

О. В. Березюк, д. т. н., доц.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ КОНЦЕНТРАЦІЇ БЕНЗ[А]ПІРЕНУ В ГРУНТАХ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Протягом останніх років в Україні значно зросла сумарна площа полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ, в тому числі й перевантажених, які порушують норми екологічної безпеки та є об'єктами інтенсивного екологічного навантаження. Це загрожує забрудненням навколишнього середовища хімічними речовинами та призводить до хімічного забруднення ґрунтів. Визначення регресійної залежності концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігонів твердих побутових відходів від глибини вимірювання є актуальною науково-технічною задачею.

Метою дослідження є визначення регресійної залежності концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігонів твердих побутових відходів від глибини вимірювання. 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 бенз[а]пірену в ґрунтах полігонів твердих побутових відходів від глибини вимірювання, яку використано для визначення небезпечної глибини хімічного забруднення ґрунтів. Побудовано графічну інтерпретацію залежності концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігону твердих побутових відходів від глибини вимірювання, яка дозволяє наочно проілюструвати цю залежність та показати збіжність теоретичних результатів з фактичними на рівні 0,96975. Визначено, що небезпечна глибина хімічного забруднення бенз[а]піреном ґрунтів полігону твердих побутових відходів складає 152 мм.

Ключові слова: *сміттєзвалище, полігон, тверді побутові відходи, хімічне забруднення, концентрація, бенз[а]пірен, ґрунт, регресійний аналіз.*

Вступ

Велику небезпеку для навколишнього середовища та охорони здоров'я становлять тверді побутові відходи (ТПВ) [1, 2], які є сумішшю компонентів, на відміну від будівельних відходів, які є, переважно, однорідними й відносно легко підлягають переробці [3, 4]. Об'єм утворення ТПВ на території нашої країни щорічно 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 з широким впровадженням сучасних технологій переробки та утилізації ТПВ [5]. За 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 (атмосфери, гідросфери та літосфери), зокрема й через хімічне забруднення ґрунтів, що сприяють захворюванню живих організмів [6], забрудненню прилеглих земельних ділянок [7], в тому числі земель сільськогосподарського призначення. Тому для зменшення темпів зростання площ полігонів та їхнього негативного

впливу на навколишнє середовище виконують технологічну операцію ущільнення ТПВ під час завантаження в сміттєвоз [8, 9]. Також зменшенню темпів зростання площ полігонів сприятиме зневоднення ТПВ [10].

Постановка проблеми

Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 265 серед пріоритетних напрямів поводження з ТПВ в Україні є забезпечення організації контролю за діючими та закритими полігонами ТПВ для запобігання шкідливому впливу на довкілля та здоров'я людини [11]. Тому визначення регресійної залежності концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігонів твердих побутових відходів від глибини вимірювання, яка може бути використана для визначення небезпечної глибини хімічного забруднення ґрунтів, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В статті [12] запропоновано математичні моделі прогнозування об'ємів утворення ТПВ та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні, за допомогою яких встановлено, 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 лінійно. З метою зменшення темпів зростання площ полігонів виконується технологічна операція ущільнення ТПВ під час завантаження у сміттєвоз [8, 9]. Високий коефіцієнт ущільнення ТПВ забезпечує більш ефективне використання площі полігона [13, 14].

В роботах [15 – 18] вказано про значне забруднення важкими металами ґрунтів через захоронення ТПВ. В роботі [19] наведені дані щодо впливу важких металів на мікробіоценоз дерново-слабопідзолистого ґрунту. В статті [20] зазначено, що найтоксичнішою речовиною (серед забруднюючих речовин першого класу небезпеки) є представник класу поліциклічних ароматичних вуглеводнів – бенз[а]пірен, який вже в нанокількості негативно впливає на живі організми, як канцероген та мутаген.

Автори статті [21] наводять огляд найпоширеніших методів ремедіації важких металів в ґрунті. В роботі [22] наведено дані щодо питомих затрат електроенергії на зменшення концентрацій методом електрохімічної ремедіації таких важких металів в ґрунті полігонів ТПВ, як кадмій, свинець та цинк. Цей метод оснований на використанні електричного струму для виділення відповідних забруднюючих речовин. Методом електрохімічної ремедіації можна відновлювати ґрунти безпосередньо на поверхні землі без їх відбору у спеціальні ємності, що робить процес менш енергоємним. В статті [23] визначено регресійну залежність питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ через забруднення важкими металами (кадмію, свинцю та цинку) від їхніх концентрацій та ГДК. В роботі [24] опубліковано удосконалену математичну модель питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ через забруднення важкими металами від концентрацій кобальту, міді, нікелю, хрому, ванадію та марганцю, які дозволяють оцінити енерговитрати очищення забруднених ґрунтів від вказаних речовин.

