МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЇ, БІОРЕСУРСІВ ТА ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Спеціальність Е2 “Екологія”

“ Допускається до захисту ”

Завідувач кафедри екології,

агроекології та екотрофології

к. с.-г. н., доцент

_____ О.П. Шулько

“16”листопада 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

«Вплив агротехнологічних прийомів на ріст рослини павловнії після технологічного зрізу на ділянці із забрудненим ґрунтом».

Виконав:

Нерубенко Іван Олександрович підпис

Керівник:

доцент, Мацкевич Вячеслав Вікторович підпис

Рецензент:

доцент Сліба В. В. підпис

Біла Церква – 2026

БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ДЕКЛАРАЦІЯ
про дотримання академічної доброчесності під час виконання кваліфікаційної роботи

Я, Черубенко Іван Олександрович,
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

здобувач другого рівня вищої освіти за освітньою програмою «Екологія», підтверджую, що кваліфікаційну роботу з теми: «Вплив агротехнологічних прийомів на ріст рослини павловнії після технологічного зрізу на ділянці із забрудненим ґрунтом». виконано мною з дотриманням принципів і правил академічної доброчесності.

Підтверджую, що:

- роботу виконано особисто на основі власних розробок і суджень;
- у роботі належним чином зазначено авторство та джерела використаних текстів, ідей, даних, зображень та інших матеріалів;
- наведені результати дослідження, дані та висновки є достовірними;
- робота не містить свідомо сфабрикованої чи сфальсифікованої інформації.

У процесі виконання роботи не було використано інструменти штучного інтелекту.

Я усвідомлюю відповідальність за зміст кваліфікаційної роботи та дотримання вимог академічної доброчесності під час її підготовки.

Дата: 20.11.2026

Здобувач вищої освіти: _____
(підпис / кваліфікований електронний підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЕКОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Спеціальність Е2 "Екологія"

Затверджую
Гарант ОП «Екологія»
_____ _____
підпис, вчене звання, прізвище, ініціали
«02» жовтня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувачу

_____
прізвище, ім'я та по батькові

Тема: «**Вплив агротехнологічних прийомів на ріст рослини павловнії після технологічного зрізу на ділянці із забрудненим ґрунтом**»
Затверджено наказом ректора № _____ від «____» _____ 20___ р.
Термін здачі здобувачам готової кваліфікаційної роботи в деканат: до «___»_____20_ р.
Перелік питань, що розробляються в роботі.
- опрацювати наукові джерела інформації з обраної теми;
- провеести огляд ділянки
- проаналізувати наявні забруднення та характер їх впливу;
- проаналізувати стан рослин павловнії та зібрати дані про ріст і розвиток рослин павловнії;
- підготуватувати рекомендації для впровадження у виробництв

Календарний план виконання роботи

Етап виконання	Дата виконання етапу	Відмітка про виконання
Огляд літератури	17.12.2025	
Методична частина	24.03.2026	
Дослідницька частина	09.10.2026	
Оформлення роботи	10.11.2026	
Перевірка на плагіат	13.11.2026	
Подання на рецензування	20.11.2026	
Попередній розгляд на кафедрі	16.11.2026	

Керівник кваліфікаційної роботи _____ професор Мачульський В.В.
підпис *вчене звання, прізвище,*
ініціали

Здобувач _____ Перубенко І.О
підпис *прізвище, ініціали*

Дата отримання завдання «02» жовтня 2025 р.

АНОТАЦІЯ

Нерубенко І.О «Вплив агротехнологічних прийомів на ріст рослини павловнії після технологічного зрізу на ділянці із забрудненим ґрунтом»

В магістерській кваліфікаційній роботі було досліджено особливості росту та розвитку рослин павловнії після технологічного зрізу на ділянці з забрудненим ґрунтом. Робота проводилася з ціллю з'ясувати можливість застосування рослин павловнії в якості культури що здатна рости на забруднених ґрунтах.

Кваліфікаційна робота містить вступ, 3 розділи, висновки, рекомендації виробництву, список використаних джерел із 56 найменувань та додаток.

Ключові слова: павловнія, забруднені ґрунти, технологічний зріз, агротехнологічні прийоми.

ABSTRACT

I.O. Nerubenko, "The Influence of Agrotechnological Practices on the Growth of Paulownia Plants Following Technical Cutting in an Area with Contaminated Soil"

This master's thesis investigates the growth and development patterns of Paulownia plants following technical cutting in an area with contaminated soil. The study was conducted to assess the potential for using Paulownia as a crop capable of growing in contaminated soil environments.

The thesis consists of introduction, 3 chapters, conclusions, recommendations for production, a list of 56 references, and an appendix.

Keywords: Paulownia, contaminated soils, technical cutting, agrotechnological practices.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ 9
1.1. Типи забруднених ґрунтів 9
1.2. Ремедіація забруднених ґрунтів 10
1.3. Біоіндикація 14
1.4 Павловнія опис культури 15
1.5 Розташування та особливості досліджуваного агрофітоценозу 18
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАВДАННЯ 20
2.1. Ґрунтово-кліматичні умови дослідної ділянки 20
2.2. Фітоіндикація за компонентами агрофітоценозу 22
2.3. Обліки та спостереження 23
2.4 Статистичний аналіз даних 28
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА ЇЇ РЕЗУЛЬТАТИ 29
3.1 Вплив агроприйомів на регуляцію водного балансу наземного середовища 29
3.2. Взаємодія з ймовірними ґрунтовими факторами 31
3.3. Вплив мінерального живлення на ріст та розвиток рослин 39
3.4. Порівняння застосування мінерального підживлення та поливу 40
3.5 Оцінка ефективності виходу деревної біомаси 45
ВИСНОВКИ 48
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ 50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ: 53
ДОДАТОК А 58

ВСТУП

З розширенням та поступовим накопиченням наслідків антропогенного навантаження та впливу бойових дій на компоненти біосфери, особливо на ґрунти однією з найбільш актуальних стає проблема порушених чи забруднених земель. Оскільки зазвичай джерелами забруднення є накопичення відходів, сільськогосподарське чи промислове виробництво а також транспортне навантаження та наслідки бойових дій необхідно не лише зменшення забруднення а й засоби що дадуть змогу відновити або покращити функціонування агроекосистем. Вибраним методом екологічної реабілітації ґрунтів стала фіторемедіація що передбачає перш за все стабілізацію та вилучення полютантів що заважають формуванню типових рослин в контрольованих умовах. Оскільки фіторемедіація дає змогу зменшити чи зробити більш інертними наявні в ґрунтах забрудники, для дослідження було взято те, що швидко набирає масу – целюлозу, та швидкоростучу деревну культуру – павловнію (*Paulownia*). Саме вона має одну з найширших можливостей до адаптації до різних умов вирощування. Висока продуктивність нарощування надземної біомаси дозволяє наглядно показати різницю в реакції рослин на ті чи інші забрудники, кількість поливу, поживних речовин чи наявність мульчування. Також відомо про можливість стабілізації тяжких металів в ґрунті за допомогою рослин Павловнії [53].

Враховуючи тенденцію до нестачі енергетичних ресурсів як в нашій країні так і в цілому по всьому світу одним із шляхом вирішення цієї проблеми може слугувати використання біоенергетичних культур, таких як, Павловнія що може слугувати джерелом деревного біопалива.

Об’єкт дослідження: технологічний процес вирощувння павловнії на біоенергетичні цілі.

Предмет дослідження: вплив агроприйомів на ріст рослин павловнії.

Мета дослідження: Аналіз характеру впливу різних агротехнологічних прийомів на інтенсивність росту двохрічних рослин після технологічного зрізу та екологічна доцільність вирощування її на забруднених ґрунтах.

Завдання роботи:

Проведення заходів догляду за рослинами Павловнії;

Згідно схем дослідів провести та дослідити характер впливу внесення нітроамофоски, деревного попелу мульчування та поливу;

Провести біометричні виміри рослин на різних ділянках (варіантах).

Методи досліджень: польовий дослід в масштабах дослідного агрофітоценозу, облік річного приросту деревини і фотосинтетичної площі поверхні рослин.

Апробація. Результати досліджень були представлені на Всеукраїнській науково-практичній конференції магістрантів «Наукові пошуки молоді у XXI столітті. Біоресурси та агропродовольчі системи: інновації та сталі практики» (м. Біла Церква, 28 жовтня 2026 р.) [56] та на VIII Міжнародній науково-практичній конференції «The modern dimension of interdisciplinary research: from theory to practice» (м. Флоренція, Італія, 27–30 жовтня 2026 р.) [Додаток А].

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Типи забруднених ґрунтів

Забруднення ґрунтів – це наявність в них сторонніх компонентів хімічних речовин або матеріалів, що мають властивість концентруватися та чинити негативний вплив на організми, що перебувають в ґрунті.

Основні типи забруднень ґрунтів – хімічне, фізичне, біологічне, радіоактивне та забруднення нафтопродуктами і агрохімікатами [30].

Хімічне забруднення – це забруднення ґрунтів хімічними речовинами що мають токсичний вплив на живі компоненти що знаходяться в ґрунті або на його поверхні. До таких забрудників належать сполуки тяжких металів (кадмій, свинець, кобальт, ртуть, миш'як, мідь, залізо, хром, марганець), зливи стічних вод, викиди підприємств, витоки пального та деякі побутові відходи що мають здатність розкладатися довго [11].

Фізичне забруднення - це наявність характерних фізичних, структурних та складових змін в ґрунті. Механічне фізичне забруднення представляє собою потрапляння будівельних, побутових відходів, каміння, відпрацьованих рудних матеріалів, скла, різних видів полімерних речовин, що спричиняє зміну природніх фізичних якостей ґрунту [12].

