

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

зав. кафедри екології

к.с.-г.н. \_\_\_\_\_ В.В. Кацевич

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Бакалавр»

на тему: «Біомоніторинг ґрунтів Ботанічного саду Дніпровського  
національного університету ім. Олесья Гончара»

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу,  
групи Е-1-20 спеціальності 101 «Екологія»  
\_\_\_\_\_ Дудник Д. А.

Керівник \_\_\_\_\_ к.с.-г.н. доцент Зленко І. Б.

Рецензент \_\_\_\_\_ к.б.н. доцент Кабар А. М.

Дніпро-2024

Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
Факультет водогосподарської інженерії та екології

Кафедра екології

Спеціальність 101 «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

зав. кафедри екології

к.с.-г.н. \_\_\_\_\_ В.В. Кацевич

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на дипломну роботу для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

здобувачу вищої освіти

Дуднику Денису Анатолійовичу

1. Тема проекту (роботи) Біомоніторинг ґрунтів Ботанічного саду Дніпровського національного університету ім. Олесь Гончара  
керівник роботи: доц. к. с-г. н. Зленко Ірина Борисівна  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджена наказом по ДДАЕУ від «-» місяць—2024 р. № 3057.
2. Термін здачі здобувачем вищої освіти закінченого проекту (роботи): «\_\_»  
\_\_\_\_\_ 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Зразки ґрунту зібрані під різними агроценозами в ботанічному саду ім. Олесь Гончара.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їй належить розробити): Вступ; 1 Огляд літератури; 2 Матеріали та методи досліджень; 3 Результати досліджень; 4 Охорона праці; Висновок; Список використаних джерел
5. Перелік графічного матеріалу ( з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
Рисунків –  
Таблиць –

Використаної літератури –

Розділів –

Сторінок –

6. Консультанти по проекту (роботі), із зазначенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Зленко І.Б.		

Дата видачі завдання: «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ р.

Керівник проекту (роботи) Зленко Ірина Борисівна / \_\_\_\_\_  
(ПІБ). / \_\_\_\_\_ (підпис)

Завдання прийняв до виконання: Дудник Денис Анатолійович / \_\_\_\_\_  
(ПІБ). / \_\_\_\_\_ (підпис)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	20.03.24-25.04.23	виконано
2	Матеріали та методи досліджень	27.04.24-15.05.24	виконано
3	Результати досліджень	18.05.24-05.06.24	виконано
4	Охорона праці	06.06.24-11.06.24	виконано
5	Висновок	12.06.24-13.06.24	виконано

Студент-дипломник \_\_\_\_\_ / Дудник Денис Анатолійович  
(підпис) / (ПІБ).

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ / Зленко Ірина Борисівна  
(підпис) / (ПІБ).

## Реферат

Тема дипломної роботи «Біомоніторинг ґрунтів Ботанічного саду Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара»

Дипломна робота складається із вступу, 4 розділів, висновків та переліку посилань. Повний обсяг роботи – 71 сторінку друкованого тексту, включаючи 5 рисунків та 7 таблиць. Перелік посилань містить 43 найменування.

Мета досліджень : дослідити розподіл прокладання рослинних залишків під впливом однакових умов температури та вологості в біоценозах сосни чорної.. Інтенсивність розкладання органічних решок комплексом целюлозоруйнівних мікроорганізмів як індикатор біологічних процесів ґрунту.

Об'єкт дослідження - ґрунти Ботанічного саду.

Предмет дослідження - вивчення особливостей процесу розкладання у ґрунті ботсаду за участі целюлозоруйнівних мікроорганізмів.

Для досягнення мети поставлені такі завдання:

- Дослідити розподіл чисельності целюлозоруйнівних мікроорганізмів;
- Дослідити видовий склад целюлозоруйнівних мікроорганізмів;
- Визначити потенційні економічні переваги проведення біологічного моніторингу агроєкосистем;

Методи дослідження: мікробіологічний аналіз ґрунту, визначення вологості та біологічної активності.

Ключові слова: БІОМОНІТОРИНГ, АНАЛІЗ ҐРУНТУ, РОЗКЛАДАННЯ ЦЕЛЛЮЛОЗИ, МІКРОБІОМ.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. БІОМОНІТОРИНГ ГРУНТІВ БОТАНІЧНОГО САДУ ДНІПРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМ. ОЛЕСЯ ГОНЧАРА	9
1.1 Мережа ботанічних садів та їх роль в екології	9
1.2 Опис сосни чорної	12
1.3 Біоіндикаторні організми	14
1.4 Біомоніторинг впливу важких металів на ґрунтові екосистеми	22
1.5 Роль ботанічних садів у збереженні біорізноманіття	26
1.6 Технології догляду за ґрунтом у ботанічних садах	30
2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	33
2.1 Об'єкт та місце проведення досліджень	33
2.2 Ґрунтові умови	35
2.3 Кліматичні умови.	38
2.4 Методи досліджень	39
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	41
3.1 Аналіз фізико-хімічних властивостей ґрунтів дослідних ділянок	41
3.2 Визначення активності целюлозоруйнівних бактерій у ґрунтах дослідних ділянок	47
3.3 Вплив ґрунтових умов на активність целюлозоруйнівних бактерій та зростання сосни чорної	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	57
4.1 Заходи з охорони праці в ботанічному саду ДНУ	57
4.2 Аналіз виробничого травматизму	58

4.3 Охорона праці під час відбору проб ґрунту	59
4.4 Заходи безпеки при роботі в лабораторії	60
ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

## ВСТУП

Сучасні ботанічні сади є не лише місцями краси і відпочинку, але й важливими центрами збереження та дослідження біорізноманіття рослинного світу. Завдяки їхнім зусиллям, здійснюється важлива робота з охорони і відновлення рідкісних і вимерлих видів рослин, які відіграють важливу роль у підтримці екологічної рівноваги нашої планети.

Ботанічні сади зберігають не лише колекції живих рослин, а й величезні архіви генетичного матеріалу, які є безцінним ресурсом для майбутніх поколінь. Їхня зброя в боротьбі за збереження біорізноманіття включає наукові дослідження, програми відтворення в природних умовах, а також освітні і публічні ініціативи, що сприяють популяризації та усвідомленню важливості збереження природних ресурсів.

Однією з ключових складових здоров'я рослин є стан ґрунтів, на яких вони ростуть. Ґрунтова екосистема забезпечує необхідні умови для життєдіяльності рослин, постачаючи поживні речовини та воду, а також забезпечуючи фізичну підтримку для кореневої системи. Однак інтенсивне сільське господарство, міська експансія та інші антропогенні впливи можуть призвести до погіршення стану якості ґрунту, що має негативні наслідки для біорізноманіття та здоров'я рослин.

Ця дипломна робота присвячена дослідженню біомоніторингу ґрунтів ботанічного саду як інструменту для оцінки їхнього стану та впливу антропогенних факторів на їхню екосистему. Особлива увага приділяється застосуванню сучасних технологій, таких як мульчування, фіторемедіація та гравіметричному методу вимірювання вологості ґрунту, які сприяють

покращенню якості ґрунту та зменшенню негативного впливу людської діяльності.

Особливий акцент робиться на дослідженні впливу гравіметричного методу вимірювання вологості на стан ґрунту, оскільки цей метод дозволяє точно визначити вологість, що є критичним параметром для здоров'я кореневої системи рослин. Результати дослідження нададуть важливі дані для розуміння взаємозв'язків між ґрунтовими параметрами та здоров'ям рослин, що сприятиме розробці ефективних стратегій управління та охорони природних екосистем.

З метою досягнення поставленої мети, робота включає аналіз різноманітних аспектів впливу антропогенних факторів на ґрунтову екосистему ботанічного саду, оцінку змін у фізико-хімічних властивостях ґрунтів та їхній вплив на біорізноманіття. Розглядаються технології інтенсивного використання ґрунтів, такі як мульчування та фіторе mediaція, які сприяють покращенню якості ґрунту та зниженню впливу шкідливих факторів.

Дослідження проводяться з використанням сучасних методів вимірювання та аналізу, що дозволяє збирати об'єктивні дані для подальшого наукового аналізу. Зокрема, враховується вплив кліматичних змін, забруднення ґрунтів від промислової діяльності та інших природних або антропогенних чинників.

Таким чином, дана робота спрямована на систематизацію та аналіз зібраної інформації щодо стану ґрунтів у ботанічних садах, їхнього впливу на рослинний світ та впровадження рекомендацій для покращення їхнього стану та збереження біорізноманіття.



# **1. БІОМОНІТОРИНГ ГРУНТІВ БОТАНІЧНОГО САДУ ДНІПРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМ. ОЛЕСЯ ГОНЧАРА**

## **1.1 Мережа ботанічних садів та їх роль в екології**

Ботанічний сад – це установа, що документує та зберігає колекції живих рослин з метою збереження природної різноманітності, освіти та наукових досліджень. Він весь час адаптується до нових потреб суспільства та виконує провідну роль у збереженні та відновленні біорізноманіття[1].

В останній час, стан екологічної рівноваги значно погіршився, що в свою чергу призвело до збільшення уваги до цієї проблеми, та рішучих дій. Наслідки антропогенної діяльності, а саме різка втрата біорізноманіття та глобальне потепління, значно прискорили свої темпи зростання, і як наслідок погіршили добробут людей. За прогнозами вчених майже 40% видів рослин зіштовхнуться з ризиком вимирання в найближчий час. Також через дію людей було змінено майже 66% морських екосистем і 74% наземних.

Негативні зміни в кліматі супроводжуються надзвичайними ситуаціями, які загрожують біорізноманіттю по всьому світу, тому роль ботанічних садів у вирішенні цих проблем складно переоцінити. Знання в технічних та екологічних питаннях дозволяє таким установам добре виступати у протидії глобальним кризам. Робота в ботанічних садах дозволяє зміцнити зв'язок між людиною та природою, а також вирішити низку проблем, тому є невід'ємною частиною для майбутнього рослин на людей.

На нашій планеті існує близько 3200 ботанічних садів, які дають нам можливість отримати дуже багато екземплярів живих рослин [2].

Рослинні колекції, вирощені на відкритих територіях ботанічних садів, стають більш важливими для збереження видів поза їх природним середовищем. Ботанічні сади часто є одними з головних установ, які приймають участь у збереженні та відновленні саме диких видів рослин, а це майже 30% відомого різноманіття рослин, тобто 105 634 види.

Колекції в ботанічних садах можуть складатися з цілих рослин, тканинних культур або насіння. Колекції, що зберігаються як насіння, називаються «банками насіння». Банк насіння як форма збереження традиційно використовується для диких або сільськогосподарських видів культур. Однак протягом останніх двох десятиліть все більше ботанічних садів та інших ботанічних установ створюють банки насіння з метою збереження диких рослин.

Такий банк передбачає збір насіння дикорослих рослин, їх підготовку, висушування, та зберігання в холодних умовах. Для того, щоб колекції насіння мали цінність для збереження, необхідно прийняти певні протоколи. MSBP розробив стандарти збереження насіння, які виконують практику для найкращого тривалого зберігання ортодоксального насіння. Після цього колекції насіння стають доступними та за потреби можуть бути використані для реінтродукції, різноманітних досліджень, або відновлення. Насінневі банки забезпечують страхування рослин від загроз, включаючи деградацію та втрату середовища існування, видову чужорідну інтродукцію, безмірну експлуатацію, забруднення, хвороби та зміну клімату.

У спільноті ботанічних садів є одні з найбільших і найдосконаліших банків насіння, які працюють на глобальному та національному рівнях. Наприклад, Millennium Seed Bank Королівського ботанічного саду, RBG Kew у Великій Британії, Bank Germplasm of Wild Species (GBOWS) у Китаї, та PlantBank RBG Sydney в Австралії, але, що не менш важливо, широка мережа

невеликих, але дуже ефективних банків насіння зберігає різноманітність місцевих рослин на національному чи регіональному рівнях.

