

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Навчально-науковий інститут агротехнологій, селекції та
екології**

**Кафедра екології, збалансованого природокористування та захисту
довкілля**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Удосконалення системи відновлення техногенно
забруднених агроценозів внаслідок воєнних дій»**

**Виконав: здобувач вищої освіти
СВО Магістр за
ОПП Агрокологія
спеціальності 101 – Екологія
Кривенко Сергій Сергійович**

**Керівник: Самойлік М.С., доктор
економічних наук**

**Рецензент: Міленко О.Г., кандидат
сільськогосподарських наук, доцент**

Полтава – 2023 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут агротехнологій, селекції та екології

Кафедра екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля

Освітньо-професійна програма Агроекологія

Спеціальність 101 Екологія

Ступінь вищої освіти Магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри екології,
збалансованого

природокористування

та захисту довкілля,
д.с.-г.н., проф. Писаренко П.В.

« ____ » _____ 20 __ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЦІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Кривенку Сергію Сергійовичу

1. Тема роботи

Удосконалення системи відновлення техногенно забруднених агроценозів
внаслідок воєнних дій

керівник роботи:

доктор економічних наук, професор Самойлік Марина Сергіївна

затверджено наказом вищого навчального закладу

від « ____ » _____ 20 __ року № ____

2. Строк подання здобувачем роботи

« ____ » _____ 20 __ р.

3. Вихідні дані до роботи

Дані щодо проведення досліджень сільськогосподарських угідь ПСП «Нива»
(Полтавська обл., Шишацький (Миргородський) р-н, с. Баранівка).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Відновлення та очищення ґрунту агроценозів в умовах воєнних дій, очищення техногенно забруднених агроценозів внаслідок воєнних дій, дослідження впливу техногенного забруднення внаслідок воєнних дій на показники ґрунту агроценозів фітотоксична оцінка використання біологічних методів очищення ґрунтів сільськогосподарського призначення, забруднених внаслідок воєнних дій еколого-економічна оцінка використання пробіотичних препаратів та супутньо-пластової води при очищенні агроценозів, забруднених внаслідок воєнних дій Україні

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна ефективність	За потреби		

7. Дата видачі завдання « ____ » _____ 20 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1.	Огляд літературних джерел	1.09.2022-1.11.2022
2.	Вивчення методик дослідження	1.11.2022-1.02.2023
3.	Вивчення об'єкту дослідження	1.02.2023-1.03.2023
4.	Дослідження впливу техногенного забруднення внаслідок воєнних дій на показники ґрунту агроценозів	1.02.2023-1.06.2023
5.	Фітотоксична оцінка використання біологічних методів очистки ґрунтів сільськогосподарського призначення, забруднених внаслідок воєнних дій	1.06.2023-1.07.2023
6.	Очистка техногенно забруднених агроценозів внаслідок воєнних дій	1.07.2023-1.09.2023
8.	Характеристика умов проведення дослідження	1.09.2022-1.10.2023
9.	Еколого-економічна оцінка використання пробіотичних препаратів та супутньо-пластової води при очищенні агроценозів, забруднених внаслідок воєнних дій на Україні	1.10.2023-1.12.2023
10.	Підготовка кваліфікаційної роботи	1.12.2023-15.12.2023

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Кривенко С.С.

Керівник роботи

Самойлік М.С.

(підпис)

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ	5
РОЗДІЛ 1. ВІДНОВЛЕННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ ГРУНТУ АГРОЦЕНОЗІВ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ	7
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	
ОЧИСТКА ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ АГРОЦЕНОЗІВ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ	17
2.1 Дослідження впливу техногенного забруднення внаслідок воєнних дій на показники ґрунту агроценозів.....	17
2.2 Фітотоксична оцінка використання біологічних методів очистки ґрунтів сільськогосподарського призначення, забруднених внаслідок воєнних дій	26
Розділ 3. ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВИКОРИСТАННЯ ПРОБІОТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ ТА СУПУТНЬО-ПЛАСТОВОЇ ВОДИ ПРИ ОЧИЩЕННІ АГРОЦЕНОЗІВ, ЗАБРУДНЕНИХ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ НА УКРАЇНІ.....	37
ВИСНОВКИ.....	45
ЛІТЕРАТУРА.....	47

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Внаслідок воєнних дій на території України посівні площі скорочуються. У той же час, недобір продовольчого зерна може викликати світову продовольчу кризу. Виникає потреба в максимальному залученні земель в сільськогосподарський обіг на території України з метою забезпечення екологічної та продовольчої безпеки, сталого функціонування агроєкосистем.

Питанням очищення та відновлення агроценозів, які зазнають техногенного забруднення, присвячені праці відомих вітчизняних та зарубіжних дослідників: Амоса Р., Басова Ю., Буркинського Б., Вагіна В., Вієрзбіскі А., Гердінга Й., Калініченко А.В., Клименка М., Кривицької І., Макаренко Н., Мельника Л., Мицика О., Патики М., Писаренка П., Сінгх Ч., Шаніної Т., Юньцзян Ю., та ін. Але питання відновлення забруднених земель сільськогосподарського призначення внаслідок воєнних дій на Україні є особливо актуальним на сьогодні для наукової спільноти.

Мета дослідження полягала в теоретичному обґрунтуванні і розробці науково-методичних засад використання пробіотичних препаратів та супутньо-пластової води у сільськогосподарському виробництві як основи сталого функціонування агроєкосистем. Досягнення мети дослідження зумовило необхідність вивчення і розв'язання таких основних завдань:

- розробити технологію відновлення техногенно забруднених земель сільськогосподарського призначення внаслідок воєнних дій на Україні на основі інноваційних екологоорієнтованих методів;

- оцінити економічну та біоенергетичну ефективність використання суміші пробіотиків та СПВ в сільськогосподарському виробництві в контексті сталого функціонування агроєкосистем;

Предметом дослідження є механізм дії суміші пробіотичних препаратів та супутньо-пластової води на мікробний ценоз та хіміко-фізичні властивості ґрунту.

Об'єктом дослідження є супутньо-пластова вода та пробіотичні препарати.

Наукова новизна отриманих результатів - обґрунтовано та експериментально доведено ефективність використання суміші пробіотичних препаратів та супутньо-пластової води як інноваційних екологоорієнтованих методів відновлення техногенно порушених земель сільськогосподарського призначення внаслідок воєнних дій на Україні з метою забезпечення екологічної, продовольчої безпеки та створення сталих агроecosystem

Методи дослідження. Під час проведення досліджень застосовувались як загальнонаукові методи (діалектики, експерименту, аналізу і синтезу, гіпотез), так і спеціальні: польовий - вивчення впливу пробіотиків та їх суміші з СПВ на агрохімічні та агрофізичні властивості ґрунтової системи; вимірювально-ваговий – визначення біометричних показників рослин; лабораторний метод - визначення фізико-хімічними, хімічними, біохімічними, мікробіологічними методами кількісних і якісних характеристик об'єктів досліджень; статистичний метод - встановлення на основі регресійного, дисперсійного, кореляційного методів достовірності отриманих результатів, функціональних залежностей між різними факторами і процесами; розрахунково-порівняльний – оцінка

Особистий внесок здобувача - у постановці і проведенні досліджень, виконанні експериментальної частини досліджень, узагальненні результатів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота виконана на 49 сторінках машинописного тексту і складається із загальної характеристики, 3 розділи, висновків. Список використаної літератури налічує 38 найменувань.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.

ВІДНОВЛЕННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТУ АГРОЦЕНОЗІВ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ

Ґрунтовий покрив є саморегулюючим біологічною системою, найважливішою частиною біосфери в цілому. Вплив людини на ґрунт - складова частина загального впливу людського суспільства на земну кору і її верхній шар, на природу в цілому. Серед безлічі техногенних факторів, які впливають на ґрунтовий покрив, особливе місце займає забруднення ґрунтів важкими металами, такими як цинк, свинець, кадмій, а також нафтопродуктами. Особливо дане питання актуалізується в сучасних умовах ведення воєнних дій в Україні.

За даними ОБСЄ [1] під час детонації ракет та артилерійських снарядів утворюється низка хімічних сполук: чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO₂), водяна пара (H₂O), бурий газ (NO), закис азоту (N₂O), діоксид азоту (NO₂), формальдегід (CH₂O), пари ціанистої кислоти (HCN), азот (N₂), а також велика кількість токсичної органіки, окислюються навколишні ґрунти, деревина, дернина, конструкції. Забруднення, які потрапляють у атмосферне повітря та водне середовище, вторинно забруднює ґрунтовий покрив. Металеві уламки снарядів, що потрапляють у довкілля, також не є безпечними та цілковито інертними. Чавун із домішками сталі є найбільш поширеним матеріалом для виробництва оболонки боєприпасів та містить у своєму складі не тільки стандартні залізо та вуглець, а й сірку та мідь. Ці речовини потрапляють до ґрунту і можуть мігрувати до ґрунтових вод і в результаті потрапляти до харчових ланцюгів, впливаючи і на тварин, і на людей [2]. У менших масштабах (але з більшою різноманітністю впливів) джерелом забруднення є також згорілі танки, транспортні засоби, збиті літаки та інші залишки бойових дій.

Забруднення ґрунтів паливно-мастильними матеріалами та іншими нафтопродуктами відбувається унаслідок руху та пошкоджень сухопутної військової техніки. У ґрунтах, просочених паливно-мастильними матеріалами, знижується водопроникність, витісняється кисень, порушуються біохімічні та мікробіологічні процеси. Внаслідок цього погіршується водний, повітряний

режими та колообіг поживних речовин, порушується кореневе живлення рослин, гальмується їх ріст і розвиток, що спричиняє загибель.

За результатами оцінки екологічної шкоди від воєнних дій на Україні, проведеної фахівцями ОБСЄ [1] встановлено, що систематичне перевищення над фоновими концентрацій забруднюючих речовин в ґрунтах в місцях бойових дій в 1,1 – 1,3 рази було відзначено для ртуті, ванадію, кадмію. Характерне максимальне перевищення ГДК за свинцем та цинком становило в середньому у 2 рази та в окремих випадках досягало 7 – 17 раз. При цьому у ґрунт важкі метали надходять в різних формах: оксиди і різні солі, як розчинні, так і практично нерозчинні в воді (сульфіди, сульфати, арсеніти). Потрапляючи на поверхню ґрунтів, метали можуть або накопичуватися, або розсіюватися в залежності від характеру геохімічних бар'єрів, властивих тій чи іншій території [2]. Усереднені дані щодо кратності перевищення показників забруднення ґрунтів над фоновими в зоні впливу бойових дій відповідно досліджень ОБСЄ [1] приведено на рис. 1.1.

Також враховуючи наслідки воєнних дій, не потрібно відкидати попередні значні площі утворених техногенно забруднених земель внаслідок нерационального поводження з відходами та наявності значних площ санкціонованих та несанкціонованих звалищ, які функціонують без додержання норм екологічної безпеки. Так, за попередніми дослідженнями Середи М.С. [3], встановлено, що площі забруднених агроценозів внаслідок впливу місць видалення відходів перевищує 910 га тільки в Полтавській області. При цьому вміст важких металів в агроценозах на відстані до 200 м від звалищ ТПВ коливався в діапазоні від 1,1 до 6 ГДК [4].

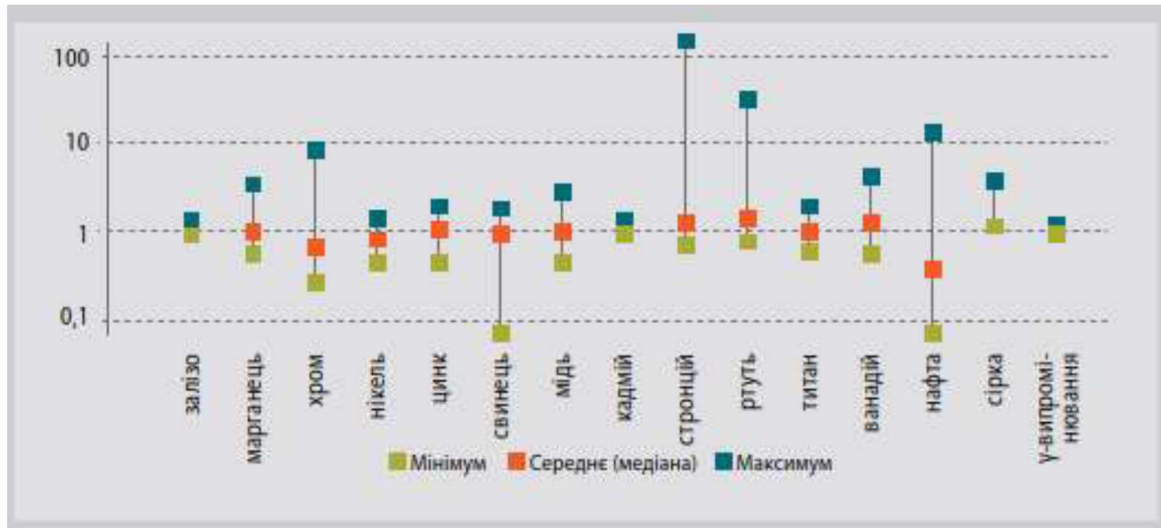


Рис. 1.1 – Кратність перевищення показників забруднення ґрунтів над фоновим значенням у зоні впливу бойових дій в Україні [1].

За результатами досліджень [5] встановлено, що на межі із техногенно порушеними землями під звалищами ТПВ у Полтавській області, перевищення ГДК ртуті у 1,1-5,7 рази характерне для 25% звалищ ТПВ, причому перевищення значень ГДК у 4,7-5,7 характерне для 2 звалищ. На межі із техногенно порушеними землями перевищення ГДК міді у 1,1-4,3 рази характерне для 37%, цинку - для 17% звалищ ТПВ. Перевищення ГДК цинку на відстані 50 м - у 1,1-1,8 рази, на відстані 100 м - у 1,1 – 1,3 рази характерне для 7% звалищ ТПВ. На межі із звалищем ТПВ перевищення ГДК по нафтопродуктам у 1,1-6,6 рази характерне для 30% звалищ ТПВ, на відстані 50 м перевищення ГДК складає 1,1-3,1 рази (23% звалищ ТПВ), на відстані 100 м – у 1,1 - 1,2 рази характерне для 7% звалищ ТПВ (рис. 1.2).