Біологічне забруднення – це наявність в ґрунті організмів або продуктів їх життєдіяльності що несуть небезпеку ґрунтовим мікроорганізмам, тваринам, рослинам та людям при цьому погіршуючи якість ґрунту. Основними джерелами надходження біозабруднення вважають комунально-побутові стоки (каналізаційні, інфільтрат з сміттєзвалищ), сільське господарство (продукти тваринництва, відходи ветеринарної обробки), промисловість та кладовища з скотомогильниками [2].

Радіоактивне забруднення – накопичення радіонуклідів в ґрунті. Основними джерелами надходження є аварії на об'єктах атомної енергетики, випробування ядерної зброї, видобуток корисних копалин та осідання зольних решток з ТЕЦ або ТЕС [1].

1.2. Ремедіація забруднених ґрунтів

Основним методом зменшення накопичуваного забруднення в ґрунті є ремедіація забруднених земель. Ремедіація земель це комплексні заходи спрямовані на зниження кількості або біологічної доступності забрудників в ґрунті до рівня коли рівень їх несприятливій вплив на компоненти біосфери та в цілому на навколишнє середовище нейтралізується. В залежності від специфіки ґрунтових умов, концентрацій полютантів та його фізико-хімічних властивостей а також площі, що забруднено ним виділяють різні методи ремедіації та рекультивації що можуть як комбінуватись так і застосовуватися окремо на окремих ділянках де для цього є необхідність. Основними методами ремедіації забруднених земель є фізичні, біологічні та хімічні [21].

Фізична ремедіація – методи головною метою яких є вилучення, нейтралізація чи локалізація фізичних забруднень ґрунту. Такими методами є: пряме вилучення забрудників (твердих чи рідких), видалення чи заміна забруднених ґрунтів що включає в себе механічне вилучення та вивезення для подальшого застосування обробку та очищення або іншого методу подальшого поводження з ним, промивання, термічна обробка та сепарація.

Метод прямого вилучення забрудників є первинним для більшості ділянок забрудненних будівельними відходами. В ході нього з поверхневого шару видаляються об’єкти, що спричиняють як і саме забруднення, так і матеріали, що заважають подальшим заходам з ремідіації, чим створюється більш оптимальний шар для подальших агротехнологічних заходів та подальшої оцінки якості ґрунту.

Метод промивання полягає в видаленні забрудників чи їх залишків за допомогою підібраних розчинів чи води. За допомогою промиваннння неоднорідні фракції полютантів розділяються та відоекремлюється від великих осередків. Таким чином можна нейтралізувати або локалізувати й серйозне засолення ґрунтів. Основною проблемою даного методу є поява

забрудненого розчину що потребує подальшого поводження на ділянках з високим рівнем ґрунтових вод.

Метод сепарації представляє собою розділ ґрунту на різні фракції що дозволяє відділити та обмежити поширення забруднених ґрунтів на відносно чисті шляхом концентрації споріднених за якістю та фізичними властивостями частинок ґрунтів.

Хімічна ремедіація – комплекс заходів, що спрямовані на нейтралізацію чи вилучення забрудників з ґрунтів за допомогою спеціально підібраних хімічних реагентів що здатні змінювати хімічні властивості речовини забрудника чи забрудненого ґрунтового середовища. Метою застосування даних методів є руйнування, трансформація, зменшення рухомості та біологічної доступності забруднювачів.Методи хімічної ремедіації включають у себе: хімічне окиснення, хімічне відновлення, іммобілізацію забруднювачів, зміну ґрунтового середовища (зміну pH) та хімічну екстракцію [14].

Метод хімічного окиснення це метод застосування окиснювальних реагентів що вступають в реакцію з забруднювачами та нейтралізують забрудники. До хімічних окисників що застосовуються для ремедіації справедлива залежність концентрації від забруднювача, вологості, температури та, власне, pH ґрунту [20].

Метод хімічного відновлення застосовує хімічні відновлювачі для зміни ступеня окиснення забрудників в ґрунті. Цей метод допомагає змінити ступінь окиснення чи склад солей металів переводячи їх в менш біодоступні форми, що також спрощує процес подальшої екстракції їх з ґрунту.

Метод іммобілізації забруднювачів в своїй суті застосовує внесення речовин з переліку тих речовин, що здатні зв’язувати забруднювальні компоненти не допускаючи їх перехід в доступні форми і роблячи їх більш інертними. Застосування даного методу залежить від типу ґрунту в якому знаходяться забруднючі речовини.

Метод зміни pH ґрунтового середовища зменшує рухомість і біодоступність деяких важких металів в кислих ґрунтах. Вапнування чи внесення золи також знижує можливості для розвитку патогенних грибків та іншої біоти що вільно себе відчуває в підкисленному ґрунті [26, 35, 45].

Біологічна ремедіація – це комплекс методів та заходів спрямованих на очищення від забрудників, підвищення родючості ґрунтів, відновлення та підвищення продуктивності порушених земель за допомогою живих організмів та продуктів їх життєдіяльності. Основний вплив даних методів можна схарактеризувати як той що призводить до зменшення концентрації, біологічної доступності, рухомості та токсичності речовин, що забруднюють ґрунт [31, 42].

Біостимуляція – це метод застосування живих організмів, продуктів їх життєдіяльності чи їх частин для покращення ґрунтових умов та стимуляції розвитку ґрунтової мікробіоти. Одним з найпоширеніших методів біостимуляції є використання соломи, що несе за собою зменшення ерозії ґрунтів, підвищення продуктивності низькопродуктивних земель. За наявності належних умов біодеградація рослинних залишків (соломи) целюлозолітична мікробіота ґрунту (така як грибки роду *Trichoderma*) забезпечує надходження додаткового вуглецю та певної кількості азоту в ґрунт [5].

Гуміфікація – процес переходу решток тканин рослин під дією мікроорганізмів в гумус [10, 22].

Фіторемедіація – це екологічний метод очищення та відновлення забрудненних земель за допомогою рослин та пов’язаних з нею мікророганізмів. Основним принципом є використання особливостей фізіологічних, фізико-хімічних та біологічних процесів росту і розвитку рослин. Рослини поглинають забруднення разом з необхідними для неї речовинами з ґрунту та можуть накопичувати певну їх кількість в власних тканинах. Основними рушійними мехнізмами фіторемедіації є: механізми стабілізації - фітостабілізація та гідростабілізація, а також механізми

трансформації речовин – фітофільтрація, фітоекстракція (гіперакамуляція), фітоімобілізація, фітодеградація [13, 17, 40, 46, 47, 49, 50, 52, 55].

Фітостабілізація є методом, що передбачає собою використання рослин та їх частин для створення шару забрудненого ґрунтового покриву, що зменшує рухливість забруднюючих речовин внаслідок дії механізму кореневого накопичення або іммобілізаційним процесам, що властиві ризосфері, що в свою чергу зменшує навантаження забрудниками землі. Аеробне середовище, що утворюється в кореневій зоні стимулює розвиток мікробіоти, що, в свою чергу, стимулює зв'язування полютантів завдяки мікробіологічним процесам. Ці процеси пришвидшують розкладення та трансформацію органічних забрудників в нетоксичні форми що здатні підживлювати кореневу систему рослин [15].

Гідростабілізація є методом завдяки якому рослини всотують вологу кореневою системою разом з полютантами, використовуючи воду як розчинник для речовин що є забруднюючими, таким чином, переносячи їх в вигляді розчину до власних клітин та тканин де при їх синтезі вони змінють власну фітотоксичну дію.

Фітофільтрація, фітоекстракція – це механізм за допомогою якого рослини здатні до видалення полютантів за допомогою трансформації їх в біомасу. За рахунок накопичення при кореневому споживанні розчиненних забрудників також для цього процесу властиве накопичення та випаровування трансформованих залишків забрудників. Головною особливістю данного процесу є повторювальність що дозволяє щоденно захоплювати певні частинки що мають здатність до біоакамуляції в рослині тим самим знижуючи їх концентрацію в ґрунті [18, 39].

Фітодеградація – це механізм, що передбачає собою розкладання забрудників ферментативною системою рослин та подальшу метаболізацію в менш токсичні. Разом з ґрунтовою мікробіотою значна частина цього процесу також трансформує ці речовини в енергію під дією фотосинтезу. Також коренева

система додатково виділяє речовини що сприяють розкладанню та трансформації полютантів разом з їх подальшою екстракцією [24, 25].

1.3. Біоіндикація

Біоіндикація – це група методів що базуються на методикі оцінювання стану компонентів навколишнього середовища, його характеру та ступені забруднення за допомогою живих організмів чи їх угруповувань, їх біологічної реакції та скупності факторів, що характерно впливають на їхжиттєдіяльність в певних специфічних умовах та дають зрозуміти середню ступінь впливу, а отже, і схарактеризувати оцінку цього впливу на конкретний організм і оцінити маштаби змін в метаболізмі чи інші хараетерні ознаки специфічного пристосування до признаків що вказують на наявність нестандартних змінних в навколишньому середовищі чи його компонентах.

Принципи біоіндикації ґрунтуються на базі взаємодії живих організмів в навколишньому середовищі і, на відміну від методів оцінки фізичного чи хімічного забруднення, здатні продемонструвати певним чином характер комплексного впливу саме на компоненти навколишнього середовища, що безпосередньо демонструє поведінкову модель механіки біотичної адаптації.

