

О. В. Березюк, д. т. н., доц.

РЕГРЕСІЙНА ЗАЛЕЖНІСТЬ КОНЦЕНТРАЦІЇ МІДІ В ҐРУНТАХ ПРИ ВІДДАЛЕННІ ВІД ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Протягом останнього часу в Україні значно зросла загальна площа полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ, в тому числі й перевантажених, які порушують норми екологічної безпеки та є об'єктами інтенсивного екологічного навантаження. Що загрожує забрудненням навколишнього середовища хімічними речовинами, спричиняючи хімічне забруднення важкими металами ґрунтів, зокрема міддю. Тому, визначення регресійної залежності концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігонів твердих побутових відходів є актуальною науково-технічною задачею. Метою дослідження є визначення регресійної залежності концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігонів твердих побутових відходів. Під час проведення дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором раціонального виду функції із шістнадцяти найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції. Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір. Отримано адекватну регресійну степеневу залежність концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігонів твердих побутових відходів, яку можна застосувати для визначення рівня хімічного забруднення ґрунтів міддю. Побудовано графічну інтерпретацію залежності концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка дозволяє наочно проілюструвати цю залежність та показати збіжність теоретичних результатів з фактичними на рівні 0,99798. Визначено, що відстань від полігону твердих побутових відходів, на якій забруднення ґрунту міддю не перевищує гранично допустиму концентрацію, складає 25,5 м.

Ключові слова: сміттєзвалище, полігон, тверді побутові відходи, хімічне забруднення, концентрація, мідь, ґрунт, регресійний аналіз.

Вступ

На охорону навколишнього природного середовища та здоров'я людини великий негативний довготривалий вплив справляють тверді побутові відходи (ТПВ) [1, 2], які є гетерогенною багатокомпонентною сумішшю складного морфологічного складу, на відміну від будівельних [3, 4] чи промислових [5] відходів, які є, в основному, однорідними й порівняно легко піддаються переробці. Щорічний об'єм утворення ТПВ на території нашої держави перевищує 54 млн. м³. Основна частина яких захоронюється на 6107 полігонах та сміттєзвалищах площею майже 7700 га та лише частково переробляються або утилізуються на сміттєспалювальних заводах, на відміну від високорозвинутих країн, відомих широким застосуванням сучасних технологій переробки та утилізації ТПВ [6]. Протягом 1999 - 2014 рр. втричі збільшилась сумарна площа полігонів та сміттєзвалищ в Україні. Майже вдвічі зросла площа перевантажених та більше ніж втричі тих полігонів і сміттєзвалищ, які порушують норми екологічної безпеки, загрожуючи забрудненням навколишнього середовища (повітря, води та ґрунтів). Зокрема хімічним забруднення ґрунтів важкими металами, наприклад міддю, що спричиняє захворювання живих організмів [7], забруднення прилеглих земельних ділянок [8]. Саме тому для запобігання зростанню темпів зростання площ полігонів та їхнього негативного впливу на навколишнє природне середовище сміттєвози під час завантаження виконують технологічну операцію ущільнення ТПВ [9, 10]. Зменшенню темпів зростання площ полігонів також сприятиме зневоднення ТПВ [11].

Постановка проблеми

Згідно з текстом Постанови Кабінету Міністрів України № 265 до пріоритетних напрямів поведінки з ТПВ в Україні відноситься забезпечення організації контролю за наявними та закритими полігонами ТПВ для запобігання шкідливому впливу на довкілля та здоров'я людини [12]. Тому визначення регресійної залежності концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігону твердих побутових відходів, що може бути використана для визначення рівня хімічного забруднення ґрунтів міддю, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі [13] запропоновано математичні моделі прогнозування об'ємів утворення ТПВ та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні, які дозволили встановити, що загальна площа полігонів та сміттєзвалищ, а також тих, що не відповідають нормам екобезпеки збільшується з часом приблизно за експоненціальним законом, а площа перевантажених полігонів та сміттєзвалищ, як тих, що відповідають, так і тих, що не відповідають нормам екобезпеки зростає щорічно майже за лінійним законом. З метою зменшення темпів зростання площ полігонів виконується технологічна операція ущільнення ТПВ під час завантаження у сміттєвоз [9, 10]. При цьому високий коефіцієнт ущільнення ТПВ сприяє більш ефективному використанню площі полігона захоронення [14, 15].

