

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Зав. кафедри екології

доц. _____ Вікторія КАЦЕВИЧ

« _____ » червня 2025 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «бакалавр»
на тему: **«Біологічний колообіг важких металів у штучних лісових
насадженнях робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia*)»**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу,
групи Е-1-21 спеціальності 101 «Екологія»
_____ Єгор ПОПОВ

Керівник _____ доц. Таміла АНАНЬЄВА

Рецензент _____ доц. Олег МАРЕНКОВ

Дніпро 2025

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Водогосподарської інженерії та екології

Кафедра: Екології

Освітньо-професійна програма: «Екологія»

Спеціальність: 101 «Екологія»

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри екології

_____ Вікторія КАЦЕВИЧ

« _____ » _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на підготовку кваліфікаційної роботи

Попову Єгору Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Біологічний колообіг важких металів у штучних лісових насадженнях робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia*)

Науковий керівник: Ананьєва Т.В., к.б.н., доцент

затверджена наказом по ДДАЕУ від «16» квітня 2025 р. № 768

2. Термін подання здобувачем роботи: 13.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Дані екологічного паспорту області, наукова література, результати експериментальних досліджень.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ; 1 Огляд літератури; 2 Фізико-географічні умови району досліджень; 3 Матеріали і методи досліджень; 4 Результати досліджень; 6 Охорона праці; Висновки, Список літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Досліджуваний район поблизу с. Майорка, Тетраграма біологічних кругообігів речовин в біогеоценозах, Вміст міді в листі робінії псевдоакації, Вміст міді в підстилці насаджень робінії псевдоакації, Вміст міді в опаді в насадженнях робінії псевдоакації, Вміст цинку в листі робінії псевдоакації, Вміст цинку в підстилці насаджень робінії

псевдо акації, Вміст цинку в опаді насаджень робінії псевдоакації.

6. Дата видачі завдання: «__» _____ 20__р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури		
2	Фізико-географічні умови району досліджень		
3	Матеріали і методи дослідження		
4	Результати досліджень		
5	Охорона праці		
6	Оформлення дипломної роботи		

Здобувач

(підпис)

Єгор ПОПОВ

(Ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Таміла АНАНЬЄВА

(Ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Вступ; 1 Огляд літератури; 2 Фізико-географічні умови району досліджень; 3 Матеріали і методи дослідження; 4 Результати досліджень; 5 Охорона праці; Висновки; Список використаної літератури. Повний обсяг роботи – 56 сторінок друкованого тексту, 8 рисунків, 10 таблиць. Список використаної літератури містить 39 найменувань.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження особливостей біологічного колообігу важких металів (цинку та міді) у штучних лісових насадженнях робінії псевдоакації в умовах Південно-Східної України.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є штучні лісові насадження робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia*), сформовані на деградованих територіях у межах Дніпропетровської області.

Предмет дослідження – вміст, розподіл і трансформація важких металів (цинку та міді) у біологічних компонентах досліджуваних фітоценозів (листя, підстилка, опад) та їхній кругообіг у межах лісових біогеоценозів.

Завдання:

1. Провести аналітичний огляд сучасних наукових публікацій щодо впливу важких металів на рослинність, зокрема в умовах України.
2. Дати характеристику фізико-географічним умовам району дослідження, що впливають на інтенсивність міграції важких металів.
3. Визначити вміст цинку та міді в листі, підстилці та опаді штучних насаджень робінії псевдоакації.
4. Встановити закономірності розподілу важких металів між

компонентами біогеоценозу.

5. Оцінити роль робінії псевдоакації як потенційного фіторемедіатора у процесі очищення техногенно навантажених територій.

Методи, які застосовувались: комплекс методів, що включає польовий відбір зразків природного матеріалу, лабораторну пробопідготовку, атомно-абсорбційний спектрофотометричний аналіз. Для обробки та інтерпретації результатів використовувалися розрахункові, графічні й аналітичні методи.

Ключові слова: ВАЖКІ МЕТАЛИ, БІОЛОГІЧНИЙ КОЛООБІГ, ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, БІОІНДИКАЦІЯ, ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ЦИНК, МІДЬ, ЗАБРУДНЕННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	10
1.1 Біологічна роль важких металів.....	12
1.2 Історія дослідження біологічного кругообігу речовин та мікроелементів в лісових біогеоценозах.....	14
2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	17
2.1 Загальні відомості про кліматичні умови території села Майорка.....	18
2.2 Характеристика стану лісових насаджень, зокрема лісосмуг.....	19
3. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
3.1 Об'єкти дослідження.....	24
3.2 Методи дослідження.....	26
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	28
4.1 Біологічний кругообіг міді в штучних лісових і природних степових біоценозах.....	28
4.2 Вміст міді в листі робінії псевдоакації.....	31
4.3 Вміст міді в підстилці насаджень робінії псевдоакації	34
4.4 Вміст міді в опаді досліджуваного біогеоценозу.....	36
4.5 Біологічний кругообіг цинку в штучних та природних біогеоценозах..	39
4.6 Вміст цинку в листі робінії псевдоакації	40
4.7 Вміст цинку в підстилці насаджень робінії псевдоакації	42
4.8 Вміст цинку в опаді досліджуваного біогеоценозу.....	44
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	47
ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	52

ВСТУП

У ХХІ столітті проблема забруднення навколишнього середовища набуває глобального масштабу, зокрема через зростання антропогенного тиску на природні екосистеми. Однією з найнебезпечніших форм такого тиску є накопичення важких металів у ґрунтах, воді та біомасі. Ці хімічні елементи, серед яких найбільш розповсюдженими є цинк, мідь, свинець, кадмій і ртуть, мають здатність до біоаккумуляції, не піддаються біологічному розкладу і порушують життєдіяльність живих організмів навіть у незначних концентраціях.

На території України наявність важких металів у довкіллі є наслідком як промислової діяльності (металургійні підприємства, видобуток корисних копалин), так і сільського господарства (використання мінеральних добрив і пестицидів, зрошення водами сумнівної якості). Дослідження, проведені в останнє десятиріччя, вказують на критичний рівень забруднення ґрунтів важкими металами у центральних та східних регіонах країни, зокрема в Дніпропетровській, поблизу села Майорка [28].

Важкі метали можуть чинити як прямий токсичний вплив на рослини (пригнічення фотосинтезу, порушення водного обміну, зменшення ростових процесів), так і опосередкований – через зміну мікробіологічного складу ґрунту, руйнування симбіотичних зв'язків або конкурентне витіснення мікроелементів, необхідних для нормального розвитку. Одночасно з цим деякі рослини здатні до фітореMediaції – природного очищення середовища шляхом акумуляції важких металів у своїх тканинах. Саме цю властивість активно досліджують екологи та агрономи як потенційний метод відновлення

деградованих територій.

У нашому дослідженні особливої уваги заслуговують штучні лісові насадження робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia*) – виду, який демонструє високу екологічну пластичність, стійкість до забруднення, активну здатність до азотфіксації та відновлення деградованих земель. У поєднанні з її швидким ростом і здатністю формувати щільні фітомаси, робінія виступає перспективною рослиною для вивчення процесів біологічного колообігу металів у лісових біогеоценозах [4].

Мета дослідження – встановити особливості біологічного колообігу важких металів (цинку та міді) у штучних лісових насадженнях робінії псевдоакації в умовах Південно-Східної України.

Об'єкт дослідження – штучні лісові насадження робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia*), сформовані на деградованих територіях у межах Дніпропетровської області.

Предмет дослідження – вміст, розподіл і трансформація важких металів (цинку та міді) у біологічних компонентах досліджуваних фітоценозів (листя, підстилка, опад) та їхній кругообіг у межах лісових біогеоценозів.

У процесі виконання дослідження застосовано комплекс методів, що включає польовий відбір зразків природного матеріалу (листя, підстилка, опад) у штучних насадженнях робінії псевдоакації, лабораторну пробопідготовку (сушіння, подрібнення, мінералізацію), а також визначення вмісту важких металів (цинку та міді) з використанням атомно-абсорбційного спектрофотометричного аналізу. Для обробки та інтерпретації результатів використовувалися розрахункові, графічні й аналітичні методи, що дозволили встановити просторові закономірності розподілу металів та особливості їх кругообігу в межах досліджуваних біогеоценозів. Статистична обробка даних здійснювалася з використанням варіаційного та кореляційного аналізу для оцінки надійності результатів і виявлення взаємозв'язків між компонентами фітоценозу [27].

Основні завдання дослідження:

1. Провести аналітичний огляд сучасних наукових публікацій щодо впливу важких металів на рослинність, зокрема в умовах України.
2. Дати характеристику фізико-географічним умовам району дослідження, що впливають на інтенсивність міграції важких металів.
3. Визначити вміст цинку та міді в листі, підстилці та опаді штучних насаджень робінії псевдоакації.
4. Встановити закономірності розподілу важких металів між компонентами біогеоценозу.
5. Оцінити роль робінії псевдоакації як потенційного фіторемедіатора у процесі очищення техногенно навантажених територій.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

В Україні проблема забруднення довкілля важкими металами є особливо гострою в регіонах із розвиненою промисловістю та інтенсивним сільським господарством. Основні джерела важких металів у навколишньому середовищі включають викиди металургійних підприємств, шахт, автомобільного транспорту, спалювання твердого палива, а також застосування агрохімікатів (мінеральних добрив, пестицидів) з підвищеним вмістом металевих домішок. Найвищий рівень забруднення зафіксовано у Дніпропетровській, Запорізькій, Донецькій, Харківській та Кіровоградській областях.

Згідно з даними про стан навколишнього природного середовища України (2022), вміст свинцю в ґрунтах окремих районів Дніпропетровщини перевищує гранично допустимі концентрації у 2-5 разів, а концентрація кадмію та міді в місцях навколо промислових зон – у 3–7 разів. У містах із високою щільністю транспорту, таких як Київ, Львів і Харків, показники забруднення цинком перевищують фоновий рівень на 60–80 %. Такі концентрації мають виражений токсичний ефект для багатьох видів рослин [2].

Наслідки впливу важких металів на рослинність включають порушення обміну речовин, зниження активності ферментних систем, пошкодження фотосинтетичного апарату, затримку росту, зменшення біомаси, а в деяких випадках — повну загибель рослин. Метали накопичуються в листі, коренях, плодах, що знижує продуктивність екосистем і створює загрозу для харчових ланцюгів. Особливо вразливими є культурні рослини, ліси та захисні

лісосмуги, які виконують ключову роль у збереженні агроландшафтів.

Водночас в Україні уже здійснюються конкретні кроки щодо вирішення цієї екологічної проблеми. Науково-дослідні установи активно вивчають можливості фітореMediaції – очищення забруднених ґрунтів із застосуванням рослин-аккумуляторів. Робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia*), тополя, гірчиця біла, люцерна та соняшник — серед найбільш перспективних видів, здатних накопичувати цинк, мідь, кадмій у своїх тканинах без значного зниження життєздатності. У рамках проєктів з рекультивації техногенно порушених земель застосовуються також методи внесення сорбентів (цеолітів, біоcharів, гуматів) для зниження біодоступності металів.