Основними принципами є: чутливість живих організмів у взаємодії з компонентами та факторами навколишнього середовища, специфіка реакції, що дає певним чином зрозуміти де і як було спричинено характерний вплив, а отже, і, можливо, глибше інтерпретувати характер впливу на біоту, визначення тривалості впливу за допомогою відображення специфіки впливу забрудника на біоіндикатор під час певного проміжку часу, характерність впливу на певний компонент може дублюіватись в іншому середовищі та давати подібні чи інші результати, що дає певну міру стандартизації досліджень на одному компоненті середовища чи на їх комплексі. Основними напрямами, де може бути застосовано метод біоіндикації це: оцінювання якості ґрунтів після ймовірних порушень (промислового,

фізичного, хімічного, біологічного чи радіаційного забруднень), визначення певного рівня фітотосксичості ґрунту чи компонентів що вносятся в нього (добрива, ЗЗР) чи уже наявні в ньому (надмірні кількості специфічних речовин – наприклад солі металів), а також виявлення змін поведінкових реацкій живих організмів під дією впливу на них несприятливих умов зміненого забрудненням навколишнього середовища та його параметрів.

Фітондикація – це група методів, що відносятся до методів біоіндикації та являють собою методику оцінювання стану навколишнього середовища за допомогою рослин – їх кількості, різноманіття, поширенням, фізіологічним станом та біохімічними показниками. Ґрунтується на аксіомі взаємозв'язку ґрунту з рослинами на основі підживлення мінеральними речовинами, також таким самим чином в ході метаболічних процесів рослини взаємодіють з водою та атмосферним повітрям, що дозволяє певною мірою відслідковувати характерні фізіологічні зміни набуті рослиною внаслідок взаємодії з тим чи іншим фактором нехарактерним для її нормального фізіологічного функціонування.

Синтфоіндикація – метод, який враховує оцінку стану вчіх рослин в агрофітоценозі та може показувати комплекснішу картину чи карту можливого забруднення за допомогою різничі між менш та більш стійкішими видами [4].

1.4 Павловнія опис культури

Гібрид Павловнії «Українка» *(P. fortunei* та *P. elongata*) являє собою доволі швидкорослий вид дерев з родини *Paulonianceae* батьківщиною якого вважають країни Східної Азії такі як Японія, Корея, Китай. З часом та розумінням господарської та естетичної цінності вид було інтродуковано в країни Європи та Північної Америки. Основним фактором, що зобумовлює широке росповсюдження данної культури є швидке накопичення деревної біомаси.

Оптимальними ґрунтовими умовами для росту Павловнії вважаються ті, де показники pH становлять 6-7 (близько до нейтральної) та з відсутністю

заболоченності, в умовах якої коренева система павловнії не здатна до стабільного підживлення мінеральними речовинами [9].

Коренева система стрижнева, тому легко пробивається на значну глибину в пошуках необхідних їй кількості вологи та поживних речовин. Мається головний корінь та бокові відгалуження – бічне коріння. Після зрізу коренева система, що накопичила достатню кількість речовин знову здатна швидко запустити формування нових пагонів і подальшої надземної біомаси. Зона, шар, глибина ґрунту на який здатна проникнути коренева система може сягати 1.5 метра.

Висотою рослини можуть досягати 15-25 метрів, маючи розлогий тип крони. Гладка кора та прямий стовбур має особливість в вигляді товстих пагонів та відсутності термінальних бруньок. Пагони павловнії після технологічного зрізу формують більшу і вищу систему пагонів на весні.

Листя має серцеподібну та яйцеподібну форму. Листя розпускається зазвичай на початку травня. Чим рослина старіше, тим менші листки. Колір зелений, наявні волоски черешки довгі. Великі листки є джерелом біомаси після опадання. Листкова пласстинка орієнтовно 25х20 см на квітконосних пагонах.

Квіти. Наявні великі двостатеві квітки, що збираються в суцвіття дзвоникоподібної форми світло-фіолетового забарвлення. Розпускається до появи листя, а отже, можуть бути пошкодженні морозами. Насіннева коробочка 3.5-4.5 см довжиною, має яйцеподібну форму, саме насіння має веретеноподібну форму, смугасте, має крилоподібні вирости для поширення за допомогою вітру [9].

Основними поживними речовинами, за наявністю яких треба слідкувати в ґрунті, є азот та калій. Павловнія – світлолюбива рослина, тому точка насичення може досягати 60000 люкс (це 60% денного світла) [48].

Павловнія також здатна до швидкої регенерації власной біомаси після зрізу та утворення нових бруньок з основи кореня. Тривалий час сам корінь здатний продовжувати накопичення поживних речовин, щоб потім віддати їх

для розвитку нової біомаси. Оперувати технологічним зрізом Павловнії можна в будь який час року, що і виокремлює її як одну з найперспективніших енергетичних культур та взагалі дерев в цілому.

Застосування Павловнії вже давно вийшло за межі використання як декоративної рослини в ландшафтному дизайні чи озелененні. На сьогоднішній дені відомо про використання деревини павловнії для технічних чи виробничих цілей, адже схожа на деревину горіха [3, 34].

За вологості 12 відсотків щільність деревини Павловнії становить від 220 до 350кг/м3. Саме показник вологості впливає на фізико-механічні властивості деревини. Деревний матеріал Павловнії має невелику вагу і при цьому непоганий запас міцності, що дозволяє використовувати цю річ для виготовлення меблів, декоративних обшивок, каркасних елементів, а також частини кухонного приладдя такого як ложки, миски, палиці для рису та ємності для рису [34].

Коренева сиситема Павловнії на піщаних суглинках створює чималий потенціал для пришвидшення розвитку ґрунтової мікробіоти та тим самим покращує якість ґрунту [44].

Системи мульчування і поливу мають надзвичайно сприятливий вплив на приріст біомаси Павловнії. Частий полив в інтервалах дає підвищенний приріст біомаси навіть на збіднених засушливих ґрунтах. Висота приросту та збільшення діаметрів листя досягнена інтервальними поливами (3, 6, 9 днів інтервалу поливу) в порівнянні з контролем також демонструє збільшення фотосинтетичної площі рослин, а отже і покращене поглинання CO_2 під час фотосинтезу.

Сенс технологічного зрізу полягає відрізанні надземної частини рослини Павловнії для створення унікальних умов для вегетативного порослевого відновлення що застосовується для промислового вирощування рослин павловнії та їх біомаси як процес що здатний забезпечити швидше відновлення рослини [19, 33, 34].

Оскільки протягом першого року життя та розвитку рослини павловнії налаштовуються та пристосовуються до ґрунтових умов та наявності в них різних кількостей та форм різноманітних сполук першочерговим для них є розвиток кореневої системи яку можна схарактеризувати як розгалуженну стрижневу в той час поки надземна частина частково не здатна отримувати нормовану кількість речовин для запуску власного пришвидшеного росту що може характеризуватися нерівномірним приростом та слабким з дерев'янінням [8, 9].

1.5 Розташування та особливості досліджуваного агрофітоценозу

Дерева павловнії ростуть на території, що піддалася фізичному забрудненню – забруднена різноманітними типами відходів, основну частину з яких складають будівельні відходи. Основне походження будівельних та інших відходів – руїни будівель, коровників, силосних ям та трубопроводу Зарічанського відділку Білоцерківського Раднаргоспу. На зйомках від 15 липня 1966 зроблених U.S. Geological Survey Departament of the Interior чітко можна побачити попереднє застосування цієї ділянки під господарство, що було передано в власність Білоцерківському Національному Аграрному Університету Раднаргоспом [6]. Проаналізовані дані свідчать про фактичне антропогенне забруднення що притаманне території на даний момент, особливо будівельними та побутовими відходами що призвело до певної деградації та порушення як водного режиму так і ущільнення ґрунту та додало локально показників лужності [12, 13, 21].



Рис.1.1. Карта ділянки проведення дослідження

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАВДАННЯ

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови дослідної ділянки

Ґрунти ділянки можна охарактеризувати як чорноземи вилуговані, супіщані темно-сірого та чорного забарвлення.

Починаючи з відновлення вегетативних процесів Павловнії в останній декаді травня, середня температура повітря на дослідній ділянці сягала 15,6 градуса за Цельсієм, накопичені опади за травень сягали 58,2 мм (31 день травня), а за період з січня місяця – 221,6 мм.

Таблиця 2.1.

Температурний режим району дослідження

Місяць	Сер. мінТ	Сер. Т	Кількість опадів
Березень	0.2	5.1	7.3мм
Квітень	3.1	7.4	38.4мм
Травень	10.2	15.6	58.2мм
Червень	13.9	19.9	44.4мм
Липень	14.4	20.2	23.7мм
Серпень	14.8	21.6	13.0мм
Вересень	10.8	15.4	66.8мм

Особливості оцінки забруднення за допомогою органолептичних методів.

Органолептичні методи є основними при відсутності можливості застосування лабораторних аналізів. На території дослідної ділянки, де ростуть рослини павловнії було виявлено безліч джерел як фізичного, так і потенційного хімічного забруднення: металобрухт (компоненти приладів, посуд, троси, запчастини, побутові відходи та різна фурнітура), азбест, бетон, полімерні відходи, породи та брили різного походження (кальцити –вапняк, граніт, піщаник), що застосовувалися в будівлях та структурах, що знаходилися поряд та були фрагментовані та розкидані під час демонтажних

робіт та інших можливих причин, що спричинили забруднення. Окрім цих ознак забруднення було виявлено ознаки порушення ґрунтового покриву: місцями змінений колір верхнього шару (ймовірно внаслідок серйозних ерозійних чинників), що потенційно може означати складний вплив компонентів на структуру та склад поверхневого ґрунтового покриву [10].