Питанню забруднення ґрунтів важкими металами через захоронення ТПВ присвячені роботи [16 - 19]. В статті [20] наведені дані стосовно впливу важких металів на мікробіоценоз дерново-слабопідзолистого ґрунту.

Детальний огляд найбільш поширених методів ремедіації важких металів в ґрунті викладено в роботі [21]. В матеріалах статті [22] наведено дані щодо питомих затрат електроенергії на зменшення концентрацій важких металів (кадмій, свинець та цинк) в ґрунті полігонів ТПВ методом електрохімічної ремедіації, який ґрунтується на використанні електричного струму для виділення відповідних забруднюючих речовин. Таким методом можна відновлювати ґрунти безпосередньо на поверхні землі без їх відбору у спеціальні ємності, що робить процес менш енергоємним. В матеріалах статті [23] визначено регресійну залежність питомих енерговитрат на очищення ґрунтів полігонів ТПВ через забруднення такими важкими металами, як кадмій, свинець та цинк, від їхніх фактичних та граничнодопустимих концентрацій. В роботі [24] виконані дослідження з удосконалення математичної моделі питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ через забруднення важкими металами від концентрацій кобальту, міді, нікелю, хрому, ванадію та марганцю, що дозволяють оцінити енерговитрати очищення забруднених ґрунтів від вказаних шкідливих речовин.

В статті [25] автори наголошують, що традиційно міське середовище вирішує проблему накопичення відходів за рахунок сільських територій, внаслідок чого виникає проблема їхнього забруднення через погіршення якості ґрунтів, води, повітря, а також встановлено, що полігон ТПВ може бути причиною погіршення якості питних вод та санітарно-гігієнічного стану ґрунтів на прилеглих сільськогосподарських територіях. В матеріалах роботи [26] визначено адекватну регресійну степеневу залежність концентрації нафтопродуктів в ґрунтах від відстані до полігонів твердих побутових відходів, яку застосовано для визначення безпечної відстані розміщення полігонів твердих побутових відходів від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня хімічного забруднення ґрунтів нафтопродуктами.

Встановлено закономірності розподілу валових і рухомих форм міді по генетичних горизонтах ґрунтового профілю основних типів ґрунтів агро- та лісових екосистем Житомирського Полісся та оцінено рівень забруднення ґрунтового покриву рухомими формами міді [27]. В роботі [28] обґрунтовано використання способу ремедіації ґрунту

техногенно поліелементно забрудненого переважно Cd, Zn і Cu, у якому за рахунок використання як сорбент-меліоранту сполук сульфату заліза (II) і фосфорних добрив у певному співвідношенні за градацією забруднення ґрунтів забезпечується підвищення ефективності їх екологічної реабілітації та відновлення їхніх природних буферних властивостей шляхом впливу на процеси міграції важких металів різних класів небезпечності і трофічного режиму у ґрунтах та продуктивності рослин з підвищеними показниками екологічної безпеки.

У статті [29] проведено дослідження хімічного складу ґрунтів навколо полігону ТПВ с. Тішне Міжгірського району Закарпатської області, зокрема концентрація забрудненості міддю на різних відстанях від полігону. Однак конкретних математичних залежностей концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігону твердих побутових відходів, в результаті аналізу відомих публікацій, автором не виявлено.

Мета і завдання статті

Метою цієї статті є використання методу регресійного аналізу при визначенні концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігону твердих побутових відходів, що може бути використано для визначення рівня хімічного забруднення ґрунтів міддю.

Методи і матеріали

Для визначення регресійної залежності концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігону ТПВ використано такі методи: аналізу літературних джерел, регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, комп'ютерного моделювання.

Результати досліджень

На основі даних, наведених в роботі [29], планувалось отримати парну регресійну залежність концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігонів ТПВ.

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, що дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів [30] за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz" [31], яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір, і детально описана в роботі [32].

