

Олена Крайнюк^{1*}, Юрій Буц², Павло Лоцман³, Віталій Барбашин⁴

¹ Доцент, к.т.н., доцент, Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вулиця Ярослава Мудрого, 25, Харків, Харківська область, 61002 Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9524-040X>

² Завідувач, проф. д.т.н., Кафедра технологій та безпеки життєдіяльності, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, проспект Науки, 9А, Харків, Харківська область, 61166, Україна. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0450-2617>

³ Доцент, к. геогр. н., Кафедра суспільно-економічних дисциплін і географії, Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди, вулиця Валентинівська, 2, Харків, Харківська область, Україна, 61168 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9894-5728>

⁴ Доцент, к.т.н., Кафедра охорони праці та безпеки життєдіяльності, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, вулиця Маршала Бажанова, 17, Харків, Харківська область, Україна, 61002 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3262-8305>

* Автор, відповідальний за листування: alenuvarova@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛОШЛАКІВ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ З ПОЗИЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

У роботі досліджується практика застосування золошлаків та золи-виносу теплових електростанцій у дорожньому будівництві, як один із способів утилізації промислових відходів.

Метою дослідження є визначення хімічного складу золошлаків ТЕС для вивчення можливості використання їх як сировину для дорожнього будівництва. Для досягнення мети були поставлені такі завдання: визначити основні фізико-хімічні властивості золи та золошлаків ТЕС, надати екологічну оцінку використання даних відходів у дорожньому будівництві.

Хімічний аналіз золошлаків Зміївської, Криворізької, Трипільської, Слов'янської ТЕС проводився для визначення основних компонентів: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O і K_2O . Вміст важких металів (ВМ) визначено за допомогою методу атомно-адсорбційного аналізу.

Досліджено міграційну здатність сполук важких металів із дорожнього полотна при використанні золошлаків при будівництві автомобільних доріг за допомогою побудови концентраційно-логарифмічних діаграм. Для прогнозування міграції сполук важких металів у довкілля при їх використанні у дорожньому будівництві побудовано окремо залежність концентрації найбільш вірогідних іонів (на прикладі купруму) $[\text{Cu}(\text{OH})_n^{2-n}]$ від рН середовища. Доведено відсутність міграції сполук купруму у нейтральному та лужному середовищі, що робить їх використання безпечним. Аналогічні розрахунки виконано для інших важких металів.

Ключові слова: золошлаки ТЕС, міграційна здатність, важкі метали, дорожні основи.

Вступ. В Україні вже накопичено у відвалах ТЕС понад 360 млн. т золошлаків. При цьому утилізується приблизно 0,5...0,7 млн. т золошлакових відходів, що становить 8,3...11,7%. Такими темпами до 2035 року обсяг золовідвалів досягне 415 млн. т. Дана проблема буде ще актуальною тривалий час, оскільки вугілля залишиться важливим енергоносієм в Україні щонайменше на найближчі декілька десятків років [1].

Практика Європейського Союзу у цьому питанні кардинально відрізняється. В ЄС щорічно утилізується не менше 44% золошлакових відходів. У Данії, Італії та Нідерландах один з видів золи утилізується на 100%, зокрема використовується у будівництві замість піску (рис. 1) [1].

Навіть при нормальній експлуатації золошлаковідвалів мають місце прояви несприятливих геоекологічних процесів і явищ, які порушують екологічну рівновагу в районах їх розміщення.

Складування такого обсягу золошлакових матеріалів має негативні екологічні аспекти: споживання води, забруднення ґрунту, стічні води, негативний вплив на ґрунтові води, забруднення повітря при пиленні відвалів [2, 3]. Тому вирішення проблеми утилізації золошлаків є дуже актуальним.