Рис. 2.1. Приклад поверхневого забруднення

2.2. Фітоіндикація за компонентами агрофітоценозу

Завдяки широкому списку видів, що додатково населяють агрофітоценоз було встановлено як певний рівень забруднення, так і ймовірні адаптивні можливості рослин павловнії. На основі методичних підходів Я.П. Дідуха [4] було встановлено що стороння рослинність здатна також показати властивості та характер забруднення ґрунтів. Таким чином було встановлено взаємодію та локальність появи певних рослиних видів що додатково можуть свідчити про зміну едафічних умов ґрунту. Серед основних виявлених і встановлених видів було знайдено лободу білу (*Chenopodium album* l.) для якої характерний ріст та розвиток на територіях відносно багатих азотом що також може бути зобумовленно меншому ступеню взаємодії з забрудненням ; Зірочник середній (також відомий в простонародні як мокрець) (*Stellaria media L.*) наявність якого свідчить про достатню кількість збереженої ґрунтової вологи на поверхні, зустрічався найчастіше в зонах де було застосовано мульчування та полив, полив та застосування нітроамофоски ; полин звичайний (*Artemisia vulgaris L.*), для якого характерний потужний ріст на території що піддавалася технологічного чи постійному забрудненню будівельними відходами внаслідок її надзвичайної терпимості до факторів ущільнення ґрунту та позитивного сприйняття карбонатних сполук наявних в ґрунті на дослідній ділянці; пирій повзучий (*Elytrigia repens (L.) Nevski*) який хараактерний для ділянок землі що серйозно втоптані або ж свідчать про фактичну твердість ґрунту і внаслідок специфіки власної кореневої системи здатні локально конкурувати за отримання поживних речовин з іншими компонентами агрофітоценозу в тому числі з основними – Рослинами Павловнії.

Досліджувалися наступні фактори: мульчування та полив, внесення нітроамофоски (16:16:16) (40г під рослину), внесення золи 75 г.

Таблиця 2.2

Пропорційна кількість речовин на кількість 100 г внесеного добрива.

Варіант	N(г)	P(P_2O_5)(г)	K(K_2O)(г)
Нітроамофоска	6.4 г	6.4 г	6.4 г
Зола	0.2 г	3.7 г	9 г

Дослідження велося за оцінкою впливу на ріст та розвиток рослин павловнії наступних факторів: мульчування, внесення нітрамофоски, деревної золи та наявності/відсутності поливу, контрольний відрізок та наявність забруднення.

2.3. Обліки та спостереження

Кожна рослина павловнії сорту Українка виступала в якості окремого біологічного повторення. Добрива вносилися під час посадки, потім проводилося мульчування та полив деяких зразків. Мульчування проводилося заради потенційного зменшення кількості випаровуємої вологи, що потенційно призвело б до створення вологозберігаючого шару з можливістю покращеного регулювання температурного режиму поверхні ґрунту. Мульчування каталізувало пришвидшення усвоєння поживних речовин за допомогою розчинення загального ґрунтового об'єму можливих доступних речовин до поглинання. Надалі буде показано вплив поглинутих забруднюючих речовин та приблизна характеристика їх взаємодії з факторами росту та розвитку рослин павловнії. Методом визначення об'єму фотосинтезуючої поверхні було вибрано гравіметричний метод згідно якого необхідно сформувати висічки з листків [28, 32, 54] (рис2.6).



Рис. 2.2. Рослини зібрані для подальшого заміру

Проводилися заміри росту діаметру, облік сирої маси, вирахунок фотосинтетичних показників біомаси, проводилося визначення фотосинтезуючої площі, що визначалося методом висічок діаметром 5х5 см., [23, 36].



Рис. 2.3. Рослина безпосередньо перед заміром



Рис. 2.4 Польова оцінка висоти рослин



.Рис. 2.5. Польова оцінка стебел рослин

2.4 Статистичний аналіз даних



Рис. 2.6. Оцінка фотосинтетичної маси

Проби відбиралися за допомогою гравіметричного методу,використовуючи отримані дані можна сказати про те, що результати деяких з зібраних та підготовлених зразків мають серйозні проблеми з розвитком як фотосинтетичної маси, так і загальної, що може свідчити про вплив певного забруднення [29]. Так , враховуючи дані отримані в ході дослідження сирої маси було встановлено структуру подальшого використання та розрахунку даних для обліку інших показників рослин павловнії що вирощувалися на забрудненних грунтах дослідного агрофітоценозу з застосуванням різних агротехнологічних прийомів та заходів.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА ЇЇ РЕЗУЛЬТАТИ

3.1 Вплив агроприйомів на регуляцію водного балансу наземного середовища

Мульчування соломою як органічним матеріалом допомогло створити біорозкладний бар'єр між ґрунтом та [7] атмосферним повітрям, що допомогло зменшити кількість випаровуваня вологи та знизило вірогідність ущільнення ґрунту, що, в свою чергу, реалізувало покращене проникнення як і кисню, так і вологи до частин кореневої системи рослин павловнії. Додатково солома під час деградаційних процесів додатково привносила певну кількість поживних речовин в землю, звідки ці речовини, ймовірно, були частково поглинуті павловнією, що забезпечило певну частину потреби в мінеральному живленні.

Полив здійснювався на ранніх періодах розвитку рослин (травень) разом з усіма врахованими факторами та агротехнічними прийомами. Під кожну піддослідну рослину було внесено додаткову вологу шляхом підливання води в кількості 5 літрів. Основною метою поливу було додаткове принесення вологи, що допоможе прискорити процеси розчинення мінеральних речовин та подальшого їх використання кореневою системою. Цей захід є необхідним після проведення технологічного зрізу для створення адекватних умов росту після технологічного зрізу. Враховуючи досвід Ismael P.A, Hamad S.O різно терміновий полив здатний збільшувати кількість сухої біомаси що було використано як орієнтир для корегування кількості поливу[33, 38]

Внесення нітроамофоски дало мінеральне підживлення дослідних рослин було здійснено внесенням добрива- нітроамофоски в дозуванні 40 г на одну рослину. Застосування цього підживлення було спрямоване на забезпечення рослин основними елементами мінерального живлення – азотом, фосфором і калієм. Їхня загальна дія полягає у стимуляції процесів вегетативного росту, розвитку кореневої системи та регуляції водного обміну. Особливого значення мінеральне підживлення набуло після проведення

технологічного зрізу павловнії, оскільки відновлення надземної частини потребує значного мінерального підживлення (особливо враховуючи непрості погодні умови літа).

Внесення золи принесло значну кількість К (калію), що є необхідним елементом підживлення кореневої системи, що поглинає його для покращення регуляторних процесів рослини та створення запасів для підвищення посухостійкості. Також дію підвищеної кількості калію можна схарактеризувати як сприятливу для покращеного розвитку фотосинтезуючих частин рослин, а отже і можна сказати про покращенне живлення жил та інших частин, що транспортують по рослині поживні речовини (цукри та інші речовини що формують збільшення фотоактивної та іншої біомаси) [26, 35].



Рис. 3.1. Польова оцінка кореневої системи рослин

3.2. Взаємодія з ймовірними ґрунтовими факторами

Загалом, було встановлено широкі адаптивні можливості рослини павловнії, її розвитку росту та здатності формувати надземну біомасу на різних умовах ґрунтових покривів. Згідно сформованих таблиць і з врахуванням агротехнічних заходів на забруднених землях можливо припустити покращений ефект дії калію та певної частини сполук фосфору, що були внесені разом з додатковою подачею вологи (поливом).

Було помічено та встановлено характерні симптоми дефіциту азоту та калію внаслідок надлишку сполук кальцію – рівномірний хлороз листків з їх жовтінням, побурінням країв листка та поступовим відмиранням та відпаданням в нелистопадний час, призупинення росту самих рослин. Це свідчить про характерний вплив розчинення забрудника - сполук кальцію (вапняк, що використовувався для санації території господарства) та, загалом, може бути причиною блокування транспортування решти поживних речовин через кореневу систему, що вплинуло на процеси росту та розвитку рослин павловнії на дослідній ділянці. (рис 3.5.)

Таблиця 3.1.

Порівняння зібраних даних з ділянок дослідження

Варіант	Дефіцит	Чиста ділянка	Забруднена ділянка
Контроль	Волога	Достатня	Не достатня
Мульчування	Бліді прожилки	Відсутні	Присутні
Нітроамофоска	Зниження росту листя	Відсутні	Присутні
Зола	Зниження росту листя	Відсутні	Присутні

Схарактеризовано загальний вплив мінерального підживлення покращеної дії золи, що містить достатні запаси калію та фосфору, щоб додати мінерального живлення для розвитку рослин павловнії. На даній таблиці вказано взаємодію факторів внесеного мінерального живлення.



Результати досліджень показників росту та маси

Варіант досліду	Висота (м)	Загальна вага (кг)	Вага листя (кг)
Зола	2,03	1,7060	0,8190
NPK	1,96	1,6470	0,8010
Полив	1,49	1,2520	0,6090
Мульчування	1,44	1,2230	0,5910
Контроль (К)	1,10	0,9300	0,4527

Рис 3.2 Досліджувана Павловнія та результати досліджень показників росту та маси



Рис. 3.3. Ймовірне джерело забруднення та створення лужного середовища (що не є безпечним для нормального розвитку рослини павловнії)

Загалом, агрофітоценоз має параметричні значення по шкалі pH від 6.8 до 8.5. Саме ця варіативність може слугувати джерелом різних параметричних даних що схарактеризовані в отриманих в ході досліду даних. Враховуючи, що оптимальним рівнем pH для павлоінії є рівень 7 (нейтральний) можна схарактеризувати також ймовірно негативний вплив

джерел, що підвищують лужність ґрунтового середовища на розвиток кореневої системи Павловнії. Оскільки підвищена лужність може негативно впливати на частину коріневої системи рослин ймовірно можна припустити обмежений доступ необхідних мікроелементів та загальмований розвиток цієї ж кореневої системи та ґрунтової мікробіоти на визначених, забруднених ділянках.



