

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут екології
Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ НА ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ

Виконала: студентка 4 курсу, групи ДЕ-42
спеціальності : 101 «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



/ Анастасія КОЛОДЯЖНА

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник _____ / доц.Іветта КРИВИЦЬКА

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник _____ / проф.Алла НЕКОС

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Рецензент _____ / Валентина САМОХВАЛОВА

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____ / проф.Алла НЕКОС

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____ / Вікторія КОШЕЛЬКОВСЬКА

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____ / доц.Світлана БУРЧЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Харків – 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Інститут: Навчально-науковий інститут екології

Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) – бакалавр

Спеціальність: 101 «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____/проф. Алла НЕКОС

«20» травня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Анастасія КОЛОДЯЖНА

(прізвище, ім'я)

Тема роботи: Особливості використання біопрепаратів на забруднених ґрунтах

керівники роботи Іветта КРИВИЦЬКА, кандидат біологічних наук, доцент, Алла НЕКОС, доктор географічних наук, професор
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “___” _____ 2025 року №___

2. Строк подання студентом роботи 1 травня 2025 р

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Розглянути стан вивчення питання щодо впливу важких металів на ґрунтовий покрив;
2. Розглянути стан вивчення питання щодо використання біопрепаратів для ремедіації забруднених ґрунтів.
3. Надати характеристику та визначити сучасний стан урбоґрунтів м. Харкова;

4. Зробити аналіз та сформулювати висновки.

4. План роботи:

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Аналіз літературних джерел щодо використання біопрепаратів для очищення забруднених ґрунтів.
2	Методи досліджень впливу біопрепаратів на забрудненні ґрунти.
3	Аналіз особливостей біоре mediaції забруднених ґрунтів міста Харкова за мілітарного впливу.

5. Дата видачі завдання

Студент



підпис

Анастасія КОЛОДЯЖНА

ім'я, прізвище

Керівник роботи

підпис

доц Іветта КРИВИЦЬКА

ім'я, прізвище

підпис

проф Алла НЕКОС

ім'я, прізвище

АНОТАЦІЯ

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ НА ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ

Анастасія КОЛОДЯЖНА

Кваліфікаційна робота «Особливості використання біопрепаратів на забруднених ґрунтах» складається з 42 сторінок, 3 розділів, 2 підрозділа, 9 таблиць, 10 рисунків, 22 використаних джерела.

Мета дослідження - провести оцінку дії біопрепаратів на забруднених ґрунтах.

Актуальність дослідження. Забруднення ґрунтів є екологічною проблемою, зумовленою промисловою діяльністю, транспортом та скиданням відходів. Шкідливі речовини такі як важкі метали, хімікати, аерозолі потрапляють у ґрунт через атмосферні опади, стічні води та прямі викиди, що призводять до деградації земель і загрози здоров'ю людей.

Завдання: Розглянути стан вивчення питання щодо впливу важких металів на ґрунтовий покрив; розглянути стан вивчення питання щодо використання біопрепаратів для ремедіації забруднених ґрунтів, надати характеристику та визначити сучасний стан урбоґрунтів м. Харкова; зробити аналіз та висновки.

Результати роботи: Результатами досліджень особливостей використання біопрепаратів Хетомік та Граундфікс для біоремедіації за умов мілітарних впливів встановлено ремедіаційні властивості застосованих біопрепаратів на міських ґрунтах. Виявлено ремедіаційні ефекти біопрепаратів щодо зниження вмісту рухомих та потенційно доступних форм металів-токсикантів окремих забруднених ділянок Cd, Pb, Cr, Cu міських ґрунтів за мілітарних впливів на урбосистеми м. Харкова.

**БІОПРЕПАРАТИ, РЕМЕДІАЦІЯ, ҐРУНТОВИЙ ПОКРИВ,
ХЕТОМІК, ГРАУНДФІКС**

ABSTRACT

FEATURES OF THE USE OF BIOPREDICATORS ON CONTAMINATED SOILS

Anastasiya KOLODIAZHNA

The Qualification work 'Features of the use of biological products on contaminated soils' consists of 42 pages, 3 sections, 2 subsection, 9 tables, 10 figures, 22 references.

The main purpose of the study is to assess the effect of biological products on contaminated soils

Relevance of the study. Soil pollution is an environmental problem caused by industrial activity, transport and waste disposal. Harmful substances such as heavy metals, chemicals, and aerosols enter the soil through precipitation, wastewater, and direct emissions, leading to land degradation and threats to human health.

Objectives: to analyse the current scientific literature on the research topic; to conduct an experimental study of the impact of biological products of different concentrations on urban soil cover, to collect soil samples; to analyse the results of laboratory testing of the selected samples; to identify key aspects of the use of biological products on contaminated urban soils.

Results of the work: The results of the study of the peculiarities of the use of biological products Hetomik and Groundfix for bioremediation under conditions of military impacts have established the remediation properties of the applied biological products on urban soils. The remediation effects of biological products on reducing the content of mobile and potentially available forms of metal toxicants in certain contaminated areas of urban soils with Cd, Pb, Cr, Cu under military impacts on the urban systems of Kharkiv were revealed.

BIOLOGICAL PRODUCTS, REMEDIATION, SOIL COVER, CHEMIST, GROUNDFIX

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ	10
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ БІОПРЕПАРАТІВ НА ЗАБРУДНЕНІ ҐРУНТИ.....	17
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ БІОРЕМЕДІАЦІЇ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ МІСТА ХАРКОВА ЗА МІЛІТАРНОГО ВПЛИВУ.....	23
3.1 Дослідження впливу застосованих біопрепаратів на вміст рухомих форм металів-токсикантів у забрудненому ґрунті м. Харкова за використання буферного амонійно-ацетатного екстрагенту з рН 4,8.....	24
3.2 Дослідження впливу застосованих біопрепаратів на вміст потенційно доступних форм металів-токсикантів у забрудненому ґрунті м. Харкова за використання екстрагенту 1н НСL	30
ВИСНОВКИ	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	39

ВСТУП

Актуальність дослідження. Ґрунт - це пухкий поверхневий шар землі, який є родючим і придатним для вирощування рослин. Ґрунт не тільки забезпечує механічну підтримку для росту рослин, але й забезпечує необхідні елементи родючості, такі як вода, добрива, повітря та тепло для росту та розвитку рослин. Через швидке зростання населення та швидкий промисловий розвиток тверді відходи постійно накопичуються та скидаються на поверхню ґрунту, небезпечні стічні води постійно проникають у ґрунт, а шкідливі гази та летючий пил в атмосфері постійно потрапляють у ґрунт із дощем, що призводить до забруднення ґрунту.

Забрудненні ґрунти можуть негативно негативно впливати на здоров'я людей: вдихання пилу, що містить важкі метали, або прямий контакт із ґрунтом здатні спричинити алергічні реакції.

Екологічні ризики забруднення ґрунту в міських районах включають ризик безпосереднього потрапляння шкідливих речовин, що містяться в ґрунті, через рот або шкіру, а також ризик вимивання шкідливих речовин із ґрунту в ґрунтові води та пиття або ковтання забруднених ґрунтових вод, і відповідно до ризику необхідно вжити заходів. Безпосереднє проковтування можна запобігти, нагромадивши забруднений ґрунт або замінивши його чистим ґрунтом під ним.

Забруднювачі, що утворюються внаслідок діяльності людини, потрапляють у ґрунт і накопичуються до певного рівня, спричиняючи погіршення якості ґрунту та, у свою чергу, призводячи до того, що певні показники посівів перевищують національні стандарти.

Це називається забрудненням ґрунту. Існують різні шляхи потрапляння забруднюючих речовин у ґрунт. Забруднюючі речовини, що містяться у вихлопних газах, особливо тверді частки, осідають на землю та потрапляють у ґрунт під дією сили тяжіння. Стічні води переносять велику

кількість забруднюючих речовин у ґрунт. Забруднюючі речовини з твердих відходів потрапляють у ґрунт безпосередньо або їх фільтрат потрапляє в ґрунт.

Шкідливі гази в атмосфері - це переважно токсичні відпрацьовані гази промисловості. Вони забруднюють велику територію і можуть спричинити серйозне забруднення ґрунту. Забруднення відпрацьованими промисловими газами можна умовно розділити на дві категорії: забруднення газами, такими як діоксид сірки, фторид, озон, оксиди азоту, вуглеводні тощо; аерозольні забруднення, такі як тверді частинки, такі як пил і дим, і рідкі частинки, такі як дим і туман, які потрапляють у ґрунт через осідання або опади та викликають забруднення. Наприклад, вихлопні гази заводів з виплавки кольорових металів містять важкі метали, такі як хром, свинець, мідь і кадмій, які забруднюють прилеглий ґрунт; заводи, що виробляють фосфорні добрива та фториди, призводять до забруднення пилом і фтором прилеглого ґрунту.