У зв'язку з цим особливо актуальним на сьогодні є питання очищення ґрунтів техногенно забруднених земель від важких металів та нафтопродуктів.

Універсального методу очищення ґрунтів, що зазнають забруднення від місць видалення відходів, не існує. Ефективність методу залежить від властивостей ґрунту, ступеня адаптації рослин, що ростуть на даних забруднених територіях, і цілого ряду інших факторів. Вибір конкретної технології для очищення забрудненої території залежить від хімічної структури забруднюючих речовин та інших характеристик [29].

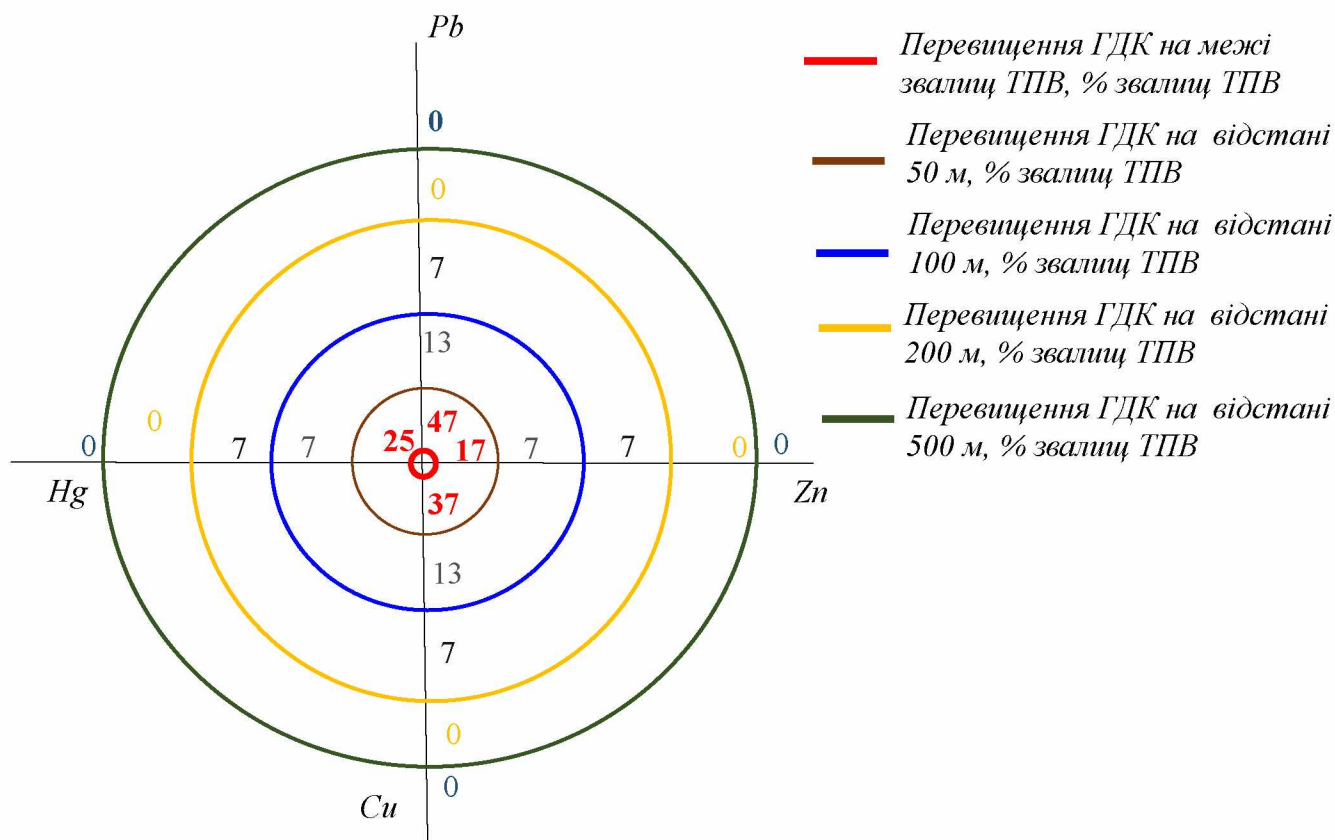


Рис. 1.2 - Вміст важких металів у ґрунті на різній відстані від звалищ ТПВ Полтавської області, % звалищ ТПВ [29]

Згідно літературних даних [10-15], існуючі методи відновлення техногенно порушених земель можна розділити на три групи:

1. Радикальні: повне видалення забрудненого шару ґрунту і заміна його на «чистий», який пройшов спеціальну обробку. Прийом використовується при локальному забрудненні в обмеженому обсязі. Також в даному випадку можливе використання так званих геоконтейнерів для локалізації забруднень, механічна ізоляція (консервування) чи герметизація об'єктів впливу на довкілля [20]. У реальних умовах, коли звалища ТПВ являють собою території з хаотично насипаними відходами, які досить часто не ущільнюються, дані методи використати досить складно.

2. Біологічні:

а) Використання адаптаційних можливостей рослин, які не накопичують важкі метали в їстівних частинах, або таких, які достатньо стійкі до них. За даними середньозважених значень вмісту важких металів в рослинах авторами

[30] складені ранжирувальні ряди культур за ступенем накопичення в них свинцю: ячмінь > соняшник > гречка > горох > гірчиця > різнотрав'я > люцерна > овес > соя > пшениця > кукурудза.

б) Використання рослин - концентратів важких металів для регулярного видалення їх надземної і підземної маси, а також спеціальних мікроорганізмів, які поглинають важкі метали та нафтопродукти і тим самим роблять їх недоступними для рослин.

Потрапляючи з ґрунту в рослини через кореневу систему, важкі метали можуть переміщуватися активно (метаболічним шляхом) або пасивно. У першому випадку поглинання і переміщення іонів металів здійснюється за системою, що складається з протопласту клітин. При пасивному транспорті іони, досягнувши поверхні кореня, потрапляють у вільний простір кореня і далі з транспіраційним рухом пересуваються по рослині. З активним транспортом по рослині пересувається частина металів, які виконують деякі біологічні функції (мідь, цинк, кобальт і ін.), а також метали, які хімічно подібні до необхідних елементів (кадмій є хімічним аналогом цинку). Проте більшість металів, особливо ті, які не є необхідними для рослин (свинець), переміщуються за допомогою дифузії. Контактуючи з клітинними стінками та рядом мінеральних і органічних сполук, що містяться у клітинах, метали осідають і втрачають біологічну активність. У той самий час, коли відбувається забруднення ґрунту великою кількістю металів, деяка їх частина здатна обминати захисні системи рослин і токсично впливати на них [10].

Як зазначає у своїх дослідженнях Стольберг Ф.В. [3] одним із ефективних способів очищення ґрунтів від важких металів є фіторемедіація. Фіторемедіація заснована на здатності рослин-гіперакумуляторів накопичувати в своєму листі і коренях важкі метали. До рослин-гіперакумуляторів свинцю відносяться: лобода туркменська; лобода біла; лох вузьколистий; сарсазан шишкуватий; спориш звичайний.

в) Мікробіологічні. Все більш широкого напрямку набуває використання пробіотичних та бактеріальних препаратів для інтенсифікації процесів очистки ґрунту. Зокрема даними дослідженнями займалися: Ван Хервейнена

Р., Бондаренко Ю.Г., Демонд Г., Маркін В.В., Писаренко П.В., Самойлік М.С., Zhang Y., та інші. Деякі науковці зазначають, що рекультивация забруднених територій та земель, які зазнали техногенних навантажень, і залучення їх до сільськогосподарського використання можливі на основі використання мікробіологічних препаратів. На сьогодні існує принаймні два підходи щодо мікробної рекультивации забруднених територій: внесення в ґрунт бактеріальних культур, активних у трофічному відношенні щодо забруднювача, і проведення на забрудненій території компостування органічної маси впродовж певного періоду (як правило, декількох місяців). Щодо можливості здійснення першого способу є серйозні застереження, які ґрунтуються на закономірностях розвитку популяцій у ґрунті і неможливості домінування інтродукованих мікроорганізмів у такій гетерогенній системі, як ґрунт. Другий спосіб видається більш надійним, проте для його здійснення не вистачає такої органічної речовини, як гній. У той же час, потрібно констатувати, що на сьогодні питання рекультивации вирішуються практично без врахування мікробіологічних аспектів формування родючості ґрунтів.

Як зазначають дослідники Інституту мікробіології та вірусології ім. Д. К. Заболотного, одним із перспективних методів очищення різних компонентів довкілля є використання пробіотичних препаратів. Досліджено ефективність використання пробіотиків для очистки стічних вод [30], наявні дослідження щодо використання пробіотиків у боротьбі з евтрофікацією водоймищ. Але на даний час питання щодо використання пробіотиків у процесах очищення ґрунтів є малодослідженим. Широкому застосуванню пробіотичних препаратів перешкоджає недостатня вивченість даного напрямку: відсутня наукова і науково-практична база, порівняльні дослідження різних пробіотиків, методики розрахунку необхідних доз використання, прибутків для отримання заданого ефекту очищення тощо. Таким чином постає необхідність у подальших дослідженнях методів відновлення забруднених ґрунтів мікробіологічними препаратами, зокрема пробіотиками.

Як уже зазначалося, більшість пробіотиків містять в своєму складі факультативно анаеробні бактерії та спороутворюючі аеробні бактерії роду

Bacillus. Одними із перспективних на сьогодні є пробіотики групи *Sviteko* (*Sviteko-ППВ*, *Sviteko-ОПЛ*, *Sviteko-Агробіотик-01* - виробник ТОВ «НВП Еко-Країна», с. Терешки, Полтавська обл., Україна), основними мікроорганізмами яких є *Bacillus subtilis*. Можливості використання даних пробіотиків для зниження фітотоксичності ґрунту, забрудненого важкими металами, досліджувалися на прикладі звалищ ТПВ [10]. Але дане питання потребує подальшого дослідження для земель сільськогосподарського призначення.

3. Фізико-хімічні: впливають на рухливість важких металів в ґрунті і виключають їх з біологічного кругообігу або переводять в легкорозчинні і рухливі форми. До їх числа відносяться:

а) Промивання забрудненого ґрунту, наприклад, кальцієвої селітрою або внесення розчинних солей заліза (хлорне залізо).

б) Зміна кислотності ґрунту (до оптимальної для кожної культури) шляхом вапнування і підвищення вмісту гумусу для зменшення токсичності важких металів внаслідок зв'язування їх в недоступні для рослин металоорганічні комплекси.

в) Застосування мінеральних добрив (в науково-обґрунтованих дозах). Внесення азотних добрив, спільно з органічними добривами знижує токсичність свинцю, міді і миш'яку; калійних добрив (у підвищених дозах) - радіоцезію.

г) Детоксикація ґрунту, забрудненого важкими металами та нафтопродуктами, за допомогою природних і штучних сорбентів. До них відносяться цеолітові туфи (5% від маси ґрунту), вапно (1 кг/м²), торф (20 кг/м²), які повністю усувають фітотоксичність і погіршення якості продукції.

д) Хіміко-фізична «In situ» обробка ґрунту, до якої відноситься: електрокінетична обробка, яка полягає в видаленні важких металів із ґрунту за рахунок електрофорезу і електроосмосу (недоліки: висока вартість, може успішно застосовуватися тільки для глинистих ґрунтів, насичених частково або повністю вологою; утворення небажаних продуктів); електрохімічна обробка (видалення важких металів за рахунок електролізу води, електрокоагуляції, реакцій електрохімічного окислення та електрофлотації); вітрифікація (оскльовання забруднювачів при високій температурі). Дані методи є досить

ефективними з точки зору вилучення важких металів, але важко реалізованими в реальних умовах техногенно забруднених ґрунтів, адже є технологічно досить складними та дорогими (100-350 \$ на очищення 1 м² ґрунту), а також можуть приводити до вторинного забруднення ґрунтів.

е) Хіміко-фізична «Ex situ» обробка ґрунту включає: хімічну екстракцію (виділення небезпечних забруднювачів, у тому числі важких металів з ґрунту за рахунок використання хімічних препаратів, що може привести до вторинного хімічного забруднення); фізичну сепарацію (збір забруднюючих речовин здійснюється в більш дрібні концентровані обсяги, але при цьому необхідні спеціально обладнані майданчики); стабілізація (інкапсуляція або іммобілізація металів, але в реальних умовах досить складно здійснити довготривалу іммобілізацію забруднюючих речовин); пірометалургійного обробка (для даного методу забруднений ґрунт необхідно вивозити на спеціально обладнані майданчики). Дані методи також є досить дорогими (100-350 \$ на очищення 1 м² ґрунту) та теж можуть приводити до вторинного забруднення ґрунтів.

Стабільність і продуктивність техногенно забруднених ґрунтів залежить, окрім дії антропогенного фактора і наявності в них достатніх кількостей життєво необхідних рослинні рухомих форм макро- і мікроелементів, також від інтенсивності біологічних процесів, відображенням активності яких є інтенсивність виділення CO₂, якісний і кількісний склад мікробного угруповання та активність ґрунтових ферментів. Досить динамічними і швидко реагуючими на токсичну дію важких металів та нафтопродуктів компонентами є мікроорганізми. Забруднення важкими металами та нафтопродуктами призводить до зменшення загальної чисельності та видового різноманіття мікроорганізмів. Характер токсичної дії важких металів та нафтопродуктів на активність ґрунтових ферментів залежить, насамперед, від виду металу, його валентності, форми внесених сполук (оксиди, солі), їх розчинності і тривалості впливу, а також визначається типом ґрунту, вмістом гумусу й механічним складом.

Специфічною особливістю забруднення ґрунтів важкими металами є дуже низька швидкість самоочищення ґрунту. Що стосується свинцю, то його

надмірний вміст у ґрунті призводить до зменшення кількості та різноманітності ґрунтових мікробіоценозів.