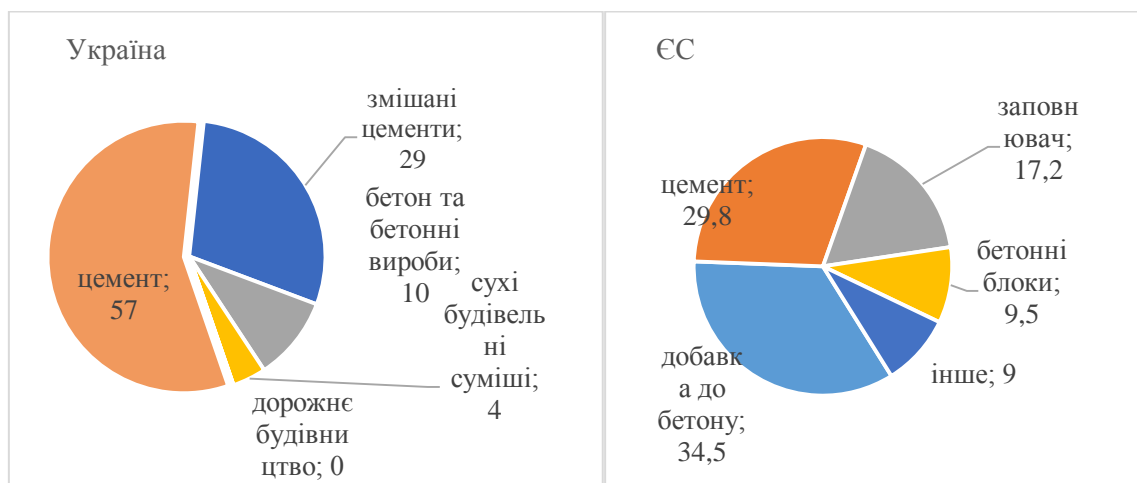


Рис. 1. Напрями використання золошлакових відходів [1]

Вміст компонентів у золошлаках може значно перевищувати значення їх концентрацій у земній корі: CaO може перевищувати значення у 4...12 разів, Al₂O₃ – у 2 рази, Fe₂O₃ – у 1,5...3 рази, MgO – у 2...3 рази. Часто у вугільних відходах України присутні свинець, мідь, цинк, кадмій, хром, нікель та ін., а також радіонукліди. Токсичні та мінеральні компоненти присутні у мінеральній фазі та в органічних частинках. Найбільшу небезпеку вони становлять при впливі на повітря у складі пилу (кварц, муліт, токсичні елементи-домішки, конденсовані ароматичні вуглеводні) та/або у водній фазі (токсичні мікроелементи у рухомій, водорозчинній формі). Крім того шкідливі речовини, що перебувають у складі золошлакових відходів, можуть мати кумулятивну дію. Вони можуть призвести до деградації екосистеми та виникнення різних захворювань людини, у тому числі онкологічних [3].

Золошлакові відходи ТЕС (ЗШВ) – це тверді продукти згоряння вугілля, що складаються в основному з породоутворюючих компонентів. Мінеральна частина вугільного палива на 85...95% складається з глинистих мінералів, аргілітів, алевролітів. Інші 5...15% – сполуки, головним чином, заліза, кальцію та мікроелементів. Золошлакові відходи є дрібнозернистим матеріалом, третина зерен якого має розміри 1...5 мм. Характеристики золошлакових відходів відрізняються на різних теплоелектростанціях, оскільки залежать від особливостей мінералогічного складу вугілля, способу підготовки палива до спалювання, технології спалювання, системи очищення димових газів від золи та способу її транспортування в золовідвали.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Аналіз закордонного досвіду свідчить, що однією з найперспективніших сфер утилізації ЗШВ може і має бути дорожнє будівництво, проте в Україні золошлакові відходи використовують вкрай рідко. Так Компанія ДТЕК Енерго доповіла про реалізацію унікального для країни проекту – будівництві 900 м дороги в районі Бурштинської ТЕС з використанням золошлаків.

З країн Західної Європи перспективні технології щодо використання золошлаків при будівництві автомобільних доріг використовує Франція, яка застосовує «сухе» видалення. Зола ТЕС використовується у всіх елементах дорожньої конструкції: як у верхніх шарах основи як компонент в'язучого, так і в нижніх прошарках дорожнього одягу як мінеральний матеріал, укріплений гідравлічним в'язучим. Також ЗШВ застосовують для укріплення ґрунту. Для

організації процесу утилізації у Франції існують державні пільги для бізнесу, що використовує золу, та запроваджено заборони на використання інших, більш витратних будівельних матеріалів, таких як ґрунт і пісок. Тому майже 100% золи йде на подальшу переробку та утилізацію [5].

У США зола використовується у портландцементі в бетоні, як заповнювач для дорожніх основ і насипах. При цьому покращуються деякі характеристики бетонів: підвищується міцність і збільшується довговічність бетонного виробу. Масштабне застосування золи в будівництві доріг почалося з 1986 р. Зараз, щоб стимулювати ширше використання продуктів згоряння вугілля, Федеральне агентство з охорони навколишнього середовища, міністерство енергетики та Федеральне управління автомобільних доріг, а також Американська асоціація з виробництва золи вугілля та Група з утилізації твердих побутових відходів спільно спонсорують «Партнерство використання продуктів спалювання вугілля». Проект призначений для демонстрації екологічних переваг та потенційних наслідків використання золошлаків [6].