Однак банки насіння підходять не для всіх видів. Щонайменше 10% покритонасінних рослин і 36% видів рослин, що перебувають під критичною загрозою зникнення, дають нестійке насіння, визначене як насіння, яке не витримує стандартних процесів сушіння, залучених до його зберігання. Також є види які дають дуже мало насіння, якого недостатньо для доцільного зберігання, або дають насіння дуже чутливе до низьких температур, тому що зазвичай в банках насіння часто використовується низька температура. Насіння таких видів зберігати за допомогою традиційних методів не вийде, тому вони відомі як «виняткові» види. Вони вимагають альтернативних методів збереження поза їх природним середовищем, і одним з таких методів є використання живих колекцій в ботанічних садах. Окрім захисту виняткових видів, живі колекції сприяють збереженню рідкісних і зникаючих рослин, забезпечуючи запаси для програм розмноження та дослідження зростаючих потреб окремих видів[3].

Ботанічні сади підтримують обмін і поєднання традиційних наукових знань і екологічної політики, вони збільшують економічний розвиток для сільського господарства, лісництва та рибальства[2].

В епоху Відродження створення перших ботанічних садів послужило центром для розповсюдження основних знань у галузі ботаніки шляхом освітніх і дослідницьких ініціатив.

У 1812 році у Мюнхені був заснований один з перших сучасних ботанічних садів, розташований між площею Стахус та центральним вокзалом. Тепер ця територія відома як *Alter Botanischer Garten* (старий ботанічний сад) і все ще підтримується як громадський парк. За кілька десятиліть до 1812 року доступ до таких об'єктів, як оранжереї, був обмежений. Ботанічні сади набули популярності як серед місцевих жителів, так і серед іноземних гостей. Як туристичні напрямки, вони також є формою міського природного туризму. Починаючи з середини 19 століття середній

клас та здобувачі вищої освіти були дуже зацікавлені у відвідуванні ботанічних садів, тому розвиток туризму в такому напрямку був значним[4].

Звернення уваги великої кількості громадян до питань збереження рослин і біорізноманіття є головним способом відзначити соціальну важливість ботанічних садів. Дослідження, проведені в Королівських ботанічних садах Кью (Велика Британія) і Арнольдському дендропарку (Гарвардський університет, США), яскраво ілюструють зміни у фенології рослин за останнє століття. Наприклад, у Королівських ботанічних садах Кью (RBG Kew) багато рослин, які квітнуть навесні, розпочинають цвісти на 1–3 тижні раніше, ніж 20–30 років тому. Ресурси ботанічних садів, їхні дані та наукові програми є важливими для покращення нашого розуміння глобальних екологічних викликів і тому неможливо переоцінити їх важливість.

Ботанічні сади, прагнучи до майбутнього, не повинні втрачати своєї основної мети. З огляду на зростання загроз біорізноманіттю по всьому світу, також зростає загроза й для культурного різноманіття. Тому ботанічні сади розглядають можливості включення культурного різноманіття до своїх програм і стратегій збереження. Співпраця з іншими організаціями є одним із способів для сталого розвитку значущих та сильних ініціатив. Існує подвійна необхідність для всіх ботанічних садів, розглядати інноваційні підходи для підвищення обізнаності про культурне різноманіття як частину своєї місії для їх збереження.[4]

## 1.2 Опис сосни чорної

Сосна чорна, відома також як *Pinus nigra*, це вічнозелене дерево з сімейства шпилькових. Знаходячись у відповідних умовах зволоженості і живлення, вона може досягти висоти від 20 до 30 метрів, а іноді навіть

більше. Річний приріст у висоту оцінюється приблизно в 20 сантиметрів. Пік інтенсивного росту спостерігається близько 30-40 років, після чого темпи зменшуються. Стовбур дерева при нормальному розвитку є прямим і граціозним, а кора може мати світло-сірий або темно-коричневий колір, з глибокими борознами.

*Pinus nigra* є рослиною з одностатевими квітами. Починає вона плодоносити з 15-річного віку. Чоловічі шишки, які збираються в кластери біля основи нових гілок, переважно на бокових гілках дорослих дерев, розташовані у нижній частині крони. Вони мають циліндричну форму, світло-жовтого кольору, приблизно 2 см завдовжки і вкриті численними лусками, що містять багато пилку. Жіночі шишки досягають довжини 5-5,7 см і ширини 2-3,5 см, зазвичай зібрані по 2-4 штуки. Вони мають яйцеподібну або трохи витягнуту форму шишки, які мають блискучо-сіро-бурий колір. Луски всередині шишок мають чорно-буре забарвлення. Апофізи шишок є здутими, з гострим поперечним кілем, округленим зверху, сіро-бурого кольору, з виступаючим бугорком, з гострим коротким закінченням. Дозріле насіння має подовжено-яйцеподібну форму, довжиною 4-6 см, сірого або червоно-коричневого кольору з дрібними плямами, з довгою крилоподібною структурою завдовжки 19 мм. У кожній шишці міститься приблизно 30-40 насінин, з яких життєздатною вважається половина.

Головною характеристикою *Pinus nigra* є її стійка зеленість, яка зберігається протягом усього року. Це робить її ідеальним варіантом для маскування, не гарного для загального огляду місця, а також дозволяє зробити інтимну атмосферу в певних ділянках саду. Таким чином вона має колекційне і декоративне значення для колекцій ботанічного саду, що в свою чергу пояснює чому їх там цілий масив.

*Pinus nigra* має більшу стійкість до забруднення промисловими відходами, ніж інші види сімейства шпилькових, і тому її часто використовують для облаштування ділянок, розташованих на насипних

грунтах з чималою кількістю будівельного сміття. Висаджені вздовж автострад, дерева у формі "Pyramidalis" та "Obelisk", мало того, що будуть збільшувати рівень кисню в повітрі міста, а ще й поглинатимуть пил та зменшуватимуть рівень шуму, а особлива колоноподібна форма зменшить ризик пошкоджень гілок транспортом.[5]

### 1.3 Біоіндикаторні організми

Біоіндикатори — це види, групи видів або спільноти різноманітних організмів, за присутністю, кількістю та характеристиками яких можна легко оцінити якість навколишнього середовища[9].

Ґрунт є ресурсом, який виконує ключові функції та надає екосистемні послуги, які надзвичайно важливі для людства. Багато з цих функцій і послуг залежать від мікроорганізмів, які регулюють основні біогеохімічні цикли, такі як кругообіг вуглецю та азоту, а також здійснюють багато інших процесів, включаючи деструкцію органічної речовини та підтримання родючості ґрунту.

Зміни у складі або чисельності мікробного співтовариства можуть призвести до змін у швидкості або регулюванні ключових функцій, і вважається, що мікробне біорізноманіття забезпечує стійкість ґрунтів до забруднень. Високий рівень мікробного біорізноманіття сприяє стабільності екосистемних процесів, підвищуючи їх здатність до самовідновлення та адаптації в умовах екологічного стресу.

Використання індикаторних організмів або модельних груп для оцінки біологічного стану ґрунту є ефективним підходом для моніторингу ґрунтових екосистем. Це дозволяє отримувати точні дані про екологічну

якість ґрунту, забезпечуючи своєчасне виявлення змін у біогеохімічних процесах і сприяючи стійкому управлінню ґрунтовими ресурсами.

Існують численні приклади використання бактерій як індикаторних організмів в різних екосистемах. Проте, пошук відповідного біоіндикатора для моніторингу ґрунтових умов на місцевому, регіональному та національному рівнях залишається складним завданням. Це вимагає врахування специфічних екологічних умов та адаптивних властивостей мікроорганізмів, а також забезпечення їх репрезентативності та чутливості до змін у ґрунтових екосистемах.[6]

На даний момент існує значна кількість біологічних індикаторів здоров'я ґрунту на мікробіологічному рівні. До них належать мікробна біомаса та активність, ґрунтове дихання, активність ґрунтових ферментів, загальна мікрофлора, що включає еубактерії, архебактерії, гриби, водорості та патогени коренів рослин. Ці показники забезпечують всебічну оцінку стану ґрунтових екосистем, відображаючи їхню біогеохімічну активність, стійкість до екологічних стресів та здатність підтримувати здоров'я рослин.

Загальна мікрофауна ґрунту, що включає найпростіших, нематод, дрібних колембол і кліщів, є ефективним біоіндикатором здоров'я ґрунту. Для оцінки стану ґрунту за допомогою популяцій нематод був розроблений спеціальний індекс зрілості.

В 1997 році вчений на ім'я Ван Страален видвинув пропозицію для використання структури спільноти ґрунтових членистоногих в якості біоіндикаторів стану ґрунту.

Він підкреслив важливість складних взаємозв'язків між членистоногими та їх екологічними нішами, акцентуючи увагу на аналізі видового складу, життєвих стратегій та трофічної різноманітності. Цей підхід дозволяє детально оцінити екосистемні процеси та здоров'я ґрунту на основі інтеграції біологічних та екологічних показників.

Ван Страален розробив методику оцінки якості ґрунту за допомогою індексів ( QBS-ag та QBS-c), що базується на аналізі ґрунтової мезофауни. Ці

індекси використовуються як показники функціонального стану ґрунту, що дозволяє здійснити комплексну оцінку екологічного здоров'я ґрунту, та визначити рівень його деградації або відновлення.

Індекс QBS має чотири ключові властивості, якими повинен володіти корисний індекс. Він базується на функціональній інформації, а не просто на детальній таксономії. Індокси, що ґрунтуються лише на багатстві видів (або інших таксономічних груп), мають тенденцію до редуccionізму та можуть призвести до втрати інформації. Тому слід пов'язувати з кожною таксономічною групою її екологічні особливості, такі як екологічні потреби, життєвий цикл та трофічний рівень.

Однак, незважаючи на те, що використання індексу QBS-ag сприяє практичному оцінюванню якості ґрунту, існують деякі критичні аспекти.

В першу чергу, для отримання організмів, які використовуються для індексу QBS-ag, необхідно використовувати екстрактор Berlese-Tullgren, після чого проводиться їхнє спостереження під стереомікроскопом. Дана процедура вимагає спеціального обладнання, та часто є недоступною для працівників різних заповідних комплексів або ботанічних садів. Крім того, відсутність ідентифікації видів може призвести до втрати детальної інформації. І останнє це те, що індекс QBS-ag ґрунтується виключно на відсутності або присутності різноманітних організмів, яким присвоюється екоморфологічна оцінка, ігноруючи чисельність особин у цих групах.

Введення параметра чисельності в індекс QBS-ag є складним завданням, оскільки організми мезофауни дуже малі та часто надзвичайно численні, що робить підрахунок їхньої чисельності трудомістким і часозатратним процесом. Це ускладнює точну оцінку та вимагає значних ресурсів для аналізу.

Одним із найпростіших прикладів біоіндикатора ґрунту може бути звичайний дощовий черв'як. Дощові черв'яки належать до макрофауни (розмір 4–200 мм), проте деякі види можуть досягати розмірів, що відповідають мегафауні (>200 мм). Ці організми, відомі як ґрунтові інженери,



здатні змінювати структуру та властивості ґрунту завдяки своїй фізіологічній активності, впливаючи на аерацію, дренаж та розкладання органічної речовини. Також розрізняють три види впливу діяльності дощових черв'яків на ґрунт:

**Фізичний вплив.** Риття нір і створення лиття впливають на пористість ґрунту, утворюючи мікропори, що впливає на структуру агрегації. Нори формують шлях для переміщення поверхневих вод і великих частинок ґрунту з поверхні до глибоких шарів, полегшуючи доступ коренів рослин до ґрунту. Це може призвести до зменшення умов аноксії в ґрунті, забезпечуючи оптимальні умови для діяльності аеробних мікроорганізмів. Зліпки, що утворюються зі змішаних органічних і неорганічних матеріалів, впливають на педогенез, розвиток ґрунтового профілю та його структури.

