

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Агрономічний факультет
Спеціальність 206 – “Садово-паркове господарство”

«Допустити до захисту»

В.о. завідувача кафедрою садово-
паркового мистецтва та ландшафтного
дизайну доц. Іванченко О.Є.

«_____» _____ 2022 р.

**Контамінація металічних елементів у біомасі *Robinia
pseudoacacia* L. рекреаційних зон м. Дніпро**

Здобувач вищої освіти: _____ Безугла Л.С.

Керівник дипломної роботи _____ Ситник С.А.

Консультанти:

з охорони праці
к.т.н., доцент _____ Кравець В.В.

Нормоконтролер
к.б.н., доцент _____ Пономарьова О.А.

Дніпро, 2022

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
Агрономічний факультет
Кафедра садово-паркового мистецтва та ландшафтного дизайну

Освітній ступінь «*Магістр*»
Спеціальність 206 – «*Садово-паркове господарство*»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о. завідувача кафедру
доц. Іванченко О.Є. _____

підпис

«____» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Безуглої Людмили Сергіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Контамінація металічних елементів у біомасі *Robinia pseudoacacia* L. рекреаційних зон м. Дніпро»

Керівник роботи: д.с.-г.н., доц. Ситник С.А., затверджені наказом вищого навчального закладу від «09» листопада 2021 р., № 3480

2. Строк подання студентом роботи на кафедру «01» лютого 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: акумулятивні властивості робінії несправжньоакації у паркових зонах

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Визначити концентрацію металічних елементів у ґрунтах паркових зон м. Дніпро;
2. Дослідити ступінь акумулювання елементів металічної групи асиміляційними органами робінії несправжньоакації;
3. Встановити коефіцієнт біологічної акумуляції робінії несправжньоакації;
4. Розробити картографічний матеріал градієнтного розподілу металічних елементів у асиміляційній фітомасі паркових робінієвих насаджень.
5. **Перелік графічного матеріалу:** таблиці і рисунки

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	доцент Кравець В.В.		

7. Дата видачі завдання: _____**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошук інформації та формування огляду літератури	Червень-липень 2021	виконано
2	Виконання польових робіт	Серпень-вересень 2020	виконано
3	Розрахунки отриманих даних	Вересень 2021	виконано
4	Написання експериментальної частини	Вересень-жовтень 2021	виконано
5	Отримання завдання, написання та коригування розділу із охорони праці	Вересень-жовтень 2021	виконано
6	Написання висновків	Листопад 2021	виконано
7	Формування переліку літературних джерел	Листопад 2021	виконано
8	Написання доповіді та розроблення презентації роботи	Грудень-січень 2021	виконано

Здобувач вищої освіти _____ Безугла Л.С.

Керівник роботи _____ Ситник С.А.

ЗМІСТ

Реферат	4
Вступ	5
1 Огляд літератури	7
1.1. Контамінація елементів групи важких металів у довкіллі	7
1.2. Ремедіаційні властивості деревних рослин	12
2. Умови проведення досліджень	16
2.1. Паркові зони м. Дніпро	16
2.2. Кліматичні і погодні умови району досліджень	18
2.3. Ґрунтові умови району досліджень	22
3. Експериментальна частина	24
3.1. Характеристика об'єкта досліджень – <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	24
3.2. Методика проведення роботи	26
3.3. Результати проведеної роботи та їх аналіз	28
3.3.1. Аналіз ґрунтів паркових зон м. Дніпро на вміст важких металів	28
3.3.2. Акумуляція металічних елементів у асиміляційних органах робінії несправжньоакації	30
3.3.3. Градієнт акумулювання металічних елементів у фітомасі робінії	36
4. Заходи з охорони праці	40
4.1. Визначення впливу на здоров'я працюючого металічних елементів у біомасі <i>Robinia pseudoacacia</i> L. рекреаційних зон м. Дніпро	40
4.2. Гігієнічна оцінка умов праці при роботі з біомасою <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	42
Висновки та пропозиції управлінським структурам	44
Список використаної літератури	46

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 52 с., 5 табл., 11 рис., 57 джерел літератури.

Мета роботи: встановити депонувальний потенціал фітомаси асиміляційних органів робінієвих насаджень паркових зон міста Дніпро.

Об'єкт дослідження – здатність робінії несправжньоакації акумулювати елементи групи важких металів.

Предмет дослідження – робінія несправжньоакація у системі зелених насаджень загального користування міста Дніпро.

Методи дослідження: спектрофотометричний, статистичний, ГІС-технології.

Використана апаратура: терези, сушильна шафа, атомно-абсорбційний спектрофотометр.

Визначено потенціал акумулятивної здатності біомаси асиміляційних органів робінії несправжньоакації до депонування металічних елементів групи важких металів – Pb, Cu, Cd та Zn. Проведено визначення вмісту металічних елементів – Купруму, Цинку, Плюмбуму та Кадмію у ґрунтах рекреаційних зон міста Дніпро. Встановлено концентрування зазначених металів у фітомасі листяної фракції дерев робінії несправжньоакації. Розраховано коефіцієнт біологічної акумуляції фітомаси асиміляційних органів по відношенню до есенціальних й токсичних металічних елементів. Геоінформаційними системами розроблено картографічний матеріал, який демонструє градієнт концентрування Купруму, Цинку, Плюмбуму та Кадмію у асиміляційних органах насаджень робінії несправжньоакації м. Дніпро.

Ключові слова: елементи групи важких металів, фітомаса листяної фракції, акумуляція важких металів, коефіцієнт біологічної акумуляції.

Вступ

Останніми десятиліттями, у зв'язку з інтенсивним розвитком промисловості, у навколишньому природному середовищі значно збільшився вміст металічних елементів групи важких металів, що спричиняє шкідливий вплив на функціонування екосистем. Серед важких металів основними забруднювачами вважаються Кадмій та Плюмбум, оскільки техногенне накопичення в довкіллі цих металів йде високими темпами.

З огляду на абіотичні умови та історично сформовану ландшафтну культуру м. Дніпро, парки міста мають нечисельний склад дендрофлори. Серед деревних рослин інтродуковані види становлять значний відсоток від загальної кількості видів, які формують паркові насадження урбоекосистеми. Особливий інтерес представляє інтродуцент із Північної Америки – робінія несправжньоакація (*Robinia pseudoacacia* L.), оскільки даний вид широко використовуються в озелененні міста Дніпро і представлений у насадженнях міських територій загального користування.

Екосистемною функцією паркових насаджень має бути нівелювання дії антропогенних чинників природного середовища завдяки акумуляційному потенціалу фітомаси, яка продукується й функціонує протягом вегетаційного періоду. Додаткова емісія поллютантів у різні компартменти довкілля зумовлює незворотні зміни у природних екосистемах.

Значущою є екосистемна функція рослин забезпечення міграції хімічних елементів та підтримка балансу існуючих в природі взаємозв'язків, що відображено у значній кількості наукових праць [3,5,31,34,51]. Паркові насадження спроможні оптимізувати стан навколишнього середовища завдяки здатності фітомаси деревних рослин поглинати, як з ґрунту, так із атмосферного повітря, забруднюючі речовини та на довгий час виводити металічні елементи з кругообігу біогенних елементів та геохімічного циклу.

Тому, дослідження поглинальної здатності та депонувального потенціалу фітомаси одного з найбільш поширених у рекреаційних зонах

промислових міст степової зони України виду інтродукованих рослин є актуальним питанням сьогодення й найближчої перспективи.

Отже метою роботи є встановлення депонувального потенціалу фітомаси асиміляційних органів робінієвих насаджень рекреаційних зон міста Дніпро.

Завдання, які сформульовано для досягнення мети дипломної роботи:

1. визначити вміст металічних елементів у ґрунтах паркових зон досліджуваної території;
2. дослідити ступінь акумулювання Zn, Cu, Cd, Pb вегетативними асиміляційними органами робінії несправжньоакації у паркових насадженнях;
3. розрахувати коефіцієнт біологічної акумуляції вегетативних асиміляційних органів робінії по відношенню до металічних контамінантів;
4. розробити картографічний матеріал градієнтного розподілу металічних елементів у фітомасі асиміляційних органів робінієвих насаджень міста Дніпро.

Об'єкт дослідження – здатність робінії несправжньоакації до акумулювання елементів групи важких металів.

Предмет дослідження – робінія несправжньоакація у системі насаджень загального користування міста Дніпро.

Практичний бік значущості даної роботи полягає у тому, що такий спосіб визначення екологічної ролі паркових робінієвих насаджень може стати достатньо ефективним важелем в управлінні зеленими насадженнями загального користування у техногенно навантажених урбоекосистемах.

Розділ 1

Огляд літератури

1.1. Контамінація елементів групи важких металів у довкіллі

У технічному звіті IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry – Міжнародний союз теоретичної і прикладної хімії) відзначено, виділяє такі критерії, за якими визначається приналежність того чи іншого хімічного елемента до групи важких металів – густину, атомна маса та атомне число.

До групи важких металів відносять елементи, які володіють властивостями металів або металоїдів і мають густину більше 5 г/см^3 , атомну масу понад 40 Да, атомне число 23 і вище [35]. На сьогоднішній день приблизно з 2000 відомих ферментів близько 50 містять у своєму складі метали.

У рослинах переважно концентрації мікроелементів незначні (0,001% від сухої маси клітини і нижче), але при підвищенні їх рівня в навколишньому середовищі вони стають токсичними для живих організмів [50].

У дослідженні визначено Кадмій, Купрум, Плюмбум та Цинк. Розглянемо фізіолого-біохімічні й токсичні характеристики зазначених металічних елементів групи важких металів

Кадмій є дуже токсичним металічним елементом. Внаслідок забруднення ґрунтів він проникає у рослинні організми. У певних умовах іони цього металу, маючи значну рухливість у ґрунтах, легко переходять у рослини, накопичуються в них і потім надходять до організму тварин і людини.

Зазначимо, дві властивості Кадмію визначають його важливість для довкілля: порівняно високий тиск пари, що забезпечує легкість його випаровування, особливо, при плавленні або при згорянні вугілля; висока

розчинність у воді при невеликих кислотних значеннях рН, особливо при рН = 5.

Розповсюдження Кадмію у промислових викидах обумовлює його вміст у компартментах навколишнього середовища. Потрапляючи у прісні водоймища і моря, розчинений Кадмій осаджується і накопичується у донних осадах. Водні рослини та тварини вилучають та концентрують його у тканинах.

Поблизу металургійних підприємств через осідання Кадмію з атмосфери, вміст його на поверхні ґрунту у 20–50 разів вищий, ніж на контрольних ділянках. У повітрі великих промислових міст концентрація Кадмію досягає 15 ГДК. У ґрунт цей елемент надходить також з мінеральними добривами. Суперфосфат містить 720,2 мкг Cd 100 г, фосфат калію 471 мкг, селітри до 66 мкг.

У процесах утворення кадмієво-органічних сполук заподіяна ґрунтова мікрофлора. У залежності від хімічного складу, фізичних властивостей ґрунту і форми Кадмію, його перетворення у ґрунті завершуються протягом декількох діб. Кадмій накопичується в іонній формі у кислих водах або у вигляді нерозчинних гідроксида і карбонату. Він може бути у ґрунті у вигляді комплексної сполуки.

Хімічна подібність Cd і Zn зумовлює у багатьох випадках заміну Цинку. Кадмій знижує активність травних ферментів, трипсину і меншою мірою – пепсину, змінює їх активність, активує ферменти. Кадмій впливає на вуглеводний обмін, викликаючи гіперглікемію, пригнічуючи синтез глікогену у печінці.

Рухливість Кадмію визначатиметься розчинністю його карбонатів та фосфатів, а також рН ґрунту. Кадмій найбільш рухливий у кислих ґрунтах при низьких значеннях кислотно-лужного балансу. Він не входить до числа необхідних для рослин елементів, але ефективно поглинається.

Встановлено, що хлорофіл має здатність концентрувати Кадмій у рослинних тканинах. Візуальні симптоми, які викликані підвищеним вмістом

Кадмію у рослинах – це хлорозні прояви у асиміляційному апараті, зміна кольору й побуріння країв і прожилок, а також затримка росту. Фітотоксичність Кадмію проявляється і в гальмівній дії на фотосинтез. Кадмій – ефективний та специфічний інгібітор біологічного відновлення. Оскільки у органічні речовини включається лише амонійний азот, нітрат-аніони, які поглинені рослиною, повинні відновлюватися у клітинах. У середньому вміст Кадмію у зерні збільшується з 0,2 до 4,0 мг/кг.

Висока фітотоксичність Cd пояснюється його близькістю за хімічними властивостями Zn. Тому Cd може виступати в ролі Zn у численних фізіологічних механізмах, змінюючи активність таких ферментів, як карбоангідраза, дегідрогеназа, фосфатаза, ферментів нуклеїнового обміну, а також протеїназ і пептидаз, які беруть участь у білковому обміні. Як хімічний аналог Цинку, Кадмій може замінювати його в ензиматичній системі, необхідної для фосфорилювання глюкози та процес утворення й розщеплення вуглеводів.

Заміщення Цинку Кадмієм у рослинному організмі призводить до цинкової нестачі, що, в свою чергу, може спричиняти пригнічення й навіть загибель рослин. Підвищена стійкість у рослин виробляється тільки до тих металів, якими збагачені ґрунти місцезростання популяції.