В усьому світі була проведена велика кількість досліджень, але питання ефективності біопрепаратів залишається відкритою, особливо на ґрунтах із комбінованим типом забруднення.

Мета дослідження - провести оцінку дії біопрепаратів на забруднених ґрунтах.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Розглянути стан вивчення питання щодо впливу важких металів на ґрунтовий покрив;
2. Розглянути стан вивчення питання щодо використання біопрепаратів для ремедіації забруднених ґрунтів.
3. Надати характеристику та визначити сучасний стан урбоґрунтів м. Харкова.
4. Зробити аналіз та сформулювати висновки.

Об'єкт дослідження: міські ґрунти

Предмет досліджень: ремедіаційні властивості біопрепаратів.

Методи дослідження: виконані польові та лабораторні дослідження, визначено концентрація важких металів, методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії.

Робота виконана за матеріалами наукової, науково-популярної, довідкової літератури, картографічної продукції, фондових матеріалів ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського та особистих досліджень автора.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ

Можливі причини забруднення ґрунту включають неправильне поводження з шкідливими речовинами, які використовуються як сировина під час роботи заводу, або рідини, що містять шкідливі речовини, що просочуються під землю.

Крім того, забруднення ґрунтів включає не тільки забруднення, викликане діяльністю людини, але й забруднення природного походження.

Коли відбувається забруднення ґрунту, виникають проблеми в екосистемі, наприклад, впливаючи на культури та рослини та пригнічуючи їх ріст.

Забруднення також поширюється на ґрунтові води та прилеглі водні об'єкти, зокрема річки, що створює загрозу для флори, фауни та здоров'я людей. Такий вплив має масштабні наслідки для всієї екосистеми регіону.

Також у кислих ґрунтах утворення ґрунтових агрегатів гальмується, а ґрунт старіє через дефіцит мікробів.

Одним із біологічних способів очищення забрудненого ґрунту є введення мікроорганізмів, здатних до розкладання хімічних забруднювачів. Як правило, такі культури мікроорганізмів культивуються у контрольованих умовах, а потім вносяться на забруднену територію. Проте на практиці ефективність цього методу часто знижується через конкуренцію між введеними мікроорганізмами та природними аборигенними видами. У результаті кількість або активність внесених культур зменшується, що негативно впливає на загальну ефективність процесу біологічної ремедіації.

З метою підвищення ефективності біологічного очищення іноді застосовують додаткове внесення поживних речовин, які активізують

діяльність введених мікроорганізмів. Однак такий підхід значно підвищує загальну вартість обробки забрудненого ґрунту.

Поряд із біологічними методами, застосовуються також фізичні та хімічні способи очищення. Натомість, ці методи мають суттєві недоліки.

По-перше, вони є не екологічними, оскільки призводять до повного порушення структури ґрунтової екосистеми в зоні очищення.

По-друге, вони вимагають значних витрат енергії та хімічних реагентів, що робить їх економічно не вигідними. До того ж, фізико-хімічні методи часто не забезпечують повного розкладання токсичних речовин, через що виникає необхідність у додаткових процесах очищення стічних вод або газів, що утворюються під час або після основного очищення. Це ускладнює технологічний процес і створює ризик вторинного забруднення.

З урахуванням недоліків традиційних підходів до очищення ґрунту, актуальною є розробка нового методу біологічного очищення, який би був водночас ефективним, економічно доцільним, екологічно безпечним і сприяв би збереженню та відновленню ґрунтової екосистеми. У цьому контексті запропоновано застосування спеціально розробленого складу для біологічної ремедіації, до якого входять мікроорганізми з високою здатністю до розкладання хімічних забруднювачів у ґрунтового середовищі.

Біопрепарати це мікробіологічні засоби, які створюються на основі живих мікроорганізмів таких як гриби, бактерії або метаболіти. Вони мають здатність переробляти шкідливі речовини, що накопичуються у ґрунті.

Біопрепарати очищують ґрунт природним способом за допомогою біопроцесів - це і є біореємедіація.

Їх суть полягає у тому щоб повернути ґрунт в чистий природний стан без застосування хімікатів, які тільки більше шкодять навколишньому середовищу.

Забруднення ґрунтів від автотранспорту є великою проблемою, так як в кожному місті є дороги та автотранспорт, якій у свою чергу вже шкодить ґрунтам та навколишньому середовищу.

Стан ґрунтів сьогодні викликає все більше занепокоєння наприклад місць біля промислових підприємств з високим техногенним навантаженням, або транспортних магістралей.

У ґрунт потрапляють важкі метали такі як: кадмій, які потрапляють з атмосферного або виділяються з вихлопних газів.

Воєнні дії також дуже сильно впливають на ґрунти.

Важкі метали з уламків снарядів попадають у ґрунт, вибухівки, хімічні речовини з пошкоджених складів, заводів, нафтобаз.

Тема очищення забруднених ґрунтів за допомогою біопрепаратів викликала зацікавлення у багатьох науковців.

Багато вчених з різних країн теж проводили дослідження біопрепаратів на забруднених ґрунтах. Наприклад:

У своєму дослідженні «Інститут Ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», проводили аналіз впливу бойових дій на ґрунти в районі Золочівській громаді Харківської області, де прильоти спричинили пошкодження ґрунтів [1].

Українські науковці: Людмила Білявська, Галина Іутинська, Марія Лобода, Богдан Ропотілов, Сергій Скроцький, які досліджують методи діагностики та біоре mediaції ґрунтів, пошкоджених внаслідок воєнних дій в Україні. В опублікованій своїй статі в журналі «Біологічні системи: теорія та інновації» (2024, том 15, № 3) они аналізували вплив вибухів на ґрунтову мікробіоту та пропонують використовувати біопрепарати для очищення ґрунту від забруднення.

Забруднення ґрунтів привертають все більше уваги на міжнародному рівні [5].

Також окрему увагу привертають вчені з Китаю: Ванцзян Ше, Линхуей Го, Цзянбо Гао, Чи Чжан, Шаохонг Ву, Юаньмей Цзяо, Гаору Чжу проводили дослідження біопрепаратами поблизу основних доріг в Південному Тибеті [12].

Та теж пропонують використовувати біопрепарати на забруднених ґрунтах.

Ще таке дослідження проводили в Україні Ірина Аблієєва, Леонід Пляцук, Ірина Бережна (Сумський державний університет) Вчені проводили дослідження з біоремедіації нафтово-забруднених ґрунтів. Було запропоновано використовувати мікробний консорціум бактерій *Pseudomonas putida* та *Rhodococcus jostii* у поєднанні з фосфогіпсом та дигестатом як стимуляторів біологічної активності. Протягом експерименту було досягнуто зниження концентрації нафтопродуктів на понад 80%. Також спостерігалось активне відновлення мікробіоти ґрунту. Комбіноване застосування біопрепаратів і стимуляторів є ефективним методом очищення нафтозабруднених ґрунтів, який можна застосовувати за різних температур [4].

У Китаї дослідники Інституту географії та екології Сінцзяну, Китайська академія наук. Вони вивчали метод біоремедіації свинцево-забруднених ґрунтів із використанням бактерії *Kocuria flava*. Основна технологія – мікробно-індукована преципітація кальциту (MICP). За кілька тижнів концентрація рухомого свинцю зменшилась на понад 60%. Свинець був іммобілізований у вигляді стабільних карбонатних сполук. В результаті технологія MICP є перспективною для очищення ґрунтів від важких металів, особливо у посушливих регіонах Китаю, де традиційні методи неефективні [6, 7].

У Японії вчені Університету Кюсю проводили біоремедіацію ґрунтів, забруднених нафтою та діоксинами, з використанням бактерій *Pseudomonas* і *Shewanella*. Було досягнуто деградації до 70% нафтопродуктів та до 80% діоксинів у контрольованих лабораторних умовах. У результаті використання аеробних та факультативно-анаеробних бактерій у мультикультурі є перспективним методом для очищення ґрунтів від стійких органічних забруднювачів [8, 9].

В США дослідники Данієлл Стівенсон, Університет Каліфорнії в Ріверсайді Проводили біоремедіацію токсичних ґрунтів у Лос-Анджелесі з використанням місцевих рослин (фіторемедіація) та грибів (*Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus*). В результаті концентрація важких металів (свинець, кадмій, миш'як) зменшилася в середньому на 50–80%. У результаті поєднання мікоризних грибів і фіторемедіаційних рослин є екологічно безпечним і ефективним підходом до очищення міських земель [10].

Також в США досліджували Оглядова стаття (EPA, WIRED). В дослідженні описано широкий спектр використання мікроорганізмів (*Dehalococcoides*, *Geobacter*, *Bacillus*) для очищення ґрунтів і підземних вод на промислових майданчиках. Відзначено стабільне зниження забруднень у понад 100 об'єктах у США. Розроблено федеральні стандарти для застосування біопрепаратів. У висновках зазначили - біоремедіація визнана ключовим підходом до реабілітації забруднених територій у США, з фокусом на мінімізацію витрат та відновлення екосистем [11].