**Хімічний вплив.** Процеси хімічного вивітрювання, що спричиняються діяльністю дощових черв'яків або мікроорганізмів, що активізуються в їхньому кишечнику, або синергетичною взаємодією обох організмів. Через свою харчову активність дощові черв'яки пришвидшують розкладання органічних залишків у ґрунті, що призводить до формування гуміфікованого шару. Крім того, відходи від дощових черв'яків збагачують ґрунт макроелементами, особливо азотом, що поліпшує його плодючість для рослинного росту

**Біологічний вплив.** Процеси які виникають під час взаємодії черв'яків з ґрунтовими мікроорганізмами, такими як бактерії та гриби, включаючи везикулярно-арбускулярну мікоризу. Ця взаємодія відбувається через їхнє спільне поглинання органічної рослинної рештки та стимулює метаболічну активність і призводить до її зростання. Крім того, активність цих організмів сприяє розширенню поверхні органічних матеріалів, що позитивно впливає на рослини.

На практиці, присутність дощових черв'яків може суттєво підвищити врожайність сільськогосподарських культур на 25%, надземну біомасу на 23%, підземну біомасу на 20% і загальну біомасу на 21%. Індекс QBS-е, що

базується на дощових черв'яках, призначений для оцінки здоров'я ґрунту через моніторинг спільноти цих організмів. Враховуючи, що вони визнані ефективними біоіндикаторами, цей індекс спрямований на оцінку біологічної якості ґрунту. Цей індекс полегшує оцінку стійкості методів управління ґрунтом, і тому його легко можуть використовувати навіть звичайні працівники безпосередньо в ботанічних садах. Проте бувають і мінуси використання цього індексу, а саме нездатність його застосування на піщаних ґрунтах або в посушливих районах, де дощові черв'яки ледве виживають.[7]

Одноклітинні організми, такі як Евглена зелена та Інфузорія-туфелька, також використовуються як ефективний біоіндикатор стану ґрунту. Ці мікроорганізми служать біоіндикаторами збільшення рівня вуглекислого газу у ґрунті, наприклад через їх витоки, а також є ефективними вказівниками якості та функціонування ґрунту.

Найпростіші мікроорганізми є важливими складовими ґрунту та реагують на зміни у навколишньому середовищі швидше, ніж інші еукаріотичні організми. Крім того, вони є часткою едафічної мікрофауни, яка впливає на ріст рослин. Збільшення концентрації вуглекислого газу в атмосфері стимулювало б активність рослин та викидання органічних речовин у ризосферу, що спричинило б зростання кількості бактерій та підвищену активність кореневої системи. Також ці організми є поширеним складником ґрунтових екосистем, при цьому формування ґрунту та його родючість сильно залежать від динаміки та структури їх спільнот. Їх використовують як швидку та ефективну еукаріотичну тест-систему. Завдяки швидкому росту та тонким зовнішнім мембранам вони можуть бути більш чутливими до змін у середовищі, ніж будь-який інший еукаріотичний організм.

Геном найпростіших організмів є еукаріотичним і більш схожим на геном метазоа, ніж на геном прокаріотів. Метаболічні реакції найпростіших організмів на зміни природного середовища більше подібні до змін метазоа,

ніж до прокаріотів. Багато індикаторних видів найпростіших часто використовуються в усьому світі, оскільки морфологічна, екологічна та генетична диференціація серед глобально поширених видів найпростіших низька. Вони можуть чинити опір, особливо в тих ґрунтових екосистемах, де вищі організми майже або повністю відсутні через екстремальні умови середовища. Нарешті, багато найпростіших є дуже поширеними та зручними для порівняння результатів з різних географічних регіонів.

Використання одноклітинних організмів для оцінки стану ґрунту має свої недоліки. По-перше, існує велика кількість таких організмів, і багато з них ще не досліджені. Це ускладнює їхню ідентифікацію і аналіз. Крім того, ми знаємо мало про те, як ці організми реагують на зміни у ґрунтовому середовищі. Оцінка їхньої кількості та видів у ґрунті є складним завданням, яке часто потребує використання спеціалізованого обладнання та методів. Також, ідентифікація деяких видів вимагає застосування складних та дорогих методів фарбування та молекулярної біології. Ці організми часто є частиною складного харчового ланцюга у ґрунті, що ускладнює зв'язок між їхньою кількістю та станом середовища. Також, інтерпретація результатів може бути ускладненою через вплив різних факторів та обставин на їхню присутність та розподіл. Усі ці чинники обмежують ефективність використання простих організмів для біоіндикації ґрунтових умов.

Вертикальний розподіл ґрунтових інфузорій відіграє ключову роль у їхній біоіндикації. Найактивніші з них зазвичай знаходяться у верхньому шарі підстилки, де є найбільше органічного матеріалу для їхнього живлення. У лісових екосистемах це може становити до 10 000 особин на грам ґрунту. Однак активні інфузорії менш поширені у гумусовому горизонті та мінеральних ґрунтах, і часто їх можна знайти в інцистованому стані. Ці фактори потрібно враховувати при використанні їх як біоіндикаторів, оскільки вони впливають на їхню розподілену активність та чисельність у різних шарах ґрунту.

На лугах та землях які обробляються верхній шар ґрунту майже не містить активних інфузорій. Зазвичай їх тут зустрічається менше 100 особин на грам ґрунту. А от інфузорії які існують в зволоженому ґрунті часто використовуються як чудовий інструмент для моніторингу відновлення ґрунту після його сильного забруднення. Видовий склад інфузорій та їх різноманітність завжди використовувалися як біоіндикатори стану екосистеми[8].

Чи не найкращим біоіндикатором для виявлення стану ґрунту вважаються гриби. Вони є важливою групою екологічних біоіндикаторів через їхню широку поширеність, різноманітну екологічну роль, значне біологічне різноманіття і високу чутливість до змін у середовищі. Тому численні спільноти грибів розглядаються як потенційні біоіндикатори, оскільки вони виявляють високу здатність до виживання та толерантності до мінливих умов середовища. Біоіндикаторні види грибів надають важливу інформацію про стан екосистеми або середовища залежно від їх присутності, відсутності, чисельності, активності, морфології, фізіології або поведінки. Проявлена біоіндикаторними видами стійкість до екологічної мінливості є ключовим аспектом для їх ефективної оцінки стану навколишнього середовища. Гриби володіють вищою адаптивністю та чутливістю до змін в навколишньому середовищі та стресових чинників у порівнянні з іншими мікроорганізмами. Їх здатність швидко адаптуватися до нових умов і реагувати на негативні впливи робить їх важливими у визначенні стану навколишнього середовища.

Якщо гриби знаходяться в тяжких умовах, вони можуть виявляти зміни у своїй морфології та фізіології реагуючи на стрес, який є критичним для їхнього здоров'я, виживання та розмноження. Грибкові біоіндикатори представляють собою універсальні, економічно ефективні та надійні інструменти для оцінки впливу забруднення навколишнього середовища.

Вони можуть бути інструментами для передбачення стану навколишнього середовища, включаючи якість води, повітря та ґрунту, а

також стан сільськогосподарських і лісових екосистем. Гриби також дозволяють оцінити вплив зміни клімату через глобальне потепління. Завдяки своїй різноманітності та здатності до адаптації в різноманітних екологічних умовах, гриби можуть служити ефективними біоіндикаторами для різних середовищ і видів забруднення.[9]

Лишайники як біоіндикатори також відіграють важливу роль у моніторингу та оцінці довкілля, особливо щодо промислових викидів.

Включаючи симбіотичну асоціацію грибів і водоростей, лишайники є невеликими багаторічними рослинами, водорості надають поживні речовини грибам в обмін на притулок у талломах. Діючи без захисних тканин, лишайники мають здатність поглинати вологу, життєво важливі мінерали та гази з навколишнього середовища. Вони виявляють чутливість до ряду антропогенних факторів, з фізіологічними змінами, пов'язаними з якістю повітря, кліматичними коливаннями та збереженням лісів.

Лишайники дозволяють нам відстежувати тривале накопичення забруднювачів, оскільки забруднювачі накопичуються в них. Вони є найбільш вразливими біоіндикаторами забруднення довкілля, а також служать маркерами для виявлення забрудненого повітря на регіональному рівні.

Лишайники протягом багатьох років слугували цінними інструментами біомоніторингу завдяки хорошему поглинанню компонентів з повітря та своїй стійкості до них. Відкладення різноманітних забруднювачів суттєво впливає на склад лишайників, що призводить до змін у їхній структурі.

Лишайники демонструють мутуалістичні відносини між фікобійонтами та мікобійонтами. Термін «фікобійонт» охоплює синьо-зелені водорості або хлорофіцеї, тоді як «мікобійонт» включає аскоміцети та рідко базидіоміцети. Існує три основних методи, пов'язані з накопиченням металів у лишайниках: накопичення через погашення клітинної мембрани, міжклітинне накопичення та захист частинок із стійкістю до металу. Оскільки метали накопичуються та згодом вивільнюються з часом, концентрація важких металів у талломах

лишайника має тенденцію змінюватися. У сучасному світі лишайники пропонують багатогранні переваги як біоіндикатори. Однією з важливих переваг є їх універсальність в оцінці змін, що відбуваються в конкретних екосистемах у різних масштабах[10].

#### 1.4 Біомоніторинг впливу важких металів на ґрунтові екосистеми

Біомоніторинг ґрунту - це система спостереження та оцінки стану ґрунтів за допомогою біологічних індикаторів (рослин, тварин, мікроорганізмів). Цей метод дозволяє визначити рівень забруднення ґрунтів та його вплив на екосистеми[11].

Швидкий розвиток міст та збільшення міського населення стали початком для неконтрольованої людської діяльності, що призвело до змін екологічних умов у ґрунтових екосистемах і загального погіршення ґрунтового середовища. Концентрація важких металів у ґрунті є вирішальним показником для оцінки якості ґрунту. Важкі метали викидаються в навколишнє середовище та згодом переносяться повітряними та водними потоками, зрештою осідаючи на поверхні ґрунту та взаємодіючи з частинками ґрунту через процеси, як правило, зумовлені адсорбцією та абсорбцією. Постійне атмосферне осадження в міських районах сприяє накопиченню важких металів у ґрунтах[12].

Адсорбція — це поверхневе явище, коли газ або рідина концентрується на поверхні твердих частинок або поверхні розділу рідини. Абсорбція - це процес, під час якого молекули з газової або рідкої фази проникають у внутрішній об'єм іншої речовини (абсорбенту), розчиняються та хімічно реагують з ним[13].

Ґрунт і вода є шляхами для руху основних хімічних речовин через біотичні та абіотичні компоненти. Metали класифікуються як незамінні, та несуттєві, відповідно до їх ролі в метаболізмі біотичної системи. Основні метали, такі як Cr (Хром), Co (Кобальт), Cu (Мідь), Fe (Залізо), Zn (Цинк), Ni (Нікель), Mn (Марганець) і Mg (Магній), виконують важливі біохімічні та фізіологічні функції в біологічних системах, і недостатнє надходження цих металів може порушити клітинні функції. На відміну від незамінних металів, неосновні метали, такі як As (Арсен), Be (Берилій), Cd (Кадмій), Pb (Свинець) і Hg (Ртуть), не відіграють ролі в метаболізмі та є дуже токсичними навіть у низьких концентраціях. Токсичність цих металів залежить від їх характеристик, таких як розчинність і біодоступність у ґрунті, вони можуть відрізнятися для різних металів залежно від їх молекулярної структури.

Рослини є первинними виробниками в наземних системах, а отже вони можуть постійно поглинати й накопичувати метали, що відкладаються з атмосфери через породи та рани стебла, або розчинні метали з ґрунту через коріння.[14]

Серед усіх важких металів які можуть бути в ґрунті найтоксичнішим вважається ртуть (Hg),тому існує потреба в кращому моніторингу зміни концентрації ртуті в ґрунтах і зменшенні її шляхом впровадження систем біоремедіації, щоб обмежити шкоду, спричинену токсичністю ртуті.