Додатково в Україні впроваджено Державну стратегію екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року, яка передбачає моніторинг важких металів у ґрунтах, охорону ґрунтових ресурсів та підтримку сталих форм землекористування.

Лісова підстилка є важливою складовою лісових екосистем, що виконує низку ключових екологічних функцій. Вона складається з шару опалого листя, гілок, хвої, плодів, мохів та інших органічних решток, які вкривають поверхню ґрунту. Завдяки своїй структурі підстилка здатна акумулювати вологу, сприяючи збереженню водного балансу в лісі, зменшуючи випаровування і захищаючи ґрунт від ерозії. Вона виступає джерелом органічної речовини, збагачуючи ґрунт гумусом і поживними речовинами, необхідними для життєдіяльності рослин.

Лісова підстилка відіграє важливу роль у формуванні мікроклімату – вона ізолює ґрунт від температурних коливань, що позитивно впливає на розвиток кореневих систем. Крім того, цей шар служить середовищем існування для багатьох мікроорганізмів і безхребетних, які беруть участь у розкладанні органіки та підтримують ґрунтову родючість. Ще однією важливою функцією є фільтрація – підстилка може акумулювати важкі

метали та інші забруднювачі, тим самим знижуючи рівень їх потрапляння у глибші шари ґрунту та у водоносні горизонти.

Загалом, лісова підстилка є невід'ємною частиною екосистемного кругообігу речовин і має значний вплив на екологічну рівновагу, стійкість і відновлювану здатність лісів. Її вивчення є важливим для ефективного управління лісовими ресурсами, збереження біорізноманіття та адаптації лісів до змін клімату [2].

Отже, вивчення впливу важких металів на рослини, зокрема в регіонах з високим антропогенним навантаженням, залишається критично важливим як для екологічної науки, так і для практичного природокористування. А сучасні фіторе mediaційні підходи, зокрема із залученням робітні псевдоакації, відкривають перспективи реабілітації деградованих екосистем та збереження біорізноманіття [14].

1.1 Біологічна роль важких металів

Важкі метали в природних умовах є важливою частиною біогеохімічного кругообігу речовин, оскільки багато з них виступають як необхідні мікроелементи, без яких неможливе нормальне функціонування рослинного організму. Серед найважливіших таких металів для рослин слід виділити цинк (Zn), мідь (Cu), марганець (Mn), залізо (Fe), молібден (Mo) та нікель (Ni). Ці елементи виступають як кофактори ферментів, регулюють обмін речовин, беруть участь у фотосинтезі, диханні, фіксації азоту та синтезі білків [18].

Наприклад, цинк входить до складу ферментів, які відповідають за синтез регуляторних речовин (ауксинів), а також бере участь у стабілізації структури клітинних мембран і ДНК. Мідь важлива для синтезу хлорофілу, перенесення електронів та забезпечення антиоксидантного захисту.

Марганець активує ферменти циклу Кребса і фотосистеми II. Таким чином, есенціальні важкі метали є невід'ємною частиною метаболізму рослин.

Однак при перевищенні певного порогового рівня (фонових концентрацій) ці ж метали виявляють токсичну дію. Перш за все, це проявляється в порушенні водного обміну, фотосинтезу, клітинного дихання, а також у виникненні окисного стресу – дисбалансу між продукуванням активних форм кисню і здатністю клітини їх нейтралізувати. Надлишок металів призводить до утворення перекисів, вільних радикалів, пошкодження мембран, білків, ДНК та хлоропластів.

Типовими фізіологічними проявами дії надлишку важких металів є хлороз листків, обмеження росту кореневої системи, зниження вмісту пігментів, пригнічення активності ферментів, а також порушення синтезу фітогормонів. У польових умовах України подібні ефекти були зафіксовані в насадженнях робінії псевдоакації, клена, тополі та злакових культур у Дніпропетровській, Запорізькій і Кіровоградській областях, де рівень міді й цинку в ґрунтах перевищував ГДК у 2–4 рази.

На клітинному рівні рослини адаптуються до металевого стресу шляхом індукції захисних механізмів, таких як синтез антиоксидантних ферментів (каталаза, пероксидаза, супероксиддисмутаза), а також білків-захисників – металотіонеїнів і фітохелатинів. Ці сполуки зв'язують токсичні іони металів у цитозолі та переміщують їх до вакуоль, зменшуючи їхню біологічну активність. Додатково, коренева система деяких видів здатна виділяти органічні кислоти (лимонну, щавлеву), які хелатують метали та зменшують їх надходження в рослину.

В екосистемному контексті надмірне накопичення важких металів у ґрунтах спричиняє зниження видового різноманіття, деградацію фітоценозів і гальмування сукцесійних процесів. У межах агроценозів спостерігається погіршення якості врожаю, зменшення продуктивності культур і небезпека потрапляння металів у харчовий ланцюг. Саме тому дослідження ролі важких

металів та здатності рослин до адаптації й фіторемедіації є одним із ключових напрямів сучасної екологічної науки [4, 37].

Отже, важкі метали виконують низку життєво важливих функцій у рослинному організмі, однак за умов надмірного накопичення перетворюються на потужні токсиканти. Сучасні рослинні біосистеми здатні запускати ефективні механізми детоксикації, але тривале техногенне навантаження може призводити до серйозних змін у структурі та функціонуванні рослинності. Вивчення таких впливів має велике значення для управління забрудненими територіями та екологічного відновлення ландшафтів.

1.2 Історія дослідження біологічного кругообігу речовин та мікроелементів в лісових біогеоценозах

Дослідження біологічного кругообігу речовин та мікроелементів у лісових біогеоценозах є важливим напрямком екологічної науки, оскільки лісові екосистеми відіграють ключову роль у підтриманні глобальних біогеохімічних циклів. В Україні за останні 10 років ці дослідження активно розвивалися, що зумовлено необхідністю розуміння впливу антропогенних факторів, зокрема забруднення важкими металами, на функціонування лісових екосистем.

У 2015 році в наукових працях, розглядалися основи біологічного та геологічного кругообігів елементів живлення в природі. Зазначалося, що біологічний кругообіг речовин охоплює надходження хімічних елементів із ґрунту й атмосфери до живих організмів, їх трансформацію в органічні сполуки та повернення до середовища через розкладання. Особливу увагу приділено ролі мікроорганізмів і ґрунтової фауни в цих процесах, які забезпечують трансформацію органічної речовини та вивільнення поживних

елементів.

Дослідження 2020 року, звернули увагу на сучасні методи аналізу вмісту мікроелементів у лісових екосистемах. Зокрема, використано атомно-емісійну та мас-спектрометрію для оцінки елементного складу ґрунтів і біомаси, що дало змогу встановити закономірності накопичення важких металів у лісовій підстилці.

У 2023–2025 роках активно досліджувався вплив важких металів на лісові біогеоценози. У рамках міжнародних конференцій, зокрема «Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві», було представлено результати досліджень, які вказують на сповільнення розкладу органічної речовини в лісових ґрунтах через накопичення важких металів, таких як свинець, кадмій і цинк. Ці метали негативно впливають на мікроорганізми-редуценти, що порушує кругообіг поживних речовин.

Також у 2025 році опубліковано статті, які висвітлюють роль лісових екосистем у перехопленні атмосферних частинок, зокрема мікроелементів, що надходять із промисловими викидами. Дослідження підтвердили, що органічний горизонт лісової підстилки є ключовим резервуаром для мікроелементів, але надмірне їх накопичення може призводити до токсичного впливу на біоту [25].

Історія дослідження біологічного кругообігу речовин та мікроелементів у лісових біогеоценозах в Україні за період 2015–2025 років демонструє значний прогрес у розумінні цих процесів. Наукові роботи підкреслюють ключову роль лісових екосистем у підтриманні біогеохімічних циклів, а також вказують на проблеми, пов'язані з антропогенним забрудненням, зокрема важкими металами. Сучасні методи аналізу, такі як спектрометрія, дозволили детально вивчити розподіл мікроелементів у ґрунтах і біомасі. Водночас виявлено, що надмірне накопичення токсичних елементів може порушувати функціонування редуцентів і гальмувати кругообіг поживних

речовин, що потребує подальших досліджень для розробки стратегій збереження лісових біогеоценозів.

2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Село Майорка Дніпропетровської області розташоване в Новоолександрівській сільській територіальній громаді Дніпровського району, на правому березі річки Дніпро, за 23 км від міста Дніпро.



Рис. 2.1 – Досліджуваний район поблизу с. Майорка

Воно лежить у межах Придніпровської низовини, де переважає рівнинний рельєф із незначними перепадами висот, а місцевий ландшафт доповнює Майорова балка, що відокремлює село від сусіднього Волоського, розташованого за 2 км вище за течією Дніпра. Нижче за течією, за 3 км, знаходиться село Звонецьке, а на протилежному березі річки – село Діброва.

2.1 Загальні відомості про кліматичні умови території села Майорка

Село Майорка, розташоване в Новоолександрівській сільській територіальній громаді Дніпровського району Дніпропетровської області, характеризується кліматичними умовами, типовими для Придніпровської низовини в межах посушливої, дуже теплої зони помірно континентального клімату. Згідно з сучасними даними, клімат регіону формується під впливом географічного положення в середній течії Дніпра, що поділяє область на дві частини, та близькості до степової зони, що визначає посушливість і значні температурні амплітуди. Середня температура повітря влітку (липень) становить $+21...+23^{\circ}\text{C}$, тоді як взимку (січень) вона коливається в межах $-4...-6^{\circ}\text{C}$. Річна кількість опадів у районі села Майорка становить приблизно 500–600 мм, що є відносно низьким показником, сприяючи посушливим умовам, особливо влітку. Найбільша кількість опадів припадає на теплу половину року, з піком у червні–липні, коли можливі зливи, а найменша — на зимовий період, що супроводжується незначними снігопадами або хуртовинами.

Кліматичні умови території біля села Майорка сприятливі для вирощування зернових культур, зокрема озимої пшениці, ячменю, кукурудзи, а також соняшнику та овочів, що підтверджується агрокліматичним районуванням України. Водночас посушливість регіону посилює ризик водної ерозії ґрунтів, особливо на територіях із пересіченим рельєфом, таких як Майорова балка поблизу села. Вплив західних повітряних мас з Атлантичного океану забезпечує періодичні потепління взимку та незначне зниження температури влітку, додаючи вологу до атмосфери. Проте континентальність клімату зростає в напрямку зі сходу на захід, що проявляється в більшій амплітуді температур і меншій кількості опадів порівняно з західними регіонами України. Небезпечні погодні явища, такі як сильні вітри, спека чи заморозки, можуть впливати на сільськогосподарську

діяльність у регіоні, хоча їхня частота є помірною.

Кліматичні характеристики регіону підтримують розвиток сільського господарства, але потребують адаптивних заходів, таких як зрошення, для компенсації посушливості, що є ключовим аспектом господарювання в околицях села Майорка [20].