В статті [25] зазначено, що традиційно міське середовище проблему накопичення відходів вирішує за рахунок сільських територій, внаслідок чого виникає проблема забруднення останніх, а саме погіршення якості ґрунтів, води, повітря. Також встановлено, що полігон ТПВ може бути причиною погіршення якості питних вод та санітарно-гігієнічного стану ґрунтів на прилеглих сільських територіях. В роботі [26] наведена хімічна характеристика ґрунтів території полігону ТПВ м. Миколаїв. Однак конкретних математичних залежностей концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігонів ТПВ від глибини вимірювання, в результаті

аналізу відомих публікацій, автором не виявлено.

Мета і завдання статті

Метою цієї статті є використання методу регресійного аналізу при визначенні концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігонів твердих побутових відходів, що може бути застосовано для визначення небезпечної глибини хімічного забруднення ґрунтів.

Методи і матеріали

Для визначення регресійної залежності концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігонів ТПВ від глибини вимірювання використано такі методи: регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, комп'ютерне моделювання.

Результати досліджень

У таблиці 1 показані концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах Миколаївського полігону ТПВ (с. Велика Корениха Миколаївської області) [26], отримані за допомогою методу високоефективної рідинної хроматографії та доповнені результатами досліджень [20]. На основі даних таблиці 1 планувалось отримати парну регресійну залежність концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігонів ТПВ від глибини вимірювання.

Таблиця 1

Концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігону ТПВ [26, 20]

Глибина вимірювання, см	2,5	12,5	60	150
Концентрація бенз[а]пірену C ₂₀ H ₁₂ в ґрунті, мг/кг	0,05645	0,03246	0,0059	0,005
Літературне джерело	[20]	[20]	[26]	[26]

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, що дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів [27] за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz" [28], яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір, і детально описана в роботі [29].

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

Результати регресійного аналізу наведені в таблиці 2, де сірим кольором позначено комірку з максимальним значенням коефіцієнта кореляції R.

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу залежності концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігону ТПВ від глибини вимірювання

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,79876	9	$y = ax^b$	0,96975
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,90309	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,96081
3	$y = a + b / x$	0,93210	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,96081
4	$y = x / (a + bx)$	0,96806	12	$y = a / (b + x)$	0,90309
5	$y = ab^x$	0,86158	13	$y = ax / (b + x)$	0,74575
6	$y = ae^{bx}$	0,86158	14	$y = ae^{b/x}$	0,82869
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,86158	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,82869
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,61791	16	$y = a + bx^n$	0,65155

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

$$C_{C_{20}H_{12}} = 0,1187h^{-0,6542} \quad [\text{мг/кг}], \quad (1)$$

де $C_{C_{20}H_{12}}$ – концентрація бенз[а]пірену $C_{20}H_{12}$ в ґрунті, мг/кг; h – глибина вимірювання, см.

На рис. 1 показано фактичну та теоретичну графічну залежності концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігону ТПВ від глибини вимірювання.

