

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОСТУ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ РОДЮЧОСТІ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ

Разно М. Р., Тихомирова Т. С.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

Tetiana.Tykhomyrova@mit.khpi.edu.ua

Нафтопродукти різного складу потрапляють у ґрунти переважно внаслідок руйнування резервуарів або ємностей для їх зберігання. Військова агресія проти України є причиною збільшення територій, забруднених нафтопродуктами. Атаки на нафтобази, автозаправні станції, а також непряме руйнування автівок внаслідок падіння уламків залізобетонних конструкцій призводить до витоку нафтопродуктів та їх подальшого потрапляння у ґрунти та водоймища. Навіть за умови швидкої ліквідації розтікання нафтопродуктів по поверхні ґрунтів, частина їх просочується на глибину. Під час активної фази військових дій можливість швидко ліквідувати розтікання нафтопродуктів відсутня. Це призводить до забруднення ґрунтів на значну глибину. Нафтопродукти пригнічують розвиток кореневої системи рослин та розвиток мікроорганізмів, що призводить до зменшення родючості. Одним з найпоширеніших методів відновлення родючості нафтозабруднених ґрунтів є фітореMediaція.

У даній роботі запропоновано перед фітореMediaційними заходами або одночасно з ними вносити у ґрунти з високим вмістом нафтопродуктів зрілий компост. Бактерії типу *Pseudomonas*, маючи додаткове джерело поживних речовин у компості, значно активніше розвивається та споживає, в тому числі, нафтопродукти. У підсумку вдається досягти зменшення вмісту нафтопродуктів на 10г/кг за 3 місяці після внесення компосту. Компостування органічних відходів, в тому числі тих, що утворюються в індивідуальних домогосподарства та включають в себе багато харчових відходів, є найбільш ефективним способом зменшення кількості відходів та відповідає національній ієрархії управління відходами. Компост є фактично безкоштовним, на відміну від інших сорбентів типу торф, тому його використання є виправданим у поточній економічній ситуації. Використання зрілого компосту разом з фітореMediaційними заходами може підвищити ефективність таких заходів та зменшити кількість циклів завдяки сорбуючим функціям компосту та створенню сприятливих умов для розмноження бактерій, які сприяють розкладанню нафтопродуктів. *Ключові слова:* компост, фітореMediaція, родючість ґрунтів, нафтозабруднені ґрунти, коефіцієнт пригнічення, сталий розвиток.

### Research on the compost using efficiency in restoring the fertility of oil-polluted soils. Razno M., Tykhomyrova T.

Oil products of various compositions enter the soil mainly due to the tanks or containers destruction. Military aggression against Ukraine is the reason for the increase in territories contaminated with oil products. Attacks on oil depots, gas stations, as well as indirect cars' destruction due to falling fragments of reinforced concrete structures lead to the oil products leakage and their subsequent entry into the soil and water bodies. Even if the oil products spread on the soil surface is quickly eliminated, some of them seep into the depth. During the active phase of military operations, there is no possibility to quickly eliminate the oil products spread. This leads to soil contamination to a significant depth. Oil products inhibit the plants root system the development as well as microorganisms development, which leads to a decrease in fertility. One of the most common methods for restoring the fertility of oil-contaminated soils is phytoremediation.

This work proposes to introduce mature compost into soils with a high content of petroleum products before or simultaneously with phytoremediation measures. Bacteria of the *Pseudomonas* type, having an additional source of nutrients in compost, develop much more consume, including, oil products. As a result, it is possible to achieve a reduction in the oil products content by 10g/kg in 3 months after the compost introduction. Organic waste composting, including that generated in individual households and including a lot of food waste, is the most effective way to reduce the amount of waste and corresponds to the national waste management hierarchy. Compost is practically free, unlike other sorbents such as peat, so its use is justified in the current economic situation. The mature compost using together with phytoremediation measures can increase the effectiveness of such measures and reduce the number of cycles due to the compost' sorption functions and making up favorable conditions for the bacteria reproduction that contribute to the oil products decomposition. *Key words:* compost, phytoremediation, soil fertility, oil-contaminated soils, suppression coefficient, sustainable development.

**Постановка проблеми.** Проблема відновлення родючості ґрунтів, які зазнали забруднення нафтопродуктами, особливо гостро постала перед Україною під час повномасштабного вторгнення. Внаслідок застосування різноманітної зброї відбувались численні руйнування резервуарів з нафтопро-

дуктам великого обсягу. Проте навіть локальні витoki нафтопродуктів, наприклад, внаслідок руйнування автівок з двигунами внутрішнього згорання під час військових дій, є небезпечними з точки зору впливу на екологічний стан ґрунтів, їх родючість та біорізноманіття прилеглих екосистем. Найпоширенішими

методами відновлення родючості ґрунтів після нафтозабруднення є використання рослин, т.з. фіторе mediaція, для утримання, фіксації та трансформації забруднюючих речовин та посилення здатності ґрунту до самовідновлення й самоочищення.

**Актуальність дослідження.** Актуальним завданням сьогодення є розробка практичних кейсів відновлення нафтозабруднених ґрунтів України з використанням недорогих та невибагливих до умов зростання місцевих видів рослин. Використання допоміжних засобів підвищення ефективності фіторе mediaції вбиває на скорочення кількості необхідних циклів фіторе mediaції, а отже прискорює повернення ґрунтів до сільськогосподарського або рекреаційного використання.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дане дослідження пов'язане з необхідністю прогресу у цілі сталого розвитку № 15 «Захист та відновлення екосистем суші та сприяння їх раціональному використанню, раціональне лісокористування, боротьба з опустелюванням, припинення і повернення назад (розвертання) процесу деградації земель та зупинка процесу втрати біорізноманіття», а саме з завданням на національному рівні 15.3 «Відновити деградовані землі та ґрунти з використанням інноваційних технологій» [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні підходи до зменшення вмісту нафтопродуктів у ґрунтах формуються навколо використання різноманітних сорбентів, часто у поєднанні з фіторе mediaцією або використанню власно фіторе mediaції та пошуку найбільш ефективних рослин, які є характерними для даної місцевості та кліматичних умов. Методи фізичного переміщення шарів нафтозабруднених ґрунтів або їх промивка водою визнана такими, що не відповідають концепції сталого розвитку [2].

Поточна складна економічна ситуація в Україні спонукає дослідників до розробки наукових засад використання нетипових, недорогих або взагалі безкоштовних, сорбентів для очищення нафтозабруднених ґрунтів. В якості сорбентів при комплексному відновленні нафтозабруднених ґрунтів знайшли застосування та підтверджену ефективність нові як неорганічні матеріали, наприклад, інкапсулюючого розчину силікату натрію (7 % мас./об.) в якості основного компонента і синтетичної поверхнево-активної речовини (додецилсульфат натрію) [3], так й органічні відходи сільського господарства, наприклад, соняшникове лушпиння [4].

Використання спеціальних біопрепаратів, основою яких є бактерії та дослідження їх ефективності є ще одним напрямком відновлення родючості нафтозабруднених ґрунтів. Штами мікроорганізмів таких біопрепаратів повинні бути здатними до розкладання вуглеводнів. Проведені авторами [5] дослідження показали ефективність штаму *Bacillus*

*amyloliquefaciens* ssp. *Plantarum* для розкладання вуглеводнів; автори [6] виділили три види грампозитивних *Mycobacterium* які суттєво прискорюють розклад нафтопродуктів; автори [7] пропонують використовувати бактерії типу *Rhodococcus erythropolis* S67 для розкладу вуглеводнів у ґрунтах.

Третій напрямок відновлення родючості забруднених нафтопродуктами ґрунтів є використання рослин, тобто фіторе mediaція. Автори [8] провели ґрунтовне дослідження ефективності найпоширеніших видів рослин для фіторе mediaції забруднених нафтопродуктами ґрунтів та визначили, що овес забезпечує найвищий рівень зменшення фітотоксичності, а гірчиця -найменший. Автори [9] зауважують на перспективності використання енергетичних культур для фіторе mediaції нафтозабруднених ґрунтів, що дозволяє також забезпечити енергонезалежність регіони за рахунок виготовлення паливних пелет з таких рослин. Проте автори [9] зауважують, що такий підхід повинен ґрунтуватися на глибоких наукових дослідженнях трансформації та вмісту всіх токсикантів у біомасі енергетичних культур. Дослідження авторів [10] показали можливість вирощування та подальшого використання дворічної енергетичної культури Буркун лікарський на нафтозабруднених ґрунтах за умови дотримання запропонованої технології, автори [11] провели аналогічні дослідження для обліпихи крушенівидної

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Дана стаття присвячена дослідженню можливості комплексного підходу до відновлення родючості нафтозабруднених ґрунтів завдяки використанню зрілого компосту як одного з елементів.

**Новизна.** Вперше досліджено потенціал використання зрілого компосту в якості агенту, який пришвидшує процес відновлення родючості нафтозабруднених ґрунтів.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Отриманні дані можуть бути використані при розробці локальних планів відновлення родючості нафтозабруднених ґрунтів та поширенню використання компостів у таких планах.

**Викладення основного матеріалу.** В якості об'єкту дослідження були використані зразки ґрунту, які зазнали забруднення нафтопродуктами після атаки на нафтобазу у м. Харків 9.02.2024р. Дослідження проводились на подвір'ї приватного будинку влітку 2024, відбір проб ґрунту виконувався згідно стандартної методики [12] (рис. 1, а).

Попередньо відповідними службами та мешканцями вже було прибрано нафтопродукти з поверхні ґрунтів (лютий-травень 2024), тобто зразки ґрунту містять тільки ті нафтопродукти, які просочились вглибину. Вміст нафтопродуктів визначали гравіметричним методом з використанням розчинників хлороформу та гексану за стандартною методикою [13].



а б в

Рис. 1. Зразки ґрунтів

а – нафтозабруднений ґрунт; б – контрольний ґрунт;  
в – частки великого розміру, які вилучали з компосту

Вплив нафтопродуктів на родючість ґрунтів оцінювали за пригніченням вегетативного розвитку тест-рослини крес салат відповідно до загальноприйнятої методики, на кожен зразок ґрунту проводилось 5 паралельних дослідів [14].

В якості контрольного зразку ґрунту використовували субстрат TM Flora (рис. 1, б). Зрілий компост (рН = 7,0) було утворено шляхом однорічного компостування у буртах органічних відходів, що утворились в індивідуальному домогосподарстві. Перед використанням компосту з нього видалялись великі залишки рослинного походження (рис. 1, в), вміст яких не перевищував 5 мас.%. Елементний склад компосту було визначено за допомогою скануючого електронного мікроскопу Cal Zeiss EVO MA1 (рис. 2), органічна речовина складає майже 20 мас.%.

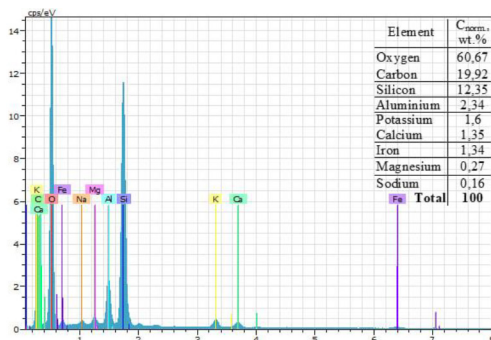


Рис. 2. Елементний склад компосту, мас.%

Дослідження впливу компосту на зменшення кількості нафтопродуктів у ґрунтах відбувалось згідно схеми, наведеної на рис. 3.

Як торф, так й компост виступають в першу чергу сорбентами нафтопродуктів. Проте компост, на відміну від торфу, є поживним вуглецевмісним (рис. 2) середовищем для бактерій типу *Pseudomonas*, які ефективно утилізують різноманітні вуглеводні,

в тому числі важкі фракції нафти [15]. Маючи додаткове джерело поживних речовин у компості цей тип бактерій значно активніше розвивається та споживає, в тому числі, нафтопродукти. Це в свою чергу призводить до зменшення вмісту нафтопродуктів у ґрунтах навіть без фіторе mediaційних заходів (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст нафтопродуктів у ґрунтах під час досліджень

| Зразок ґрунту                                             | Вміст нафтопродуктів на етапі дослідження, г/кг |    |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----|
|                                                           | I                                               | IV |
| нафтозабруднений з ділянки № 1 (зразок № 2 рис. 4, а)     | 38                                              | 36 |
| з внесеним компостом з ділянки № 2 (зразок № 3 рис. 4, а) |                                                 | 26 |
| з внесеним торфом з ділянки № 3 (зразок № 4 рис. 4, а)    |                                                 | 20 |

Незначне зниження вмісту нафтопродуктів впродовж 3х місяців у зразку без введення сорбентів пояснюється процесами самоочищення ґрунтів та частковим випаровуванням легких фракцій нафтопродуктів.

Негативний вплив нафтопродуктів проявляється по відношенню до тест-рослини вже на етапі проростання (схожості) насіння (рис. 4, в, табл. 2).

На відміну від всіх інших зразків ґрунтів, у зразку без компосту чи торфу (зразок № 2) на 3 добу відсутнє проростання насіння. На 5 добу схожість насіння у не очищеному ґрунті була мінімальна та становила 10 % (табл. 2).

Коефіцієнт пригнічення ( $E$ ,%) розраховували згідно стандартної методики [16]. Коефіцієнт пригнічення є значним (понад 60 %) для зразку ґрунту, який містить нафтопродукти як для стебла, так й для кореня. Внесення компосту та торфу призводить до зменшення коефіцієнта пригнічення. Внесення торфу має більший вплив на підвищення родючості ґрунтів у порівнянні з компостом. Це досягається за рахунок розвитку кореневої системи у зразках № 3 та № 4 – довжина коренів становить 2,1–2,5 мм, що всього на 0,7–1,0 мм менша ніж у контрольного зразку, відповідно коефіцієнт пригнічення для наземних та підземної частини є середнім, адже лежить в діапазоні 20–40 % (табл. 2).

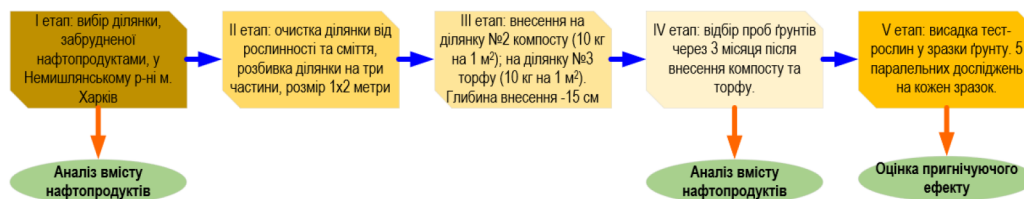


Рис. 3. План експериментального дослідження

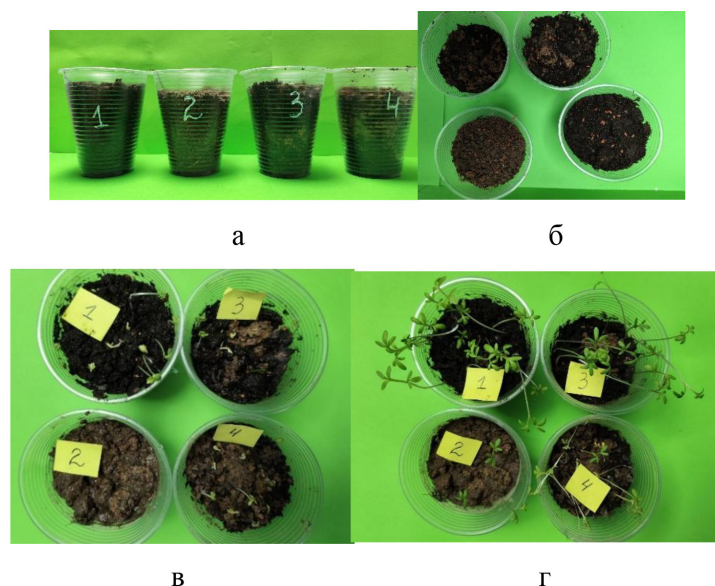


Рис. 4. Дослідження фітотоксичності ґрунтів

*а* – зразки ґрунтів: 1 – контрольний, 2 – нафтозабруднений з ділянки № 1, 3 – з внесеним компостом з ділянки № 2, 4 – з внесеним торфом з ділянки № 3;  
*б* – насіння тест рослин на поверхні зразків, які дали закривались шаром ґрунтів 2 см;  
*в* – проростання насіння через 3 дні від початку експерименту; *г* – стан рослин через 14 діб

Таблиця 2

## Результати дослідження фітотоксичності ґрунтів

| Зразок ґрунту                                             | Проростання,<br>% | Середня довжина мм |        | Значення Е, % для |        |
|-----------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|--------|-------------------|--------|
|                                                           |                   | стебло             | корінь | стебло            | корінь |
| нафтозабруднений з ділянки № 1 (зразок № 2 рис. 4, а)     | 10                | 35                 | 1,1    | 61,5              | 65,6   |
| з внесеним компостом з ділянки № 2 (зразок № 3 рис. 4, а) | 58                | 54                 | 2,1    | 40,7              | 34,4   |
| з внесеним торфом з ділянки № 3 (зразок № 4 рис. 4, а)    | 65                | 62                 | 2,5    | 31,9              | 21,9   |
| контрольний (зразок № 1 рис. 4. а)                        | 94                | 91                 | 3,2    | –                 | –      |

**Головні висновки.** Компостування органічних відходів, в тому числі тих, що утворюються в індивідуальних домогосподарства та включають в себе багато харчових відходів, є найбільш ефективним способом зменшення кількості відходів та відповідає національній ієрархії управління відходами. Використання сформованих компостів в якості добрив дозволяє повернути до ґрунтів поживні речовини та підвищити їх родючість.

Використання компостів у комплексній програмі відновлення родючості нафтозабруднених ґрунтів дозволяє одночасно й підвищити ефективність фіторе mediaційних заходів, й розширити сферу практичного використання компостів. Враховуючи той факт, що компости є фактично безплатними, їх використання при відновленні родючості нафтозабруднених ґрунтів є пріоритетним методом у складних економічних реаліях України.

Використання зрілого компосту разом з фіторе mediaційними заходами може підвищити ефективність таких заходів та зменшити кількість циклів завдяки сорбуючим функціям компосту та створенню сприятливих умов для розмноження бактерій, які сприяють розкладанню нафтопродуктів.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження можуть бути використані при розробці локальних планів підвищення родючості ґрунтів, забруднених нафтопродуктами, особливо для індивідуальних домогосподарств.

*Автори висловлюють подяку Lithuanian Energy Institute, Laboratory Materials Research and Testing за допомогу у проведенні досліджень.*

*The authors express their gratitude to the Lithuanian Energy Institute, Laboratory Materials Research and Testing for assistance in conducting the research.*

## Література

1. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна» / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf> (дата звернення: 10.09.2025).
2. Хохлов А. В., Хохлова Л. Й. Використання рослинних біоактивованих композитів для очищення нафтозабруднених ґрунтів. *Екологічні науки*. 2024. № 5(56). С. 189–193.
3. Крайнюков О. М., Кривицька І. А. Використання методу капсулювання діоксиду кремнію для відновлення нафтозабруднених ґрунтів. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Серія «Екологія»*. 2021. № 23. С. 50–56.
4. Шевчик-Костюк Л. З., О. І. Романюк О. І. Використання лушпиння соняшника для відновлення нафтозабруднених ґрунтів. *Біологічні дослідження – 2025: збірник наукових праць XVI Всеукраїнської науковопрактичної конференції, 3–4 квітня 2025 р. Житомир : Вид-во ПП «Євро-Волинь»*. 2025. С. 161–162.
5. Трохименко Г. Г., Грушина Г. О., Гурець Н. В., Ремешевська І. В. Аналіз застосування експериментального біоремедіанту для відновлення нафтозабруднених ґрунтів. *Збірник наукових праць НУК*. 2025. № 2 (500). С. 411–417.
6. Deng Y., Mou T., Wang J., Su J., Yanchun Yan Y., Zhang Y. Characterization of three rapidly growing novel *Mycobacterium* species with significant polycyclic aromatic hydrocarbon bioremediation potential. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. URL <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2023.1225746/full#h12> (дата звернення 13.10.2025).
7. Luong T. M., Ponamoreva O. N., Nechaeva I. A., Petrikov K. V., Delegan Ya. A., Surin A. K., Linklater D., Filonov A. E.. Characterization of biosurfactants produced by the oil-degrading bacterium *Rhodococcus erythropolis* S67 at low temperature. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2018. № 34(20). P. 1–10.
8. Черняк Л., Міхєєв О., Лапань О., Дмитруха Т., Яремчук Л. Аналіз ефективності використання методу фіторемедіації для відновлення нафтозабрудненого ґрунту. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2022. № 5. С. 19–26.
9. Борецька І. Ю., Джура Н. М., Романюк О. І. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. *Екологічні науки*. 2021. № 6(39). С. 72–76.
10. Долецька А. С. Борецька І. Ю., Романюк О. І., Шевчик-Костюк Л. З., Джура Н. М. Оцінка ефективності технологій для оптимізації вирощування *Melilotus Officinalis* (L.) pall. на нафтозабрудненому ґрунті. *Екологічні науки*. 2023. № 5(50). С. 15–19.
11. Шевчик-Костюк Л. З.; Романюк О. І.; Ощеповський І. В. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси обліпихи крушиновидної, вирощеної на техногенно порушених нафтозабруднених землях. *Renewable Energy / Vidnovluvana Energetyka*. 2025. V. 80, №. 1. С. 168–175.
12. ДСТУ ISO 10381–6:2015. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 6: Настанови з відбирання, оброблення та зберігання ґрунту в анаеробних умовах лабораторного оцінювання мікробіологічних процесів, біомаси та різноманіття. Чинний від 2016–04–01. Київ : Держспоживстандарт України, 2017. 12 с. (Національний стандарт України).
13. МБВ № 081/12-0116-03. ґрунти. Методика виконання вимірювань масової частки нафтопродуктів гравіметричним методом. Чинний від 2004 – 06-10. Київ : УкрНДІП. 2003. 7 с.
14. ДСТУ ISO 11269–2:2002. Якість ґрунту. Визначення дії забруднювачів на флору ґрунту. Частина 2. Вплив хімічних речовин на проростання та ріст вищих рослин. Чинний від 2003–10–01. Київ: Держстандарт України. 14 с. (Національний стандарт України).
15. Хохлов А. В., Хохлова Л. Й. Очищення піщаних ґрунтів від нафтозабруднень застосуванням біосорбційних комплексів. *Екологічні науки*. 2020. № 6 (33). С. 86–90.
16. Писаренко П. В., Самойлік М. С., Диченко О. Ю., Цьова Ю. А. Дослідження впливу техногенно порушених земель від звалищами ТПВ на показники ґрунту агроценозів. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 125. С. 225–223. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.125.31>

Дата першого надходження рукопису до видання: 12.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 15.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025