

**О. В. Березюк, к. т. н., доц.; І. М. Климчук; Т. Б. Васенко;
С. М. Горбатюк, к. б. н., доц.**

ЗАЛЕЖНІСТЬ РІВНЯ БАКТЕРІОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТІВ ВІД ВІДСТАНІ ДО ПОЛІГОНУ 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, що загрожує забрудненням навколишнього середовища мікроорганізмами (бактеріями кишкової палички, стрептококами, стафілококами та аскаридами), спричиняючи бактеріологічне забруднення ґрунтів. Визначення регресійної залежності рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону твердих побутових відходів є актуальною науково-технічною задачею. Метою дослідження є визначення регресійної залежності рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону твердих побутових відходів. Під час проведення дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором кращого 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 гіперболічну залежність рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону твердих побутових відходів, яку використано для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів. Побудовано графічну інтерпретацію залежності рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка дозволяє наочно проілюструвати цю залежність та показати збіжність теоретичних результатів з фактичними на рівні 0,99535.

Ключові слова: сміттєзвалище, полігон, тверді побутові відходи, бактеріологічне забруднення, загальне мікробне число, регресійний аналіз.

Вступ

Для безпеки навколишнього середовища та охорони здоров'я велику небезпеку становлять тверді побутові відходи (ТПВ) [1, 2], які характеризуються тим, що є сумішшю компонентів, на відміну від будівельних відходів, які є, переважно, однорідними й відносно легко підлягають переробці [3, 4]. Щорічний об'єм утворення ТПВ на території нашої країни 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 впровадженням сучасних технологій переробки та утилізації ТПВ [5]. За проміжок часу 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 бактеріологічне забруднення ґрунтів мікроорганізмами (бактеріями кишкової палички, стрептококами, стафілококами та аскаридами), що є збудниками та переносниками хвороб [6], прилеглих земельних ділянок [7], в тому числі земель сільськогосподарського призначення.

Завдяки біологічним процесам, які відбуваються в товщі ТПВ, місця їхнього захоронення є також джерелами тривалого негативного впливу на навколишнє середовище звалищним газом, який містить парникові гази та токсичні речовини [8] та високотоксичним фільтратом [9 – 11], тому для зменшення темпів зростання площ полігонів та їхнього негативного впливу на навколишнє середовище виконують технологічну операцію ущільнення ТПВ під час завантаження в сміттєвоз [12, 13]. Також зменшенню темпів зростання площ полігонів сприятиме зневоднення ТПВ [14].

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 [15]. Тому визначення регресійної залежності рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка може бути використана для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Математичні моделі прогнозування об'ємів утворення ТПВ та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні опубліковано в статті [16], 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 [12, 13]. Високий коефіцієнт ущільнення ТПВ забезпечує більш ефективне використання площі полігона [17, 18]. В роботі [19] наведені дані щодо концентрацій сапрофітних бактерій у 0 – 20 см шарі дерново-слабопідзолистого ґрунту, прилеглому до полігонів захоронення ТПВ. В статті [20] наведено значення санітарно-бактеріологічного складу ТПВ. В статті [21] виявлено умовно-патогенні та патогенні види мікроорганізмів у депонованих відходах, визначено якісний і кількісний склад мікроорганізмів, які розкладають органічні речовини в ТПВ на різних етапах їхнього життєвого циклу. Автори статті [22] наводять дані щодо зміни санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування. В статті [7] виявлено ширшу номенклатуру санітарно-бактеріологічного складу ТПВ навесні (бактерії кишкової палички, стрептококи, стафілококи та аскариди) завдяки наявності стафілококів та аскарид, відсутніх у ТПВ під час літнього компостування. У середовищі ТПВ поруч із сапрофітними розвиваються патогенні бактерії, які є носіями різних захворювань, таких як гепатит, туберкульоз, дизентерія, аскаридоз, респіраторні, алергійні, шкірні та інші захворювання [23]. В роботі [24] за допомогою методу планування багатофакторного експерименту Бокса-Уїлсона визначено регресійну залежність активності біологічних процесів у ТПВ від ступеня їхнього ущільнення з полином часу, за допомогою якої встановлено, що найбільше активність біологічних процесів у ТПВ залежить від їхньої густини, найменше – від часу. В статті [25] визначено регресійні степеневі залежності поширеності хвороб різних класів у дорослого населення населених пунктів, прилеглих до місця видалення ТПВ від відстані до полігона, які використані для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від населених пунктів за показниками поширеності патології органів дихання та хвороб системи кровообігу. В роботі [26] побудовано математичні моделі залежності концентрацій лише сапрофітних бактерій у ґрунті

від відстані до полігону захоронення ТПВ, які дали змогу встановити, що з наближенням полігону суттєво знижується концентрація сапрофітних аеробних бактерій, необхідних для біохімічних реакцій розкладання органічної фракції ТПВ в місцях їхнього захоронення та самоочищення ґрунту від чужорідних органічних речовин. В статті [27] 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, а також встановлено, що полігон ТПВ може бути причиною погіршення якості питних вод та санітарно-гігієнічного стану ґрунтів на прилеглих сільських територіях. Однак конкретних математичних залежностей рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону ТПВ, в результаті аналізу відомих публікацій, авторами не виявлено.