Незважаючи на позитивні результати цих досліджень та експериментів, впровадження біопрепаратів у великомасштабну практику очищення ґрунтів має певні труднощі. Прикладом однієї з головних причин є те, що не до кінця вивчено як саме мають діяти мікроорганізми, що входять до складу біопрепаратів, на різних місцевостях. Іноді ці

мікроорганізми можуть не пристосуватись до конкретного типу ґрунту або клімату, через це ефективність очищення знижується.

Ще серйозною перешкодою є відсутність законодавчих норм та рекомендацій щодо використання біопрепаратів які, де й коли.

Проте є ще й соціальний аспект: часто люди не довіряють біотехнологічним методом очищення ґрунтів через те що це може лише нашкодити. Це свідчить про потребу в просвітницькій роботі, у поясненні людям, що йдеться не про «генно модифіковані істоти», а про природні процеси, які відбуваються в ґрунті постійно.

В моєму дослідженні я застосовувала такі біопрепарати як «Хетомік» та «Граундфікс».

«Хетомік» - це натуральний біопрепарат який створений для захисту рослин від хвороб, особливо грибкових, що вражають коріння. Він був розроблений українськими науковцями, зокрема фахівцями Інституту сільськогосподарської мікробіології НААН України. Основу цього препарату складає спеціальний корисний гриб *Chaetomium cochliodes*, який має здатність пригнічувати розвиток шкідливих грибів, зокрема збудників фузаріозу, кореневих гнилей та інших захворювань, які шкодять посівам та врожаю. Цей гриб ще й допомагає рослині рости швидше, краще переносити спеку, холод або шкідливі речовини в ґрунті.

Зберігати Хетомік треба в сухому, темному місці, не на сонці й не в холоді або спеці. Найкраще – у звичайному приміщенні, де температура від $+3^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$. Після відкриття упаковки краще швидко його використати. Готувати суміш для поливу чи обробки потрібно на чистій, нехлорованій воді — наприклад, дощовій або відстояній. Обробляти краще зранку або ввечері, коли немає спеки. Найкраще «Хетомік» працює на ділянках, де вже були проблеми з грибковими хворобами, де земля втомлена або багато років вирощували одну й ту ж культуру.

Я застосовувала «Хетомік» у чистій воді в баклагах по 5 літрів під різною концентрацією, тримала в темному прохолодному місці для цього експерименту.

«Граундфікс» - біопрепарат, який теж застосовують для очищення забрудненого ґрунту. Його дія базується на використанні спеціально підібраних мікроорганізмів, здатних ефективно розкласти органічні та неорганічні забруднювачі, зокрема нафтопродукти, важкі метали, пестициди та інші токсиканти. Іншими словами, він сприяє самовідновленню ґрунту, активізуючи природні процеси очищення, його додають у ґрунт (часто з водою або в суміші з компостом), перекопують землю або просто поливають забруднені ділянки. Далі мікроорганізми починають працювати - розмножуються в ґрунті та очищують його. Для кращого ефекту обробку повторюють кілька разів - залежно від рівня забруднення. Зберігати «Граундфікс» потрібно також як «Хетомік» - в сухому, темному місці. Не можна тримати його на сонці або в морозі. Після відкриття упаковки його бажано використати протягом 1-2 тижнів, бо мікроорганізми живі і можуть втратити активність.

Важливість застосування таких біопрепаратів як «Хетомік» та «Граундфікс» дуже велика. Ми живемо в тому часі, коли транспорт та промисловість щодня завдають шкоди навколишньому середовищу, особливо ґрунтам як є основою для нас. Традиційні методи або дуже дорогі або шкідливі, такі як: спалювання чи хімічна обробка. Біопрепарати це екологічно чистий варіант, який дозволяє очищати ґрунт природним методом. Вони не накопичуються в харчовому ланцюзі, їх можна використовувати в населених пунктах. Щоб доказати безпечність та дієвість цих біопрепаратів треба це продемонструвати у містах та селах, показати як Хетомік та Граундфікс працюють на практиці.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ БІОПРЕПАРАТІВ НА ЗАБРУДНЕННІ ҐРУНТИ

Для дослідження особливостей використання біопрепаратів на забруднених міських ґрунтах за мілітарних впливів та визначення екологічного стану об'єктів досліджень, відповідно до теми і завдань та предмету роботи, було проведено обстеження окремих локальних ділянок міських ґрунтів Основ'янського району м Харкова та лабораторні дослідження.

Методи досліджень: системний, порівняльний, критичного аналізу, узагальнення; методи обстежень міських ґрунтів згідно з чинним нормативним документом, хіміко-аналітичні і лабораторні методи.

Дослідження міських ґрунтів у складі урбосистем м. Харкова за період 2023-2024 рр, передбачали локальне обстеження міських ґрунтів за виявлених мілітарно-техногенних впливів (рис.1) з відбором точкових проб ґрунту. Відбір точкових проб міських порушених ґрунтів внаслідок обстрілів РСЗО, КАБ і ракетно-дронових обстрілів, здійснено відповідно до ДСТУ ISO 10381-5:2009, ДСТУ 7243:2011 [13-14.]. Попередню підготовку проб ґрунту до аналізування проведено згідно з ДСТУ ISO 11464:2007 [16].

Проби ґрунту відбирали із поверхневого шару глибиною 0-30 см з урахуванням загальновідомих даних про відносно більше забруднення саме цього горизонту на урбанізованих територіях. Зразки ґрунту висушували за кімнатної температури, після чого просіювали.

Дослідження проведено за співробітництва з відділом охорони ґрунтів Національного наукового центра «ІГА імені О.Н. Соколовського» за виконання завдання з фундаментальних досліджень 01.02.02.01.Ф. «Розробити науково-методичні основи моніторингу, екологічного

нормування якості та ремедіації хімічно забруднених ґрунтів як основи ґрунтово-екологічного менеджменту» (керівник: к. с.-г. наук, ст. н. с. В. Самохвалова) та за проведення додаткових досліджень на виконання постанови Президії НААН України від 19.04.2023 р. № 05/01 «Стан та завдання наукового забезпечення управління ґрунтовими ресурсами на етапі збройної агресії РФ та післявоєнного відновлення України».



Рис. 1 – Обстежені ділянки ґрунтів м. Харків з наявним мілітарним впливом

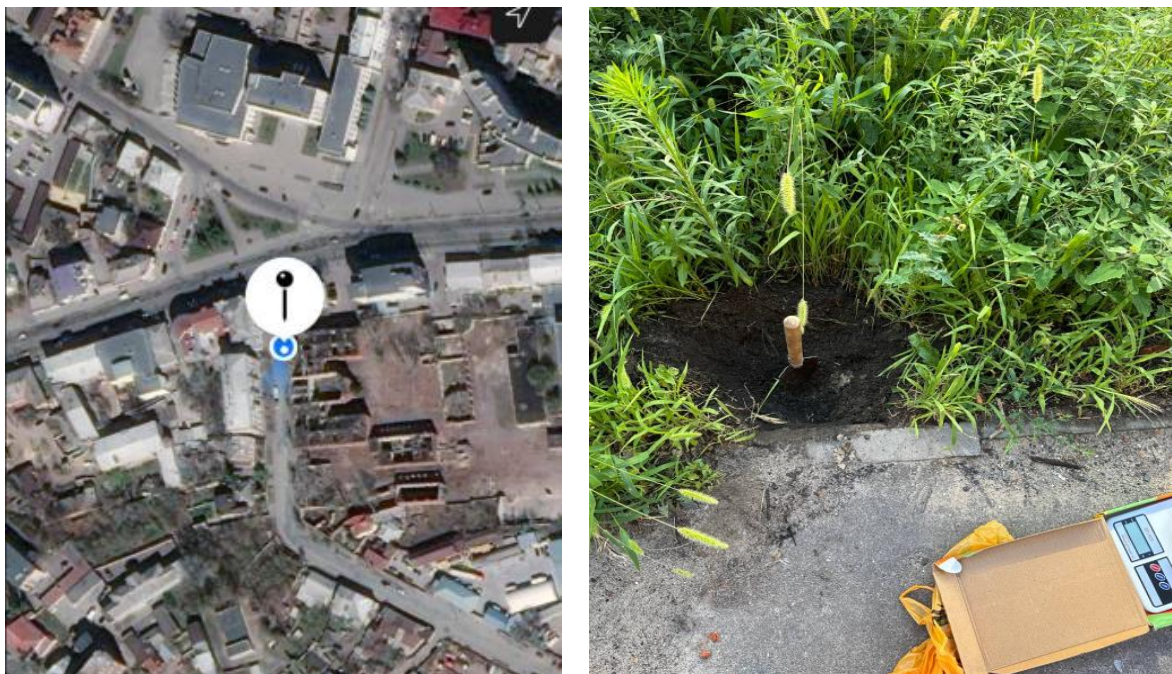


Рис. 2 - Фото локації ділянки №1 та пробовідбирання ґрунту

Короткі характеристики місця пробовідбору ґрунту:

Опис розташування ділянки №1 та локацій пробовідбирання ґрунту:

- Ділянка №1 вул. Воєнна 2 Основ'янського району м Харків.