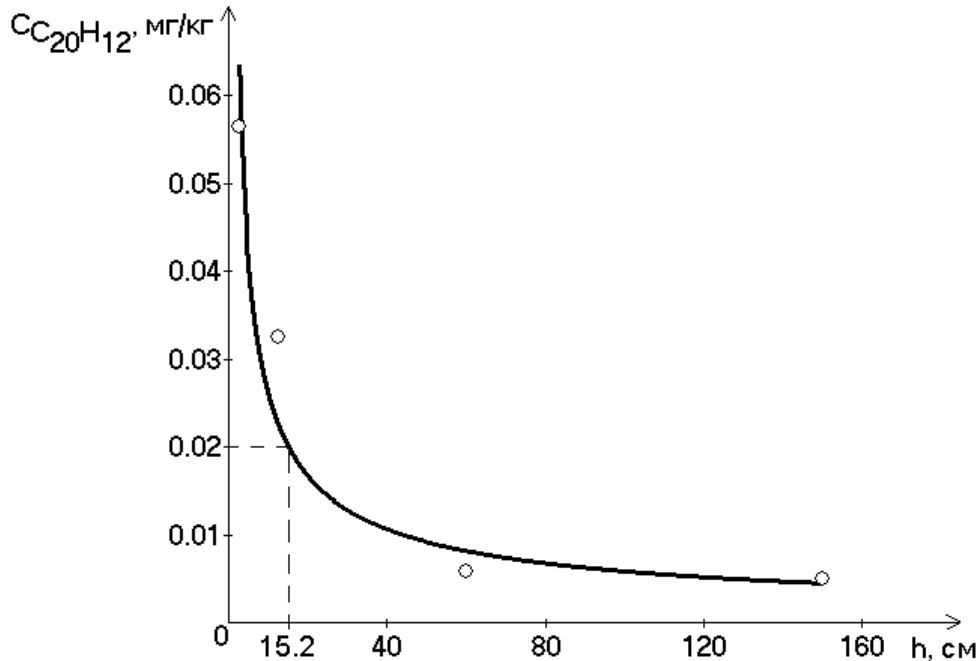


Рис. 1. Зміна концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігону ТПВ від глибини вимірювання

Порівняння фактичних та теоретичних даних показало, що теоретичні концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігону ТПВ від глибини вимірювання, розраховані за допомогою рівняння регресії (1), несуттєво відрізняються від даних, наведених в роботі [26], що підтверджує визначену раніше точність отриманої залежності на рівні 0,96975.

Підставивши значення гранично допустимої концентрації бензапірену в ґрунті ГДК = 0,02 мг/кг [26] в рівняння регресії (1), визначимо небезпечну глибину хімічного забруднення ґрунтів

$$h = \left(\frac{C_{C_{20}H_{12}}}{0,1187} \right)^{-\frac{1}{0,6542}} = \left(\frac{0,02}{0,1187} \right)^{-\frac{1}{0,6542}} \approx 15,2 \text{ (см)} = 152 \text{ (мм)}.$$

Висновки

1. Використано метод регресійного аналізу при визначенні концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігонів твердих побутових відходів, що застосовано для визначення небезпечної глибини хімічного забруднення ґрунтів.
2. Побудовано графічну зміну концентрації бенз[а]пірену в ґрунтах полігону твердих побутових відходів, яка дозволяє наочно проілюструвати цю регресійну залежність та показати збіжність теоретичних результатів з фактичними на рівні 0,96975.
3. Визначено, що небезпечна глибина хімічного забруднення бенз[а]піреном ґрунтів полігону твердих побутових відходів складає 152 мм.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сагдєєва О. А. Оцінка рівня екологічної небезпеки звалищ твердих муніципальних відходів / О. А. Сагдєєва, Г. В. Крусір, А. Л. Цикало // Екологічна безпека. – 2018. – № 1. – С. 75 – 83.
2. 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. – <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2003.08.007>.
3. Ковальський В. П. Використання золи виносу 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.
4. Лемешев М. С. Ресурсозберігаюча технологія виробництва будівельних матеріалів з використанням техногенних відходів / М. С. Лемешев, О. В. Христин, С. Ю. Зузяк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: науково-технічний збірник. – 2018. – № 1. – С. 18 – 23.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
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. Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. – № 5. – С. 18 – 24.
11. 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>.
12. 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.
13. Березюк О. В. Привод зневоднення та ущільнення твердих побутових відходів у сміттєвозі / О. В. Березюк // Вісник машинобудування та транспорту. – 2016. – № 2. – С. 14 – 18.
14. 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.
15. 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.
16. Chao Su. A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques / Chao Su, LiQin Jiang, WenJun Zhang // Environmental Skeptics and Critics. – 2014. – № 3 (2). – P. 24 - 38.
17. 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.
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. Гринчишин Н. М. Вплив важких металів на мікробіоценоз дерново-слабопідзолистого ґрунту / Н. М. Гринчишин, Т. М. Лозовицька // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького. – 2009. – Т. 11, № 2 (41), Ч. 4. – С. 54 – 57.
20. Горобцова О. Н. Роль почвенного покрова в аккумуляции и миграции полициклических ароматических углеводов при техногенном загрязнении / О. Н. Горобцова, О. Г. Назаренко, Т. М. Минкина, Н. И. Борисенко, А. В. Ярошук // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2005. – № 1. – С. 73 – 79.
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 // Экологические 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. Кулічкова А. О. Дослідження фільтрату на полігоні ТПВ м. Миколаїв / А. О. Кулічкова, Л. М. Маркіна // Актуальні проблеми сучасної хімії : зб. матеріалів доп. учасн. III Всеукраїнської наук.-практ. конф. – Миколаїв, 2019. – С. 143 – 146.
27. 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.
28. 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.
29. Березюк О. В. Определение регрессии коэффициента уплотнения твердых бытовых отходов от высоты полигона на основе компьютерной программы "RegAnaliz" / О. В. Березюк // Автоматизированные технологии и производства. – 2015. – № 2 (8). – С. 43 – 45.

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

Вінницький національний технічний університет.