

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 504.5:628.543

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-1>

ОЦІНЮВАННЯ ТОКСИКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ СУМСЬКОЇ ТЕЦ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Залевська Ірина Віталіївна,

аспірант кафедри екології та природозахисних технологій

Сумського державного університету

ORCID ID: 0009-0007-8951-6204

Блинний Євген Вікторович,

аспірант кафедри екології та природозахисних технологій

Сумського державного університету

ORCID ID: 0009-0001-4504-2998

Золошлакові відходи, що утворюються під час роботи теплоелектроцентралей, становлять значну екологічну проблему через їх накопичення та низький рівень утилізації. Щорічно в Україні утворюється близько 30 млн т золошлакових відходів, проте утилізується лише 10%. Дослідження хімічного складу відходів Сумської ТЕЦ виявило високий вміст мінеральних речовин, таких як кремній, алюміній, залізо, кальцій, магній, а також важких металів (Mn, Ni, Cr, Cu, Zn), що вимагає детальної токсикологічної оцінки для мінімізації екологічних ризиків. Установлено, що золошлакові відходи характеризуються низьким рівнем міграції небезпечних металів і радіоактивності, що дає змогу їх використання в промисловості, будівництві й процесах очищення вод. Лужний рН золошлакових відходів (8,18–8,96) сприяє ефективному видаленню забруднювачів і розширює можливості їх утилізації. Золошлаки можуть бути застосовані для виробництва будівельних матеріалів та інших технологічних процесів, що сприятиме зменшенню їх накопичення. Необхідність упровадження комплексного підходу до утилізації відходів передбачає адаптацію технологій до екологічних та економічних умов регіону, що сприятиме зменшенню екологічного навантаження, раціональному використанню ресурсів і зниженню ризиків для довкілля і здоров'я.

Ключові слова: золошлакові відходи, Сумська ТЕЦ, утилізація, важкі метали,

Zalevska Iryna, Blynnnyi Yevhen. Toxicological impact assessment of ash and slag waste from the Sumy CHP on the environment

Ash and slag waste generated during the operation of combined heat and power plants presents a significant environmental challenge due to its accumulation and low utilization rates. Annually, about 30 million tons of ash and slag waste are produced in Ukraine, with only 10 % being recycled. A study of the chemical composition of waste from the Sumy CHP revealed a high content of mineral substances such as silicon, aluminum, iron, calcium, and magnesium, as well as heavy metals (Mn, Ni, Cr, Cu, Zn), which necessitates a detailed toxicological assessment to minimize environmental risks. It was determined that ash and slag waste is characterized by low levels of heavy metal migration and radioactivity, enabling its use in industry, construction, and water treatment processes. The alkaline pH of the ash and slag waste (8.18–8.96) facilitates the effective removal of pollutants and expands the potential for its utilization. Ash and slag can be applied in the production of construction materials and other technological processes, contributing to the reduction of their accumulation. The need for a comprehensive approach to waste utilization involves the adaptation of technologies to the environmental and economic conditions of the region, which will help reduce environmental impact, ensure the rational use of resources, and lower risks to the environment and public health.

Key words: ash and slag waste, Sumy CHP, disposal, heavy metals, environmental impact.

Вступ. Сучасний розвиток будь-якої сфери промисловості нерозривно пов'язаний із впливом на навколишнє середовище. Сфера енергетики не виняток. Тому спільнота Європейського Союзу в рамках енергетичної політики та стратегії створила Енергетичний союз, який

спрямований на створення доступної та безпечної енергії. У звіті [1] наголошується на досягненні значного прогресу у сфері відновлювальної енергетики. Але, з іншого боку, постає питання утилізації вже накопичених відходів теплоенергетики.

Під час роботи теплоелектростанцій як ключових об'єктів виробництва енергії утворюється значна кількість відходів. Усі тверді палива (у тому числі вугілля) мають у своєму складі мінеральну масу, що утворює золу та шлак після спалювання [2]. Щороку в Україні у золошлако-накопичувачах накопичується близько 30 млн т золошлакових відходів, а у світі – 700 млн т, що становить серйозну екологічну проблему [3]. У країнах Європейського Союзу утилізується близько 92% таких відходів, а в Україні лише – 10 % [4], що ставить перед дослідниками завдання пошуку безпечних та економічно вигідних способів утилізації вже накопичених золошлакових відходів.

