

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-06>

УДК (UDC): 621.311.22:504.054

О. В. КРАЙНЮК¹, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності
e-mail: alenuvarova@ukr.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9524-040X>
¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61000, Україна

Ю. В. БУЦ², д-р техн. наук, проф.,
завідувач кафедри технологій та безпеки життєдіяльності
e-mail: butsyura@ukr.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0450-2617>
²Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
проспект Науки, 9А, Харків, 61000, Україна

Р. В. ПОНОМАРЕНКО³, д-р техн. наук, старший науковий співробітник,
заступник начальника кафедри пожежної та рятувальної підготовки
e-mail: prv@nuczu.edu.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8445-8251>
³Національний університет цивільного захисту України
вул. Чернишевська, 94, Харків, 61023, Україна

В. В. БАРБАШИН⁴, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності
e-mail: barbachyn@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3262-8305>
⁴Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, Україна

П. І. ЛОЦМАН⁵, канд. геогр. наук, доц.,
e-mail: yurii.buts@hneu.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9894-5728>
доцент кафедри кафедри суспільно-економічних дисциплін і географії
⁵Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди
вул. Валентинівська, 2, Харків, 61168, Україна

ТЕХНОГЕННИЙ ВПЛИВ СКЛАДУ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ЗМІЙВСЬКОЇ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НА ПЕДОСФЕРУ

Мета: Аналіз геохімічного складу золо-шлакових відходів Зміївської ТЕС та виявлення особливостей міграції важких металів від місця складування золошлакових відходів у екосистему.

Методи. Вміст важких металів у золі, золошлаках і ґрунті досліджено за допомогою атомно-абсорбційного аналізу на спектрофотометрі С-115. Для визначення складу твердої неорганічної частини золошлаку проведено рентгенофазовий аналіз.

Результати. Золо-шлаки Зміївської ТЕС містять Cu, Cr, As, Cd, Ni, Pb у кількостях, що в декілька разів перевищують ГДК. Для золо-шлакових відходів сумарний показник забруднення становить $Z_c = 43$, що відповідає високому рівню. Тобто цей штучно створений горизонт є небезпечним. Важкі метали (ВМ) мігрують у підземні води і у ґрунти поряд з золовідвалом за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, викиди з водопровідних комунікацій, фільтрації вод через основу золовідвалу Зміївської ТЕС. Для визначення забруднення ґрунтів поблизу золовідвалу здійснено аналізи ґрунту на відстані 0...100 метрів. Встановлено зменшення концентрації ВМ у ґрунті з відстанню від золошлаковідвалу. На відстані до 100 метрів від відвалу спостерігається перевищення ГДК у ґрунті за вмістом Ni, Cu, As, Cr. Коефіцієнт концентрації перевищує одиницю для Cr, As, Cu, Cd, Ni. Лише на відстані понад 100 метрів вміст Pb та Zn досягає фонових значень. Розрахунок сумарного показника забруднення ґрунтів дозволяє віднести дані ґрунти до помірно небезпечних та допустимих. Однак, є декілька суттєвих недоліків у показника Z_c . Насамперед, він не враховує відмінностей потенційної небезпеки хімічних елементів, а також, що найбільш важливо, синергетичні ефекти поліметалічного забруднення. Коефіцієнт синергетичного впливу важких металів становить 26,64 (у ґрунті золовідвалу), далі зменшується, але навіть на відстані 100 метрів становить 11,23, тобто на відстані 0...100 м від золошлаковідвалу не виконується умова не перевищення коефіцієнту сумарної дії одиниці. Встановлено, що Cu, Ni, Zn і Cr характеризуються низькою рухливістю у ґрунті поблизу золовідвалу, через що вони акумулюються в екосистемі поряд з золовідвалом, що пояснюється нейтральними і слабо-лужними значеннями рН ґрунту (рН=8,0...8,5). Співвідношення мінеральних фаз і скла нестійке, проте слід зазначити переважання у золо-шлаку алюмосилікатів, силікатів кальцію і скла. Сполуки ВМ приуро

© Крайнюк О. В., Буц Ю. В., Пономаренко Р. В., Барбашин В. В., Лоцман П. І., 2021



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

чені в основному до аморфізованих глинистих агрегатів і сажисто-вуглецевим утворенням золи, в меншій мірі до шлакового скла та ще менше до зерен кварцового піску.

Висновки. Оскільки золошлак містить такі фракції, що можуть легко розноситися вітром, слід припустити, що надходження ВМ у екосистему відбувається і повітряним шляхом, що також сприяє забрудненню атмосферного повітря. Вирішення проблеми утилізації золошлакових відходів слід віднайти у виробництві будівельних матеріалів, у дорожньому будівництві, але необхідно вивчати склад золошлаків і вірогідність міграції ВМ залежно від умов використання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: геоекологічний аналіз, золошлакові відходи, важкі метали, техногенне навантаження, забруднення екосистеми

Як цитувати: Крайнюк О. В., Буц Ю. В., Пономаренко Р. В., Барбашин В. В., Лоцман П. І. Техногенний вплив складу золошлакових відходів Зміївської теплоелектростанції на педосферу. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 70-80. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-06>

In cites: Krainyuk, O. V., Buts, Y. V., Ponomarenko, R. V., Barbachin, V. V., & Lotsman, P. I. (2021). Technogenic influence of the composition of ash waste from the Zmiiv power plant on the pedosphere. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 70-80. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-06>

Вступ

При роботі ТЕС утворюються золошлаки (важка фракція) і зола (летюча фракція). Відходи найчастіше складаються під відкритим небом. Піддаючись дії атмосферних опадів, компоненти золошлакових відходів здатні мігрувати у навколишнє природне середовище, насамперед у педосферу.

Золовідвали займають величезні площі, здійснюючи негативний вплив на довкілля. Чимало наукових робіт присвячено вивченню небезпеки золошлакових відходів, причому думки розділяються. Ряд дослідників вказують на невисоку небезпеку таких відходів та можливість використання золошлаків у виробництві будівельних матеріалів, у дорожньому будівництві, що може економити сировину, навіть у якості добрив [1]. Інші ж дослідники, приходять до висновку про забруднення навколишнього природного середовища золошлаковими відходами ТЕС [2]. У золі-винесення і золошлаках присутні As, Pb, Cr, Cu, Ni, Co, V, Cd,

Zn, Se, Mn, Fe, K, Ba, Na, Ca, Mg, Be, F [3], які можуть бути небезпечними для здоров'я людей [4, 5]. Є дослідження, що підтверджують суттєве забруднення ґрунтів Ni, Cr і Hg поблизу розташування золошлаковідвалів [6].