Основною загрозою, пов'язаною з Hg, є її стійкість, особливо в атмосфері, що дає їй потенціал для глобального поширення: тому її часта присутність на поверхні Землі є проблемою для навколишнього середовища та охорони здоров'я. На відміну від інших забруднюючих речовин, Hg не піддається процесам розкладання хімічного або мікробного походження. Однак деякі мікроорганізми еволюціонували та адаптувалися або акліматизувалися до середовища, забрудненого Hg, шляхом розвитку механізмів толерантності. Подібно до бактеріальних механізмів, біовипаровування Hg також спостерігалось у грибових видах. Таким чином, використання цих стійких до Hg мікробів та їх молекулярних шляхів є

цікавою альтернативою для зниження концентрації Hg до екологічно безпечного рівня за допомогою біоремедіації.

Біоремедіація ґрунтується на використанні живих або мертвих організмів (зазвичай бактерій, мікроводоростей, грибів і рослин) для видалення або перетворення небезпечних речовин у менш токсичні або взагалі не токсичні речовини із забрудненого середовища.

Здебільшого біологічні системи, що використовуються в біоремедіації, природно здатні накопичувати або розкласти забруднювачі, і вони становлять відповідну альтернативу класичним фізико-хімічним обробкам, оскільки вони є більш стійкими, менш дорогими та екологічно чистими. Впровадження методів біоремедіації полягає в основному у стимулюванні процесів, які вже існують в екосистемах, і сприянні розвитку певних місцевих видів.

Біомоніторинг заснований на використанні організмів для якісного чи кількісного вимірювання змін у навколишньому середовищі та спостереження за їх еволюцією. Його можна проводити на різних рівнях біологічної організації (молекулярному, клітинному, тканинному, екосистемному) для виявлення забруднювачів і хімічних речовин у різних середовищах. Організми також можна модифікувати за допомогою генної інженерії, щоб отримати біосенсиори, спеціально розроблені для виявлення певних сполук[15].

Деякі види рослин у своїй надземній частині можуть накопичувати токсичні мікроелементи з навколишнього середовища, що робить їх корисними для моніторингу, оскільки вони надають економічно ефективну інформацію про якість навколишнього середовища. Як біоіндикатори використовуються дерева, декоративні рослини, сільськогосподарські культури та несудинні рослини.

Для моніторингу забруднення важкими металами як біоіндикатори зазвичай використовуються лишайники та мохи. Ці організми мають тривалий термін життя, що робить їх цінними довготривалими інтеграторами



атмосферних опадів. Однак, незважаючи на їх корисність, висаджувати їх у міських і промислових районах є складним завданням через відсутність коренів і добре розвиненої кутикули. Швидший темп росту деяких трав'янистих рослин також сприяє більш швидкій оцінці впливу важких металів на ґрунти. Накопичення важких металів у різних частинах рослин, таких як листя, стебла чи коріння, може вказувати на рівень впливу та потенційний екологічний ризик[16].

Забруднення важкими металами може бути токсичним для мікроорганізмів, зменшуючи їх кількість і впливаючи на їхню біомасу та активність. Це може вплинути на такі функції ґрунту, як кругообіг і розкладання поживних речовин, що призводить до змін у мікробних спільнотах. Стійкі до металів штами можуть з часом процвітати в забруднених ґрунтах.[17]

Мікроорганізми набагато вразливіші до впливу важких металів, ніж тварини та рослини, що ростуть на тих самих відкладеннях або ґрунтах.

Використання мікроорганізмів як показників для діагностики забруднення ґрунту має такі переваги, як простота, швидкість, низька вартість, низьке споживання зразків та одночасне відображення стану забруднення кількома елементами та іншими забруднювачами. Як біологічні індикатори можна використовувати мікроорганізми з високою чутливістю до забруднення важкими металами[18].

Тривале засмічення металами та кислотами сприяє розмноженню стійких до металів бактерій у забрудненому ґрунті. Мікроорганізми в екосистемах, збагачених металами, створюють стратегії виживання, щоб витримувати токсичні умови, такі як детоксикація, стійкість до металів і окислювальний стрес. Ідентифікація мікробних біомаркерів може виявити рівень стресу у відповідь на забруднення токсичними металами[17].

## 1.5 Роль ботанічних садів у збереженні біорізноманіття

Ґрунти в ботанічних садах відіграють вирішальну роль, оскільки вони обумовлюють ріст і вегетацію величезної різноманітності видів рослин на відносно невеликих площах. У ботанічних садах вплив людини на ґрунт в основному проявляється через методи господарювання, такі як облаштування садового простору та формування конкретних сприятливих середовищ існування для розвитку насадженої рослинності. Створення вигідних умов для росту рослин є найважливішою функцією ґрунтів у ботанічних садах, але в контексті їх міської близькості вони також сприяють інфільтрації води, служать місцями зберігання органічного вуглецю та поживних речовин, підтримують басейни біорізноманіття, забезпечують як фізична та культурна підтримка людської діяльності та архівування культурної спадщини[19]

Ботанічні сади є хорошим місцем для багатьох галузей наукових досліджень. Ботанічні сади служать не тільки таксономічними та систематичними дослідницькими центрами, але вони також відіграють важливу роль як цінні джерела збору даних про екологію рослин, таких як фенологічні показники зміни клімату, фізіологія рослин і тактика росту, а також взаємодія рослин і тварин. Крім того, ботанічні сади є придатними місцями для досліджень екології запилення, розповсюдження насіння та інших взаємодій між рослинами та тваринами.[20]

Ботанічні сади є значущими культурними, художніми та науковими ресурсами, якими необхідно керувати стійко, щоб забезпечити максимальну користь від них, без шкоди для навколишнього середовища.

Ботанічні сади, часто в глобальних гарячих точках біорізноманіття, були причетні до раннього культивування та інтродукції більшості екологічних бур'янів, занесених до списку найгірших інвазивних видів у всьому світі. Крім того, більшість популярних декоративних видів у живих колекціях по всьому світу мають записи як чужорідні бур'яни. Добровільні

кодекси поведінки для запобігання розповсюдженню інвазивних рослин із ботанічних садів мали обмежене застосування, з невеликою кількістю оцінок ризиків, проведених для окремих живих колекцій. Зміцнення глобальної мережі ботанічних садів для боротьби з біологічними ризиками, що включає роботу з громадськістю, обмін інформацією та нарощування потенціалу, є пріоритетом для запобігання проблемам минулого, що виникають у майбутньому[21].

Ботанічні сади роблять важливий внесок у природоохоронну біологію та науку про глобальні зміни в різних дисциплінах. Гербарні колекції, які є одним із основних ресурсів ботанічних садів, постійно збираються для отримання нової інформації для планування збереження та розуміння впливу глобальних змін. Ці колекції необхідно зміцнити шляхом покращення якості даних і додавання інформації про статус загрози. Вивчення живих колекцій, особливо видів, яким загрожує зникнення, має давню традицію в ботанічних садах і внесло значний внесок у сукупність знань про види, що знаходяться під загрозою зникнення, та їх збереження[22].

Загальна роль ботанічних садів у збереженні рослин була широко визнана з 1970-х років, і багато видів рослин, яким загрожує зникнення, зараз знаходяться в добре задокументованих живих колекціях і банках насіння. Збереження видів дерев за межами місця існування (*ex-situ*) все ще становить особливу проблему. Деякі з дерев, представлених у ботанічних садах, уже вимерли в дикій природі, включаючи дерево Франкліна (*Franklinia alatamaha*), а також дерево *Toromiro* та *Sophora toromiro*. Зразки цих дерев у ботанічних садах по всьому світу є гострим нагадуванням про втрату різноманітності дерев у дикій природі[23].

Головним завданням національних ботанічних садів є вирішення проблем, з якими зіштовхуються рослини, що перебувають під ризиком зникнення. Це досягається шляхом вивчення та пошуку стратегій пом'якшення наслідків для зменшення тиску на види; інформування населення з питань рослинництва та охорони рослин; розробка та

використання нових сортів рослин, фруктів та овочів; допоміжна діяльність у медицині та охороні здоров'я; проведення досліджень сортів сільськогосподарських культур та їх диких родичів; проектування заходів щодо поліпшення навколишнього середовища; а також виявлення сполук і сировини для потенційного використання в промисловості[24].

Для захисту видів рослин, які знаходяться під загрозою зникнення, рекомендації щодо найкращих практик та генетичного моделювання підкреслюють важливість створення колекцій поза їх природнім середовищем (*ex situ*) з великою різноманітністю материнських ліній. Види, які знаходяться під загрозою зникнення, часто стикаються з проблемами досягнення цього стандарту через біологію чи логістику. Об'єднання садових колекцій в одну більшу метаколекцію може бути більш ефективним підходом для збереження генетичного різноманіття[25].

Ботанічні сади мають свій власний комплекс екологічних умов. Кожен ботанічний сад може бути віднесений до певного екорегіону — це регіональна природоохоронна одиниця, яка відображає специфічні природні умови і ресурси даної території. Якщо планування та реалізація природоохоронної діяльності базується на регіональній основі, то створення живих колекцій ботанічного саду також повинно мати регіональну основу і є невід'ємною частиною цього процесу. Це дає змогу ботанічним садам зосередитися на місцевих видах, які природно поширені в тому чи іншому регіоні, що сприяє більш ефективному використанню обмежених земельних і фінансових ресурсів саду[26].

Сьогодні по всьому світу налічується понад 3200 ботанічних садів, які занесені до бази даних GardenSearch глобальної мережі Botanic Gardens Conservation International (BGCI). Приблизно одна третина цих установ має свої колекції доступними у базі даних PlantSearch BGCI, де зареєстровано понад 1,3 мільйона записів і майже півмільйона назв таксонів.[27]

Ботанічні сади по всьому світу традиційно були головними центрами передового досвіду в садівництві, дослідженнях і збереженні орхідей,

оскільки орхідеї викликають широку громадську та освітню привабливість. Орхідеї, одне з найбільших сімейств квіткових рослин, вони постійно стикаються з невизначеним майбутнім через надмірну експлуатацію, втрату середовища проживання та вплив зміни клімату. Орхідеї, завдяки своїм складним абіотичним і біотичним залежностям, символізують складне становище глобальних рослинних ресурсів і, таким чином, вони є ідеальними модельними видами для екологічного відстеження та зосереджених програм збереження. Протягом останніх двох десятиліть спостерігається збільшення використання молекулярних методів у сфері збереження орхідей. Відбувається дослідження білків, зокрема аллоферментів, а також застосування методів на основі ДНК. Окрім великого аматорського інтересу до розмноження та культури орхідей, ботанічні сади є основними інституційними організаціями, що займаються садівництвом орхідей. Однією з унікальних особливостей орхідей, яка надає чудові можливості для збереження, є їх пилове насіння. Одна насіннева капсула може виробляти від десятків тисяч до мільйонів насінин, що робить цей процес готовим і ефективним для створення насінневого банку виду всього лише з однією насінневою капсулою. Без сумніву, для належного збереження біорізноманіття потрібні достатні фінансові і часові ресурси. Встановлення пріоритетів у збереженні зазвичай базується на статусі збереження виду, його еволюційному і таксономічному значенні. Програми часто впроваджуються без належного аналізу вартості управління та ймовірності успіху, що може впливати на їх ефективність у довгостроковій перспективі[27].

На сьогодні у світі існує понад 3200 ботанічних садів, що зареєстровані у базі даних GardenSearch глобальної мережі Botanic Gardens Conservation International (BGCI). Для близько однієї третини цих установ інформація про їхні колекції доступна в базі даних PlantSearch BGCI, яка налічує понад 1,3 мільйона записів і майже півмільйона назв таксонів. Ці дані є важливими для наукових досліджень і стратегій збереження рослинного різноманіття[28].

## 1.6 Технології догляду за ґрунтом у ботанічних садах

Здоров'я ґрунту визначається його здатністю підтримувати продуктивність рослин і тварин, покращувати якість навколишнього середовища, а також забезпечувати здоров'я людини та стійкість екосистем та землекористування.

Постійне вирощування сільськогосподарських культур може завдати серйозної шкоди ґрунтовій екосистемі, порушуючи її природний баланс і функціонування. Це порушення призводить до підвищення поширеності патогенних мікроорганізмів, що в свою чергу, може спричинити значну втрату врожаю на територіях ботанічних садів.

