

Р. В. Петрук
В. В. Файчук

ОГЛЯД МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ІНФІЛЬТРАТУ МІСЦЬ ВИДАЛЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Вінницький національний технічний університет

Розглянуто методи аналізу інфільтрату місць видалення твердих побутових відходів. Проаналізовано, що в даному напрямку найбільш доцільним є розробка систем сортування й утилізації побутових відходів, але необхідно зважати на те, що в реаліях сучасної України використання даних систем досить важко впровадити та їх реалізація може зайняти певний час, протягом якого вже існуючі сміттєзвалища будуть отруювати ґрунти, поверхневі та підземні води і атмосферу. Визначено, що на практиці найбільш ефективним є вживання заходів для зменшення кількості відходів, що утворюються, а також мінімізація шкоди від вже розміщених на полігонах і сміттєзвалищах відходів та зменшення впливу на ґрунтово-водне середовище. Очевидним є те, що необхідно розробляти певні способи поводження з інфільтратом, його очищення та ін. Проте передувати таким дослідженням має дослідження властивостей інфільтрату та його утворення, адже крім відносно безпечних для природи компонентів інфільтрату сміттєзвалищ у ньому можуть бути і досить токсичні компоненти, які не піддаються зниженню токсичності і крім шкоди довкіллю завдаються непоправні збитки і здоров'ю людей. Оскільки інфільтрат це багатокomпонентна суміш, то для якісного очищення варто використовувати як біологічні так і фізико-хімічні методи. За результатами дослідження запропоновано характеристику проб фільтрату за 13 показниками. Виділено найефективніші методи аналізу інфільтрату місць видалення твердих побутових відходів: рН, електропровідність, окисно-відновний потенціал, амоній сольовий, сульфат-іони, хлорид-іони, катіони Ni, Mn, Zn. Визначальним критерієм при виділенні найефективніших методів аналізу інфільтрату місць видалення твердих побутових відходів було визначено можливість і доцільність здійснення повного аналізу інфільтрату, що впливало на загальну ефективність процесу.

Ключові слова: побутові відходи, сортування, утилізація, інфільтрат.

Вступ

Індустріалізація, зростання населення та зміни в структурі споживання призводять до збільшення кількості побутових та промислових відходів. В Україні, як і в інших країнах, спостерігається тенденція до зростання обсягів утворення та накопичення побутових відходів. Найбільш доцільним є розробка систем сортування й утилізації побутових відходів, за прикладом Швейцарії, проте в реаліях сучасної України дані системи досить важко реалізувати та їх впровадження може зайняти певний час. Протягом цього часу вже існуючі сміттєзвалища будуть отруювати ґрунти, поверхневі та підземні води і атмосферу.

Щодня в Україні утворюється близько 30 тис. тонн побутового сміття, що еквівалентно 70-100 тис. м³ відходів. За даними Державної служби статистики України, у 2022 році в Україні утворилося 14,7 млн тонн твердих побутових відходів, що становить 365 кг на 1 людину. Із наведених відходів організовано переробляється менше 5 %. Ще частину переробляють та утилізують певними способами самі жителі. Кінцевим місцем накопичення мільйонів тонн побутових відходів є сміттєзвалища та полігони, на яких сміття піддається окисненню, процесам бродіння та гниття, біорозкладання, гідролізу та ін. Ця органічна і неорганічна суміш піддається впливу атмосферних опадів та може потрапляти в ґрунтові та підземні води. Крім відносно безпечних для природи компонентів інфільтрату сміттєзвалищ у ньому можуть бути і досить токсичні компоненти, які не піддаються зниженню токсичності, наприклад важкі метали, мікропластик, та ін. Крім шкоди довкіллю завдаються непоправні збитки і здоров'ю людей.

Тому, потрібно вжити заходів для зменшення кількості відходів, що утворюються, а також мінімізувати шкоду від вже розміщених на полігонах і сміттєзвалищах відходів та зменшити вплив на ґрунтово-водне середовище.

Очевидним є те, що необхідно розробляти певні способи поводження з інфільтратом, його очищення та ін. Проте передувати таким дослідженням має дослідження фізико-хімічних властивостей інфільтрату та його утворення.

Метою роботи є визначення та класифікація найоптимальніших методів аналізу інфільтрату місць видалення твердих побутових відходів.