Рис. 3.4. Оцінка кислотності ґрунту



Рис. 3.5. . Підготовка до оцінки кислотності ґрунту із мобільним терміналом для масштабу



Рис. 3.6. . Оцінка кислотності ґрунту із мобільним терміналом для масштабу

Аналіз рівня pH було проведено разом з доцентом, кандидатом с.-г. наук Харчишиним Віктором Миколайовичем.

Приладом (ґрунтовим pH-метром) було зафіксовано показники від 6.8 до 8.5 що свідчить про нерівномірність забруднення та локальність виявленого підвищення рівня лужності на локальному рівні. Сильнолужний рівень було виміряно біля джерел забруднення будівельних та господарских відходів(рис 3.3., 3.4.). Цей факт може слугувати фактором що потенційно підтверджує локального зниження та лімітування росту павловнії, оскільки підвищена лужність середовища є протилежним фактором по відношенню до оптимального рівня забезпечення ґрунтових умов для створення стабільних умов для росту і розвитку деревних рослин та їх мінерального живлення [37, 45]. Завдяки застосуванню даного пристрою було встановлено локальне забруднення ймовірним джерелом якого є вапняк що застосовувався в санації на території господарства що знаходилося на території дотичної до даного агрофітоценозу. Локальність показників може стверджувати про нерівномірність забруднення та різних показників ущільнення ґрунту що й характерне для різних ділянок агрофітоценозу на практиці. Розклад джерел підлуження з плином часу та накладення факторів навколишнього середовища (опади, ерозійне вивітрювання) лише розповсюджує забруднення на більшу площину території в той час коли в даному випадку рослинність здатна локалізувати зону забруднення та забезпечити швидше відновлення ґрунтів. Аналізуючи даний порядок пізніше буде сформовано рекомендації щодо подальшого покращення фізико-хімічних властивостей забрудненних ґрунтів подібного характеру та показано характер впливу рослин павловнії на стабілізацію ситуації в агрофітоценозі за рахунок власної накопиченої листкової біомаси. На рисунку 3.7. продемонстровано характерний вплив заміщення кальцієм необхідних елементів в саме відвертий хлороз листків та переважання деградаційних процесів над обсягом фітогенераційних що є значним кроком до усвідомлення ефекту впливу факторів локального забруднення на піддослідні рослини.



Рис. 3.7. Приклад уражених листків Павловнії

На території агрофітоценозу було проведено:

1) Контроль, що не містить мульчування та поливу
2) Мульчування та полив

Таблиця 3.2.

Висота рослин павловнії залежно від застосування мульчування та поливу на чистій та забрудненій ділянках, см

Варіант	Чиста ділянка	Забруднена ділянка
Контроль	177,93	78,3
Мульчування	188,46	100
Полив	189	110,7

3.3. Вплив мінерального живлення на ріст та розвиток рослин

Мінеральне живлення є основним джерелом необхідних речовин що витрачаються рослиною при процесах забезпечення формування надземної біомаси що поглинаються кореневою системою рослини.

Таблиця 3.3.

Вплив внесення мінеральних добрив та золи на висоту рослин павловнії, см

Варіант	Чиста ділянка	Забруднена ділянка
Контроль	178	152
Нітроамофоска (40г)	229	164,7
Зола(75 г)	235	171

Загальний вплив мінерального підживлення можна схарактеризувати наступними фактами описаними в таблиці 3.3 : різниця між характером впливу на ріст між чистою та забрудненою ділянкою становлять 14,61% для контролю. Показники для характеру впливу нітроамофоски можна схарарактеризувати як різницю в прирості на 28,08% що потенційно може пояснити позитивну дію додаткового азотного підживлення. Вплив мінерального підживлення з деревної золи що був раніше описаний можливо описати в відсотковому відношенні як різницю результатів чистої ділянки та забрудненої що відрізняється на 37,43%.

3.4. Порівняння застосування мінерального підживлення та поливу

Оскільки для розчинення необхідних мінеральних речовин необхідна вода було також внесено додатковий полив спрямований на покращення здатності рослин поглинати та транспортувати захоплені кореневою системою рослини шляхом пришвидшеного розчинення .

Таблиця 3.4.

Вплив комплексного застосування мінерального підживлення та поливу на висоту рослин павловнії, см

Варіант	Чиста ділянка	Забрудненна ділянка
Контроль	178	152
Контроль+полив	213	179
Нітроамофоска+полив	249	186
Зола+полив	254	193

Синергія факторів та переважаючі характеристики можна сказати про характерний позитивний вплив агротехнічних заходів на забруднених землях - зріст на чистій ділянці без поливу з внесенням 40 г нітроамофофоски зріс на 28,7 % а на забрудненій на 8,4 %, водночас внесення деревної золи що багата на калій на чистій ділянці дала на 32% більше приросту ніж контроль а на забрудненій 12,5% більше в порівнянні. При додатковому поливу приріст біомаси навіть з додаванням мінеральних джерел підживлення на забруднені ґрунти що мали характер засолення збільшився, в випадку нітроамофоски та золи що загалом демонструє картину більшої продуктивності. Загалом ефект додаткового поливу можна охарактеризувати як ефективний метод пролонгованого розчинення мінеральних речовин що покращує стабільність коренового живлення та гармонізує процеси росту надземної частини шляхом задоволення потреб кореневої системи в

необхідних кількостях та інтервалах. Враховуючи дані з таблиці 3.5. можна схарактеризувати широкий приріст біомаси та фотосинтезуючої площі на чистій ділянкі та порівняно непоганий на забруднених територіях з застосуванням агротехнологічних заходів спрямованих на підвищення мінерального живлення та утримання вологи рослинами павловнії.

Таблиця 3.5.

Вплив агротехнологічних прийомів на основні біометричні показники рослин павловнії

Варіант	Висота	Вага (рослини)	Вага листя (кг)
Зола	2,03	1,706 кг.	0,819
NPK	1,96	1,647 кг.	0.801
Полив	1,49	1.252 кг.	0,609
Мульчування	1,44	1.223 кг.	0,591
Контроль	1,10	0.930	0,4527

Таблиця 3.6.

Кількісні та масові показники розвитку листкового апарату рослин павловнії за різних варіантів догляду

Варіант	Вага листя (кг)	Кількість листків (шт)	Середня вага листка (г)
Зола	0,819	25	32,762
NPK	0,801	27	29,62
Полив	0,609	18	33,832
Мульчування	0,591	18	32,82
Контроль	0,452	19	23,22

Враховуючи проаналізовані дані можна схарактеризувати підвищену середню вагу листків в варіанті з поливом, що попри не велику кількість

листків ймовірно може свідчити про достатнє їх забезпечення водою що дозволяє пришвидшити накопиченням органічних речовин.

Варіант з мульчуванням продемонстрував на забруднених територіях значну вагу і невелику кількість фотосинтезуючого листя. Варіант з внесенням золи в порівнянні з мульчуванням продемонстрував ледь меншу масу одного середнього листка проте в кількістній характеристикі цей варіант має перевагу. Варіант з внесенням нітроамофоски (NPK) показав найбільшу кількість листків та трохи меншу вагу середнього листка що ймовірно може бути спричинено характером впливу нітроамофоски для розчинення основної маси якої потребується більша кількість води.

Показники листкової маси (як ваги середнього листка так і загальної маси) ймовірно дозволяють припустити про характер оцінки розмірно-масового об'єму листкового(фотосинтезуючого) апарату [41]. Водночас враховуючи кількість листків можливо припустити певні кореляції між застосуваними агротехнологічними заходами та інтенсивністю формування та розвитку фотосинтетезуючих рослин павловнії. Показники загальної маси листя ймовірно свідчать про потенціал та сумарне накопичення біомаси листя.

Використовуючи здобуту методами розрахунку інформацію по необхідним для подальшої характеристики показникам необхідно врахувати як середнє значення т. При розрахунку фотосинтетичної площі ділянки отримані результати можуть бути використані для розрахунку кількості рослин павловнії на гектар (га).

За результатами розрахунків було встановлено, що за відстані між рослинами в рядку приблизно 1 м густота посадки рослин павловнії залежна від міжряддя. При міжрядді 70 см в середньому кількість рослин становить 14 286 шт./га, а за 140 см – 7 143 шт./га. що загалом може свідчити про наявність покращеної зони затінення рослинами під час вегетації.

За середньої фотосинтетичної площі однієї рослини 218,24 дм² сумарна фотосинтетична площа на гектар становить відповідно 311,77; та 155,89 м²/га.

Таким чином, зменшення міжряддя від 140 до 70 см може забезпечувати збільшення розрахованої густоти посадки та сумарної фотосинтетичної площі приблизно вдвічі при використанні з урахуванням присутності тіней та ймовірної раціоналізації при різних видах ґрунтів та специфікі їх живлення. Окрім цього опавше листя павловнії є одним з потенційних джерел органічного підживлення забрудненних ґрунтів органічними речовинами що в процесі ґрунтового засвоювання гуміфікуються та з плином часу стають потенційно необхідним чинником покращення фізико-хімічних властивостей забруднених земель. При середній вазі зеленої маси листя для рослин павловнії в 0.7725 кілограми можливо розраховувати об'єм та вагу листя для одного гектара при міжрядді в 70 сантиметрів становить приблизно 11036кг. (11 т.), для міжряддя в 140 сантиметрів становить приблизно 5518кг. (5 т.). Під час процесу опадання листя павловнії втрачає приблизно 75 % від початкової ваги тому значення потенційного покриву підсохлим листям території в 1 гектар приблизно складає : 2759 кг.(2.7 т.) для варіанту міжряддя 70 сантиметрів та 1379 кг (1.3 т.) для варіанту з міжряддям 140 сантиметрів. Ці дані свідчать про певний фіторекреаційний потенціал біомаси павловнії та ймовірності використання даної рослини в якості джерела не лише деревини а й потенційного фіторекреаційного об'єкта. Характер впливу об'єму опалого листя можливо застосовувати не лише для збагачення ґрунту поживними елементами але й для обмеженості доступності важких металів в ґрунті шляхом оптимізації рівня pH [16]. Спираючись на проаналізовані дані інших досліджень також можна сказати що самий потенціал павловнії здатний забезпечити певний об'єм поглинання певних компонентів забруднення ґрунтів що може нести додатковий потенціал враховуючи масштабований на більші об'єми та простори експеримент. Так, згідно досліджень основна маса зафіксованих випадків знайдення слідів важких металів була зафіксована саме в кореневій системі павловнії та її масі а не в фотосинтезуючій [27].

