

УДК 628.472.3; 502.51(282.03)

**О. В. Березюк, д. т. н., доц.; С. С. Хлестова, к. пед. н., доц.; І. М. Климчук;  
Л. Л. Березюк**

## **ВПЛИВ НАБЛИЖЕННЯ ДО ПОЛІГОНУ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА РІВЕНЬ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТОВИХ ВОД ЗА ЗАГАЛЬНИМ МІКРОБНИМ ЧИСЛОМ**

*В Україні протягом останніх років 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 та ґрунтових вод. Визначення регресійної залежності рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону твердих побутових відходів є актуальною науково-технічною задачею. Метою дослідження є визначення регресійної залежності рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону 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 залежність рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону твердих побутових відходів, яку використано для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від джерел питної води за показником рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом. Побудовано графічну інтерпретацію залежності рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка дозволяє наглядно проілюструвати дану залежність та показати збіжність теоретичних результатів з фактичними на рівні 0,99259. Визначено, що безпечна відстань розміщення полігонів твердих побутових відходів від джерел питної води за показником рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом складає 1387 м.*

**Ключові слова:** сміттєзвалище, полігон, тверді побутові відходи, мікробіологічне забруднення, ґрунтові води, загальне мікробне число, регресійний аналіз.

### **Вступ**

Для безпеки навколишнього середовища та охорони здоров'я становлять загрозу тверді побутові відходи (ТПВ) [1, 2], які є сумішшю компонентів, на відміну від будівельних [3, 4] чи промислових [5] відходів, які є, переважно, однорідними й порівняно легко перероблюються. На території України щорічний об'єм утворення ТПВ перевищує 54 млн. м<sup>3</sup>, 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, в яких широкого впровадження набули сучасні технології переробки та утилізації ТПВ [6-8]. За період часу 1999-2014 рр. в Україні втричі збільшилась сумарна площа полігонів та сміттєзвалищ. Майже вдвічі зросла площа перевантажених та більше ніж втричі тих полігонів і сміттєзвалищ, що порушують норми екологічної безпеки, загрожуючи забрудненням навколишнього середовища (атмосфери, гідросфери та літосфери), зокрема й через

бактеріологічне забруднення ґрунтів та ґрунтових вод мікроорганізмами (бактеріями кишкової палички, стрептококами, стафілококами та аскаридами), що є збудниками та переносниками хвороб [9-11], прилеглих земельних ділянок [12-14], ґрунтових вод та джерел питної води. У зв'язку із проходженням біологічних процесів в товщі ТПВ, місця їхнього захоронення є також джерелами тривалого негативного впливу на навколишнє середовище звалищним газом, який містить парникові гази та токсичні речовини [15] та високотоксичним фільтратом [16-18], тому для зменшення темпів зростання площ полігонів та їхнього негативного впливу на навколишнє середовище обов'язково виконують технологічну операцію ущільнення ТПВ під час завантаження в сміттєвоз [19, 20]. Зневоднення ТПВ [21, 22] також сприятиме зменшенню темпів зростання площ полігонів.

### **Постановка проблеми**

Згідно із Постановою Кабінету Міністрів України № 265 в переліку 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 [23]. Тому визначення регресійної залежності рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка може бути використана для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від джерел питної води за показником рівня забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом, є актуальною науково-технічною задачею.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

В матеріалах статті [24] наведено прогностичні математичні моделі 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 щорічно зростає майже лінійно. Для зменшення темпів зростання площ полігонів виконується технологічна операція ущільнення ТПВ під час завантаження у сміттєвоз [19, 20]. Більш ефективне використання площі полігона забезпечує високий коефіцієнт ущільнення ТПВ [25, 26].

Дані щодо концентрацій сапрофітних бактерій у 0-20 см шарі дерново-слабопідзолистого ґрунту, прилеглого до полігонів захоронення ТПВ наведені в статті [27]. В роботі [28] опубліковано значення санітарно-бактеріологічного складу ТПВ. В статті [29] виявлено умовно-патогенні та патогенні види мікроорганізмів у депонованих відходах, визначено якісний і кількісний склад мікроорганізмів, що розкладають органічні речовини в ТПВ на різних етапах їхнього життєвого циклу. Автори роботи [30] наводять дані щодо зміни санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування. В матеріалах статті [12] 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 [31]. В статті [32] за допомогою методу планування багатофакторного експерименту Бокса-Уілсона визначено регресійну залежність активності біологічних процесів у ТПВ від ступеня їхнього ущільнення з плином часу, за допомогою якої встановлено, що найбільше активність біологічних процесів у ТПВ залежить від їхньої густини, найменше – від часу.