Розташована поряд з автомобільною дорогою, у ґрунті наявні рештки асфальтно-цементного покриття, великі каміння, скло.

Опис розташування ділянки №2 та локацій пробовідбирання ґрунту:

- Ділянка №2 вул. Воєнна 2 Основ'янського району м Харків.

Розташована поряд з автомобільною дорогою, на відстані 1м від 1 ділянки, у ґрунті наявні рештки асфальтно-цементного покриття, великі каміння, скло.

Опис розташування ділянки №3 та локацій пробовідбирання ґрунту:

- Ділянка №3 вул. Воєнна 2 Основ'янського району м Харків.

Розташована поряд з автомобільною дорогою, на відстані 1м від 2 ділянки, у ґрунті наявні рештки асфальтно-цементного покриття, великі каміння, скло.

Опис розташування ділянки №4 та локацій пробовідбирання ґрунту:

Ділянка №4 вул. Воєнна 2 Основ'янського району м Харків. Розташована поряд з автомобільною дорогою, на відстані 1м від 3 ділянки, у ґрунті наявні рештки асфальтно-цементного покриття, великі каміння, скло.

За проведення досліджень також використано розроблені методики діагностування, оцінювання та прогнозування якості ґрунтів (звіти з НДР за 2021-2023 рр. з виконання завдання 01.02.02.01.Ф.) [17,18,19].

Лабораторні дослідження проводили у атестованій лабораторії інструментальних методів досліджень та відділі охорони ґрунтів ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського".

У пробах ґрунту визначення вмісту рухомих форм важких металів, що є пріоритетними забруднювачами за мілітарних впливів, здійснено згідно з чинними нормативними документами ДСТУ 4770.1 - 9:2007 [14]. Використано метод атомно-абсорбційної спектрофотометрії та прилад САТУРН-4 (виробник Україна). Залучено два екстрагенти важких металів з ґрунту - буферна амонійно-ацетатна витяжка з рН 4,8 (екстрагує рухомі форми металів) і 1н HCL (екстрагує потенційно доступні форми металів з ґрунту).

Визначення вмісту важких металів у рослинних зразках проводили шляхом озолення рослин і подальшого екстрагування 10% HCl та використання методу атомно-абсорбційного спектрофотометрії.

Метод атомно-абсорбційної спектрофотометрії заснований на вилученні елементів із проби. Резонансному поглинанні (абсорбції) випромінювання від джерела вільними атомами певних елементів, які утворюються в процесі електротермічної атомізації у графітовій кюветі спектрофотометра при введенні екстрагенту, що аналізується.

Для вирішення поставленого завдання щодо поліпшення екологічного стану міських ґрунтів було проведено дослідження з

біологічної ремедіації окремих локальних ділянок забруднених міських ґрунтів.

Використано біопрепарати вітчизняного виробництва:

1. Мікопрепарат «Хетомік». Екологічно безпечний препарат біофунгіцид створено на основі гриба-антагоніста. Розробка Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, м. Чернігів.

2. Біопрепарат Граундфікс, ґрунтове мікробіологічне добриво для мобілізації фосфору та калію ґрунту і азотфіксації. Розробка BTU Biotech Company (виробник мікробних і ферментних препаратів для сільського господарства), м. Київ.

Дослідження з біопрепаратами здійснено у системі ґрунт-рослина проведенням досліду відповідно до розробленої схеми, що включала використання двох видів досліджуваних біопрепаратів та дві різні дози їх внесення у ґрунт на ділянках з встановленим мілітарним впливом (табл. 1).

Таблиця 1.

Схема проведення мікродосліду з біоремедіації міських ґрунтів, мл/м²

Варіанти досліду		Дози біопрепаратів, що внесено у ґрунт	Дози біопрепаратів, що використано на обробку тест-рослин
1	Контроль (без внесення біопрепаратів)	-	-
2	Хетомік	5	5
3		10	10
4	Граундфікс	1	1
5		2	2

Обрані дози біопрепаратів відповідають рекомендованим виробниками дозам їх внесення у ґрунт і для обробки рослин. Тест-рослини – газонні суміші трав'янистих рослин родини злакових (*Poaceae*), представників роду *Festuca L.*, як компоненту ландшафтних рішень в проєктуванні та створенні рослинних формацій в озелененні урбоекосистем.

Повторність варіантів досліду триразова, розміщення варіантів рендомізоване (випадкове).

Контроль та нормування вмісту важких металів у ґрунтах здійснюється відповідно до законодавчо встановлених нормативів екологічної якості ґрунтів [20]. Оцінювання вмісту рухомих форм важких металів у міських ґрунтах проведено за розрахованими параметрами їх фонового вмісту [21-22].

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ БІОРЕМЕДІАЦІЇ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ МІСТА ХАРКОВА ЗА МІЛІТАРНОГО ВПЛИВУ

На підставі результатів обстежень окремих ділянок в зонах мілітарного впливу на ґрунти м. Харкова виявлено хімічне забруднення ґрунтів важкими металами. Використанням атомно-абсорбційного методу аналізу зразків ґрунту встановлено кількісні рівні вмісту рухомих та потенційно доступних форм Cd і Pb, Cr і Cu у ґрунтах (табл. 3.1-3.4).

На визначених забруднених ділянках мілітарного впливу використано біопрепарати - мікопрепарат Хетомік, біодобриво і ґрунтополіпшувач Граундфікс шляхом безпосереднього їх внесення у ґрунт.

Застосування біопрепаратів здійснено з метою поліпшення екологічного стану складових урбосистем Харкова за мілітарно техногенних впливів.

Досліджувані біопрепарати використано у двох різних дозах згідно з розробленою схемою проведення мікропольового досліді. У якості контролю використано забруднений ґрунт за мілітарно-техногенних впливів.

Шляхом дослідженнями впливу застосованих біопрепаратів на вміст рухомих форм металів-токсикантів у забрудненому ґрунті визначено ефективність дії біопрепаратів на забруднених ґрунтах за мілітарного впливу.

Діагностування ефективності біоремедіації забруднених ґрунтів проведено використанням буферного амонійно-ацетатного екстрагенту з рН 4,8 для характеристики стану рухомих форм важких металів, що є доступними для рослин. Використано екстрагент 1 н HCL, що

характеризує кислоторозчинні потенційно рухомі форми металів-токсикантів ґрунту, тобто найближчий «резерв забруднювачів» ґрунту.

Застосований підхід використання двох екстрагентів важких металів з ґрунту сприяло більшій об'єктивності діагностики та оцінювання екологічного стану ґрунту за мілітарного впливу. Залучення двох екстрагентів забезпечило підвищенню ефективності встановлення особливостей біоремедіації забруднених Cd, Pb, Cr, Cu міських ґрунтів використанням біопрепаратів Граундфікс та Хетомік.

3.1 Дослідження впливу застосованих біопрепаратів на вміст рухомих форм металів-токсикантів у забрудненому ґрунті м. Харкова за використання буферного амонійно-ацетатного екстрагенту з рН 4,8

Результатами досліджень щодо рухомості сполук Cd у міському ґрунті за мілітарного впливу виявлено максимальне перевищення фонових рівнів вмісту металу-токсиканту у 6,7 разів з урахуванням фону $Cd_{ААБ}$ з рН_{4,8}- 0,05 мг/кг ґрунту (табл. 3.1).

Використанням двох доз біопрепарату Граундфікс виявлено ефективне зниження рівнів вмісту рухомих форм Cd у ґрунті – до 61 %, що відповідає зниженню рівнів забруднення ґрунту Cd з 0,33 мг/кг до 0,13 мг/кг ґрунту (табл. 3.1, рис.3.1).

Таблиця 3.1.

Вплив ґрунтополіпшувача Граундфікс та мікопрепарату Хетомік на рівні вмісту рухомих форм Cd у ґрунті

Варіанти дослідів	Вміст Cd, мг/кг ґрунту (екстрагент ААБ з рН 4,8)	Перевищення фонового рівня вмісту Cd, разів <i>Фон 0,05 мг/кг</i>	Зниження рівнів вмісту рухомих форм Cd у ґрунті, %
Котроль (мілітарний вплив)	0,33	6,70	-
Граундфікс 1 доза	0,21	4,20	37,00
Граундфікс 2 доза	0,13	2,60	61,00
Хетомік 1 доза	0,20	4,00	40,00
Хетомік 2 доза	0,06	1,10	84,00

Застосування мікопрепарату Хетомік у двох тестованих дозах забезпечило більш ефективне зниження рівнів вмісту рухомих форм Cd у ґрунті на 40,0% та 84% (рис. 3.1), що відповідає зниженню рівнів забруднення ґрунту з 0,33 мг/кг до 0,06 мг/кг ґрунту.