У Німеччині для продуктивного використання ЗШВ на багатьох електростанціях зводять силоси ємністю 40...60 тис. т і обов'язково будують невеликі силоси з добовою та дводобовою ємністю, з яких відбирають проби для лабораторного аналізу золи, що обов'язково для золи, яка використовується у будівельній індустрії. Щорічно у Німеччині 3,1 млн. т цементу замінюється золою. За рахунок цього економляться ресурси та енергія, необхідна для виробництва цементу [7, 8].

Аналіз та оцінка глобальних експериментальних даних щодо використання золи у дорожньому будівництві виконана авторами [9]. Проте утилізація золошлакових відходів у будівництві має певні технічні й організаційні проблеми. Зола неоднорідна за своїм складом та розміром частинок, а будівельна промисловість висуває жорсткі вимоги до характеристик сировини. Також, через неоднорідність свого походження, у складі золи можуть бути компоненти, небажані для тих чи інших виробництв, зокрема токсичні ВМ.

У більшості випадків потрібно, щоб матеріал був сухим, а у золовідвалах він завжди вологий, що також додає труднощів будівельним організаціям. Золошлаки, що утворюються при спалюванні вугілля з різних родовищ, мають мінералогічний та хімічний склад, що істотно відрізняється, і, тому, вимагають індивідуального вибору процесу переробки і раціональних напрямів експлуатації. Ці процеси мають на увазі трудомісткі лабораторні та заводські випробування.

Мета і завдання дослідження. У даній роботі досліджується практика застосування в дорожньому будівництві золошлаків та золи-виносу теплових електростанцій, як один із способів утилізації промислових відходів.

Метою дослідження є визначення хімічного складу золошлаків ТЕС для вивчення можливості використання їх як сировину для дорожнього будівництва. Для досягнення мети були поставлені такі завдання: визначити основні фізико-хімічні властивості золи та золошлаків ТЕС, надати екологічну оцінку використання даних відходів у дорожньому будівництві.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженні як компонент сировинної суміші вивчалися золошлаки відвалів Зміївської, Криворізької, Трипільської, Слов'янської ТЕС. Гранулометричний склад золи-виносу, її питома поверхня визначалися відповідно до нормативних і методичних вимог СОУ 42.1-37641918-104:2013, ДСТУ Б В.2.7-119-2003, ДСТУ Б В.2.7-205:2009, ДСТУ Б В.2.7-211:2009, ДБН В.2.3-4:2007, ГБН В.2.3-37641918-554:2013, ДСТУ Б В.2.7-30:2013.

Хімічний аналіз золи проводився для визначення основних компонентів: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O і K_2O . Вміст важких металів визначено за допомогою методу атомно-адсорбційного аналізу.

Розглянемо склад золошлаків ряду ТЕС України, що виконано у рамках даного дослідження та іншими авторами [10-15] (табл. 1).

Крім наведених макроелементів, що складають основну масу відходів, золошлакові відходи містять мікродомішки таких елементів як цинк, талій, свинець, хром, марганець, кобальт, нікель, ртуть, миш'як, сурма, ванадій, стронцій, германій, бор, берилій, фтор та ін. [16].

За допомогою петрографічного аналізу нами доведено присутність у золошлаку Зміївської теплоелектростанції оплавлених зерен кварцу, що мають відповідні показники заломлення. В периферії ізотропно з $N=1,470-1,490$, а в центральній частині зерна подібні до кварцу з $N_e=1,554$, $N_0=1,543$. Можна спостерігати присутність непрозорих бурих зі слабким металевим блиском зерен гідроксидів феруму. Також виявлено білі, напівпрозорі зерна, імовірно, воластоніту $CaSiO_3$ з $N_q=1,632$, $N_p=1,619$. Знайдені жовто-бурі зерна з $N_m=1,645$ ймовірно вказують на присутність алюмосилікатів феруму. Склоподібні зерна з $N=1,625-1,638$ вказують на залізоалюмосилікатний склад. Співвідношення мінеральної фази і скла змінюється, але можна зазначити, що переважають у золошлаку алюмосилікати, силікати кальцію і скла (рис. 2). Важкі метали зосереджені головним чином у аморфізованих глинистих частинках, у меншій мірі у шлаковому склі та ще менше у зернах кварцового піску. Співвідношення «зола: шлакові частинки: кварцовий заповнювач» можна визначити у співвідношенні як 8...12 : 61...64 : 20...31%.