Поживні речовини в ґрунті мають безпосередній вплив на якість та розвиток рослинного покриву. У наземних екосистемах ґрунт забезпечує необхідний для підтримки росту рослин і активності ґрунтових мікроорганізмів вуглець (C), азот (N) і фосфор (P). Крім того, органічна речовина ґрунту значно впливає на фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунту, включаючи об'ємну щільність, водоутримуючу здатність та склад мікробної спільноти[29].

Для підвищення родючості ґрунтів у ботанічних садах застосовують органічні добрива та біовугілля. Біовугілля є стабільним джерелом поживних речовин для ґрунту порівняно з іншими типами органічних добрив і відіграє ключову роль у процесах адсорбції та мінералізації.

Він добре впливає на властивості ґрунту, поживні якості, мікроорганізми та агропродукцію, а також допомагає вилучити токсичні ґрунти, посилює фотосинтез у рослин, покращує поглинання вуглецю, мінімізує викиди парникових газів і зменшує ефект острова. Також, в

порівнянні з хімічними добривами, біовугілля відзначається економічною вигідністю і легкістю транспортування[30].

Індустріалізація, урбанізація і зміни у сільському господарстві значно збільшили викид антропогенних небезпечних органічних забруднювачів у ґрунт. Надзвичайно важливі нові економічно ефективні та стійкі стратегії відновлення для вилучення або детоксикації органічних забруднень у ґрунтах. Однією з таких стратегій є фіторемедіація.

Фіторемедіація - це ефективна, надійна та перспективна технологія, за допомогою якої рослини та пов'язані з ними мікроорганізми очищують забруднений ґрунт. Особливо важливою вона стає, коли зібрану рослинну біомасу можна використовувати для виробництва біоенергії.

Фіторемедіація забруднених ґрунтів за допомогою ендوفітів базується на високій метаболічній активності рослин і пов'язаних з ними ендوفітів, які перетворюють органічні забруднювачі в практично безшкідливі кінцеві продукти. Незважаючи на те, що рослинно-ендوفітні партнерства можуть успішно деградувати різноманітні органічні забруднювачі і адаптуватися до різних непридатних для життя середовищ, несприятливі умови навколишнього середовища все ще ускладнюють їх широкомасштабне застосування. Одними з ключових обмежень щодо застосування фіторемедіації за допомогою ендوفітів є значні витрати часу і ресурсів на проведення досліджень і впровадження технологій, а також необхідність великої кількості рослин та ендوفітів для ефективного очищення забруднених ґрунтів. Деякі типи ендوفітів можуть бути специфічними для певних рослин або типів забруднень, що ускладнює їх універсальне застосування у фіторемедіації забруднених ґрунтів. Це вимагає проведення додаткових досліджень і вдосконалення технологій для ефективного використання цих методів у практичних умовах[31].

За допомогою мульчування також можна покращити стан ґрунтів, завдяки зниженню температури верхнього шару в міжряддях дерев або інших колекційних рослин. Більш помірна температура під органічною мульчею

сприяє в 4 рази вищому росту коренів культур і подальшому розвитку макрофауни ґрунту. В ботанічних садах зазвичай використовують органічну мульчу, яку можна отримати з кори дерев, соломи, листя або перегною. Мульча допомагає контролювати ріст бур'янів, що робить її хорошою альтернативою пестицидам, вплив яких легко відчуті. Переваги мульчі відображаються як на фізичних так і на біологічних характеристиках родючості ґрунту. Фізичні характеристики являють собою підвищену пористість, проникнення води, збереження води та структурну стабільність, біологічні, більш високу мікробну біомасу та загальну біологічну активність.[32]



## 2 УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Об'єкт та місце проведення досліджень

Дослідження проводилися на території ботанічного саду ім. Олесь Гончара в місті Дніпро. Місце досліджень розташоване в центральній частині Дніпропетровської області. На рисунку 2.1 зображено територію ботанічного саду.



Рисунок 2.1 - Територія Дніпровського ботанічного саду ім. Олесь Гончара

Ботанічний сад у Дніпрі був закладений ще у 1930 році як навчальна й наукова база Дніпровського державного університету. З 1933 року

ботанічний сад був віднесений до числа науково-дослідних підрозділів університету.

Сад розташований на правобережному вододілі Дніпра, у південній підвищеній частині міста, на пологому схилі Красноповстанської балки.

Об'єктом досліджень є ґрунтовий покрив території ботанічного саду ДНУ, загальною площею 32,5 га. Основна частина території саду зосереджена на схилі північно-західної експозиції відрогу Червоноповстанської балки м. Дніпро. Вершина відрогу балки знаходиться на південній околиці саду. Нині ця частина яру засипана і окультурена. В північному напрямку розташований яр, котрий змінює орієнтацію на північний схід. У північно-східній частині саду яр не засипаний, і територія саду обмежується обривом, який закінчується опуклим схилом, де розміщена основна частина секторів саду. З півдня до саду примикає вулиця Казакова, з південного сходу - проспект ім. Гагаріна, з північного сходу - вулиця Бронетанкова.[33]

Проби ґрунту були взяті з чотирьох точок під групою дерев Сосна Чорна(*Pinus nigra*). Першою точкою був сектор 25, друга точка - сектор 15, третя точка - сектор 13, четверта точка - сектор 22. Всього територія саду складається з 37 секторів, об'єднаних в 4 групи, 6 підгруп за особливостями використання рослинного і ґрунтового покриву.

На рисунку 2.2 зображено місце відбору проб на території ботанічного саду

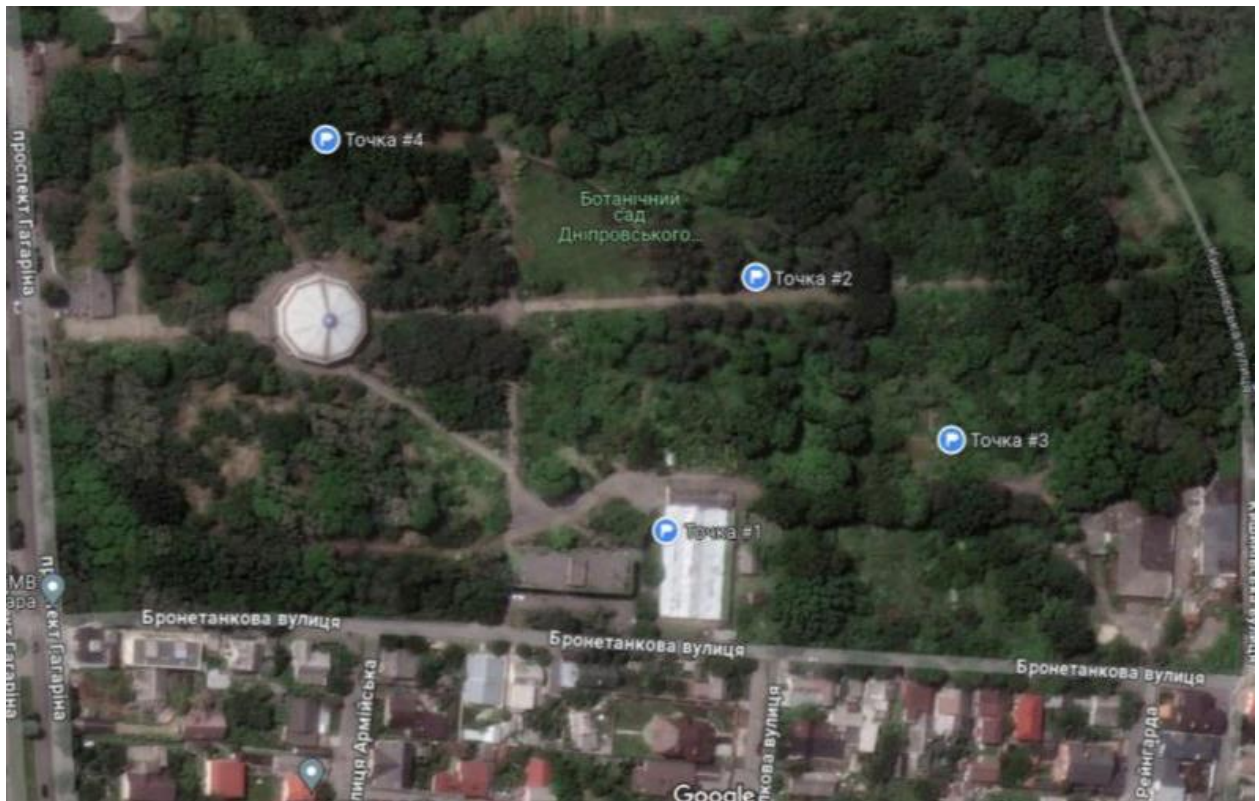


Рисунок 2.2 - Точки відбору проб ґрунту на території ботанічного саду

Ботанічний сад є освітнім, науковим та природоохоронним структурним підрозділом університету. На нього покладена функція збереження біологічного різноманіття в регіоні шляхом акліматизації рослин з інших регіонів, створення нових колекцій, збереження унікальних та рідкісних видів, які занесені до червоної книги, а також просвітницька робота з питань екологічного та ботанічного виховання молоді.

## 2.2 Ґрунтові умови

На території Дніпра зустрічаються переважно чорноземні ґрунти різних підтипів (звичайні та південні), родів (еродовані, лучні, засолені, солонцюваті), видів (міцні, середньоміцні та маломіцні, середньогумусні,

малогумусні і слабогумусні; слабоеродовані, середньоеродовані та сильноеродовані), різновидів (середньоглинисті, важкоглинисті та легкоглинисті) і розрядів (сформовані лесоподібних глинах, місцями на червоно-коричневих глинах і глинистих ґрунтах, сіро-зелених мергелевих і темно-сірих сланцевих глинах, піщаних і піщанисто-глинистих породах).

У межах Дніпропетровської області на повнопрофільні чорноземи, що знаходяться на плоскорівнинних просторах, припадає - 48% загальної площі земель, зокрема звичайні чорноземи - 42%, південні – 5,7%, солонцюваті – 0,3%, на еродовані ґрунти схилів припадає – 36,6%, зокрема на слабоеродовані – 27,3%, на середньо- та сильноеродовані – 9,3%. На іншій території області розподілені, чорноземно-лучні, лучно-болотні, засолені, солонцюваті, а також дернові гранти.

На території ботанічного саду ДНУ, його частини, що раніше входила до складу парку ім. Ю. Гагаріна, розташованої в безпосередній близькості від вершини відрогу Червоноповстанської балки у 70-ті – 80-ті роки ХХ століття були створені штучні насипні ґрунти. Вони виникли в результаті поверхневого насипу привозних карбонатних ґрунтів поверх природних ґрунтів, що раніше тут знаходилися, або поверх відвалів будівельного сміття та відвальної породи, під якими була похована вершина відрогу балки. Тут зосереджені типові паркові насадження, що характеризуються ознаками деградації. Висота засипки досягає 50-60 см на природних ґрунтах і 30-40 см на будівельному смітті та відвальній породі. Ці ґрунти мають характеристики, що залежать від властивостей матеріалів, використаних при їх формуванні, і від особливостей їх формування.

Ґрунти Дніпровського ботанічного саду характеризуються значною варіацією показників. Вміст гумусу в поверхневому шарі коливається від 2% до 6%. Кислотність ґрунту – від 6,30 до 8,50. Нітрати – 0,3-3,5 мг/100 г, фосфати – 10-115 мг/100 г, калій – 7,5-36,5 мг/100 г. Об'ємна маса ґрунту – 1,25-2,1 г/см<sup>3</sup>, пористість – 17-55%. Вміст важких металів: залізо – 8723-68000 мг/кг, марганець – 325-5500 мг/кг, нікель – 12-131 мг/кг, мідь – 1,1-55

мг/кг, цинк – 17-132 мг/кг, кадмій – 0,12-5,28 мг/кг кг, свинець – 1,35-16,5 мг/кг ґрунту[33].