Кадмій – металічний елемент, який у малих концентраціях навіть стимулює онтогенетичні фізіологічні процеси. Вміст Кадмію, який зазначається як оптимальний для здійснення фізіолого-біохімічних реакцій рослинного організму, має становити 0,05–0,2 мг/кг повітряно-сухої маси [35].

Більшість функцій Купруму у рослинах пов'язана з його безпосереднім вмістом у складі простетичних груп ферментів окислювально-відновних реакцій – цитохромоксидази, поліфенолоксидази, супероксиддисмудози, аскорбатоксидази та діамінооксидази. Купрум контролює синтез нуклеїнових кислот, тому його дефіцит спричиняє гальмування здійснення репродуктивної функції рослин, а саме призводить до зниження

інтенсивності утворення насіння. Контроль балансу вологи Купрум здійснює через регуляцію проникності судин ксилеми для води. Іони Феруму та Молібдену, які мають змінну валентність та аналогічну спорідненість з Купрумом до протеїнів, можуть виявляти антагоністичну взаємодію із цим елементом. У літературі одностайна думка щодо значення концентрації Купруму, яка визначає оптимальне функціонування і здійснення фізіологічних процесів, відсутня ($\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$) [35]: 0,2–1,2; 0,5–3,0; 0,3–1,2; 0,2–2,0. Проте за даними Н. С. Касімова [10] ознаки дефіциту Купруму у рослин спостерігаються за концентрації цього елементу нижчої від $0,2 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$. Більша частка міді локалізується у тканинах коренів, лише незначна кількість може мобілізуватися до надземної частини [14].

Дискусійним є питання щодо форми надходження в підземні та надземні органи – Cu^{2+} або Cu^{+} . У рослинах до 98% цього металу знаходиться у нерозчинному зв'язаному стані. У листі більша частина Купруму сконцентрована в хлоропластах і майже половина – у складі пластоціаніну – одного з переносників електронів між ФС I і ФС II. Більшість функцій Купруму пов'язана з участю металічного елементу у ферментативних окисно-відновних реакціях. Крім того, цей металічний елемент сприяє утворенню хлорофілу і уповільнює його руйнування без освітлення, впливає на обмін Нітрогену, входячи до складу нітритредуктази і редуктаз оксиду азоту. Купрум функціонує у цитохромоксидазному комплексі дихального ланцюга мітохондрій, сприяє надходженню в організм Мангану і Цинку, збільшує адаптивність до дефіциту вологи, від'ємних температур, бере активну участь в захисті проти хвороботворних мікроорганізмів. Нестача Купруму викликає затримку росту рослин і їх цвітіння, призводить до втрати тургору листків.

Цинк у рослин є компонентом майже сорока ферментів, які забезпечують трансмембранний транспорт, синтез РНК, АТФ та формування мітохондрій [18]. Цинк спричиняє утворення ауксинів, підвищуючи активність триптофансинтетази, яка визначає синтез амінокислоти триптофану, попередника ауксину, що позначається на інтенсивності росту

рослин. Цинк сприяє засвоєнню рослинами Купруму, є антагоністом Мангану і Феруму. Для рослин фізіологічно оптимальним вмістом Цинку вважається – ($\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$): 1,5–15,0 [35]. Концентрація Цинку $20,0 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ фітомаси спричиняє на рослини токсичний ефект [30], ознаки токсичності цього елемента у рослин відмічають за вмісту у тканинах $30,0\text{--}50,0 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ [6]. Толерантні види рослин можуть послаблювати дію надлишкових концентрацій Цинку шляхом метаболічної адаптації та комплексоутворення, трансформуючи його у нерозчинну форму у запасаючих тканинах [18]. Катіон Zn^{2+} – іон, який виконує структурні, каталітичні та регуляторні функції. Іон Цинку розглядають як основний регуляторний іон серед катіонів металів Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} .

Цинк має значну мобілізаційну активність у субстраті вирощування рослин. У найбільшій кількості білки функціонально пов'язані з Цинком [43]. Крім того, деякі метали-мікроелементи присутні в якості кофакторів в молекулах цілого ряду ферментів.

При нестачі цинку в рослинах накопичуються редукуючі вуглеводи, небілкові сполуки Нітрогену, органічні кислоти, зменшується вміст сахарози і крохмалю, порушується синтез білка. Дефіцит Цинку призводить також до порушень фосфорного обміну. Крім того, у рослин різко зменшується мітотична активність клітин кореневої меристеми, порушується розтягнення і диференціація клітин, збільшується число хромосомних аберацій. У листі при нестачі цього елемента пригнічується швидкість ділення клітин мезофілу, що призводить до морфологічних змін листя. Найбільш характерна ознака цинкового голодування – затримка росту міжвузлів і розвиток розеткових листків.

У підвищених концентраціях Плюмбум є токсичний для рослинних організмів. Надлишок Плюмбуму в рослинах, пов'язаний з високою його концентрацією у ґрунті, інгібує дихання та пригнічує процес фотосинтезу [3]. Іноді це призводить до збільшення вмісту Кадмію та зниження надходження Цинку, Кальцію та Фосфору [6]. Внаслідок цього зменшується первинна

продуктивність фітоценозів. Токсична дія Плюмбуму на рослини пов'язана переважно з трансформацією асиміляційних механізмів. Фітотоксичність цього металічного елемента менш виражена порівняно з багатьма іншими. Зазначене можна пояснити тим, що у ґрунті заряджені металічні частки швидко зв'язуються, з утворенням речовин, які є малорозчинними, і досить міцно утримуються ґрунтовими колоїдами. Внаслідок цього Плюмбум стає малорухливим і менш доступним для кореневого живлення рослин, проте у присутності високих концентрацій даного металічного елемента у ґрунті відбувається інтенсивне нівелювання ростових процесів та розвитку рослини.

1.2. Ремедіаційні властивості деревних рослин

Використання деревних рослин для цілей фіторемедіації є одним з найбільш ефективним процесом оптимізації стану довкілля в урбоекосистемах, незважаючи на природу й джерело забруднення металічними елементами [33].

За даними багатьох дослідників деревні рослини у техногенно навантажених урбоекосистемах характеризується стійкістю до металічних елементів групи важких металів [4, 25].

Оптимізація стану порушеного довкілля можливо вирішити відповідним методом створення системи зелених насаджень та підбором найбільш доцільних видів дерев та їх комбінацій.

Здатність рослин накопичувати хімічних елементів групи важкі метали у високих концентраціях у надземній біомасі широко використовується для процесів фітоекстракції під час рекультивації порушених земель [33].

Визначення ремедіаційного потенціалу рослин та оцінювання кількісних показників акумулювання важких металів у рослинних об'єктах є актуальним питанням сьогодення.

Ґрунти у містах, які містять надлишкові концентрації важких металів, втрачають свою структуру та характеризується збільшенням загальної щільності та зниженням вмісту органічних та поживних речовин [57].

Оцінювання складних алелопатичних взаємодій між різними біологічними видами дерев, властивостями ґрунту, поживними речовинами та змінами якісного складу ґрунту, такими як вапно або органічна речовина, є важливою складовою успішного відновлення техногенно порушених екосистем методом створення системи зелених насаджень загального користування.

Переваги успішного створення паркових насаджень у містах можуть спричиняти розвиток територій, які зазнають антропогенного впливу, що збільшить спектр екосистемних послуг, які можуть надаватися цими територіями.

Актуальним фіторе mediaційним технологіям можуть сприяти науково обґрунтовані підходи, впровадження яких значно підвищить шанси рослин на успішне зростання в несприятливих умовах промислових міст.

У роботі Rauser W.E. (1999) [44] показано досвід вирощування видів дерев із родів *Quercus*, *Pinus*, *Acer*, *Betula*, *Robinia*, які добре зростали у системах зелених насаджень в умовах поліелементного забруднення довкілля.

Незаперечним є факт, що забруднені металічними елементами екосистеми можуть бути оптимізовані, створенням систем зелених насаджень [32].

Виявлення ремедіаційних властивостей окремих видів дерев, які успішно зростають на забруднених металічними елементами ґрунтах, визначається переважно активністю їх ризосфери.

Важливим аспектом у встановленні ремедіаційних властивостей видів дерев, які зростають в умовах забруднення є селективні ознаки акумуляції важких металів. Наприклад, як встановлено кількома різними дослідженнями, представники роду *Salix* значною мірою накопичують Cd, Cu, а *Betula pendula* – Fe, Mn. Здатність накопичувати Pb, Al однакова для обох видів [24].

Гришко В.М. та ін. [5] зазначили високий рівень поглинаючої здатності родів *Acer* L. та *Populus* L. по відношенню до елементів важких металів.

У багатьох роботах відзначено вплив металічних елементів на ріст листа – основного, спеціалізованого органу фотосинтезу. Одна з причин зниження інтенсивності фотосинтезу та транспірації є збільшення вмісту контамінантів у довкіллі [56].

У ґрунті окрім активності білків-переносників та катіонних каналів на поглинання важких металів корінням рослин великий вплив спричиняють характеристики ґрунту, зокрема тип ґрунту, його хімічний та механічний склад, рН, вміст органічної речовини, обмінна катіонна здатність, мікрофлора [44]. При техногенному забрудненні важкі метали концентруються у поверхневому шарі ґрунту. Форми знаходження металів в ґрунт при природних аномаліях представлені в основному у вигляді сульфатів, сульфідів і карбонатів. У свою чергу при техногенному забрудненні у вигляді оксидів і вільних іонів [6].

Серед антропогенних джерел надходження важких металів в ґрунт певну роль відіграють і агротехнічні заходи: внесення добрив, пестицидів, використання стічних вод для зрошення. Зокрема, при використанні мінеральних добрив у ґрунт вноситься Плюмбуму від 7 до 225 мг/кг сухої маси ґрунту, Кадмію – від 0,3 до 179 мг/кг сухої маси. Навіть при відносно невеликому змісті Кадмію в фосфорних добривах, його щорічне надходження на поверхню ґрунту становить близько 10 г/га. Стічні води, використовувані в сільському господарстві, також є джерелом забруднення ґрунтів важкими металами. Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn найчастіше стають основними токсикантами, які обмежують можливість застосування опадів стічних вод в якості добрива.

Збільшення концентрації металічних елементів у довкіллі призводить до значного збільшення їх концентрації у рослинах. При цьому наземні рослини здатні поглинати іони металів з двох джерел – ґрунту і повітря.

Механізми надходження металів в рослини з ґрунту корневих шляхом включають пасивний перенесення іонів у клітину відповідно до градієнта їх концентрації і активний процес поглинання клітиною проти градієнта

концентрації. У поглинанні й транспорті важких металів в рослини можна виділити наступні етапи: накопичення іонів у вільному просторі кореня; подолання іонами мембранного бар'єру і їх проникнення в симпласт; радіальне пересування іонів тканинами кореня і судинними провідними пучками.

Перший етап поглинання важких металів кореневою системою здійснюється за допомогою фізико-хімічної адсорбції, а також за рахунок неметаболічного зв'язування іонів металів активними ділянками клітинної стінки. Наступні етапи поглинання металів пов'язані з витратою енергії АТФ за участю іонних каналів і білків-переносників. Крім симпластичного шляху іони важких металів можуть пересуватися і за апопластом.

На процес поглинання важких металів кореневою системою рослин значний вплив мають властивості ґрунту, зокрема тип ґрунту, його хімічний та механічний склад, рН, вміст органічної речовини, обмінна катіонна здатність, мікрофлора [44]. Суттєвий вплив спричиняють симбіотичні і антагоністичні взаємодії між іонами металічних елементів. За даними Tymchuk et al. [51] найбільший антагонізм виявляють елементи однакової валентності, які здатні утворювати подібні комплекси.

Питання щодо форми надходження до підземних та надземних органів – Cu^{2+} або Cu^+ . У рослинах до 98% цього металу знаходиться у нерозчинному зв'язаному стані. У листі більша частина Купруму сконцентрована в хлоропластах і майже половина – у складі пластоціаніну, – одного з переносників електронів між ФС I і ФС II. Окрім того, цей метал сприяє утворенню хлорофілу і уповільнює його руйнування без освітлення, впливає на обмін Нітрогену, входячи до складу нітритредуктази і редуктаз оксиду азоту. Купрум функціонує у цитохромоксидазному комплексі дихального ланцюга мітохондрій, сприяє надходженню в організм Мангану і Цинку, збільшує адаптаційний потенціал щодо низьких, високих температур та дефіциту вологи, бере активну участь в захисті проти хвороботворних мікроорганізмів.

Розділ 2

Умови проведення досліджень

2.1. Паркові зони м. Дніпро

Дослідження акумуляційного потенціалу робітні несправжньооації було проведено у рекреаційних насадженнях парових зон м. Дніпро – парк 40-річчя визволення Дніпра, парк Лазаря Глоби, парк Дружби народів, Придніпровський парк, локації яких наведено на рис. 2.1.