Таблиця 1. Середній хімічний склад золошлакових відходів ТЕС

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Власні дослідження								
Зміївська	40-60	10,7-20,4	4,0-10,2	2,5-9,9	0,5-5,0	-	-	0,06-2,0
Криворізька	50,8	21,8	10,8	2,4	1,3	-	-	2,1
Трипільська	38-42	20-25	12,1	10,0	1,4	-	-	1,1
Слов'янська	48-53	22-26	8	2-4	1,5	-	-	2,4
Аналіз літературних даних								
Бурштинська [10, 11]	52,1-56,7	22,6-26,6	9,3-13,0	2,5-4,1	1,9-2,4	0,5	1,5-4,5	0,2-0,4
Старобешівська [12]	44-50	24-30	6-8	2,5-4,6	-	-	-	1,2
Краматорська ТЕЦ [12]	49,4	22,5	17,1	10,1	-	-	-	-
Вуглегірська [12]	16,7	40,6	23,0	8,4	-	-	-	0,02
Миронівська [12]	67,8	19,8	10,9	5,5	-	2,8	-	2,1-7,0
Ладижинська [13]	46-55	19-25	9-12	1-1,6	-	-	-	0,5-0,7
Добровірська [14]	46,7	21,4	17,4	4,4	2,0	0,5	1,8	0,4
Запорізька [15]	53-57	18-22	17-20	2-3	1,2-1,6	-	-	1,5
Кларк у земній корі	55,3	14,3	6,7	4,8	3,3	3,2	3,2	-

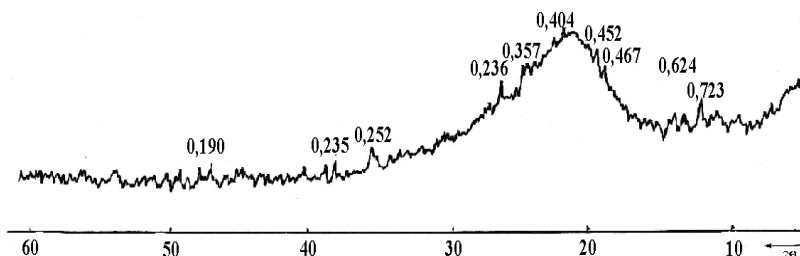
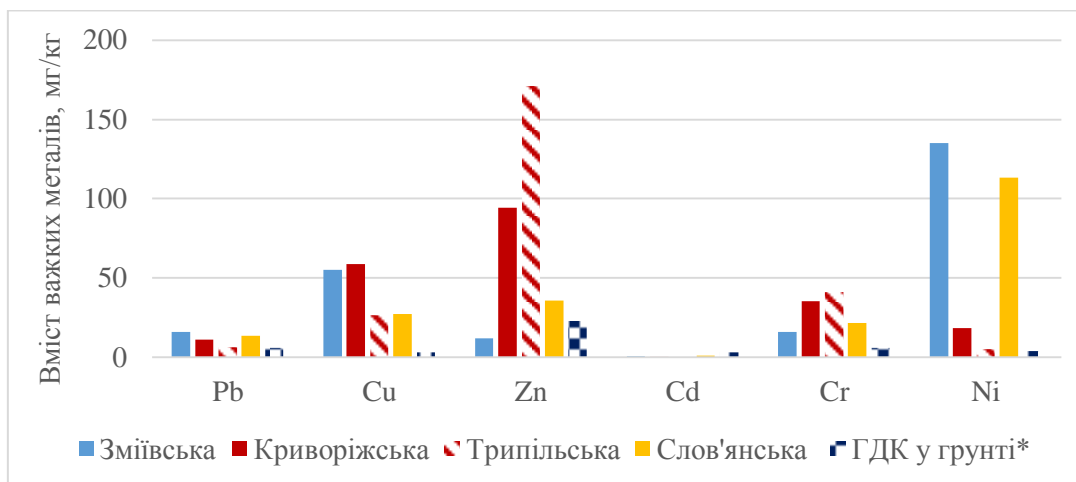


Рис. 2. Рентгенограма золошлаку Зміївської ТЕС

Аналіз золошлаків Зміївської, Криворізької, Трипільської, Слов'янської ТЕС підтверджує наявність у зразках рухомих форм свинцю, курпуму, цинку, хрому, нікелю (рис. 3) у кількості, що у декілька разів перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК).