Авторами роботи [33] визначено регресійні степеневі залежності поширеності хвороб

різних класів у дорослого населення населених пунктів, прилеглих до місця видалення ТПВ від відстані до полігону, які використані для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від населених пунктів за показниками поширеності патології органів дихання та хвороб системи кровообігу. В статті [34] 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 роботі [35] 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, наведені рівні забруднення за мікробіологічними показниками, зокрема загальним мікробним числом, на різних відстанях до Миронівського полігону ТПВ (м. Миронівка Обухівського району Київської області). Дослідження [36] спрямоване на розмежування природних і антропогенних впливів шляхом синоптичного аналізу гідрогеохімічних, ізотопних і мікробіологічних характеристик підземних вод з міського полігону твердих відходів у Центральній Італії. Однак конкретних математичних залежностей рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом 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 мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка може бути використана для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від джерел питної води за показником рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом.

#### **Методи і матеріали**

Під час визначення регресійної залежності рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону ТПВ використано такі методи: регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, комп'ютерного моделювання.

#### **Результати досліджень**

У роботі [35] наведені рівні забруднення за мікробіологічним показником – загальним мікробним числом, отримані згідно ДСТУ 5667-1-2003 [37], ДСТУ 5667-2-2003 [38], МВ 10.2.1.1-113-2005 [39], від відстані до Миронівського полігону ТПВ (м. Миронівка Обухівського району Київської області), тип ґрунтів якого відноситься до суглинків з прошарками супіску і дрібнозернистими пісками з цільовим призначенням «утилізація твердих побутових відходів» [35]. Рівень залягання ґрунтових вод до проектного дна полігону у верхній його частині сягає 10 м, по середній частині – 8,5 м, в нижній – 3,62 м. Живлення водоносного горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів. Загальне мікробне число (ЗМЧ) є непрямим показником бактеріального забруднення води, оскільки характеризує загальний вміст мікроорганізмів у воді без їхньої якісної характеристики і визначається числом колонієутворювальних одиниць (КУО) на 1 см<sup>3</sup> сухої маси досліджуваного матеріалу. На основі даних статті [35] планувалось отримати парну

регресійну залежність рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону ТПВ.

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, що дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів [40] за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір.

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

Результати регресійного аналізу наведені в таблиці 1, де сірим кольором позначено комірки з видом регресії з максимальним значенням коефіцієнта кореляції  $R$ .

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних роботи [35], як найбільш, адекватну остаточно прийнято таку регресійну залежність:

$$ЗМЧ = \frac{1}{1,338 \cdot 10^{-5} x - 0,008559} \text{ [КУО/см}^3\text{]}, \quad (1)$$

де  $ЗМЧ$  – загальне мікробне число, КУО/см<sup>3</sup>;  $x$  – відстань до полігону ТПВ, м.

Таблиця 1

**Результати регресійного аналізу рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону ТПВ**

| № | Вид регресії            | Коефіцієнт кореляції R | №  | Вид регресії            | Коефіцієнт кореляції R |
|---|-------------------------|------------------------|----|-------------------------|------------------------|
| 1 | $y = a + bx$            | 0,91361                | 9  | $y = ax^b$              | 0,97186                |
| 2 | $y = 1 / (a + bx)$      | 0,99259                | 10 | $y = a + b \cdot \lg x$ | 0,93677                |
| 3 | $y = a + b / x$         | 0,94702                | 11 | $y = a + b \cdot \ln x$ | 0,93677                |
| 4 | $y = x / (a + bx)$      | 0,98919                | 12 | $y = a / (b + x)$       | 0,99259                |
| 5 | $y = ab^x$              | 0,96027                | 13 | $y = ax / (b + x)$      | 0,96641                |
| 6 | $y = ae^{bx}$           | 0,96027                | 14 | $y = ae^{b/x}$          | 0,97118                |
| 7 | $y = a \cdot 10^{bx}$   | 0,96027                | 15 | $y = a \cdot 10^{b/x}$  | 0,97118                |
| 8 | $y = 1 / (a + be^{-x})$ | 0,96027                | 16 | $y = a + bx^n$          | 0,88052                |

На рис. 1 показані фактичну та теоретичну графічну залежність рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону ТПВ.

Порівняння фактичних та теоретичних даних показало, що теоретичний рівень забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону ТПВ, розрахований за допомогою рівняння регресії (1), несуттєво відрізняються від даних, наведених в роботі [35], що підтверджує визначену раніше точність отриманої залежності на рівні 0,99259.