Таким чином, узагальнюючи літературні дані потрібно відзначити, що в умовах воєнних дій в Україні, на ґрунтах із середньою та високою токсичністю, посів сільськогосподарських культур можливе лише після проведення очищення території. Попередньо перед посівом сільськогосподарських культур у ґрунт необхідно знешкодити токсичний вплив мікробіологічними препаратами, що дозволить також знизити токсичність ґрунту. Крім того, в ґрунт необхідно внести мінеральні та органічні добрива (які необхідні для даних ґрунтів), провести глибоку оранку. Але дані питання потребують подальших експериментальних досліджень.

Загалом деякі науковці [10-18] вказують, що прискорити процес зменшення фітотоксичності ґрунту можливо шляхом інокуляції мікроорганізмів різних трофічних рівнів, використання бактеріальних препаратів та технологій компостних систем, внесення мінеральних добавок або створенню оптимальних умов для розвитку мікрофлори і підвищення її біологічної активності агротехнічними заходами. Все більш широкого напрямку набуває використання бактеріальних препаратів для інтенсифікація процесів очистки ґрунту. Використання біопрепаратів є найбільш екологічно безпечним методом очистки, але мало дослідженим на сьогодні.

Особливо актуальним питанням є використання пробіотиків для відновлення техногенно забруднених земель. Потрібно відзначити, що при всьому комплексі методів відновлення техногенно порушених земель, що наводиться у науковій літературі, питання використання біологічних методів, зокрема пробіотичних препаратів, для очищення ґрунтів від важких металів, нафтопродуктів, мікробіологічного забруднення, є на сьогодні недостатньо вивченими.

Таким чином, постає необхідність у подальших дослідженнях біологічних методів, зокрема пробіотичних препаратів, для відновлення техногенно забруднених земель внаслідок воєнних дій на Україні та повернення їх у господарський обіг. Це потребує обґрунтування та експериментального

дослідження ефективності використання пробіотичних препаратів як інноваційних екологоорієнтованих методів очищення та відновлення техногенно забруднених ґрунтів. Вивчення даного питання дозволить удосконалити концептуальні підходи щодо реалізації еколого безпечної моделі очистки та відновлення техногенно порушених земель в умовах воєнних дій на Україні.

РОЗДІЛ 2. ОЧИСТКА ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ АГРОЦЕНОЗІВ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ

Внаслідок воєнних дій на території України посівні площі скорочуються, що може викликати світову продовольчу кризу. Виникає потреба в максимальному залученні земель в сільськогосподарський обіг на території України з метою забезпечення екологічної та продовольчої безпеки, сталого функціонування агроecosystem. У той же час, значна частина агроценозів, придатних для вирощування сільськогосподарської продукції, зазнала техногенного забруднення внаслідок воєнних дій на Україні. При цьому, як зазначають вітчизняні дослідники [1], основними забруднюючими речовинами, які надходять в ґрунт внаслідок воєнних дій та впливають на продовольчу безпеку є нафтопродукти та важкі метали. Крім того навколо локальних місць забруднення ґрунту існує небезпека забруднення навколишнього середовища за рахунок міграції забруднюючих речовин, зокрема важких металів та нафтопродуктів.

2.1 Дослідження впливу техногенного забруднення внаслідок воєнних дій на показники ґрунту агроценозів

Треба відзначити, що якщо зовнішні умови дозволяють перейти важким металам в ґрунтовий розчин, з'являється пряма небезпека забруднення ґрунтів, виникає ймовірність проникнення їх в рослини, а також в організм людини і тварин, які споживають ці рослини. Небезпека забруднення ґрунтів і рослин залежить: від виду рослин; форм хімічних сполук в ґрунті; присутності елементів протидіючих впливу важких металів і речовин, що утворюють з ними комплексні з'єднання; від процесів адсорбції і десорбції; кількості доступних форм цих металів в ґрунті, ґрунтово-кліматичних умов. Отже, негативний вплив важких металів залежить, по суті, від їх рухливості, тобто розчинності [2].

Важкі метали в основному характеризуються змінною валентністю, низькою розчинністю їх гідроксидів, високою здатністю утворювати комплексні сполуки і, природно, катіонної (вбирної) здатності [2]. До факторів, що сприяють утримання важких металів ґрунтом відносяться: обмінна адсорбція поверхні глини і гумусу, формування комплексних сполук з гумусом, адсорбція поверхнева і оклюзування

(розчиняючі або поглинаючі здатності газів розчиненими або твердими металами) гідратованими оксидами алюмінію, заліза, марганцю тощо, а також формування нерозчинних сполук, особливо при відновленні [3].

Під час експерименту з оцінки дії важких металів на ґрунт в якості тест-рослини використовували пшеницю озиму (*Triticum aestivum*). Важкі метали в ґрунт вносили у вигляді ацетатів цинку і свинцю: $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$ і $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ в концентраціях 2,0 ГДК, тобто відповідно Наказу МОЗ від 14.07.2020 № 1595 «Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті» [288] при перерахунку на свинець (II) – 64 мг/кг (валовий вміст), з них 12,0 мг/кг (рухлива форма), при перерахунку на цинк (II) – 200 мг/кг (валовий вміст), з них 46,0 мг/кг (рухлива форма, рухливу форму елемента вилучають з ґрунту ацетатно-амонійним буферним розчином з рН 4,8). Дані концентрації важких металів відповідають середньому рівню забруднення територій за даними ОБСЄ на території Сходу України внаслідок воєнних дій [1].

Дослід проводився за наступною схемою: контрольні зразки (К); зразки, що містять нафтопродукти у розмірі 2 ГДК (2000 мг/кг); зразки, що містять цинк (Zn); зразки, що містять свинець (Pb); зразки, що містять свинець і цинк (Pb + Zn); зразки, що містять свинець, цинк і нафтопродукти (НП + Me). Останнє обумовлено тим, що на території воєнних дій фіксують високі значення концентрацій нафтопродуктів (1500-5000 мг/кг). В окремі посудини висаджено насіння *Triticum aestivum* (по 100 шт.). Закладено чотири дослідні ділянки з трикратним повторенням.

У процесі проведення експерименту оцінювали проростання насіння рослин, вимірювали висоту і масу наземної частини, а так само довжину і масу коренів рослин. У результаті проведення експерименту було встановлено, що кількість насіння, пророслих на 7 добу найменша при комплексному забрудненні важких металів та нафтопродуктів, ФЕ становить 43% для ґрунту, забрудненого нафтопродуктами і важкими металами (рис. 2.1-2.2).



%

Рис. 2.1 - Вплив нафтопродуктів і важких металів на проростання насіння *Triticum aestivum*, % пророслого насіння

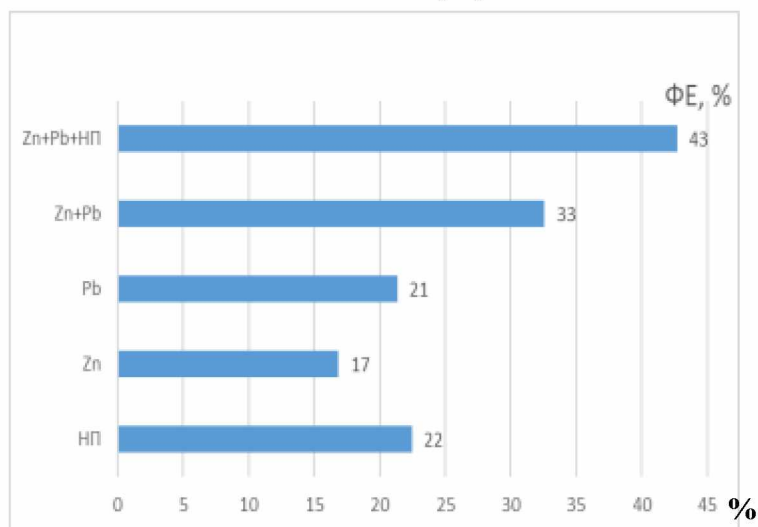


Рис. 2.2 - Фітотоксичної ефект по проростання насіння рослин *Triticum aestivum*, % ФЕ

Цинк в досліджуваній концентрації найменше пригнічує розвиток рослин *Triticum aestivum*, на що вказує відсутній фітотоксичний ефект, який менше 20% (нормативна вага фітотоксичного ефекту (ФЕ) = 20% [4]). Тобто, найбільше впливає на ріст рослин спільна присутність важких металів і нафтопродуктів.

На висоту наземної частини рослин *Triticum aestivum* (на 14 добу, рис. 2.3-2.4) найбільший негативний вплив теж здійснюють нафтопродукти у комплексі з важкими металами, що виражається максимальним значенням ФЕ = 40,0% (вище за середню токсичність). Цинк при окремому впливі не здійснює фітотоксичного впливу на висоту рослин *Triticum aestivum*, ФЕ складає при окремому впливі цинку 17% (відсутня токсичність). Фітотоксичний ефект при окремому впливі свинцю складає 22% (середня токсичність), нафтопродуктів – 28% (середня токсичність).

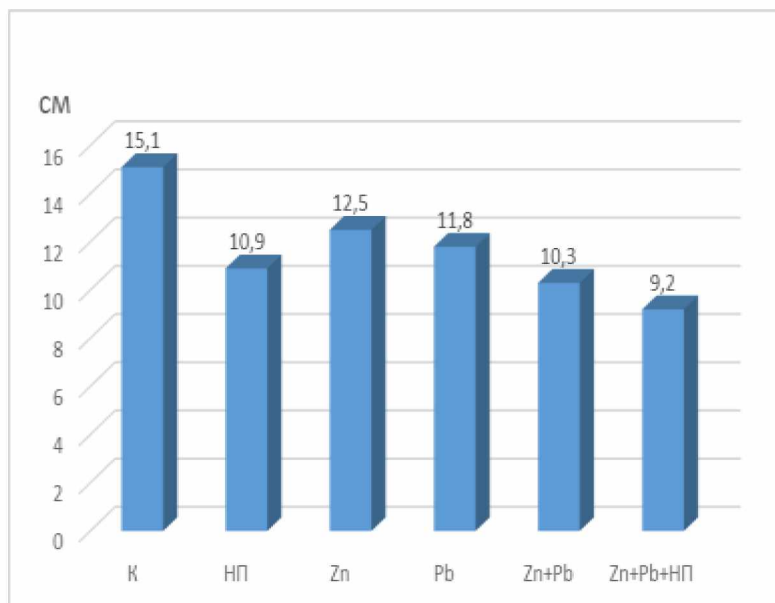


Рис. 2.3 - Вплив нафтопродуктів і важких металів на висоту наземної частини рослин *Triticum aestivum* - довжина рослин, см

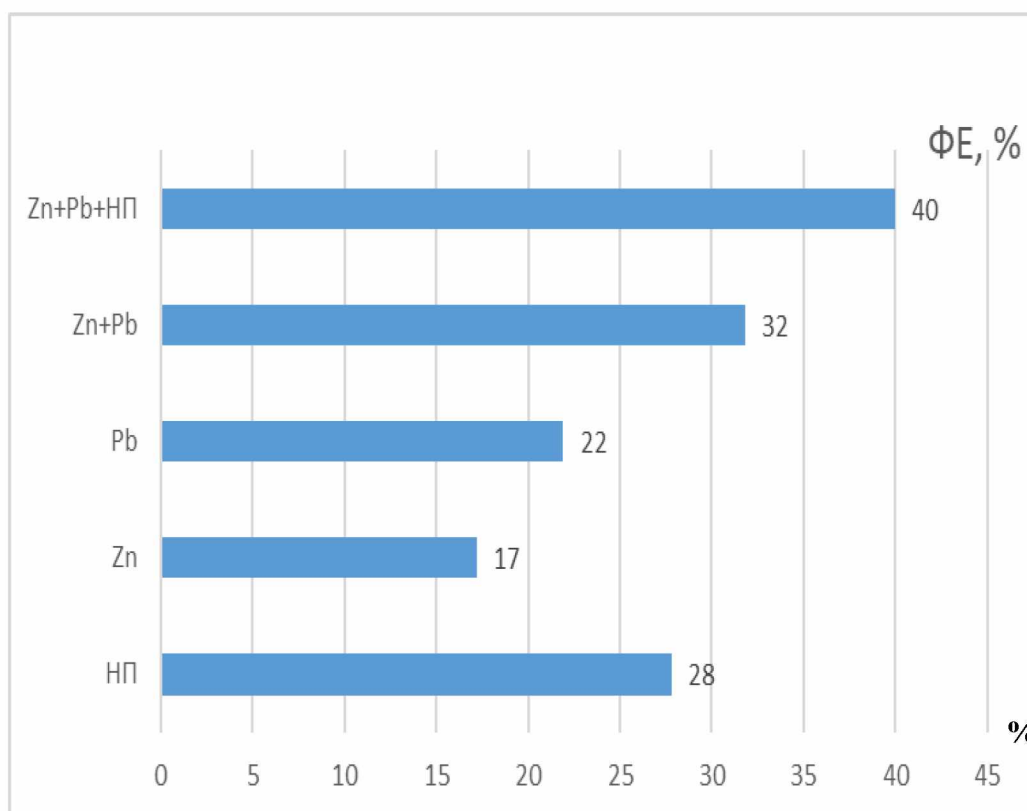


Рис. 2.4 - Вплив нафтопродуктів і важких металів на довжину коренів рослин *Triticum aestivum* - фітотоксичної ефект, %

На довжину коренів рослин *Triticum aestivum* всі забруднювачі впливають по різному (рис. 2.5-2.6). Найменше на кореневу систему впливає цинк, ФЕ =

21,0%. Значною фітотоксичністю володіє ґрунт, забруднений важкими металами і нафтопродуктами (ФЕ = 42,1%).

На масу *Triticum aestivum* рослин *Triticum aestivum* негативний вплив здійснюють нафтопродукти і цинк (рис. 2.7-2.8). Відповідні значення ФЕ становлять 27%, що вказує на середню фітотоксичність ґрунтів з даними видами забруднень. Фітотоксичність по масі наземної частини по свинцю дещо нижча і складає 23%.

Маса рослин *Triticum aestivum* в зразках ґрунту, забруднених сумішшю металів (Zn+Pb) та сумішшю металів і нафтопродуктів є найменшою, фітотоксичність відповідно склала 28% та 34% (середня токсичність).