У золовідвалі відбуваються два процеси. Перший – це випаровування води та утворення так званих «пляжів» у золовідвалі. «Пляж» є сухою ділянкою частинок пилу. Другий процес – інфільтрація води та надходження розчинених форм токсичних компонентів золошлаків у підземні води та водойми поза золовідвалу [4]. Нами також було раніше досліджено міграцію важких металів із золовідвалу Зміївської ТЕС [2]. Тому можна припустити, що подібний процес із міграцією важких металів у докільля матиме місце і при використанні золошлакових відходів у дорожньому будівництві наприклад при будівництві основи дорожнього полотна, укріпленні ґрунтів, при прокладанні шарів дорожнього одягу.



* Наказ МОЗУ 14.07.2020 № 1595 Гігієнічні регламенти допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті

Рис. 3. Вміст важких металів у золошлаках ТЕС (рухлива форма)

Очевидно, що цей спосіб дозволяє утилізувати відходи ТЕС, вирішує екологічні проблеми із накопиченням золошлаків та звільненням території, що відводиться під золовідвали, а також знижує вартість будівництва дороги. Необхідність утилізації золошлаків ТЕС диктується економічними міркуваннями та вимогами охорони довкілля. Золошлаковідвали забруднюють повітряний та водний басейни, змінюють хіміко-мінеральний склад ґрунтів. Пиління відвалів негативно впливає на здоров'я людей та продуктивність сільськогосподарських угідь. Заміна природної сировини на золошлаки сприяє охороні надр, а ліквідація золошлаковідвалів сприятливо позначається на екологічному стані. Однак слід вивчити доцільність використання тих чи інших видів золи та шлаків на різних типах ґрунтів для того, щоб не зіткнутися з проблемою міграції токсичних компонентів із дорожнього полотна на прилеглі сільськогосподарські угіддя.

Досліджені зразки золошлаку автори [17] відносять до відходів з високим вмістом горючих речовин, що унеможливує їх застосування у будівництві дорожніх покриттів. Втрати при прожарюванні становлять 60...76%. Дане ствердження не є умовою для відмови від використання золи та шлаків ТЕС, але підстава для додаткових досліджень золошлаків як з екологічної точки зору, так і з урахуванням питань безпеки та доцільності.

При вивченні можливості міграції важких металів із шарів дорожнього одягу слід враховувати рН середовища. Оскільки рухливі форми можуть утворюватися у окремих умовах.

На підставі побудованих нами концентраційно-логіфімічних діаграм можна прогнозувати рухливість сполук важких металів у залежності від рН середовища (рис. 4). Діаграма вказує на утворення іонів $[Cu(OH)_n]^{2-n}$. У кислому середовищі будуть присутні іони Cu^{2+} , кількість яких зі збільшенням рН в ґрунтового розчині різко зменшується. Наприклад, при рН=4,5 концентрація іонів $[Cu^{2+}]$ може досягати 1 моль/л, при рН=5 $lg[Cu^{2+}]=-1$, тобто концентрація іонів $[Cu^{2+}]$ не буде перевищувати 0,1 моль/л, а при рН=6 $lg[Cu^{2+}]=-3$, тобто концентрація іонів

$[\text{Cu}^{2+}]$ не буде перевищувати 0,001 моль/л, далі при рН більше 7 кількість $[\text{Cu}^{2+}]$ стає незначною, утворюється нерозчинний $\text{Cu}(\text{OH})_2$ і тільки при рН близькому до 14 в незначній кількості утворюються іони $[\text{Cu}(\text{OH})_3^-]$, розчинність яких трохи більше, ніж розчинність $\text{Cu}(\text{OH})_2$, однак теж незначна.

Для спрощення прогнозування міграції сполук купруму побудовано окремо залежність концентрації найбільш вірогідних іонів $[\text{Cu}(\text{OH})_n^{2-n}]$ від рН середовища та створено лінію тренду. За допомогою останньої представимо тенденції у даній моделі і зробимо імовірнісний прогноз (рис. 4). Залежність розчинних сполук купруму від рН піддається такій закономірності:

$$\lg[\text{Cu}(\text{OH})_n^{2-n}] = 0,0068 \cdot \text{pH}^3 - 0,0089 \cdot \text{pH}^2 + 2,2185 \cdot \text{pH} + 9,251 \quad (1)$$

Дана залежність дуже добре узгоджується із побудованою концентраційно-логарифмічною діаграмою, про що говорить достовірність апроксимації $R^2=0,99$. При рН ґрунту більше 6,5...7 купрум утворює важкорозчинні сполуки, що не будуть мігрувати у навколишнє середовище, у прилеглих до дорожнього полотна ґрунті та ґрунтових водах не будуть присутні розчинні та легкодоступні для рослин сполуки купруму. Тобто навидь при наявності у золошлаку купруму у нейтральному та лужному ґрунтах міграція не матиме місце.