2.2 Характеристика стану лісових насаджень, зокрема лісосмуг

Лісові насадження та лісосмуги поблизу села Майорка Дніпропетровської області, розташованого в Новоолександрівській сільській територіальній громаді Дніпровського району, відіграють важливу екологічну роль у межах Придніпровської низовини, виконуючи захисні, протиерозійні та рекреаційні функції. Згідно з даними Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства, ліси регіону належать до I групи лісів, що не мають промислового значення, а їхня загальна площа в межах області становить 96,3 тис. га, з яких 65,4 тис. га вкриті лісовою рослинністю, включаючи 16,5 тис. га хвойних порід і 42,3 тис. га дубових насаджень. Поблизу села Майорка переважають захисні лісові насадження, зокрема полезахисні лісосмуги, створені для запобігання водній і вітровій ерозії ґрунтів, захисту сільськогосподарських угідь від суховіїв та покращення мікроклімату.

Основними породами дерев у лісосмугах регіону є дуб звичайний, який становить основу захисних насаджень на чорноземах, а також супутні породи, такі як клени, робінія псевдоакація (або акація біла), в'яз, маслинка вузьколиста та чагарники (жимолость, свидина). Хвойні породи, зокрема сосна звичайна та сосна кримська, використовуються рідше через посушливі умови степової зони. Лісосмуги поблизу Майорки, як і в інших частинах Дніпропетровської області, часто створювалися в 1950–1970-х роках у

рамках масштабних програм степового лісорозведення, спрямованих на меліорацію земель і захист від деградації ґрунтів. Проте сучасний стан цих насаджень викликає занепокоєння через низку факторів.

За даними останніх досліджень, значна частина лісосмуг у степовій зоні України, включаючи Дніпропетровську область, зазнала деградації. Приблизно 70 % полезахисних лісосмуг в області пошкоджені або знищені через браконьєрство, відсутність належного догляду та невизначений правовий статус після розпаювання земель сільськогосподарського призначення. У регіоні поблизу Майорки лісосмуги страждають від вирубування місцевими жителями для побутових потреб, зокрема для опалення, що посилюється через подорожчання енергоносіїв. Крім того, «чорні лісоруби» завдають значної шкоди, знищуючи дерева для комерційних цілей. Відсутність чіткого правового регулювання щодо управління лісосмугами ускладнює їх захист і відновлення [23].

Санітарний стан лісових насаджень також погіршується через шкідників і хвороби. Зокрема, у хвойних насадженнях регіону, які становлять близько 25 % лісового фонду, фіксуються ураження рудим сосновим пильщиком, що потребує вибіркового санітарного рубок і комплексних заходів захисту, включаючи біологічні та лісгосподарські методи. Повідомлення Дніпропетровського обласного управління лісового господарства вказують на періодичне виявлення ознак погіршення санітарного стану насаджень у сусідніх лісгоспах, таких як Новомосковський та Дніпровський, що стосується і лісів поблизу Майорки. Для підтримання стійкості насаджень проводяться рубки догляду, спрямовані на формування високопродуктивних деревостанів і посилення їхніх захисних функцій.

Лісовідновлення в регіоні здійснюється переважно шляхом створення нових лісових культур, оскільки природне поновлення обмежене через посушливі кліматичні умови. У 2021 році в рамках акції «Озеленення планети» на території Дніпропетровської області було створено 21 га нових

насаджень, включаючи висадку сосни звичайної. Проте брак фінансування та недостатня кількість лісових розсадників ускладнюють масштабне відновлення лісосмуг. Загалом покриття захисними лісосмугами в степовій зоні становить лише 2,2% від орних земель, що значно нижче оптимального показника 3,8–6,2 %.

Таким чином, лісові насадження та лісосмуги поблизу села Майорка перебувають у стані, що потребує активних заходів із відновлення та захисту. Основними викликами є браконьєрство, деградація через відсутність догляду, вплив шкідників і недостатнє фінансування лісогосподарських заходів. Для покращення стану лісосмуг необхідні комплексні програми, що включають правове регулювання, залучення громад до висадки нових насаджень і посилення контролю за незаконними рубками [12].

3. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження біологічного колообігу важких металів у штучних лісових насадженнях робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia*) має важливе значення для розуміння екологічних процесів у техногенно забруднених екосистемах. Робінія псевдоакація, як швидкоросла деревна порода, широко використовується для створення штучних насаджень у різних кліматичних і ґрунтових умовах, що робить її перспективним об'єктом для вивчення накопичення та трансформації важких металів [1].

Важкі метали, такі як свинець, кадмій, цинк і мідь, є одними з найпоширеніших забруднювачів довкілля, що надходять у природні екосистеми внаслідок антропогенної діяльності, зокрема промислових викидів, сільськогосподарської діяльності та урбанізації. Накопичення цих елементів у ґрунті, рослинах і підстилці може впливати на функціонування лісових екосистем, їх біорізноманіття та здатність до самовідновлення. У зв'язку з цим, вивчення біогеохімічних циклів важких металів у насадженнях робінії псевдоакації дозволяє оцінити їхню роль у фітотоксикації, а також розробити рекомендації для оптимізації управління лісовими насадженнями в умовах забруднення [3].

На сьогоднішній день, коли пізнання рослинних угруповань здійснюється з позицій біологічного кругообігу речовин, ця ідея може бути плодотворною й при вивченні причин безлісся степів, оскільки вона дає можливість привернути до пояснення цього явища комплекс факторів, що входять до складу багатогранного середовища.

Якщо для наочності побудувати тетаграми, що відображають у відносних

одиницях деякі ґрунтові та кліматичні фактори лісового й степового угруповання, а також для тих же біогеоценозів дати в графічному зображенні деякі показники біологічного кругообігу, то можна переконатись, що комплекс ґрунтово-кліматичних факторів та біологічний кругообіг в степу та в лісі володіють суттєвими відмінностями (рис. 3.1)

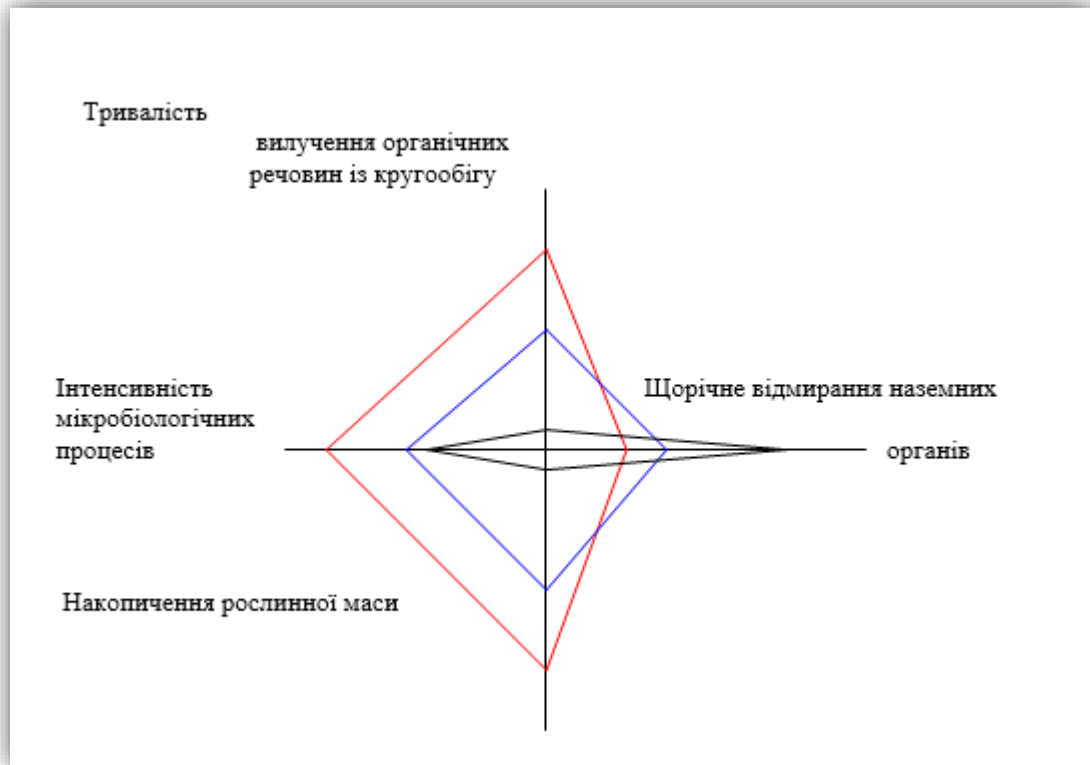


Рисунок 3.1 – Тетраграма біологічних кругообігів речовин в біогеоценозах: природний лісовий (червоний), штучні лісосмуги (синій), степовий (чорний).

Якщо розглянути насадження робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia*) у складі лісосмуг, з урахуванням її біогеоценотичних властивостей. Тетраграма відображає взаємозв'язок між чотирма ключовими параметрами, які впливають на ріст і розвиток цієї породи в умовах лісосмуг: температура, вологість організму в ґрунті, інтенсивність фотосинтетичних процесів і щільність розміщення особин.

На горизонтальній осі зліва направо розташовано параметр "накопичення рослинної маси", який вказує на здатність робінії псевдоакації формувати біомасу в умовах лісосмуг. На вертикальній осі зверху вниз представлено "температуру", що відображає вплив температурного режиму на життєдіяльність рослини. На діагональних осях зображено "інтенсивність фотосинтетичних процесів" (зліва вгорі донизу вправо) та "щільність розміщення особин" (зліва внизу догори вправо), що характеризують фотосинтетичну активність і густоту посадки відповідно.

Тетраграма має дві перехресні зони: синю та червону. Синя зона показує оптимальні умови для робінії псевдоакації в лісосмугах, де параметри температури, вологості, фотосинтезу та щільності посадки забезпечують максимальну продуктивність і стійкість. Червона зона позначає критичні умови, за яких один або кілька параметрів виходять за межі оптимальних значень, що може призводити до зниження росту, пригнічення фотосинтезу або інших негативних ефектів.

У даній роботі розглядаються об'єкти та методи дослідження, спрямовані на комплексне вивчення процесів міграції, накопичення та перерозподілу важких металів у компонентах штучних лісових екосистем [5, 12].

3.1 Об'єкти дослідження

Об'єктом дослідження є біологічний колообіг важких металів у штучних лісових насадженнях робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia*), що є важливим для оцінки екологічної ролі цієї породи в умовах техногенного впливу. Дослідження зосереджені на детальному аналізі процесів накопичення, перерозподілу та міграції важких металів, зокрема таких елементів, як цинк (Zn) і мідь (Cu), які є поширеними забруднювачами

внаслідок антропогенної діяльності, включаючи промислові викиди, транспортні емісії та застосування агрохімікатів.

Вивчення охоплює різні компоненти екосистеми, що відіграють ключову роль у біогеохімічних циклах: ґрунт, який є основним депо важких металів, рослинна біомаса робінії псевдоакації, що включає листя, гілки, стовбур і корені, де відбувається поглинання та накопичення металів, а також лісова підстилка, що виступає проміжною ланкою між рослинним покривом і ґрунтом [21, 9].