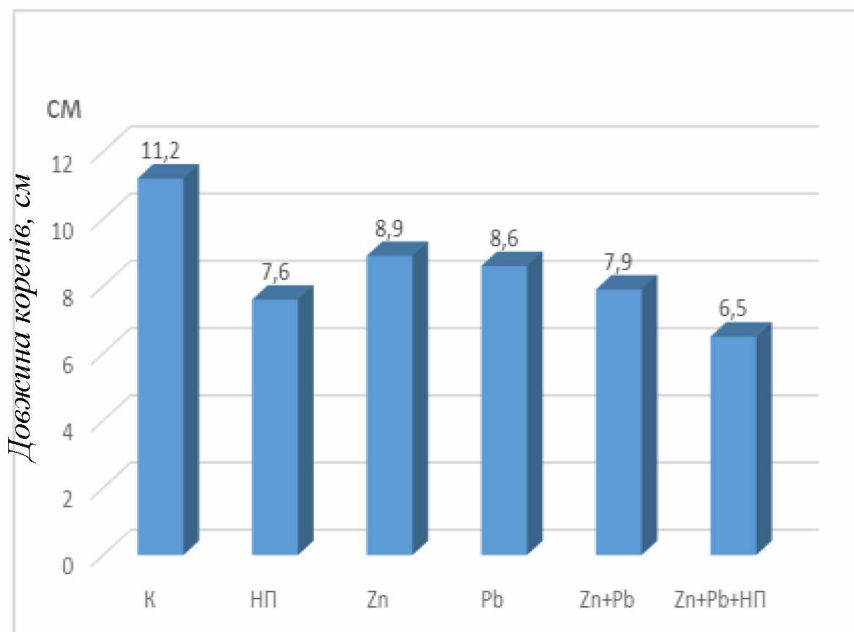


Рис. 2.5 - Вплив нафтопродуктів і важких металів на довжину коренів рослин

Triticum aestivum - довжина коренів

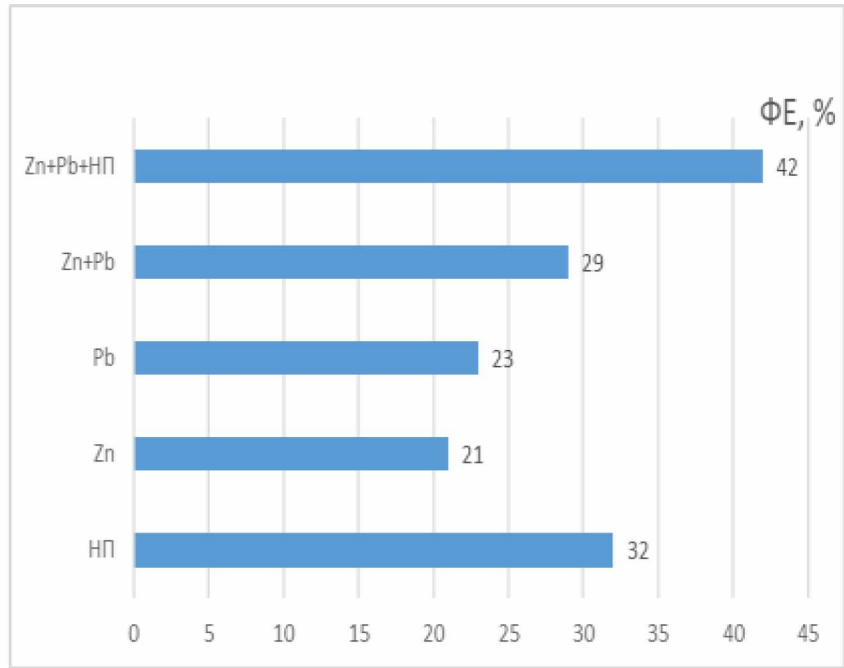


Рис. 2.6 - Вплив нафтопродуктів і важких металів на довжину коренів рослин *Triticum aestivum* - фітотоксичної ефект

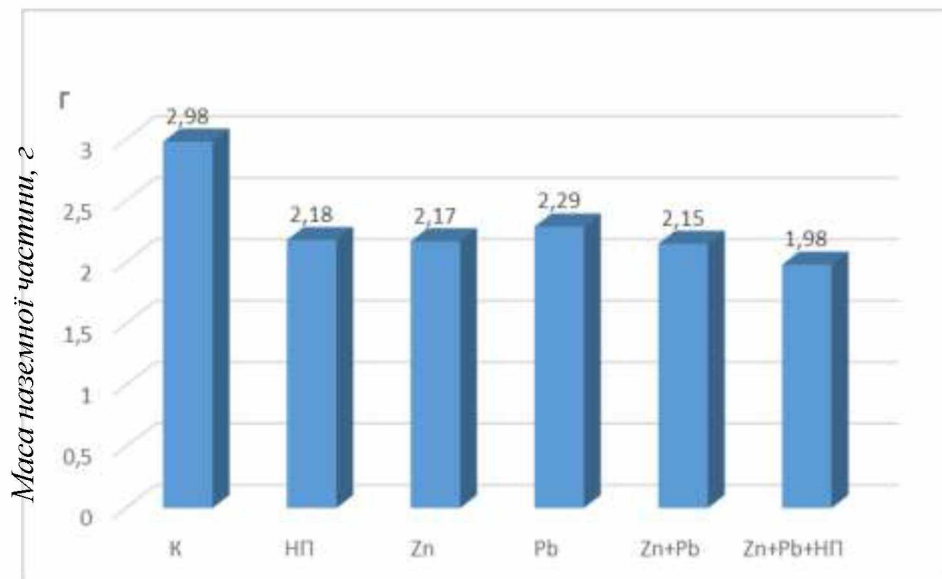


Рис. 2.7 - Вплив нафтопродуктів і важких металів на масу наземної частини рослин *Triticum aestivum* – маса, г

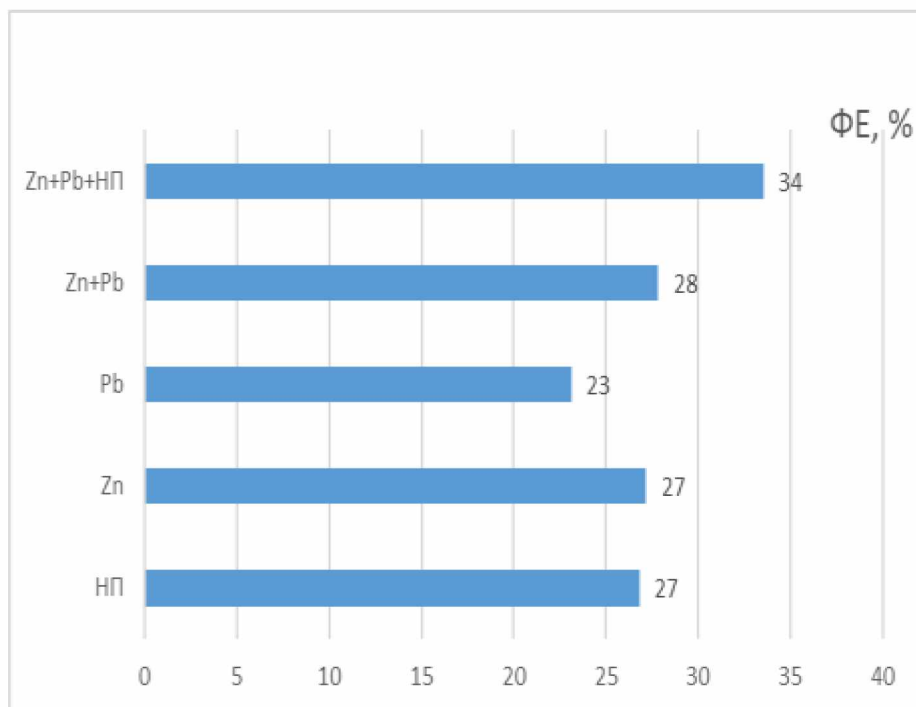


Рис. 2.8 - Вплив нафтопродуктів і важких металів на масу наземної частини рослин *Triticum aestivum* - фітотоксичної ефект,%

По масі кореневої системи значний фітотоксичної ефект (26%, 23%, 27% і 34%) мають ґрунти, забруднені нафтопродуктами (НП), цинком (Zn), Zn+Pb і сумішню забруднювачів та нафтопродуктів (Me+НП), рис. 2.9-2.10. Нижчий фітотоксичний ефект (13%) по масі коренів при впливові даних концентрацій свинцю в ґрунті (2 ГДК) може бути пов'язаний з активацією метаболізму, клітинного ділення і збільшенням розмірів клітин у відповідь на дію слабого за величиною стресу [9].

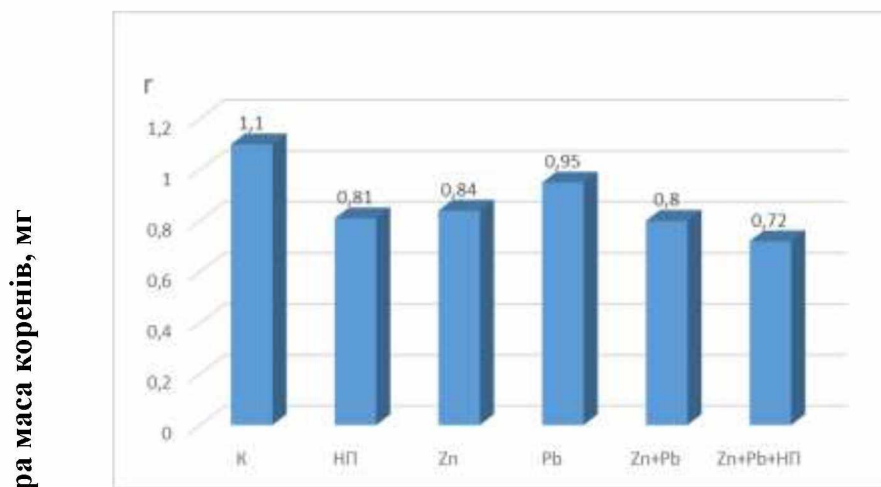


Рис. 2.9 - Вплив нафтопродуктів і важких металів на масу коренів рослин *Triticum aestivum* - маса коренів, г

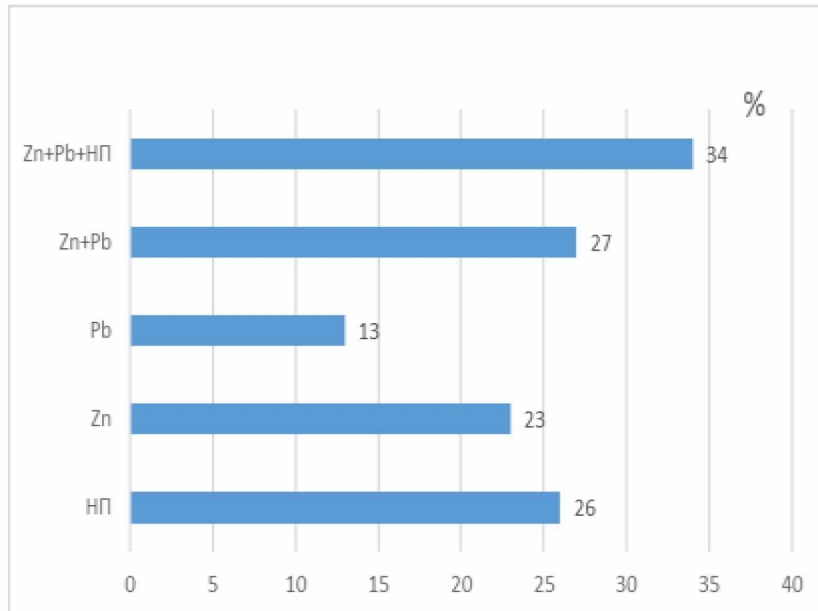


Рис. 2.10 - Вплив нафтопродуктів і важких металів на масу коренів рослин *Triticum aestivum* - фітотоксичної ефект, %

Найбільшу частку сухої речовини виявлено в рослинах, які виростили на зразках ґрунту, що містять нафтопродукти, найменша в рослинах, які виростили на ґрунті, що містить свинець. Таким чином, нафтопродукти не дають можливості рослинам поглинати достатню кількість вологи з ґрунту. Це відбувається внаслідок утворення плівок нафтопродуктів на поверхні ґрунту і рослин.

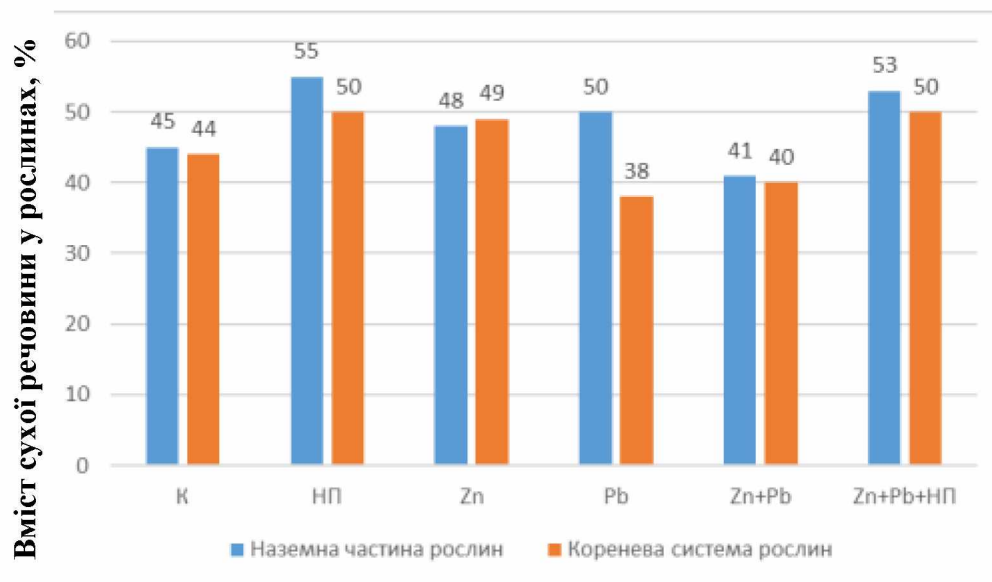


Рис. 2.11 -. Вміст сухої речовини в рослинах *Triticum aestivum* при вирощуванні у ґрунті із різними забрудненнями

Результати оцінки фітотоксичності ділянок із різними видами забруднень приведено на рис. 2.12. Встановлено, що вища за середню токсичність по частці пророщеного насіння та довжині коренів характерна тільки для ділянки із сумішшю важких металів та нафтопродуктів, усі інші зразки характеризуються середньою токсичністю, окрім ділянок із забрудненням цинку (по частці пророщеного насіння та довжині коренів) та свинцю (по ваги кореневої системи) для яких фітотоксичність склала менше 20%.