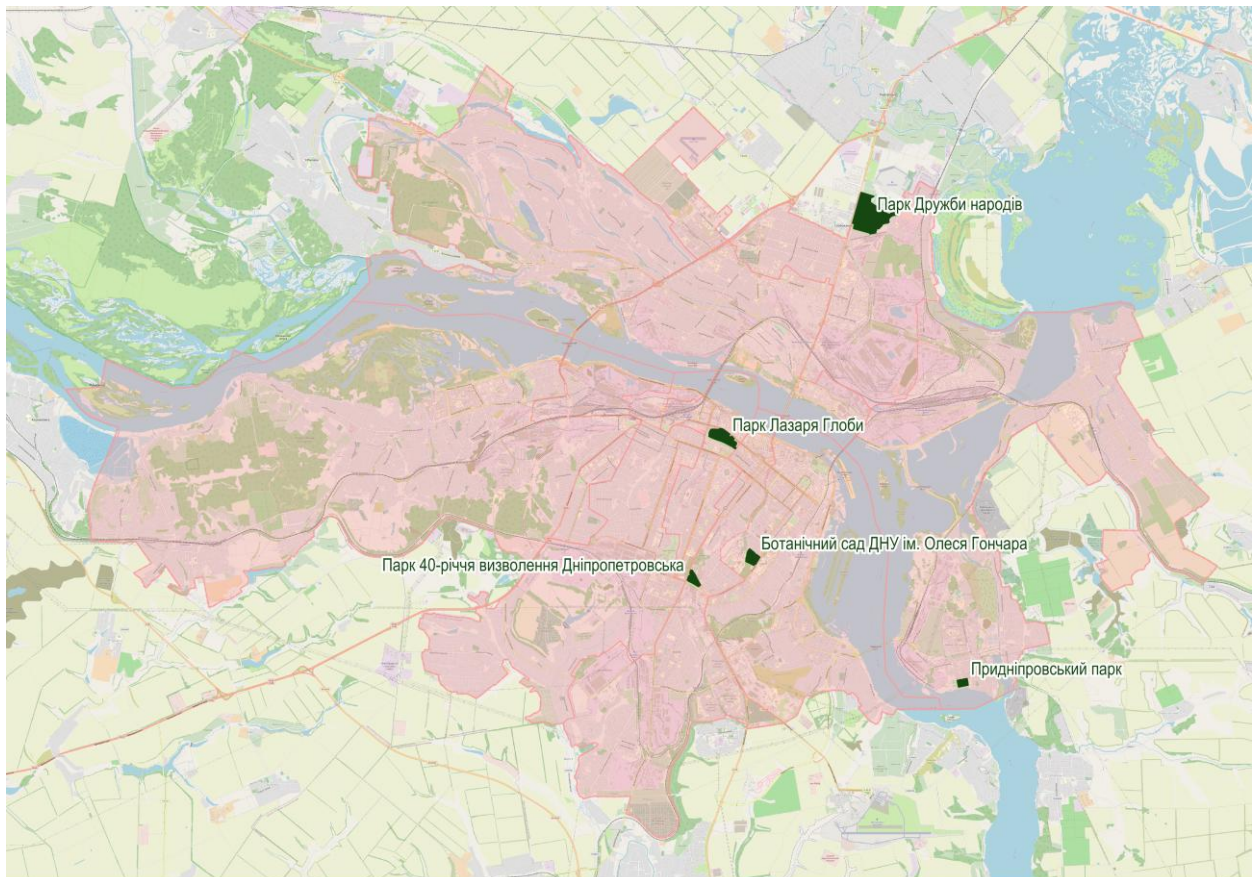


Рис. 2.1. Локації дослідження – паркові зони м. Дніпро

Парк 40-річчя визволення Дніпра або «Військове кладовище» знаходиться на перетині Запорізького шосе і вулиці Богдана Хмельницького. На місці парку були поховані воїни Великої Вітчизняної війни та мирні жителі, які загинули в той час. Єдина могила, яка вціліла на його території, це могила відомого архітектора Дніпра Олександра Леонтійовича

Красносільського. У центрі території рекреаційної зони розташовані військові поховання.

Парк Лазаря Глоби. Заснований до 1807 року. Парк є колишнім займищем запорожця Лазаря Глоби, на околиці тодішньої Половиці. У період 1768–1845 рр. колекція рослин у «Міському саду» налічувала 945 родів, а щорічний обсяг продажів до 20 тисяч саджанців. У 1858 році здійснено поділ території на Громадську, відкриту для відвідування, і Технічну, на якій здійснювалася селекційна діяльність, працювали теплиці та оранжереї, була організована школа садівництва та городництва.

За історичними даними, з липня по вересень 1910 року у парку відбулася промислова, сільськогосподарська і кустарна виставка, яка показала рівень науково-технічного прогресу у всіх галузях господарства Російської імперії перед Першою світовою війною (https://ua.igotoworld.com/ua/poi_object/13546_lazar-globa-park.htm).

У 1934 році радянська влада більшовиків переменувала «Міський сад» на «Центральний парк культури і відпочинку імені Хотаєвича» на честь 1-го секретаря Дніпропетровського обласного комітету КП(б)У Менделя Хотаєвича (<https://zabytki.in.ua/uk/159/park-lazarya-globy-u-dnipropetrovsku>). У 1937 році парк перейменовано на ім'я Валерія Чкалова. У 1992 році парк набув ім'я засновника козака – Лазаря Глоби. Композиційними архітектурними вузлами парку є центральне озеро, літній театр та картинг-центр.

Комунальне підприємство «Парк культури та відпочинку Придніпровський» Дніпровської міської ради підпорядковано департаменту парків та рекреації Дніпровської міської ради. Площа – 4917,9 га, створено 25 вересня 2008 році. Придніпровський парк є регіональним ландшафтним парком місцевого значення в Україні, об'єктом природно-заповідного фонду Дніпропетровської області.

Парк Дружби народів (Парк Дружби, Фестивальний лісопарк «Мир», Комсомольсько-фестивальний лісопарк» було засновано у 1957 році на

лівобережній частині міста Дніпропетровська. В квітні-травні відбулося масове закладання зелених насаджень. Ця подія відбулася у рамках проведення І-го обласного фестивалю молоді,

Офіційна дата заснування парку Дружби – 29 квітня 1957 року. За даними газети «Дніпровська правда» «Рада Міністрів Української ССР виділила Дніпропетровській міській Раді земельну ділянку у 120 гектарів вздовж Ново-Московського шосе для створення масиву. Бюро міському КП України та виконавчого комітету міського ради депутатів 29 квітня прийняли рішення – закласти Комсомольський лісопарк на честь 40-річчя Великої Жовтневої революції. Під час обласного фестивалю молоді 6 травня о 12 годині дня відбудеться закладка лісопарку. Кожен з учасників фестивалю посадить по одному дереву» (<https://vesti.dp.ua/gde-v-dnepre-nahoditsya-park-prizrak-foto>).

На території парку було висаджено п'ять тисяч дерев акацій, ясена, клена, береста. Було прийнято рішення присвоїти лісопарку назву «Комсомольський-фестивальний». У 1977 році відбулося оновлення парку у рамках проведення комсомольського суботника (<https://vesti.dp.ua/gde-v-dnepre-nahoditsya-park-prizrak-foto>).

2.2. Кліматичні і погодні умови району досліджень

Клімат у районі проведення досліджень помірно-континентальний. Характерною особливістю погодно-кліматичних умов є посушливе літо і відносно прохолодна малосніжна зима. У літній період недостатнє зволоження з високою температурою та дією суховіїв збільшує випаровування, яке призводить до дефіциту вологи, що несприятливо впливає на функціонування деревних рослин, якому присвячене дослідження [2].

Значний вплив на погодно-кліматичні умови м. Дніпро спричиняють циклони й антициклони, обумовлені Середземним морем та Атлантичним океаном. Рівнинний рельєф дозволяє без перешкод переміщуватися теплим

повітряним масам з півдня і холодним повітряним масам з півночі. У холодний період року повітряні маси інтенсивно переміщуються. При надходженні на територію міста циклонів з північного заходу на схід, повітря північних районів викликає похолодання. З різкими та частими коливаннями температури, тиску, вітру та опадів, така нестійка погода може залишатися на тиждень. В середині літа посилюються циклони, які несуть морське тропічне повітря з районів Середземного та Чорного морів. Антициклон котрий йде з Атлантики через Європу втрачає вологу та приносить до Дніпра жарку та суху погоду, восени не рідко трапляються посушливі явища [11]. Середньорічна температура повітря м. Дніпро $+10,1^{\circ}\text{C}$. Максимальна температура повітря $+38^{\circ}\text{C}$, мінімальна -21°C . Зима порівняно м'яка з похмурою погодою, з частими відлигами до плюс $5-10^{\circ}\text{C}$ і туманами. Але раз на 10–15 років в нічний час температура повітря може сягати позначки -25°C і нижче. Середня температура в грудні складає $-2,4^{\circ}\text{C}$, що характеризує цей місяць як найтеплішим серед зимових місяців. Найхолоднішим зимним місяцем є січень, середньомісячна температура складає $-3,6^{\circ}\text{C}$. У лютому температура поступово починає підвищуватись дець з середини місяця і середньомісячна температура складає $-3,4^{\circ}\text{C}$ [4].

Сніжний покрив нестійкий. Взимку глибина промерзання ґрунту сягає 50–60 см. Літо тепле, в окремі роки посушливе і фактично продовжується з травня по вересень. Середня температура в липні $+22-24^{\circ}\text{C}$, але середньоденні часто сягають $+32-34^{\circ}\text{C}$ а максимальні $+37-40^{\circ}\text{C}$. З середини червня і до кінця липня температура вночі зрідка буває нижче $+18$. Рекордно висока температура на відмітці $+40,9^{\circ}\text{C}$ була зафіксована в серпні 2010 року. Підвищення температури відбувається повільно на початку весни, зростання відбувається від березня до квітня приблизно на 8°C і від квітня до травня на 7°C . Міжмісячне зменшення температури спостерігається восени від вересня до жовтня (у середньому близько 7°C) та від жовтня до листопада (приблизно 6°C), що на 1°C менше від міжмісячних змін температури навесні. Середня

річна температура повітря складає 9°C. Найнижчі температури у добовому ході температури спостерігаються у зимний період [16].

У зимовий час до Дніпра проникає континентальне арктичне повітря, що приводить до різких похолодань та провокує підвищення тиску. Атмосферний тиск зростає до 1021 гПа і встановлюється антициклонна погода. За лютий та березень значення тиску розрізняється значенням у 2 гПа. Навесні тиск атмосферного повітря знижується до 1015 гПа. Баричний тиск остаточно перебудовується у травні продовжується зниження, але не суттєве, до середини літа де тиск знижується до 1012–1013 гПа, а з серпня знову починає зростати. Сезонні зміни та розподіл атмосферного тиску характеризують вітровий режим. Зміни баричної системи в основному часто викликають постійні дії напрямку та швидкості вітру.

Територія міста влітку підлягає впливу північних та північно-східних вітрів. Загалом за весь рік можна виділити переважаючі вітри за напрямком такі як південно-східні, північні та північно-західні. Умови штилю більше всього припадає на літо та на початок осені. В основному штилі спостерігаються вночі аніж вдень. Характеристика вітрів за рік відображено в табл. 2.1. На рисунку 2.2. представлена роза вітрів міста Дніпро.

Взимку в залежності від циркуляції повітря середня швидкість вітру становить 4,5–5,5 м/с. У літній період середня швидкість вітру варіюється від 3,5 до 4,5 м/с. На території області буває явище як порив вітру. Він може сягати за швидкістю до 25 м/с.

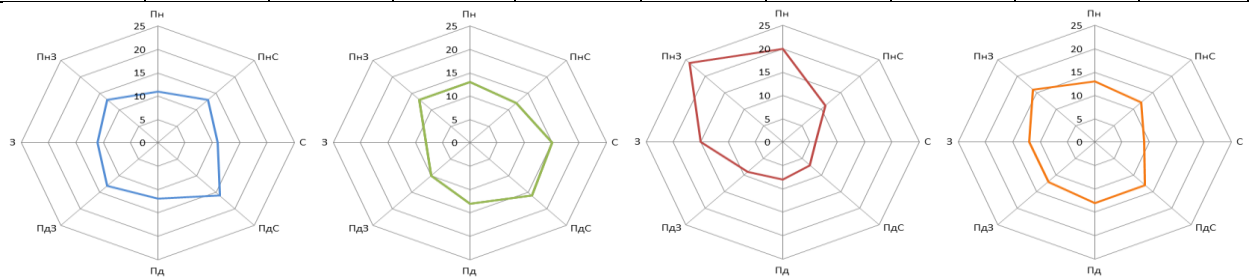
Відносна вологість повітря в умовах регіону дослідження змінюється протягом року від 60 % – у літні місяці та у вересні, до 90 % – у грудні. Середня величина вологості повітря в рік дорівнює 73 %.

Середньорічна кількість опадів сягає 547 мм, протягом вегетаційного періоду випадає до 71 % опадів. У березні та жовтні випадає найменша кількість опадів, а найбільша – у червні та липні. З квітня по вересень у теплі місяці року опадів випадає близько 60–68 % від річної їх кількості. В півтора або два рази менше їх випадає у найбільш посушливі роки (табл. 2.2).

Таблиця 2.1

Зустрйчальнысть (%) напрямку вiтрiв у м. Днiпро
(джерело – <https://gorod.dp.ua>).

Мiсяць	Пiвнiч.	Пiвнiч. -Схiдн.	Схiдн.	Пiвден. -Схiдн.	Пiвден.	Пiвден. -Захiдн	Захiдн.	Пiвнiч. -Захiдн	Штиль
Сiчень	11	13	11	16	12	13	11	13	8
Лютий	14	10	10	18	12	12	10	14	8
Березень	14	13	11	14	15	11	8	14	9
Квiтень	13	12	15	16	13	10	8	13	11
Травень	17	14	12	13	12	11	7	14	10
Червень	17	13	10	12	12	10	9	17	14
Липень	20	11	6	7	8	9	15	24	15
Серпень	19	11	8	8	11	8	13	22	17
Вересень	17	12	6	9	14	11	13	18	17
Жовтень	13	12	9	13	13	12	12	16	15
Листопад	10	13	19	21	11	9	7	10	10
Грудень	8	14	14	19	16	10	9	10	11
За рiк	15	13	11	14	12	10	10	15	12



Сiчень

Квiтень

Серпень

Жовтень

Рис. 2.2. Роза вiтрiв м. Днiпро

Таблиця 2.2.

