданні таких вод у водні об'єкти. Окрім санітарно-епідеміологічної небезпеки, мікрофлора стічних вод може бути активним учасником біогеохімічних процесів, включаючи біоаккумуляцію, мінералізацію сполук, зміну рН середовища, утворення шкідливих

---

<sup>505</sup> Morin G., et al., Microbial diversity and metal tolerance in coal mine drainage systems, *Environmental Microbiology Reports*, 12(4), 2020. pp. 489–502. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12800>

<sup>506</sup> Riefler R.G., Bacterial populations in coal mine drainage-impacted waters: Characteristics and implications for passive treatment, *Mine Water and the Environment*, 34(2), 2015. pp. 215–223. <https://doi.org/10.1007/s10230-014-0311-2>

<sup>507</sup> Popovych V. et al., Physico-chemical properties of soils in Lviv Volyn coal basin area, *E3S Web of Conferences*, Vol. 105, 2019. P. 02002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910502002>

<sup>508</sup> Zhao Y. et al., Microbial community analysis for monitoring industrial wastewater: A new paradigm for environmental assessment. *Journal of Environmental Sciences*, 114, 2022. pp. 320–331. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.08.015>

метаболітів тощо. Такі процеси мають як потенційно негативні наслідки, так і можуть використовуватися в природоохоронних технологіях, зокрема в біоочищенні.

Дослідження спрямовані на подолання наукової прогалини в галузі вивчення мікрофлори стічних вод, зокрема з територій териконів, і мають на меті не лише опис наявної ситуації, а й пошук ефективних підходів до моніторингу та зменшення біологічного забруднення.

## 2.МЕТОДОЛОГІЯ

Проблема бактеріального забруднення стічних вод вугільних териконів стає все більш актуальною в умовах зростаючого антропогенного навантаження на урбанізованих територіях. Щорічне збільшення аварійних скидів неочищених стічних вод, незадовільний стан каналізаційних колекторів і недостатнє знезараження стоків досліджуваного району призводить до загострення проблеми і потребує заходів постійного контролю біологічних факторів забруднення міських водойм. Тому дуже часто спостерігається нестабільна динаміка забруднень, що супроводжується підвищенням значенням ГДК щодо бактеріологічних показників. Тому важливо вдосконалювати методи екологічного моніторингу та проводити комплексну оцінку екологічного стану водойм урбанізованих територій з урахуванням їх бактеріального забруднення стічними водами з вугільних шахт<sup>509</sup>.

Проби стічних вод відбиралися у трьох контрольних точках: безпосередньо біля терикона, підніжжя терикона, на відстані 50 м, 100 м та 150 м. Відбір здійснювався у стерильні скляні ємності об'ємом 500 мл, які транспортувалися до лабораторії в умовах холоду (4 °C) протягом не більше 6 годин після відбору. Приготування середовищ, посів і культивування мікроорганізмів здійснювали за загальноприйнятими методиками<sup>510</sup>. Зразки мікробіологічних показників породи та підтериконових стічних вод відбирались нижче поверхні для визначення загальної кількості мезофільних аеробних та факультативних анаеробних мікроорганізмів для виділення сіркоокислювальних бактерій. Відібрані проби прелиті у стерильний посуд та закриті герметично стерильним корком і поміщені у спеціальну сумку-холодильник. Воду використовували для дослідження у наступні 3-6 год., зберігаючи її при температурі від +1-+5 °C. З відібраних проб ґрунту та води у фізіологічному розчині виготовлялася суспензія різних розведень  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ .

## 3.РЕЗУЛЬТАТИ

Аналізуючи мікрофлору стічних вод вугільних шахт, в першу чергу, слід сказати про дельта-протеобактерій (*Desulfovibrio vulgaris*). Ця група включає бактерії, що здатні до ковзаючого руху, сульфатвідновлювальні бактерії (*Desulfovibrio*, *Desulfobacter*, *Desulfococcus*, *Desulfonema*) і сіркобактерії (*Desulfuromonas*). Більшість анаеробів здатні використовувати неорганічні речовини для свого живлення. Представники цього класу відіграють важливу роль у кругообігу елементів в природі.