Результати дослідження

Сміттєзвалища. Сміттєзвалища визнані найдешевшим способом утилізації твердих відходів порівняно з іншими методами, такими як компостування, спалювання та газифікація. Розміщення відходів на сміттєзвалищах не потребує значних витрат. В процесі розміщення відходів видалається з використання певна ділянка земель, сплачуються податки за розміщення відходів, які не

покривають збитків довілню. На великих і середніх сміттєзвалищах необхідне залучення персоналу з догляду за відходами і благоустрою. На сміттєзвалищах вплив інфільтрату на ґрунтово-водне середовище є значним.

Полігони. Для мінімізації впливу інфільтрату на довкілля доцільно використовувати полігони, які вже під час будівництва облаштовуються спеціальним захистом проникнення води в надра. Це можуть бути плівки чи водонепроникні шари ґрунтового профілю, наприклад глина, та ін. Проте навіть на полігонах неможливо досягнути абсолютної безпеки від проникнення інфільтрату в ґрунт і воду.

До екологічних проблем місць видалення відходів відноситься і те, що при розкладанні органічних речовин на сміттєзвалищах утворюється біогаз, який складається з метану (CH_4) та вуглекислого газу (CO_2). Метан є потужним парниковим газом, який у 25 разів шкідливіший для довкілля, ніж вуглекислий газ.

Інші проблеми, пов'язані з сміттєзвалищами:

1. Забруднення ґрунтових вод. Просочування з сміттєзвалищ може забруднювати ґрунтові води та робити їх непридатними для пиття та, навіть, зрошення.
2. Забруднення повітря. Біогаз, що виділяється з сміттєзвалищ, може спричинювати неприємні запахи та забруднювати повітря. Основна небезпека для атмосферного середовища проявляється при тлінні глибинних шарів відходів.
3. Загроза бактеріологічного забруднення. Сміттєзвалища можуть стати місцем розмноження шкідників та переносників хвороб, диких та свійських тварин, птахів.

Очевидним є те, що варто шукати альтернативні методи утилізації твердих відходів, вдосконалювати експлуатацію існуючих сміттєзвалищ, підвищувати обізнаність населення про проблему відходів та заохочувати до переробки та компостування.

Не існує універсального методу утилізації твердих відходів. Найкращий метод для конкретної країни або регіону буде залежати від ряду факторів, таких як доступність ресурсів, економічні фактори та екологічні норми.

Утворення та склад фільтрату на сміттєзвалищах. Утворення фільтрату на сміттєзвалищах відбувається внаслідок просочування опадів через відходи. Цей фільтрат містить значну кількість органічних речовин, таких як розчинені органічні речовини, фенол, амонійний азот, фосфати, важкі метали, сульфіді, а також інші небезпечні хімічні сполуки. У інфільтраті сміттєзвалищ можуть бути більше 30 хімічних елементів у формі різних неорганічних сполук та понад 200 органічних з'єднань, в залежності від складу відходів сміттєзвалища. Цей факт робить процес управління та поводження з фільтратом вкрай складним завданням.

При потраплянні фільтрату у водні об'єкти буде спостерігатися перевищення нормативів за кольоровістю, зваженими твердими речовинами, БПК, ХПК, амонієм та сульфатами [1].

Способів зменшення утворення інфільтрату є декілька, і всі вони пов'язані з певним поводженням та переробкою відходів, до яких відноситься:

1. Компостування: перетворення органічних відходів на компост, який можна використовувати як добриво. Компостуванню підлягає органічна складова відходів, зокрема, рослинні і харчові рештки. В залежності від населеного пункту складової, яка підлягає компостування може бути від 5 до 35 відсотків.
2. Спалювання: перетворення відходів на енергію. Досить дорогий метод переробки відходів, проте дозволяє зменшити об'єми відходів та кінцеву токсичність, отримати теплову чи навіть електричну енергію. Середня вартість будівництва сміттєспалювального заводу у ЄС коштує 70 млн євро. Через це метод спалювання широко не застосовується в Україні. Спалюють в Україні лише деякі медичні відходи та деякі високотоксичні органічні відходи. Спалювання супроводжується утворенням викидів у атмосферу та утворенням золи, яка знову ж таки розміщується на полігоні.
3. Газифікація: перетворення відходів на синтетичний газ, який можна використовувати як паливо. Такий метод застосовується на деяких великих сміттєзвалищах і полігонах. Суть методу зводиться до пропарюванні свердловин в товщі відходів і викачуванні звалищного газу, який на 60 відсотків складається з метану. Очевидно що така технологія поводження з відходами супроводжується утворенням інфільтрату сміттєзвалищ.

До методу газифікації ще можна віднести технології піролізу пластиків з утворенням синтез нафти. Проте такі методи не мають поки широкого застосування.

4. Переробка: повторне використання відходів для виготовлення нових продуктів. Найбільш раціональний і екологічний метод поводження з відходами – це їх використання. Зазвичай для цього

варто розробити дієву систему збору і сортування відходів, з яких виділяються корисні компоненти. В нашій державі цей метод частково реалізуються за рахунок збору макулатури, ПЕТ пляшок, скла, чорних і кольорових металів, відходів тканин, деяких видів плівки і пластику. Окрім цього частково збираються автопокришки, батарейки, лампи ртутні, відходи електроніки (підприємствами). Загалом ефективність збору втор сировини коливається в межах від 5 до 25 відсотків, а решта так чи інакше потрапляє на звалище чи полігон. Також в нашій державі є невелика кількість сміттесортувальних станцій, де також здійснюється часткове сортування відходів.

Найкращий метод утилізації твердих відходів для конкретної країни чи регіону буде залежати від ряду факторів, таких як доступність ресурсів, економічні фактори та екологічні норми. Найбільш ефективний метод поводження відходів має поєднувати всі перераховані методи у певному співвідношенні, з ухилом на сортування і спалювання.

Фактори, що впливають на хімічний склад інфільтрату. Характеристики фільтрату, що утворюється на сміттєзвалищах, можуть істотно відрізнятися як за об'ємом утворення, так і за хімічним складом [8]. Ці параметри залежить від ряду факторів:

1. Склад відходів: різні типи відходів (побутові, промислові, будівельні) розкладаються по-різному, що впливає на склад та концентрацію забруднюючих речовин у фільтраті [3].
2. Вік сміттєзвалища: з часом склад фільтрату змінюється. На нових сміттєзвалищах фільтрат має більш високий вміст органічних речовин, а на старих - більш високий вміст неорганічних речовин.
3. Гідрогеологія: тип ґрунту та рівень ґрунтових вод впливають на те, як вода просочується через сміттєзвалище і як це впливає на склад фільтрату.
4. Клімат: кількість опадів та температура впливають на швидкість розкладання відходів та на склад фільтрату.
5. Переміщення вологи: спосіб, яким вода просочується через сміттєзвалище, впливає на те, які забруднюючі речовини вимиваються з відходів. Цей фактор залежить від кута нахилу поверхні звалища, наявності каналів, ровів, пересипання звалища ґрунтом, густини відходів та ін.
6. Конструкція та експлуатація: конструкція сміттєзвалища, включаючи тип покриття та систему дренажу, може впливати на якість фільтрату.

Методи очищення фільтрату:

1. Біологічне очищення. Використання активного мулу для розкладання органічних речовин у фільтраті [2].
2. Фізико-хімічні методи. Використання таких методів, як осадження, фільтрація та знезараження, для видалення забруднюючих речовин з фільтрату [4].
3. Мембранні технології. Використання мембран для видалення забруднюючих речовин з фільтрату.
4. Метод поливу сміттєзвалища фільтратом. Цей метод використовується для боротьби з тлінням звалища. Для поливу використовується інфільтрат. В процесі хімічний склад фільтрату змінюється, переважно за рахунок концентрування компонентів.

Вибір методу очищення залежить від складу фільтрату та бажаного рівня очищення. Зазвичай він ніяк не очищається, лише збирається в спеціальних ставках чи резервуарах, або просто просочується в поверхневі та підземні води [7].

Оскільки інфільтрат це багатокомпонентна суміш, то для якісного очищення варто використовувати як біологічні так і фізико-хімічні методи. Мембранні методи недоцільні.

Характеристики фільтрату з сміттєзвалищ різного віку. Фільтрат сміттєзвалища містить велику кількість забруднюючих речовин, які вимірюються як ХПК, БПК₅, амоній сольовий, завислі речовини, важкі метали, феноли та фосфор [6].

Три основні групи сміттєзвалищ поділяються на молоді (менше п'яти років), середні (5-10 років) та старі або стабілізовані (більше 10 років).

У таблиці 1 наведені типові характеристики фільтрату в залежності від віку сміттєзвалища.

Таблиця 1

Типові характеристики фільтрату в залежності від віку сміттєзвалища [12]

Вік сміттєзвалища	ХПК (мг/л)	БПК ₅ (мг/л)	Амоній сольовий (мг/л)	Завислі речовини (мг/л)
Молодий (менше 5 років)	2000-6000	1000-3000	500-2000	1000-5000
Середній (5-10 років)	1000-3000	500-1500	200-1000	500-2000
Старий (більше 10 років)	500-1500	200-500	50-200	200-500

Матеріали і методи.

Відбір проб фільтрату. Відбір проб здійснювався з інтервалом в одну неділю на протязі приблизно перших трьох місяців дослідження, і надалі інтервал збільшувався до двох та трьох тижнів після першого півріччя.

Збір та зберігання проб здійснювалося відповідно до Стандартних методів дослідження води та стічних вод [5].

Зібрані зразки зберігалися в приміщенні з температурою 11-12 °С без доступу до світла для використання в експериментальних цілях, щоб мінімізувати біологічні та хімічні реакції.

Характеристика проб фільтрату

Проби фільтрату були охарактеризовані за наступними показниками, наведеними в таблиці 2.

Таблиця 2

Показники вмісту компонентів у фільтраті

№	Показник	Метод	Методика
1.	pH	Вимірювався за допомогою pH-метра.	[14]
2.	Електропровідність	Вимірювалась за допомогою кондуктометра.	[13]
3.	Окисно-відновний потенціал (ОВП)	Вимірювався за допомогою ОВП-метра.	[17]
4.	Мутність	Вимірювалась за допомогою нефелометра.	[15]
5.	Колір	Вимірювався за допомогою спектрофотометра.	[18]
6.	Вміст зважених речовин	Визначалися шляхом фільтрації та висушування.	[16]
7.	БПК ₅	Визначався шляхом вимірювання споживання кисню протягом 5 діб.	[19]
8.	ХПК	Визначався шляхом хімічного окиснення.	[10]
9.	БПК ₅ /ХПК	Співвідношення БПК ₅ до ХПК.	[20]
10.	Амоній сольовий	Визначався колориметричним методом.	[21]
11.	Сульфат	Визначався за допомогою іонної хроматографії.	[9]
12.	Хлорид	Визначався за допомогою титрування.	[11]
13.	Fe, Cu, Ni, Mn, Zn	Визначалися за допомогою атомно-абсорбційної спектроскопії.	[22]

Окрім наведених нижче параметрів також у дослідній установці визначалась температура за допомогою цифрового термометра з виносним датчиком.

В таблиці 2 наведено понад 13 параметрів які можна аналізувати, проте не завжди є можливість (і доцільність) здійснити повний аналіз інфільтрату, тому можна обмежитися лише pH, електропровідність, окисно-відновний потенціал, амоній сольовий, сульфат-іони, хлорид-іони, катіони Ni, Mn, Zn.

Висновки

На даний час розглянуто та проаналізовано існуючі методи аналізу інфільтрату місць видалення твердих побутових відходів. Досліджено, що на практиці сміттєзвалища визнані найдешевшим способом утилізації твердих відходів порівняно з іншими методами, такими як компостування, спалювання та газифікація. Проте виділено ряд проблем, пов'язаних з використанням сміттєзвалищ: забруднення ґрунтових вод, забруднення повітря, загроза бактеріологічного забруднення. Проаналізовано, що для мінімізації впливу інфільтрату на довкілля доцільно також використовувати полігони, проте навіть на полігонах неможливо досягнути абсолютної безпеки від проникнення інфільтрату в ґрунт і воду. Відзначено декілька способів зменшення утворення інфільтрату, таких як: компостування, спалювання, газифікація, переробка. Визначено, що найкращий метод утилізації твердих відходів для конкретної країни чи регіону буде залежати від ряду факторів, таких як доступність ресурсів, економічні фактори та екологічні норми. Проаналізовано, що найбільш ефективний метод поводження відходів має поєднувати всі перераховані методи у певному співвідношенні, з ухилом на сортування і спалювання. Наведено основні фактори, що впливають на хімічний склад інфільтрату: склад відходів, вік сміттєзвалища, гідрогеологія, клімат, переміщення вологи, конструкція та експлуатація. Визначено такі методи очищення фільтрату: біологічне очищення, фізико-хімічні методи, мембранні технології, метод поливу сміттєзвалища фільтратом. Вибір методу очищення залежить від складу фільтрату та бажаного рівня очищення. Зазвичай він ніяк не очищається, лише збирається в спеціальних ставках чи резервуарах, або просто просочується в поверхневі та підземні води. Оскільки інфільтрат це багатокомпонентна суміш, то для якісного

очищення варто використовувати як біологічні так і фізико-хімічні методи. Виділено три основні групи сміттєзвалищ поділяються на молоді (менше п'яти років), середні (5-10 років) та старі або стабілізовані (більше 10 років). За результатами дослідження запропоновано характеристику проб фільтрату за 13 показниками. Виділено найефективніші методи аналізу інфільтрату місць видалення твердих побутових відходів: рН, електропровідність, окисно-відновний потенціал, амоній сольовий, сульфат-іони, хлорид-іони, катіони Ni, Mn, Zn. Визначальним критерієм при виділенні найефективніших методів аналізу інфільтрату місць видалення твердих побутових відходів було визначено можливість і доцільність здійснення повного аналізу інфільтрату, що впливало на загальну ефективність процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zainol N. A., Aziz H. A., Yusoff M. S. Characterization of Leachate from Kuala Sepetang and Kulim Landfills: A Comparative Study. *Energy and Environment Research*. 2012. Vol. 2, no. 2. URL: <https://doi.org/10.5539/eer.v2n2p45>.
2. Ilhami Firiya I., Imtihan S., Purwanto P., Yulianto B. The biological treatment method for landfill leachate. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 202. P. 06006. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020206006>.
3. New insight on occurrence of liquid crystal monomers: A class of emerging e-waste pollutants in municipal landfill leachate / Q. Jin et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 423. P. 127146. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127146>.
4. Misra R, Gedam N, Waghmare S, Masid S, Neti NR. Landfill leachate treatment by the combination of physico-chemical and electrochemical methods. *J Environ Sci Eng*. 2009 Oct;51(4):315-20. PMID: 21117425.
5. ДСТУ ISO 5667-13:2005 Якість води. Відбирання проб. Частина 13. Настанови щодо відбирання проб мулу на спорудах для очищення стічних вод і для водоготування (ISO 5667-13:1997, IDT). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52416.
6. Aydın Temel F., Kuleyin A. Ammonium removal from landfill leachate using natural zeolite: kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. *Desalination and Water Treatment*. 2016. Vol. 57, no. 50. P. 23873–23892. URL: <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1136964>.
7. Chunying Teng, Kanggen Zhou, Changhong Peng, Wei Chen, Characterization and treatment of landfill leachate: A review, *Water Research*, Volume 203, 2021, 117525, ISSN 0043-1354, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117525>.
8. Javier Rivas, F., Beltrán, F., Carvalho, F., Gimeno, O. & Frades, J. (2005). Study of different integrated physical-chemical + adsorption processes for landfill leachate remediation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(8), 2871-2878. <https://doi.org/10.1021/ie049066j>.
9. ДСТУ ISO 10304-3:2003 Якість води. Визначення розчинених аніонів методом рідинного іонного хроматографування. Частина 3. Визначення хромату, йодиду, сульфату, тіоціанату і тіосульфату (ISO 10304-3:1997, IDT). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=72878 ISO.
10. ДСТУ ГОСТ 31859:2018 Вода. Визначення хімічного поглинання кисню (ГОСТ 31859-2012, IDT; ISO 15705:2002, NEQ). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80093.
11. ДСТУ ISO 5664:2007 Якість води. Визначення амонію. Метод дистилювання та титрування (ISO 5664:1984, IDT). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50531.
12. Управління та поводження з відходами. Частина 3. Полігони твердих побутових відходів: навчальний посібник / [Петрук В.Г., Васильківський І.В., Іщенко В.А., Петрук Р.В.]. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 139 с.
13. ДСТУ 9020:2020 Метрологія. Кондуктометри і аналізатори рідини кондуктометричні. Методика повірки. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://metrology.kiev.ua/files/metodik_povir/MP_konduktometr_analizator.pdf.
14. ДСТУ 9021:2020 Метрологія. рН-метри та іономіри лабораторні. Методика повірки. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://metrology.kiev.ua/files/metodik_povir/MP_PH_metr_ionomir.pdf.
15. ДСТУ 9207:2022 Метрологія. Аналізатори рідин турбідиметричні та нефелометричні. Методика повірки. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://metrology.kiev.ua/files/MP_analizat_tyrbidimetr.pdf.
16. ДСТУ 8691:2016 Стічні води. Настанови щодо встановлення технологічних нормативів відведення дощових стічних вод у водні об'єкти. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=67545.
17. ДСТУ 9092:2021 Метрологія. Аналізатори якості води. Методика повірки. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=94788.
18. ДСТУ ISO 7393-2:2004 Якість води. Спектрофотометри. Методика повірки. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://metrology.kiev.ua/files/metodik_povir/MP_spektrofotometr.pdf.
19. МВВ 081/12-0014-01 Поверхневі води. Методика виконання вимірювань біохімічного споживання кисню (БСК5). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76349.
20. Про затвердження Методичних рекомендацій із збирання, утилізації та знешкодження фільтрату полігонів побутових відходів Мінрегіон України; Наказ, Рекомендації від 20.08.2012 № 421. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0421858-12#Text>.
21. ДСТУ ISO 7393-2:2004 Якість води. Визначення незв'язаного та загального хлору. Частина 2. Колориметричний метод із застосуванням N,N-діетил-1,4-фенілендіаміну для поточного контролювання (ISO 7393-2:1985, IDT). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=73279.
22. ДСТУ ISO 15586:2012 Якість води. Визначення мікроелементів методом атомно-абсорбційної спектроскопії з графітовою пічкою (ISO 15586:2003, IDT). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50947.

REFERENCES

1. Zainol N. A., Aziz H. A., Yusoff M. S. Characterization of Leachate from Kuala Sepetang and Kulim Landfills: A Comparative Study. *Energy and Environment Research*. 2012. Vol. 2, no. 2. URL: <https://doi.org/10.5539/eer.v2n2p45>.
2. Ilhami Firiya I., Imtihan S., Purwanto P., Yulianto B. The biological treatment method for landfill leachate. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 202. P. 06006. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020206006>.
3. New insight on occurrence of liquid crystal monomers: A class of emerging e-waste pollutants in municipal landfill leachate / Q. Jin et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 423. P. 127146. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127146>.
4. Misra R, Gedam N, Waghmare S, Masid S, Neti NR. Landfill leachate treatment by the combination of physico-chemical and electrochemical methods. *J Environ Sci Eng*. 2009 Oct;51(4):315-20. PMID: 21117425.
5. ДСТУ ISO 5667-13:2005 Якість води. Відбирання проб. Частина 13. Настанови щодо відбирання проб мулу на спорудах для очищення стічних вод і для водоготування (ISO 5667-13:1997, IDT). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52416.
6. Aydın Temel F., Kuleyin A. Ammonium removal from landfill leachate using natural zeolite: kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. *Desalination and Water Treatment*. 2016. Vol. 57, no. 50. P. 23873–23892. URL: <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1136964>.
7. Chunying Teng, Kanggen Zhou, Changhong Peng, Wei Chen, Characterization and treatment of landfill leachate: A review, *Water Research*, Volume 203, 2021, 117525, ISSN 0043-1354, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117525>.
8. Javier Rivas, F., Beltrán, F., Carvalho, F., Gimeno, O. & Frades, J. (2005). Study of different integrated physical-chemical + adsorption processes for landfill leachate remediation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(8), 2871-2878. <https://doi.org/10.1021/ie049066j>.
9. DSTU ISO 10304-3:2003 Yakist vody. Vyznachannia rozchynnykh anioniv metodom ridynnoho ionnoho khromatohrafuvannia. Chastyna 3. Vyznachannia khromatu, iodydu, sulfitu, tiotsianatu i tiotsulfatu (ISO 10304-3:1997, IDT). [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=72878
10. DSTU GOST 31859:2018 Voda. Vyznachennia khimichnoho pohlynannia kysniu (GOST 31859-2012, IDT; ISO 15705:2002, NEQ). [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80093
11. DSTU ISO 5664:2007 Yakist vody. Vyznachennia amoniiu. Metod dystyluvannia ta titruvannia (ISO 5664:1984, IDT). [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50531
12. Upravlinnia ta povodzhennia z vidkhodamy. Chastyna 3. Polihony tverdykh pobutovykh vidkhodiv: navchalnyi posibnyk / [Petruk V.H., Vasylykivskiy I.V., Ishchenko V.A., Petruk R.V.]. – Vinnytsia: VNTU, 2013. – 139 s.
13. DSTU 9020:2020 Metrolohiia. Konduktometry i analizatory ridyny konduktometrychni. Metodyka povirky. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://metrology.kiev.ua/files/metodik_povir/MP_konduktometr_analizator.pdf
14. DSTU 9021:2020 Metrolohiia. pH-metry ta ionomiry laboratorni. Metodyka povirky. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://metrology.kiev.ua/files/metodik_povir/MP_PH_metr_ionomir.pdf
15. DSTU 9207:2022 Metrolohiia. Analizatory ridyn turbidymetrychni ta nefelometrychni. Metodyka povirky. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://metrology.kiev.ua/files/MP_analizat_turbidimetr.pdf
16. DSTU 8691:2016 Stichni vody. Nastanovy shchodo vstanovlennia tekhnolohichnykh normatyviv vidvedennia doshchovykh stichnykh vod u vodni obiekty. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=67545
17. DSTU 9092:2021 Metrolohiia. Analizatory yakosti vody. Metodyka povirky. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=94788
18. DSTU 8948:2019 Metrolohiia. Spektrofotometry. Metodyka povirky. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://metrology.kiev.ua/files/metodik_povir/MP_spektrofotometr.pdf
19. MBB 081/12-0014-01 Poverkhnevi vody. Metodyka vykonannia vymiriuvan biokhimichnoho spozhyvannia kysniu (BSK5). [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76349
20. Pro zatverdzhennia Metodychnykh rekomendatsii iz zbyrannia, utylizatsii ta zneshkodzhennia filtratu polihoniv pobutovykh vidkhodiv. Minrehion Ukrainy; Nakaz, Rekomendatsii vid 20.08.2012 № 421. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0421858-12#Text>
21. DSTU ISO 7393-2:2004 Yakist vody. Vyznachennia nezv'iazanoho ta zahalnoho khloru. Chastyna 2. Kolorymetrychnyi metod iz zastosuvanniam N,N-dietyl-1,4-fenilendiaminu dlia potochnoho kontroliuvannia (ISO 7393-2:1985, IDT). [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=73279
22. DSTU ISO 15586:2012 Yakist vody. Vyznachennia mikroelementiv metodom atomno-absorbtsiinoi spektrometrii z hrafitovoiu pichkoiu (ISO 15586:2003, IDT). [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50947

Петрук Роман Васильович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, e-mail: rrrom07@gmail.com;

Файчук Володимир Валерійович — аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, e-mail: fajjchuk@gmail.com.

R. Petruk
V. Faichuk

REVIEW OF METHODS FOR ANALYZING SITE INFILTRATION SOLID WASTE DISPOSAL

Vinnytsia National Technical University

The methods of analyzing the infiltrate of solid waste disposal sites are considered. It is analyzed that in this area it is most appropriate to develop systems for sorting and recycling household waste, but it should be borne in mind that in the realities of modern Ukraine the use of these systems is quite difficult to implement and their implementation may take some time, during which the existing landfills will poison the soil, surface and groundwater and atmosphere. It has been determined that in practice, it is most effective to take measures to reduce the amount of waste generated, as well as to minimize the damage from waste already disposed of at landfills and dumpsites and reduce the impact on the soil and water environment. It is obvious that certain methods of infiltrate management, treatment, etc. need to be developed. However, such research should be preceded by a study of the properties of the infiltrate and its formation, because in addition to the relatively environmentally friendly components of landfill leachate, it may contain quite toxic components that cannot be reduced and, in addition to environmental damage, cause irreparable damage to human health. Since the infiltrate is a multicomponent mixture, both biological and physicochemical methods should be used for high-quality treatment. Based on the results of the study, the characterization of leachate samples by 13 indicators is proposed. The most effective methods for analyzing the infiltrate of solid waste disposal sites have been identified: pH, electrical conductivity, redox potential, salt ammonium, sulfate ions, chloride ions, Ni, Mn, Zn cations. The determining criterion for the selection of the most effective methods for analyzing the infiltrate of solid waste disposal sites was the possibility and feasibility of performing a complete analysis of the infiltrate, which affected the overall efficiency of the process.

Keywords: household waste, sorting, utilization, infiltrate.

Petruk Roman – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, e-mail: prrom07@gmail.com.

Faichuk Volodymyr – Postgraduate student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, e-mail: fajjchuk@gmail.com.