Програма "RegAnaliz" дозволяє проводити регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором раціонального виду функції із 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції зі збереженням результатів в форматі MS Excel та Bitmap.

Результати регресійного аналізу наведені в таблиці 1, де сірим кольором позначено комірку з максимальним значенням коефіцієнта кореляції R , що відповідає степеневій функції №16.

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних таблиці 1, як найбільш адекватну остаточно прийнято таку регресійну залежність:

$$C_{Cu} = 3,897 - 0,4692x^{0,2} = 3,897 - 0,4692\sqrt[5]{x} \quad [\text{мг/кг}], \quad (1)$$

де C_{Cu} – концентрація міді в ґрунті, мг/кг; x – відстань до полігону ТПВ, м.

На рис. 1 показані фактичну та теоретичну графічну залежність концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігону ТПВ.

Порівняння фактичних та теоретичних даних показало, що теоретичні концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігону ТПВ, розраховані за допомогою рівняння регресії (1), несуттєво відрізняються від даних, наведених в роботі [29], що підтверджує визначену раніше точність отриманої залежності на рівні 0,99798.

Таблиця 1

Результати регресійного аналізу залежності концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігону ТПВ

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,77577	9	$y = ax^b$	0,68266
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,95121	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,80539
3	$y = a + b / x$	0,80453	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,80652
4	$y = x / (a + bx)$	0,98948	12	$y = a / (b + x)$	0,95121
5	$y = ab^x$	0,88203	13	$y = ax / (b + x)$	0,55063
6	$y = ae^{bx}$	0,88203	14	$y = ae^{b/x}$	0,68160
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,88203	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,68160
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,55062	16	$y = a + bx^n$	0,99798

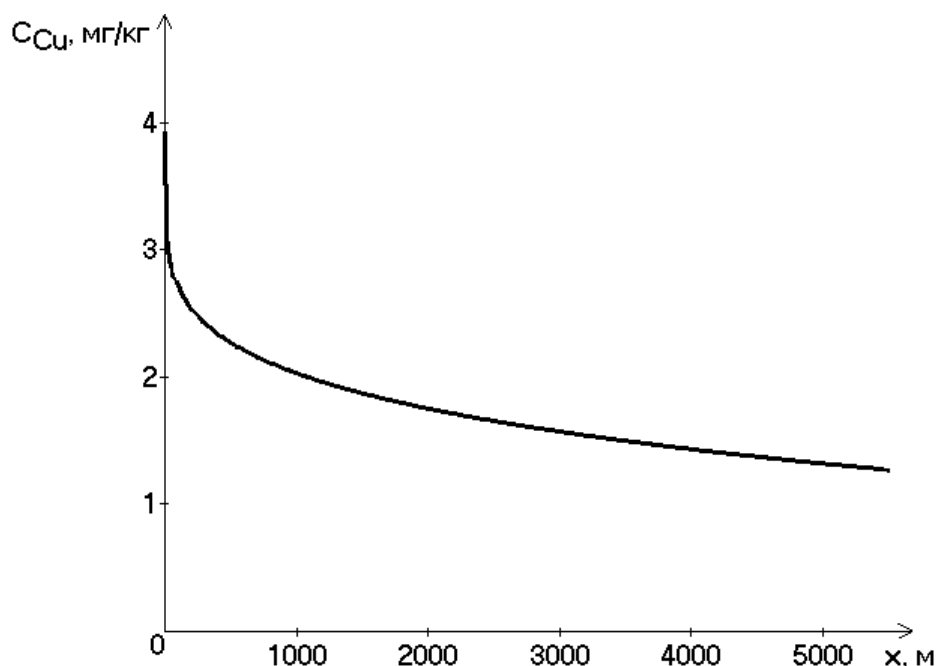


Рис. 1. Зміна концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігону ТПВ

Оскільки ГДК міді в ґрунті складає $ГДК = 3$ мг/кг [29], то безпечна відстань від полігона ТПВ, на якій забруднення ґрунту міддю не перевищує ГДК складатиме

$$x = \left(\frac{3,897 - C_{Cu}}{0,4692} \right)^5 = \left(\frac{3,897 - 3}{0,4692} \right)^5 \approx 25,5 \text{ (м)}.$$

Висновки

1. Використано метод регресійного аналізу при визначенні концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігону твердих побутових відходів, що застосовано для визначення рівня хімічного забруднення ґрунтів міддю.