Більшість штамів – облігатні автотрофи. Джерелами енергії слугують сульфід- і сульфат-йони ( $S^{2-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ), елементарна сірка, тіосульфат ( $S_2O_3^{2-}$ ). Окрім того, *Th. ferrooxidans* використовують як джерело енергії солі двовалентного заліза, окислюючи  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$ . Всі представники цієї групи можуть рости при освітленні і використовуючи з довкілля  $CO_2$ , в якості єдиного джерела вуглецю, а як донор електронів гідроген сульфід –  $H_2S$ . Відомо також, що багато видів можуть використовувати для цієї мети молекулярну сірку (SO), сульфід – ( $SO_3^{2-}$ ) або тіосульфат – ( $S_2O_3^{2-}$ ) аніони.

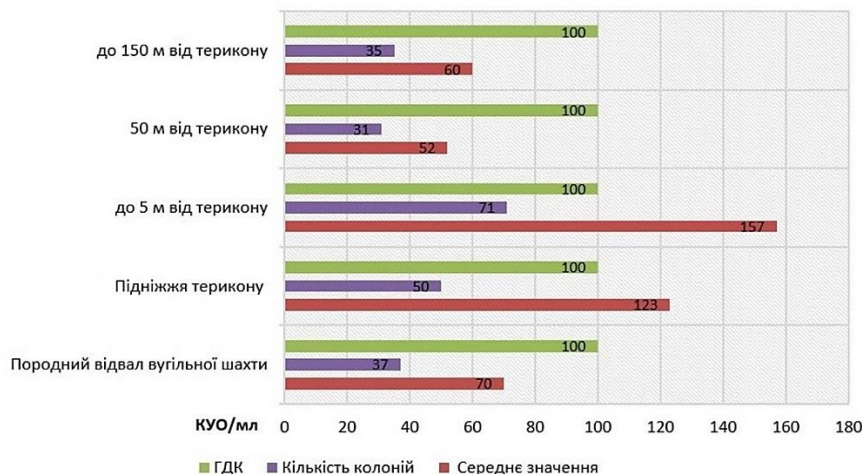
При забрудненні біоти стічними водами виявляють кишкові палички, ентерококи, клостридії, спірили, вібріони. Бактеріальне забруднення стічних вод з вугільних териконів Нововолинського

---

<sup>509</sup> Босак П.В., 'Екологічна безпека стічних вод породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району': дис. ... канд. тех. наук : 21.06.01. Львів, 2021. 218 с.

<sup>510</sup> Гудзь С.П. та ін., 'Практикум з мікробіології'. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2014. 436 с.

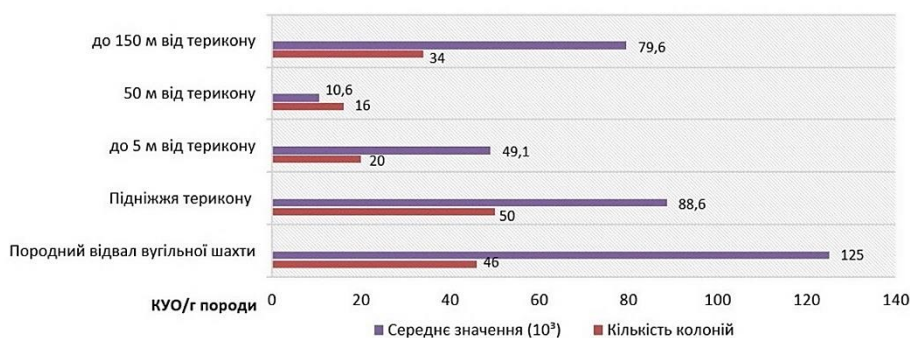
гірничопромислового району викликано потраплянням до них продуктів гниття деревини і живих організмів, частково фекальних мас. Останні створюють сприятливе середовище для розвитку патогенних бактерій. Серед них виявляються мікроорганізми та цвілеві гриби, мікроби кишкової групи. Встановлено мікробіологічні показники (колонієутворюючі одиниці) стічної води з вугільних шахт та породи відвалів вугільних шахт досліджуваного регіону (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Мікробіологічні показники стічної води териконів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району.

Під час дослідження мікробіологічних показників стічної води з відвалів вугільних шахт досліджуваного регіону встановлено, що біля підніжжя та у радіусі 5 метрів від підніжжя терикону перевищено гранично допустимі концентрації кількості колонієутворюючих одиниць на 40 %.

Дослідження<sup>511, 512, 513</sup> вказують на те, що породні відвали вугільних шахт є природним середовищем для існування багатьох видів грибів, бактерій та поодиноких мікроорганізмів. Проведені лабораторні дослідження дають підставу констатувати, що кількість мікроорганізмів та їх біологічна активність у підтериконових стічних водах та породі вугільних шахт м. Нововолинська залежить від рівня антропогенного навантаження вугільних підприємств (рисунок 2).