У ряді європейських країн золошлакові відходи переробляються, наприклад, у Данії і Німеччині ефективно використовують золошлаки для виробництва будматеріалів. При цьому частка перероблених золошлаків наближається до 100%. Наприклад, у Німеччині забороняється складувати золошлакові відходи. У Польщі, Китаї і США переробляється близько 60% утворених золошлаків [7].

Для забезпечення потреб промисловості і населення потрібні чималі запаси електроенергії. Так, наприклад, вироблення електроенергії в Україні у 2019 році склало 141,2 млрд кВт на рік, причому понад третину цієї енергії отримано за допомогою ТЕС і ТЕЦ (рис. 1) [8].

При виробленні теплової енергії теплова

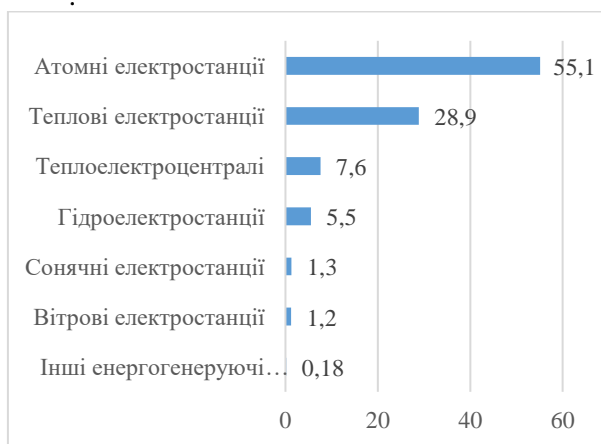


Рис. 1 – Обсяг виробленої електричної енергії, % від загальної кількості [8]

Fig. 1 – The amount of electricity produced, % of the total amount [8]

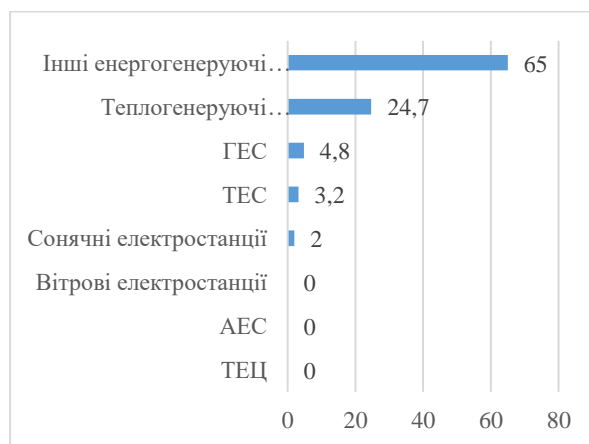


Рис. 2 – Обсяг виробленої теплової енергії, % від загальної кількості [8]

Fig. 2 – The amount of heat produced, % of the total amount [8]

потужність склала 129045 Гкал/рік, основним постачальником теплоенергії стали теплогенеруючі установки, котельні, ТЕС і ТЕЦ (рис. 2), при роботі яких утворюються золи і золошлакові відходи.

Найбільша кількість ТЕС розташована у східній частині України (рис. 3). Зміївська ТЕС відноситься до п'ятірки найбільших ТЕС, із потужністю більше 2000 МВт (рис. 3, 4).

Зміївська ТЕС є першочерговим забруднювачем Харківської області, її вплив оцінюється у 60% від загального забруднення області

[3]. ТЕС експлуатується з 1960 року, електрична потужність становить 2150 МВт. За рік ТЕС виробляє понад 18 млрд. кВт годин електроенергії. У якості палива Зміївська ТЕС використовує низькосортне вугілля із додаванням мазуту або газу Шебелинського родовища. Вихід золошлаків складає 1,2 млн. т/рік. Переробляється 200 тис. тонн, 1 млн. т. складається у відвалах. На даний час накопичено понад 30 млн. тонн золошлаків. Система золошлаковидалення гідравлічна.



1 – Зміївська, 2 – Слов'янська, 3 – Вуглегірська, 4 – Луганська, 5 – Зуєвська, 6 – Старобешівська, 7 – Курахівська, 8 – Придніпровська, 9 – Запорізька, 10 – Криворізька, 11 – Ладизинська, 12 – Трипільська, 13 – Добротвірська, 14 – Бурштинська

Рис. 3 – ТЕС на території України

1 – Zmiivska, 2 – Slovyanska, 3 – Vuhlehirska, 4 – Luhanska, 5 – Zuevska, 6 – Starobeshivska, 7 – Kurakhivska, 8 – Prydniprovska, 9 – Zaporizhzhya, 10 – Kryvyi Rih, 11 – Ladyzhynska, 12 – Trypilska, 13 – Dobrotvirska, 14 – Burshtynska