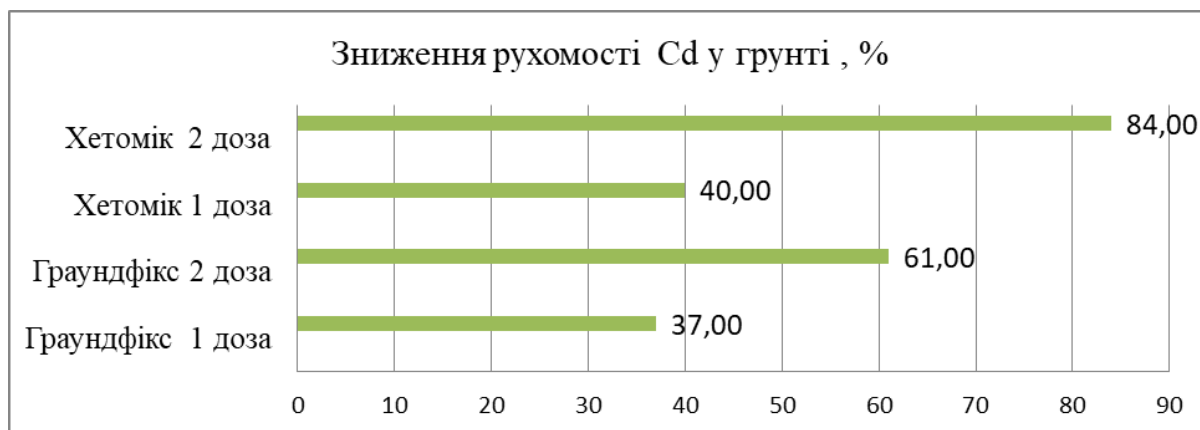


Рис. 3.1– Показники динаміки Cd у ґрунті, %

За мілітарно-техногенних впливів на міські ґрунти встановлено також перевищення фонового рівня вмісту Pb у ґрунті у 5,63 рази. Фон Pb ААБ з рН 4,8 - 0,5 мг/кг ґрунту (табл. 3.2).

Встановлено більшу ефективність дії ґрунтополіпшувача Граундфікс порівняно до дії біопрепарату Хетомік (рис. 3.2). Зокрема, використання біопрепарату Граундфікс у двох різних дозах на комплексно забруднених міських ґрунтах призвело до зниження рівнів вмісту рухомих форм Pb у ґрунті на 31% та на 56%.

Таблиця 3.2

-Вплив ґрунтополіпшувача Граундфікс та мікопрепарату Хетомік на рівні вмісту рухомих форм Pb у ґрунті

Варіанти дослідів	Вміст Pb, мг/кг ґрунту (екстрагент ААБ з рН 4,8)	Перевищення фоновому рівня вмісту Pb, разів <i>Фон 0,5 мг/кг</i>	Зниження рівнів вмісту рухомих форм Pb у ґрунті, %
Котроль (мілітарний вплив)	5,63	11,26	-
Граундфікс 1 доза	3,91	7,81	31,00
Граундфікс 2 доза	2,49	4,98	56,00
Хетомік 1 доза	4,50	9,01	20,00
Хетомік 2 доза	3,38	6,76	40,00

На забруднених Pb ґрунтах за мілітарно-техногенного впливу використання біопрепарату Хетомік забезпечило зниження рухомості металу-токсиканту у ґрунті на 20% і 40%. Вміст рухомих форм Pb у міському ґрунті зменшився з 5,63 мг/кг до 3,38 мг/кг ґрунту (табл. 3.2).

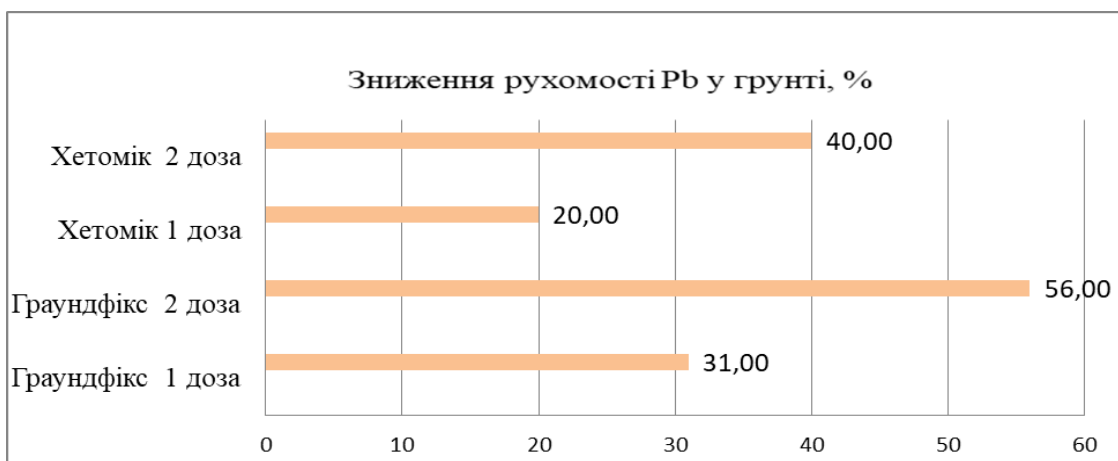


Рис. 3.2– Показники динаміки Рb у ґрунті, %

На базі проведених досліджень на міських ґрунтах зафіксовано максимальне перевищення фонового рівня вмісту Cr у ґрунті в 11 разів. Фон CrААБ з рН 4,8 - 0,1 мг/кг ґрунту (табл. 3.3).

Запропоновані до використання біопрепарати ефективно вплинули на зниження рівнів вмісту рухомих форм Cr у забрудненому ґрунті (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Вплив ґрунтополіпшувача Граундфікс та мікопрепарату Хетомік на рівні вмісту рухомих форм Cr у ґрунті

Варіанти дослідів	Вміст Cr, мг/кг ґрунту (екстрагент ААБ з рН 4,8)	Перевищення фонового рівня вмісту Cr, разів <i>Фон 0,1 мг/кг</i>	Зниження рівнів вмісту рухомих форм Cr у ґрунті, %
Котроль (мілітарний вплив)	1,105	11,05	-
Граундфікс 1 доза	0,56	5,60	49,00
Граундфікс 2 доза	0,32	3,20	71,00
Хетомік 1 доза	0,82	8,20	26,00
Хетомік 2 доза	0,665	6,65	40,00

Застосування біопрепарату Граундфікс у двох різних дозах сприяло зниженню рівнів вмісту рухомих форм Сг у ґрунті на 49% та на 71% (рис. 3.3), що свідчить про його більшу ефективність у порівнянні з мікопрепаратом Хетомік на забруднених Сг міських ґрунтах.

Досліджені дози внесення мікопрепарату Хетомік забезпечило зниження рівнів вмісту рухомих форм Сг у забрудненому ґрунті на 26% та 40 %.

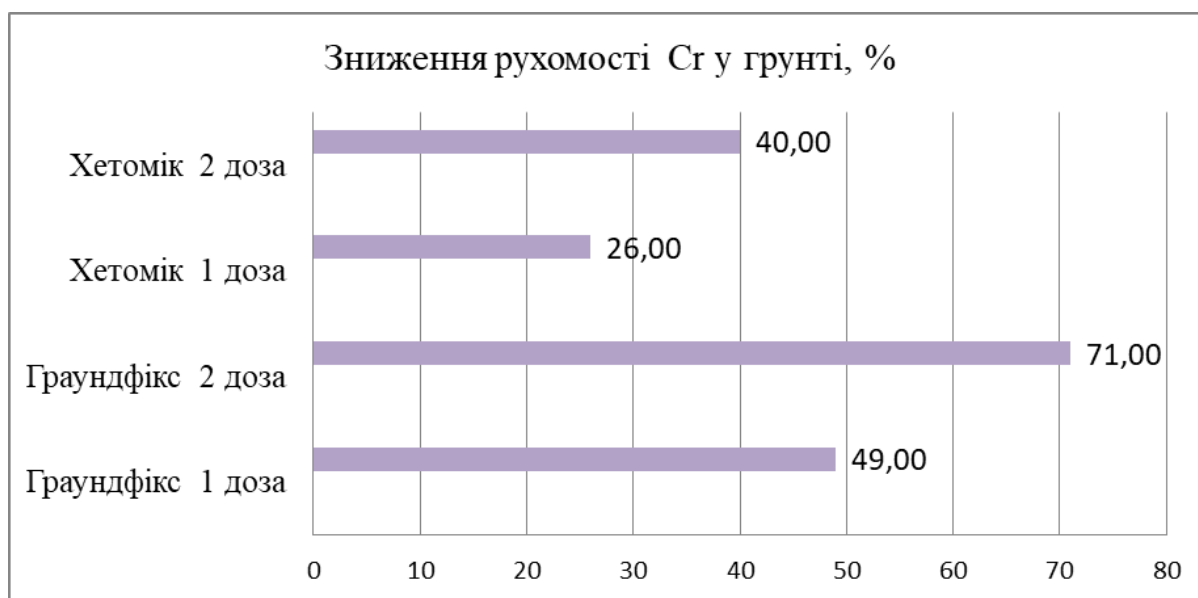


Рисунок 3.3 – Показники динаміки Сг у ґрунті, %

Встановлено, що максимальне перевищення фонового рівня вмісту рухомих форм Си у ґрунті за мілітарного впливу становило 14,9 рази. Фон Си_{ААБ з рН 4,8} - 0,1 мг/кг ґрунту (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Вплив ґрунтополіпшувача Граундфікс та мікопрепарату Хетомік на
рівні вмісту рухомих форм Cu у ґрунті