**Рисунок 2.** Мікробіологічні показники породи териконів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району.

<sup>511</sup> Попович В.В., 'Макроміцети сміттєзвалищ як біоіндикатори антропогенного стану едафотопу', *Ukrainian Journal of Ecology*, Vol. 2, No 3, 2012. С. 59–70

<sup>512</sup> Босак П.В., 'Фізико-хімічні властивості стічних вод з технологічних відвалів Нововолинського гірничопромислового району', *Вісник ЛДУБЖД*, № 18, 2018, С. 117-124

<sup>513</sup> Bosak P. et al., Environmental impact and toxicological properties of mine dumps of the Lviv-Volyn coal basin, *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 2(440), 2020. pp.48–54 <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.30>

Мікроорганізми виступають чутливими індикаторами, що надає можливість використання їх для моніторингу за станом довкілля гірничопромислових комплексів, відтворення ландшафтно-біологічного різноманіття породних відвалів та підтримання екологічної безпеки регіону.

За результатами факторного аналізу чисельність колонієутворюючих одиниць мікроскопічних грибів пов'язано з високим вмістом рН і вмістом хрому у породних відвалах. Найсуттєвіший вплив мікроскопічних грибів спостерігається в породах відвалу діючої шахти № 9 Нововолинського гірничопромислового району 125 КУО/г породи. Оскільки шахта № 9 м. Нововолинська є найбільш забруднена небезпечними речовинами, а відвали шахтних порід шахт № 2 та № 4 природно зарослі рослинністю та знаходяться на стадії рекультивації, то можна дійти висновків, що під час проходження певних етапів рекультивації відвалів шахтних порід є можливість зменшити вплив мікроскопічних грибів та різноманітних бактерій на інші групи мікроорганізмів і фізико-хімічні показники відвалів породи шахтних порід, а також їх вплив на біоту<sup>514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521</sup>.

#### 4. ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що накопичення небезпечних компонентів у стічних водах породних відвалів вугільних шахт, призводять до зростання рівня екологічної небезпеки довкілля району. У пробах води із відвалів зафіксовано значне перевищення вмісту гідрокарбонатів заліза, що спричиняє перевищення рівня ГДК для цього елемента у 50 разів.

Біля підніжжя терикона, у радіусі 5 метрів перевищено гранично допустимі концентрації кількості колонієутворюючих одиниць на понад 40 %. Це вказує на те, що породні відвали вугільних шахт є природним середовищем для існування багатьох видів грибів, бактерій та поодиноких мікроорганізмів.

---

<sup>514</sup> Popovych V. et. al., Waste heaps in the urban environment as negative factors of urbanization, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 915, no. 1, 2021. P. 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/915/1/012001>

<sup>515</sup> Попович В.В., 'Фітомеліорація згасаючих териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну': монографія. Львів: ЛДУБЖД, 2014. 173 с.

<sup>516</sup> Popovych V., et. al., Monitoring of ground forest fire impact on heavy metals content in edaphic horizons. *Journal of Ecological Engineering*, 22(5), 2021. pp. 96–103. <https://doi.org/10.12911/22998993/135872>

<sup>517</sup> Попович В.В., 'Вплив кліматичних умов на розвиток рослинності техногенних ландшафтів Малого Полісся у зимовий період', *Науковий вісник НЛТУ України*, 19.3, 2009. С. 37–42.

<sup>518</sup> Malets I., et. al., Interactive computer simulators in rescuer training and research of their optimal use indicator, *EEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv, Ukraine, 2018. pp. 558–562. <https://doi.org/10.1109/DSMP.2018.8478486>

<sup>519</sup> Popovych V.V., et. al., Environmental impact of devastated landscapes of Volhynian Upland and Male Polisia (Ukraine). *Environmental Research, Engineering and Management*, 75(3), 2019. pp. 33–45. <https://doi.org/10.5755/j01.ere.m.75.3.23323>

<sup>520</sup> Skrobala V., et. al., Ecological patterns for vegetation cover formation in the mining waste dumps of the Lviv-Volyn coal basin. *Mining of Mineral Deposits*, 14(2), 2020. 119–127. <https://doi.org/10.33271/mining14.02.119>

<sup>521</sup> Попович В.В., 'Полігони твердих побутових відходів у вироблених кар'єрах, ярах, траншеях і особливості їх фітомеліорації', *Науковий вісник НЛТУ України*, 22.11, 2012. С. 119–128.