Fig. 3 – TPP on the territory of Ukraine

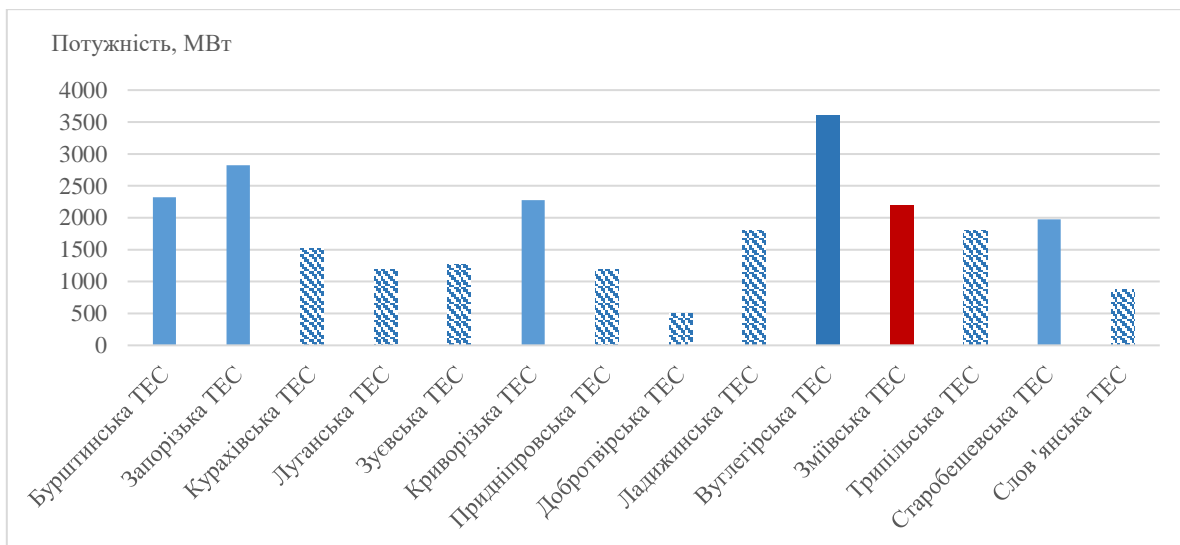


Рис. 4 – Потужність ТЕС України

Fig. 4 – Capacity of TPPs in Ukraine

Полігон золошлакових відходів Зміївської ТЕС займає площу понад 350 га (рис. 5). Золовідвал створює ряд екологічних проблем. Зола й золошлаки – це твердий незгорілий залишок твердого палива, який видаляється у золовідвал. Основну масу (96...98%) золошлакових відходів становлять оксиди – 45... 60%; CaO – 2,5...9,6%; MgO – 0,5...4,8%; Fe₂O₃ – 4,1-10,6%; Al₂O₃ – 10,1...21,8% і SO₃ – 0,03... 2,7%. Найважливішим компонентом в складі золошлаків є SiO₂ (понад 40%), разом з Al₂O₃ він бере участь в утворенні кальцієвих алюмосилікатів. Шлаки містять до 15-80% кристалічної фази, інше - важкорозчинні кварц, муліт,

гематит, магнетит тощо. [9]. Окрім цього, золошлаки містять Zn, Tl, Pb, Cr, Mn, Co, Ni, Hg, As, Sb, V, Sr, Ge, B, Be, F та ін. [3, 10, 11].

Золовідвал Зміївської ТЕС являє собою гідротехнічну споруду, що також позначається на довкіллі (рис. 6). Золовідвал Зміївської ТЕС впливає на рівень ґрунтових вод і хімічний склад в районі села Лиман, озер Лиман і Чайка. Для ТЕС і вугільних ТЕЦ розміщення відходів, а саме золошлаків, є актуальною екологічною проблемою.

Техногенне навантаження вимагає постійного контролю стану компонентів геологічного середовища, основними з яких є педосфера



Рис. 5 – Полігон золошлакових відходів Зміївської ТЕС

Fig. 5 – Site for Zmiiv TPP ash and slag wastes

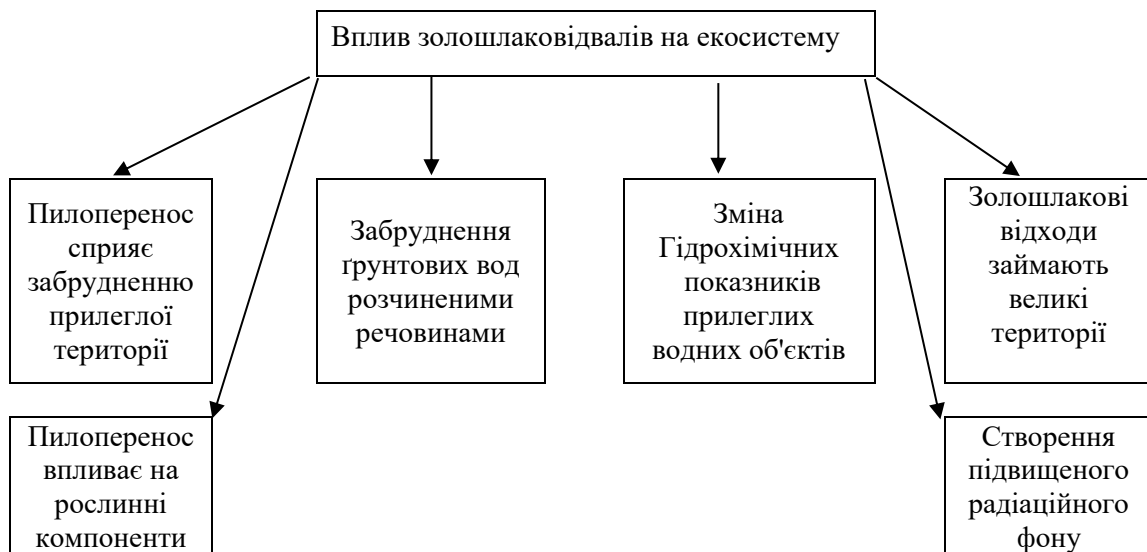


Рис. 6 – Вплив золошлаковідвалів і полігонів складування золошлаків ТЕС на навколишнє природне середовище

Fig. 6 – Influence of ash and slag dumps and ash storage sites of TPPs on the environment

і водоносні горизонти, оскільки від цього залежить доцільність і ефективність природоохоронних заходів. Тому визначення масштабів забруднення компонентів геологічного середовища, ідентифікація аномалій, виділення ореолів забруднення є сьогодні актуальним завданням геолого-екологічних досліджень.

Мета – аналіз складу золошлакових

Об'єкти і методи досліджень

Вміст важких металів у золі, золошлаках і ґрунті було досліджено за допомогою атомно-абсорбційного аналізу (ААА) на спектрофотометрі С-115. Для даного методу нижня межа виявлення 0,2 мкг/мл екстракційного розчину. Визначенню не заважають присутні у зразку інші метали.

Для визначення складу твердої неорганічної частини золошлаку проведено рентгенофазовий аналіз. Дослідження виконувалися на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-1,5

відходів Зміївської ТЕС та дослідження особливостей міграції важких металів від місця складування золошлакових відходів у компоненти екосистеми. Для досягнення встановленої мети було вирішено наступні завдання: проведення геохімічного аналізу золошлакових відходів Зміївської ТЕС; виявлення вірогідності міграції ВМ у ґрунт у місцях зберігання золошлакових відходів.

при режимах зйомки: напруга $U = 35\text{kV}$, сила анодного струму $I_{\text{анод}} = 20\text{ mA}$, швидкість обертання зразка 2 град/хв; швидкість руху стрічки самописця 600 мм/год. Застосовувався мідний електрод. Для виключення β -випромінювання зйомка виконувалася з використанням Ni фільтра методом дифракції порошків. Спеціально підібрані режими зйомки дозволяли отримувати високу роздільну здатність, особливо при вивченні малих кількостей досліджуваних проб.