Варіанти дослідів	Вміст Cu, мг/кг ґрунту (екстрагент ААБ з рН 4,8)	Перевищення фоновому рівня вмісту Cu, разів <i>Фон 0,1 мг/кг</i>	Зниження рівнів вмісту рухомих форм Cu у ґрунті, %
Котроль (мілітарний вплив)	1,49	14,90	-
Граундфікс 1 доза	1,14	11,40	23,00
Граундфікс 2 доза	0,35	3,50	77,00
Хетомік 1 доза	0,665	6,65	55,00
Хетомік 1 доза	0,57	5,70	62,00

Зафіксовано, на основі проведених досліджень міських забруднених ґрунтів, що різні запропоновані дози ґрунтополіпшувача Граундфікс та мікопрепарату Хетомік забезпечили ефективний вплив на рівні вмісту рухомих форм Cu у ґрунті (табл. 3.4). Зокрема, встановлено зниження рівнів вмісту рухомих форм Cu у ґрунті на 23% та 77 % за внесення різних доз ґрунтополіпшувача Граундфікс (табл. 3.4; рис. 3.4).

Визначено, що застосування мікопрепарату Хетомік забезпечило зниження рівня вмісту рухомих форм Cu у ґрунті на 55% та на 662% згідно з внесено дозою препарату.

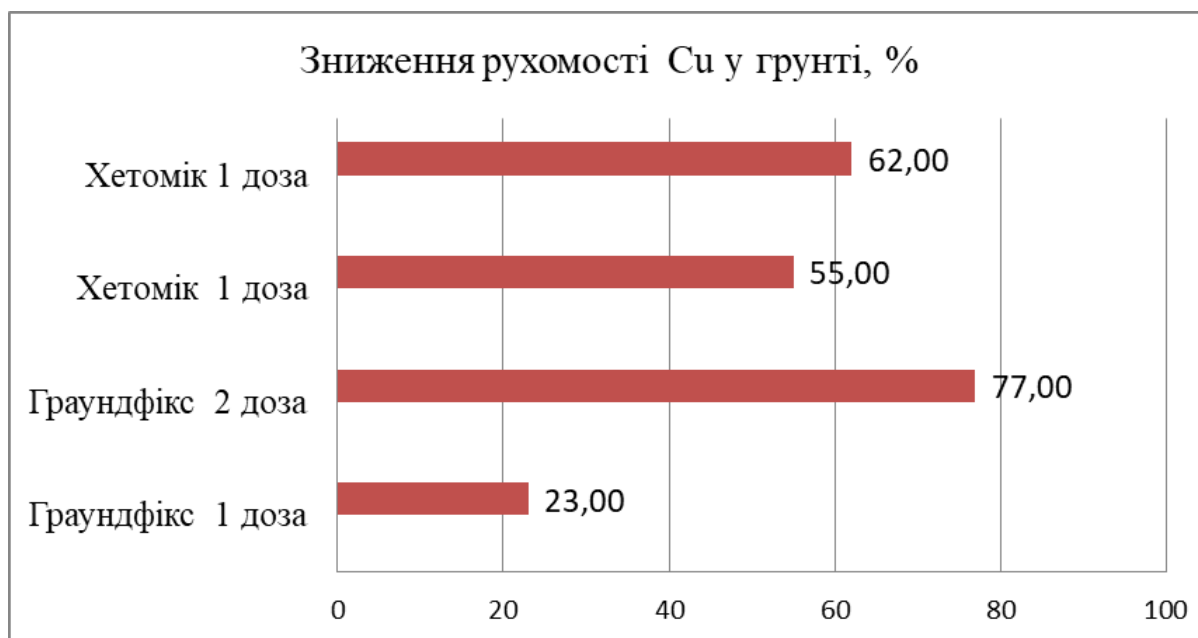


Рис. 3.4 – Показники динаміки Cu у ґрунті, %

Отже, результати досліджень щодо ефективності біоремедіації забруднених Cd, Pb, Cr та Cu ґрунтів за мілітарно-техногенних впливів підтверджують доцільність застосування запропонованих доз внесення біопрепаратів на міських ґрунтах у складі урбосистем м. Харкова.

3.2 Дослідження впливу застосованих біопрепаратів на вміст потенційно доступних форм металів-токсикантів у забрудненому ґрунті м. Харкова за використання екстрагенту 1н HCL

Отримано результати досліджень щодо вмісту потенційно доступних форм Cd у ґрунті за мілітарного впливу. Встановлено максимальне перевищення у 5,2 рази фонового рівня металу-токсиканту Cd у ґрунті. Фон Cd $_{1нHCL}$ - 0,5 мг/кг ґрунту (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Вплив ґрунтополіпшувача Граундфікс та мікопрепарату Хетомік на рівні вмісту потенційно доступних форм Cd у ґрунті

Варіанти дослідів	Вміст Cd, мг/кг ґрунту (екстрагент 1н HCL)	Перевищення фонового рівня вмісту Cd, разів <i>Фон 0,1 мг/кг</i>	Зниження рівнів потенційно доступних форм Cd у ґрунті, %
Котроль (мілітарний вплив)	0,52	5,20	-
Граундфікс 1 доза	0,34	3,40	35
Граундфікс 2 доза	0,19	1,90	63
Хетомік 1 доза	0,29	2,90	44
Хетомік 2 доза	0,23	2,35	55

Використання ґрунтополіпшувача Граундфікс ефективно вплинуло на потенційно доступні форми Cd міського ґрунту з встановленим зниженням їх вмісту від 35% до 63% в залежності від дози внесення ґрунтополіпшувача (рис. 3.5) та при перевищенні у 1,9-3,4 рази фонового рівня вмісту Cd у ґрунтах.



Рис. 3.5 – Показники динаміки Cd у ґрунті, %

Зафіксовано, що використання мікопрепарату Хетомік у двох різних дозах сприяло зниженню вмісту потенційно доступних форм Cd ґрунту до 44% та до 55% за перевищення у 2,3 – 2,9 рази фонового рівня вмісту металу-токсиканту у ґрунті.

Встановлено, що за мілітарного впливу максимальне перевищення фонового вмісту потенційно доступних форм Pb у обстежених міських ґрунтах складало 14,7 рази. Фон Pb_{1nHCL} – 2 мг/кг ґрунту (табл. 3.6).

Зафіксовано, що внесення у двох запропонованих дозах ґрунтополіпшувача Граундфікс забезпечило зниження вмісту потенційно доступних форм Pb у ґрунтах до 28% за встановленого перевищення рівнів вмісту металу у 10-12 разів.

Таблиця 3.6

Вплив ґрунтополіпшувача Граундфікс та мікопрепарату Хетомік на рівні вмісту потенційно доступних форм Pb у ґрунті

Варіанти дослідів	Вміст Pb, мг/кг ґрунту (екстрагент 1n HCL)	Перевищення фонового рівня вмісту Pb, разів <i>Фон 2 мг/кг</i>	Зниження рівнів потенційно доступних форм Pb у ґрунті, %
Котроль (мілітарний вплив)	29,45	14,73	-
Граундфікс 1 доза	23,82	11,91	19,00
Граундфікс 2 доза	21,27	10,64	28,00
Хетомік 1 доза	12,81	6,41	57,00
Хетомік 2 доза	17,89	8,95	39,00

Визначено, що внесення двох запропонованих доз мікопрепарату Хетомік позитивно вплинуло на зниження вмісту потенційно доступних форм Pb у міських ґрунтах обстежених ділянок мілітарного впливу (табл.3.6). Встановлено зниження вмісту металу-токсиканту у міських

грунтах з 29,45 мг/кг ґрунту до 12,8 мг/кг ґрунту. Такі рівні вмісту Pb у міських ґрунтах відповідають зниженню рівнів потенційно доступних форм металу-токсиканту від 39% до 57%. (рис. 3.6)

Визначено, що внесення двох запропонованих доз мікопрепарату Хетомік позитивно вплинуло на зниження вмісту потенційно доступних форм Pb у міських ґрунтах обстежених ділянок мілітарного впливу. Встановлено зниження вмісту металу-токсиканту у міських ґрунтах з 29,45 мг/кг ґрунту до 12,8 мг/кг ґрунту. Такі рівні вмісту Pb у міських ґрунтах відповідають зниженню рівнів потенційно доступних форм металу-токсиканту від 39% до 57% (табл. 3.6, рис. 3.6).