Сумська ТЕЦ покриває 25 % потреб в електроенергії, а також 71 % потреб у теплоенергії м. Суми. Основним видом палива, що використовується є вугілля марки А, П, а також після модернізації котлів – вугілля марки Г та ДГ, яке видобувається виключно на неокупованій території України. На опалювальний сезон 2022–2023 років погоджено виділення 80 тис. т вугілля [5]. Тобто при середній зольності використовуваного вугілля 10% за опалювальний сезон накопичується 8 тис. т золошлакових відходів.

Вивчення й оцінювання токсикологічного впливу золошлакових відходів Сумської ТЕЦ дасть змогу не тільки оцінити ризики для довкілля та здоров'я населення, а й визначити можливі напрями розробки безпечних технологій утилізації відходів для отримання максимального екологічного й економічного ефектів.

Мета роботи – на основі результатів токсикологічної оцінки визначити й оцінити вплив золошлакових відходів Сумської ТЕЦ для подальшого підбору можливих напрямів безпечних технологій утилізації.

Результати. На території області залишається невирішене питання утилізації золошлакової суміші, що утворюється в результаті функціонування Сумської ТЕЦ. Золошлаконакопичувач Сумської ТЕЦ розташований на лівому березі р. Псел і являє собою двосекційний відстійник ємністю 195 тис. м³ з загальною площею 5,3 га [6]. Золошлаконакопичувач сьогодні практично заповнений, що ставить завдання пошуку шляхів утилізації або переробки відходів. При цьому відходи золошлакової суміші частково використовує ТОВ «Керамейя» у виробництві каменю керамічного рядового звичайних розмірів [7].

Детальний кількісний аналіз на вміст хімічних елементів у золі й фізико-хімічні властивості зольної сировини проводили в лабораторіях НДІ «МІНДІП» СумДУ.

За хімічним складом золошлакові відходи являють собою складну суміш різних, переважно мінеральних, речовин. Уміст хімічних сполук варіюється в певних межах, але в усіх випадках основними компонентами є кисневі сполуки кремнію, алюмінію, заліза, кальцію, магнію. Незначна частка елементів присутня у вигляді сульфатів кальцію, магнію та заліза [4]. Поряд із мінеральними компонентами золошлаки можуть містити органічні речовини,



Рис. 1. Місця відбору проб для проведення дослідження

що зв'язані з «недопалом» вуглецю [4]. Високий рівень (до 15 %) умісту незгорілого вугілля, а також кислий рН можуть знижувати можливі напрями застосування золошлаків. Під час поділу золи на фракції незгоріле вугілля концентрується у фракції 100–200 мкм [8].

Дослідження проводили на зразках, що відбирали в місці зберігання золошлакових відходів Сумської ТЕЦ (рис. 1). Відбір проб проводився згідно з Інструкцією [9]. У зв'язку із сезонною обмеженістю доступу в усі частини золошлаконакопичувача, проби взяті в місцях вільної досяжності. Точкові проби взяті в частинах накопичувача з різною фракцією відходів, а також проба № 1 узята з терикона вглиб на 0,1–0,2 м, а проба № 2 – у приземному шарі.

Золошлакові відходи Сумської ТЕЦ характеризуються значною концентрацією деяких хімічних елементів, середній уміст яких отриманий за результатами проведених досліджень автором [10] і узагальнений у таблиці 1.

Важливо визначити водневий показник водних екстрактів із золошлакових відходів. Цей показник впливає на те, як матеріал взаємодіє з іншими речовинами, дає можливість оцінити стабільність і показує, чи потрібна додаткова корекція рН для процесів утилізації. Водневий показник водних екстрактів проб золошлакових відходів Сумської ТЕЦ становив рН 8,96 і 8,18, що свідчить про їх лужність. Лужний характер може впливати на якість води, яка контактує із золошлаками, і на поведінку деяких речовин, таких як важкі метали. У лужному середовищі певні важкі метали (наприклад, залізо, алюміній, марганець) можуть утворювати нерозчинні осадки, що є корисним для видалення цих металів. Лужний рН може бути вигідним для використання золошлаків у процесах очищення вод, оскільки багато забруднювачів осаджуються чи адсорбуються більш ефективно саме в лужному середовищі [11] з рН 7–10 [12].