Середнi данi вологостi повітря та кiлькiсть опадiв у м. Днiпро
(джерело – <https://travelask.ru>).

	Сiчень	Лютий	Березень	Квiтень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Вологiсть повітря, %	88	85	79	67	62	62	65	62	70	77	87	88

Кількість опадів, мм	45	43	43	38	42	60	54	43	41	37	46	47
----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Відносна вологість повітря в умовах регіону дослідження змінюється протягом року від 60 % – у літні місяці та у вересні, до 90 % – у грудні. Середня величина вологості повітря в рік дорівнює 73 %.

Таким чином, погодно-кліматичні умови відповідають вимогам біологічного виду, інтродукта з північної Америки – робінії несправжньоакації, що дозволяє успішно культивувати зазначений деревний вид у насадженнях паркових зон м. Дніпро.

2.3. Ґрунтові умови району досліджень

Функціонування паркових фітоценозів й продуктивність автотрофного блоку екосистем значно залежить від типу й стану ґрунту [15]. Ґрунти м. Дніпро належать до групи зональних ґрунтів. Розвиток ґрунтового покриву забезпечують еолово-делювіальні четвертинні відкладення легкого, середнього і важкого мінерального складу у вигляді суглинків.

ВМІСТ ПРОМИСЛОВИХ ТОКСИКАНТІВ У ҐРУНТАХ МІСТ У 2019 РОЦІ

ЦЕНТР
СПІЛЬНИХ
ДІЙ



Рис. 2.3. Металічні елементи у складі ґрунтів міст України (<https://www.056.ua/news/2873418/dnepr-nazvali-gorodom-s-samym-graznym-vozduhom-i-pocvoj>)

На рис. 2.3. наведено вміст металічних елементів у складі ґрунту міста Дніпро у порівнянні з концентраціями зазначених металічних елементів у ґрунтах інших крупних промислових міст України, Дані демонструють переважання Цинку й перевищення державних нормативів цього елемента та наявність таких токсичних елементів – Нікелю, Кадмію, Плюмбуму у ґрунтах дослідних локацій

Розділ 3

Експериментальна частина

3.1. Характеристика об'єкта досліджень – *Robinia pseudoacacia* L.

Робінія несправжньоакація походить з Атлантично-північноамериканської області Бореального підцарства Голарктичного царства [38] (рис. 3.1). Це розповсюджений вид деревних рослин [58]. Згідно даних G. Li та ін. [37] розповсюдження насаджень робінії за межою її ареалу у Північній Америці становить понад 30 тис. км² у тридцяти п'яти країнах. За даними S. E. Reichard [47] «лінія поширення робінії несправжньоакації у 1825 р. обмежувалася 50–54° південної широти».

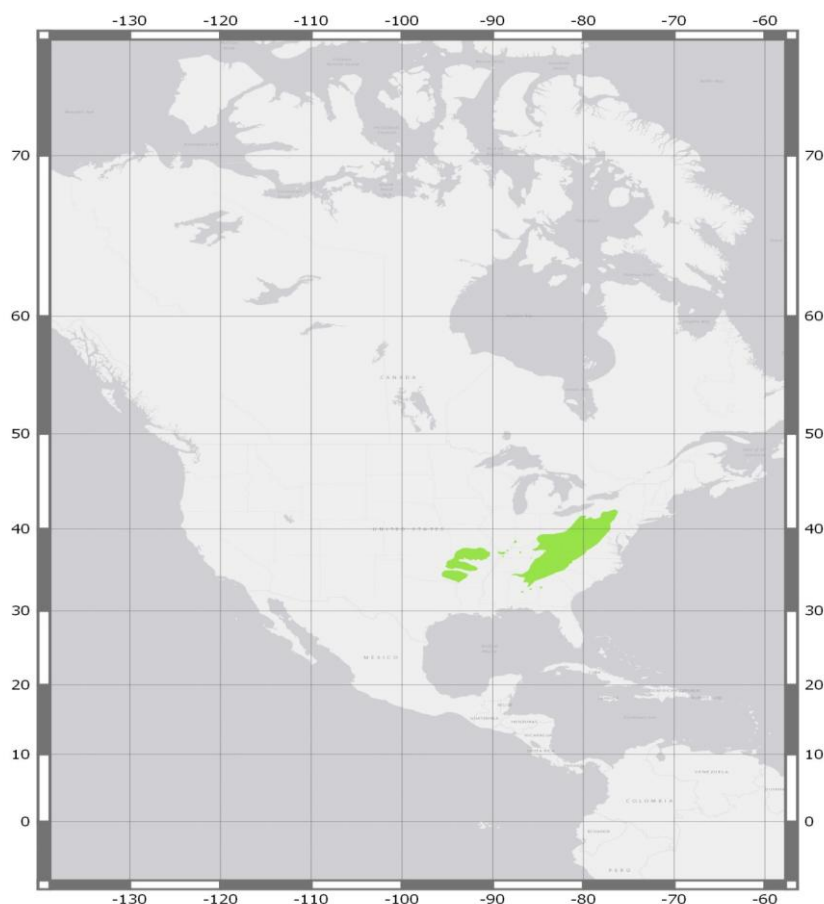


Рис. 3.1. Поширення робінії несправжньоакації (джерело інформації – USGS Geosciences and Environmental Change Science Center)

Robinia pseudoacacia культивується у регіонах зі значеннями температури атмосферного повітря від 6 до 11 °C [49]. На Європейському

континенті зростання робінії обмежується абіотичними екологічними факторами [23]. Стратегією екологічних відносин цього виду визначається експлерентністю [40,52,21].

За даними L.Lazzaro та ін. [36] процес інвазії робінії спричинив композиційний зсув у видовому різноманітті екосистеми. У ландшафтному просторі степової природної зони України стратифікований підхід до насаджень акації білої рекреаційного призначення має забезпечувати відповідність абіотичним умовам зростання та оптимальний догляд з врахуванням потреб деревного виду. *Robinia pseudoacacia* посідає провідне місце у паркових насадженнях країн світу [42, 57].

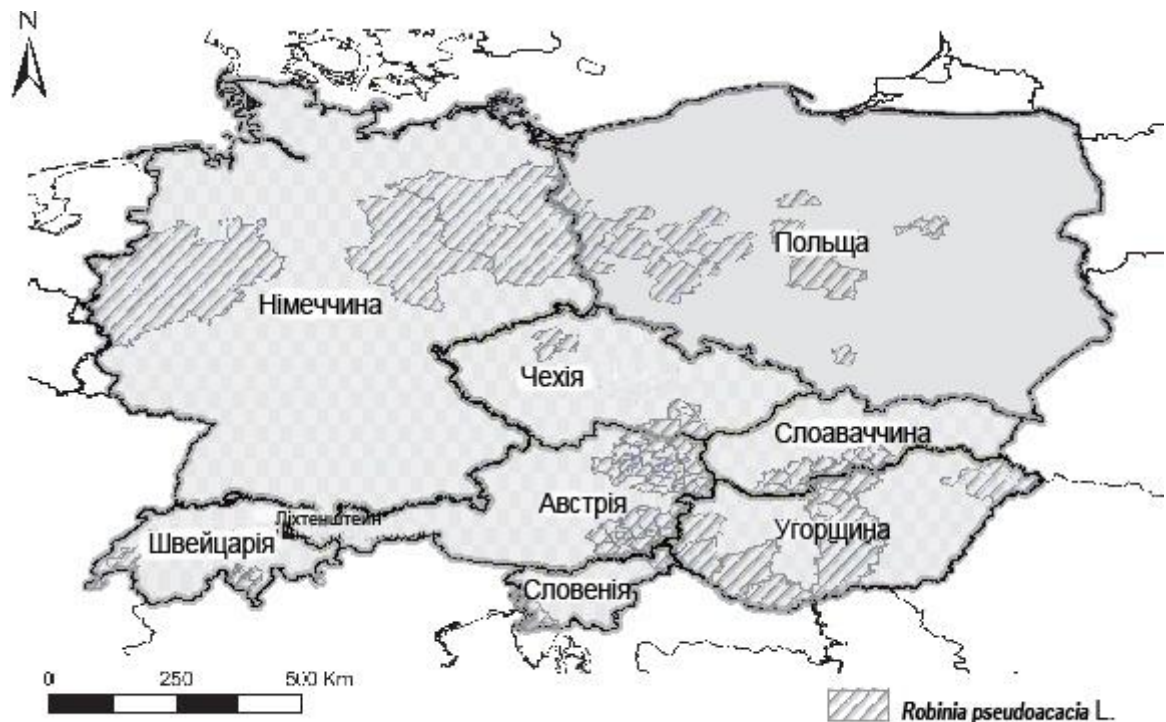


Рис. 3.2. Країни поширення робінії несправжньоакації (джерело інформації – [52])

У країнах Європи, робінія несправжньоакація набула застосування як перспективний вид інтродукованих дерев для створення паркових насаджень (рис. 3.2.) [46].

Абіотичні чинники регіону дослідження, зокрема сума та річний розподіл опадів, дефіцит ґрунтової й атмосферної вологи, є оптимальними для культивування деревних рослин, зокрема *Robinia pseudoacacia*.

Меліоративний потенціал робінії *Robinia pseudoacacia* по відношенню до забруднюючих речовин висвітлено у працях [19,26,39,56].

3.2. Методика проведення роботи

Дослідження, які спрямовані на виконання магістерської роботи, дозволяють встановити ремедіаційний потенціал деревної породи – робінії несправжньоакації, яка входить до складу паркових насаджень рекреаційних зон урбоекосистеми міста Дніпра.

Підготовка зразків ґрунту, тобто відбір, пакування, зберігання та транспортування для визначення концентрації металічних елементів здійснено за вимогами ДСТУ 17.4.3.01–83 «Ґрунти. Загальні вимоги до відбору проб» та ДСТУ 17.4.3.01–83. «Методи відбору та підготовки проб для хімічного аналізу».

Дослідні зразки ґрунту у кількості 15 проб відібрано у паркових насаджень у місцях зростання дерев робінії несправжньоакації. Вміст металічних елементів у зразках ґрунту визначали за методом атомно-абсорбційної спектрометрії за вимогами ДСТУ 30178-96 (2002) за довжини хвиль (нм): Кадмій – 228,8; Плюмбум – 283,3; Купрум – 324,7; Цинк – 324,7.

Визначення концентрації неорганічних контамінантів проведено згідно вимог нормативного документу 2.1.7.2511–09 «Орієнтовно допустимі концентрації хімічних речовин у ґрунті» (ОДК) та значень гранично дозованих концентрацій хімічних речовин у ґрунті за показниками шкідливості ДСанПіН 2.2.7.029–99 (ГДК).

При визначенні концентрації металічних елементів підготовку дослідних зразків фітомаси фракції листя здійснювали за методикою Margui et al. (2015). Дослідні наважки асиміляційних органів масою 0,3 г, досягали порошкоподібного стану.

Встановлення вмісту металічних контамінантів у фітомасі проводили за допомогою з використанням методики плазмово-оптичної емісійної спектроскопії. Умови інструментальних вимірювань спектрофотометру: потужність – 1200 Вт, витрата плазми – 12 л·хв⁻¹; детектор – багатоканальна передача заряду; небулайзер – концентричний; довжина хвиль випромінювання – Кадмій (226,502 нм), Купрум (327,395 нм), Плюмбум (220,353 нм), Цинк (202,548 нм) (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Засоби вимірювання металічних контамінантів

Концентрація хімічних елементів у дослідних зразках ґрунту та фітомасі листя оброблена методами математичної статистики з використанням програмного забезпечення IBM SPSS Statistics 23.

Встановлення відповідності виду абіотичним умовам у паркових насадженнях міста Дніпро проведено за розрахунком відношенні есенціальних металів Цинку і Купруму, що зазначені у роботі [8].

Визначення меліоративного потенціалу обумовлює встановлення залежностей акумулювання забруднювачів довкілля у надземній частині дерев акації білої, а саме у листяній фракції.

Визначення мобілізації металічних елементів застосовано коефіцієнт біологічної акумуляції – відношення середньої концентрації контамінанта у складовій надземної фітомаси до середньої концентрації у ґрунті за формулою [20]:

$$K_{бак} = C_{ф} / C_{суб}, \quad (1)$$

де $K_{бак}$ – коефіцієнт біологічної акумуляції; C_{ϕ} – вміст металічного елементу у компартменті надземної фітомаси, $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$; $C_{суб}$ – вміст металічного елементу у ґрунті, $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Карти розподілу металічних елементів розроблені за методом зваженої інтерполяції (*Inverse Distance Weighted Interpolation*) з використанням програми QGIS (https://docs.qgis.org/3.4/en/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html#figure-idw-interpolation). Роблені карти базувалися на розрахованих значеннях концентрації металів, які були визначені у дослідних зразках асиміляційних органів рослин *Robinia pseudoacacia* паркових рекреаційних зон міста Дніпро.