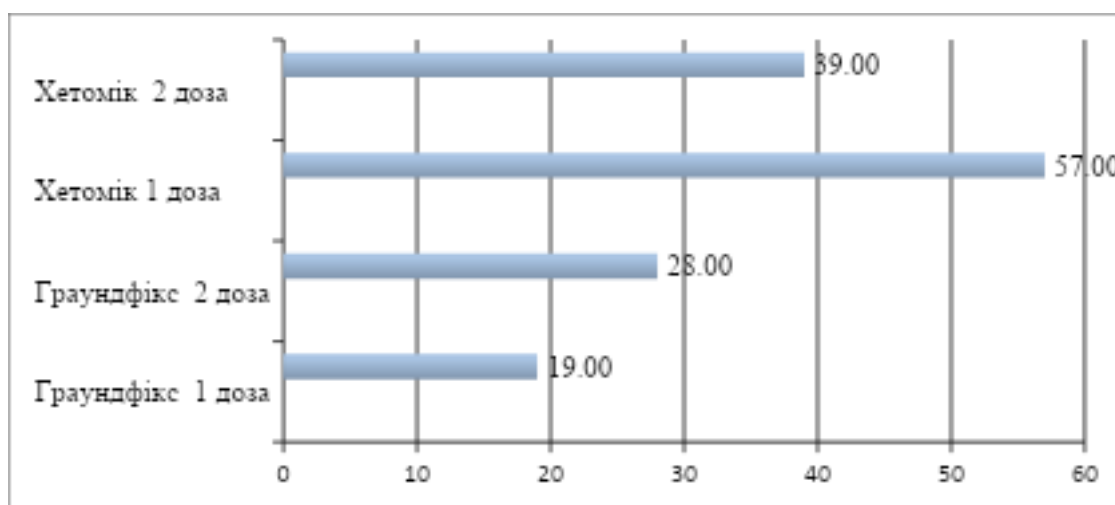


Рис. 3.6 – Показники динаміки Pb у ґрунті, %

На базі проведених досліджень встановлено максимальне перевищення фонового вмісту потенційно доступних форм Cr у ґрунті у 6,38 рази. Фон Cr_{1HCL} – 1 мг/кг ґрунту (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Вплив ґрунтополіпшувача Граундфікс та мікопрепарату Хетомік на вміст потенційно доступних форм Cr у ґрунті

Варіанти дослідів	Вміст Cr, мг/кг ґрунту (екстрагент 1н HCL)	Перевищення фонового рівня вмісту Cr, разів <i>Фон 1 мг/кг</i>	Зниження рівнів потенційно доступних форм Cr у ґрунті, %
Котроль (мілітарний вплив)	6,38	6,38	-
Граундфікс 1 доза	3,66	3,66	43,00
Граундфікс 2 доза	3,38	3,38	47,00
Хетомік 1 доза	5,75	5,75	10,00
Хетомік 2 доза	2,84	2,84	55,00

Визначено, що за перевищення фонового рівня вмісту Cr у 3,6 рази, використання біопрепарату Граундфікс у різних дозах забезпечило зниження до 47% рівнів вмісту потенційно доступних форм Cr у ґрунті (рис. 3.7).

За умов мілітарного впливу також встановлено позитивні ефекти застосування мікопрепарату Хетомік на рівні вмісту потенційно доступних форм Cr ґрунту. Виявлено, що застосування мікопрепарату Хетомік у двох різних дозах призвело до зниження вмісту потенційно рухомих форм Cr у ґрунті на 10% та 55% (рис.3.7).

Результатами наших досліджень визначено максимальне перевищення у 15,3 рази фонового вмісту потенційно доступних форм Cu у міських ґрунтах на досліджених ділянках за мілітарного впливу. Фон Cu_{1н HCL} – 1 мг/кг ґрунту (табл. 3.8).

Встановлено позитивні ефекти використання ґрунтополіпшувача Граундфікс, що сприяло поліпшенню екологічного стану досліджених

грунтів за зниження до 27% вмісту потенційно доступних форм Cu у ґрунті.

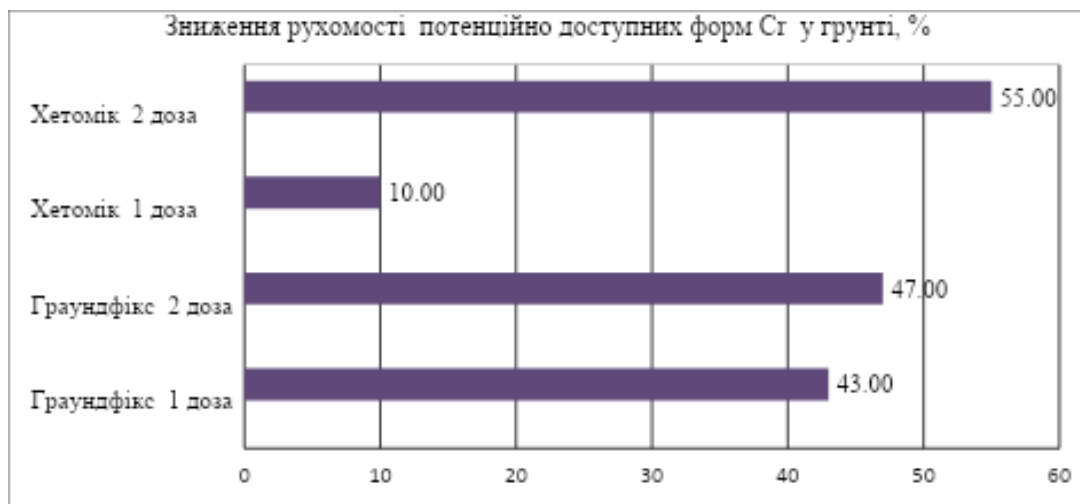


Рис.3.7 – Показники динаміки(зниження) Cu у ґрунті, %

Виявлено ремедіаційних ефект застосування мікопрепарату Хетомік за умов мілітарного впливу на забруднених Cu міських ґрунтах, що забезпечило зниження до 35 % вмісту потенційно рухомих форм Cu у ґрунтах (рис. 3.8).

Таблиця 3.8

Вплив ґрунтополіпшувача Граундфікс та мікопрепарату Хетомік на рівні вмісту потенційно доступних форм Cu у ґрунті

Варіанти дослідів	Вміст Cu, мг/кг ґрунту (екстрагент 1н HCL)	Перевищення фонового рівня вмісту Cu, разів <i>Фон 1,0 мг/кг</i>	Зниження рівнів вмісту потенційно рухомих форм Cu у ґрунті, %
Котроль (мілітарний вплив)	15,27	15,27	-
Граундфікс 1 доза	14,26	14,26	7,00
Граундфікс 2 доза	11,14	11,14	27,00
Хетомік 1 доза	9,9	9,9	35,00
Хетомік 2 доза	12,25	12,25	20,00

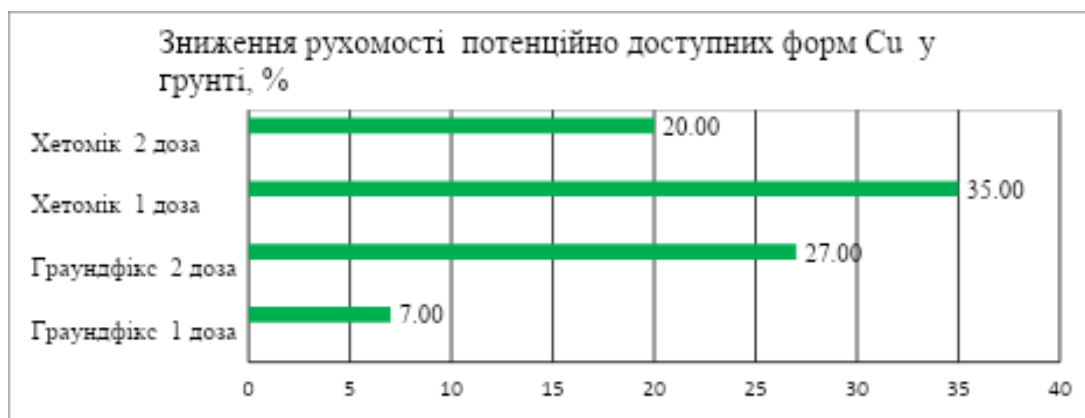


Рис. 3.8 – Показники динаміки(зниження) Cu у ґрунті, %

Таким чином, результатами досліджень особливостей використання біопрепаратів Хетомік та Граундфікс для біоремедіації за умов мілітарних впливів встановлено ремедіаційні властивості застосованих біопрепаратів на міських ґрунтах. Виявлено ремедіаційні ефекти біопрепаратів щодо зниження вмісту рухомих та потенційно доступних форм металів-токсикантів окремих забруднених ділянок Cd, Pb, Cr, Cu міських ґрунтів за мілітарних впливів на урбосистеми м. Харкова.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано сучасну наукову літературу за тематикою дослідження. Встановлено, що дослідження з біоремедіації забруднених міських ґрунтів є актуальними, так як забруднення ґрунтів є екологічною проблемою, зумовленою промисловою діяльністю, транспортом та скиданням відходів. На підставі результатів досліджень забруднених ґрунтів міст науковці рекомендують застосовувати різноманітні біопрепарати.