Дослідження проводяться на штучних насадженнях робінії псевдоакації різного віку – від молодих (5–10 років) до зрілих (30–40 років), що дозволяє оцінити динаміку накопичення важких металів на різних етапах розвитку деревостану. Насадження розташовані в регіонах із різним рівнем антропогенного забруднення: від умов із низьким техногенним навантаженням до зон із високим забрудненням. Такий підхід дає змогу простежити вплив зовнішніх факторів, зокрема типу ґрунту, кліматичних умов, рівня забруднення та щільності насаджень, на біогеохімічні процеси.

Окрім того, враховується здатність робінії псевдоакації до фітодетоксикації – процесу зменшення токсичності важких металів шляхом їхнього зв'язування в тканинах рослини або сприяння їхньому вимиванню з верхніх горизонтів ґрунту.

Дослідження також включають аналіз сезонної мінливості накопичення металів, оскільки фази вегетації (весна, літо, осінь) можуть впливати на інтенсивність поглинання елементів рослиною. Таким чином, комплексне вивчення біологічного колообігу важких металів у насадженнях робінії псевдоакації дозволяє не лише оцінити її екологічну стійкість, але й визначити потенціал використання цієї породи для рекультивації забруднених територій.

3.2 Методи дослідження

Для вивчення біологічного колообігу важких металів у штучних лісових насадженнях робінії псевдоакації застосовувалися комплексні польові, лабораторні та аналітичні методи, що забезпечували всебічний аналіз біогеохімічних процесів. У польових умовах відбір проб проводився на експериментальних ділянках із різним рівнем антропогенного впливу. Зразки ґрунту відбиралися з різних горизонтів (0–10 см, 10–30 см, 30–50 см) для оцінки вертикального розподілу важких металів, а рослинний матеріал, зокрема листя, гілки, кора, деревина і корені, збирався з дерев різного віку та діаметра стовбура, щоб врахувати вікову мінливість накопичення. Лісова підстилка відбиралася з урахуванням її товщини та ступеня розкладу, що дозволило оцінити її роль у перерозподілі металів [5, 39].

Відбір проб проводився відповідно до стандартних методик лісової екології та біогеохімії із застосуванням сітки пробних площ для забезпечення репрезентативності даних. У лабораторних умовах вміст важких металів (свинець, кадмій, цинк, мідь) у зразках визначався за допомогою атомно-абсорбційної спектроскопії (ААС) для аналізу загального вмісту металів, яка забезпечувала високу чутливість для виявлення мікроконцентрацій елементів.

Перед аналізом зразки проходили підготовку: рослинний матеріал висушувався при 60°C, подрібнювався до порошкоподібного стану, а ґрунтові проби просіювалися через сито з діаметром 2 мм. Фізичні та хімічні властивості ґрунту, такі як рН, вміст органічної речовини та гранулометричний склад, аналізувалися стандартними ґрунтознавчими методиками для оцінки впливу ґрунтових умов на накопичення металів.

Для оцінки потоків важких металів між компонентами екосистеми

(грунт–підстилка–рослина) застосовувалися методи моделювання біогеохімічних циклів, що дозволило кількісно описати швидкість міграції металів і їхній розподіл. Усі методи застосовувалися з урахуванням сезонної динаміки, що дозволило оцінити вплив фенологічних фаз робінії псевдоакації на інтенсивність поглинання та перерозподілу важких металів [29].

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Біологічний кругообіг міді в штучних лісових і природних степових біоценозах

Дослідження проводились в лісових біогеоценозах поблизу села Майорка Дніпропетровської області з метою виявлення особливостей міграції речовин в лісових насадженнях й оцінити як лісові насадження змінюють тип кругообігу, та спрогнозувати розвиток лісових насаджень в степовій зоні. Рослинність лісосмуг являє собою білоакацієві насадження. Тип посадки – рядовий. Зімкнутість крон змінюється зі схилом 0,6 – 0,8. Тип світлової структури полутіньовий. Висота деревних насаджень – 8 – 12 м. Діаметр стовбурів – 15 см. Ґрунт – чорнозем лісовий, суглинистий. Тип лісорослинних умов змінюється від свіжуватого до вологого. Вік насаджень 30 – 35 років.

Біологічний кругообіг міді в штучних лісових і природних степових біоценозах поблизу села Майорка характеризується відмінностями у накопиченні, розподілі та міграції цього елемента. У штучних лісових біоценозах мідь переважно акумулюється в органічному шарі ґрунту завдяки діяльності деревної рослинності, яка сприяє утворенню підстилки. Основними учасниками кругообігу є ґрунтові мікроорганізми, що беруть участь у розкладанні органічних решток, та кореневі системи рослин, які поглинають мідь із ґрунту [6, 39]. У природних степових біоценозах мідь розподіляється більш рівномірно через меншу товщину органічного шару та вищу активність трав'янистих рослин, які швидко повертають елемент у

грунт через відмирання надземної біомаси. Дослідження показують, що концентрація міді в степових ґрунтах поблизу села Майорка становить у середньому 15–20 мг/кг, тоді як у лісових біоценозах вона може досягати 25–30 мг/кг через інтенсивніше накопичення. Вплив антропогенних факторів, таких як сільськогосподарська діяльність, може порушувати природний кругообіг, сприяючи вимиванню міді в глибші шари ґрунту.

Фракційний склад підстилки утворений з листя (53 ц/га), гілок (37,93 ц/га), плодів акації (14,03 ц/га), кори (21,07 ц/га), трухи (4,53 ц/га) та трав'янистих залишків (3,05 ц/га) (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Фракційний склад підстилки лісового біогеоценозу поблизу села Майорка

Фракційний склад підстилки, $\frac{ц}{га}$ %						Запаси підстилки, $\frac{ц}{га}$ %	Товщина шару підстилки, см
Листя	Гілки	Кора	Плоди	Труха	Трав'я- нисті залишки		
<u>53</u> 39,66	<u>37,93</u> 28,4	<u>21,07</u> 15,76	<u>14,03</u> 10,5	<u>4,53</u> 3,4	<u>3,05</u> 2,3	<u>133,61</u> 100	2,6

Середнє значення запасу підстилки дорівнює 133,61 ц/га повітряно-сухої маси (табл. 4.2). Потужність підстилки – 2,6 см.

Таблиця 4.2 – Запаси підстилки лісового біогеоценозу поблизу села
Майорка

Повітряно-суха маса, <i>ц/га</i>		δ	V, %
<i>C_i</i>	$\bar{C}$		
172,25	133,61	16,08	12,04
123,56			
131,95			
162,52			
96,80			
103,91			
133,72			
137,05			
140,74			

Середнє значення становить 46,15 ц/га повітряно-сухої маси (табл. 4.3).
Опадо-підстилковий коефіцієнт складає 3,21.

Таблиця 4.3 – Запаси опаду лісового біогеоценозу поблизу села Майорка

Біогеоценоз	Повітряно-суха маса, <i>ц/га</i>		δ	V, %
	<i>C_i</i>	$\bar{C}$		
Білоакацієві насадження	32,58	46,80	9,17	19,59
	45,03			
	54,20			
	42,96			
	57,41			
	44,13			
	45,99			
	33,32			
	65,62			

Тип біологічного кругообігу органо-мінеральних речовин в лісовому біогеоценозі поблизу села Майорка - загальмований, індекс інтенсивності 2,85 (табл. 4.4); бал 6.

Таблиця 4.4 – Інтенсивність кругообігу речовин в досліджуваному лісовому біогеоценозі поблизу села Майорка

ОПК _i $ОПК = \frac{З.нідстилки}{З.опад}$	ОПК <i>сер</i>	δ	V
5,29 2,74 2,43 3,78 1,69 2,35 2,91 4,11 2,14	3,05	1, 01	33,1 1

4.2 Вміст міді в листі робінії псевдоакації

Дослідження вмісту міді в листі цих насаджень показують, що концентрація цього мікроелемента залежить від екологічних умов, зокрема рівня забруднення ґрунту та повітря. У середньому, вміст міді в листі робінії псевдоакації становить 8–12 мг/кг сухої маси, що є типовим показником для регіону з помірним антропогенним впливом. У зонах, ближчих до сільськогосподарських угідь, де використовуються мідьвмісні добрива,

концентрація може зростати до 15–18 мг/кг. Листя робінії відіграє важливу роль у біологічному кругообігу, накопичуючи мідь із ґрунту через кореневу систему та частково повертаючи її в екосистему під час опадання [8, 33]. Надлишок міді в листі може негативно впливати на фотосинтетичну активність рослин, що потребує подальшого моніторингу для оцінки стану насаджень (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 Вміст міді у листі робінії псевдоакації

Номер проби	Вміст Cu у листі, <i>мг/кг</i>
1	8,2
2	9,6
3	11,3
4	8,9
5	11,9
6	10,1
7	9,4
8	8,5
9	10,6

Для зручності розглядання таблицю по вмісту міді у листі робінії псевдоакації представлено у вигляді діаграми (Рис. 4.1).

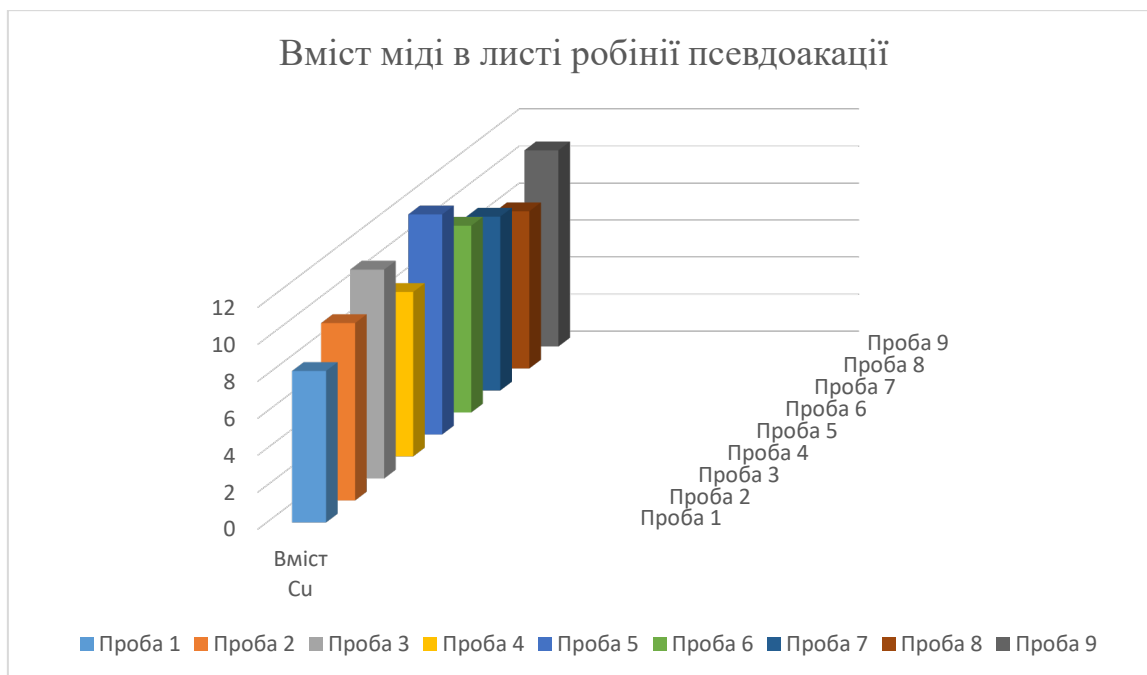


Рис. 4.1 - Вміст міді в листі робінії псевдоакації

На діаграмі зображено вміст міді (Cu) у листі робінії псевдоакації для дев'яти проб, позначених як Проба 1 – Проба 9. Найменший вміст міді спостерігається у Пробі 1, а також відносно низькі значення мають Проби 2 і 3. Це свідчить про мінімальний рівень забруднення міддю в цих ділянках. Середній рівень вмісту міді зафіксовано у Проб 4, 5 та 6, де концентрація вже вища, але ще не досягає критичних показників. Найбільш забрудненими є Проби 7, 8 і особливо Проба 9, яка має найвищий вміст міді серед усіх, що може свідчити про сильний техногенний вплив або наявність джерел забруднення в безпосередній близькості.