Мета і завдання статті

Метою цієї статті є побудова за допомогою регресійного аналізу регресійної залежності рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка може бути використана для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів.

Методи і матеріали

Для визначення регресійної залежності рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону ТПВ використано такі методи: регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, комп'ютерне моделювання.

Результати досліджень

У таблиці 1 показані рівні бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до Миронівського полігону ТПВ (м. Миронівка Київської області) [27]. Дані наведено для загального мікробного числа (ЗМЧ), що визначається числом колонієутворювальних одиниць (КУО) на 1 г сухої маси досліджуваного матеріалу. На основі даних таблиці 1 планувалось отримати парну регресійну залежність рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону ТПВ.

Таблиця 1

Рівні бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону ТПВ [27]

Відстань від полігону, ТПВ	0	50	200	500
ЗМЧ, $\times 10^6$ КУО/г	3,1	2,5	1,9	0,28

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, що 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, і детально описана в роботі [28].

Програма "RegAnaliz" дозволяє проводити регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором кращого виду функції із 16-ти 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 .

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

$$ЗМЧ = 3,034 - 0,01383x^{0,85} \quad [\times 10^6 \text{ КУО/Г}], \quad (1)$$

де ЗМЧ – загальне мікробне число, $\times 10^6$ КУО/Г; x – відстань до полігону ТПВ, м.

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону ТПВ

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,99362	9	$y = ax^b$	0,47037
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,94449	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,63522
3	$y = a + b / x$	0,63464	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,63598
4	$y = x / (a + bx)$	0,94437	12	$y = a / (b + x)$	0,94449
5	$y = ab^x$	0,97760	13	$y = ax / (b + x)$	0,37242
6	$y = ae^{bx}$	0,97760	14	$y = ae^{b/x}$	0,46976
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,97760	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,46976
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,37241	16	$y = a + bx^n$	0,99535

На рис. 1 показані фактична та теоретична графічна залежності рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону ТПВ.

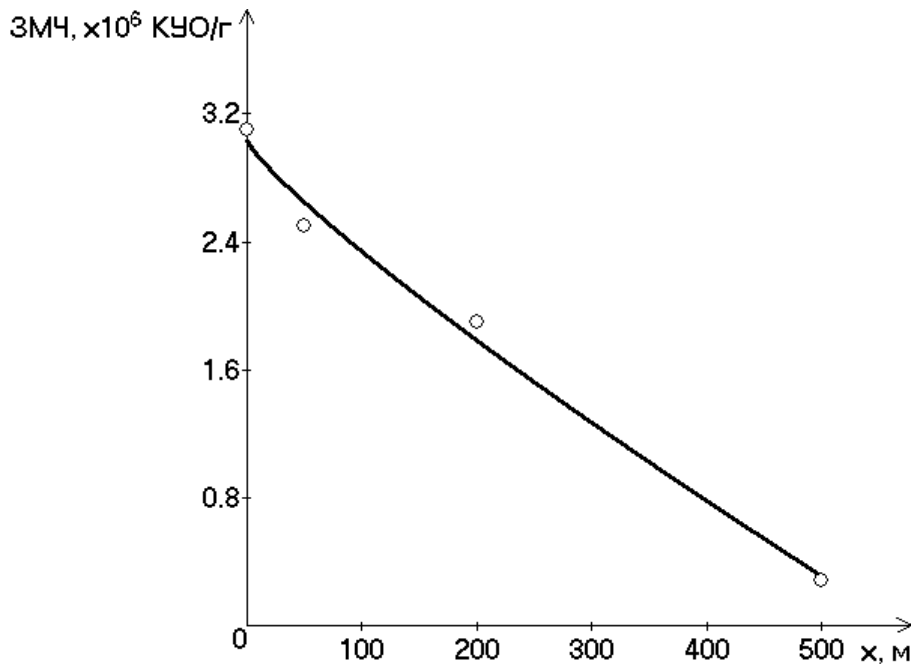


Рис. 1. Зміна рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону ТПВ

Порівняння фактичних та теоретичних даних показало, що теоретичний рівень бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону ТПВ, розрахований за допомогою рівняння регресії (1), несуттєво відрізняються від даних, наведених в роботі [27], що підтверджує визначену раніше точність отриманої залежності на рівні 0,99535.