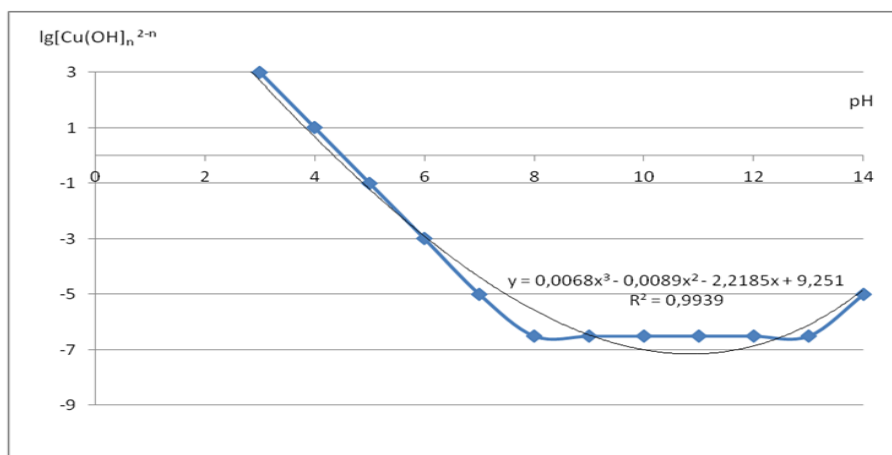


Рис. 4. Залежність утворення частинок $[\text{Cu}(\text{OH})_n^{2-n}]$ від рН ґрунтового середовища

Аналогічні залежності нами побудовано для інших сполук металів: плумбуму, цинку, кадмію, хрому, нікелю та ін., на підставі яких можна судити про можливість міграційних процесів сполук важких токсичних металів у довкіллі [17]. Наприклад при $\text{pH} < 6,5$ плумбум буде знаходитися у розчинній формі у вигляді Pb^{2+} . При $\text{pH} = 9-13$ утворюються нерозчинні частинки $[\text{Pb}(\text{OH})_n^{2-n}]$, головним чином $\text{Pb}(\text{OH})_2$, міграція сполук плумбуму не відбувається, спостерігається його накопичення. У таких умовах використання золошлаків, що мають у своєму складі плумбум не представляє небезпеки для довкілля. Розчинні сполуки цинку, хрому, нікелю здатні утворюватися як у кислому, так і у нейтральному середовищі, лише у лужному ці ВМ знаходяться у важкорозчинній формі і не відбувається їх міграція у навколишнє середовище.

Оскільки часто у складі відходів вугільних ТЕС (ТЕЦ) України присутні Pb, Cu, Zn, Cd, Cr, Ni тощо, а також радіонукліди автори підкреслюють важливість поставлених питань як з позицій екологічної безпеки, так і в зв'язку з перспективами використання золошлакових матеріалів.

З урахуванням світового досвіду можна запропонувати такі заходи щодо активізації застосування золошлакових відходів у дорожньому будівництві:

1. З метою скорочення обсягів золовідвалів ТЕС мають відпускати їх споживачам безоплатно, що слід встановити на законодавчому рівні.

3. Необхідно виконати регіональні дослідження з вивчення екологічних та будівельних властивостей золошлаків ТЕС України для надання проектним організаціям необхідної інформації.

4. На регіональному рівні зобов'язати проектні організації передбачати використання золошлаків у проектах автомобільних шляхів.

5. Необхідно передбачити заходи економічної підтримки дорожніх організацій, що застосовують золошлаки, та їх економічного стимулювання.

Висновки. Зола від вугілля різних родовищ країни суттєво відрізняється хімічним складом, вмістом і співвідношенням головних елементів, а також присутністю та кількістю важких металів, що є визначальним для аналізу доцільності промислового використання золошлаків у дорожньому будівництві. Тому у кожному конкретному випадку необхідне комплексне дослідження хімічного складу золошлаків. Дослідження, спрямовані на моніторинг й оцінювання впливу золошлаків на навколишнє середовище, мають привернути увагу фахівців щодо вирішення проблеми утилізації золошлакових відходів з урахуванням світового досвіду та зменшення шкідливого впливу цих відходів в майбутньому.