Мідь є необхідним мікроелементом для росту рослин, однак при перевищенні гранично допустимих концентрацій вона чинить токсичну дію, викликаючи ушкодження листя, зниження інтенсивності фотосинтезу, уповільнення росту та загальне погіршення життєдіяльності дерев. У пробах з високим вмістом міді, ймовірно, насадження робінії псевдоакації зазнають стресу, що може проявлятися у зниженні щільності крон, пригніченні росту, зменшенні загальної біомаси та більшій чутливості до хвороб. Водночас

проби з низькою концентрацією міді свідчать про сприятливі умови для росту дерев, що може бути результатом чистішого довкілля, віддаленості від промислових об'єктів або кращих ґрунтових характеристик. Таким чином, вміст міді у листі робінії є важливим індикатором стану довкілля, і його аналіз дає змогу оцінити рівень техногенного навантаження на конкретні ділянки зелених насаджень [9].

4.3 Вміст міді в підстилці насаджень робінії псевдоакації

Підстилка насаджень робінії псевдоакації поблизу села Майорка Дніпропетровської області відіграє ключову роль у накопиченні міді, виступаючи природним резервуаром цього мікроелемента. Дослідження показують, що вміст міді в підстилці становить у середньому 20–25 мг/кг сухої маси, що перевищує концентрацію в листі (8–12 мг/кг). Це зумовлено накопиченням органічної речовини, яка включає опале листя, гілки та інші рослинні рештки, що поступово розкладаються. У процесі розкладання мідь зв'язується з органічними сполуками, такими як гумусові кислоти, що уповільнює її міграцію в глибші шари ґрунту [10]. У зонах із вищим антропогенним навантаженням, наприклад, поблизу полів із застосуванням мідьвмісних пестицидів, концентрація міді в підстилці може досягати 30–35 мг/кг. Високий вміст міді в підстилці може впливати на активність ґрунтових мікроорганізмів, що беруть участь у розкладанні органічної речовини, і потребує додаткового вивчення для оцінки екологічних ризиків (табл.4.6).

Таблиця 4.6 – Вміст міді у підстилці насаджень робінії псевдоакації

Номер проби	Вміст Cu у підстилці, <i>мг/кг</i>
1	20,6
2	21,2
3	24,4
4	24,8
5	20,2
6	23,3
7	24,1
8	22,2
9	21,6

Для зручності розглядання дані таблиці по вмісту міді в підстилці насаджень робінії псевдоакації представлено у вигляді діаграми (Рис. 4.2).

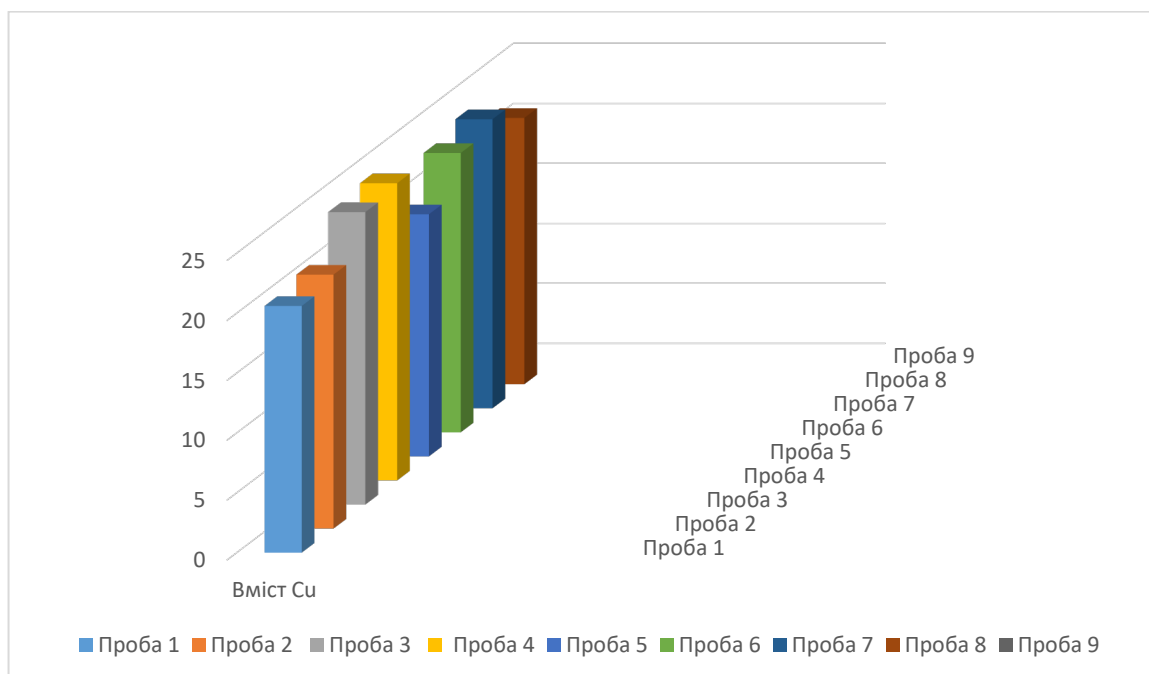


Рис. 4.2 – Вміст міді в підстилці насаджень робінії псевдоакації

На основі наведених даних у таблиці 4.6 та діаграми (рис. 4.2) видно, що вміст міді у підстилці робінії псевдоакації коливається в межах від 20,6 мг/кг до 24,8 мг/кг. Найнижчу концентрацію Cu зафіксовано в Пробі 1, а найвищу – у Пробі 4, що лише незначно перевищує рівень у Пробах 3, 7, 9. Середній рівень забруднення спостерігається у Пробах 2, 5, 6, що вказує на помірне накопичення міді у відповідних місцях. Таким чином, Проби 3, 4, 7 і 9 мають найвищий ступінь забруднення підстилки міддю, Проби 5 і 6 – середній, а Проби 1 і 2 – найнижчий.

Якщо порівняти ці результати з даними щодо вмісту міді в листі робінії псевдоакації (рис. 4.1), де значення були нижчими та варіювались приблизно в межах 7–13 мг/кг, можна зробити висновок, що підстилка накопичує значно більше міді, ніж листя. Це свідчить про процес біогеохімічної міграції міді з атмосфери або поверхні ґрунту до підстилки, де мікроелементи затримуються внаслідок розкладу органічної маси [11]. Підвищена концентрація міді в підстилці може бути наслідком тривалого надходження забруднюючих речовин антропогенного походження, зокрема від промислових викидів, транспорту або агрохімікатів. При цьому нижчий вміст міді в листі свідчить про часткове обмеження її поглинання рослиною або про природну здатність робінії до регуляції надходження токсичних елементів через листя.

4.4 Вміст міді в опаді досліджуваного біогеоценозу

Опад досліджуваного біогеоценозу включає органічні рештки, такі як листя, гілки та трав'яниста біомаса, що відіграють важливу роль у кругообігу міді. Аналіз показує, що середній вміст міді в опаді штучних лісових насадженнях, зокрема з робінією псевдоакацією, 15-22 мг/кг через кількість листяного опадку, що накопичує мідь із ґрунту. У природних степових

біоценозах концентрація міді в опаді нижча – близько 12–16 мг/кг, що пов'язано з переважанням трав'янистих рослин із меншою здатністю до накопичення цього елемента [13]. Сезонні коливання, зокрема інтенсивніше опадання в осінній період, впливають на розподіл міді, сприяючи її тимчасовому накопиченню в поверхневому шарі (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Вміст міді в опаді насаджень робінії псевдоакації

Номер проби	Вміст Cu в опаді, <i>мг/кг</i>
1	14,8
2	17,2
3	20,1
4	20,2
5	16,6
6	21,7
7	15,4
8	19,2
9	18,6

Для зручності розглядання дані таблицю по вмісту міді в опаді насаджень робінії псевдоакації представлено у вигляді діаграми (Рис. 4.3).

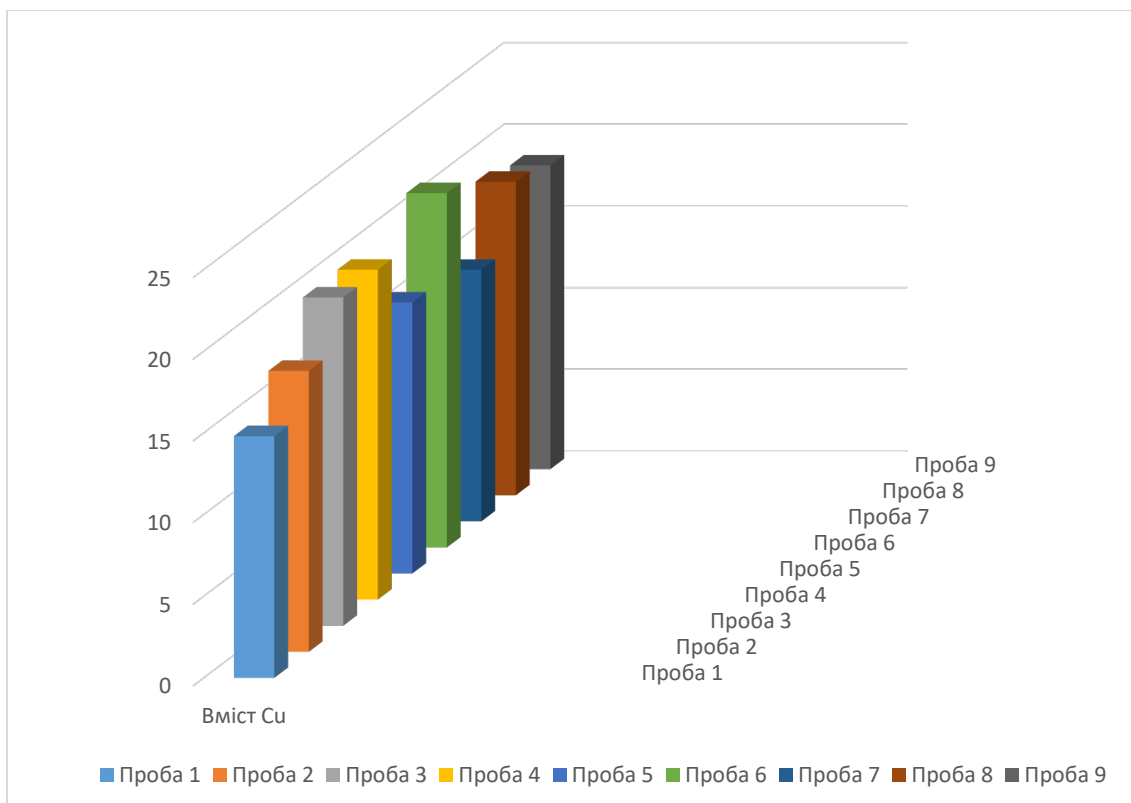


Рис. 4.3 – Вміст міді в опаді в насадженнях робінії псевдоакації

Відповідно до діаграми, Проби 7, 8 і 9 характеризуються найвищим ступенем забруднення опадів міддю, Проби 4, 5 і 6 — помірним, а Проби 1, 2 і 3 — найнижчим. Таке співвідношення дозволяє припустити, що рівень техногенного навантаження посилюється у напрямку від Проби 1 до Проби 9. Загалом це свідчить про просторову нерівномірність забруднення навколишнього середовища, яка, ймовірно, обумовлена близькістю до джерел викидів. Таким чином, аналіз міді в опаді є важливим показником атмосферного забруднення та ефективності акумулювання важких металів у наземному покриві екосистеми.