Ґрунтові умови визначають успішність ґрунтових організмів, а також різноманітність рослинних угруповань. Оптимальні ґрунтові умови як для рослин, так і для ґрунтових організмів зазвичай складаються з 5% органічної речовини, 45% мінеральних матеріалів, від 20% до 30% макропор для дренажу та вентиляції та від 20% до 30% мікропор для утримання води за об'ємом.

Процвітаюча ґрунтова спільнота допомагає підтримувати цей баланс, оскільки різні ґрунтові організми сприяють різноманітним корисним характеристикам і процесам ґрунту. Органічні речовини живлять ґрунтові організми. Ґрунтові організми у свою чергу вивільняють спрощені форми поживних речовин, більш доступні рослинам та іншим організмам для використання в повсякденних процесах. Органічна речовина також впливає на те, як ґрунт утримує та відводить воду, а також на те, скільки утриманої води доступно рослинам. Вода в ґрунті необхідна для створення вологого середовища, необхідного для багатьох організмів (наприклад, дощових черв'яків) і мікрофауни, які живуть у тонких водних плівках, що покривають частинки ґрунту.

Різноманітні види рослин сприяють біорізноманіттю, адже вони мають сильний зв'язок з мікроорганізмами, і тому різноманітна колекція рослин допомагає досягти більшого біорізноманіття ґрунту. Ботанічний сад в Дніпрі саме цим і займається, він утримує величезну колекцію рослин, що сприяє біорізноманіттю ґрунту. Однак один і той самий вид рослин, що часто росте на одній території, може призвести до виснаження поживних речовин у ґрунті, необхідних для підтримки біорізноманіття ґрунту. Впровадження біології ґрунту з різних ділянок саду, може стимулювати різноманітність і збільшити переваги. В ботанічному саду ДНУ змішують ґрунт з різних посадкових ділянок, або секторів, щоб зменшити його виснаження та збільшити родючість[34].

## 2.3 Кліматичні умови

Територія ботанічного саду в Дніпрі розташована в південно-західному регіоні. Цей регіон перебуває у зоні помірних широт з досить активною атмосферною циркуляцією, де переважаючим типом є переміщення повітряних мас з сходу на захід. Клімат помірно континентальний, зі значним коливанням погодних умов з року в рік. Періоди помірної вологості змінюються різкою посушливістю. Взагалі, клімат характеризується досить прохолодною зимою та спекотним літом.

Територія Дніпропетровської області зимовий період відбувається активний обмін повітряними масами між широтами, обумовлений інтенсивною циклонною активністю.

В Дніпрі влітку встановлюється спекотна, суха погода, обумовлена антициклонічною стабільністю та низькою вологістю повітря. Взимку інтенсивно розвивається відгалуження постійного антициклону призводить до встановлення сухої та морозної погоди в регіоні. Восени, коли домінує антициклонічний тип погоди, часто виникають суховії. Незважаючи на значну різноманітність циркуляційних процесів, протягом майже всього року в області переважають континентальні повітряні маси помірних широт, що спричиняють умови недостатнього зволоження.

Незважаючи на розвинуту мережу западин, балок та наявність річок і водосховищ, підстилаюча поверхня території сприяє формуванню мікроклімату лише окремих районів і не може помітно вплинути на клімат території області.

У містах утворюється специфічний урбаністичний мікроклімат, який обумовлений, перш за все, аерозольними забрудненнями атмосфери. Ці аерозолі відіграють роль екрана для прямого сонячного випромінювання,

ефективно екрануючи приблизно на 10-15% більше випромінювання, ніж у сільських районах. Це обумовлено специфічним плануванням вулиць, висотою будівель та іншими урбаністичними факторами. Це так званий «острів тепла», коли в центральних районах міста температура вища, ніж у передмістях. Річна кількість опадів коливається від 450 мм до 650 мм, середньорічна температура - від 9°C до 10°C[33].

## 2.4 Методи досліджень

Проби ґрунту на території ботанічного саду були зібрані відповідно до загальноприйнятих методів. Процедура відбору проб виконувалася відповідно до стандарту ДСТУ 4287:2004 «Якість ґрунту» [35].

Відстань між точками коливалась від 100 до 150 метрів.

Цей стандарт стосується відбору проб із сільськогосподарських земель і встановлює загальні вимоги для обстеження ґрунтів щодо їхньої агрономічної складової та загальної забрудненості, що може бути спричинена викидами промисловості, транспортом, зрошенням стічними водами та іншими чинниками.

Для вимірювання вологості ґрунту було використано гравіметричний метод відповідно до стандарту ДСТУ ISO 11465-2001 «Якість ґрунту»[36].

Визначення сухої речовини та вологості за масою. «Гравіметричний метод (ISO 11465:1993, ITD)» [37].

Зразки ґрунту зважували до та після висушування у сушильних шафах, використовуючи обладнання, таке як бюкси для сушіння та ваги.

Гравіметричний метод є досить простим та ефективним засобом визначення вологості ґрунту та знаходить широке застосування в геологічних та сільськогосподарських дослідженнях.

Принцип дії гравіметричного методу заснований на тому, що вологий ґрунт має більшу масу в порівнянні з сухим. Вода, яка знаходиться в порах ґрунту, призводить до збільшення маси ґрунту, і це може бути виміряно. У ботанічних садах гравіметричний метод використовується для визначення оптимального рівня вологості ґрунту для вирощування колекційних видів рослин.

Для вимірювання різноманітності в екологічних системах, включаючи біоту ґрунту, в першу чергу чисельність мікроорганізмів у ґрунті вимірювали прямим та непрямым методом обчислення, зі застосуванням методу аплікації спеціально підготовленого лляного полотна в ґрунт. [38].



### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

#### 3.1 Аналіз фізико-хімічних властивостей ґрунтів дослідних ділянок

Для визначення фізико-хімічних властивостей ґрунтів на дослідних ділянках ботанічного саду Дніпровського національного університету були проведені аналізи водневого показнику ґрунту, що проводились за допомогою електронного рН-метра, який дозволяє точно виміряти кислотність або лужність ґрунту. Зразки ґрунту були відібрані з трьох різних рівнів глибини: 0-10 см, 10-20 см, 20-30 см кожної ділянки. Таке багаторівневе відбирання зразків дозволяє отримати більш повну картину кислотно-лужних властивостей ґрунту на різних глибинах.

Результати вимірювання рН ґрунту на різних ділянках ботанічного саду Дніпровського національного університету наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Водневий показник в ґрунтах на дослідних ділянках ботанічного саду Дніпровського національного університету

Дослідна ділянка	Глибина (см)	Водневий показник (рН)
Ділянка №1	0-10	6,5
	10-20	6,8
	20-30	7,0
Ділянка №2	0-10	6,2

	10-20	6,5
	20-30	6,7
Ділянка №3	0-10	6,8
	10-20	7,0
	20-30	7,2
Ділянка №4	0-10	6,3
	10-20	6,6
	20-30	6,4
Ділянка №5	0-10	6,3
	10-20	6,7
	20-30	7,0
Ділянка №5	0-10	6,4
	10-20	6,7
	20-30	7,0
Ділянка №6	0-10	6,0
	10-20	6,3
	20-30	6,6
Ділянка № 7	0-10	6,9
	10-20	7,1
	20-30	7,2
Контроль	0-10	6,1
	10-20	6,4
	20-30	6,6

Значення водневого показника рН на всіх ділянках ботанічного саду, включаючи контрольну, варіюють від 6.0 до 7.2, що відповідає нейтральним та слабокислим умовам. Це є сприятливими умовами для більшості рослин. Найвищі значення водневого показника рН спостерігалися на ділянці 3 та ділянці 7 на глибині 20-30 см (7.2), що може вказувати на особливі фізико-

хімічні умови цих ділянок. Контрольна ділянка мала значення рН, близьке до нижньої межі цього діапазону, що свідчить про можливі відмінності у впливі господарської діяльності або природних умов.

Вологість ґрунту визначалася гравіметричним методом, який є стандартним для вимірювання вмісту води у ґрунті. Цей метод полягає у зважуванні зразка ґрунту у двох станах: вологому та сухому. Спочатку зразки ґрунту збиралися у вологому стані, після чого їх піддавали сушінню в спеціальній сушильній шафі протягом 24 годин при температурі 105°C до досягнення постійної ваги. Після завершення процесу сушіння зразки знову зважували, а різниця у вазі дозволяла визначити вміст вологи у ґрунті.

Таблиця 3.2 містить дані про вміст вологи в ґрунті на різних досліджуваних ділянках ботанічного саду на шарі глибиною 0-30 см.

Таблиця 3.2 – Вміст вологи в ґрунтах дослідних ділянок ботанічного саду

Дослідна ділянка	Вологість (%)
Ділянка №1	27
Ділянка №2	25
Ділянка №3	32,7
Ділянка №4	29
Ділянка №5	27
Ділянка №6	24
Ділянка №7	33,7
Контроль	26

Варіація вологості ґрунту на різних ділянках ботанічного саду була помітною і виявилася досить значною, коливаючись у широких межах від 20% до майже 34%. Це свідчить про те, що водозабезпечення на дослідних ділянках відрізнялось за величиною, що може мати важливе значення для рослин. Зокрема, найвищий рівень вологості був зафіксований на ділянках,

які відрізнялися густою рослинністю та були розташовані близько до води. Це може свідчити про те, що рослинний покрив може мати великий вплив на утримання вологи в ґрунті, а близькість до джерел води також може відігравати важливу роль у забезпеченні ґрунту вологою. Таким чином, вимірювання вологості ґрунту виявилось важливим аспектом для вивчення фізико-хімічних властивостей ґрунтів у контексті їх впливу на рослинний покрив та агроекосистему саду в цілому.

Для візуалізації даних про вміст вологи в ґрунті на різних ділянках ботанічного саду на шарі глибиною 0-30 см побудовано графік який зображено на рисунку 3.1. Горизонтальна вісь представляє різні досліджувані ділянки, а вертикальна вісь відображає вміст вологи в ґрунті у відсотках.

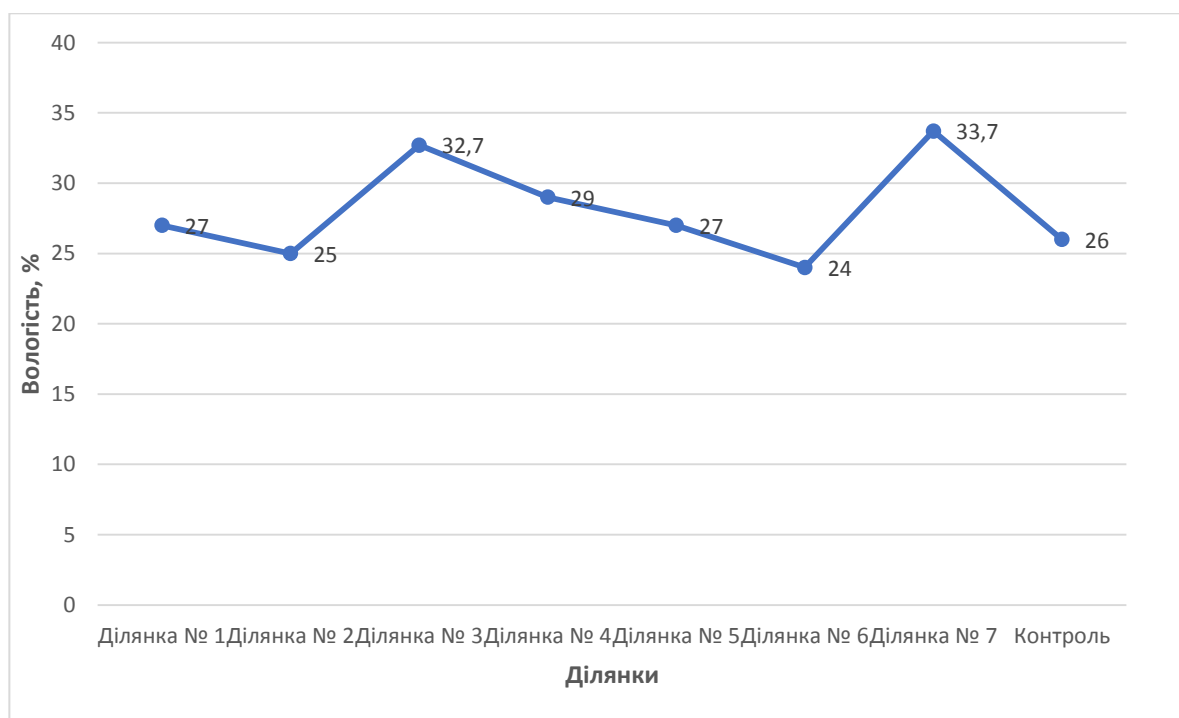


Рисунок 3.1 – Вологість ґрунтів на дослідних ділянках ботанічного саду

Дані вологості на графіку свідчать про рівень вологості на кожній досліджуваній ділянці. Вони вказують на те, наскільки вологим є ґрунт на кожній ділянці і чи є варіації у вологості між різними ділянками. Ці дані

свідчать про рівень вологості, який впливає на здоров'я рослин і є важливим для зрозуміння екологічного стану досліджуваних територій.