Результати дослідження

Вміст окремих важких металів, визначених методом ААА, представлено у табл. 1.

Незважаючи на те, що зразки проб містять Cu, Cr, As, Cd, Ni, Pb в концентраціях, що в декілька разів перевищують ГДК, хімічний аналіз інших зразків зол і золошлаків ТЕС свідчить, що ці значення можуть бути в десятки разів вищими. Так, наприклад, As у золах може бути до 58 мг/кг, Ni навіть до 56 г/кг, а Cr до 43 г/кг. У даних зразках, в порівнянні із золошлаками інших ТЕС, небагато Fe і Mn [9]. Встановлена кислотність водного середовища складала $\text{pH} = 8,8$.

Для розглянутих умов визначали коефіцієнт забруднення:

$$K = \frac{C_{\text{зразок}}}{\text{ГДК}} \quad (1)$$

де $C_{\text{зразок}}$ – фактична концентрація металу у

ґрунті (золошлаку).

Однак, оскільки у даному випадку K не враховує регіональні особливості вмісту ВМ, був розрахований коефіцієнт концентрації:

$$K_c = \frac{C_{\text{зразок}}}{C_{\text{ф}}} \quad (2)$$

де $C_{\text{ф}}$ – регіональний фоновий вміст елемента.

Забруднення зазвичай буває поліелементним, тому для його оцінки розраховували сумарний показник забруднення (Z_c), що відображає адитивну суму перевищень коефіцієнтів концентрацій над фоновим рівнем [12]. Сумарний показник забруднення (Z_c) визначали за формулою:

$$Z_c = \sum_1^n K_c - (n - 1) \quad (3)$$

n – число досліджуваних хімічних елементів.

Таблиця 1

Хімічний склад золошлаку Зміївської ТЕС (усереднені значення)

Table 1

Chemical composition of ash slag of Zmiiv TPP (average values)

Показник	Fe	Cu	Mn	Cr	As	Cd	Ni	Pb	Zn
Концентрація у золошлаку, С мг/кг	2800	55,4	34	16	27	0,8	135	16	12
Фоновий вміст, мг/кг	1510	5,7	792	1,7	1,5	0,3	14,4	13,9	18,7
ГДК, мг/кг		3	1500	6	2	3	4	30	23
Коефіцієнт забруднення, К		18,5	0	2,7	13,5	0,3	33,8	0,5	0,5
Коефіцієнт концентрації, Кс	1,9	9,7	0	9,4	18	2,7	9,4	1,2	0,6

Для золошлакових відходів сумарний показник забруднення становить $Z_c = 43$, що відповідає високому рівню. Тобто даний штучно створений горизонт є небезпечним.

Міграція елементів із золошлаку визначається властивостями порід, що залягають у основі золівідвалу. У межах золівідвалу в основі золошлакового шару залягають суглинки мулісти, але вони не забезпечують повну ізоляцію підземних вод від гідронамиву. Таким чином, ВМ мігрують у підземні води і у ґрунти поблизу золівідвалу за рахунок інфільтрації вод атмосферних опадів, витоків з водопровідних комунікацій, фільтрації вод через основу золівідвалу Зміївської ТЕС.

Для визначення забруднення ґрунтів біля золівідвалу зроблено аналізи ґрунту на відстані 0, 5, 10, 50 і 100 метрів.

Встановлено зниження концентрації ВМ у ґрунті з відстанню від золошлаковідвалу (рис. 7). На відстані до 100 метрів від відвалу спостерігається перевищення у ґрунті ГДК за вмістом Ni, Cu, As, Cr (рис. 8). Коефіцієнт концентрації перевищує одиницю для Cr, As, Cu, Cd, Ni. Лише на відстані 100 метрів концентрації Pb та Zn досягають фонових значень. Розрахунок

сумарного показника забруднення ґрунтів (рис. 9) дозволяє віднести дані ґрунти до помірно небезпечних та допустимих. Однак є кілька суттєвих недоліків у показника Z_c . Зокрема, він не враховує відмінностей потенційної небезпеки хімічних елементів, а також, що найважливіше, синергетичні ефекти поліметалічного забруднення. Коефіцієнт синергетичного впливу важких металів, який визначено за формулою:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i} \leq 1, \quad (4)$$

становить 26,64 (у ґрунті золівідвалу), далі зменшується, але навіть на відстані 100 метрів становить 11,23, тобто на відстані 0...100 м від золошлаковідвалу не виконується умова не перевищення коефіцієнту сумарної дії одиниці. Петрографічним аналізом з використанням методу імерсійних препаратів встановлено наявність у золі слабо оплавлених зерен кварцу з характерними показниками заломлення. В периферії ізотропно з $N=1,470-1,490$, а в центральній частині аналогічно кварцу з $N_e=1,554$, $N_0=1,543$. Зустрічаються непрозорі бурі з напівметалевим блиском зерна гідроксидів заліза,

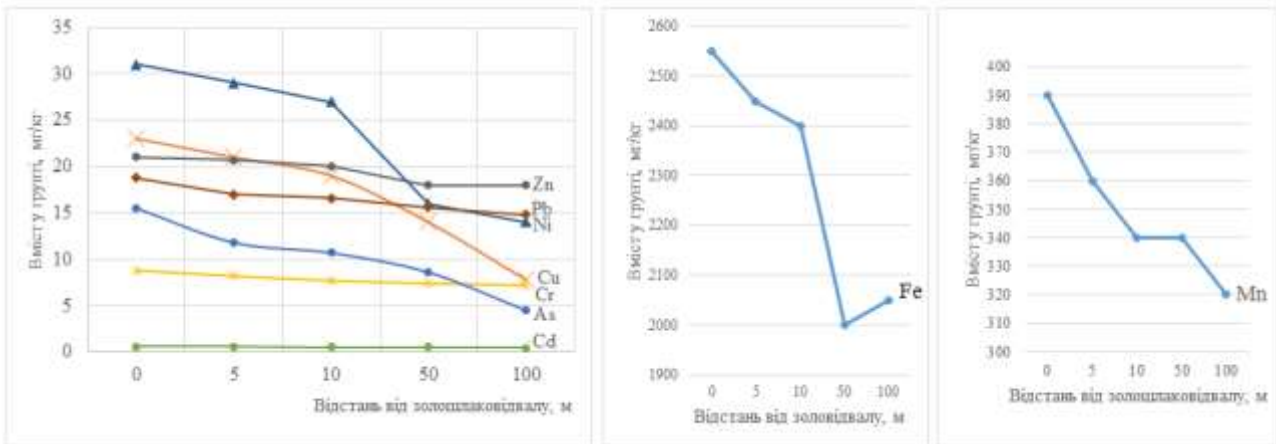


Рис. 7 – Залежність вмісту ВМ у ґрунті від відстані від золошлаковідвалу

Fig. 7 – Dependence of the content of Heavy Metals (HM) in the soil on the distance from the ash and slag dump