3.3. Результати проведеної роботи та їх аналіз

3.3.1 Аналіз ґрунтів паркових зон м. Дніпро на вміст важких металів

Першим етапом дослідження депонувального потенціалу робіниї несправжньоакації стало визначення вмісту важких металів (Цинк, Кадмій, Плюмбум, Купрум) у дослідних зразках ґрунту, які було відібрано на пробних ділянках паркових зон міста Дніпро.

Таблиця 3.1.

Вміст металічних елементів у ґрунтах паркових зон місто Дніпро, $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$

Металічні елементи	Дослідна локація					ГДК	ОДК	Кларки елементів у ґрунтах
	Парк Дружби народів	Ботанічний сад ДНУ ім. Олеся Гончара	Парк 40-річчя визволення Дніпропетровська	Парк Лазаря Глоби	Придніпровський парк			
Цинк	32,8	23,8	24,1	29,2	20,5	23,0	110,0	158,0
Плюмбум	73,2	73,8	81,5	68,0	61,3	32,0	65,0	54,5
Купрум	15,0	22,1	22,1	22,3	11,4	3,0	66,0	39,0
Кадмій	0,74	0,46	0,77	0,67	0,79	н/н	1,0	0,9

У таблиці 3.1 наведено значення фактичного вмісту металічних елементів у ґрунтах парків, значення дозволених нормативних концентрацій досліджуваних контамінантів та кларки цих елементів у ґрунтах уброекосистем.

Наведені у таблиці 3.1 значення гранично допустимих концентрацій та орієнтовно допустимих концентрацій валового вмісту хімічних речовин у ґрунтах різного використання дозволяють визначити істотну відмінність між нормативними значеннями концентрації хімічних речовин у ґрунті.

Аналіз отриманих результатів дозволив встановити, що вміст Цинку у ґрунтах паркових зон міста Дніпро знаходиться у діапазоні значень 20,5–32,8 мг·кг⁻¹. Перевищенням ГДК, у різному ступені перевищення, за даним хімічним елементом характеризуються ґрунти усіх парків, максимальне з яких наявне у парку Дружби народів.

Фактичні концентрації Кадмію у досліджуваних ґрунтах можливо порівняти лише зі значеннями ОДК. Встановлено, що визначені концентрації не перевищують норматив, та узгоджуються з регламентованими значеннями кларків цього елемента в ґрунтах міст.

Вміст Плюмбуму у досліджуваних ґрунтах більш тяжіє до значень ОДК. При порівнянні зі значеннями ГДК можна констатувати перевищення, максимальне з яких спостерігається у ґрунтах парку 40-річчя визволення Дніпра і становить 2.5 рази. Зазначимо,, що на усіх дослідних ділянках фіксується подвійне перевищення ГДК цього елемента.

Акумуляція *Pb* у субстраті вирощування можливо визначається незначною мобільністю його катіонів. Різноманітні види ґрунтів обумовлюють різну швидкість зникнення Плюмбуму, яка становить від чотирьох до тридцяти грам на гектар у рік [7]. За даними Woch [54] даний метал накопичується тільки у поверхневому шарі ґрунту – 0–2,5 см.

Аналізуючи стан ґрунтів парків міста Дніпро, можна зазначити наступне. У ґрунтах парків Дружби народів, Лазаря Глоби та парку 40-річчя визволення Дніпропетровська наявне перевищення для трьох із чотирьох

досліджуваних елементів – Цинку, Плюмбуму, Купруму. Перевищення нормативів для двох металічних елементів – Плюмбуму та Купруму, характерне для ґрунтів Ботанічного саду ДНУ імені Олеся Гончара та Придніпровського парку. Зазначимо, що ґрунт у останньо згаданому парку, хоча і має перевищення, проте мінімальні з усіх парків міста Дніпро.

Таким чином, ґрунти з усіх досліджуваних пробних площ парків міста Дніпро не відповідають нормативам гранично дозованих концентрацій за металічними елементами – Цинком, Плюмбумом та Купрумом. Вміст Кадмію відповідає орієнтовно допустимим концентраціям за умови відсутності легітимного значення гранично дозованих концентрацій.

3.3.2. Акумуляція металічних елементів у асиміляційних органах робінії несправжньоакації

Визначенню вмісту елементів групи важких металів підлягала фітомаса листяної фракції робінії несправжньоакації. Результати аналізування концентрації досліджуваних металів у асиміляційних органах досліджуваного виду наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Вміст елементів групи важких металів у фітомасі листяної фракції робінії несправжньоакації у паркових зонах м. Дніпро

Локація	Металічні елементи, мг·кг ⁻¹ сухої речовини			
	Цинк	Купрум	Плюмбум	Кадмій
Парк Дружби народів	30,28	8,23	8,78	0,35
Ботанічний сад ДНУ ім. Олеся Гончара	17,61	7,06	8,85	0,18
Парк 40-річчя визволення Дніпропетровська	21,17	16,43	10,59	0,42
Парк Лазаря Глоби	24,54	17,20	9,52	0,41
Придніпровський парк	15,80	4,77	8,58	0,39

Дані, які наведені у таблиці 3.2 дозволяють встановити, що концентрація Цинку у асиміляційних органах робінії несправжньоакації паркових зон міста Дніпро знаходиться у діапазоні значень 15,8–30,2 мг·кг⁻¹,

тобто наявна двократна відмінність за вмістом зазначеного елементу. Максимальна концентрація Цинку фіксується у листяній фракції робінії насаджень парку Дружби народів, мінімальна – у робінієвих деревостанах Придніпровського парку.

Таблиця 3.3

Концентрація металічних елементів у фітомасі асиміляційних органів робінієвих деревостанів рекреаційних зон м. Дніпро, $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$

Метали	За даними літератури				Фактичний вміст у фітомасі робінії
Мідь	2,0–12,0	5,0–30,0	15,0–20,0	2,0–20,0	4,8–16,4
Свинець	0,1–5,0	1,5–14,0	–	0,05–5,0	8,5–10,6
Цинк	15,0–150,0	15,0–150,0	150,0–300,0	–	15,8–30,3
Кадмій	не нормується				0,18–0,42

За даними Н.І. Дроздової [5] ознаки токсичності Цинку у рослин відмічають за його вмісту у тканинах рослин $300\text{--}500 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ сухої речовини. Вміст Zn $200 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ фітомаси обумовлює прояви токсичної дії [30]. Стійкі види мають механізми нівелювання впливу збільшеної концентрації Zn пристосуваннями фізіолого біохімічних процесів.

За умови незначного перевищення гранично дозволеної концентрації Zn у субстраті вирощування у досліджуваний біомасі листя *Robinia pseudoacacia* концентрації полютанту мали значення, які тяжіють до нижчої межі у діапазоні оптимальних значень.

За умови незначного перевищення гранично дозволеної концентрації Cu у досліджуваних ґрунтах, у фітомасі асиміляційних органів зафіксовано достатньо низьку його концентрацію $4,8\text{--}16,4 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$. За дослідженнями Н. С. Касімова [10] вміст Купруму нижчий за $2 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ є дефіцитним для рослинних організмів.

Депонування міді малої інтенсивності у листяній фракції робінії можливо обумовлюються незначною рухливістю іонів Cu^{+2} , які можуть активно зв'язуватися із компонентами клітинних стінок клітин кореневої системи рослин. Перевищення критичного значення концентрації цього

металічного елементу для вищих рослин у $20 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ у робінії несправжньоакації не встановлено.

У дослідженні встановлено, що діапазон концентрації токсичного металу Кадмію у надземній фітомасі асиміляційних органів дерев робінії становить – $0,18\text{--}0,42 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$. Цей металічний елемент, не є есенціальним елементом для росту й розвитку рослин, проте ефективно поглинається кореневою системою [26,29]. Значення концентрацій, які не є токсичними для рослинних організмів у науковій літературі відсутні. Вважаємо, що факт наявного Кадмію у будь якій концентрації у тканинах рослин може свідчити про неоптимальний стан навколишнього середовища місцезростання рослини за цим металічним елементом.

Об'єм викидів у регіоні дослідження становить близько $35 \text{ г} \cdot \text{га} \cdot \text{рік}^{-1}$ металічного Кадмію [5]. За даними Reid et al [48] вміст зазначеного політанта у ґрунтах понад $40 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ домінує абсорбція корінням, за меншої концентрації збільшується поглинання через листя.

Обмін Кадмію у рослинах зазначений у багатьох роботах. Поглинання цього елементу фоліарним шляхом здійснюється розподілення за компартментами надземної фітомаси за ситоподібними трубками провідних тканин. Дослідженнями Mortensen [41] доведено переміщення Кадмію до вегетативних і генеративних органів у вигляді позитивно заряджених часток.

Реакції свинцю з іншими хімічними елементами у різних умовах середовища не дозволяє встановити значення концентрації, які є токсичними для рослинних організмів [18]. У роботі Alriksson & Eriksson [17] стимулювальний ефект катіонів свинцю на абсорбцію Кадмію кореневою системою може бути обумовлено зміною переносу сигнальних молекул через мембрану клітини.

Аналіз результатів дослідження концентрацію свинцю у листі *Robinia pseudoacacia* дозволив встановити, що за концентрації зазначеного контамінанту у ґрунтах паркових зон, яка незначно перевищувала нормативні значення гранично дозволеної концентрації, у асиміляційних органах

досліджуваних рослин вміст зазначеного елемента становив 8,5–10,6 мг·кг⁻¹. Відсутня значна дисперсія акумулювання Плюмбуму за локаціями відбору проб фітомаси. Спираючись на концентрації, які вважаються оптимальними для росту й розвитку рослин, можна зазначити, що визначені концентрації Плюмбуму у листі робінії паркових насаджень м. Дніпро значно перевищують оптимальні, та можуть визначатися як токсичні, для функціонування досліджуваного виду.

Отримані у дослідженні значення концентрації металів дозволяють стверджувати, що більшого накопичення, метали, які спричиняють токсичну дію, демонструють дерева робінії, що є складовими фітоценозів парку 40-річчя визволення Дніпропетровська та парку Лазаря Глоби. Значно меншим акумулюванням, як Кадмію так і Плюмбуму, характеризується фітомаса асиміляційних вегетативних органів дерев досліджуваного виду у ботанічному саду ДНУ (рис. 3.4).

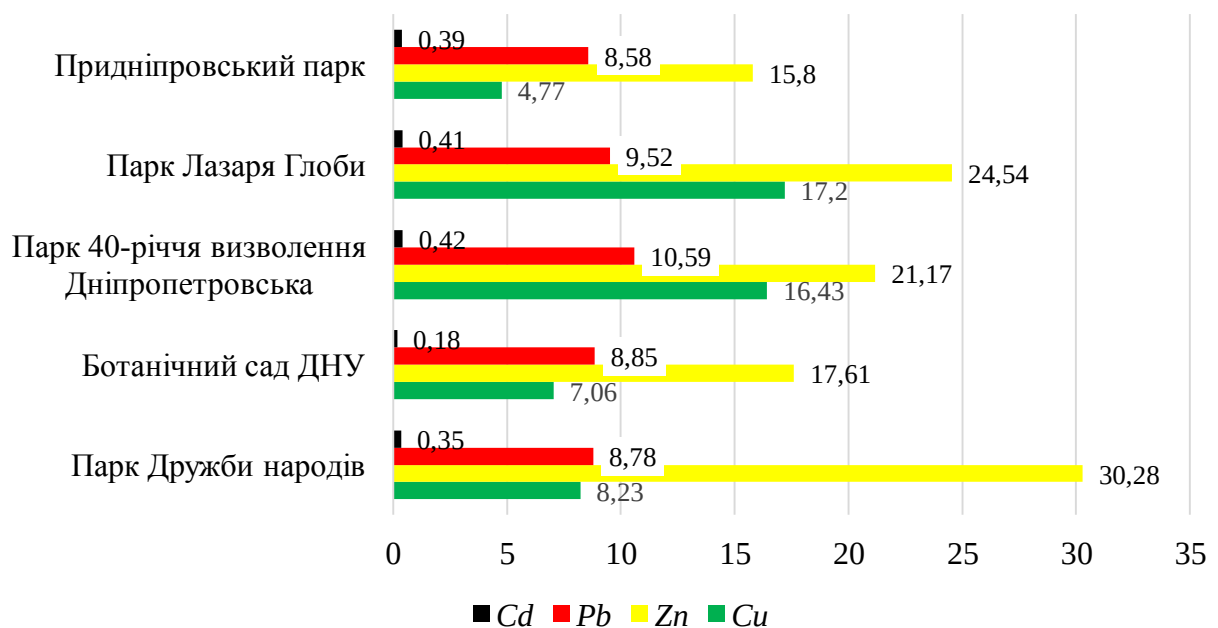


Рис. 3.4. Концентрування металічних елементів у фітомасі листя робінії несправжньоакації у паркових насадженнях м. Дніпра

Оцінювання ремедіаційного потенціалу досліджуваного деревного виду передбачало визначення характеристик, які показують співвідношення

концентрації металічних елементів у надземних асиміляційних органах до вмісту цього ж металічного елементу у ґрунті. Даний показник може слугувати і визначальним при встановленні меліоративних можливостей рослинних організмів при накопичувальному ефекті поглинання контамінантів з ґрунту.

На наступному етапі дослідження було розраховано коефіцієнт біологічної акумуляції, який визначає потенціал депонування металічних елементів (табл. 3.4).