2. Побудовано графічну зміну концентрації міді в ґрунтах від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка дозволяє наглядно проілюструвати дану регресійну залежність та показати збіжність теоретичних результатів з фактичними на рівні 0,99798.

3. Встановлено, що концентрація міді в ґрунтах зі збільшенням від відстані до полігону твердих побутових відходів спадає за степеневою залежністю.

4. Визначено, що відстань від полігона ТПВ, на якій забруднення ґрунту міддю не перевищує граничнодопустиму концентрацію, складає 25,5 м.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Hamer G. Solid waste treatment and disposal : effects on public health and environmental safety / G. Hamer // *Biotechnology advances*. – 2003. – Vol. 22, № 1 – 2. – P. 71 – 79.
2. Сагдеева О. А. Оцінка рівня екологічної небезпеки звалищ твердих муніципальних відходів / О. А. Сагдеева, Г. В. Крусір, А. Л. Цикало // *Екологічна безпека*. – 2018. – № 1. – С. 75 – 83.
3. Лемішко К. К. Використання промислових відходів енергетичної та хімічної галузі в технології виготовлення будівельних виробів / К. К. Лемішко, М. Ю. Стаднійчук, М. С. Лемешев // *Матеріали науково-практичної конференції «Енергія. Бізнес. Комфорт»*, 26 грудня 2018 р. – Одеса : ОНАХТ, 2019. – С. 23 – 25.
4. Ковальський В. П. Використання золи вносу ТЕС у будівельних матеріалах / В. П. Ковальський, О. С. Сідлак // *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: науково-технічний збірник*. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – № 1 (16). – С. 35 – 40.
5. Синюк О. М. Наукові основи проектування обладнання для переробки полімерних відходів у виробі легкої промисловості : дис. ... докт. техн. наук : 05.05.10 / Синюк Олег Миколайович. – Хмельницький, 2018. – 485 с.
6. Мороз О. В. Економічні аспекти вирішення екологічних проблем утилізації твердих побутових відходів : монографія / О. В. Мороз, А. О. Свентух, О. Т. Свентух. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 110 с.
7. Піскун Р. П. Функціональна морфологія головного мозку при атеросклерозі в експерименті та під впливом вінпоцетину / Р. П. Піскун, С. М. Горбатюк // *Таврический медико-биологический вестник*. – 2006. – Т. 9. – № 3. – С. 100 – 113.
8. Березюк О. В. Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час літнього компостування / О. В. Березюк, С. М. Горбатюк, Л. Л. Березюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2013. – № 4. – С. 17 – 20.
9. Березюк О. В. Структура машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів / О. В. Березюк // *Вісник машинобудування та транспорту*. – 2015. – № 2. – С. 3 – 7.
10. Березюк О. В. Шляхи підвищення ефективності пресування твердих побутових відходів у сміттєвозах / О. В. Березюк // *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві : науково-технічний збірник*. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – № 1 (6). – С. 111 – 114.
11. Березюк О. В. Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом / О. В. Березюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2018. – № 5. – С. 18 – 24.
12. Кабінет Міністрів України. Постанова № 265 “Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами” [Електронний ресурс] 4 березня 2004. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>.
13. Березюк О. В. Математичне моделювання прогнозування об’ємів утворення твердих побутових відходів та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні / О. В. Березюк // *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: Науково-технічний збірник*. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – № 2. – С. 88 – 91.
14. Березюк О. В. Привод зневоднення та ущільнення твердих побутових відходів у сміттєвозі / О. В. Березюк // *Вісник машинобудування та транспорту*. – 2016. – № 2. – С. 14 – 18.
15. Попович В. В. Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище" / В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2017. – Т. 27, № 10. – С. 111 – 116.
16. Heavy metal distribution in soil and plant in municipal solid waste compost amended plots / F. Ayari, H. Hamdi, N. Jedidi [et al.] // *Int. J. Environ. Sci. Tech.* – 2010. – № 7 (3). – P. 465 – 472.
17. Impact Assessment of Contamination Pattern of Solid Waste Dumpsites Soil: A Comparative Study of Bauchi Metropolis / D. S. Buteh, I. Y. Chindo, E. O. Ekanem[et al.] // *World Journal of Analytical Chemistry*. – 2013. – Vol. 1, № 4. – P. 59 – 62.
18. Tripathi A. A study of physico-chemical properties and heavy metals in contaminated soils of municipal waste dumpsites at Allahabad India / A. Tripathi, D. R. Misra // *International Journal Of Environmental Sciences*. – 2012. – Vol. 2, № 4. – P. 1 – 10.
19. Chao Su. A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques / Chao Su, Li Qin Jiang, Wen Jun Zhang // *Environmental Skeptics and Critics*. – 2014. – № 3 (2). – P. 24 - 38.
20. Гринчишин Н. М. Вплив важких металів на мікробіоценоз дерново-слабодізолистого ґрунту / Н. М. Гринчишин, Т. М. Лозовицька // *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. – 2009. – Т. 11, № 2 (41), Ч. 4. – С. 54 – 57.
21. Nanda S. Remediation of heavy metal contaminated soil / S. Nanda, J. Abraham // *African Journal of Biotechnology*. – 2013. – Vol. 12 (21). – P. 3099 – 3109.
22. Лысенко Л. Перспективы решения проблемы загрязнения почв тяжелыми металлами / Л. Лысенко, М. Пономарев, Б. Корнилович // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. – 2001. – № 4. – С. 59 – 63.