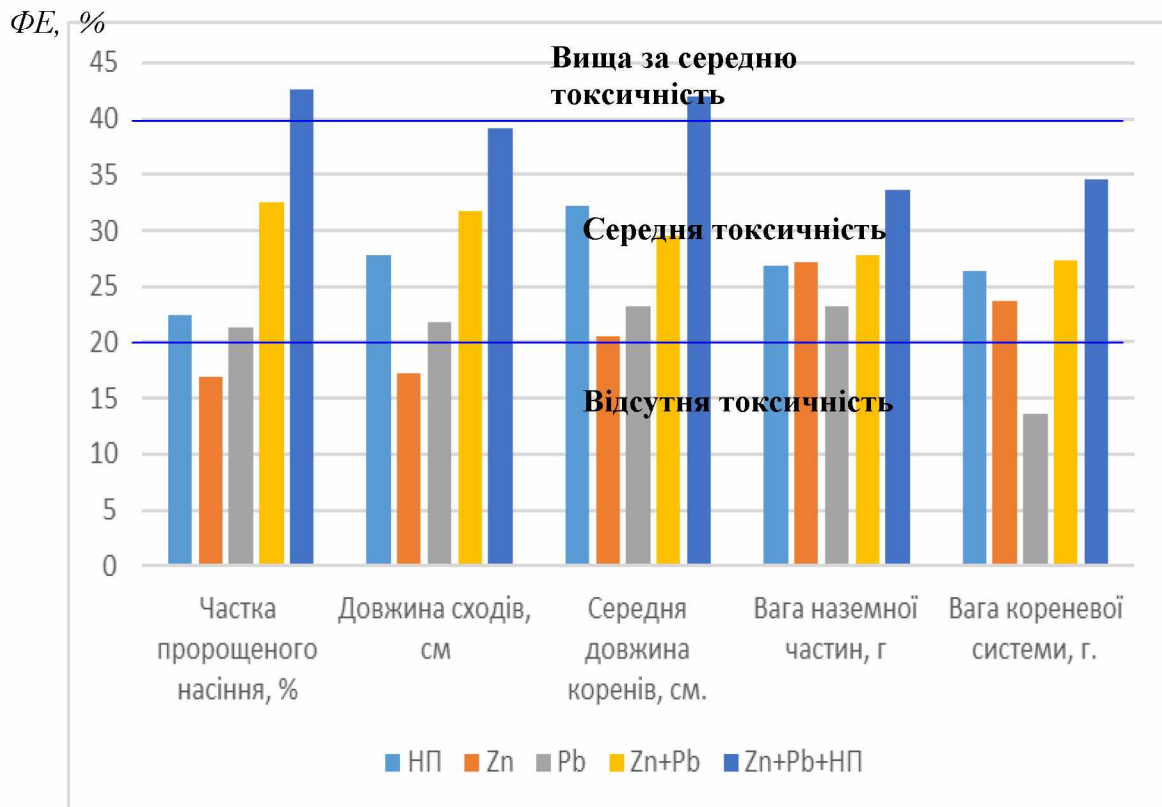


Рис. 2.12 - Оцінка фітотоксичності ґрунту при різних забрудненнях на основі вирощування *Triticum aestivum*

Таким чином, постає необхідність у розроблені комплексних методів очистки земель, що зазнають техногенного впливу воєнних дій, з метою відновлення даних територій та повернення їх у господарських обіг у контексті забезпечення екологічної, продовольчої безпеки регіону та створення сталих агроєкосистем.

2.2 Фітотоксична оцінка використання біологічних методів очистки ґрунтів сільськогосподарського призначення, забруднених внаслідок воєнних дій

Для визначення можливих шляхів ремедіації ґрунту, забрудненого внаслідок воєнних дій важкими металами та нафтопродуктами, проведено низку дослідів. Для експрес-тестів фітотоксичності використано *Triticum aestivum*. Спосіб заснований на реакції дослідної культури на внесення в ґрунт різних забруднювачів. Це дозволяє виявити токсичну або стимулюючу дію тих чи інших речовин [500]. Очищення забрудненого ґрунту проводилося біологічними методами, використовуючи пробіотик *Sviteko-Agrobiotic-01* (розведення 1:10, норма внесення робочого розвину 100 л/га відповідно попередніх досліджень [290]). Порівняння біометричних показників *Triticum aestivum* на зразках ґрунту до і після очистки пробіотиком *Sviteko-Агробіотик-01* (дані фіксувалися на 7 добу після очищення) приведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Біометричні показники зразків ґрунту, забруднених важкими металами нафтопродуктами, до і після біологічної очистки за допомогою пробіотику

Sviteko-Агробіотик-01

Варіанти	Частка пророщеного насіння, %	Довжина сходів, см	Середня довжина коренів, см.	Вага наземної частин, г	Вага кореневої системи, г.
До біологічної очистки за допомогою пробіотику					
К	89	15,1	11,2	2,98	1,1
НП	69	10,9	7,6	2,18	0,81
Zn	74	12,5	8,9	2,17	0,84
Pb	70	11,8	8,6	2,29	0,95
Zn+Pb	60	10,3	7,9	2,15	0,8
Zn+Pb+НП	51	9,2	6,5	1,98	0,72
Після біологічної очистки за допомогою пробіотику					
К	95	16,8	11,8	3,12	1,3
НП	90	15,5	10,8	3,02	1,08
Zn	84	14,5	10,1	2,71	1,02
Pb	80	14,1	10	2,64	0,98

Zn+Pb	77	13,1	9,6	2,5	0,93
Zn+Pb+НП	82	13,8	10,1	2,54	0,97

Встановлено, що у результаті викристання пробіотичного препарату *Sviteko-Agrobіотик-01* на найбільш забрудненому ґрунті (Zn+Pb+НП) покращення біометричних показників у порівнянні з неочищеним ґрунтом склало: на 61% по пророслому насінню; на 50-55% по довжині сходів та довжині коренів; на 28-30% по масі наземної частини та кореневої системи. Також на найбільш забрудненому ґрунті покращення біометричних показників склало 86-92% від чистого контролю. Тобто, якщо погіршення даних показників на забрудненому ґрунті склало 33-43% у порівнянні з чистим контролем, то на очищеному ґрунті дані показники погіршилися тільки на 7-10%.

Результати оцінки фітотоксичності до і після ремедіації ґрунту пробіотичним препаратом *Sviteko-Agrobіотик-01* (1:100 розведення) приведені у таблиці 2.2.

Таким чином, у результаті проведеної біологічної очистки ґрунту пробіотичним препаратом *Sviteko-Agrobіотик-01* (розведення 1: 10) із різними забрудненнями (важкими металами та нафтопродуктами) фітотоксичність усіх зразків склала менше 20% за біометричними показниками *Triticum aestivum*, тобто фітотоксичність відсутня (рис. 2.13).

Крім того, у результаті очистки контрольного зразка та зразка, забрудненого нафтопродуктами спостерігається значне покращення біометричних показників *Triticum aestivum*. Це можна пояснити покращенням мікробіологічного ценозу ґрунту у результаті внесення пробіотику (розділ 4), а також тим, що нафтопродукти виступають середовищем живлення для пробіотичних мікроорганізмів, тому при їх наявності збільшується ефективність дії пробіотиків.

Фітотоксичний ефект зразків ґрунту, забруднених важкими металами нафтопродуктами, до і після біологічної очистки за допомогою пробіотику

Sviteko-Агробіотик-01

<i>Варіанти</i>	<i>Частка пророщеного насіння, %</i>	<i>Довжина сходів, %</i>	<i>Середня довжина коренів, %</i>	<i>Вага наземної частин, %</i>	<i>Вага кореневої системи, %.</i>
<i>До біологічної очистки за допомогою пробіотику</i>					
НП	22,47^{2*}	27,81^{2*}	32,14^{2*}	26,85^{2*}	26,36^{2*}
Zn	16,85 ^{1*}	17,22 ^{1*}	20,54^{2*}	27,18^{2*}	23,64^{2*}
Pb	21,35^{2*}	21,85^{2*}	23,21^{2*}	23,15^{2*}	13,64 ^{1*}
Zn+Pb	32,58^{2*}	31,79^{2*}	29,46^{2*}	27,85^{2*}	27,27^{2*}
Zn+Pb+НП	42,70^{3*}	39,07^{2*}	41,96^{3*}	33,56^{2*}	34,55^{2*}
<i>Після біологічної очистки за допомогою пробіотику</i>					
К	-6,74 ^{4*}	-11,26	-5,36	-4,70	-18,18
НП	-1,12	-2,65	3,57	-1,34	1,82
Zn	5,62	3,97	9,82	9,06	7,27
Pb	10,11	6,62	10,71	11,41	10,91
Zn+Pb	13,48	13,25	14,29	16,11	15,45
Zn+Pb+НП	7,87	8,61	9,82	14,77	11,82

^{1*} - фітотоксичність відсутня; ^{2*} - середня фітотоксичність; ^{3*} - фітотоксичність вища за середню; ^{4*} - негативний фітотоксичний ефект, який вказує на покращення біометричних показників.

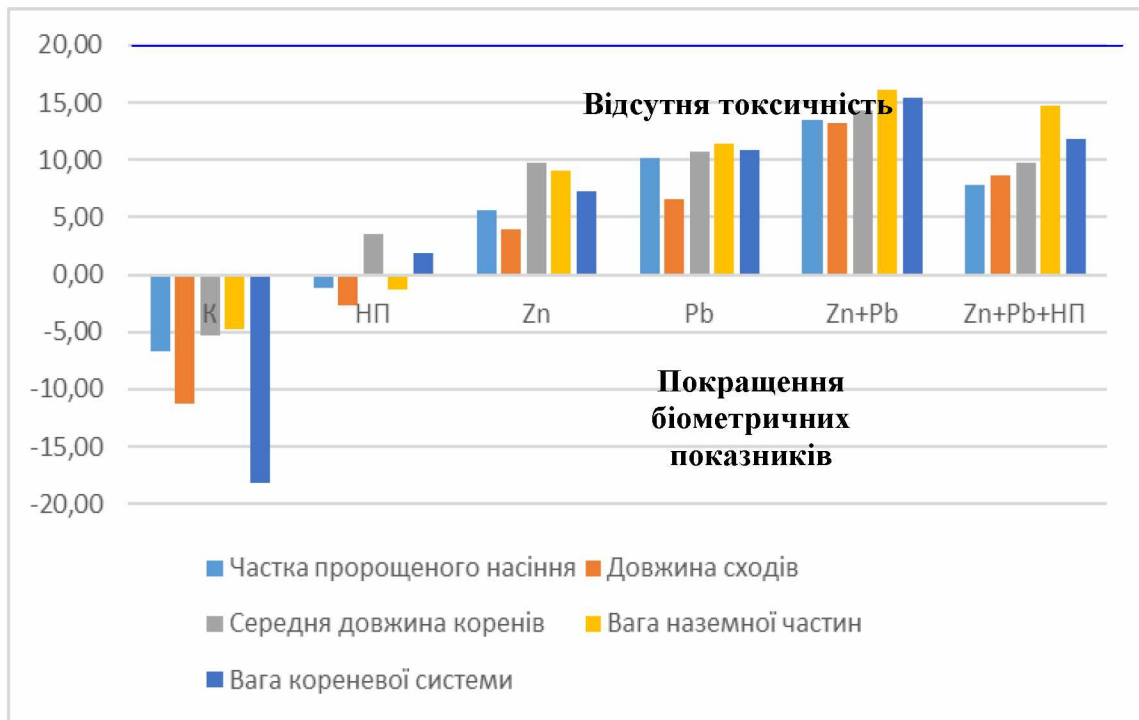


Рис. 2.13 – Оцінка фітотоксичності ґрунту (%) при різних забрудненнях на основі вирощування *Triticum aestivum* після його біологічної очистки за допомогою пробіотику *Sviteko-Агробіотик-01*

Для розуміння механізму дії пробіотичних препаратів на забруднюючі речовини у ґрунті, проведено визначення вмісту важких металів (валового вмісту та рухомих форм) та нафтопродуктів до і після біологічної очистки пробіотиком *Sviteko-Агробіотик-01* у трьохкратній повторюваності за методиками ДСТУ 7832:2015, ДСТУ 4770.2:2007, ISO 11504:2017 у акредитованій лабораторії агроекологічного моніторингу ПДАУ. Результати досліджень представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 7.3

Результати кількісного хімічного аналізу вмісту забруднюючих речовин до і після біологічної очистки ґрунту за допомогою пробіотику *Sviteko-Агробіотик-01*

Ділянка		Концентрація забруднюючих речовин до очистки, мг/кг			Концентрація забруднюючих речовин після очистки, мг/кг		
		НП	Pb	Zn	НП	Pb	Zn
НП	-	2000±8,7	-	-	850±2,8	-	-
Zn	Валовий вміст	-	-	220,0±4,5	-	-	218,8±2,8
	Рухома	-	-	46,2±1,8	-	-	17,8±0,6

	форма						
Pb	Валовий вміст	-	64,0±4,2		-	63,5±1,3	-
	Рухома форма	-	12,1±0,7		-	4,2±0,1	-
Zn+Pb	Валовий вміст	-	62,9±3,8	218,1±5,8	-	62,8±3,5	216,8±6,3
	Рухома форма	-	13,2±0,5	44,9±1,1	-	5,1±0,7	16,4±0,8
Zn+Pb+НП	Валовий вміст	1950±10,7	64,8±2,5	222,1±3,6	680±5,7	64,1±3,1	220,8±4,2
	Рухома форма		12,5±0,8	47,2±1,0		5,3±0,4	18,1±0,7

Примітка: * – статистично достовірна різниця відносно чорнозему звичайного, $p < 0,05$.