Згідно шкали Авессаломова [1] при значенні коефіцієнта біологічної акумуляції, яке відповідає діапазону $10,0 > K_{бак} \geq 1,0$, відбувається накопичення металів, що може спричиняти фітотоксичну дію на деревні рослини.

За даними літератури значення відношень мобілізації неорганічних контамінантів із субстрату вирощування до асиміляційних органів рослин складають: Плюмбум – 0,01–0,1; Купрум – 0,1; Цинк та Кадмій – 1,0–10,0 [5].

Таблиця 3.4

Коефіцієнт біологічної акумуляції металічних елементів асиміляційних органів робінії несправжньоакації у паркових зонах м. Дніпро

Локація	Коефіцієнт біологічної акумуляції			
	Zn	Cu	Pb	Cd
Парк Дружби народів	0,92	0,55	0,12	0,47
Ботанічний сад ДНУ ім. Олеся Гончара	0,74	0,32	0,12	0,46
Парк 40-річчя визволення Дніпропетровська	0,88	0,64	0,13	0,77
Парк Лазаря Глоби	0,84	0,77	0,14	0,67
Придніпровський парк	0,77	0,42	0,14	0,79

Результатами аналізування отриманих у дослідженні розрахованих значень $K_{бак}$ до металічних контамінантів ґрунту, найбільш значного акумулювання можна віднести Цинк ($K_{бак} = 0,74–0,92$), який є фізіологічно облігатним металічним елементом метаболізму рослин. Проте перевищення одиниці, фактичними значеннями коефіцієнта біологічної акумуляції, не спостерігалось.

Значення отриманих у дослідженні коефіцієнтів біологічної акумуляції не відповідали діапазону $1,0 > K_{бак} \geq 0,1$, свідчить про те, що метали, які проаналізовано мають більш ніж незначне накопичення у фітомасі листя.

Інтенсивність акумулювання елементів групи важких металів для робінії несправжньоакації, яка входить до складу паркових насаджень міста Дніпро, можна представити у вигляді наступного ряду акумулювання: асиміляційні органи: $Zn > Cu > Pb > Cd$.

Наведена послідовність демонструє більш інтенсивне поглинання й акумулювання у фітомасу листяної фракції Цинку і Купруму та менш істотне для Плюмбуму й Кадмію.

Визначені у дослідженні концентрації металічних елементів у фітомасі асиміляційних органів досліджуваних дерев *Robinia pseudoacacia* не спричиняли хлорозів, некрозів, інфікування патогенами та ураження шкідниками.

Таким чином, інтерпретація результатів коефіцієнтів біологічної акумуляції дозволяє інформувати, що більш вагомий показник акумулятивної активності листя робінії несправжньоакації наявний для Цинку.

Визначення фізіолого-біохімічного стану *Robinia pseudoacacia* за умови культивування дерев на ґрунті з перевищеними нормативами за важкими металами проведено за розрахунком коефіцієнта Cu/Zn , [8]. Відношення металічних елементів Cu/Zn у рослин демонструє ступінь забезпечення неорганічними контамінантами процесів утворення ензимів. Оптимальним для рослинних організмів, які зростають у сприятливих умовах є значення $0,27 Cu/Zn$. Отриманні показники коефіцієнту для досліджуваних дерев *Robinia pseudoacacia* у рекреаційних насадженнях міста Дніпро наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Коефіцієнт фізіолого-біохімічних процесів робінії несправжньоакації

Коефіцієнт металічних елементів	Рекреаційні зони м. Дніпро				
	Парк Дружби народів	Ботанічний сад ДНУ ім. Олеся Гончара	Парк 40-річчя визволення Дніпропетровська	Парк Лазаря Глоби	Придніпровський Парк
<i>Cu/Zn</i>	0,60	0,43	0,73	0,92	0,54

Значно вищими за оптимум виявилися отримані у дослідженні значення. У фітомасі листя дерев робінії зафіксовано наступні перевищення оптимального значення: Парк Дружби народів – 2,2 ; Ботанічний сад ДНУ ім. Олеся Гончара – 1,6; Парк 40-річчя визволення Дніпропетровська – 2,7; Парк Лазаря Глоби – 3,4; Придніпровський парк – 2,0. Встановлені перевищення зафіксовано за умови, що концентрації Zn та Cu, які є токсичними для рослин, у листяній фракції досліджуваних рослин *Robinia pseudoacacia* не перевищені.

3.3.3. Градієнт акумулювання металічних елементів у фітомасі робінії

На основі встановлених у дослідженні значень концентрації металічних елементів у фітомасі листя *Robinia pseudoacacia* за методом ГІС-технологій було проведено розроблення картографічного матеріалу акумулювання контамінантів у фітоценозах міста Дніпро.

Одержані у дослідженні ГІС карти розподілу депонування таких металів, як Купрум, Кадмію, Цинк й Плюмбуму у фітомасі робінієвих паркових наведено на рис. 3.4–3.7.

Отримані у дослідженні карти дозволять стверджувати, що депонування Кадмію у надземній фітомасі дерев *Robinia pseudoacacia* становить 0,21–0,39 мг·кг⁻¹. Максимальні площі, на яких зосереджені системи міських зелених насаджень характеризуються максимальним концентруванням ($\geq 0,39$ мг·кг⁻¹) цього елементу.

Концентрування свинцю у асиміляційних органах дерев акації білої є достатньо значною і відповідає діапазону значень $8,87\text{--}10,30\text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$. Переважна площа у міських насадженнях досліджуваного виду у місті Дніпро представлена насадженнями, що депонують у фітомасі листя $9,45\text{--}9,43\text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ даного металічного елементу та зосереджені у західній частині міста.

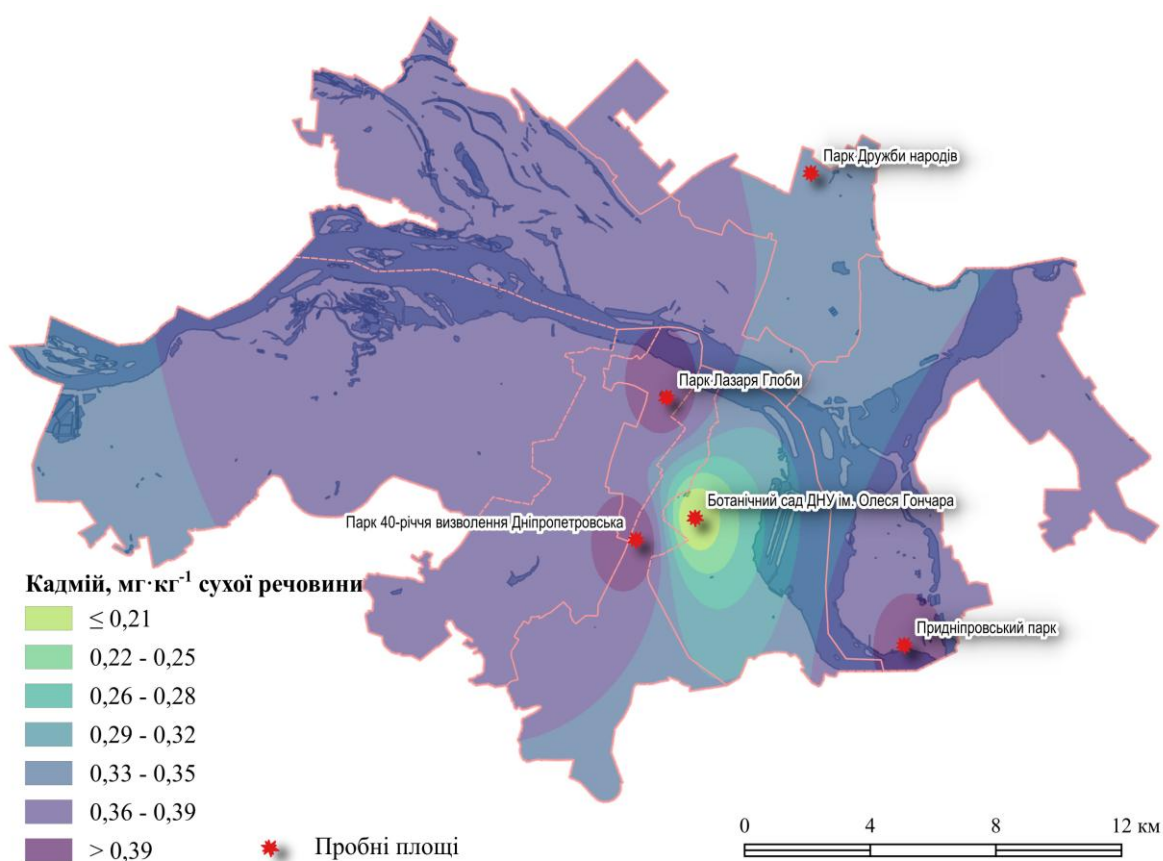


Рис. 3.4. Акумулявання Кадмію у фітомасі асиміляційних органів насаджень робінії несправжньоакації у місті Дніпро

За розподілом концентрування міді у фракції асиміляційних вегетативних органів дерев робінієвих можна спостерігати домінування площі у західній частині міста, на якій зростають дерева, які акумулюють концентрації Купруму $11,88\text{--}13,64\text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$. Звертає увагу локація з максимальним акумулюванням, більш ніж $28,20\text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ цього металічного елементу, біля парку імені Лазаря Глоби.

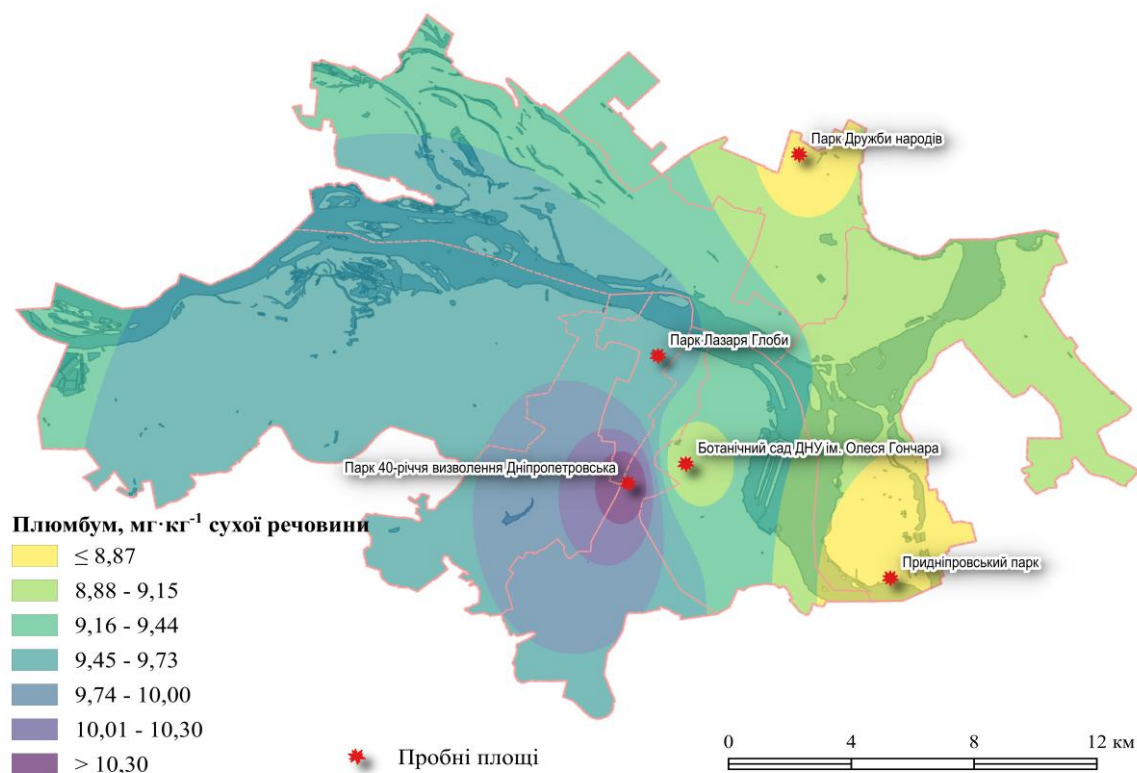


Рис. 3.5. Акумулявання Плюмбуму у фітомасі асиміляційних органів насаджень робінії несправжньоакації у місті Дніпро