Що дозволяє припустити про характер накопичення окремих важких металів в місці що в умовах досліду знаходиться більше року та продовжує нарощувати обсяги корисної та фотосинтетичної маси після технологічного зрізу а саме кореневій масі і згідно окремих отриманих параметричних даних можна припустити що вплив накопичення даних речовин може бути пов'язаним з забрудненням характерним для певних окремих територій ділянки. Відомо що при надлишку сполук кальцію (Ca) (в випадку дослідження карбонату кальцію) відбувається заміщення іонів калію (K) та магнію (Mg^{2+}) що призводить до зниження можливості рослин застосовувати дані сполуки для генерації необхідних для неї транспортних білків [45]. Саме забезпечення підвищенної дози Калію (K) з золи, що була застосована локально дала кожній рослині додаткові 9 г додаткового легко розчинного калію що замістило локальні втрати через наявність стримуючого фактору забруднення. Враховуючи потенційний ефект внесення фосфору на локальні зони що мають підвищену кількість сполук кальцію можна припустити що при pH 8,5 доступні форми фосфору зв'язуються надлишковим кальцієм і переходять у важкодоступні фосфати кальцію що з одного боку стримує їх засвоєння рослинами а з іншого має негативний вплив на розчинність а потім і поглинання рослинами сполук заліза(Fe) та магнію (Mg) [16, 37] що ймовірно повпливало на появу чіткого формулювання специфічного хлорозу продемонстрованого на рис.3.5 та рис. 3.7. Візуальні підтвердження також можуть свідчити про порушення азотного обміну на локальному рівні якому характерне сильно лужне середовище (pH 8.5) на ділянці де не було внесено додаткового підживлення чи поливу (відсутність мульчування, поливу та внесення нітроамофоски або деревної золи характерне для контрольного варіанту [22, 45].

3.5 Оцінка ефективності виходу деревної біомаси

Доцільним є можливість розрахувати потенційний біоенергетичний потенціал рослин павловнії що ростуть на території агрофітоценозу що має характер забрудненого різноманітними відходами та сполуками. Основною метою з якою зазвичай вирощують рослини павловнії в нинішній час окрім декоративного застосування є отримання деревини що за своїми характеристиками є відмінним матеріалом для виготовлення різноманітних конструкцій та паливом.В контексті нинішніх екологічних проблем пов’язаних з впливом традиційної теплової та теплогенераційної енергетики (накопичення відходів, шлако зольного характеру) та проблем з дефіцитом джерел енергоресурсів та ресурсів що дозволяють швидку теплогенерацію деревна біомаса павловнії може служити чудовим вибором для формування заготовки дрів для опалення, брикетів пелет та тріски для різноманітних джерел теплогенерації накшталт печей та котлів. Поєднання вирощування корисної біомаси і створення альтернативи для вичерпних паливних ресурсів (таких як нафта та продукти її обробки – мазут, газ, дизельне паливо тощо) є екологічним шляхом для потенційно швидкого отримання теплової енергії шляхом спалювання чи перетворення палива в деревний газ а для забрудненних ґрунтів що рідко можуть бути придатними для використання в якості корисної аграрної продукції це джерело додаткової органічної маси. Додатковим плюсом даної культури є доволі висока швидкість відростання, що при оптимальній щільності посадки дає доволі непогані разові результати та при фотосинтезі що має вплив на ріст та розвиток поглинає певну частину CO2.

Для розрахунку було взято отримані емпіричними методами данні описані в таблиці 3.5. та було встановлено структуру надземної біомаси без урахування маси листків – масу стовбура, основного джерела деревини.

Таблиця 3.7.

Структура надземної біомаси та вихід енергетичної деревини рослин павловнії залежно від агротехнологічних прийомів

Варіант	Висота рослини (м)	Заг.маса рослини(кг)	Розрахункова маса стебла (кг)	Частка стебла(%)	Частка листя (%)	Приріст в порівнянні з контролем (%)
Зола 75г.	2,03	1,706	0,887	51,99%	48,01%	+85,84%
NPK 40г.	1,96	1,647	0,846	51,37%	48,63%	+77,25%
Полив 5 л.	1,49	1,252	0,643	51,36%	48,64%	+34,72%
Мульчування	1,44	1,223	0,632	51,68%	48,32%	+32,41%
Контроль	1,10	0,930	0,478	51,32%	48,68%	–
Сер.по досліду	1,60	1,352	0,6971	51,54%	48,46%	–

Враховуючи дані продемонстровані в таблиці 3.7. та раніше отримані показники густоти стояння рослин при ширині міжряддя 70 см – 14286 шт./га., 140 см. – 7143 шт./га. та стандартних теплофізичних параметрів деревини Павловнії [8, 9, 33]. Потенційна вологість свіжої деревини Павловнії може становити 55% що означає вміст сухої речовини в 45% від маси що значить що цей коефіцієнт буде використано для вирахунку потенційної сушки :

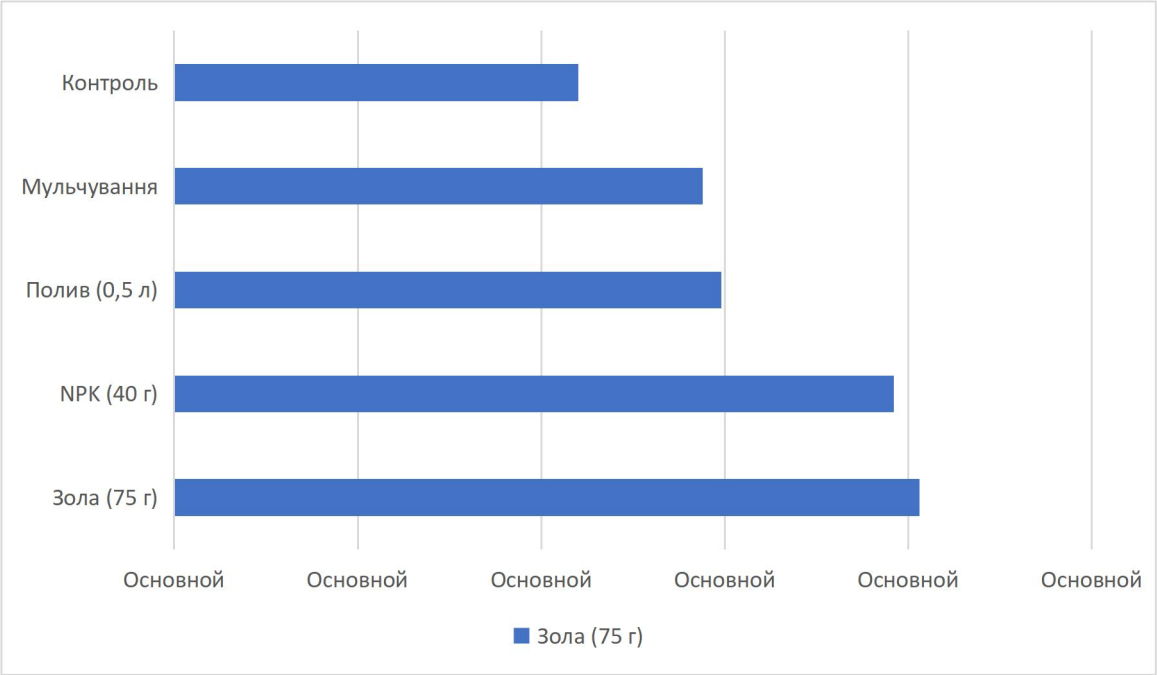

Рис. 3.8. Діаграма залежності росту рослин від варіанту



Рис. 3.9. Графік залежності маси стебла від варіанту

0.846×7143=6042,978≈ 6043кг. – для міжряддя в 140см.

0.846×14286=12085,956 ≈12086кг. – для міжряддя в 70см.

6043×0.45 = 2719,35кг. для варіанту з міжряддям 140см.

12086×0.45= 5438,7 кг. Для варіанту з міжряддям 70см.

Таким чином з урахуванням усушки для варіанту з застосуванням нітроамофоски цей показник становить 2.719 т. та 5.438 т. Спираючись на дані отримані в процесі аналізу робіт Lambert’s at al. та Taiz&Zeiger суха

деревна маса містить в собі 48% чистого вуглецю та коефіцієнтом CO_2 що становить 3,67 [39, 51] дає можливість розрахувати кількість поглинених в ході фотосинтезу сполук карбону (CO_2) для цього необхідно перемножити отриманні дані на коефіцієнти взяті з літературних джерел:

2,71935×0,48×3,67 = 4,790406 т. для міжряддя в 140см.

5,4387× 0,48×3,67= 9,5808139 т. Для міжряддя в 70 см.