За результатами хімічного аналізу ґрунту з різними забрудненнями важких металів і нафтопродуктів до і після очистки пробіотичним препаратом *Sviteko-Agrobiotic-01* (1:10 розведення) встановлено:

- пробіотичні препарати у результаті очистки після 7 днів зменшують вміст нафтопродуктів у 2-3 рази, при цьому вміст нафтопродуктів стає меншим ГДК та починає стимулювати ріст та розвиток рослин;

- у результаті очистки валовий вміст важких металів не зменшується, у той же час їх рухома форма зменшується у 2-3 рази та стає меншою ГДК. Це пояснює зменшення фітотоксичності ґрунту після очистки пробіотиком, адже рослини можуть вбирати з продуктами живлення тільки рухомі форми важких металів. Таким чином можна констатувати, що пробіотичні препарати проводять іммобілізацію важких металів, переводять їх у недоступні для рослин форми, тим самим знижуючи фітотоксичність ґрунту та забезпечуючи продовольчу безпеку продуктів харчування.

На наступному етапі проведено оцінку біометричних показників *Triticum aestivum* до і після ремедіації ґрунту за допомогою технології, запропонованої у розділі 3: пробіотичним препаратом *Sviteko-Agrobiotic-01* (1:10 розведення дозою 100 л/га) та СПВ концентрацією 900 л/га (табл. 2.4).

Біометричні показники зразків ґрунту, забруднених важкими металами нафтопродуктами, до і після біологічної очистки за допомогою пробіотику

Sviteko-Agrobiotic-01 та СПВ

Варіанти	Частка пророщеного насіння, %	Довжина сходів, см	Середня довжина коренів, см.	Вага наземної частин, г	Вага кореневої системи, г.
До біологічної очистки за допомогою пробіотику та СПВ					
К	89	15,10	11,20	2,98	1,10
НП	69	10,90	7,60	2,18	0,81
Zn	74	12,50	8,90	2,17	0,84
Pb	70	11,80	8,60	2,29	0,95
Zn+Pb	60	10,30	7,90	2,15	0,8
Zn+Pb+НП	51	9,20	6,50	1,98	0,72
Після біологічної очистки за допомогою пробіотику та СПВ					
К	97	17,2	12,1	3,41	1,40
НП	92	16,8	11,5	3,20	1,20
Zn	91	15,2	11,3	3,05	1,15
Pb	90	15,3	11,2	3,00	1,16
Zn+Pb	90	15,1	11,1	3,00	1,12
Zn+Pb+НП	89	15,3	11,3	3,02	1,15

У результаті використання пробіотичного препарату *Sviteko-Agrobiotic-01* та СПВ встановлено наступне:

1. На контролі (з незабрудненим ґрунтом) частка пророслого насіння збільшилася на 9% (при використанні самого пробіотику – на 6%); довжина сходів та коренів збільшилася на 8-13%; маса наземної частини та коренів збільшилася на 14-27% у порівнянні з чистим контролем.

2. На зразку забрудненому нафтопродуктами: частка пророслого насіння збільшилася на 3% у порівнянні з чистим контролем (на 37% у порівнянні із забрудненим зразком нафтопродуктами); довжина сходів та коренів збільшилася на 3-11% у порівнянні з чистим контролем (на 54-55% у порівнянні із забрудненим зразком нафтопродуктами); маса наземної частини та коренів збільшилася на 7-9% у порівнянні з чистим контролем (на 43-60% у порівнянні із забрудненим зразком нафтопродуктами).

3. На зразку забрудненому цинком: частка пророслого насіння збільшилася на 2-5% у порівнянні з чистим контролем (на 28% у порівнянні із забрудненим зразком цинком); довжина сходів та коренів збільшилася на 0,6-1% у порівнянні з чистим контролем (на 32-35% у порівнянні із забрудненим зразком цинком); маса наземної частини та коренів збільшилася на 2-4% у порівнянні з чистим контролем (на 43-54% у порівнянні із забрудненим зразком цинком).

4. На зразку забрудненому свинцем: частка пророслого насіння збільшилася на 1% у порівнянні з чистим контролем (на 35% у порівнянні із забрудненим зразком свинцем); довжина сходів та коренів збільшилася на 0,1-1% у порівнянні з чистим контролем (на 37-42% у порівнянні із забрудненим зразком свинцем); маса наземної частини та коренів збільшилася на 0,6-5,0% у порівнянні з чистим контролем (на 36% у порівнянні із забрудненим зразком свинцем).

5. На зразку забрудненому свинцем і цинком: частка пророслого насіння збільшилася на 1% у порівнянні з чистим контролем (на 58% у порівнянні із забрудненим зразком свинцем і цинком); довжина сходів та коренів знаходилася на рівні чистого контролю (збільшилася на 49-63% у порівнянні із забрудненим зразком свинцем і цинком); маса наземної частини та коренів знаходилася на рівні чистого контролю (збільшилася на 45-62% у порівнянні із забрудненим зразком свинцем і цинком).

6. На найбільш забрудненому ґрунті (Zn+Pb+НП) покращення біометричних показників склало: частка пророслого насіння знаходилася на рівні чистого контролю (на 86% у порівнянні із забрудненим зразком Zn+Pb+НП); довжина сходів та коренів знаходилася на рівні чистого контролю (збільшилася на 81-82% у порівнянні із забрудненим зразком Zn+Pb+НП); маса наземної частини та коренів збільшилася на 1-4% у порівнянні з чистим контролем (збільшилася на 57-80% у порівнянні із забрудненим зразком Zn+Pb+НП).

Таким чином встановлено, що всі забруднені ділянки ґрунту після ремедіації характеризувалися біометричними показниками *Triticum aestivum*, які

були на рівні або кращими за чистий зразок. Встановлено, що наявність СПВ додатково збагачує ґрунт мікро- і макроелементами, є джерелом живлення для пробіотичних мікроорганізмів та стимулює збільшення інтенсивності очищення ґрунту, позитивно впливає на біометричні показники рослин.

Результати оцінки фітотоксичності по *Triticum aestivum* до і після ремедіації ґрунту пробіотичним препаратом *Sviteko-Agrobiotic-01* (1:10 розведення дозою 100 л/га) та СПВ концентрацією 900 л/га приведені у табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Фітотоксичний ефект зразків ґрунту, забруднених важкими металами нафтопродуктами, до і після біологічної очистки за допомогою пробіотику *Sviteko-Agrobiotic-01*

Варіанти	Частка пророщеного насіння, %	Довжина сходів, %	Середня довжина коренів, %	Вага наземної частин, %	Вага кореневої системи, %.
До біологічної очистки за допомогою пробіотику і СПВ					
НП	22,47 ^{2*}	27,81 ^{2*}	32,14 ^{2*}	26,85 ^{2*}	26,36 ^{2*}
Zn	16,85 ^{1*}	17,22 ^{1*}	20,54 ^{2*}	27,18 ^{2*}	23,64 ^{2*}
Pb	21,35 ^{2*}	21,85 ^{2*}	23,21 ^{2*}	23,15 ^{2*}	13,64 ^{1*}
Zn+Pb	32,58 ^{2*}	31,79 ^{2*}	29,46 ^{2*}	27,85 ^{2*}	27,27 ^{2*}
Zn+Pb+НП	42,70 ^{3*}	39,07 ^{2*}	41,96 ^{3*}	33,56 ^{2*}	34,55 ^{2*}
Після біологічної очистки за допомогою пробіотику					
К	-8,98 ^{4*}	-13,91 ^{4*}	-8,04 ^{4*}	-14,43 ^{4*}	-27,27 ^{4*}
НП	-3,37 ^{4*}	-11,26 ^{4*}	-2,68 ^{4*}	-7,38 ^{4*}	-9,09 ^{4*}
Zn	-2,25 ^{4*}	-0,66 ^{4*}	-0,89 ^{4*}	-2,35 ^{4*}	-4,54 ^{4*}
Pb	-1,12 ^{4*}	-1,32 ^{4*}	0 ^{5*}	-0,67 ^{4*}	-5,45 ^{4*}
Zn+Pb	-1,12 ^{4*}	0 ^{5*}	0,89 ^{4*}	-0,67 ^{4*}	-1,82 ^{4*}
Zn+Pb+НП	0 ^{5*}	-1,32 ^{4*}	-0,89 ^{4*}	-1,34 ^{4*}	-4,55 ^{4*}

^{1*} - фітотоксичність відсутня; ^{2*} - середня фітотоксичність; ^{3*} - фітотоксичність вища за середню; ^{4*} - негативний фітотоксичний ефект, який вказує на покращення біометричних показників; ^{5*} - на рівні контролю.

Таким чином, у результаті проведеної біологічної очистки ґрунту пробіотичним препаратом *Sviteko-Agrobiotic-01* (1:10 розведення дозою 100 л/га) та СПВ концентрацією 900 л/га із різними забрудненнями (важкими металами та нафтопродуктами) фітотоксичність усіх зразків склала менше 20% за біометричними показниками *Triticum aestivum*, тобто фітотоксичність відсутня. Крім того, у результаті очистки спостерігається значне покращення

біометричних показників *Triticum aestivum*. Таким чином використання суміші СПВ та пробіотику в рекомендованих дозах не тільки очищає ґрунт від забруднення внаслідок воєнних дій, але і відбувається додаткове збагачення ґрунту необхідними макро- і мікроелементами, тобто відбувається підживлення ґрунту необхідними речовинами, крім того відсутні ризики попадання забруднюючих речовин у сільськогосподарську продукцію, тобто забезпечується продовольча та екологічна безпека та сталий розвиток агроєкосистем, забуднених внаслідок воєнних дій на Україні.

Даний висновок є особливо важливим у тому сенсі, що внаслідок воєнних дій досить важко визначити наслідки та території, які постраждали внаслідок воєнних дій. Тому використання запропонованої технології дозволяє мінімізувати можливі ризики населенню від забруднення агроценозів навіть при невизначених дозах та місцях забруднення ґрунту, а також підживити ґрунт необхідними добривами, у той час як фінансові можливості аграріїв в умовах воєнних дій є невеликі, а тому доцільним і актуальним є також мінімізація витрат на удобрення ґрунту.

Для розуміння механізму дії пробіотичних препаратів та СПВ на забруднюючі речовини у ґрунті, на наступному етапі проведено визначення вмісту важких металів (валового вмісту та рухомих форм) та нафтопродуктів до і після біологічної очистки у трьохкратній повторюваності за методиками ДСТУ 7832:2015 [430], ДСТУ 4770.2:2007 [433], ISO 11504:2017 [429] у акредитованій лабораторії агроєкологічного моніторингу ПДАУ.

Результати досліджень представлено у табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Результати кількісного хімічного аналізу вмісту забруднюючих речовин до і після біологічної очистки ґрунту за допомогою пробіотику *Sviteko-Agrobiotic-01* та СПВ

Ділянка		Концентрація забруднюючих речовин до очистки, мг/кг			Концентрація забруднюючих речовин після очистки, мг/кг		
		НП	Pb	Zn	НП	Pb	Zn
НП	-	2000±8,7	-	-	811±3,5	-	-

Zn	Валовий вміст	-	-	220,0±4,5	-	-	219,3±2,1
	Рухома форма	-	-	46,2±1,8	-	-	15,2±0,9
Pb	Валовий вміст	-	64,0±4,2		-	62,8±1,1	-
	Рухома форма	-	12,1±0,7		-	3,9±0,3	-
Zn+Pb	Валовий вміст	-	62,9±3,8	218,1±5,8	-	62,1±3,2	217,1±4,2
	Рухома форма	-	13,2±0,5	44,9±1,1	-	4,6±0,8	13,1±0,5
Zn+Pb+НП	Валовий вміст	1950±10,7	64,8±2,5	222,1±3,6	680±5,7	63,8±2,4	221,1±3,5
	Рухома форма		12,5±0,8	47,2±1,0		4,8±0,6	14,9±0,7

Примітка: * – статистично достовірна різниця відносно чорнозему звичайного, $p < 0,05$.

Таким чином встановлено, що використання пробіотику та СПВ у рекомендованих дозах для очистки забрудненого ґрунту після 7 днів зменшують вміст нафтопродуктів у 2-4 рази, при цьому СПВ не збільшує їх вміст, а навпаки зменшує у порівнянні з використанням самого пробіотику. Це пояснюється інтенсивним використанням пробіотичними мікроорганізмами нафтопродуктів у своїй життєдіяльності. Крім того СПВ, включає важливі мікро- і макроелементи, які необхідні для живлення ґрунтового мікроценозу та самих мікроорганізмів пробіотику, а тому виступає каталізатором очистки. Вміст рухових форм важких металів при використанні запропонованої технології очистки також значно зменшується у порівнянні з використанням одного пробіотику, що теж пояснюється посиленням активації мікробного ценозу у ґрунті та іммобілізації рухомих форм важким металів. Таким чином можна констатувати, що запропонована у розділі 4 технологія використання СПВ у дозі 900 л/ га та пробіотичних препаратів у дозі 100 л/га (10% розведення) як основного добрива дозволяє не тільки підживити ґрунт необхідними речовинами, але і очистити ґрунт внаслідок воєнних дій, таким чином забезпечити екологічну та продовольчу безпеку, сталий розвиток агроєкосистем, які постраждали внаслідок воєнних дій на Україні.

Таким чином встановлено ефективність використання пробіотичних препаратів та СПВ у рекомендованих дозах для зниження фітотоксичності

агроценозів, які забруднені важкими металами та нафтопродуктами внаслідок воєнних дій на Україні.

РОЗДІЛ 3

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВИКОРИСТАННЯ ПРОБІОТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ ТА СУПУТНЬО-ПЛАСТОВОЇ ВОДИ ПРИ ОЧИЩЕННІ АГРОЦЕНОЗІВ, ЗАБРУДНЕНИХ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ НА УКРАЇНІ

За результатами проведеної оцінки щодо використання технології очистки ґрунтів сільськогосподарського призначення, забруднених внаслідок воєнних дій за допомогою суміші пробіотику *Sviteko-Agrobiotic-01* (1:10 розведення дозою 100 л/га) та СПВ концентрацією 900 л/га за хімічними показниками ґрунту та фітотоксичним ефектом встановлено її ефективність за екологічними критеріями (нормативи ГДК, фітотоксичність). У той же час в умовах фінансової кризи аграріїв при воєнному стані в Україні постає необхідність вивчення економічної ефективності запропонованих методів, а також оптимізація екологічних та економічних критеріїв для визначення найбільш ефективних рішень для забезпечення продовольчої та екологічної безпеки та сталого функціонування агроєкосистем з урахуванням вимог Закону України «Про збереження ґрунтів та охорону їх родючості», міжнародної конвенції ООН «Боротьба з опустелювання та посухами» тощо.