2. Проведено експериментальні дослідження впливу двох доз біопрепаратів Хетомік та Граундфікс на міські ґрунти за мілітарного впливу. Методом атомно- абсорбційним спектрофотометрії визначено вміст важких металів Cd, Pb, Cr, Cu у ґрунтах обстежених ділянок.

3. Результати досліджень особливостей використання біопрепаратів Хетомік та Граундфікс для біоремедіації міських забруднених ґрунтів за умов мілітарних впливів, показали наявність ремедіаційних властивостей застосованих біопрепаратів.

4. Виявлено ремедіаційні ефекти біопрепаратів, щодо зниження вмісту рухомих і потенційно доступних форм металів-токсикантів Cd, Pb, Cr, Cu окремих обстежених забруднених ділянок міських ґрунтів за мілітарних впливів на урбосистеми м. Харкова.

5. Використанням двох доз і біодобрива ґрунтополіпшувача Граундфікс зафіксовано ефективне зниження рівнів вмісту рухомих форм Cd у ґрунті – до 37 % і 61 %, вмісту рухомих форм Pb - на 31% та на 56%; рівнів вмісту рухомих форм Cr у ґрунті - на 49% та на 71%; рівнів вмісту рухомих форм Cu у ґрунті - на 23% та 77 %

6. Встановлено, що застосування біодобрива і ґрунтополіпшувача Граундфікс забезпечило ефективне зниження рівнів вмісту потенційно доступних форм металів-токсикантів міських ґрунтів. Зокрема, вміст потенційно доступних форм Cd у ґрунті зменшився на 35 %

і 63 % згідно з внесеними дозами біопрепарату, рівні вмісту Pb - на 19% та на 28%; рівнів вмісту Cr у ґрунті - на 43% і на 47%; рівнів вмісту рухомих форм Cu у ґрунті - на 7% та 27 % відповідно до тестованих доз ґрунтополіпшувача Граундфікс.

7. Визначено, що на варіантах застосування мікопрепарату Хетомік у двох тестованих дозах, зниження рівнів вмісту рухомих форм Cd у ґрунті на 40% та 84%; зниження рухомості металу-токсиканту Pb у ґрунті на 20% і 40%; зниження рівнів вмісту рухомих форм Cr у ґрунті на 26-40% та на 55% і на 62% зменшення вмісту рухомих форм Cu у ґрунті.

8. Виявлено, що застосування біопрепарату Хетомік у двох запропонованих дозах сприяло зменшенню вмісту потенційно доступних для рослин форм важких металів у міських ґрунтах. Зокрема, вміст Cd у ґрунті зменшився на 44% та 55%; Pb у ґрунті - на 39% і 57%; Cr у ґрунті - на 10- 55%; Cu у ґрунті - на 20% і на 35% згідно з використаних доз мікопрепарату.

9. Результати досліджень щодо ефективності біоремедіації обстежених ділянок забруднених Cd, Pb, Cr та Cu міських ґрунтів за мілітарного впливу підтверджують доцільність застосування запропонованих доз внесення біопрепаратів Хетомік та Граундфікс на хімічно забруднених ґрунтах у складі урбосистем м. Харкова

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білявська Л., Ютінська Г., Лобода М. та ін. Діагностика та біоремедіація ґрунтів, постраждалих внаслідок воєнних дій в Україні. *Екологічна безпека та охорона навколишнього середовища*. 2022. Т. 56, № 4. С. 78–92.
2. Біотехнологія України. Діагностика і біоремедіація ґрунтів, постраждалих внаслідок воєнних дій в Україні. *Біотехнологія України*. 2024. Т. 15, № 3. URL: <https://bioscience.com.ua/uk/journals/t-15-3-2024/diagnostika-i-bioremediatsiya-gruntiv-postrazhdalikh-vnaslidok-voyennikh-diy-v-ukrayini>
3. ДСТУ 4770.1-9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук Mn, Zn, Fe, Co, Cu, Cd, Cr, Pb, Ni в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. К.: Держспоживстандарт України, 2009. 117 с.
4. ДСТУ 7243:2011. Якість ґрунту. Землі техногенно забруднені. Обстеження і використання. К.: Держспоживстандарт України, 2012. 12 с.
5. ДСТУ ISO 10381-5:2009. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 5. Настанови з процедури дослідження міських і промислових ділянок щодо забрудненості ґрунту. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2011. 28 с.
6. ДСТУ ISO 11464:2007. Якість ґрунту. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу.
7. Головний сайт для агрономів. Як впливають бойові дії на мікроорганізми ґрунту, дослідили в Інституті ґрунтознавства. *Superagronom.com*. URL: <https://superagronom.com/news/20079-institut-gruntoznastva-proviv-doslidjennya-vplivu-boyovih-diy-na-gruntovu-biotu> (дата звернення: 07.05.2025).
8. Пат. 146472 U Україна, МПК B09C 1/10 (2006.01). Спосіб біоремедіації нафтозабруднених об'єктів / І.Ю. Аблєєва, Л.Д. Пляцук, І.О. Бережна, С.М.

Габбасова (Україна); заявник та патентовласник Сумський держ. ун-т. - № u202005565; заявл. 27.08.2020; опубл. 24.02.2021, бюл. № 8.

9. Про затвердження нормативів ГДК небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин: Постанова КМУ № 1325 від 15.12.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-%D0%BF> (дата звернення: 01.05.2024).

10. Самохвалова В., Фатєєв А., Лучникова Є. Еколого-геохімічна оцінка фонового рівня вмісту різних форм мікроелементів ґрунту. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2011. Випуск 55. С.125-133 ISSN 0206-5657 <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/biology/article/view/8882/8851>

11. Мікробні продукти можуть знизити вплив важких металів на рослини у разі забруднення ґрунтів. *SuperAgronom.com*. 2024. URL: <https://superagronom.com/news/16438-mikrobni-produkti-mojut-zniziti-vpliv-vajkih-metaliv-na-roslini-u-razi-zabrudnennya-gruntiv> (дата звернення: 01.05.2024).

12. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України. За ред. А.І. Фатєєва, Я.В. Пашенко. Харків: Друкарня №13, 2003. 117

13. Звіт про НДР "Розробити науково-методичне забезпечення діагностування якості хімічно забруднених ґрунтів" / ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського; кер. А. І. Фатєєв; викон.: В. Л. Самохвалова [та ін.]. Харків, 2021. 188 с.

14. Звіт про НДР "Розробити наукові засади оцінювання якості хімічно забруднених ґрунтів" / ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського; кер. В. Л. Самохвалова; викон.: Семенов Д. О. [та ін.]. Харків, 2022. 186 с.

15. Звіт про НДР "Розробити методичні основи прогнозування якості хімічно забруднених ґрунтів" / ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського; кер. В. Л. Самохвалова; викон.: Семенов Д. О. [та ін.]. Харків, 2023. 152 с

16. Johnson P., Lee M. Microbial agents for bioremediation of organic and inorganic contaminants in urban soils. *Bioremediation Journal*. 2020. Vol. 24, № 5. P. 333–342.
17. Kobayashi S., Nakamura T., Miyamoto T. Bioremediation of oil and dioxin-contaminated soils using *Pseudomonas* and *Shewanella* strains. *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 267. P. 110675.
18. Li Y., Zhang J. Review of bioremediation technologies in China: Microorganisms and strategies for soil cleanup. *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 255, № 1. P. 112–123.
19. Ше Ванцзян, Го Линхуей, Гао Цзянбо та ін. Потенціал комбінованих добавок для іммобілізації важких металів і зменшення ризиків у придорожніх ґрунтах Південного Тибету. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022. Т. 243. С. 113973. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2022.113973.
20. Stevenson D., Roberts R. Natural "cleaners": Using microorganisms for soil remediation in Los Angeles. *Environmental Science and Technology*. 2021. Vol. 45, № 7. P. 4105–4112.
21. Yamamoto K., Kobayashi H. Bioremediation of groundwater and soil contaminated by chlorinated solvents using bioaugmentation techniques. *Journal of Environmental Chemistry and Engineering*. 2022. Vol. 10, № 3. P. 1135–1142.
22. Zhang X., Liu L., Chen Y., Wang Z. Bioremediation of Pb-contaminated soils using microbial-induced calcite precipitation. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27, № 6. P. 6498–6507.