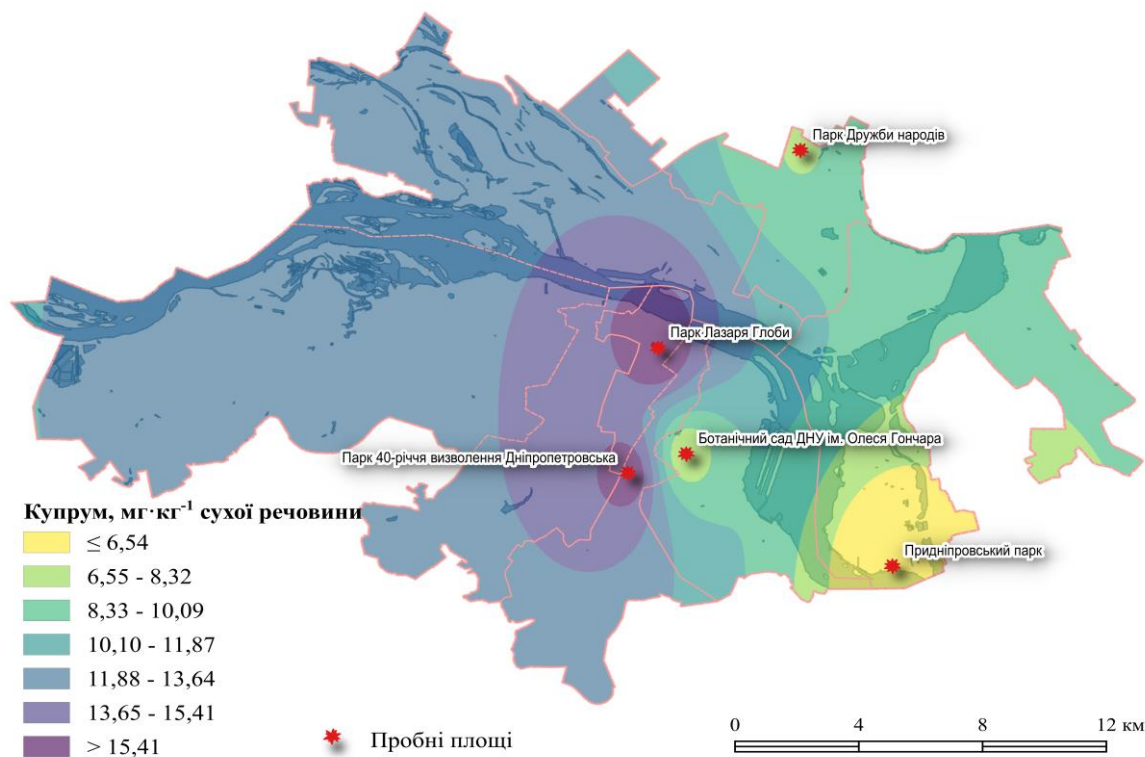


Рис. 3.6. Акумулявання Купруму у фітомасі асиміляційних органів насаджень робінії несправжньоакації у місті Дніпро

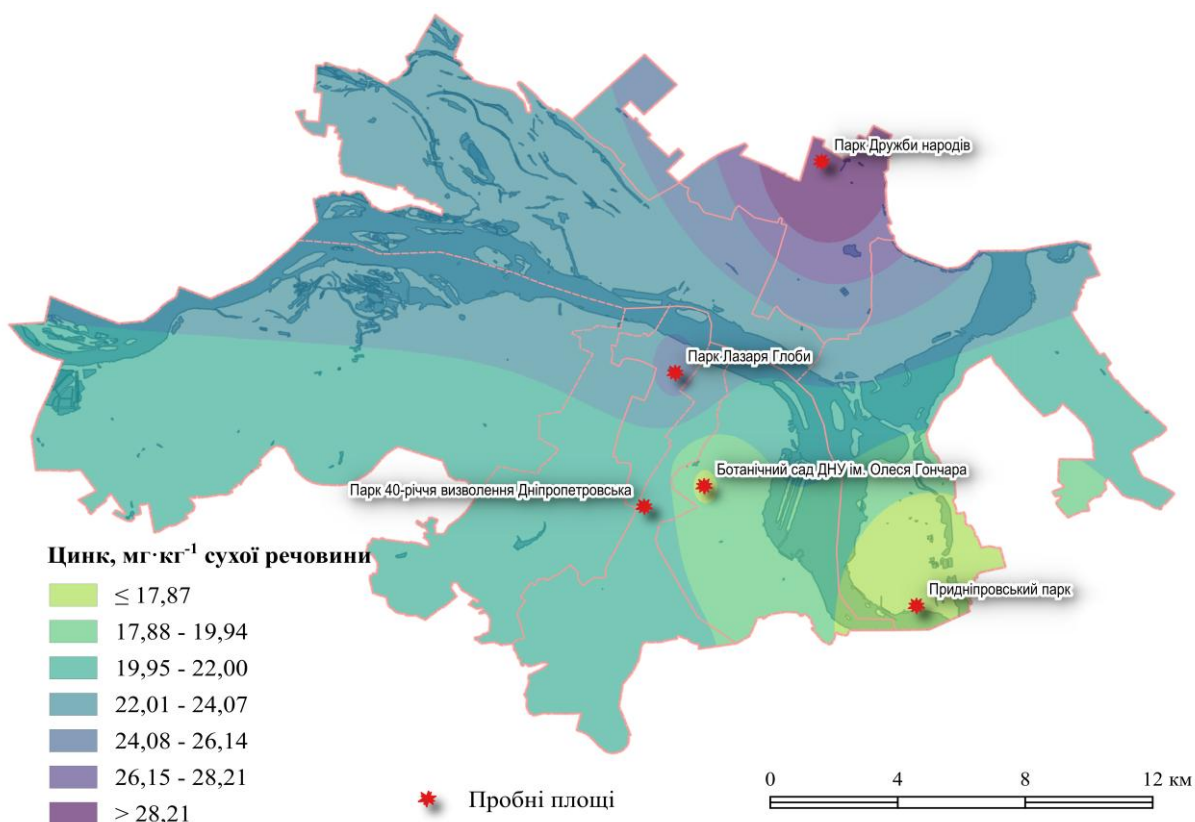


Рис. 3.7. Акумулявання Цинку у фітомасі асиміляційних органів насаджень робінії несправжньоакації у місті Дніпро

Між встановлених градацій акумулявання Цинку у паркових насадженнях переважають площі з робінією, яка акумулює $19,95\text{--}22,20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, що є середніми значеннями, які визначено для цього металічного елементу. Встановлено локації незначної площі з максимальними концентраціями ($>28,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Цинку листяній фракції робінії, які зосереджені біля парку Дружби народів.

Розділ 4

Заходи з охорони праці

4.1. Визначення впливу на здоров'я працюючого металічних елементів у біомасі *Robinia pseudoacacia* L. рекреаційних зон м. Дніпро

Забруднення навколишнього середовища шкідливими та токсичними металічними елементами зараз набуло вражаючих темпів та масштабів розповсюдження. Атмосфера промислових міст забруднена промисловими викидами, які містять елементи групи важких металів. Викиди антропогенного походження обумовлюють присутність металічних елементів у різних компартментах довкілля – повітрі, поверхневих і питних водах, у ґрунтах, де акумулюються кореневі системи рослин та потрапляють у кругообіг речовин у природних екосистемах. Саме тому, токсичні металічні елементи локалізуються у продуктах харчування, косметичних засобах, предметах інтер'єру тощо.

Металічні елементи, як Феруму, Купрум, Цинк, Молібден, у якості мікроелементів відіграють фізіологічну роль: беруть участь у біологічних процесах і є необхідними для правильного функціонування рослин людей – синтезі вуглеводів, білків, вітамінів.

Металічні елементи групи важких металів та їх сполуки у певних концентраціях надають токсичний вплив на організм людини, викликаючи низку захворювань. Деякі метали можуть довго накопичуватися у тканинах – м'язовій, нервовій, сполучних (крові, лімфі, фіброзній) тощо.

Надмірне надходження Кадмію в організм може призводити до анемії, ураження печінки, порушення функції легень, остеопорозу, деформації скелета, розвитку гіпертонії. Цей металічний елемент накопичується у нирках та може бути причиною виникнення сечокам'яної хвороби.

Плюмбум, поряд з Арсеном, Кадмієм, Нідраргірумом належить до класу високонебезпечних речовин. Плюмбум накопичується в кістках, викликаючи їх поступове руйнування, акумулюється в печінці та нирках,

може викликати зниження працездатності, погіршення пам'яті та навіть хронічні захворювання мозку.

Кількість викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище зростає, металічні елементи акумулюються у фітомасі деревних рослин, що спричиняє вплив на життєдіяльність.

Всесвітня організація охорони здоров'я Організації об'єднаних націй, вважає, що на сьогоднішній день 25–50 % від сукупності всіх факторів, що впливають, становить вплив забруднюючих речовин. Тому з упевненістю можна сказати, що жителі мегаполісів та науковці, які працюють з біомасою рослин, у якій акумульовано металічні елементи групи важких металів, більшою мірою зазнають негативний вплив навколишнього середовища.

У програми моніторингу стану здоров'я дослідників, які працюють з біомасою робінії несправжньоакації (*Robinia pseudoacacia* L.), яка містить токсичні металічні елементи, включено розширену check-up діагностику, в рамках якої можливо визначити ступінь вмісту металічних елементів важких металів в організмі (14 металів та 20 мінералів). На основі результатів діагностики можливо визначити:

- загальний рівень інтоксикації організму важкими металами;
- здатність їх елімінації з організму;
- кількісне співвідношення мінерального балансу;
- наявність дефіциту чи надлишку мінералів;
- ступінь окисної агресії та кислотності організму;
- антиоксидативний статус;
- ступінь схильності до алергій.

Дослідникам, які працюють з забрудненою важкими металами біомасою робінії несправжньоакації необхідно приділити особливу увагу харчуванню та природній детоксикації організму. Один з найефективніших способів – прийом лікувальних та столових мінеральних вод.

4.2. Гігієнічна оцінка умов праці при роботі з біомасою *Robinia pseudoacacia* L.

Згідно державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпеки факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» умови роботи в державі поділяють на чотири класи відповідно (<https://www.sop.com.ua/article/ru/424-klassifikatsiya-usloviy-truda-pogigienich>).

Оцінювання умов праці при роботі з біомасою акації білої це комплекс заходів аналізування стану безпеки чинників виробничих процесів, тяжкості, напруженості трудового процесу та відповідності умов виробничого середовища нормативам у галузі безпеки та охорони праці та гігієнічним нормативам (<https://e-cis.info/cooperation/3072/90564>).

Правові та організаційні основи оцінки умов праці, при роботі з біомасою робінії несправжньоакації порядок проведення, а також права, обов'язки та відповідальність учасників оцінки умов праці встановлюються уповноваженими державними органами, а саме відділ охорони праці Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

Оцінювання умов праці при роботі з біомасою акації білої проводиться ліцензованими сторонніми які, залучаються роботодавцями за цивільно-правовими договорами [12].

Оцінювання умов праці при роботі з біомасою робінії звичайної складається з показників ступеня шкідливості та небезпеки факторів виробничого середовища та показників ступеня важкості та напруженості трудового процесу.

Оцінювання ступеня шкідливості та небезпеки праці при роботі з біомасою *Robinia pseudoacacia* L. повинно визначатися на основі інструментальних та лабораторних вимірювань. Лабораторні та інструментальні заміри фізичних, хімічних та біологічних факторів

виконуються безпосередньо в умовах роботи та при справних засобах індивідуального захисту.

Важкість трудового процесу з біомасою робіниці оцінюється за показниками, які характеризують трудовий процес, незалежно від індивідуальних особливостей дослідника, який обслуговує цей процес.

Оцінка напруженості трудового процесу при роботі з біомасою дерев досліджуваного виду, має ґрунтуватися на аналізі діяльності, який визначається шляхом хронометричних спостережень.

Оцінка показників безпеки праці при роботі з біомасою робіниці несправжньоакації, які визначаються національним законодавством України, проводиться на основі нормативних технічних документів, національних стандартів, правил та інструкцій з безпеки та охорони праці та залежить від технічного стану виробничого обладнання, його відповідності паспортним характеристикам та вимогам до технології організації виробничого процесу.

Результати оцінювання умов праці при роботі з біомасою акації білої можна використати у цілях проведення комплексу організаційно-технічних заходів щодо покращення умов та безпеки праці; забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального та колективного захисту та оцінки рівня ризиків. Також це забезпечить отримання достовірної інформації про результати оцінювання умов праці при роботі з біомасою робіниці несправжньоакації, існуючий ризик погіршення здоров'я дослідника, заходи щодо захисту від впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів (<https://www.sop.com.ua/article/ru/424-klassifikatsiya-usloviy-truda-po-gigienicheskim-kriteriyam>).

Висновки та пропозиції управлінським структурам

1. Для виконання магістерської роботи проведено закладку пробних площ у рекреаційних зонах міста Дніпро – парк Дружби народів, парк Лазаря Глоби, Придніпровський парк, парк 40-річчя визволення Дніпропетровська, Ботанічний сад ДНУ імені Олеся Гончара на яких відбиралися дослідні зразки ґрунтів та фітомаси асиміляційних органів дерев робінії несправжньоакації.

2. Ґрунти досліджуваних парків міста Дніпро не відповідають нормативам гранично дозованих концентрацій за металічними елементами – Цинком, Плюмбумом та Купрумом. Вміст Кадмію відповідає орієнтовно допустимим концентраціям за умови відсутності легітимного значення гранично дозованої концентрації.

3. У фітомасі асиміляційних органів робінії несправжньоакації вміст Цинку мав значення, які тяжіють до нижчої межі у діапазоні оптимальних значень. За умови незначного перевищення гранично дозованої концентрації Купруму у ґрунті, у фітомасі зафіксовано достатньо низьку його концентрацію $4,8\text{--}16,4 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$.

4. Діапазон концентрації токсичного металу Кадмію у надземній фітомасі листяної фракції дерев *Robinia pseudoacacia* L. становить – $0,18\text{--}0,42 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$. Вважаємо, що факт наявного Кадмію може свідчити про неоптимальний стан навколишнього середовища місцезростань робінії за цим металічним елементом. За концентрації Плюмбуму у ґрунтах паркових зон, яка незначно перевищувала нормативні значення гранично дозованої концентрації, у асиміляційних органах рослин робінії вміст зазначеного елемента становив $8,5\text{--}10,6 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$.