Враховуючи отримані результати показники поглинутого під час процесу фотосинтезу карбону формується картина характерна для багатьох біоенергетичних культур а саме – трансформація атмосферного вуглекислого газу частково отриманого в ході антропогенного навантаження на навколишнє середовище в тому числі внаслідок значної кількості надходження CO_2 від теплової енергетики працюючої на викопному паливі в ресурс що має величезний потенціал для обробки не лише як паливо а й як матеріал для виготовлення різних виробів різного призначення.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі було досліджено особливості росту рослин павловнії після технологічного зрізу на забруднених ґрунтах з урахуванням застосування агротехнологічних прийомів : внесення нітроамофоски (N:P:K 16:16:16), деревної золи, мульчування соломою та поливу. За результатами дослідження було встановлено :

1) Досліджуваний агрофітоценоз що розміщений на території колишнього відділку Зарічанського відділку білоцерківського радгоспу для якого характерні чорноземи вилуговувані зазнав серйозного засмічення фізико-хімічними забрудниками в процесі руйнування раніше присутніх на ньому структур та будівель сільськогосподарського призначення. За допомогою органолептичних методів було виявлено залишки вапняку, бетону, азбесту металобрухту та полімерних відходів що локально змінювали грунтове середовище, фітоіндикаційним методом та замірами pH-метром було встановлено негативний вплив сильно лужного середовища на розвиток рослин павловнії.
2) Доведено негативний вплив ущільнення ґрунту в якому присутні джерела підвищеної лужності що формують збої в процесах росту та розвитку рослин шляхом блокування необхідних для неї мікроелементів що візуально проявляється в вигляді хлорозу листків, передчасному опаданні листя та підсушуванні країв на рослинах на яких не було застосовано агротехнологічних прийомів.
3) Застосування агротехнологічних прийомів значно підвищує вірогідність того що рослини будуть здатні подолати стрес викликаний локальними забрудненнями та створити позитивний ефект для підвищення показників росту та біопродуктивності. Так мульчування та полив дало підвищення показників листкової маси що може бути застосована як джерело підживлення після розкладання. Внесення нітроамофоски сприяло розвитку найбільшої кількості фотосинтезуючих листків(27штук) та вплинуло на загальний приріст біомаси а найбільші показники з

продуктивності показав варіант з локальним внесенням золи висота якої на забруднених територіях становила 2.03 метра, маса здерев'янілого стебла 887 грамів. Високі показники що характерні для золи пояснюються високим вмістом калію(K) що здатний блокувати навіть локальну наявність сполук кальцію (Ca). Враховуючи застосування комбінації внесення нітроамофоски та поливу і внесення золи та поливу показники росту та ваги рослин збільшилися.

4) За підрахунками було встановлено що звуження міжряддя до 70 сантиметрів здатне продукувати більшу фотосинтетичну площу та пригнічувати ріст бур'янів за допомогою затінення. Крім цього такий метод згідно розрахунку дав результати в 14286 рослин на гектар що продукує 2,76 тони сухої речовини листового опаду підтримуючи певні показники ґумусу в ґрунті. Також важливими показниками є кількість корисної деревини що можна зібрати для використання в різних сферах у варіанті із внесенням нітроамофоски вихід деревини становить від 2,72 до 5,44 т/га сухої речовини (а у варіанті із золою – до 2,85–5,70 т/га), при цьому для її формування поглинає від 4,7 до 9,58 тон атмосферного вуглецю таким чином локально зменшуючи результати антропогенного навантаження та стабілізуючи речовини що містяться в ґрунті від ерозійного вивітрювання.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Завдяки проведенню польових експериментальних досліджень по визначенню фітоіндикаційної оцінки та розрахунку біопродуктивності рослин павловнії в тому числі і для оцінки біоенергетичного потенціалу рослин що вирощуються на території земель порушених внаслідок антропогенної діяльності та засмічених будівельними відходами ґрунтах було розроблено комплекс практичних рекомендацій спрямованих на підвищення показників росту та розвитку рослин та рекультивації території агрофітоценозу. Ці рекомендації можуть бути адресовані як сільськогосподарським підприємствам так і комунальним службам територіальних громад що мають на своєму балансі землі що не підлягають нормальній роботі з іншими культурами а також біоенергетичним господарствам та екологічним організаціям що займаються рекультивацією сильно забруднених, деградованих чи земель де велися бойові дії.

1) Збір даних про ділянку, з всіх доступних для обробки джерел, відомостей та можливо архівних карт чи документів. Цей шлях допоможе схарактеризувати потенційну схему забруднення та в подальшому розробити карту та план заходів щодо реалізації рекультиваційних робіт шляхом застосування отриманих відомостей та накладення на реальні проблемні ділянки даної території. Потім провести огляд, зібрати показники що можуть бути використані для розрахунку кількості необхідних заходів: органолептичний аналіз: огляд, фітоіндикаційний аналіз (за можливості та пори року), збір даних про показники pH в ділянках що виглядають не потенційними. Якщо знайдено аномалії з рівнем pH чи кольором ґрунту, змінами в рослинності тоді необхідно залучити метод видалення та утилізації твердих відходів що ймовірно наявні та таким чином здатні локально змінювати оптимальний рівень усіх ґрунтовних показників.
2) Після вилучення локальних потенційних джерел забруднення необхідно спробувати застосувати локальну розмітку та планування схеми висадки

рослин павловнії. В місцях потенційної висадки також треба по можливості проробити процес видалення всіх потенційних джерел забруднення та ущільнювачів ґрунту в радіусі 0.4-0.5 м на глибину не більше 30 сантиметрів. Цей захід додатково може збільшити потенціал приросту майбутньої біомаси. При вилученні звертати особливу увагу на будівельні відходи(азбест, цемент, вапняк), промислові відходи (шлаки), металобрухт та видалення хоча б поверхневого забруднення полімерними відходами.

3) Для умов лісостепової зони України пропонується до використання описаний сорт рослини павловнії Українка через широку пластичну здатність та доступність для розмноження . Схема з міжряддям 70 см що продемонструвала 14286 рослин на гектар застосовувалась на сильно ущільнених та еродованих ґрунтах забруднених будівельними відходами. Для лужних, забруднених вапняком і бетоном деградованих ґрунтів (pH 6,8–8,5) рекомендується використовувати 75г деревної золи та 40г нітроамофоски.
4) В умовах першого року застосування необхідно врахувати що рослини треба буде підрізати (проводити технологічний зріз) на висоті 2-3 см від ґрунту для стимуляції подальшого розвитку кореневої системи та збільшення потенціалу наростання вегетаційної маси на наступний рік вирощування.
5) Для подолання лужного середовища чи забрудненого подібними відходами необхідно провести огляд та вибрати для себе один з найбільш підходящих варіантів та при можливості застосовувати додатковий полив (якщо ґрунти не дуже щільні та здатні адекватно транспортувати вологу до коренів) Якщо територія має кислий баланс рекомендується застосувати локальне внесення деревної золи та нормалізувати рівень pH, проте в такому випадку необхідно розуміти рівень азоту, тому для таких випадків можна застосовувати нітроамофоску + полив і додатково мульчування. Саме комбінація двох методів на таких землях теоретично здатна утримувати азот в ґрунті та внести необхідні кількості поживних речовин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1.Ананьєва Т. В., Чорна В. І. Радіобіологія з основами сільськогосподарської радіоекології : навч. посіб. Дніпро : ДНУ ім. О. Гончара, 2022. 216 с.
2. Білявський Г. О., Фурдуй Р. С., Костіков І. Ю. Основи екології : підручник. 3-тє вид. Київ : Либідь, 2006. 408 с.
3. Бордусь О. Ю. Агротехнологічні аспекти вирощування біомаси павловнії в умовах правобережного Лісостепу України : дис.... д-ра філософії : 201 «Агрономія». Київ, 2023. 180 с.
4 . Буджак В. В., Дідух Я. П. Синфітоіндикаційна оцінка оселищ рослин Червоної книги України та ризиків їхніх втрат під впливом кліматогенних змін. Український ботанічний журнал. 2020. Т. 77, № 6. С. 434–453. URL: https://ukrbotj.co.ua/pdf/77/6/ukrbotj-2020-77-6-434.pdf (дата звернення: 06.11.2026).
5 . Вплив біостимуляторів ґрунту на зміну якості роботи ґрунтообробних агрегатів / П. Фіндура та ін. Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія: Агроінженерія. 2023. № 27. С. 45–52.
6 . Інтерактивна історична та супутникова карта м. Біла Церква (координати 49.78419, 30.09876). OldMaps.com.ua : вебсайт. URL: https://oldmaps.com.ua/bilatserkva/?leftmap=150766&rightmap=google#17/49.78419/30.09876 (дата звернення: 06.11.2026).
7 . Лавська Н. В. Мульчування як складова частина вирощування органічної продукції. Сучасний стан і перспективи розвитку органічного виробництва : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. Київ, 2020. С. 84–87.
8. Макух Д. Я. Розробляння елементів технології вирощування павловнії в умовах Правобережного Лісостепу України : кваліфікаційна робота магістра : 201 «Агрономія». Умань, 2026. 78 с.
9. Мацкевич О. В., Філіпова Л. М., Мацкевич В. В., Андрієвський В. В. Павловнія : наук.-практ. посіб. Біла Церква : БНАУ, 2019. 80 с.
10 . Назаренко І. І., Польчина С. М., Нікорич В. А. Ґрунтознавство з основами геології : підручник. : Книги-ХХІ, 2004. 400 с.
11. Особливості забруднення ґрунтів важкими металами в результаті бойових дій / І. В. Кураєва та ін. Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки. 2024. Т. 29, вип. 1 (44). С. 62–75.
12 . Позняк С. П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів : підручник. У 2 ч. Ч. 2. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 286 с.
13. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів / В. Л. Самохвалова, А. І. Фатєєв, С. І. Зуза та ін. Агроекологічний журнал. 2015. № 1. С. 48–56. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2015.272192
14. Хімічна меліорація ґрунтів. Концепція інноваційного розвитку / за наук. ред. С. А. Балюка. Харків : Міськдрук, 2012. 128 с.
Латиничні джерела
15. Ali H., Khan E., Sajad M. A. Phytoremediation of heavy metals–Concepts and applications. Chemosphere. 2013. Vol. 91, No. 7. P. 869–881. DOI:

https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075
16. Alloway B. J. (Ed.). Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. 3rd ed. Dordrecht : Springer, 2013. 613 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7
17. Arthur E. L., Rice P. J., Rice P. J., Anderson T. A. Phytoremediation – An Overview. Critical Reviews in Plant Sciences. 2005. Vol. 24, No. 2. P. 109–122. DOI: https://doi.org/10.1080/07352680590952496
18 . Baker A. J. M. Accumulators and excluders–strategies in the response of plants to heavy metals. Journal of Plant Nutrition. 1981. Vol. 3, No. 1–4. P. 643–654. DOI: https://doi.org/10.1080/01904168109362867
19. Beckjord P. R., McIntosh M. S. Paulownia tomentosa: Effects of fertilization and coppicing in plantation establishment. Southern Journal of Applied Forestry. 1983. Vol. 7, No. 2. P. 81–85. DOI: https://doi.org/10.1093/sjaf/7.2.81
20. Blanco-Canqui H., Lal R. Principles of Soil Conservation and Management. Dordrecht : Springer, 2010. 617 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8709-7
21. Bradl H. B. (Ed.). Adsorption of Heavy Metal Ions on Soils and Soil Constituents. Amsterdam : Elsevier, 2004. Vol. 6. P. 1–27.
22. Brady N. C., Weil R. R. The Nature and Properties of Soils. 15th ed. Boston : Pearson, 2016. 1104 p.
23. Bréda N. J. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. Journal of Experimental Botany. 2003. Vol. 54, No. 392. P. 2403–2417. DOI: https://doi.org/10.1093/jxb/erg263
24. Cunningham S. D., Berti W. R., Huang J. W. Phytoremediation of contaminated soils. Trends in Biotechnology. 1995. Vol. 13, No. 9. P. 393–397. DOI: https://doi.org/10.1016/S0167-7799(00)88987-8
25. Cunningham S.D., Ow D.W. Promises and prospects of phytoremediation. Plant Physiology. 1996. Vol.110, No.3.P.715-719.DOI: https://doi.org/10.1104/pp.110.3.715
26. Demeyer A., Voundi Nkana J. C., Verloo M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. Bioresource Technology. 2001. Vol. 77, No. 3. P. 287–295. DOI: https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00043-2
27. Doumett S., Lamperi L., Checchini L. et al. Heavy metal distribution between contaminated soil and Paulownia tomentosa, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: influence of different complexing agents. Chemosphere. 2008. Vol. 72, No. 10. P. 1481–1490. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.083
28. Evans G. C. The Quantitative Analysis of Plant Growth. Berkeley : University of California Press, 1972. 734 p.
29. Gomez K. A., Gomez A. A. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 1984. 680 p.
30. Hillel D. Introduction to Environmental Soil Physics. Amsterdam : Elsevier Academic Press, 2004. 494 p.

31. Hou D., O'Connor D., Igalavithana A. D. Et al. Metal contamination and bioremediation of agricultural soils for food safety and sustainability. Nature Reviews Earth & Environment. 2020. Vol. 1. P. 366–381. DOI: https://doi.org/10.1038/s43017-020-0061-y
32. Hunt R. Plant Growth Analysis: A Functional Approach. London : Edward Arnold, 1982. 248 p.
33. Ismael P. A., Hamad S. O. Influence of Irrigation Intervals and Mulching Treatments on Growth and Development of Paulownia tomentosa (Thunb.) Steud. Saplings in the Bazian District, Kurdistan Region, Iraq. Kirkuk University Journal for Agricultural Sciences. 2026. Vol. 17, No. 1. P. 91–104. DOI: https://doi.org/10.58928/ku26.17112
34. Jakubowski M. Cultivation Potential and Uses of Paulownia Wood: A Review. Forests. 2022. Vol. 13, No. 5. Article 668. DOI: https://doi.org/10.3390/f13050668
35. Johansen J. L., Nielsen M. L., Vestergård M. Et al. The complexity of wood ash fertilization disentangled: Effects on soil pH, nutrient status, plant growth and cadmium accumulation. Environmental and Experimental Botany. 2021. Vol. 185. Article 104424. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104424
36. Jonckheere I., Fleck S., Nackaerts K. Et al. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. Agricultural and Forest Meteorology. 2004. Vol. 121, No. 1–2. P. 19–35. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.08.027
37. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2011. 548 p.
38. Kadlec J., Novosadová K., Kománek M., Pokorný R. Influence of the amount of water on the growth of one species and four hybrids of Paulownia in the first year of cultivation in Central Europe. Journal of Forest Science. 2025. Vol. 71, No. 6. P. 286–296. DOI: https://doi.org/10.17221/19/2025-JFS
39. Lambers H., Chapin F. S., Pons T. L. Plant Physiological Ecology. 2nd ed. New York : Springer, 2008. 605 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3
40. Lavanya M. B., Viswanath D. S., Sivapullaiah P. V. Phytoremediation: An eco-friendly approach for remediation of heavy metal-contaminated soils–A comprehensive review. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2024. Vol. 22. Article 100975. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enmm.2024.100975
41. Maenpuen P., Katabuchi M., Onoda Y. Et al. Sources and consequences of mismatch between leaf disc and whole-leaf leaf mass per area (LMA). American Journal of Botany. 2022. Vol. 109, No. 8. P. 1242–1250. DOI: https://doi.org/10.1002/ajb2.16038
42. Mamirova A., Pidlisnyuk V., Amirbekov A. Et al. Phytoremediation of Soil Contaminated by Organochlorine Pesticides and Toxic Trace Elements: Prospects and Limitations of Paulownia tomentosa. Toxics. 2022. Vol. 10, No. 8. Article 465. DOI: https://doi.org/10.3390/toxics10080465

43. Margesin R., Schinner F. Manual for Soil Analysis – Monitoring and Assessing Soil Bioremediation. Berlin : Springer, 2005. 366 p. DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-28904-6

44. Marinari S., Mancinelli R., Brunetti P., Radicetti E. Can the Biological Activity of Abandoned Soils Be Changed by the Growth of Paulownia elongata × Paulownia fortunei?–Preliminary Study on a Young Tree Plantation. Forests. 2022. Vol. 13, No. 12. Article 2096. DOI: https://doi.org/10.3390/f13122096

45. Marschner P. (Ed.). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd ed. London : Academic Press, 2012. 672 p. DOI: https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9

46. McGrath S. P., Zhao F. J. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. Current Opinion in Biotechnology. 2003. Vol. 14, No. 3. P. 277–282. DOI: https://doi.org/10.1016/S0958-1669(03)00060-0

47. Nuzhyna N. V., Henzerska N. V., Rudich H. O., Kovalova S. P., Dmytrenko O. V. Impact of lead on Catalpa bignonioides and Paulownia tomentosa and its phytoremediation ability. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2025. Vol. 16, No. 3. Article e25146. DOI: https://doi.org/10.15421/0225146

48. Poorter H., Niinemets Ü., Ntagkas N. Et al. A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. New Phytologist. 2019. Vol. 223, No. 3. P. 1073–1105. DOI: https://doi.org/10.1111/nph.15754

49. Raskin I., Ensley B. D. (Eds.). Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment. New York : John Wiley & Sons, 2000. 314 p.

50. Salt D. E., Smith R. D., Raskin I. Phytoremediation. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 1998. Vol. 49. P. 643–668. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.643

51. Taiz L., Zeiger E., Møller I. M., Murphy A. Plant Physiology and Development. 6th ed. Sunderland : Sinauer Associates, 2015. 761 p.

52. Tamma A. A., Lejcuś K., Fiałkiewicz W., Marczak D. Advancing Phytoremediation: A Review of Soil Amendments for Heavy Metal Contamination Management. Sustainability. 2025. Vol. 17, No. 13. Article 5688. DOI: https://doi.org/10.3390/su17135688

53. Tzvetkova N., Miladinova K., Ivanova K. Et al. Possibility for using of two Paulownia lines as a tool for remediation of heavy metal contaminated soil. Journal of Environmental Biology. 2015. Vol. 36 (Special Issue). P. 145–151.

54. Watson D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. Annals of Botany. 1947. Vol. 11, No. 1. P. 41–76. DOI: https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083148

55. Winterkorn H. F., Pamukcu S. Soil Stabilization and Grouting. Foundation Engineering Handbook / ed. by H.-Y. Fang. 2nd ed. Boston : Springer, 1991. P. 317–378. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3928-5_9

56. Нерубенко І. О., Мацкевич В. В. Вплив агротехнологічних прийомів на ріст рослини павловнії після технологічного зрізу на ділянці із забрудненим ґрунтом // «Наукові пошуки молоді у XXI столітті» Біоресурси та агропродовольчі системи: інновації та сталі практики : зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф. магістрантів, м. Біла Церква, 28 жовт. 2026 р. Біла Церква : БНАУ, 2026. URL: https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/konference/2026/prog_btf_ecolog_28.10.2026.pdf

ДОДАТОК А


INTERNATIONAL
SCIENCE GROUP
Certificate
OF PARTICIPATION
is awarded to
Nerubenko Ivan
for active involvement in
VIII International Scientific and Practical Conference
«The modern dimension of interdisciplinary research:
from theory to practice»
October 27–30, 2026, Florence, Italy
24 Hours of Participation
(0,8 ECTS credits)
Organizing committee
SIGNATURE
Google Scholar
Bowker
OUCI
Open Ukrainian Citation Index
doi
Crossref
Content Registration