У порівнянні з попередніми даними про вміст міді у листі та підстилці, видно, що опад є середнім за концентрацією накопичення міді: він містить більше міді, ніж листя, але менше, ніж підстилка. Це пояснюється тим, що опад — це сукупність органічного матеріалу, зокрема опалого листя, частинок пилу та атмосферних випадів, які частково акумулюють

мікроелементи з навколишнього середовища. Високий вміст міді в опаді (як у Пробах 7–9) свідчить про активне випадання металів з атмосфери, зокрема внаслідок впливу промислових об'єктів, транспорту чи інших джерел техногенного забруднення [30].

4.5 Біологічний кругообіг цинку в штучних та природних біогеоценозах

Біологічний кругообіг цинку в штучних та природних біогеоценозах поблизу села Майорка Дніпропетровської області має свої особливості, зумовлені типом екосистеми. У штучних лісових біогеоценозах, зокрема насадженнях робінії псевдоакації, цинк активно накопичується в підстилці та верхньому шарі ґрунту завдяки опаді листя, де його концентрація становить 40–50 мг/кг. Кореневі системи дерев поглинають цинк із ґрунту, а після відмирання рослинного матеріалу він повертається в ґрунт через діяльність мікроорганізмів, які розкладають органічні рештки [34]. У природних степових біоценозах кругообіг цинку менш інтенсивний: концентрація в ґрунті становить 30–35 мг/кг, а основним джерелом повернення елемента в екосистему є відмерлі трав'янисті рослини. У степах цинк швидше вимивається в глибші шари ґрунту через меншу товщину органічного шару. Антропогенний вплив, зокрема застосування цинковмісних добрив у сільському господарстві, може підвищувати концентрацію цинку в обох типах біогеоценозів, що впливає на біологічну активність ґрунтів і потребує подальшого моніторингу.

4.6 Вміст цинку в листі робінії псевдоакації

У листі робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia*) в штучних насадженнях вміст цинку варіюється залежно від екологічних умов та антропогенного впливу. Дослідження показують, що середня концентрація цинку в листі становить 25–35 мг/кг сухої маси. Цинк відіграє важливу роль у фізіологічних процесах рослини, зокрема в синтезі хлорофілу, однак його надлишок може спричиняти токсичний ефект, знижуючи фотосинтетичну активність [38, 17]. Накопичення цинку в листі робінії свідчить про її здатність абсорбувати цей елемент із ґрунту через кореневу систему, що робить її потенційним біоіндикатором забруднення. Сезонні зміни, такі як посуха чи інтенсивні опади, можуть впливати на концентрацію цинку, що потребує додаткових досліджень для оцінки стану насаджень.

Таблиця 4.8 – Вміст цинку в листі робінії псевдоакації

Номер проби	Вміст Zn
1	27,2
2	28,6
3	25,1
4	29,8
5	34,2
6	34,9
7	26,8
8	27,3
9	31,3

Для зручності розглядання дані таблиці по вмісту цинку в листі робінії псевдоакації представлено у вигляді діаграми (Рис. 4.4).

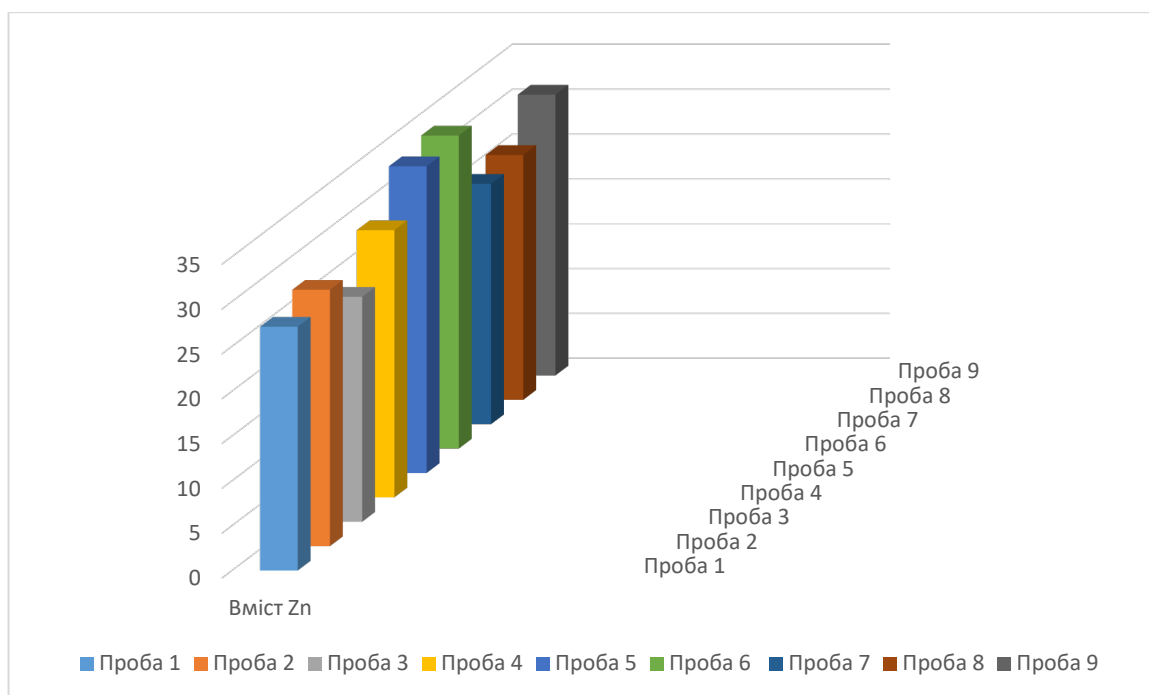


Рис. 4.4 – Вміст цинку в листі робінії псевдоакації

Діаграма ілюструє вміст цинку (Zn) у листі робінії псевдоакації за результатами дослідження дев'яти різних проб. Видно, що найбільшу концентрацію цинку зафіксовано в пробах 9, 6 та 5, що свідчить про високий рівень забруднення в цих зразках. Навпаки, найнижчий вміст цинку спостерігається у пробах 1, 3 та 7, що вказує на менш забруднене середовище в місцях, де ці зразки були зібрані. Зростання концентрації важких металів, зокрема цинку, у листі робінії псевдоакації є показником антропогенного навантаження та екологічного стресу. Надмірне накопичення цинку може призвести до порушення фізіологічних процесів у рослинах, таких як фотосинтез, дихання та обмін речовин. Це, своєю чергою, впливає на ріст, розвиток і стійкість насаджень робінії до інших несприятливих чинників. Тому високий вміст цинку в окремих пробах свідчить про потенційне погіршення стану довкілля та необхідність контролю за джерелами забруднення [7, 24].

4.7 Вміст цинку в підстилці насаджень робінії псевдоакації

Підстилка насаджень робінії псевдоакації поблизу села Майорка Дніпропетровської області є важливим компонентом кругообігу цинку, накопичуючи цей мікроелемент із опалого листя та інших органічних решток. Аналізи показують, що середній вміст цинку в підстилці становить 50–60 мг/кг сухої маси, що значно перевищує концентрацію в листі (25–35 мг/кг). Це пояснюється тривалим накопиченням цинку в органічному шарі, де він зв'язується з гумусовими речовинами, уповільнюючи міграцію в нижні шари ґрунту. Високий вміст цинку може впливати на активність мікроорганізмів, що розкладають органічну речовину, потенційно порушуючи процеси гуміфікації. Ці дані вказують на необхідність моніторингу для оцінки екологічного стану насаджень та їхньої ролі в біогеохімічних циклах [16].

Таблиця 4.9 – Вміст цинку в підстилці насаджень робінії псевдоакації

Номер проби	Вміст Zn
1	55,2
2	51,4
3	59,8
4	54,0
5	50,2
6	56,1
7	57,8
8	51,1
9	56,7

Для зручності розглядання дані таблиці по вмісту цинку в підстилці насаджень робінії псевдоакації представлено у вигляді діаграми (Рис. 4.5).

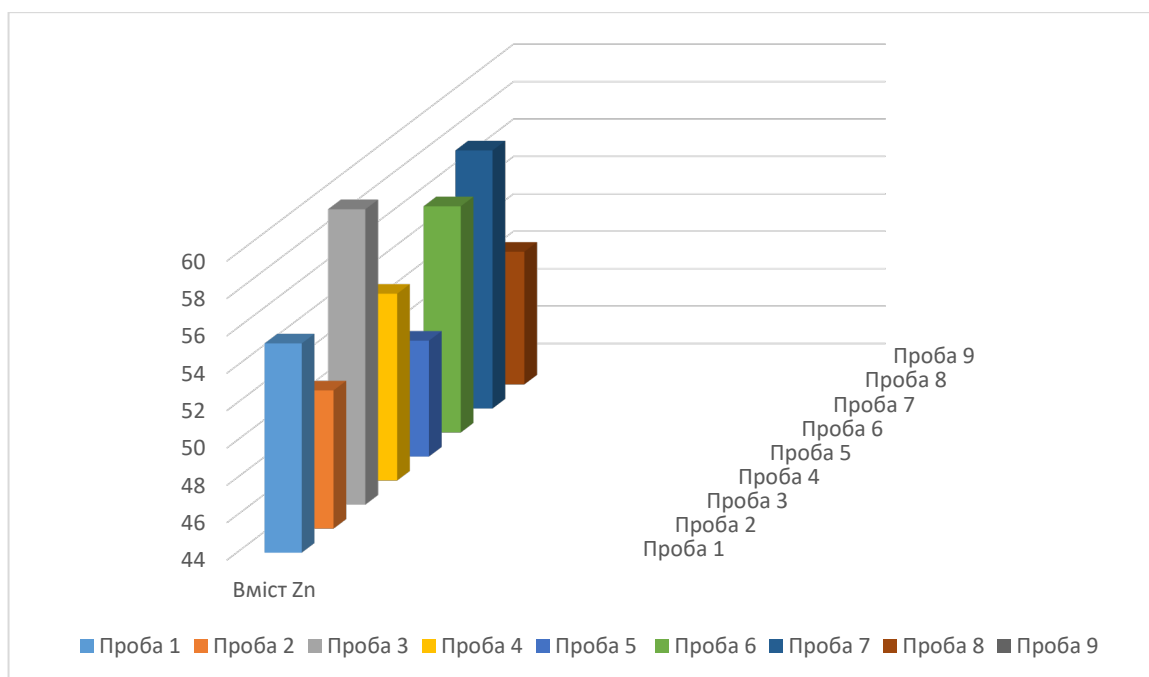


Рис. 4.5 - Вміст цинку в підстилці насаджень робінії псевдоакації

На основі таблиці 4.9 та рисунка 4.5 представлено вміст цинку в підстилці насаджень робінії псевдоакації. Найвищу концентрацію Zn зафіксовано у пробі 3, пробі 7 та пробі 9, що свідчить про підвищене забруднення ґрунтової підстилки в цих місцях. Найменші значення спостерігаються у пробах 5, 2 і 8, що вказує на відносно нижчий рівень забруднення.