Підставивши нормативне значення  $ЗМЧ = 100$  КУО/см<sup>3</sup> [31] в рівняння регресії (1), визначимо безпечну відстань розміщення полігонів ТПВ від джерел питної води за загальним мікробним числом

$$x = \frac{74738}{ЗМЧ} + 639,7 = \frac{74738}{100} + 639,7 \approx 1387 \text{ (м)}.$$

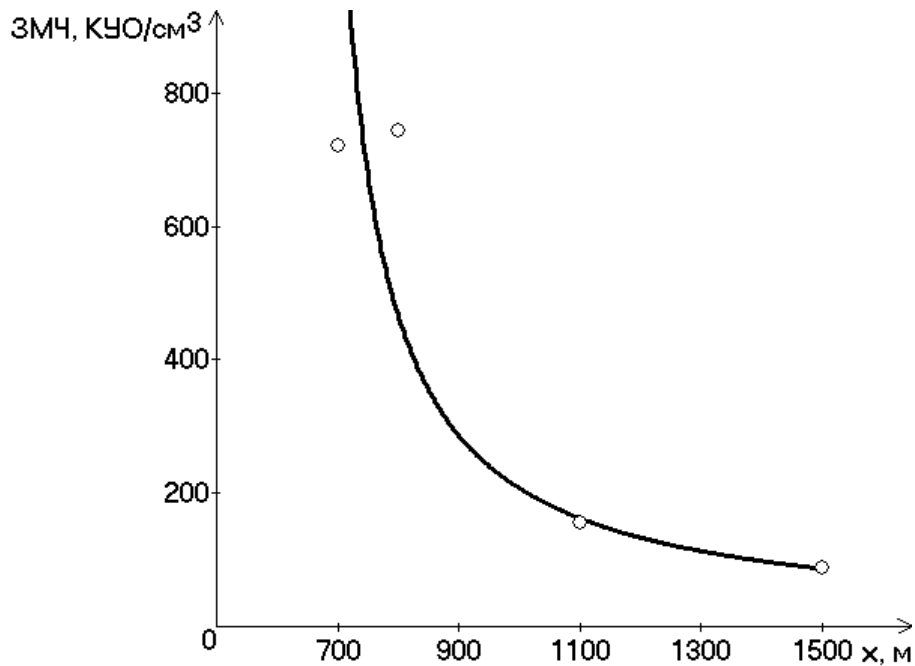


Рис. 1. Зміна рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону ТПВ

### Висновки

1. Визначено регресійну залежність рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону твердих побутових відходів м. Миронівки Обухівського району Київської області та може відрізнитись для інших полігонів, яку використано для визначення безпечної відстані розміщення полігонів ТПВ від джерел питної води за показником рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом.

2. Побудовано графічну інтерпретацію залежності рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом від відстані до полігону твердих побутових відходів, яка дозволяє наглядно проілюструвати дану залежність та показати збіжність теоретичних результатів з фактичними на рівні 0,99259.

3. Визначено, що безпечна відстань розміщення полігонів ТПВ від джерел питної води за показником рівня мікробіологічного забруднення ґрунтових вод за загальним мікробним числом складає 1387 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. – <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2003.08.007>.
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. Ковальський В. П. Шламосолокарбонатий прес-бетон на основі відходів промисловості / В. П. Ковальський, А. В. Бондарь // *Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції, Харків, 18-20 травня 2015 р.* – Харків, НТУ «ХПІ», 2015. – С. 209.
4. Лемешев М. С. В'яжучі з використанням промислових відходів Вінниччини / М. С. Лемешев // *Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", Харків, 18-20 травня 2016 р.* – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – Ч. III. – С. 381.
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. Nanda S. Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review / S. Nanda, F. Berruti // *Environmental Chemistry Letters*. – 2021. – Vol. 19. – P. 1433 – 1456.

8. Fuzzy multi-criteria decision analysis for environmentally conscious solid waste treatment and disposal technology selection / M. G. Kharat, S. Murthy, S. J. Kamble [et al.] // *Technology in Society*. – 2019. – Vol. 57. – P. 20 – 29.

9. Горбатюк С. М. Лігногумат натрію як модифікатор мутагенних ефектів мітоміцину С / С. М. Горбатюк, Н. М. Гринчак, К. В. Мусатова [та ін.] // *Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції "Ліки – людині. Сучасні проблеми фармакотерапії і призначення лікарських засобів"*, 30-31 березня 2017. – Харків : Національний фармацевтичний університет, 2017. – Т. 2. – С. 97.

10. Шевчук Т. І. Експериментальне вивчення церебро- і кардіопротекторного впливу препаратів з політропними властивостями при експериментальній дисліпопротеїдемії / Т. І. Шевчук, Р. П. Піскун, С. М. Горбатюк // *Актуальні питання фармакології та медичної хімії : матеріали наук.-практ. конф. з міжнар. участю, присвяч. 100-річчю з дня народж. проф. О. О. Столярчука*, 15-16 жовт. 2020 р. – Вінниця, 2020. – С. 46 - 47.

11. 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.

12. Ameliorative effects of silicon fertilizer on soil bacterial community and pakchoi (*Brassica chinensis* L.) grown on soil contaminated with multiple heavy metals / B. Wang, C. Chu, H. Wei [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2020. – Vol. 267. – P. 115411.