Для біомоніторингу ґрунтів ботанічного саду було застосовано визначення гранулометричного складу ґрунту, оскільки це є важливою процедурою у дослідженнях ґрунтової науки та екологічної практики. Метод ситового аналізу використовувався для оцінки розмірів часток у ґрунті, дозволяючи поділити його на фракції за розміром. Цей процес полягає в просіюванні ґрунту через набір сит з різними розмірами отворів, які фільтрують частки за їхніми розмірами.

В таблиці 3.3 наведено результати аналізу гранулометричного складу ґрунтів ботанічного саду Дніпровського національного університету в яких встановлено, що переважною складовою ґрунтів є суглинисті частки. Суглинистий ґрунт характеризується високим вмістом дрібних часток, що забезпечує йому добру водопроникність та вологоутримуючу здатність.

Таблиця 3.3 – Результати гранулометричного складу ботанічного саду Дніпровського національного університету

Дослідна ділянка	Вміст піску (%)	Вміст мулу (%)	Вміст глини (%)
Ділянка №1	45	25	30
Ділянка №2	50	20	30
Ділянка №3	40	30	30
Ділянка №4	55	25	20
Ділянка №5	45	30	25
Ділянка №6	40	20	40
Ділянка №7	50	25	25
Контроль	45	20	35

Дані таблиці дозволяють порівняти гранулометричний склад ґрунту на різних ділянках та зрозуміти їхню сприятливість для росту рослин.

Цей тип ґрунту сприяє гарній аерації, оскільки між суглинками залишаються дрібні порожнисті проміжки, через які проникає повітря. Також, суглинистий ґрунт здатний утримувати вологу, що є важливим для рослинного росту та збереження водних ресурсів.

Вміст піску, мулу та глини у ґрунтах ботанічного саду вказує на добре збалансований склад. Високий вміст піску забезпечує дренаж і вентиляцію, мул слугує джерелом органічних речовин та поживних речовин, а глини забезпечують структурну стабільність ґрунту.

Аналіз гранулометричного складу ґрунту ботанічного саду надає важливі висновки щодо його сприятливості для росту рослин та загального екологічного стану. За результатами досліджень встановлено, що ґрунти мають переважно суглинистий склад, який є досить ідеальним для більшості видів рослин.

Перш за все, високий вміст суглинків вказує на добру структурну стабільність ґрунту, що сприяє його дренажу та вентиляції. Суглинки допомагають утримувати вологу, а також забезпечують достатню аерацію для кореневої системи рослин.

Крім того, збалансований гранулометричний склад, який характеризується відносно рівними пропорціями піску, мулу та глини, забезпечує ґрунту необхідну кількість поживних речовин, які є важливими для здоров'я рослин. Вміст піску допомагає покращити дренаж і вентиляцію, мул слугує джерелом органічних речовин, а глини забезпечують збереження вологи та стабільність ґрунтової структури.

Висновок з аналізу гранулометричного складу ґрунту підкреслює його важливість для забезпечення сприятливих умов для росту рослин у ботанічному саду. Гранулометричний склад ґрунту забезпечує необхідну аерацію, вологу та поживні речовини, що є ключовими для здорового росту і розвитку рослинності.

Аналіз фізико-хімічних властивостей ґрунтів ботанічного саду Дніпровського національного університету показав, що дослідні ділянки

мають оптимальні умови для розвитку рослинності, зокрема сосни чорної. Високий рівень вологості та вміст органічної речовини сприяють активності мікроорганізмів і поліпшують структуру ґрунту. Контрольна ділянка, хоч і демонструє загалом добрі показники, має дещо гірші умови через нижчий рівень вологості та вміст органічної речовини, а також більший вміст глини, що може обмежувати доступ кисню до кореневої системи рослин.

Ці результати підкреслюють важливість підтримання оптимальних фізико-хімічних властивостей ґрунту для забезпечення збалансованих процесів розкладання органічних речовин і здорового росту рослин, зокрема сосни чорної, у ботанічному саду.

### 3.2 Визначення активності целюлозоруйнівних бактерій у ґрунтах дослідних ділянок

Для визначення активності целюлозоруйнівних бактерій у ґрунтах дослідних ділянок була здійснена процедура закладання дослідних зразків. Методи визначення активності целюлозоруйнівних бактерій представляють собою ключовий етап у науковому дослідженні ґрунтів. Для забезпечення об'єктивності та точності результатів застосовувалися загальноприйняті підходи, які дозволяли вивчити активність мікроорганізмів у ґрунті ботанічного саду Дніпровського національного університету.

В першу чергу, була проведена детальна картировка ботанічного саду з метою вибору різноманітних ділянок для дослідження. З урахуванням типу ґрунту, рослинного покриву, ступеня освітлення та інших факторів обиралися місця для закладання зразків.

Далі, на кожній обраній ділянці відбиралися три точки для закладання зразків. Зразки лляної тканини, що використовувалися для визначення

активності целюлозоруйнівних бактерій, покривалися пластиковою плівкою для збереження вологості та запобігання зовнішнім впливам.

Закладання зразків відбувалося на різних глибинах (0–10 см, 10–20 см, 20–30 см) у трьох кратній повторності. Це забезпечувало статистичну достовірність отриманих результатів та репрезентативність відомостей про активність мікроорганізмів.

Для визначення активності целюлозоруйнівних бактерій застосовувався аплікаційний метод. Зразки тканини, закладені в ґрунт, підлягали періодичному моніторингу протягом 60 днів. Цей період дозволяв відстежувати процес розкладання целюлози та визначити активність мікроорганізмів.

За інтенсивністю порушення полотна оцінювалась целюлозолітична активність ґрунтів, яка наведена в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Інтенсивність порушення полотна на дослідних точках

Дослідна ділянка	Глибина (см)	Втрата лляної тканини (%)
Ділянка №1	0-10	85.0 ± 2.5
	10-20	75.0 ± 3.0
	20-30	65.0 ± 4.0
Ділянка №2	0-10	90.0 ± 2.0
	10-20	80.0 ± 2.5
	20-30	70.0 ± 3.5
Ділянка №3	0-10	88.0 ± 2.5
	10-20	77.0 ± 3.0
	20-30	66.0 ± 4.0
Ділянка №4	0-10	87.0 ± 2.5
	10-20	78.0 ± 3.0
	20-30	68.0 ± 3.5
Ділянка №5	0-10	86.0 ± 2.5



	10-20	76.0 ± 3.0
	20-30	67.0 ± 4.0
Ділянка №6	0-10	89.0 ± 2.0
	10-20	79.0 ± 2.5
	20-30	69.0 ± 3.5
Ділянка №7	0-10	91.0 ± 2.0
	10-20	81.0 ± 2.5
	20-30	71.0 ± 3.0
Контроль	0-10	84.0 ± 2.5
	10-20	74.0 ± 3.0
	20-30	64.0 ± 4.0

Таблиця наочно демонструє, що втрати лляної тканини, спричинені активністю целюлозоруйнівних бактерій, є найвищими у верхньому шарі ґрунту (0–10 см) і поступово знижуються з глибиною. Ці дані підкреслюють, що верхні шари ґрунту створюють найбільш сприятливі умови для життєдіяльності та активності бактерій, які розкладають целюлозу. Найвищу активність бактерій зафіксовано на ділянці 7, де втрати тканини становили  $91.0 \pm 2.0\%$  на глибині 0–10 см. Це свідчить про дуже високий рівень мікробіологічної активності на цій ділянці, ймовірно через оптимальні фізико-хімічні умови ґрунту, такі як вологість, доступність органічних речовин і аерація.

Найнижчі втрати спостерігалися на контрольній ділянці, особливо на глибині 20–30 см, де вони становили  $64.0 \pm 4.0\%$ . Це може бути пов'язано з менш сприятливими умовами для діяльності целюлозоруйнівних бактерій, такими як знижена доступність кисню та органічних речовин. Стандартне відхилення (SD) у таблиці свідчить про варіабельність даних і дозволяє оцінити надійність отриманих результатів. Високе значення SD може вказувати на неоднорідність ґрунтових умов або різні рівні бактеріальної активності на різних підділянках. Таким чином, таблиця дає цінну

інформацію про мікробіологічні процеси в ґрунті ботанічного саду і їх залежність від глибини та умов конкретних ділянок.

У таблиці 3.5 наведено дані середнього відсотка активності целюлозоруйнівних бактерій в шарі 0-30 см на різних дослідних ділянках ботанічного саду Дніпровського національного університету.

Таблиця 3.5 - Середня активність целюлозоруйнівних бактерій на дослідних ділянках ботанічного саду

Дослідна ділянка	Середній відсоток активності целюлозоруйнівних бактерій (%)
Ділянка №1	75,0
Ділянка №2	80,0
Ділянка №3	77,0
Ділянка №4	77,7
Ділянка №5	76,3
Ділянка №6	79,0
Ділянка №7	81,0
Контроль	74,0

Таблиця представляє середні значення активності целюлозоруйнівних бактерій на різних дослідних ділянках ботанічного саду. Ці дані відображають ефективність розкладання целюлози бактеріями, які присутні в ґрунті. Аналізуючи отримані результати, можна зробити наступні висновки. Ділянка №1 демонструє середню активність целюлозоруйнівних бактерій на рівні 75,0%. Це свідчить про добру здатність бактерій розкладати органічні речовини в даній ділянці, але вона не є найвищою серед досліджуваних ділянок. Ділянка №2 має один з найвищих показників середньої активності – 80,0%. Це вказує на те, що умови на цій ділянці є сприятливими для активності целюлозоруйнівних бактерій. Ділянка №3 показує активність бактерій на рівні 77,0%, що є трохи нижчим за показники ділянки №2, але все

ж таки вищим, ніж на ділянці №1. Ділянка №4 з середньою активністю 77,7% також демонструє високий рівень розкладання целюлози, що свідчить про хороші умови для розвитку целюлозоруйнівних бактерій. Ділянка №5 має середню активність 76,3%, що є дещо нижчим показником у порівнянні з ділянками №2, №3 та №4, але все ще свідчить про високу бактеріальну активність. Ділянка №6 показує високу активність целюлозоруйнівних бактерій на рівні 79,0%, що є наближено до показника ділянки №2, і вказує на сприятливі умови для бактеріальної активності. Ділянка №7 має найвищий показник середньої активності – 81,0%. Це свідчить про те, що дані умови на цій ділянці є найкращими для активності целюлозоруйнівних бактерій серед усіх досліджених ділянок. Контрольна ділянка демонструє найнижчий рівень активності – 74,0%. Це вказує на менш сприятливі умови для бактерій порівняно з іншими ділянками.

На рисунку 3.2 зображено графічне відображення активності целюлозоруйнівних мікроорганізмів на дослідних ділянках території ботанічного саду.