Порівнюючи ці результати з вмістом цинку в листі (рис. 4.4), можна побачити як подібності, так і відмінності. Наприклад, проби 7 і 9 мають високий вміст цинку як у листі, так і в підстилці, що може свідчити про значне загальне забруднення території та активне надходження металу з ґрунту в рослинні тканини. Проба 3 також має високий вміст Zn у підстилці, але дещо нижчий у листі, що може свідчити про меншу здатність робінії засвоювати цинк у цій ділянці або про особливості ґрунтових умов.

Натомість проба 8 демонструє високу концентрацію цинку в листі, але низьку – в підстилці, що може свідчити про альтернативні джерела

забруднення, такі як атмосферні викиди або поверхнєве осідання, які впливають переважно на надземну частину рослини.

Отже, загальна картина свідчить про певну кореляцію між забрудненням підстилки та листя, однак на рівень акумуляції металу в рослині також можуть впливати фізіологічні особливості робінії псевдоакації, тип ґрунтів, рН середовища, наявність інших хімічних елементів, що конкурують за поглинання, та джерела забруднення. Високий вміст цинку в обох середовищах вказує на несприятливий екологічний стан території та потребу в моніторингу джерел важких металів [15, 22].

4.8 Вміст цинку в опаді досліджуваного біогеоценозу

Опад насаджень робінії псевдоакації включає листя, дрібні гілки та інші органічні рештки, які відіграють важливу роль у накопиченні цинку. Дослідження показують, що середній вміст цинку в опаді становить 35–45 мг/кг сухої маси. Цей показник є нижчим, ніж у підстилці (50–60 мг/кг), оскільки опад включає свіжіші матеріали, які ще не пройшли повного розкладання та накопичення елемента. Сезонні фактори, такі як осіннє опадання листя, сприяють тимчасовому збільшенню вмісту цинку в поверхневому шарі. Накопичення цинку в опаді свідчить про активну участь робінії в біогеохімічному кругообігу, але надлишкові концентрації можуть негативно впливати на подальші процеси розкладання, що потребує додаткового вивчення [32].

Таблиця 4.10 – Вміст цинку в опаді насаджень робінії псевдоакації

Номер проби	Вміст Zn
1	39,4
2	40,2
3	35,0
4	41,2
5	41,3
6	37,6
7	44,7
8	41,9
9	42,5

Для зручності розглядання таблицю по вмісту цинку в листі робінії псевдоакації представлено у вигляді діаграми (Рис. 4.6).

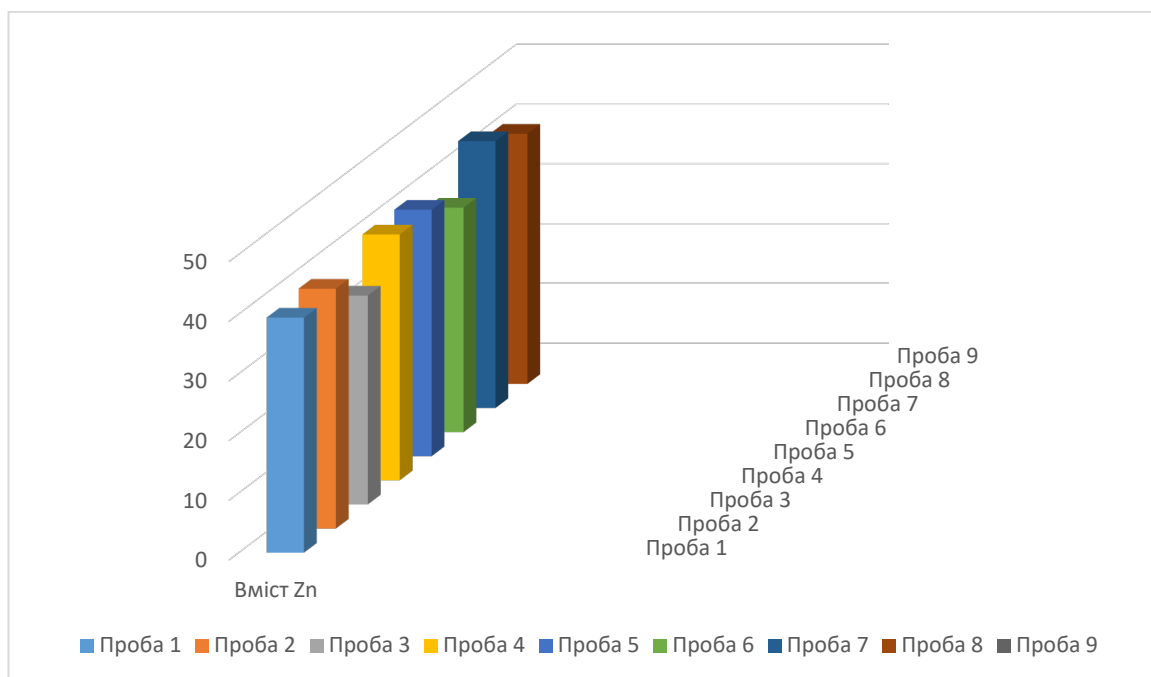


Рис. 4.6 – Вміст цинку в опаді насаджень робінії псевдоакації

На основі таблиці 4.10 та рисунка 4.6 представлено вміст цинку в опаді насаджень робінії псевдоакації. Найвищий рівень вмісту Zn зафіксовано у пробі 9, пробі 8 та пробі 4. Найнижчі значення вмісту цинку спостерігаються

у пробах 3, 6 та 1. Загалом, концентрації цинку в опаді є нижчими порівняно з листям і підстилкою, що свідчить про те, що опад (який включає атмосферні відкладення та пил) є менш забрудненим джерелом або фіксує вже розсіяні в повітрі залишкові форми цинку.

Порівнюючи всі три середовища – листя, підстилку та опад – видно, що найвищі концентрації цинку спостерігаються в листі, трохи нижчі – в підстилці і найнижчі – в опаді. Це свідчить про те, що робінія псевдоакація активно акумулює цинк із навколишнього середовища, особливо через кореневу систему з ґрунту, а також через листову поверхню з атмосфери. Підстилка, як продукт розкладу органічної речовини (переважно листя), також накопичує значну частку цинку, хоча рівень там є середнім між листям та опадом.

Також простежується певна відповідність між пробами з високим вмістом Zn у листі та підстилці – наприклад, проби 8 і 9 мають підвищені концентрації у всіх трьох середовищах, що може свідчити про загальне антропогенне навантаження на певних ділянках. Натомість проби 3 і 6 демонструють контрастні значення: наприклад, у пробі 3 – дуже високий вміст у листі, але найнижчий в опаді, що може свідчити про локалізоване забруднення кореневої зони або специфіку поглинання.

Таким чином, найвищий рівень забруднення середовища цинком фіксується в листі, далі – в підстилці, і найменший – в опаді. Це дозволяє зробити висновок, що основним шляхом надходження Zn є ґрунт, а листя є добрим біоіндикатором рівня забруднення території важкими металами. Робінія псевдоакація, зважаючи на ці властивості, може бути використана як тест-об'єкт для екологічного моніторингу урбанізованих або техногенно навантажених зон [35, 26].

ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація безпечних умов праці є невід'ємною складовою при проведенні наукових досліджень, пов'язаних з вивченням поширення важких металів у компонентах лісових екосистем. Під час виконання дипломної роботи на тему «Біологічний колообіг важких металів у штучних лісових насадженнях робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia*)» були враховані всі потенційні небезпечні та шкідливі фактори, які можуть впливати на дослідника під час виконання польових та лабораторних досліджень [19].

Робота виконувалась у відповідності до таких нормативних документів:

- 1) Закон України «Про охорону праці»;
- 2) Кодекс законів про працю України;
- 3) Державні санітарні норми і правила при роботі з хімічними речовинами;
- 4) ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні правила організації технологічних процесів, гігієнічні вимоги до обладнання та робочого інструменту»;
- 5) Правила безпечної роботи у лабораторіях хімічного профілю;

Умови праці під час польових робіт охоплювали відбір проб листя, підстилки та опадів робінії псевдоакації на ділянках з різним рівнем техногенного навантаження. До потенційно шкідливих чинників належали: вплив погодних умов (висока температура, ультрафіолетове випромінювання, опади), контакт із забрудненими об'єктами довкілля, укуси комах, механічні ушкодження при пересуванні в лісових масивах. Щоб уникнути негативного впливу, дослідник був забезпечений захисним одягом

(довгий рукав, головний убір, міцне взуття), рукавичками, антимоскітним засобом, аптечкою та засобами гігієни [31].

Умови праці в лабораторії передбачали підготовку зразків, хімічне розчинення, мінералізацію, фільтрацію та аналітичне визначення концентрації міді за допомогою спектрофотометричних або атомно-абсорбційних методів. Основні ризики в лабораторії пов'язані з: використанням кислот (азотної, сірчаної), впливом випарів, небезпекою хімічних опіків, порізів склом, електричним струмом, нагрівальним обладнанням. Для запобігання травмам та отруєнням усі роботи проводились у витяжній шафі, з використанням ІЗЗ (халати, рукавички, захисні окуляри, маски). Особливу увагу було приділено маркуванню ємностей із реагентами, а всі хімічні залишки утилізувались відповідно до встановлених інструкцій [36].

Використання приладів та обладнання, що живляться від електромережі, здійснювалося лише після перевірки їх справності. Електроприлади мали заземлення та проходили щорічну технічну перевірку. Заборонялося працювати з мокрими руками або у вологих умовах. Дослідник був ознайомлений з основами надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

Під час роботи з вогненебезпечними речовинами (етанол, органічні розчинники) дотримувалися вимог пожежної безпеки. У лабораторії малися первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники, пісок), була передбачена вентиляція, а також чітко визначено порядок евакуації у разі загоряння. Дослідник пройшов інструктаж з пожежної безпеки.