Доцільність кожного агротехнічного прийому пояснюються його економічною оцінкою. Проведено аналіз економічної ефективності вирощування озимої пшениці в умовах воєнних дій на Україні (табл. 3.1) на основі модельного експерименту (за результатами лабораторного дослідження у лабораторії агроєкологічного моніторингу ПДАУ). При цьому, враховуючи результати лабораторних досліджень по біометричним показникам на *Triticum aestivum*, економічна оцінка ґрунтувалася на ряді припущень:

- враховуючи результати оцінки на найбільш забрудненому досліді (Zn+Pb+НП, забруднення на рівні 2 ГДК), зокрема щодо зниження біометричних показників на 33-42% (у тому числі по частці пророслого насіння – 42%), урожайність на забрудненій ділянці приймається нижчою на 30% (найгірший варіант) у порівнянні зі звичайним ґрунтом (фонове забруднення, без додаткових агротехнічних заходів);

- враховуючи результати ремедіації за допомогою пробіотику *Sviteko-Agrobiotic-01* (розведення 1: 10), урожайність на очищеному ґрунті пробіотиком приймається нижчою на 10% у порівнянні зі звичайним (фоновим) ґрунтом (не забрудненим, без додаткових агротехнічних заходів);

- на основі проведеного дослідження оцінки біометричних показників на *Triticum aestivum* після очистки *Sviteko-Agrobiotic-01* (1:10 розведення дозою 100 л/га) та СПВ концентрацією 900 л/га зроблене припущення, що урожайність після очистки даною сумішшю складе в середньому вище на 10% (на не забрудненому ґрунті без додаткових агротехнічних заходів).

Таблиця 3.1

Економічна та енергетична ефективність вирощування *Triticum aestivum* на забруднених землях при різних методах їх ремедіації*

Показники на 1 га	Варіанти		
	Контроль (забруднений)	Пробіотик, 100 л/га (10% розведення)	СПВ дозою 900 л/га+пробіотик (100 л/га, 10% розведення)
Урожайність, ц	27,9*	35,8*	43,8*
Вартість урожаю, грн.	27900	35800	43800
Виробничі витрати, грн	14854,4	17320,9	18444,9
Чистий прибуток, грн	13045,7	18479,1	25355,1
Рентабельність, %	87,8	106,7	137,5
Енергетичні затрати, МДж	17989,91	19913,5	20405,4
Енергоємність продукції, МДж	45900,5	58897,4	72058,9
Коефіцієнт енергетичної ефективності	2,6	3,0	3,5

* - модельні дані

Аналіз економічної ефективності вирощування озимої пшениці на забруднених ґрунтах показав, що найбільш високі її показники отримані на варіанті, де застосовували суміш СПВ нормою внесення 900 л/га та пробіотик *Sviteko-Agrobiotic-01* (100 л/га, 10% розведення). Чистий прибуток у даному варіанті складає 25355,1 грн, рентабельність 137,5%, тоді як на забрудненому

контролі відповідно 13045,7 грн., 87,8%; при обробці ґрунту самим пробіотиком *Sviteko-Agrobiotic-01* (1:10 розведення) – 18479,1 грн., 106,7%. Таким чином економічними розрахунками встановлена доцільність використання суміші СПВ 900 л/га та пробіотику у дозі 100 л/га (10% розведення) на забруднених землях внаслідок воєнних дій.

Ефективність використання запропонованої суміші на забруднених агроценозах також визначалася на основі енергетичної оцінки (додаток В, табл. 8.8). Зокрема, КЕЕ найвищий на досліді, де використано СПВ нормою внесення 900 л/га та пробіотик *Sviteko-Agrobiotic-01* у дозі 100 л/га (10% розведення), який склав 3,5, у той час як на контрольному забрудненому ґрунті він склав 2,6, при очистці ґрунту самим пробіотиком *Sviteko-Agrobiotic-01* – 3,0. Таким чином, хоча енергетичні затрати в досліді з використанням суміші СПВ нормою внесення 900 л/га та пробіотику у дозі 100 л/га (10% розведення) є найвищими (табл. 3.2), у той же час саме у даному варіанті спостерігається найбільша врожайність та найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності – 3,5 що на 0,9 більше, ніж на контролі і на 0,5, ніж при застосуванні самого пробіотику.

Таблиця 3.2

Біоенергетична оцінка вирощування 1 га *Triticum aestivum* на забруднених землях при різних методах їх ремедіації*

Складова сукупної енергії	Контроль	СПВ 900 л/га	СПВ 900 л/га+пробіотик (100 л/га, 10% розведення)
<i>Q_з</i>	15686,7	17438,4	17885,5
<i>Q_ф</i>	265,89	288,25	324,22
<i>Q_т</i>	2037,32	2186,81	2195,7
Всього	17989,91	19913,46	20405,42

* - модельні дані

У той же час, потрібно враховувати, що в сучасних умовах, зокрема при збільшенні забруднення території України внаслідок воєнних дій [1], основним є не максимізація прибутків в агросфері, а формування стабільних агросистем, забезпечення екологічної та продовольчої безпеки території. Однією із важливих

наукових задач, які вирішуються у даному дисертаційному дослідженні, є зменшення техногенного забруднення на сільськогосподарські угіддя, відновлення ґрунту від забруднення, спричиненого воєнними діями на території України. Тому ефективність запропонованої технології відновлення техногенно забруднених агроценозів має також оцінюватися з екологічної та соціальної точок зору, адже збереження якості ґрунту є основою як продовольчої безпеки – якості сільськогосподарської продукції та її кількості, так і екологічної – здоров'я населення загалом.

Таким чином в умовах розповсюдження принципів і ідеології інноваційної екологоорієнтованої парадигми на всіх рівнях управління, об'єктивною умовою реалізації технології відновлення техногенно порушених агроценозів внаслідок воєнних дій в Україні є врахування її економічної та екологічної ефективності та вибір найбільш оптимального плану заходів відновлення на основі мультифункціональної оптимізації екологічних та економічних критеріїв [9].

Метод комплексного вибору ефективних рішень щодо відновлення техногенно порушених агроценозів внаслідок воєнних дій в Україні, має включати сукупність наступних підходів:

- розробка можливих сценаріїв відновлення техногенно порушених агроценозів внаслідок воєнних дій в Україні для виділеної території;
- розробка поетапного плану їх реалізації;
- визначення необхідних витрат та ресурсів для можливих схем відновлення техногенно порушених агроценозів внаслідок воєнних дій в Україні;
- визначення економічних та екологічних критеріїв, їх оптимізація;
- вибір оптимального варіанту схеми для відновлення техногенно порушених агроценозів внаслідок воєнних дій в Україні.

При цьому, вибір оптимальних рішень щодо відновлення техногенно порушених агроценозів внаслідок воєнних дій в Україні можливо здійснювати на основі оптимізації узагальнюючих критеріїв оцінки ефективності даної системи. Узагальненим економічним критерієм (V) є мінімізація загальних витрат на проведення робіт по рекультивациі та ремедіації техногенно

порушених земель та максимізація отримання прибутку від реалізації сільськогосподарської продукції з території, що очищається. Екологічним критерієм ефективності прийняття рішень щодо відновлення техногенно порушених земель сільськогосподарського призначення внаслідок воєнних дій на Україні є мінімізація еколого-економічного збитку за забруднення довкілля, який відображає частку зменшених екологічних втрат через зменшення забруднення довкілля, у грошовій формі. При цьому вирощування та реалізація екологічно безпечної сільськогосподарської продукції на відновлених територіях дозволяє отримувати додатковий прибуток від повернення земель у господарський обіг.

Таким чином, реалізація будь-яких заходів щодо відновлення техногенно порушених агроценозів внаслідок воєнних дій в Україні потребує оптимізації екологічних та економічних критеріїв ефективності їх реалізації, що на першому етапі потребує чіткого обґрунтування робіт та розрахунок витрат.

Відповідно до Постанови КМУ «Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації» (від 20 березня 2022 року №326) та «Методики визначення шкоди та збитків, завданих земельному фонду України внаслідок збройної агресії Російської Федерації» (Наказ Мінагрополітики та продовольства України від 18.05.2022 р., №295), а також Наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 4.04.2022 року №167 «Методика визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану» проведено розрахунок збитку за забруднення 1 га ґрунту важкими металами та нафтопродуктами (при вмісті забруднюючих речовин на рівні 2 ГДК) та наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Розрахунок еколого-економічного збитку за забруднення ґрунтів внаслідок бойових дій до та після після їх очистки запропонованою технологією

Забруднюючі речовини	Розмір шкоди, грн	Питомі витрати на ліквідацію наслідків забруднення ґрунтів відповідної земельної ділянки	Нормативна грошова оцінка земельної ділянки, ґрунти якої зазнали забруднення, грн/кв.м	Площа земельної ділянки, ґрунти якої зазнали забруднення, кв.м	Коефіцієнт неозпеченості забруднюючої речовини	Коефіцієнт, що застосовується для врахування природоохоронної цінності земельної ділянки	земель, забруднених внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану
<i>Розрахунок забрудненої ділянки (контроль), на 1 га</i>							
Нафтопродукти, $P_{ш1}$	664200	1,5	3,39	10 000	4	3	54000
Свинець, $P_{ш2}$	664200	1,5	3,39	10 000	4	3	54000
Цинк, $P_{ш3}$	664200	1,5	3,39	10 000	4	3	54000
Сумарний розмір $P_{ш.заг.} = 0,5 \times (P_{ш1} + P_{ш2} + P_{ш3})$	996300						
<i>Розрахунок очищеної ділянки пробіотиком, на 1 га</i>							
Нафтопродукти, $P_{ш1}$	117643,3	1,1**	3,39	10 000	1*	3	5773,3****
Свинець, $P_{ш2}$	117643,3	1,1	3,39	10 000	1	3	5773,333
Цинк, $P_{ш3}$	117643,3	1,1	3,39	10 000	1	3	5773,333
Сумарний розмір $P_{ш.заг.} = 0,5 \times (P_{ш1} + P_{ш2} + P_{ш3})$	176465						
<i>Розрахунок очищеної ділянки пробіотиком та СПВ, на 1 га</i>							
Нафтопродукти, $P_{ш1}$	16318,32	0,1***	3,39	10 000	1	3	6148,3
Свинець, $P_{ш2}$	16318,32	0,1	3,39	10 000	1	3	6148,3
Цинк, $P_{ш3}$	16318,32	0,1	3,39	10 000	1	3	6148,3
Сумарний розмір $P_{ш.заг.} = 0,5 \times (P_{ш1} + P_{ш2} + P_{ш3})$	24477,48						

* – зменшено до 1, враховуючи результати аналізу вмісту важких металів та нафтопродуктів після очистки, усереднені дані 2 ГДК до очистки, 0,5ГДК після очистки ** - зменшено до 1,1 враховуючи результати оцінки фітотоксичності, вплив забруднення зменшився до 70% у порівнянні з контролем; *** - зменшено до 0,1 враховуючи результати оцінки фітотоксичності, вплив забруднення відсутній у порівнянні з контролем; **** - дані відповідно розрахунків витрат на очищення, поділених на кількість забруднень.

Практичне впровадження будь-яких заходів потребує оптимізації агроекологічних та економічних критеріїв ефективності їх реалізації [3]. Проведена оптимізація екологічних та економічних критеріїв (рис. 3.1) для запропонованих технологій відновлення техногенно забруднених земель сільськогосподарського призначення внаслідок воєнних дій на Україні у порівнянні із існуючою ситуацією (контроль, відновлювальні заходи відсутні).

За екологічний критерій визначено розмір збитку за забруднення ґрунтів на площі 1 га, грн, за економічний – чистий дохід від реалізації сільськогосподарської продукції на площі 1 га, грн.

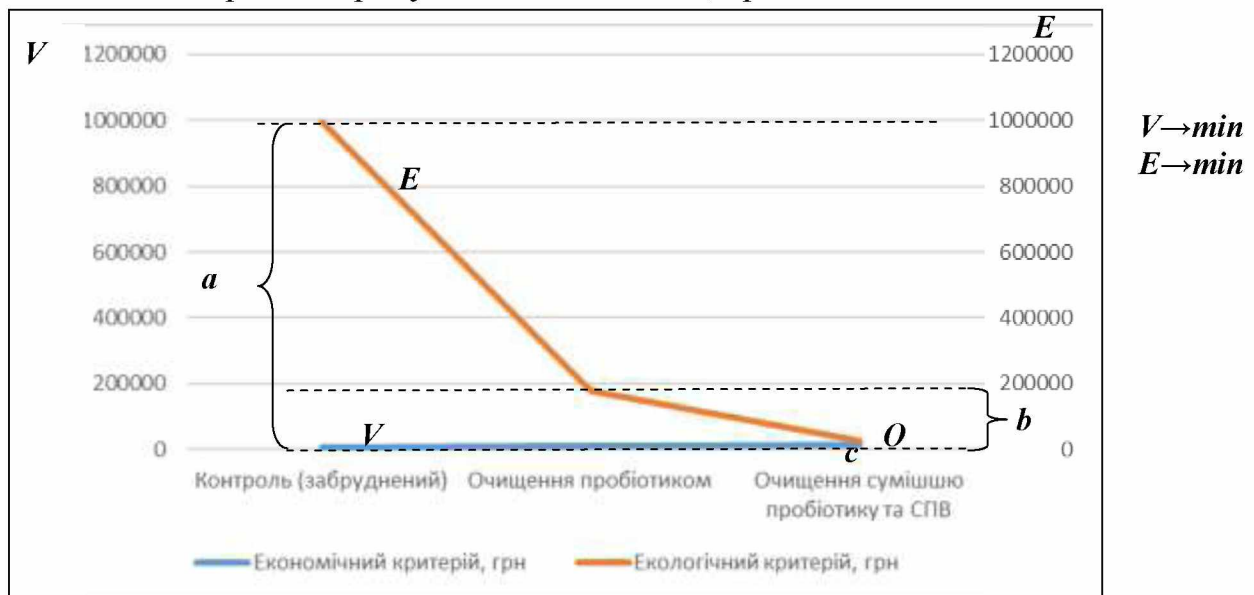


Рис. 3.1 - Оптимізація екологічних та економічних критеріїв ефективності запропонованих заходів рекультиватії та ремедіації техногенно забрудненої території сільськогосподарського призначення внаслідок воєнних дій (на площі – 1 га)