13. Changes in bacterial populations during bioremediation of soil contaminated with petroleum hydrocarbons / S. C. de la Cueva, C. H. Rodríguez, N. O. S. Cruz [et al.] // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2016. – Vol. 227. – P. 1 – 12.

14. Pyrosequencing analysis of bacterial diversity in soils contaminated long-term with PAHs and heavy metals: implications to bioremediation / S. Kuppusamy, P. Thavamani, M. Megharaj [et al.] // *Journal of hazardous materials*. – 2016. – Vol. 317. – P. 169 – 179.

15. Гелетуха Г. Г. Обзор технологий добычи и использования биогаза на свалках и полигонах твердых бытовых отходов и перспективы их развития в Украине / Г. Г. Гелетуха, З. А. Марценюк // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. – 1999. – № 4. – С. 6 – 14.

16. 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.

17. Попович В. В. Екологічна небезпека фільтрату сміттєзвалищ / В. В. Попович // *Матеріали ІІ 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.

18. Воронкова Т. В. Система управления образованием фильтрата полигонов ТБО / Т. В. Воронкова, С. Ю. Чудинов // *Твердые бытовые отходы*. – 2013. – № 8. – С. 36 – 40.

19. Finite element analysis of the compaction plate from a garbage truck / G. Voicu, M. Lazea, G. A. Constantin [et al.] // *E3S Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2020. – Vol. 180. – P. 04006.

20. Sustainability of modern scientific waste compacting stations in the city of Kolkata / R. Baidya, B. Debnath, D. De, S. K. Ghosh // *Procedia Environmental Sciences*. – 2016. – Vol. 31. – P. 520-529.

21. Installation and performance of horizontal wells for dewatering at municipal solid waste landfills in China / J. Hu, H. Ke, L. T. Zhan [et al.] // *Waste Management*. – 2020. – Vol. 103. – P. 159 – 168.

22. Residual municipal solid waste as co-substrate at wastewater treatment plants: An assessment of methane yield, dewatering potential and microbial diversity / A. C. P. Lopes, C. Ebner, F. Gerke [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2022. – Vol. 804. – P. 149936.

23. 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>.

24. 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.

25. 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.

26. Simões J. R. Binary mixes of self-compacting concrete with municipal solid waste incinerator bottom ash / J. R. Simões, P. R. Silva, R. V. Silva // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11, № 14. – P. 6396.

27. Гринчишин Н. М. Вплив важких металів на мікробіоценоз 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.
28. 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.
29. 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.
30. Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting / I. Deportes, J.-L. Benoit-Guyod, D. Zmiron [et al.] // Journal of Applied Microbiology. – 1998. – № 85. – P. 238 – 246.
31. Лехмус О. О. Методи та технології переробки побутових і суднових відходів / О. О. Лехмус. – Миколаїв : НУК, 2004 – 48 с.
32. Регресійна залежність активності біологічних процесів у твердих побутових відходах від ступеня їхнього ущільнення з часом / 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>.
33. Залежність поширеності хвороб від відстані між населеним пунктом і полігоном твердих побутових відходів / 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>.
34. 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.
35. 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.
36. Disentangling natural and anthropogenic impacts on groundwater by hydrogeochemical, isotopic and microbiological data: Hints from a municipal solid waste landfill / E. Preziosi, E. Frollini, A. Zoppini [et al.] // Waste management. – 2019. – Vol. 84. – P. 245 - 255.
37. Настанова щодо проекту програм проведення відбирання проб (ISO 5667/1:1980, IDT) : ДСТУ ISO 5667-1:2003 / пер. та наук.-техн. ред. В. Янчевський [та ін.]. – Чинний від 01.07.2004. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – IV, 17 с.
38. Настанова щодо методів відбирання проб (ISO 5667/2:1991, IDT) : ДСТУ ISO 5667-2:2003 / пер. та наук.-техн. ред. В. Янчевський [та ін.]. – Чинний від 01.07.2004. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – IV, 10 с.
39. МВ 10.2.1.1-113-2005 Санітарно-мікробіологічний контроль якості питної води. Методичні вказівки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://text.normativ.ua/doc9089.php>.
40. 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 інованційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. Збірник наукових праць. – Київ-Вінниця : ДОВ «Вінниця», 2007. – Випуск 14. – С. 357 – 360.

Стаття надійшла до редакції 14.02.2023.

Стаття пройшла рецензування 05.03.2023.

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

Вінницький національний технічний університет.

**Хлєстова Світлана Святославівна** – к. пед. н., доцент, доцент кафедри медичної біології.

**Климчук Ірина Миколаївна** – асистент кафедри медичної біології.

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

**Березюк Людмила Леонідівна** – секретар деканату факультету машинобудування та транспорту.

Вінницький національний технічний університет.