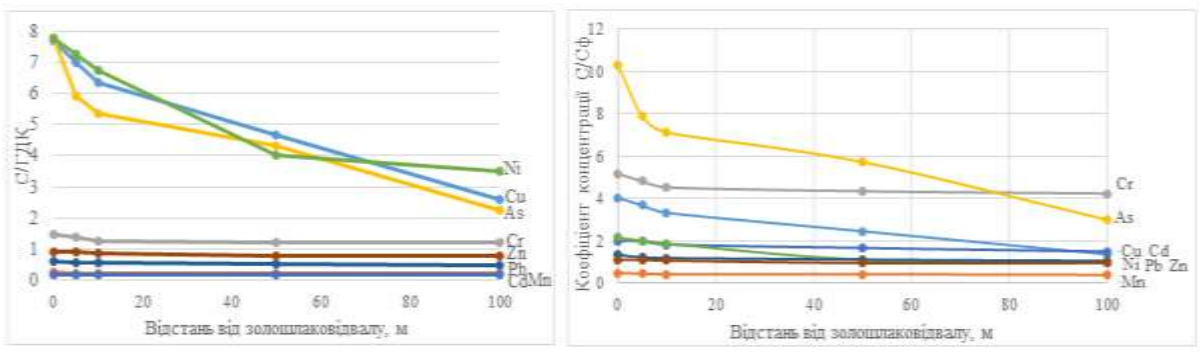


Рис. 8 – Залежність вмісту ВМ у ґрунті від відстані від золошлаковідвалу

Fig. 8 – Dependence of HM content in the soil on the distance from the ash and slag dump

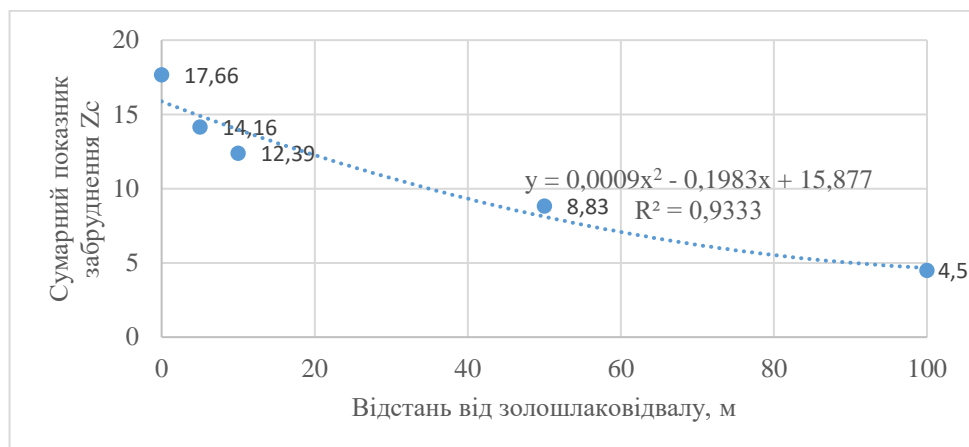


Рис. 9 – Залежність сумарного показника забруднення ґрунтів від відстані від золошлаковідвалу
Fig. 9 – Dependence of the total rate of soil pollution on the distance from the ash and slag dump

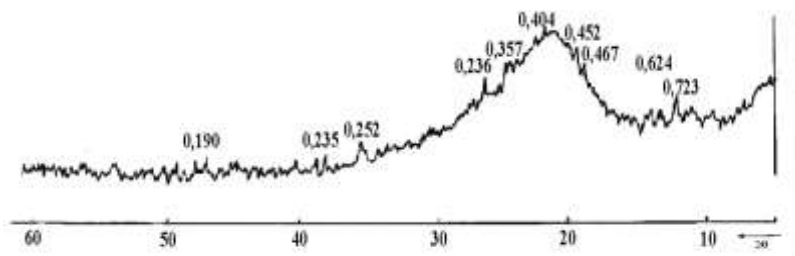


Рис. 10 – Рентгенограма золошлаку Зміївської ТЕС
Fig. 10 – Radiograph of ash slag of Zmiiv TPP

а також білі, прозорі слабо волокнисті зерна, вірогідно, воластоніту CaSiO_3 з $N_q=1,632$, $N_p=1,619$. Нерідко спостерігаються жовтувато бурі зерна з $N_m=1,645$ ймовірно представлені сполуками алюмосилікатів заліза. Скло також переважно залізоалюмосилікатного складу з $N=1,625-1,638$.

Співвідношення мінеральних фаз і скла змінне, проте слід зазначити переважання у золошлаку алюмосилікатів, силікатів кальцію і скла (рис. 10).

Сполуки ВМ приурочені в основному до аморфізованих глинистих агрегатів і сажи-сто-вуглецевим утворенням золи, в меншій мірі до шлакового скла та ще менше до зерен кварцового піску. «Зола: шлакові частинки: кварцовий заповнювач» знаходяться в співвідношенні 8...12 : 61...64 : 20...31%.

Міграція ВМ від золошлаку у компоненти екосистеми залежить від багатьох чинників, одним із визначальних є кислотність середовища.

Раніше нами було вивчено міграційні здатності важких металів за допомогою побудови концентраційно-логіфімічних діаграм [13-17]. Встановлено, що Cu , Ni , Zn і Cr характеризуються низькою рухливістю у ґрунті поблизу золовідвалу, через що вони акумулюються в екосистемі поряд із золовідвалом, що пояснюється нейтральними і слабо-лужними значеннями рН ґрунту (рН=8,0...8,5).

Звичайно забруднення території поблизу золошлаковідвалу відбувається не лише за рахунок міграції ВМ із золошлаку, а й за рахунок вітрового переносу сухих золошлаків з поверхні золовідвалу, пиління.

Висновки

Ґрунти є депонуючим середовищем, їх стан можна вважати інтегральним показником тривалого процесу забруднення екосистеми.

Окрім того, забруднення педосфери пов'язано із забрудненням приземного шару повітря, поверхневих водних об'єктів та ґрунтових вод.

Встановлено наявність у золошлаку Зміївської ТЕС слабо-оплавлених зерен кварцу, гідроксидів феруму, воластоніту, алюмосилікатів феруму і шлакового скла. Золошлак Зміївської ТЕС містить Cu, Cr, As, Cd і Ni в концентраціях, що в декілька разів перевищують ГДК.

Складування золошлаковідходів Зміївської ТЕС призводить до забруднення води, що фільтрується через них, що в свою чергу, погіршує геохімічні властивості ґрунту, а також гідрохімічний склад поверхневих водних об'єктів та підземних вод.

Навіть на відстані до 100 метрів від відвалу спостерігається перевищення у ґрунті

ГДК за вмістом Ni, Cu, As, Cr. Коефіцієнт концентрації перевищує одиницю для Cr, As, Cu, Cd, Ni. Лише на відстані 100 метрів вміст Pb та Zn досягає фонових значень.

Оскільки золошлак містить такі фракції, що можуть легко розноситися вітром, слід припустити, що надходження ВМ у екосистему відбувається і повітряним шляхом, що також сприяє забрудненню атмосферного повітря. Вирішення проблеми утилізації золошлакових відходів слід віднайти у виробництві будівельних матеріалів, у дорожньому будівництві, але необхідно вивчати склад золошлаків і вірогідність міграції ВМ залежно від умов використання.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Bushumov S. A., Korotkova T. G. Determination of physical and chemical properties of the modified sorbent from ash-and-slag waste accumulated on ash dumps by hydraulic ash removal. *Rasayan J. Chem.* 2020. Vol.13. № 3. P.1619-1626. <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2020.1335454>
2. Соколов А. В., Миронов А. В. Опытная рекультивация золошлаков Читинской ТЭЦ-1. *Водные ресурсы и водопользование*. Забайкальский государственный университет, Чита. 2019. 131-137.
3. Прибилова В. М. Оцінка впливу техногенного навантаження на геологічне середовище та особливості накопичення забруднювачів в зоні розміщення Зміївської ТЕС (Харківська область). *Вісник Харківського національного університету серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2013. № 1084. С. 237-243. URL: <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/7591>
4. Kornus, A., Kornus, O., Shyshchuk, V., & Potseluev, V. (2020). The regional nosogeographical analysis and factors affecting population respiratory morbidity (on example of the Sumy region, Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology.*, Vol. 29. № 1. P.82-93. DOI: <https://doi.org/10.15421/112008>
5. Очур-оол А.П., Севен С.С. Экологические аспекты воздействия кызылского золоотвала на окружающую среду. *Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки*. 2019. Т. 2. 71-74. URL: <https://vestnik.vogu35.ru/docs/2019/tekhnich/2/71.pdf>
6. Turhan Ş. et al. (2020) Ecological assessment of heavy metals in soil around a coal-fired thermal power plant in Turkey. *Environmental Earth Sciences*. Vol.79. № 6. P.134. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8864-1>
7. Сниккарс П.Н., Золотова И.Ю., Осокин Н.А. Утилизация золошлаков ТЭС как новая кроссотраслевая задача. *Энергетическая политика*. 2020. №7(149). С. 34-45. URL: <https://energypolicy.ru/utilizacziya-zoloshlakov-tes-kak-novaya-k/energetika/2020/13/21/>
8. Статистичний щорічник України. 2019. Комітет статистики України. Київ, 2020. 465.
9. Крайнюк Е. В. Строительство автомобильных дорог при безопасном использовании фосфогипса и золошлаков ТЭС. Дисс.... Канд. Техн. наук. 2004. 190.
10. Tataru A. C., Stanci A. Research concerning the vegetation development on the ash and slag deposits of Thermal Power Plant Paroseni. 2019. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1297**. 012016 URL:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1297/1/012016>
11. Krainiuk O.V., Buts Y.V., Ponomarenko R.V., Asotskyi V.V., Kovalev P.A. The geoecological analysis performed for the geochemical composition of ash and slag waste obtained at Zmiiv thermal power plant. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 30. №2. 298-305. DOI: <https://doi.org/10.15421/112126>
12. Буц Ю.В., Крайнюк Е.В., Безсонний В.Л. Деякі аспекти сумарного забруднення важкими металами ґрунтів Північно-Східного регіону України. *Проблеми надзвичайних ситуацій. Збірник НУЦЗУ*. Kharkiv: НУЦЗУ. 2006. № 5. С. 51-54. URL: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol5/buc.pdf>
13. Buts, Y., Kraynyuk, O., Asotskyi, V., Ponomarenko, R., & Kalynovskyi, A. (2020). Geoecological analysis of the impact of anthropogenic factors on outbreak of emergencies and their prediction. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. Vol. 29. №1. P.40-48. DOI: <https://doi.org/10.15421/112004>
14. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R., Kovalev, P. (2019). Dynamics of migration capacity of some trace metals in soils in the Kharkiv region under the pyrogenic factor *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. Vol. 28. № 3. P.409-416. DOI: <https://doi.org/10.15421/111938>

15. Buts, Y., Asotskiy, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R. (2018). Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. Vol. 27. №1. P.43-50. DOI: <https://doi.org/10.15421/111829>
16. Крайнюк О.В., Буц Ю.В. Міграційна здатність свинцю у ґрунтах Харківського регіону під дією пірогенного чинника. *Треті Сумські наукові географічні читання: матеріали наук. конф. СумДПУ імені А.С.Макаренка. м. Суми. 10-12 жовт. 2018 р. Суми. 2018. С. 128-131. URL: https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/10910/1/географічні_читання_2018_2.pdf*
17. Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Некос А.Н. Природна пожежа у Рівненському заповіднику та її аналіз. *VinSmartEco: матеріали І Міжнар. наук.-практ. конф. м. Вінниця. 16-18 трав. 2019 р., Вінниця: КВНЗ – Вінницька академія неперервної освіти, 2019. С. 25-26.*

Стаття надійшла до редакції 10.09.2021

Статтю рекомендовано до друку 12.10.2021

O. V. KRAYNYUK¹, Ph.D. (Technical),

Associate Professor of the Department of Metrology and Life Safety

¹*Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo Str., Kharkiv, 61000, Ukraine,*

Y. V. BUTS², DSc (Technical), Professor,

Head of the Department of Technology and Vital Activity

²*Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, 9-A, Nauki Ave. Kharkiv, 61166, Ukraine*

R. V. PONOMARENKO³, DSc (Technical), Senior Research Scientist

Deputy Head of the Department of Fire and Rescue Training

³*National University of Civil Defence of Ukraine, 94, Chernyshevskaya Str., Kharkiv, 61023, Ukraine*

V. V. BARBACHIN⁴, Ph.D. (Technical),

Associate Professor of the Department of Occupational and Life Safety

⁴*Kharkiv National University of Municipal Economy named after O.M. Beketov,*

17, Marshala Bazhanova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine

P. I. LOTSMAN⁵, Ph.D. (Geography),

Associate Professor of the Department of Socio-Economic Disciplines and Geography

⁵*H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, 2, Valentynivska Str., Kharkiv, 61168, Ukraine*

TECHNOGENIC INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF ASH WASTE FROM THE ZMIIV POWER PLANT ON THE PEDOSPHERE

Purpose. To analyze the geochemical composition of ash and slag waste at the Zmiiv Thermal Power Plant (TPP) and to identify the features of migration of heavy metals (HM) from the place of storage of ash and slag waste into the ecosystem. To achieve this goal, the following tasks were solved: geochemical analysis of ash and slag waste at Zmiiv TPP; study of the reliability of HM migration into the soil in the places of ash and slag waste storage.

Methods. Atomic absorption analysis (AAA) on a spectrophotometer S-115. X-ray diffraction analysis was used to determine the solid inorganic part of ash and slag.

Results. Ash and slag of Zmiiv TPP contain Cu, Cr, As, Cd, Ni, Pb in quantities that are several times higher than the maximum permissible concentration (MPC). For ash and slag waste, the total pollution index is $Z_c = 43$, which corresponds to a high level. That is, this artificially created horizon is dangerous. HM migrate into groundwater and into the soil near the ash dump due to the infiltration of atmospheric precipitation, emissions from water pipelines, filtration of water through the base of the ash dump of the Zmiiv TPP. To determine soil contamination near the ash dump, soil analyzes were performed at a distance of 0 ... 100 meters. At a distance of up to 100 meters from the dump, there is an excess of MPC in the soil for the content of Ni, Cu, As, Cr. At a distance of up to 100 meters from the dump, an excess of the MPC in the content of Ni, Cu, As, Cr is observed. Concentration factor exceeds unity for Cr, As, Cu, Cd, Ni. The content of Pb and Zn reaches background values only at a distance of more than 100 meters. The calculation of the total soil pollution indicator allows us to classify these soils as moderately hazardous and permissible. However, there are several significant disadvantages of the Z_c indicator. First of all, it does not take into account the differences in the potential hazard of chemical elements, and, most importantly, the synergistic effects of polymetallic pollution. The coefficient of the synergistic effect of heavy metals is 26.64 (in the soil of the ash dump), then it decreases, but even at a distance of 100 meters it is 11.23, that is, at a distance of 0 ... 100 m from the ash dumps, the condition of the coefficient of synergistic effect is less than one. It has been established that Cu, Ni, Zn and Cr are characterized by low mobility in the soil near the ash dump, therefore they accumulate in the ecosystem near the ash dump, which is explained by the neutral and slightly alkaline soil pH values ($pH = 8.0 \dots 8.5$). The ratio of mineral phases to glass is unstable; however, it should be noted that aluminosilicates, calcium silicates and glass predominate in ash and slag. Compounds with HM are confined mainly to amorphous clay aggregates and sooty-carbon formations of ash, to a lesser extent to slag glass

and even less to grains of quartz sand.

Conclusions. Since the ash contains such fractions that can be easily carried by wind, it should be assumed that the HMs entry into the ecosystem is also by air, which also contributes to air pollution. The solution to the problem of ash and slag waste disposal should be found in the production of building materials, in road construction, but it is necessary to study the composition of ash and slag and the probability of HMs migration depending on the conditions of use.

KEYWORDS: geocological analysis, ash and slag waste, heavy metals, man-made load, ecosystem pollution

References

1. Bushumov S.A. & Korotkova T.G. (2020). Determination of physical and chemical properties of the modified sorbent from ash-and-slag waste accumulated on ash dumps by hydraulic ash removal. *Rasayan J. Chem.*, 13(3), 1619-1626. <https://doi.org/10.31788/RJC.2020.1335454>
2. Sokolov A.V. & Mironov A.V. (2019). Experimental reclamation of ash and slag of the Chita TPP-1 *Water Resources and Water Use*. Transbaikal State University, Chita. 131-137. (in Russian).
3. Pribilova V.M. (2013). Assessment of anthropogenic impact on the geological environment and features of the accumulation of pollutants in the zone of the zmyiv thermal power-station (Kharkiv region). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology*, 39(1084), 237-243. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/7591> (in Ukrainian).
4. Kornus, A., Kornus, O., Shyshchuk, V. & Potseluev, V. (2020). The regional nosogeographical analysis and factors affecting population respiratory morbidity (on example of the Sumy region, Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(1), 82-93. <https://doi.org/10.15421/112008>
5. Ochur-ool A. P. & Seven S. S. (2019). Environmental aspects of the impact of the Kyzyl ash dump on the environment *Bulletin of the Vologda State University. Series: Engineering Sciences*, 2, 71-74. Retrieved from <https://vestnik.vogu35.ru/docs/2019/tekhnich/2/71.pdf> (in Russian).
6. Turhan, Ş., Garad, A. M. K. , Hançerlioğulları, A. ,...& Aydın, A. (2020). Ecological assessment of heavy metals in soil around a coal-fired thermal power plant in Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 79(6), 134. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8864-1>
7. Snikkars P.N., Zolotova I.Yu., Osokin N.A. (2020) Utilization of ash and slag from TPPs as a new cross-sectoral task. *Energy policy*, 7(149). 34-45. Retrieved from <https://energypolicy.ru/utilizacziya-zoloshlakov-tes-kak-novaya-energetika/2020/13/21/> (in Russian).
8. Statistichnij shhorichnik Ukraïni, 2019 (2020). Statistics Service of Ukraine, Kiev. 465. (in Ukrainian)
9. Krainiuk E. V. (2004). Construction of highways with the safe use of phosphogypsum and ash and slag from TPPs dis. Cand. technical sciences. 190. (in Russian).
10. Tataru A. C. & Stanci A. (2019). Research concerning the vegetation development on the ash and slag deposits of Thermal Power Plant Paroseni. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. 1297. 1. 12-16. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1297/1/012016>
11. Krainiuk O.V., Buts Y.V., Ponomarenko R.V., Asotskiy V.V., & Kovalev P.A. (2021). The geocological analysis performed for the geochemical composition of ash and slag waste obtained at Zmiiv thermal power plant *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 30(2), 298-305. <https://doi.org/10.15421/112126>
12. Buts Yu.V., Krainiuk O.V. & Bezsonny V.L. (2006). Some aspects of total heavy metal contamination of soils of the North-Eastern region of Ukraine Problems of emergencies. *Coll. Science. etc. HCC of Ukraine*. Kharkiv: UCZU, 5, 51-54. Retrieved from <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol5/buc.pdf> (in Ukrainian).
13. Buts, Y., Krainyuk, O., Asotskiy, V., Ponomarenko, R., & Kalynovskiy, A. (2020). Geoecological analysis of the impact of anthropogenic factors on outbreak of emergencies and their prediction. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(1), 40-48. <https://doi.org/10.15421/112004>
14. Buts, Y., Asotskiy, V., Krainyuk, O., Ponomarenko, R. & Kovalev P. (2019). Dynamics of migration capacity of some trace metals in soils in the Kharkiv region under the pyrogenic factor. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 28(3), 409-416. <https://doi.org/10.15421/111938>
15. Buts, Y., Asotskiy, V., Krainyuk, O. & Ponomarenko, R. (2018). Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 27(1), 43-50. <https://doi.org/10.15421/111829>
16. Krainiuk, O.V. & Buts, Yu.V. (2018). Migration ability of plumbum in soils of Kharkiv region under the influence of pyrogenic factor. *Proceeding of the Ukrainian scientific conference: Third Sumy Scientific Geographical Readings, SumgPPU named after A.S. Makarenko*. Sumy. 128-131. Retrieved from https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/10910/1/geografichni_chitannya_2018_2.pdf (in Ukrainian).
17. Krainiuk O.V., Buts Yu.V. & Nekos A.N. (2019). Natural fire in the Rivne Reserve and its analysis. *Proceeding of the International Scientific and Practical Conference: VinSmartEco*, Vinnitsa: Vinnitsa Academy of Continuing Education. 25-26. (in Ukrainian).

The article was received by the editors 10.09.2021

The article is recommended for printing 12.10.2021

Е. В. КРАЙНЮК¹, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності
e-mail: alenuvarova@ukr.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9524-040X>

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
ул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61000, Україна,

Ю. В. БУЦ², д-р техн. наук, проф.,
заведуючий кафедри технологій та безпеки життєдіяльності
²Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця,
пр-кт Науки, 9А, Харків, 61000, Україна,

Р. В. ПОНОМАРЕНКО³, д-р техн. наук, старший научний співробітник,
заместитель начальника кафедри пожежної та рятувальної підготовки

³Національний університет громадянської захисту України,
ул. Чернышевская, 94, Харків, 61023, Україна,

В. В. БАРБАШИН⁴, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності
⁴Харківський національний університет міського господарства імені А.Н. Бекетова,
ул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, Україна,

П. И. ЛОЦМАН⁵, канд. географ. наук, доц.,
доцент кафедри соціально-економічних дисциплін та географії
⁵Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди, ул. Валентинов-
ская, 2, Харків, 61168, Україна

ТЕХНОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ЗМИЕВСКОЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ПЕДОСФЕРУ

Цель. Анализ геохимического состава золошлаковых отходов Змиевской ТЭС и выявление особенностей миграции тяжелых металлов (ТМ) от места складирования золошлаковых отходов в экосистему.

Методы. Атомно-абсорбционный анализ на приборе спектрофотометр С-115, рентгенофазовый анализ.

Результаты. Золошлаки Змиевской ТЭС содержат Cu, Cr, As, Cd, Ni, Pb в количествах, которые в несколько раз превышают ПДК. Для золошлаковых отходов суммарный показатель загрязнения составляет $Z_c = 43$, что соответствует высокому уровню. То есть этот искусственно созданный горизонт опасен. ТМ мигрируют в подземные воды и в почву рядом с золоотвалом за счет инфильтрации атмосферных осадков, выбросов из водопроводных коммуникаций, фильтрации вод через основание золоотвала Змиевской ТЭС. Для определения загрязнения почв вблизи золоотвала выполнены анализы грунта на расстоянии 0...100 метров. Установлено уменьшение концентрации ТМ в почве с расстоянием от золошлакоотвала. На расстоянии до 100 метров от отвала наблюдается превышение в почве ПДК по содержанию Ni, Cu, As, Cr. Коэффициент концентрации превышает единицу для Cr, As, Cu, Cd, Ni. Только на расстоянии более 100 метров содержание Pb и Zn достигает фоновых значений. Расчет суммарного показателя загрязнения почв позволяет отнести данные почвы к умеренно опасным и допустимым. Однако, есть несколько существенных недостатков у показателя Z_c он не учитывает различий потенциальной опасности химических элементов, а также, что наиболее важно, синергетические эффекты полиметаллического загрязнения. Коэффициент синергетического влияния тяжелых металлов составляет 26,64 (в почве золоотвала), далее уменьшается, но даже на расстоянии 100 метров составляет 11,23, то есть на расстоянии 0...100 м от золошлакоотвалов не выполняется условие не превышения коэффициента синергетического влияния единицы. Установлено, что Cu, Ni, Zn и Cr характеризуются низкой подвижностью в почве вблизи золоотвала, поэтому они аккумулируются в экосистеме рядом с золоотвалом, что объясняется нейтральными и слабощелочными значениями pH почвы (pH = 8,0...8,5). Соотношение минеральных фаз и стекла неустойчиво, однако следует отметить преобладание в золошлаках алюмосиликатов, силикатов кальция и стекла. Соединения ТМ приурочены в основном к аморфизированным глинистым агрегатам и сажистым-углеродным образованиям золы, в меньшей степени к шлаковому стеклу и еще меньше к зернам кварцевого песка.

Выводы. Решение проблемы утилизации золошлаковых отходов следует найти в производстве строительных материалов, в дорожном строительстве, но необходимо изучать состав золошлаков и вероятность миграции ТМ в зависимости от условий использования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоэкологический анализ, золошлаковые отходы, тяжелые металлы, техногенная нагрузка, загрязнение экосистемы