Підставивши значення фонового природного рівня $ЗМЧ = 2,1 \cdot 10^5$ КУО/Г [27] в рівняння регресії (1), визначимо безпечну відстань розміщення полігонів ТПВ від меж земель сільськогосподарського призначення

$$x = (219,4 - 72,31 \cdot ЗМЧ)^{1/0,85} = (219,4 - 72,31 \cdot 0,21)^{1/0,85} \approx 522 \text{ (м)}.$$

Висновки

1. Визначено регресійну степеневу залежність рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону твердих побутових відходів, яку використано для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від земель сільськогосподарського призначення за показником рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів.

2. Побудовано графічну залежність рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка дозволяє наочно проілюструвати цю залежність та показати збіжність теоретичних результатів з фактичними на рівні 0,99535.

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. Христюк, 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. Ратушняк Г. С. Енергозбереження в системах біоконверсії : навчальний посібник / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 83 с.
9. Воронкова Т. В. Система управління образованием фильтрата полигонов ТБО / Т. В. Воронкова, С. Ю. Чудинов // Твердые бытовые отходы. – 2013. – № 8. – С. 36 – 40.
10. Wastewater Treatment in Lviv Solid Waste Landfill / V. Pohrebennyk, O. Mitryasova, I. Podolchak [et al.] // Conference Proceedings [«16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016»], (Vienna, Austria, 2 November – 5 November 2016). – Book 3. – Water Resources. Forest. Marine and Ocean Ecosystems. – Volume III. – P. 365 – 373.
11. Попович В. В. Екологічна небезпека фільтрату сміттєзвалищ / В. В. Попович // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи», 4-6 листопада 2015 р. – Львів, 2015. – С. 165 – 166.
12. Berezyuk O. Approximated mathematical model of hydraulic drive of container upturning during loading of solid domestic wastes into a dustcart / O. Berezyuk, V. Savulyak // Technical Sciences. – 2017. – № 20 (3). – P. 259 - 273.
13. Berezyuk O. V. Dynamics of hydraulic drive of hanging sweeping equipment of dust-cart with extended functional possibilities / O. V. Berezyuk, V. I. Savulyak // TEHNOMUS – New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies. – Suceava, Romania, 2015. – № 22. – P. 345 – 351.
14. Березюк О. В. Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. – № 5. – С. 18 – 24.
15. 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>.
16. 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.
17. Савуляк В. І. Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів : монографія / В. І. Савуляк, О. В. Березюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 217 с.
18. 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.

19. Гринчишин Н. М. Вплив важких металів на мікробоценоз дерново-слабопідзолистого ґрунту / Н. М. Гринчишин, Т. М. Лозовицька // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького. – Т. 11, № 2 (41), Ч. 4, 2009. – С. 54 – 57.
20. Щербо А. П. Гигиенические вопросы обезвреживания бытовых отходов / А. П. Щербо // Доклад на XXIII научной конференции "Хлопинские чтения", 16 января 1991 года. – Л. : Издание ин-та усовершенствования врачей им. С. М. Кирова, 1990. – 25 с.
21. Зомарев А. М. Санитарно-гигиенический мониторинг полигонов захоронения твердых бытовых отходов (ТБО) на этапах жизненного цикла : автореф. дисс. на соискание уч. степени докт. мед. наук : спец. 14.02.01 «Гигиена» / А. М. Зомарев – Пермь : 2010. – 50 с.
22. Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting / I. Deportes, J.-L. Benoit-Guyod, D. Zmirou [et al.] // Journal of Applied Microbiology. – 1998. – № 85. – P. 238 – 246.
23. Лехмус О. О. Методи та технології переробки побутових і суднових відходів / О. О. Лехмус. – Миколаїв : НУК, 2004. – 48 с.
24. Регресійна залежність активності біологічних процесів у твердих побутових відходах від ступеня їхнього ущільнення з часом [Електронний ресурс] / О. В. Березюк, С. М. Горбатюк, Л. Л. Березюк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2020. – № 2. – Режим доступу до журналу : <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/600/568>.
25. Залежність поширеності хвороб від відстані між населеним пунктом і полігоном твердих побутових відходів [Електронний ресурс] / О. В. Березюк, С. М. Горбатюк, Л. Л. Березюк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2020. – № 4. – Режим доступу до журналу : <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/618/580>.
26. Березюк О. В. Побудова моделей залежності концентрацій сапрофітних бактерій у ґрунті від відстані до полігону захоронення твердих побутових відходів / О. В. Березюк, Л. Л. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 1. – С. 36 – 39.
27. 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.
28. 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 02.06.2021.

Стаття пройшла рецензування 15.06.2021.

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

Вінницький національний технічний університет.

Климчук Ірина Миколаївна – асистент кафедри медичної біології.

Васенко Тетяна Борисівна – асистент кафедри медичної біології.

Горбатюк Світлана Михайлівна – к. б. н., доцент, доцент кафедри медичної біології.

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова.