



УДК 504.064

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.37>

АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ФІТОТОКСИЧНОСТІ ЧОРНОЗЕМНОГО ҐРУНТУ ЗАБРУДНЕНОГО НАФТОПРОДУКТАМИ

О. В. Коляда¹, Г. В. Коробкова², В. П. Коляда³

У статті розглянуто проблему забруднення ґрунтів нафтопродуктами та їхній вплив на фітотоксичність ґрунтів, що є ключовим показником для оцінювання екологічного стану природних середовищ. Фітотоксичність ґрунту визначається як його здатність негативно впливати на проростання насіння та розвиток рослин, що є важливим індикатором забруднення. Проведено аналіз впливу різних концентрацій нафтопродуктів на схожість насіння редису та морфологічні показники тест-рослин (довжину паростків). Експериментальні дані демонструють чітку залежність між рівнем забруднення ґрунту й інгібуванням проростання насіння. Найвищий показник схожості насіння (76,0%) спостерігався на чистому ґрунті, тоді як за збільшення концентрації забруднювача до 10 г/кг цей показник знижувався до 30,0%. У разі надзвичайно високого забруднення (100 г/кг) проростання рослин не відбувалося взагалі. Аналогічна тенденція спостерігалася і для біометричних показників. Зокрема, на 5-ту добу на чистому ґрунті довжина паростків у середньому становила 3,5 см, але суттєво зменшувалась (до 1,5 см) на варіанті з концентрацією забруднення 10 г/кг ґрунту. За високого рівня забруднення проростання рослин не відбувалося зовсім. На 10-ту добу спостерігали поступове зниження довжини паростків зі збільшенням концентрації забруднювача – із 7,8 см на чистому ґрунті до 6,6 см у разі забруднення на рівні 1,0 ГДК. Суттєве зниження даного параметра порівняно із чистим ґрунтом спостерігали за збільшення концентрації забруднення до 10,0 та 100,0 ГДК. Фітотоксичність ґрунту, визначена за довжиною паростків, підвищувалась з ростом тест-рослин і залежала від концентрації забруд-

¹ кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри екології та біотехнологій у рослинництві
(Державний біотехнологічний університет, м. Харків)
e-mail: olyakolyadapovh@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3727-5492

² кандидат географічних наук,
старший викладач кафедри екології та біотехнологій у рослинництві
(Державний біотехнологічний університет, м. Харків)
e-mail: korobkovaann@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0246-8585

³ кандидат сільськогосподарських наук,
старший дослідник, завідувач лабораторії охорони ґрунтів від ерозії та дистанційних методів дослідження
(Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського, м. Харків»)
e-mail: koliadavalerii@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2682-5687

нення. За мінімального забруднення ґрунту (0,5–1,0 ГДК) рівень фітотоксичності становив 6,6–15,0%, залежно від варіанту та доби спостереження. За концентрації 10,0 г/кг фітотоксичність досягала 35,0%, а за 100,0 г/кг – критичного рівня (77,0–100,0%), що робить ґрунт практично непридатним для нормального розвитку рослин. Отримані результати підкреслюють високу чутливість рослин до наявності нафтопродуктів у ґрунті. Нафтопродукти можуть порушувати водний режим ґрунту, знижувати доступність поживних елементів і створювати токсичні умови, які пригнічують клітинне дихання та поділ клітин під час сходів. Окрім того, нафтопродукти утворюють щільну масляну плівку на поверхні ґрунту, що перешкоджає доступу кисню до насіння. Токсичні речовини можуть проникати всередину клітин, порушувати функціонування ферментних систем, необхідних для проростання та подальшого росту.

Ключові слова: ґрунт, нафтопродукти, фітотоксичність, тест-рослини, забруднення.

ANALYSIS AND MODELING OF PHYTOTOXICITY OF CHERNOZEM SOIL CONTAMINATED WITH OIL PRODUCTS

O. V. Koliada, G. V. Korobkova, V. P. Koliada

The article discusses the problem of soil pollution by oil products and their impact on soil phytotoxicity, which is a key indicator for assessing the ecological state of natural environments. Soil phytotoxicity is defined as its ability to negatively affect seed germination and plant development, which is an important indicator of pollution. The influence of different concentrations of petroleum products on radish seed germination and morphological parameters of test plants, such as sprout length, was analyzed. The experimental data demonstrate a clear relationship between the level of soil contamination and inhibition of seed germination. The highest rate of seed germination (76,0%) was observed on clean soil, while with an increase in the concentration of the pollutant to 10 g/kg, this figure decreased to 30,0%. At extremely high contamination (100 g/kg), no plant germination occurred at all. A similar trend was observed for biometric indicators. In particular, on the seventh day on clean soil, the length of the sprouts averaged 3,5 cm, and significantly decreased to 1,5 cm in the variant with a pollution concentration of 10 g/kg of soil. At a high level of pollution, plant germination did not occur at all. On day 10, a gradual decrease in the length of the sprouts was observed with an increase in the concentration of the pollutant – from 7,8 cm on clean soil to 6,6 cm with pollution at 1,0 MPC. A significant decrease in this parameter compared to clean soil was observed with an increase in the concentration of pollution to 10,0 MPC and 100 MPC. The phytotoxicity of the soil, determined by length of sprouts, increased as the test plants grew and depended on the concentration of pollution. With minimal soil contamination (0,5–1,0 MPC), the level of phytotoxicity was 6,6–15,0%, depending on the variant and day of observation. At a concentration of 10,0 g/kg, the phytotoxicity reached 35,0%, and at 100,0 g/kg – a critical level (77,0–100,0%), which makes the soil practically unsuitable for normal plant development. The results emphasize the high sensitivity of plants to the presence of oil products in the soil. Oil products can disrupt the water regime of the soil, reduce the availability of nutrients and create toxic conditions that inhibit cellular respiration and cell division during germination. In addition, petroleum products form a dense oil film on the soil surface, which prevents oxygen from reaching the seeds. Toxic substances can penetrate into the cells, disrupting the functioning of enzyme systems necessary for germination and further growth.

Key words: soil, oil products, phytotoxicity, test plants, pollution.

Вступ

Забруднення ґрунту залишками агрохімікатів, засобів захисту рослин і нафтопродуктами лишається серйозною екологічною проблемою для значної частини сільськогосподарських угідь нашої країни (Круглов та ін., 2019; Балюк та ін., 2024). Це спричиняє значні зміни фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунтового покриву та знижує його родючість (Жолобак та ін., 2018).

Забруднювальні речовини, що потрапляють у ґрунт, можуть накопичуватися або

переноситися за межі ґрунтового профілю, водночас негативно впливати на структуру ґрунту, його вологутримувальну здатність, кислотність і мікробіологічну активність (Taheri et al., 2018; Крайнюков та ін., 2020). Так, нафтопродукти змінюють кислотно-лужний баланс ґрунту, спричиняють підкислення внаслідок хімічних реакцій окислення вуглеводнів. Зміни рН впливають на розчинність і доступність поживних елементів для рослин: у кислих умовах знижується доступність кальцію, магнію і калію, що значно знижує родючість ґрунту. Водночас

зростає токсичність важких металів, як-от кадмій і свинець, які можуть бути зв'язані з нафтопродуктами (Боднарюк та ін., 2017).

Нафтопродукти чинять значний токсичний вплив на біологічні процеси у ґрунті, зокрема на мікроорганізми, які є ключовими для підтримки родючості та біологічної активності ґрунту (Шевчик-Костюк та ін., 2022). Вуглеводні з нафтопродуктів, які проникають у ґрунт, мають шкідливий вплив на популяцію бактерій, які виконують важливі функції, зокрема азотфіксацію та розкладання органічних речовин (Krainiukov et al., 2022). Натепер забруднення ґрунту нафтопродуктами є серйозною екологічною проблемою, яка посилюється зростанням виробництва, транспортування, зберігання і використання нафти та нафтопродуктів. Потрапляння нафтопродуктів у ґрунт, спричинене аваріями, витокami із трубопроводів, технологічними процесами або необережним поводженням, негативно впливає на навколишнє середовище і становить значні ризики для екосистеми (Balseiro-Romero et al., 2018). Загалом, забруднення нафтопродуктами значно погіршує якість ґрунту, знижує його екологічні функції та становить серйозну загрозу для навколишнього середовища.

З огляду на серйозну небезпеку забруднення ґрунтів нафтопродуктами (Agamuthu et al., 2010), зокрема й унаслідок мілітарного впливу (Диняк і Кошлякова, 2023; Мандрик і Лукинчук, 2023), наші дослідження були спрямовані на моделювання та оцінювання фітотоксичності штучно забрудненого нафтопродуктами ґрунту. Аналіз фітотоксичності забруднених ґрунтів є дуже важливим, адже саме рослини першими реагують на забруднення, саме їхній стан може бути маркером рівня токсичності ґрунту. Такі дослідження дозволяють оцінити вплив забруднення на ріст, розвиток і продуктивність рослин, а також визначити критичну концентрацію нафтопродуктів, за якої ґрунт втрачає здатність підтримувати життєдіяльність рослин (Haider et al., 2021).

Дослідженнями О.Ф. Бабаджанової, Ю.Г. Сукач, Р.Ю. Сукач підтверджено, що інгібування ростових процесів у рослин крес-салату перебуває у прямій залежності від рівня забруднення ґрунту дизельним паливом. Зокрема, у разі забруднення ґрунту 5,0% дизельного палива спостерігалася зменшення висоти стебел у 50 разів порівняно з контролем (Бабаджанова та ін., 2017). У дослідженнях Л.А. Колеснікової та

М.П. Федюшко вивчено вплив сирової нафти на структурні характеристики листової пластинки проростків ярої пшениці, що розвивалися на ґрунті зі штучно створеним нафтовим забрудненням. Виявлено негативний фітотоксичний ефект, який спричиняє дегенеративні зміни, зокрема атрофію та руйнування клітин хлоренхіми, що може завершитися загибеллю проростків тест-рослин (Колеснікова і Федюшко, 2015).

Матеріал і методи

Для проведення досліджень зразки ґрунту було відібрано з орного шару робочої ділянки на території ННВЦ «Дослідне поле Докучаєвське» Державного біотехнологічного університету. Ґрунтовий покрив даного поля представлений чорноземом типовим слабозмитим малогумусним важкосуглинистим на карбонатному лесі, який характеризується такими агрохімічними показниками: рН сольової витяжки – 6,4–7,0; загальний вміст гумусу в орному шарі – 4,8–5,0%; вміст рухомих форм фосфору – 8–10, калію – 9–11 мг/100 г ґрунту. Окрім того, даний ґрунт характеризується високою біологічною активністю, має агрономічно цінну зернисто-грудкувату структуру, виділяється добрими фізико-механічними властивостями та значними запасами поживних речовин у доступній для рослин формі.

Для реалізації запланованих досліджень зразки чорноземного ґрунту було висушено, просіяно та поміщено в посудини ємністю 200 мл. Для забруднення ґрунту використовували дизельне паливо. Як контроль використовували чистий ґрунт, що не піддавався впливу забруднення. Відповідно до «Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті» (затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України № 1595 від 14 липня 2020 р.), ГДК нафтопродуктів у ґрунтах становить 1 000 мг/кг. З урахуванням цього, для моделювання забруднення ґрунтів було додано відповідну кількість нафтопродуктів і передбачено такі схеми дослідження: 1 – чистий ґрунт без додавання забруднювача; 2 – 0,5 ГДК (0,5 г/кг); 3 – 1,0 ГДК (1,0 г/кг); 4 – 10,0 ГДК (10,0 г /кг); 5 – 100,0 ГДК (100,0 г/ кг); 6 – 1 000,0 ГДК (1 000,0 г/кг). Кратність повторення кожного варіанту – триразова.

Як тест-культуру застосовували редьку посівну (*Raphanus sativus* L.). Пророщування насіння проводили відповідно до ДСТУ ISO 11269-1 та ДСТУ ISO 11269-2. Ріст рослин

відбувався в термостаті за температури 23,0 °C упродовж 10 діб. Після завершення досліду проводили заміри довжини паростків рослин, розраховували середні значення показників по повтореннях для кожного із досліджуваних варіантів. Статистичний аналіз даних проводили за допомогою програми JMP.

Фітотоксичний ефект дії нафтопродуктів на тест-рослини розраховували за формулою 1:

$$\Phi = \frac{L - L_x}{L} * 100, \% \quad (1)$$

де L – морфометричні характеристики тест-рослин на контрольних варіантах без забруднення;

L_x – морфометричні характеристики тест-рослин на досліджуваних зразках ґрунту.

Оцінювання рівня фітотоксичності забрудненого ґрунту визначали відповідно до шкали, наведеної в таблиці 1.

Таблиця 1

Шкала оцінювання рівня пригнічення
ростових процесів рослин під впливом
забруднення

Рівень пригнічення ростових процесів (ФЕ, %)	Рівень токсичності
0–20	Токсичність відсутня або її рівень слабкий
20,1–40,0	Середній
40,1–60,0	Вищий за середній
60,1–80,0	Високий
80,1–100,0	Максимальний

Результати

Фітотоксичність ґрунту – це загальний показник, який використовується для оці-

нювання впливу забруднення ґрунту на розвиток високорослих рослин. Присутність токсичних речовин у ґрунті може негативно впливати на ріст рослин і проростання насіння. Основним показником токсичності ґрунту є спостереження за динамікою проростання насіння і кількістю пророслих рослин протягом визначеного часу. Тестування рослин є методом виявлення токсичності як у ґрунті, так і у водному середовищі. Рослини реагують на хімічний вплив зменшенням інтенсивності проростання насіння, довжини паростків, що робить їх ефективним індикатором токсичності.

Метод тестування рослин полягає в оцінюванні чутливості рослин до хімічних речовин, які впливають на їхній ріст і морфологічні ознаки. Основними вимогами до цього методу є чіткість, простота та зручність проведення експерименту, відтворюваність і надійність результатів, економічність і об'єктивність (Романюк та ін., 2016).

Нами було оцінено вплив різних рівнів забруднення ґрунту на схожість насіння редису. Результати експерименту показали, що схожість насіння редису змінюється залежно від рівня забруднення ґрунту: за збільшення концентрації забруднювача відбувається інгібування проростання насіння тест-рослин. Найвищий показник схожості насіння спостерігали на варіанті без забруднення – 76,0%, зі збільшенням концентрації поллютанта рівень схожості тест-рослин знижувався до 30,0% на варіанті із забрудненням 10,0 г/кг ґрунту. За концентрації нафтопродуктів на рівні 100,0 г/кг схожість не з'являлася взагалі (рис. 1).

Фітотоксичність ґрунту визначали за середньою довжиною паростків тест-рослин. На п'яту добу суттєвої різниці між

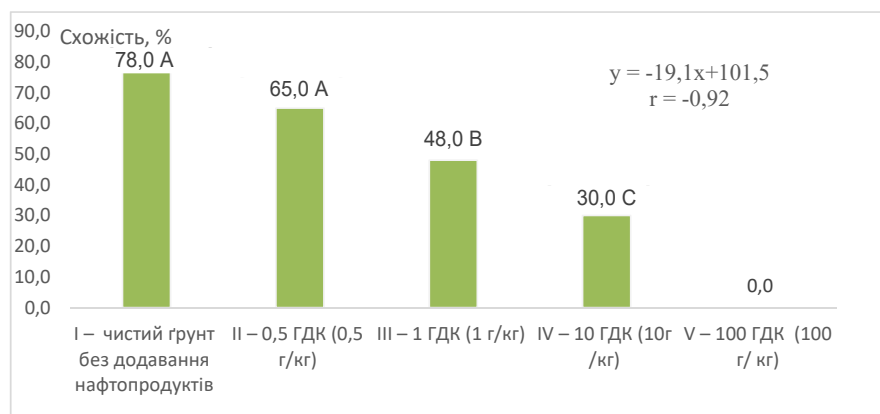


Рис. 1. Вплив забруднення ґрунту на схожість насіння тест-рослин (стовбці з різними літерами позначають суттєву різницю між варіантами ($p < 0,05$) за тестом Тьюкі (HSD))

довжиною паростків не спостерігали. На чистому ґрунті довжина паростків становила 0,75 см та знижувалась відповідно до забруднення ґрунту, до 0,5 см на варіанті із забрудненням на рівні 1,0 ГДК.

На сьому добу на чистому ґрунті довжина паростків у середньому становила 3,5 см, суттєво зменшувалась (до 1,5 см) на варіанті з концентрацією забруднення 10,0 г/кг ґрунту. За високого рівня забруднення проростання рослин не відбувалося зовсім. На 10 добу спостерігали поступове зниження довжини паростків зі збільшенням концентрації забруднювача – із 7,8 см на чистому ґрунті до 6,6 см за забруднення на рівні 1,0 ГДК. Суттєве зниження даного параметра порівняно із чистим ґрунтом спостерігали в разі збільшення концентрації забруднення до 10,0 та 100,0 ГДК (табл. 2).

Показники фітотоксичності ґрунту за довжиною паростків тест-рослин на п'яту, сьому та десятю добу проведення спостережень представлено на рисунку 2. За результатами проведених розрахунків було встановлено, що мінімальне забруднення ґрунту (на рівні 0,5–1,0 ГДК) спричиняє слабкий ефект фітотоксичності на рівні 6,6–15,0%, залежно від варіанту та доби спостереження. Підвищення концентрації забруднювача до 10,0 ГДК спричиняло зростання фітотоксичності на десятю добу до 35,0%, що відповідає середньому рівню. За надзвичайно високого забруднення (100,0 г/кг ґрунту) фітотоксичність досягала критичних показників – 77,0–100,0%, що робить ґрунт практично непридатним для росту рослин.

Обговорення

За результатами встановленого впливу фітотоксичності, на нашу думку, є всі підстави стверджувати, що у збільшених концентраціях нафтопродукти можуть порушувати водний режим ґрунту, знижувати доступність поживних елементів і створю-

вати токсичні умови, які пригнічують клітинне дихання та поділ клітин за появи сходів. Окрім того, зниження активності проростання може бути пов'язане з утворенням на поверхні ґрунту щільної масляної плівки, яка перешкоджає доступу кисню до насіння. Токсичні речовини нафтопродуктів можуть проникати всередину клітин, порушувати функціонування ферментних систем, необхідних для проростання та подальшого росту.

Зі збільшенням рівня забруднення ґрунту нафтопродуктами утворюються умови, які є несумісними з нормальним розвитком рослин. Це демонструє високу чутливість паростків до наявності нафтових забруднень, особливо на ранніх стадіях їхнього розвитку, що може становити серйозну загрозу для відновлення рослинного покриву на територіях, що зазнали забруднення. Такий вплив має потенціал призводити до значних екологічних наслідків.

Висновки

Отримані результати досліджень демонструють високу чутливість рослин до забруднення чорноземного ґрунту нафтопродуктами та підкреслюють їхній негативний вплив на екологічний стан ґрунтів. Навіть невеликі концентрації забруднювача характеризуються шкідливим ефектом, а за високого рівня забруднення ґрунту взагалі стають непридатним для вирощування рослин. Так, зі зростанням концентрації забруднення ґрунту спостерігали пропорційне зменшення довжини паростків насіння редису, що підтверджує негативний вплив забруднення на процеси, які забезпечують ріст рослин.

Результати проведеного моделювання та оцінювання рівня фітотоксичності ґрунтів нафтопродуктами можуть бути використані для формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо управління забрудне-

Таблиця 2

Аналіз біометричних показників тест-рослин (довжини паростків, см)

Варіанти дослідження	Доба проведення спостережень		
	5-та доба	7-ма доба	10-та доба
Чистий ґрунт	0,75a* ± 0,19	3,5a ± 0,41	7,8a ± 0,37
0,5 ГДК	0,70a ± 0,19	3,2a ± 0,41	7,0a ± 0,37
1,0 ГДК	0,65a ± 0,19	3,0a ± 0,41	6,6a ± 0,37
10,0 ГДК	0,50a ± 0,19	1,5в ± 0,41	5,1в ± 0,37
100,0 ГДК	0	0	1,8в ± 0,37

Примітка: * – значення з різними літерами в межах окремого дня проведення визначень позначають суттєву різницю між варіантами ($p < 0,05$) за тестом Тьюкі (HSD).

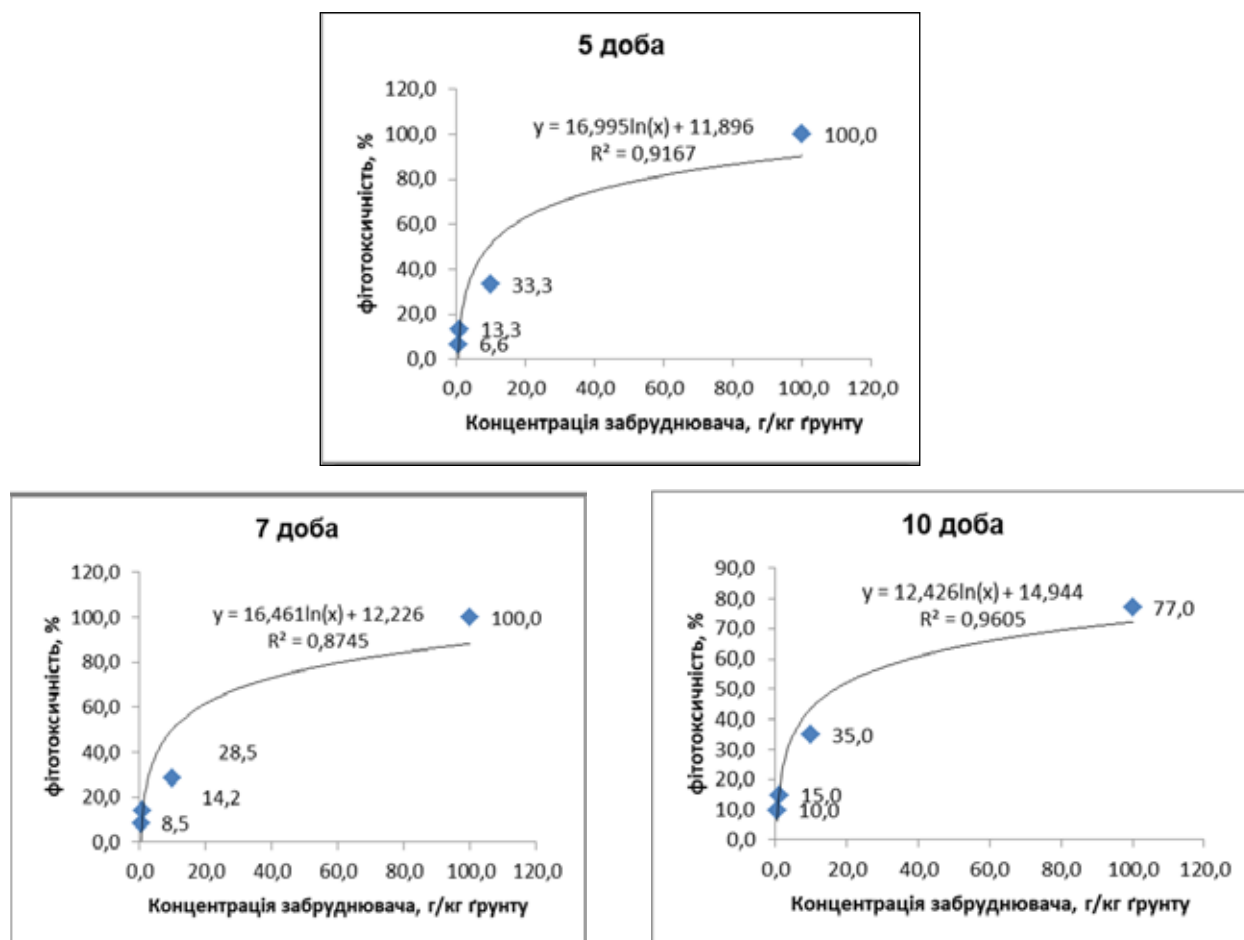


Рис. 2. Моделювання залежності фітотоксичності ґрунту від концентрації забруднення

ними територіями, підготовки стандартів щодо запобігання деградації ґрунтів та впровадження ефективних заходів щодо їх відновлення. Отримані результати підтвердили високу чутливість рослин до забруднення чорноземних ґрунтів нафтопродуктами, що підкреслює важливість запобігання забруд-

ненню даного типу ґрунтів і необхідність використання комплексного підходу до їх подальшого відновлення. Вибір методів відновлення має враховувати не лише економічну ефективність, а й екологічну безпеку, оскільки некоректні дії можуть призвести до подальшого погіршення стану екосистеми.

Список використаної літератури

- Бабаджанова О.Ф., Сукач Ю.Г., Сукач Р.Ю. Фітотоксичність ґрунтів, забруднених дизельним паливом. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2017. № 3. С. 92–94.
- Боднарюк Р.М., Вакерич М.М., Петросова В.І., Ніколайчук В.І., Гасинець Я.С. Вплив забруднення нафтопродуктами мікробіоценоз ґрунту та фітотоксичний ефект у умовах Ужгородського району Закарпаття. *Науковий вісник Ужгородського університету*. 2017. Вип. 42. С. 86–93.
- Балюк С.А., Кучер А.В., Ромащенко М.І. Ґрунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення : монографія. Київ : Аграрна наука, 2024. 340 с.
- Диняк О.В., Кошлякова І.Є. Потенційна небезпека для довкілля та населення від нафтохімічного забруднення геологічного середовища внаслідок бойових дій. *Екологічні науки*. 2023. № 6 (51). С. 136–141. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.22>.
- Жолобак Г.М., Дугін С.С., Сибірцева О.М., Дорофей Є.М. Дослідження нафтозабрудненого ґрунту і рослинного покриву, вирощеного на ньому, методом гіперспектрального дистанційного зондування із застосуванням спектрорадіометра ASD FieldSpec®3FR. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2018. № 19. С. 12–29.

Колеснікова Л.А., Федюшко М.П. Аналіз фітотоксичності нафтозабруднених ґрунтів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2015. № 1–2. С. 41–43. <https://doi.org/10.31210/visnyk2015.1-2.07>.

Крайнюков О.М., Кривицька І.А., Хоменко А.С. Оцінка впливу виробничої діяльності нафтопереробного підприємства на екологічний стан ґрунтового покриву. *Молодий вчений*. 2020. № 5 (81). С. 307–312. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-5-81-62>.

Круглов О.В., Коляда В.П., Корчашкіна Л.А. Сучасна технологія прогнозу забруднення довкілля засобами захисту рослин та добривами у результаті поверхневого стоку. *Збірник матеріалів Звітної науково-практичної конференції Луганського національного аграрного університету*. Харків : Стильна типографія, 2018. С. 18–20.

Мандрик О.М., Лукинчук О.І. Удосконалення способу очищення ґрунту забрудненого нафтопродуктами. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2023. Вип. 103. С. 273–281. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2023-103-1-273-281>.

Романюк О.І., Шевчик Л.З., Ощাপовський І.В., Жак Т.В. Методика екологічного оцінювання нафтозабруднених ґрунтів. *Вісник Дніпропетровського університету*. Серія «Біологія, екологія». 2016. № 24 (2). С. 264–269.

Шевчик-Костюк Л.З., Романюк О.І., Ощাপовський І.В. Особливості забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами: огляд. *Acta Biologica Ukrainica*. 2022. № 1. С. 32–40. <https://doi.org/10.26661/2410-0943-2022-1-04>.

Agamuthu P., Abioye O.P., Aziz A. Phytoremediation of soil contaminated with used lubricating oil using *Jatropha curcas*. *Journal of Hazardous Materials*. 2010. Vol. 179. № 1–3. P. 891–894. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.088>.

Balseiro-Romero M., Monterroso C., Casares J. Environmental fate of petroleum hydrocarbons in soil: review of multiphase transport, mass transfer, and natural attenuation processes. *Pedosphere*. 2018. Vol. 28. № 6. P. 833–847. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60046-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60046-3).

Haider F.U., Ejaz M., Cheema S.A., Khan M.I., Baowei Zhao, Cai Liqun, Salim M.A., Naveed M., Khan N., Núñez-Delgado A., Mustafa A. Phytotoxicity of petroleum hydrocarbons: Sources, impacts and remediation strategies. *Environmental Research*. 2021. Vol. 197. P. 111031. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111031>.

Krainiukov O., Miroshnychenko I., Siabruk O., Hladkikh Y. Effect of oil contamination on the course of changes in chernozem properties and phytotoxicity. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*. 2022. № 57. P. 296–306. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-22>.

Taheri M., Motesharezadeh B., Zolfaghari A., Javadzarrin I. Phytoremediation modeling in soil contaminated by oil-hydrocarbon under salinity stress by eucalyptus : A comparative study. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 150. P. 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.016>.

References

Babadzhanova, O.F., Sukach, Yu.H., & Sukach, R.Yu. (2017). Fitotoksichnist gruntiv, zabrudnennykh dyzelnym palyvom [Phytotoxicity of soils contaminated with diesel fuel]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of NLTU Ukraine]*, 3, 92–94 [in Ukrainian].

Bodnariuk, R.M., Vakerych, M.M., Petrosova, V.I., Nikolaichuk, V.I., & Hasynets, Ya.S. (2017). Vplyv zabrudnennia naftoproduktamy na mikrobiotsenoz gruntu ta fitotoksichniy efekt v umovakh uzhhorodskoho raionu Zakarpattia [Influence of oil pollution on soil microbiocenosis and phytotoxic effect in Uzhhorod district of Zakarpattia]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu [Scientific Bulletin of Uzhhorod University]*, 42, 86–93 [in Ukrainian].

Baliuk, S.A., Kucher, A.V., & Romashchenko, M.I. (ed.) (2024). Gruntovyi pokryv Ukrainy v umovakh voiennykh dii: stan, vyklyky, zakhody z vidnovlennia: monohrafiia [Soil Cover of Ukraine in the Context of Military Operations: Status, Challenges, and Restoration Measures: monograph]. Kyiv: Ahrarna nauka. 340 p. [in Ukrainian].

Dyniak, O.V., & Koshliakova, I.Ie. (2023). Potentsiina nebezpeka dlia dovkillia ta naselennia vid naftokhimichnoho zabrudnennia heolohichnoho seredovyshcha vnaslidok boiovykh dii [Potential danger to the environment and the population from petrochemical contamination of the geological environment as a result of hostilities]. *Ekolohichni nauky [Environmental sciences]*, 6 (51), 136–141. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.22> [in Ukrainian].

- Zholobak, H.M., Duhin, S.S., Sybirtseva, O.M., & Dorofei, Ye.M. (2018). Doslidzhennia naftozabrudnenoho gruntu i roslynnoho pokryvu, vyroshchenoho na nomu, metodom hiperspektralnoho dystantsiinoho zonduvannia iz zastosuvanniam spektrometri ASD FieldSpec®3FR [Investigation of oil-contaminated soil and vegetation cover grown on it by hyperspectral remote sensing using ASD FieldSpec®3 FR spectroradiometer]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli [Ukrainian Journal of Earth Remote Sensing]*, 19, 12–29 [in Ukrainian].
- Koliesnikova, L.A., & Fediushko, M.P. (2015). Analiz fitotoksychnosti naftozabrudnenykh gruntiv [Analysis of phytotoxicity of oil-contaminated soils]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of Poltava State Agrarian Academy]*, 1–2, 41–43. <https://doi.org/10.31210/visnyk2015.1-2.07> [in Ukrainian].
- Krainsiukov, O.M., Kryvytska, I.A., & Khomenko, A.S. (2020). Otsinka vplyvu vyrobnychoi diialnosti naftopererobnoho pidpriemstva na ekolohichni stan gruntovoho pokryvu [Assessment of the impact of production activities of an oil refinery on the ecological state of the soil cover]. *Molodyi vchenyi [Young scientist]*, 5 (81), 307–312. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-5-81-62> [in Ukrainian].
- Kruhlov, O.V., Koliada, V.P., & Korchashkina, L.A. (2018). Suchasna tekhnolohiia prohnozu zabrudnennia dovkillia zasobamy zakhystu roslyn ta dobryvamy u rezultati poverkhnivoho stoku [Modern technology for predicting environmental pollution by plant protection products and fertilizers as a result of surface runoff]. *Zbirnyk materialiv zvitnoi naukovo – praktychnoi konferentsii Luhanskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu [Collection of materials of the reporting scientific and practical conference of Luhansk National Agrarian University]*. Kharkiv : Stylina typohrafiia, 18–20 [in Ukrainian].
- Mandryk, O.M., & Lukynchuk, O.I. (2023). Udoshkonalennia sposobu ochyshchennia gruntu zabrudnenoho naftoproduktamy [Improvement of the method of soil purification contaminated with oil products]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadiivnytstva [Collection of scientific works of Uman National University of Horticulture]*, 103, 273–281. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2023-103-1-273-281> [in Ukrainian].
- Romaniuk, O.I., Shevchyk, L.Z., Oshchapovskyi, I.V., & Zhak, T.V. (2016). Metodyka ekolohichnoho otsiniuvannia naftozabrudnenykh gruntiv [Methodology for environmental assessment of oil-contaminated soils]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Biolohiia, ekolohiia [Bulletin of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology]*, 24 (2), 264–269 [in Ukrainian].
- Shevchyk-Kostiuk, L.Z., Romaniuk, O.I., & Oshchapovskyi, I.V. (2022). Osoblyvosti zabrudnennia gruntiv naftoiu ta naftoproduktamy: ohliad [Peculiarities of soil contamination by oil and oil products: a review]. *Acta Biologica Ukrainica*, 1, 32–40. <https://doi.org/10.26661/2410-0943-2022-1-04> [in Ukrainian].
- Agamuthu, P., Abioye, O.P., & Aziz, A. (2010). Phytoremediation of soil contaminated with used lubricating oil using *Jatropha curcas*. *Journal of Hazardous Materials*, 179, 1–3, 891–894. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.088> [in English].
- Balseiro-Romero, M., Monterroso, C., & Casares, J. (2018). Environmental fate of petroleum hydrocarbons in soil: review of multiphase transport, mass transfer, and natural attenuation processes. *Pedosphere*, 28, 6, 833–847. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60046-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60046-3) [in English].
- Haider, F.U., Ejaz, M., Cheema, S.A., Khan, M.I., Baowei, Zhao, Cai, Liqun, Salim, M.A., Naveed, M., Khan, N., Núñez-Delgado, A., Mustafa, A. (2021). Phytotoxicity of petroleum hydrocarbons: Sources, impacts and remediation strategies. *Environmental Research*, 197, 111031. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111031> [in English].
- Krainsiukov, O., Miroshnychenko, I., Siabruk, O., & Hladkikh, Y. (2022). Effect of oil contamination on the course of changes in chernozem properties and phytotoxicity. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (57), 296–306. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-22> [in English].
- Taheri, M., Moteszarehadeh, B., Zolfaghari, A., & Javadzarrin, I. (2018). Phytoremediation modeling in soil contaminated by oil-hydrocarbon under salinity stress by eucalyptus (A comparative study). *Computers and Electronics in Agriculture*, 150, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.016> [in English].

Отримано: 24.04.2025
Прийнято: 15.05.2025