Необхідність утилізації золошлаків диктується економічними міркуваннями та вимогами охорони довкілля. Золошлаковідвали забруднюють повітряний та водний басейни, змінюють хіміко-мінеральний склад ґрунтів. Пиління відвалів негативно впливає на здоров'я людей та продуктивність сільськогосподарських угідь. Заміна природної сировини на золошлаки сприяє охороні надр, а ліквідація відвалів сприятливо позначається на екологічній обстановці.

Але використовувати золошлаки слід тільки після ретельного дослідження його складу. Досліджений склад золошлаків Зміївської, Криворізької, Трипільської, Слов'янської ТЕС, встановлено присутність таких металів як Pb, Cu, Zn, Cd, Ni, у кількостях, що у десятки разів перевищують ГДК у ґрунті. Досліджено міграційну здатність сполук важких металів із дорожнього полотна при використанні золошлаків при будівництві автомобільних доріг за допомогою побудови концентраційно-логіарифмічних діаграм. На прикладі купрум доведено, що при використанні золошлаків у нейтральному та лужному середовищі міграція у довкілля не матиме місце, що дає змогу використовувати золи та золошлаки ТЕС для влаштування дорожньої основи. Аналогічні розрахунки виконано і для інших важких металів.

Авторами досліджено карту ґрунтів України для аналізу можливості використання золошлаків у дорожньому будівництві, що планується обговорювати у наступних публікаціях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Григоренко Ю. З двох зол: Україна може наростити утилізацію золошлаків в 11 разів // GMK Center, 26 травня 2021.– URL: <https://gmk.center/ua/posts/z-dvoh-zol-ukraina-mozhe-narostiti-utilizaciju-zoloshlakiv-v-11-raziv>
2. 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. Geocology, 2021. 30(2). P. 298-305. DOI: <https://doi.org/10.15421/112126>.
3. 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. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-06>
4. Popov, O., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Kameneva, I., Radchenko, O., Romanenko, Effect of Power Plant Ash and Slag Disposal on the Environment and Population Health in Ukraine // Journal of Health Pollution 11.31 (2021): 210910. DOI: <https://doi.org/10.5696/2156-9614-11.31.210910>
5. XU, Gang; SHI, Xianming. Characteristics and applications of fly ash as a sustainable construction material: A state-of-the-art review // Resources, Conservation and Recycling, 2018, 136: 95-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.010>
6. Lindon, K. A. Properties and use of coal fly ash: Use of fly ash for road construction, runways and similar projects. – London, 2015. – 132 p.
7. Vateva, Iveta, and David Laner. Grain-size specific characterisation and resource potentials of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash: A German case study // Resources, 2020. 9(6). P. 66. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources9060066>