Для аналізу рівня міграції металів використовували метод атомно-абсорбційної спектроскопометрії. Проведені дослідження свідчать про незначний рівень міграції міді, цинку, кадмію та заліза, які не перевищують граничні норми Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення [13]. Відходи

мають низький рівень міграції небезпечних металів, вони можуть бути використані в різних технологічних або будівельних процесах, що сприятиме їхній утилізації.

Радіоактивність золошлаків Сумської ТЕЦ 18 мР/год [14]. Рівень радіоактивності дає загальне уявлення про те, скільки радіації випромінюють золошлаки та якою мірою це може бути небезпечно для здоров'я й навколишнього середовища в умовах використання або утилізації. Фоновий рівень радіації в м. Суми, за даними SaveEcoBot [15], варіюється в межах 8–12 мкр/год, що нижче контрольного рівня радіаційного фону 25 мкр/год. Тобто радіоактивність відходів дещо вища за фоновий рівень радіації в м. Суми, проте не перевищує безпечних рівнів.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що золошлакові відходи Сумської ТЕЦ мають складний хімічний склад, до якого входять мінеральні речовини, важкі метали й органічні домішки. Уміст таких елементів, як Mn, Ni, V, Cr, Mo, Cu, Pb, Zn і Sn, указує на можливі екологічні ризики за умов неконтрольованого зберігання або неналежної утилізації цих відходів.

Золошлаки Сумської ТЕЦ характеризуються низьким рівнем міграції важких металів і радіоактивності, що дає змогу розглядати їх як перспективну сировину для повторного використання. Таким чином, золошлакові відходи Сумської ТЕЦ можуть бути утилізовані без значних загроз для навколишнього середовища, за умов дотримання відповідних екологічних норм і стандартів. Використання цих відходів у промисловості (зокрема в процесах очищення вод), будівництві може бути ефективним рішенням для зменшення обсягів відходів і мінімізації їх негативного впливу на екосистему.

Отримані результати підкреслюють важливість упровадження комплексного підходу до утилізації золошлакових відходів. Це включає детальну токсикологічну оцінку, відбір відповідних технологій переробки та їх адаптацію до конкретних екологічних та економічних умов регіону. У перспективі такі заходи сприятимуть зниженню екологічного навантаження, раціональному використанню ресурсів і зменшенню обсягів накопичення промислових відходів.

Таблиця 1

Середній уміст важких металів у шлаках і золі Сумської ТЕЦ, мг/кг

№ з/п	Тип зразка	Mn	Ni	Co	V	Cr	Mo	Cu	Pb	Zn	Sn
1	Шлаки	1000	200	40	500	400	4	300	200	80	8
2	Зола	1000	200	20	400	350	2	200	300	300	8

ЛІТЕРАТУРА:

1. State of the Energy Union Report 2024. *energy.ec.europa.eu*. URL: https://energy.ec.europa.eu/publications/state-energy-union-report-2024-country-fiches_en
2. Батальцев Є. В. Моделювання техногенного впливу на навколишнє природне середовище об'єктами теплоенергетики : дис. ... канд. техн. наук. Суми : Сумський державний університет, 2021. 168 с.
3. Юрчук А. Утилізація золошлакових відвалів. *Молодь: наука та інновації* : збірник матеріалів XI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Дніпро : Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2023. С. 409–410.
4. Особливості впливу золовідвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє середовище / А.В. Яцишин та ін. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2018. Т. 28. № 2. С. 57–68. DOI: 10.5281/zenodo.2594489
5. Додаток до рішення 28 сесії Сумської міської ради 8 скликання від 28.09.2022 р. № 3159-МР «Про звернення до Президента України, Верховної Ради України та Кабінету Міністрів України щодо захисту мешканців міста Суми від енергетичної кризи». *smr.gov.ua*. URL: <https://smr.gov.ua/en/dokumentii/rishennya-miskoji-radi/2022.html>
6. Пляцук Л.Д., М'якаєва Г.М., М'якаєв О.В. Зниження впливу золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ на гідросферу. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». 2018. Т. 9. № 1285. С. 230–235. DOI: 10.20998/2413-4295.2018.09.33
7. Департамент захисту довкілля та природних ресурсів. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Сумській області у 2023 році. Суми, 2024. *mepr.gov.ua*. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/Sum2021-zi-zminamy.pdf>
8. Золошлакові відходи теплових електростанцій як перспективна сировина сучасності / О.О. Хлопицький та ін. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2023. Т. 31. № 3. С. 635–641. DOI: 10.15421/jchemtech.v31i3.286130.
9. Мінприроди України. Охорона навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів. Якість довкілля. Відбір проб ґрунтів та відходів при здійсненні хіміко-аналітичного контролю просторового (загального і локального) забруднення об'єктів навколишнього природного середовища в районах впливу промислових, сільськогосподарських, господарсько-побутових і транспортних джерел забруднення : Інструкція. Затверджено наказом Мінприроди України від 22.02.2005 № 72. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=58813
10. Закономірності розподілу важких металів в об'єктах навколишнього середовища м. Суми / Ю.Ю. Войтюк та ін. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Геологія, географія»*. 2016. Т. 24. № 2. С. 18–24. DOI: 10.15421/111627
11. Qasem N.A.A., Mohammed R.H., Lawal D.U. Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review. *NPJ Clean Water*. 2021. Vol. 4. № 1. P. 36. DOI: 10.1038/s41545-021-00127-0
12. Removal of Pb (II) from aqueous solution by oxidized multiwalled carbon nanotubes / D. Xu et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2008. Vol. 154. № 1–3. P. 407–416. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.10.059
13. Міністерство охорони здоров'я України. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення. Затверджено Наказом Міністерства охорони здоров'я України 2 травня 2022 року № 721. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 16 травня 2022 року за № 524/37860. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text>
14. Руденко В.В. Технології комплексної утилізації відходів об'єктів теплоенергетики : дис. ... канд. техн. наук. Суми : Сумський державний університет, 2020. 71 с.
15. Стан радіаційного фону в місті Суми. *www.saveecobot.com*. URL: <https://www.saveecobot.com/radiation/sumska-oblast/sumy>

REFERENCES:

1. State of the Energy Union Report 2024. Retrieved from: https://energy.ec.europa.eu/publications/state-energy-union-report-2024-country-fiches_en
2. Bataltsev Ye. V. (2021). Modeliuvannia tekhnogennoho vplyvu na navkolyshnie pryrodne seredovyshe ob'ektyamy teploenerhetyky: dys. ... kand. tekhn. nauk. [Modeling of Technogenic Impact on the Natural Environment by Heat Power Engineering Facilities: Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences]. Sumskyi derzhavnyi universytet, Sumy. 168 s [in Ukrainian].
3. Yurchuk A. (2023). Utylizatsiia zoloshlakovykh vidvaliv [Utilization of Ash and Slag Dumps]. “*Molod: nauka ta innovatsii*”: Zbirnyk materialiv XI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh, m. Dnipro: Natsionalnyi tekhnichniy universytet “Dnipravska politekhnika”, 13–15 lystopada 2023 r. S. 409–410 [in Ukrainian].