З огляду на екологічну спрямованість дослідження, підвищена увага приділялася питанням мінімізації впливу на довкілля. Польові роботи проводились без пошкодження живих дерев або втручання в ґрунтову структуру. Лабораторні відходи збирались у спеціальні контейнери та передавались на утилізацію згідно з інструкціями, що регулюють

поводження з токсичними речовинами. Жодні хімікати не потрапляли у каналізацію чи відкрите середовище.

Усі етапи виконання дипломної роботи були організовані з урахуванням чинного законодавства України щодо охорони праці, техніки безпеки, пожежної та екологічної безпеки. Завдяки дотриманню інструкцій, використанню засобів захисту та систематичному контролю за умовами праці, було забезпечено безпечне виконання польових і лабораторних досліджень без шкоди для здоров'я дослідника та навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було досліджено біологічний колообіг важких металів, зокрема міді та цинку, у штучних лісових насадженнях робінії псевдоакації в умовах степової зони поблизу с. Майорка Дніпропетровської області.

На основі проведених досліджень ми можемо сформулювати основні висновки:

1) Лісові насадження та лісосмуги поблизу села Майорка перебувають у стані, що потребує активних заходів із відновлення та захисту. Основними викликами є браконьєрство, деградація через відсутність догляду, вплив шкідників і недостатнє фінансування лісгосподарських заходів.

2) Підстилка накопичує значно більше міді, ніж листя. Це свідчить про процес біогеохімічної міграції міді з атмосфери або поверхні ґрунту до підстилки, де мікроелементи затримуються внаслідок розкладу органічної маси. Підвищена концентрація міді в підстилці може бути наслідком тривалого надходження забруднюючих речовин антропогенного походження, зокрема від промислових викидів, транспорту або агрохімікатів.

3) У порівнянні з попередніми даними про вміст міді у листі та підстилці видно, що опад є середнім за концентрацією накопичення міді: він містить більше міді, ніж листя, але менше, ніж підстилка. Це пояснюється тим, що опад – це сукупність органічного матеріалу, зокрема опалого листя, частинок пилу та атмосферних випадів, які частково акумулюють мікроелементи з навколишнього середовища. Високий вміст міді в опаді

свідчить про активне випадання металів з атмосфери, зокрема внаслідок впливу промислових об'єктів, транспорту чи інших джерел техногенного забруднення.

4) Найвищий рівень забруднення середовища цинком фіксується в листі, далі – в підстилці, і найменший – в опаді. Це дозволяє зробити висновок, що основним шляхом надходження Zn є ґрунт, а листя є добрим біоіндикатором рівня забруднення території важкими металами. Робінія псевдоакація, зважаючи на ці властивості, може бути використана як тест-об'єкт для екологічного моніторингу урбанізованих або техногенно навантажених зон.

5) Установлено, що робінія псевдоакація є ефективним біоіндикатором техногенного навантаження та перспективною породою для фіторе mediaції урбанізованих і забруднених територій. Її здатність накопичувати важкі метали в листі та підстилці дозволяє використовувати насадження цієї деревної породи не лише для моніторингу, а й для біологічного очищення територій. Також доведено, що штучні насадження робінії псевдоакації активно включаються до біогеохімічних циклів, змінюючи кругообіг мікроелементів у порівнянні з природними степовими екосистемами. Вони здатні знижувати міграцію токсичних елементів у глибші шари ґрунту, стабілізувати ґрунтову структуру та підвищувати загальну екологічну стійкість ландшафту.

Результати дослідження можуть бути використані в практиці рекультивації порушених земель, створення захисних лісосмуг, а також в екологічному моніторингу та плануванні заходів із охорони довкілля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баранов В. І., Гузь М. В., Гавриляк В. І. Сучасні напрями вирішення екологічних проблем: фіторемедіація техногенно порушених територій. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища, енергоощадність, 2021, 481–486 с.
2. Бердник В. П., Стельмах А. І. Екологічна оцінка вмісту важких металів у ґрунтах Дніпропетровської області. Вісник Дніпровського університету. Серія Біологія. Екологія, 2018, 45–52 с.
3. Безугла Л. С. Контамінація металічних елементів у біомасі *Robinia pseudoacacia* у міських лісах Києва. Збірник науково-технічних праць, 2021, 306–311 с.
4. Білозубенко О. П. Вплив важких металів на життєдіяльність деревних рослин в урбанізованих умовах. Біологічні системи, 2020, 113–120 с.
5. Білявський Г. О., Падун М. М. Екологічний моніторинг лісових насаджень: сучасні підходи. Київ: Лібра, 2021, 392 с.
6. Боровко Ф. М., Кривохижа Є. М. Лісівництво: підручник. Київ: НУБіП України, 2021, 654 с.
7. Борщук О. В., Вольвач В. М. Акумуляція та виведення забруднювачів (важкі метали та радіонукліди) рослинами роду *Robinia* в умовах міського середовища Києва. Біотехнології: звершення та надії, 2022, 45–50 с.
8. Бєлова А. С., Савчук Т. О. Аналіз стану фітомаси в урбанізованих

лісових насадженнях. Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія, 2019, № 4, 58–62 с.

9. Вишенська І. Г., Гінжалюк А. І. Вплив кліматичних факторів на енергетичний потенціал лісової підстилки широколистяного фітоценозу. Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія, 4, 2021, 32–36 с.

10. Волощишин І. В. Екологічна оцінка впливу важких металів на лісові екосистеми. Дисертація на здобуття наукового ступеня к.с.-г.н. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2020, 178 с.

11. Горбань В. А. Вплив штучних лісонасаджень *Robinia pseudoacacia* L. та *Quercus robur* L. на гранулометричний склад чорноземів звичайних. Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель. 2022. Том 51. 42–50 с.

12. Григор'єв М. О. Природно-заповідний фонд Дніпропетровської області: сучасний стан та перспективи. Дніпро: Дніпропетровська обласна державна адміністрація, 2021. 30–35 с.

13. Дзиба А. А. Робінія псевдоакація у міських лісах Києва. Збірник науково-технічних праць Національного технічного університету України, 2018, 306–311 с.

14. Довгалюк С. В., Орлик С. В. Біогеохімічні особливості кругообігу мікроелементів у лісових екосистемах Лісостепу України. Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія, 2016, 19–25 с.

15. Доценко Л. В., Чорна В. І., Грицан Ю. І., Ворошилова Н. В., Кацевич В. В. Біоекологічна характеристика степових насаджень робінії псевдоакації в залежності від змін деяких кліматичних чинників. Дніпровський державний аграрно-економічний університет, 2021, 3–8 с.

16. Іванько І. А., Кулік А. Ф. Оцінка адаптаційних можливостей аборигенних та адвентивних видів деревних рослин Дніпропетровщини. Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель, 2021. Том 50. 12–19 с.

17. Ігнатенко В. А. Біогеохімічні особливості забруднення природних екосистем важкими металами. Вісник екологічної науки, 2020, № 3, 84–88 с.
18. Ковальчук Н. М., Гайдук О. І., Мельник Л. М. Фізіолого-біохімічна відповідь рослин на забруднення ґрунтів важкими металами. Вісник Харківського національного аграрного університету, 2021, 54–61 с.
19. Кондратюк І. М., Колосов А. С. Система управління охороною праці на підприємстві: сучасні підходи. Охорона праці і пожежна безпека, 2021, № 2, 14–20 с.
20. Кравець О. М. Географія Дніпропетровської області: презентація для освітнього порталу «На Урок». Київ: Освітній портал «На Урок», 2020, 12–15 с.
21. Кравець О. П., Лук'яненко Н. В. Біогеохімічні цикли в екосистемах: сучасні методи досліджень. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2016, 312 с.
22. Кравченко І. В. Динаміка накопичення важких металів у ґрунтах під впливом міського навантаження. Екологічні науки, 2021, № 4, 67–72 с.
23. Кушнір О. В., Кушнір І. В. Геоботанічні, ґрунтові та екологічні дослідження лісових насаджень у Дніпропетровській області. Матеріали наукової конференції ДНУ, 2019, 95–100 с.
24. Литвинова І. І. Роль робінії псевдоакації у стабілізації деградованих земель. Природничі науки і освіта, 2023, № 1, 112–118 с.
25. Мельничук Ю. П. Стале управління лісовими екосистемами: біогеохімічні аспекти. Лісівництво і агролісомеліорація, 2022, № 142, 38–45 с.
26. Назаренко І. І., Ковальчук І. П. Методи аналізу ґрунтів у біогеохімічних дослідженнях. Київ: Центр учбової літератури, 2018, 272 с.
27. Ніколаєнко Ю. В., Гуменюк С. І. Роль робінії псевдоакації у фіторе mediaції забруднених ґрунтів. Екологічні науки, 2019, 25–31 с.

28. Олійник В. С., Кравченко М. М. Токсичність важких металів у техногенно змінених екосистемах України. Київ: Наукова думка, 2017, 6–13 с.
29. Остапчук Л. М., Дерій С. І. Фітодетоксикація в лісових екосистемах: роль швидкорослих порід. Київ: Наукова думка, 2024, 328 с.
30. Павленко Л. С., Кириченко Л. М. Особливості впливу металургійного виробництва на рослинність. Екологія довкілля та безпека життєдіяльності, 2017, № 2, 25–30 с.
31. Савчук С. В., Пилипенко І. О. Професійні ризики у лісовому господарстві: ідентифікація та шляхи зниження. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Техногенна безпека, 2020, № 210, 89–94 с.
32. Сараненко О. В. Екологічні особливості поглинання важких металів деревними породами. Вісник Чернівецького національного університету. Серія: Біологія, 2015, № 7(2), 77–83 с.
33. Ситник С. А. Біопродуктивність та екологічний потенціал деревостанів *Robinia pseudoacacia* L. степової зони України. Монографія. Корсунь-Шевченківський, 2021, 190 с.
34. Стеценко М. О. Особливості кругообігу мікроелементів у штучних біогеоценозах. Біологічний вісник УкрНДІЛГА, 2021, № 1, 23–28 с.
35. Сулима О. П. Фіторемедіація техногенно забруднених земель у Лівобережному Лісостепу. Агроекологічний журнал, 2020, № 1, 53–58 с.
36. Шевченко Ю. П. Організаційно-технічні заходи з охорони праці в агропромисловому комплексі. Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету, 2018, № 102, 56–60 с.
37. Шевчук В. І., Зінько Ю. В. Акумуляція важких металів у насадженнях робінії псевдоакації на техногенних ґрунтах. Екологія та ноосферологія, 2021, 43–51 с.

38. Якименко О. В. Оцінка впливу ґрунтових забруднень на фітоценози лісових насаджень. Екологічна безпека та збалансоване природокористування, 2019, № 10, 91–97 с.

39. Якуба М. С., Горбань В. А. Історичні аспекти створення та особливості функціонування полезахисних насаджень степової зони України. Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель. 2021. Том 50, 33–41 с.