10. Koshlak H. V., Pavlenko A. M. (2021) Perspektyvy vykorystannia zoly TES dlia vyhotovlennia budivelnykh materialiv [Prospects for the use of TPP ash for the production of building materials] *Ecological safety and balanced resource use: Scientific and technical journal*, 1. 92–101. [in Ukrainian] DOI: 10.31471/2415-3184-2021-1(23)-92-101.
11. Myroniuk I.F., Tatarchuk T.R., Vasylieva H.V., Yaremii I.P., Mykytyn I.M. (2018) Morfolohiia, fazovi sklad ta radiolohichni vlastyvyosti zoly vynosu Burshtynskoi teplovoi elektrostantsii [Morphology, phase composition and radiological properties of fly ash from the Burshtyn thermal power plant] // *PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE*, 19(2). 171-178 [in Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.19.2.171-178> .
12. Iatsyshyn A. V., Matvieieva I. V., Kovach V. O., Artemchuk V. O., Kameneva I. P. (2018) Osoblyvosti vplyvu zolovidvaliv pidpriemstv teploenerhetyky na navkolysnhie seredovyshe [Peculiarities of environmental impact of ash disposals of thermal power plants] *Problems of emergency situations*, 2(28). 57–68. [in Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2594489>.
13. Vozniuk I. M. Postolatii M. O., Kovalskyi V. P. (2019) Vykorystannia vidkhodiv promyslovosti v tekhnologii vyrobnytstva budivelnykh materialiv. [The use of industrial waste in the technology of production of building materials] *Actual tasks of modern technologies Collection of theses of reports of the VIII International scientific and technical conference of young scientists and students*. 1. 54–55. [in Ukrainian].
14. Zvit shchodo provedennia analizu sytuatsii z zolozhuzhelovymy vidvalamy na terytorii Lvivskoi ta Ivano-Frankivskoi oblasti v ramkakh realizatsii Proektu Prohramy Transkordonnoho Spivrobotnytstva Polshcha-Bilorus-Ukraina 2007 – 2013 «Rozvytok pidpriemnytstva shliakhom pokrashchennia dostupu do investytsiinykh dilianok u misti Liubachiv ta gmini Liubachiv, a takozh vidnovlennia dehradovanykh zemel Yavorivskoho raionu ta m. Novyi Rozdil (2015) [Report on the analysis of the situation with rock dumps in the territory of Lviv and Ivano-Frankivsk regions in the framework of the implementation of the Project of the Cross-Border Cooperation Program Poland-Belarus-Ukraine 2007 - 2013 "Development of entrepreneurship by improving access to investment sites in the city of Lyubache and restoration of degraded lands of Yavorivsky district and the city of New Section]» 1.- URL: <http://institute.org.ua/doc/zvitzola1Final.pdf> [in Ukrainian].
15. Tishchenkova M. O. (2021) Pokrashchennia ekolohichnoho stanu atmosferneho povitria navkolo zoloshlakovidvalu TOV «devro-Rekonstruktsiia» shliakhom zastosuvannia poliakrylamidnoi kompozytsii [Improving the ecological state of the atmospheric air around the ash and slag doors of Euro-Reconstruction LLC by using a polyacrylamide composition]. Dis. ... cand. tech. sciences on special 06/21/01 "Environmental safety", Kyiv. 126. [in Ukrainian].
16. Serdiuk V. R. Rudchenko D. H. Hudz D. V. (2021) Vykorystannia zoly vynosu Burshtynskoi TES v tekhnologii vyrobnytstva avtoklavnoho hazobetonu [Use of fly ash from Burshtynskaya TPP in autoclaved aerated concrete production technology] *Bulletin of the Vinnytsa Polytechnic Institute*. 2. 24–31. [in Ukrainian].
17. Buts Y., Asotskyi V., Kraynyuk O., Ponomarenko R., Kovalev P. (2019) Dynamics of migration property of some heavy metals in soils in Kharkiv region under the influence of the pyrogenic factor *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 28(3). 409-416. DOI <https://doi.org/10.15421/111938>

Olena Krainiuk¹, Yuri Buts², Pavel Lotsman³, Vitaly Barbashyn⁴

¹ Assistant professor, Department of Metrology and Life Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudrogo st, 25, Kharkiv, 61002, Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9524-040X>

² Professor, Department of Technology and Life Safety, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, prosp. Nauky, 9A, 61001, Kharkiv, Ukraine. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0450-2617>

³ Assistant professor, Department of Socio-Economic Disciplines and Geography, H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Valentynivska St, 2, Kharkiv, Ukraine, 61168. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9894-5728>

⁴ Assistant professor, Department of labor protection and life safety, O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Bazhanov Street, Kharkiv, 61002, Ukraine ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3262-8305>

THE USE OF ASH AND SLAG IN ROAD CONSTRUCTION IN THE POSITION OF ENVIRONMENTAL SAFETY

This paper explores the practice of using ash and slag and fly ash from thermal power plants in road construction as one of the ways to dispose of industrial waste.

The purpose of the study is to determine the chemical composition of TPP ash and slag to study the possibility of using it as a raw material for road construction. To achieve the goal, the following

tasks were set: to determine the main physical and chemical properties of ash and ash and slag from thermal power plants, to give an environmental assessment of the use of these wastes in road construction.

Chemical analysis of ash and slag from Zmievskaya, Krivorozhskaya, Trypilskaya, Slavyanskaya TPPs was carried out to determine the main components: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O and K_2O . The content of heavy metals was determined using the method of atomic absorption analysis.

The migration ability of heavy metal compounds from the roadway using ash and slag in the construction of roads has been studied using the construction of concentration-logarithmic diagrams. To predict the migration of heavy metal compounds into the environment when they are used in road construction, a separate dependence of the concentration of the most probable ions was plotted (for example, cuprum) $[\text{Cu}(\text{OH})_n^{2-n}]$ on the pH of the environment. The lack of migration of cuprum compounds in a neutral and alkaline environment has been proven, which makes their use safe. Similar calculations were made for other metals.

Keywords: TPP ash and slag, migration capacity, heavy metals, road bases.