5. Більш інтенсивне накопичення демонстрували металічні елементи які спричиняють токсичну дію у деревах робінії, які є складовими фітоценозів парку 40-річчя визволення Дніпропетровська та парку Лазаря Глоби. Значно меншим акумулюванням, як Кадмію так і Плюмбуму,

характеризується фітомаса асиміляційних вегетативних органів дерев досліджуваного виду у ботанічному саду ДНУ.

6. За розрахованими значеннями коефіцієнту біологічної акумуляції найбільш значного депонування набуває Цинк ($K_{бак} = 0,74-0,92$), який є фізіологічно облігатним металічним елементом метаболізму рослин. Проте перевищення одиниці, фактичними значеннями коефіцієнта біологічної акумуляції не спостерігалось для досліджуваних металів – Цинку, Купруму, Кадмію та Плюмбуму.

7. Інтенсивність акумулювання елементів групи важких металів у фітомасі асиміляційних органів робінії несправжньоакації, яка входить до складу паркових насаджень міста Дніпро, являє ряд $Zn > Cu > Pb > Cd$, що демонструє більш інтенсивне поглинання й акумулювання у фітомасу листяної фракції Цинку і Купруму та менш істотне Плюмбуму й Кадмію.

8. Картографічні матеріалі контамінації у фітомасі паркових фітоценозів з відповідним концентруванням неорганічних контамінантів Купруму, Кадмію, Цинк й Плюмбуму у листяній фракції передано уповноваженим органам у сфері охорони навколишнього природного середовища та управлінню парків м. Дніпро.

Список використаної літератури

1. Авессаломов І.А. Геохімічні показники при вивченні ландшафтів: К.: Наукова думка. 1987. 108 с.
2. Адаменко Т.І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням змін клімату. Київ: Вєго «Мама-86». 2014. 45 с.
3. Бессонова В.П. Вплив важких металів на фотосинтез рослин. Дніпропетровськ: ДГУ. 2006. 325 с.
4. Горб А.С., Дук Н.М. Клімат Дніпропетровської області. Дніпропетровськ: ДНУ. 2006. 75 с.
5. Гришко В.М., Сищиков Д.В., Піскова О.М., Данільчук О.В., Машталер О.В. Важкі метали: надходження в ґрунти: транслокація в рослинах та екологічна безпека. Донецьк: Донбас. 2012. 214 с.
6. Дроздова Н.И., Макаренко Т.В. Вивчення особливостей накопичення важких металів у системі «ґрунт-рослина» в умовах промислових зон. Екологічний вісник. 2015. № 4(34). С. 96–102.
7. Дзиба А.А. Робінія псевдоакація у міських лісах Києва. Збірник науково-технічних праць Національного технічного університету України. 2011. № 21(16), С. 306–311.
8. Елпатієвський П.В., Аржанова В.С. Геохімія ландшафтів і техногенез: Наука. 1990. 352 с.
9. Кабата-Пендіас А., Пендіас Х. Мікроелементи у ґрунтах і рослинах. Київ: Наукова думка. 1989. 437 с.
10. Касімов Н.С. Геохімія степових ландшафтів. Київ. КГУ. 1988. 173 с.
11. Кульбіда М.І., Барабаш М.Б., Єлістратова Л.О. Клімат України: у минулому і майбутньому. Київ: Сталь. 2009. 76 с.
12. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 р. №2694-XII. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 49, ст. 668. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

13. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>
14. Цветкова Н.М., Пахомов О.Є., Сердюк С.М., Якуба М.С. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Ґрунти. Метали в ґрунтах. Дніпропетровськ: Ліра. 2016. 369 с.
15. Черняк В. И., Глухохід В. П. Ґрунти Дніпропетровської області. Дніпропетровськ: Промінь. 1969. 79 с.
16. Чугай Н. С. Клімат та кліматичні ресурси Дніпропетровщини. Дніпропетровськ: Видавництво Дніпропетровського відділення географічного товариства. 1973. 58 с.
17. Alriksson A, Eriksson H. M. Distribution of Cd, Cu, Pb and Zn in Soil and Vegetation Compartments in Stands of Five Boreal Tree Species in Sweden. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*. 2001. № 1(3–4). P. 461–475.
18. Appenroth K.J. Definition of «heavy metals» and their role in biological systems. *Soil heavy metals*. 2010. № 6. P. 19–29.
19. Aman M., Jafari M., Reihan M., Motesharezadeh B., Zare S. Assessing the effect of industrial wastewater on soil properties and physiological and nutritional responses of *Robinia pseudoacacia*, *Cercis siliquastrum* and *Caesalpinia gilliesii* seedlings. *Journal of Environmental Management*. 2018. № 217. P. 718–726.
20. Bitterli C., Bañuelos G.S., Schulin R. Use of transfer factors to characterize uptake of selenium by plants. *Journal of Geochemical Exploration*. 2010. № 107. P. 206–216.
21. Carl C., Biber P., Veste M., Landgraf D., Pretzsch H. Key drivers of competition and growth partitioning among *Robinia pseudoacacia* L. trees. *Forest Ecology and Management*. 2018. 430. 86–93.

- 22.Chen L., Deng Q., Yuan Z., Mu X., Kallenbach R. Age-related C:N:P stoichiometry in two plantation forests in the Loess Plateau of China. *Ecological Engineering*. 2018. № 120. P. 14–22.
- 23.Cierjacks A., Kowarik I., Joshi J., Hempel S., Ristow M., Von der Lippe M., Weber E. Biological Flora of the British Isles: *Robinia pseudoacacia*. *Journal of Ecology*. 2013. № 101. P. 623–640.
- 24.Das P., Samantaray S., Rout G. R. Studies of cadmium toxicity in plants: a review. *Environment Pollution*. 1997. № 98(1). P. 29–36.
- 25.Davis V., Burger J.A., Rathfon R., Zipper C.E. Chapter 7: Selecting Tree Species for Reforestation of Appalachian Mined Lands. US Department of Agriculture. Forest Service. Northern Research Station. 2017. 64 p.
- 26.Duan L., Huang M., Li Z., Zhang Z., Zhang L. Estimation of spatial mean soil water storage using temporal stability at the hillslope scale in black locust (*Robinia pseudoacacia*) stands. *Catena*. 2017. № 156. P. 51–61.
- 27.Huang S., Jia X., Zhao Y., Bai B. Elevated CO₂ benefits the soil microenvironment in the rhizosphere of *Robinia pseudoacacia* L. seedlings in Cd- and Pb-contaminated soils. *Chemosphere*. 2017. № 168. P. 606–616.
- 28.Hongxiang P., Banghua M., Yongjian C., Hongbo, Q., Shumei S. Dynamic characteristics of soil properties in a *Robinia pseudoacacia* vegetation and coastal eco-restoration. *Ecological Engineering*. 2016. № 92. P. 132–137.
- 29.Iretskaya S.N., Chien S.H., Menon R.G. Effect of acidulation of high cadmium containing phosphate rocks on cadmium up take by upland rice. *Plant and Soil*. 1998. № 201 P. 183–188.
- 30.Fernández S., Poschenrieder C., Marcenò C., Gallego J. R., Jiménez-Gómez D.. Phytoremediation capability of native plant species living on Pb–Zn and Hg–As mining wastes in the Cantabrian range, north of Spain. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. № 174. P. 10–20.
- 31.Gadepalle V.P., Ouki S.K., van Herwijnen R., Hutchings T.R. Immobilization of heavy metals in soil using natural and waste materials for

- vegetation establishment on contaminated sites. *Soil and Sediment Contamination*, 2007. № 16(2). P. 233–251.
32. Grandlic C.J., Palmer M.W., Maier R.M. Optimization of plant growth-promoting bacteria-assisted phytostabilization of mine tailings. *Soil Biol. Biochem.* 2009. № 41. P. 1734–1740.
33. Heilmeyer H. Phytomining Applied for Postmining Sites. In *Phytotechnology with Biomass Production. Sustainable Management of Contaminated Sites*. 2021. № 5. P. 61–75.
34. Joutey N.T., Sayel H., Bahafid W., El Ghachtouli N. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Mechanisms of hexavalent chromium resistance and removal by microorganisms. 2015. № 3. P. 45–69.
35. Kabata-Pendias A. Trace elements in soil and plants. Boca Raton: CRC Press. 2011. 418 c.
36. Lazzaro L., Mazza G., d’Errico G., Fabiani A., Giuliani C. How ecosystems change following invasion by *Robinia pseudoacacia*: Insights from soil chemical properties and soil microbial, nematode, microarthropod and plant communities. *Science of the Total Environment*. 2018. № 622–623. P. 1509–1518.
37. Li G., Xu G., Guo K., Du S. Mapping the global potential geographical distribution of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) using herbarium data and maximum entropy model. *Forests*. 2014. № 5. P. 2773–2792.
38. Little E.L. Atlas of United States Trees. Minor Western Hardwoods. Washington: U.S. Department of Agriculture. 1976. 73 p.
39. Mao P., Tang Q., Cao B., Liu J., Shao H., Cao Z. Eco-physiological adaptability in mixtures of *Robinia pseudoacacia* and *Fraxinus velutina* and coastal eco-engineering. *Ecological Engineering*. 2017. № 106. P. 109–115.
40. Morimoto J., Kominami R., Koike T. Distribution and characteristics of the soil seed bank of the black locust (*Robinia pseudoacacia*) in a headwater basin in northern Japan. *Landscape and Ecological Engineering*. 2010. № 6. P. 193–199.

41. Mortensen L.H., Rønn R., Vestergaard M. (2018). Bioaccumulation of cadmium in soil organisms – With focus on wood ash application. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. № 56(30). 452–462.
42. Noh N. J., Son Y., Koo J. W., Seo K. W., Kim R. H. Comparison of nitrogen fixation for North- and South-facing *Robinia pseudoacacia* stands in central Korea. *Journal of Plant Biology*, 2010. № 53. P. 61–69.
43. Prasad M.N.V., Hagemeyer J. Heavy metal stress in plants. From molecules to Ecosystems. Germany: Springer. 1999. 87 p.
44. Rauser W.E. Structure and function of metal chelators produced by plants. *Cell Biochem. Biophys*. 1999. № 31. 19–48.
45. Samecka-Cymerman A., Kempers A. Enrichment ratios of elements in selected plant species from black coal mine dumps in Lower Silesia (Poland). *Polish Journal of Ecology*. 2003. № 51(3). 377–383.
46. Radtke A., Ambrab S., Zerbe S., Tonon G., Fontana V. Traditional coppice forest management drives the invasion of *Ailanthus altissima* and *Robinia pseudoacacia* into deciduous forests. *Forest Ecology and Management*. 2013. № 291. P. 308–317.
47. Reichard S.E. Assessing the potential of invasiveness in woody plants introduced in North America. Seattle: University of Washington. 1994. 87 p.
48. Reid R.H., Dunbar K.R., McLaughlin M.J. Cadmium loading into potato tubers: the roles of the periderm, xylem and phloem. *Plant, Cell and Environment*. 2003. 26(2). P. 201–206.
49. Reinsvold R.J., Pope Ph.E. Combined effect of soil nitrogen and phosphorus on nodulation and growth of *Robinia pseudoacacia*. *Canadian Journal of Forest Research*. 1987. 17(8). 964–969.
50. Stockmann M., Hirsch D, Lippmann-Pipke J., Kupsch H. Geochemical study of different-aged mining dump materials in the Freiberg mining district, Germany. *Environmental Earth Sciences*. 2012. P. 1–16.

51. Tymchuk I., Malovanyy M., Shkvirko O., Chornomaz N. Review of the Global Experience in Reclamation of Disturbed Lands. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. № 22(1). 24–30.
52. Vítková M., Müllerová J., Sadlo J., Pergl J., Pyšek P. Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe. *Forest Ecology and Management*. 2017. № 384. P. 287–302.
53. Wojda T., Klisz M., Jastrzebowski A., Mionskowski M., Szyp-Borowska I., Szczygiel K. The geographical distribution of the black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Poland and its role on non-forest land. *Papers on Global Change IGBP*. № 2015. № 22(1). P. 101–113.
54. Woch M.W. Factors of variation in beech forest understory communities on waste heaps left by historical Zn–Pb ore mining. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. 164(30). 681–689.
55. Woch M.W., Stefanowicz A.M., Stanekb M. Waste heaps left by historical Zn–Pb ore mining are hotspots of species diversity of beech forest understory vegetation. *Science of The Total Environment*. 2017. P. 599–600.
56. Yang S., Li G., Zhao Z., Feng M., Fu J., Huang Z., Song M., & Lin S. The Taishan *Robinia pseudoacacia* polysaccharides enhance immune effects of rabbit haemorrhagic disease virus inactivated vaccines. *Microbial Pathogenei*. 2017. № 112. P. 70–75.
57. Zverkovskyy V.M., Sytnyk S.A., Lovynska V.M., Kharytonov M.M., LakydaI. P., Mykolenko S.Yu., Pardini G., Margui E. Remediation potential of forest forming tree species within northern steppe reclamation stands. *Ekológia (Bratislava)*. 2018. № 37(1). P. 69–81.

Інтернет-джерела:

Режим доступу: <https://www.sop.com.ua/article/ru/424-klassifikatsiya-usloviy-truda-pogigienich>

Режим доступу: <https://www.sop.com.ua/article/ru/424-klassifikatsiya-usloviy-truda-pogigienich>

Режим доступу: <https://e-cis.info/cooperation/3072/90564>

Режим доступу: <https://www.sop.com.ua/article/ru/424-klassifikatsiya-usloviy-truda-po-gigienicheskim-kriteriyam>