Як видно з рис. 8.6, точка O - максимальний оптимум екологічного і економічного критерію ефективності реалізації заходів. Відстань a (відповідає базовому сценарію – контроль, без очищення) є найдовшою від оптимуму у порівнянні з відстанями b (відповідає сценарію очистки пробіотиком) та c (відповідає сценарію відновлення сумішшю пробіотику та СПВ). Враховуючи, що відстань $c \rightarrow 0$ можна зробити висновок, що сценарій відновлення за допомогою суміші СПВ та пробіотику є більш оптимальним у порівнянні з контрольним. Крім того, враховуючи головні принципи сталого розвитку, а також положення, відображені у резолюції Генеральної Асамблеї ООН №70/1 від 25 червня 2015 року «Перетворення нашого світу: порядок денний в галузі сталого розвитку на період до 2030 року», Указі Президента України №722/2019 року «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року», у системі відносин людства та природи визначено пріоритетність екологічних та

соціальних критеріїв над економічними. Виходячи з цього, основною цінністю суспільства є здоров'я людей та збереження довкілля. Тому реалізація запланованих заходів відповідає принципам сталого розвитку та є їх частиною на локальному рівні.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що при комплексному забрудненні ґрунту важкими металами та нафтопродуктами на рівні 2 ГДК, фітотоксичний ефект за біометричними показниками *Triticum aestivum* становить 34-43%, при окремому забрудненні нафтопродуктами (2 ГДК) – 22-40%, цинком (2 ГДК) – 17-27% та свинцем (2 ГДК) – 13-23% відповідно. Встановлено, що вища за середню токсичність по частці пророщеного насіння та довжині коренів характерна тільки для ділянки із сумішшю важких металів та нафтопродуктів, усі інші зразки характеризуються середньою токсичністю, окрім ділянок із забрудненням цинку (по частці пророщеного насіння та довжині коренів) та свинцю (по ваги кореневої системи) для яких фітотоксичність склала менше 20%. При цьому найбільшу частку сухої речовини виявлено в рослинах, які виростили на зразках ґрунту, що містять нафтопродукти. Обґрунтовано, що нафтопродукти не дають можливості рослинам поглинати достатню кількість вологи з ґрунту. Це відбувається внаслідок утворення плівок нафтопродуктів на поверхні ґрунту і рослин.

2. Визначено, що у результаті використання пробіотичного препарату *Sviteko-Agrobiotik-01* на найбільш забрудненому ґрунті (Zn+Pb+НП) покращення біометричних показників у порівнянні з неочищеним ґрунтом склало: на 61% по пророслому насінню; на 50–55 % по довжині сходів та довжині коренів; на 28–30 % по масі наземної частини та кореневої системи. Також на найбільш забрудненому ґрунті покращення біометричних показників склало 86-92% від чистого контролю. Таким чином, у результаті проведеної біологічної очистки ґрунту пробіотичним препаратом *Sviteko-Agrobiotic-01* (розведення 1: 10) із різними забрудненнями (важкими металами та нафтопродуктами) фітотоксичність усіх зразків склала менше 20 % за біометричними показниками *Triticum aestivum*, тобто фітотоксичність відсутня.

3. За результатами хімічного аналізу ґрунту з різними забрудненнями важких металів і нафтопродуктів до і після очистки пробіотичним препаратом *Sviteko-Agrobiotic-01* (1:10 розведення) встановлено, що пробіотичні препарати у результаті очистки після 7 днів зменшують вміст нафтопродуктів у 2-3 рази, при цьому вміст нафтопродуктів стає меншим ГДК та починає стимулювати ріст та

розвиток рослин. Визначено, що у результаті очистки валовий вміст важких металів не зменшується, у той же час їх рухома форма зменшується у 2-3 рази та стає меншою ГДК. Це пояснює зменшення фітотоксичності ґрунту після очистки пробіотиком, адже рослини можуть вбирати з продуктами живлення тільки рухомі форми важких металів. Таким чином можна констатувати, що пробіотичні препарати проводять іммобілізацію важких металів, переводять їх у недоступні для рослин форми, тим самим знижуючи фітотоксичність ґрунту та забезпечуючи продовольчу безпеку продуктів харчування.

4. У результаті комплексного використання суміші пробіотичного препарату *Sviteko-Agrobiotic-01* та СПВ встановлено, що всі забруднені ділянки ґрунту після ремедіації характеризувалися біометричними показниками *Triticum aestivum*, які були на рівні або кращими за чистий зразок. Обґрунтовано, що наявність СПВ додатково збагачує ґрунт мікро- і макроелементами, є джерелом живлення для пробіотичних мікроорганізмів та стимулює збільшення інтенсивності очищення ґрунту, позитивно впливає на біометричні показники рослин. Таким чином, у результаті проведеної біологічної очистки ґрунту пробіотичним препаратом *Sviteko-Agrobiotic-01* (1:10 розведення дозою 100 л/га) та СПВ концентрацією 900 л/га із різними забрудненнями (важкими металами та нафтопродуктами) фітотоксичність усіх зразків склала менше 20% за біометричними показниками *Triticum aestivum*, тобто фітотоксичність відсутня. Крім того, у результаті очистки спостерігається значне покращення біометричних показників *Triticum aestivum*. Таким чином можна констатувати, що запропонована у розділі 4 технологія використання СПВ у дозі 900 л/ га та пробіотичних препаратів у дозі 100 л/га (10% розведення) як основного добрива дозволяє не тільки підживити ґрунт необхідними речовинами, але і очистити ґрунт внаслідок воєнних дій, таким чином забезпечити екологічну та продовольчу безпеку, сталий розвиток агроєкосистем, які постраждали внаслідок воєнних дій на Україні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про охорону земель : Закон України від 19.06.2003 №962-IV. *Голос України*. 2003. 27 липня. (№ 178-179). С. 55-71.
2. Боротьба з опустелювання та посухами : Міжнародна конвенція ОО, ратифікована від 04.07.2002 №61-IV. *Відомості Верховної Ради України*. 2002. № 36.С. 267-299.
3. Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації : постанова КМУ від 20.03.2022 р. №326. *Офіційний вісник України*. 2022. № 21. С. 136–141.
4. Методика визначення шкоди та збитків, завданих земельному фонду України внаслідок збройної агресії Російської Федерації : наказ Мінагрополітики та продовольства України від 18.05.2022 р. №295. *Офіційний вісник України*. 2022. № 25. С. 48-55.
5. Методика визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану : наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 4.04.2022 року №167. *Офіційний вісник України*. 2022. № 21. С. 101-115.
6. Перетворення нашого світу: порядок денний в галузі сталого розвитку на період до 2030 року : Резолюція Генеральної Асамблеї ООН №70/1 від 25 червня 2015 року. URL: <https://www.undp.org/tag/sustainable-development?type=publications> (дата звернення 12.10.2022).
7. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року : Указ Президента України від 30.09.2019 р. №722/2019. *Офіційний вісник України*. 2019. № 4. С. 530– 543.
8. Цьова Ю.А. Теоретико-методологічні засади сталого функціонування агроєкосистем в умовах воєнних дій : монографія. Полтава: ПДАУ, 2022. 402 с.
9. Писаренко П. В., Самойлік М. С., Цьова Ю.А. Агроєкологічне обґрунтування регулювання процесів евтрофікації водних об'єктів. Полтава: ПДАУ, 2022. 198 с.

10. Писаренко П. В., Самойлік М. С., Цьова Ю.А., Серета М.С. Ресурсно-екологічна безпека регіону : монографія. Полтава: ПДАУ, 2022. 317 с.
11. Писаренко П. В., Самойлік М. С., Цьова Ю.А., Серета М.С. Теоретичні засади відновлення техногенно порушених агроценозів : монографія. Полтава: ПДАУ, 2022. 255 с.
12. Pisarenko P., Samojlik M., Korchagin O., Tsova, Yu. Strategic Management Directions of Solid Domestic Waste Sphere in the Poltava Region. *Scientific Horizons*. 2019. №1. P. 3–10.
13. Pysarenko P., Samojlik M., Taranenko A., Tsova Y. Monitoring of Municipal Solid Waste Landfill Impact on Environment in Poltava Region, Ukraine. *Ecological Engineering and Environmental Technology*. 2022. Vol.23(5). P. 54–60.
14. Pysarenko P., Samojlik M., Taranenko A., Tsova Y. Taranenko S. Microbial remediation of petroleum-polluted soil. *Agraarteadus, Journal of agricultural science*. 2022. Vol.33(2). P. 256-264. DOI: 10.15159/jas.22.30
15. Pysarenko P., Samojlik M., Galytska M., Tsova Y., Kalinichenko A. Ecotoxicological assessment of mineralized stratum water as an environmentally friendly substitute for agrochemicals. *Agronomy Research*. 2022 Vol. 20. №4. P. 785-792. doi.org/10.15159/AR.22.045
16. Писаренко П. В., Самойлік М. С., Тараненко А. О., Цьова Ю. А., Приставський М. М. Наукові засади формування регіональної адаптивної стратегії управління гідросистемою (на прикладі р. Ворскли в межах Полтавської області). *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. Вип. 2. 2021. С. 124-135.
17. Писаренко П. В., Самойлік М. С., Диченко О. Ю., Цьова Ю. А., Подлесний А.В., Третьякова Д. М. Концептуальні напрями регіонального управління сферою поводження з твердими побутовими відходами. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. Вип. 3. С. 82-91
18. Тараненко А. О., Цьова Ю. А., Серета М. С., Кузенко Л. Ю., Солодовник М. А. Потенціал біомаси відходів сільського господарства для виробництва біоенергетики в Полтавській області. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. Вип. 4. С.142-454

19. Pysarenko P.V., Samoilik M.S., Taranenko A.O., Tsova Yu.A., Sereda M.S. Investigation of the possibility of probiotic use for remediation of contaminated soil of solid domestic waste landfills. *Таврійський науковий вісник*. 2021. Вип. 121. С. 276-286.
20. 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. Вип. 125. С. 225-233.
21. Цьова Ю.А. Фітотоксична оцінка використання пробіотичних препаратів для очистки агроценозів, забруднених внаслідок воєнних дій. *Аграрні інновації*. 2022. № 14. С. 122 - 128.
22. Цьова Ю.А. Вплив пробіотиків та супутньо-пластової води на посівні якості пшениці озимої та ячменя. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 127. С. 114-121.
23. Цьова Ю.А. Оцінка еколого-економічної ефективності очистки техногенно забруднених агроценозів внаслідок воєнних дій. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 128. С. 55-63.
24. Писаренко П.В., Самойлік М.С., Диченко О.Ю., Цьова Ю.А. Використання суміші СПВ та пробіотичних препаратів як основного добрива на посівах сільськогосподарських культур. *Journal of Innovations and Sustainability*. 2022. Vol. 6, No. 3. P. 252-261.
25. Писаренко П. В., Цьова Ю.А. Серeda М.С. Оцінка енергоємності життєвого циклу відходів в агроєкосистемах. *Ефективне функціонування екологічно-стабільних територій у контексті стратегії стійкого розвитку: агроєкологічний, соціальний та економічний аспекти* : матеріали II міжнар. наук.-практ. інтернет – конф., м. Полтава, 28 лист. 2018 р. Полтава, 2018. С. 115-119.
26. Писаренко П. В., Цьова Ю.А., Серeda М. С. Розробка заходів щодо покращення санітарногігієнічного стану селітебних територій на основі застосування бішофіт. *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку* : матеріали

I міжнар. наук.-практ. конф., м. Полтава, 16 травня 2019 р. Полтава, 2019. С. 30-34.

27. Писаренко П.В., Самойлік М.С., Тараненко А.О., Серета М.С. Наукове обґрунтування біоремедіації забруднених несанкціонованими звалищами відходів земель. Таврійський науковий вісник. 2021. Вип. 119. С. 264-272

28. Писаренко П.В., Самойлік М.С., Молчанова А.В. Біоіндикаційна оцінка впливу місць видалення відходів на стан навколишнього природного середовища. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2018. Вип. 1. С. 88–93.

29. Джура Н. М.. Фізіологічні аспекти адаптації рослин до нафтового забруднення: дис. ... канд. біол. наук: 03.00.12. Львів, 2007. 149 с.

30. Beck-Broichsitter S., Fleige H., Horn R. Compost quality and its function as a soil conditioner of recultivation layers — a critical review. *International Agrophysics*. 2018. № 32. P. 11–18. DOI: 10.1515/intag-2016-0093

31. Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті : затв. наказом МОЗ від 14.07.2020 № 1595. Офіційний вісник України. 2020. № 20. С. 136–155.

32. Звіт про роботу з контролю за факторами навколишнього середовища, що впливають на стан здоров'я людини. Ф № 71. ДУ «Полтавський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України». м. Черкаси. 2021. 34 с.

33. Патика В. П., Тихонович І. А., Ріліп'єв І. Д. Мікроорганізми і альтернативне землеробство. Київ : Урожай, 1993. 176 с.

34. Iutynska H. O. Microbial biotechnology for the implementation of the new global program for sustainable development of the Ukrainian agrosphere. *Agroecological Journal*. 2018. № 2. P. 149 – 155.

35. Karlsson I., Friberg H., Kolseth A.K., Steinberg C., Persson P. Agricultural factors affecting Fusarium communities in wheat kernels. *International Journal Food Microbiol*. 2017. № 252. P. 53–60. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2017.04.011.

36. Liuta V. A., Kononov O. V. Workshop on Microbiology. Kyiv: Medicine, 2018. 345 p.

37. Хазієв Ф. Х. Ферментативна активність ґрунтів. Київ : Наука, 1976. 180 с
38. Iutynska H. O. Microbial biotechnology for the implementation of the new global program for sustainable development of the Ukrainian agrosphere. *Agroecological Journal*. 2017. № 2. С. 149– 155.