4. Yatsyshyn, A. V., Matvieieva, I. V., Kovach, V. O., Artemchuk, V. O., & Kameneva, I. P. (2018). Osoblyvosti vplyvu zolovidvaliv pidpriemstv teploenerhetyky na navkolyshnie seredovyshe [Peculiarities of the environmental impact of ash dumps of thermal power plants]. *Problemy Nadzvychaynykh Sytuatsii*, 28(2), 57–68. DOI: 10.5281/zenodo.2594489 [in Ukrainian].
5. Dodatok do rishennia 28 sesii Sumskoi miskoi rady 8 skykannia vid 28.09.2022 r. № 3159-MR “Pro zvernennia do Prezydenta Ukrainy, Verkhovnoi Rady Ukrainy ta Kabinetu Ministriv Ukrainy shchodo zakhystu meshkantsiv mista Sumy vid enerhetychnoi kryzy” [Appendix to the Decision of the 28th Session of the Sumy City Council of the 8th Convocation dated 28.09.2022, No. 3159-MR ‘On the Appeal to the President of Ukraine, the Verkhovna Rada of Ukraine, and the Cabinet of Ministers of Ukraine Regarding the Protection of the Residents of the City of Sumy from the Energy Crisis]. Retrieved from: <https://smr.gov.ua/en/dokumenty/rishennya-miskoji-radi/2022.html> [in Ukrainian].
6. Pliatsuk, L. D., Miakaieva, H. M., Miakaiev O. V. (2018). Znyzhennia vplyvu zoloshlakonakopychuvacha Cumskoj TETs na hidrosferu [Reduction of the Impact of the Ash and Slag Accumulation Facility of the Sumy CHP on the Hydrosphere]. *Visnyk NTU “KhPI”, Seriya: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiakh*. 9(1285). 230–235. DOI: 10.20998/2413-4295.2018.09.33 [in Ukrainian].
7. Departament zakhystu dokillia ta pryrodnykh resursiv. (2024). Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Sumskii oblasti u 2023 rotsi [Regional Report on the State of the Environment in Sumy Region in 2023]. Retrieved from: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/Sum2021-zi-zminamy.pdf> [in Ukrainian].
8. Khlopytskyi, O. O., Kovalenko, I. L., Frolova, L. A., Skyba, M. I., & Makarchenko, N. P. (2023). Zoloshlakovi vidkhody teplovykh elektrostansii, yak perspektyvna syrovyna suchasnosti [Ash and slag waste of thermal power plants as a promising raw material of the present]. *Journal of Chemistry and Technologies*, 31(3), 635–641. DOI: jchemtech.v31i3.286130 [in Ukrainian].
9. Minpryrody Ukrainy (2005). Okhrona navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha ta ratsionalne vykorystannia pryrodnykh resursiv. Yakist dokillia. Vidbir prob gruntiv ta vidkhodiv pry zdiisnenni khimiko-analitychnoho kontroliu prostorovoho (zahalnoho i lokalnoho) zabrudnennia ob'ektiv navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v raionakh vplyvu promyslovykh, silskohospodarskykh, hospodarsko-pobutovykh i transportnykh dzherel zabrudnennia: Instruktsiia [Environmental Protection and Rational Use of Natural Resources. Environmental Quality. Sampling of Soils and Waste in Chemical and Analytical Control of Spatial (General and Local) Pollution of Environmental Objects in Areas Affected by Industrial, Agricultural, Domestic, and Transport Pollution Sources: Instruction]. Zatverdzheno nakazom Minpryrody Ukrainy vid 22.02.2005 № 72. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=58813 [in Ukrainian].
10. Voitiuk Yu. Yu., Kuraieva I. V., Kroik H. A., Matsibora O. V., Matvienko O. V. (2016). Zakonomirnosti rozpodilu vazhkykh metaliv v ob'ekтах navkolyshnoho seredovyscha m. Sumy [Patterns of Distribution of Heavy Metals in Environmental Objects of the City of Sumy]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Heolohiia, heohrafiia* 22 (2). 18–23. DOI: 10.15421/111627 [in Ukrainian].
11. Qasem N. A. A., Mohammed R. H., Lawal D. U. (2021) Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review. *NPJ Clean Water*. 4 (1). 36. DOI: 10.1038/s41545-021-00127-0
12. Xu, D., Tan, X., Chen, C., & Wang, X. (2008). Removal of Pb(II) from aqueous solution by oxidized multiwalled carbon nanotubes. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1–3), 407–416. DOI: j.jhazmat.2007.10.059
13. Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy (2022). Hihienichni normatyvy yakosti vody vodnykh ob'ektiv dlia zadovolennia pytnykh, hospodarsko-pobutovykh ta inshykh potreb naselennia [Hygienic Standards for Water Quality of Water Bodies for Meeting the Drinking, Domestic, and Other Needs of the Population]. Zatverdzheno Nakazom Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy 02 travnia 2022 roku № 721. Zareiestrovano u Ministerstvi yustytisii Ukrainy 16 travnia 2022 roku za № 524/37860. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text> [in Ukrainian].
14. Rudenko V. V. (2020) Tekhnolohii kompleksnoi utylizatsii vidkhodiv ob'ektiv teploenerhetyky: dys. ... kand. tekhn. nauk [Technologies for Integrated Waste Utilization of Heat Power Engineering Facilities: Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences.]. Sumskiy derzhavnyi universytet, Sumy. 71 s [in Ukrainian].
15. Stan radiatsiinoho fonu v misti Sumy [Radiation Background Status in the City of Sumy]. Retrieved from: <https://www.saveecobot.com/radiation/sumska-oblast/sumy> [in Ukrainian].