23. Березюк О. В. Моделювання питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами / О. В. Березюк // Комунальне господарство міст. Серія: безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика. – 2015. – № 1 (120). – С. 240 – 242.
24. Березюк О. В. Удосконалення математичної моделі питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами / О. В. Березюк // Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи : II міжнар. наук.-практ. конф. : матеріали конф. – Львів : ЛДУ БЖД, 2015. – С. 185 – 187.
25. Макаренко Н. А. Вплив полігонів твердих побутових відходів на прилеглі сільські території / Н. А. Макаренко, О. О. Будак // Таврійський науковий вісник. – 2015. – № 93. – С. 227 – 233.
26. Регресійний аналіз концентрації нафтопродуктів в ґрунтах полігонів твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2022. – № 3. – Режим доступу до журналу : <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/658/622>.
27. Мислива Т. М. Мідь у ґрунтах Житомирського Полісся / Т. М. Мислива // Вісник ЖНАЕУ. – 2010. – № 2. – С. 30 – 45.
28. Екологічна реабілітація ґрунтів техногенно забруднених переважно кадмієм, цинком та міддю / В. Л. Самохвалова, Я. А. Погромська, А. І. Фатеев та ін. // Gruntoznavstvo. – 2014. – № 1 – 2. – С. 42 – 52.
29. Вплив сміттєзвалищ на показники захворюваності сільського населення та поширеності серед нього хвороб / С. В. Делеган-Кокайко, Г. О. Слабкий, В. В. Лук'янова [та ін.] // Екологічна безпека та природокористування. – 2020. – № 2 (34). – С. 43 – 52.
30. Михалевич В. М. Математичні системи комп'ютерної алгебри як засіб підвищення ефективності і якості освітнього процесу з вищої математики / В. М. Михалевич, О. І. Шевчук, Н. Л. Буга // Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми // Зб. наук. прац.– Київ-Вінниця : ДОВ «Вінниця», 2007. – Випуск 14. – С. 357 - 360.
31. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz") / О. В. Березюк // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486. – К. : Державна служба інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 03.06.2013.
32. Березюк О. В. Встановлення регресій параметрів захоронення відходів та потреби в ущільнювальних машинах на основі комп'ютерної програми "RegAnaliz" / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 1. – С. 40 – 45.

Стаття надійшла до редакції 20.06.2023.

Стаття пройшла рецензування 10.09.2023.

Березюк Олег Володимирович – д. т. н., доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки.

Вінницький національний технічний університет.