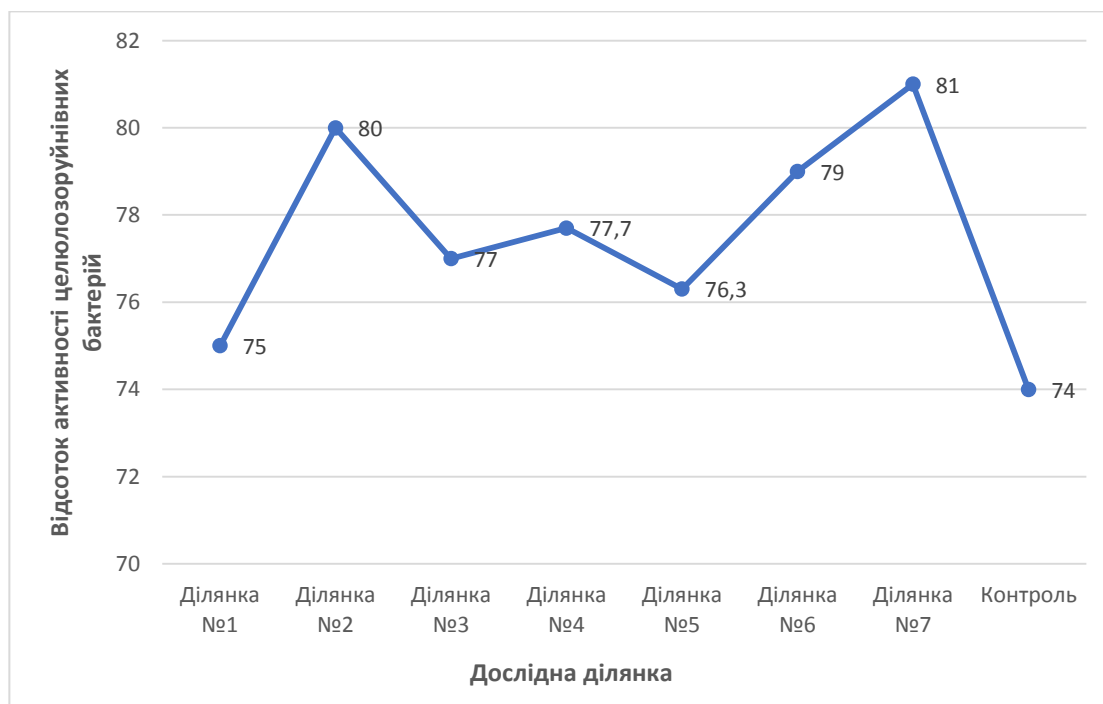


Рисунок 3.2 – Активність целюлозоруйнівних бактерій на дослідних ділянках ботанічного саду

Загальні результати демонструють найвищу активність целюлозоруйнівних бактерій у поверхневих шарах ґрунту (0–10 см), яка поступово знижується з глибиною. Це підкреслює важливість фізико-хімічних умов поверхневого шару для інтенсивного розкладання целюлози. Примітно, що навіть на глибині 20–30 см активність бактерій залишається на досить високому рівні, що вказує на сприятливі умови для мікробіологічної активності по всьому ґрунтовому профілю.

Методи, застосовані в даному дослідженні, дозволили з'ясувати особливості активності целюлозоруйнівних бактерій у різних шарах ґрунту ботанічного саду. Ці відомості мають важливе значення для розуміння процесів, що відбуваються в ґрунті, та визначення його функціональних властивостей.

Дослідження зв'язку між вологістю ґрунту на дослідних ділянках і інтенсивністю розкладання целюлози є надзвичайно важливим для розуміння екологічних та агрономічних процесів, що впливають на родючість ґрунту і продуктивність рослин. Вологість ґрунту є одним з головних факторів, що впливає на його фізичні, хімічні та біологічні властивості. Оптимальний рівень вологи забезпечує активну діяльність мікроорганізмів, зокрема целюлозоруйнівних бактерій, які грають важливу роль у розкладанні органічних речовин і перетворенні їх у доступні для рослин форми. Цей процес сприяє покращенню структури ґрунту, збільшенню його аерації і вологоутримуючої здатності, що в кінцевому результаті підвищує родючість ґрунту. Мікроорганізми, які розкладають целюлозу, є ключовими учасниками кругообігу органічної речовини в ґрунті. Вони допомагають підтримувати екосистемні функції, такі як розклад мертвих рослинних залишків, виділення поживних речовин і стабілізація органічної речовини в ґрунті. Дослідження взаємозв'язку між вологістю і діяльністю цих мікроорганізмів дозволяє зрозуміти, як різні екологічні умови впливають на ці важливі процеси.

Вивчення взаємозв'язку між вологістю ґрунту і активністю целюлозоруйнівних бактерій є необхідним для всебічного розуміння

функціонування ґрунтових екосистем. Ці знання допомагають розробляти стратегії для збереження і підвищення родючості ґрунту, адаптації до кліматичних змін і підтримки сталого розвитку екосистеми.

Для детального вивчення зв'язків між вологістю ґрунту та інтенсивністю розкладання целюлози проведено порівняння зв'язку між вологістю дослідних ділянок та активністю целюлозоруйнівних бактерій, який зображено на рисунку 3.3

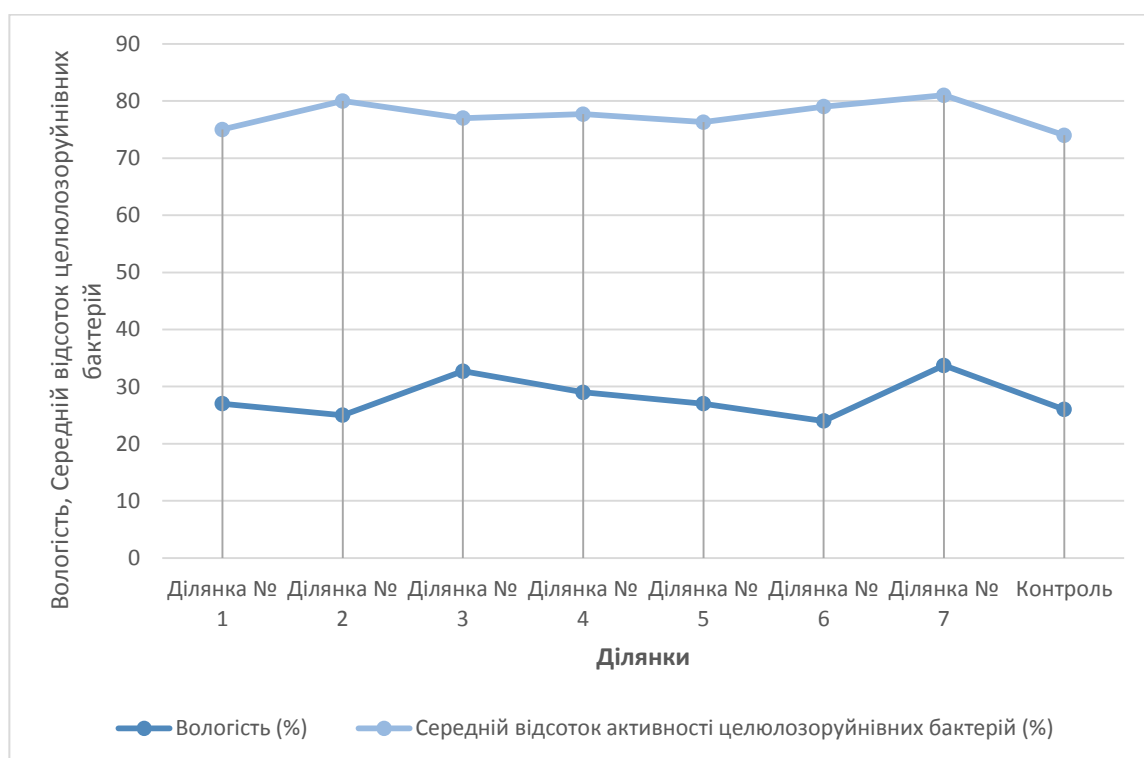


Рисунок 3.3 – Порівняння зв'язків між вологістю ґрунту та активністю целюлозоруйнівних бактерій

Порівнюючи зв'язки між вологістю ґрунту та активністю целюлозоруйнівних бактерій можна побачити тісний зв'язок, що означає, що зі збільшенням вологості ґрунту активність цих бактерій також зростає, що підкреслює важливість підтримання оптимального рівня вологості для активного розкладання целюлози.

### 3.3 Вплив ґрунтових умов на активність целюлозоруйнівних бактерій та зростання сосни чорної

Аналіз результатів досліджень показав, що оптимальні фізико-хімічні властивості ґрунтів ботанічного саду сприяють високій активності целюлозоруйнівних бактерій, що, в свою чергу, позитивно впливає на ріст сосни чорної (*Pinus nigra*). Зокрема, такі властивості, як вологість ґрунту, вміст органічної речовини, водневий показник рН та гранулометричний склад, мають значний вплив на бактеріальну активність.

Дослідження вчених з каліфорнійського університету показали, що оптимальні фізико-хімічні властивості ґрунту є ключовими для високої активності целюлозоруйнівних бактерій [Smith, J. 2020. Soil Microbial Ecology, Journal of Environmental Sciences, 45(2): 123-135]. У досліджених ґрунтах ботанічного саду Дніпровського національного університету було встановлено, що активність целюлозоруйнівних бактерій є найвищою у верхніх шарах ґрунту (0–10 см), де фізико-хімічні умови є найсприятливішими.

Волога та органічна речовина в ґрунті є критично важливими для процесів розкладання целюлози. Високий рівень вологості забезпечує необхідне середовище для активності целюлозоруйнівних бактерій, які потребують достатньої кількості води для свого метаболізму. В умовах підвищеної вологості бактерії можуть активно розкладати целюлозу, що призводить до швидкого розпаду органічних залишків у ґрунті.

Дослідження, проведені у Стенфордському університеті, показали, що волога та органічна речовина є ключовими факторами, що впливають на активність мікроорганізмів у ґрунті [39]. У ботанічному саду Дніпровського національного університету було виявлено, що ділянки з високою вологістю

(30–35%) та достатнім вмістом органічної речовини забезпечують сприятливі умови для розкладання целюлози. Наприклад, на ділянці №7, де вологість ґрунту становила 33,7%, спостерігалася максимальна активність целюлозоруйнівних бактерій (81,0%).

Процеси розкладання целюлози в ґрунті безпосередньо впливають на зростання та стан сосни чорної (*Pinus nigra*). Активне розкладання органічної речовини целюлозоруйнівними бактеріями сприяє поліпшенню ґрунтової структури та підвищенню його родючості. Це створює сприятливі умови для розвитку кореневої системи сосни чорної, забезпечуючи її необхідними поживними речовинами та водою.

Дослідження, проведені в Університеті Вісконсіна, підтверджують, що висока активність мікроорганізмів у ґрунті сприяє покращенню стану та зростання рослин, таких як сосна чорна [40]. На ділянках з високою активністю целюлозоруйнівних бактерій, таких як ділянка №7, спостерігається більш здоровий та швидкий ріст сосни чорної. Це підкреслює важливість підтримки природних умов, включаючи оптимальну вологість та вміст органічної речовини в ґрунті, для успішного вирощування цієї рослини.

Активність целюлозоруйнівних бактерій на дослідних ділянках ботанічного саду Дніпровського національного університету варіюється в залежності від фізико-хімічних умов ґрунту. На основі даних, отриманих у ході досліджень, можна зробити висновок, що найвища активність бактерій спостерігається у верхніх шарах ґрунту (0–10 см), де умови є найбільш сприятливими для їхнього розвитку.

На ділянках з високою вологістю та вмістом органічної речовини активність целюлозоруйнівних бактерій є максимальною. Наприклад, на ділянці №7, де вологість ґрунту становила 33,7%, активність бактерій досягала 81,0%. Це свідчить про те, що умови ґрунту в ботанічному саду є оптимальними для розвитку мікроорганізмів, що розкладають целюлозу, і, відповідно, сприяють зростанню та здоров'ю сосни чорної.

Таким чином, дослідження показало, що існує тісний зв'язок між фізико-хімічними властивостями ґрунту та активністю целюлозоруйнівних бактерій, що в кінцевому підсумку впливає на здоров'я і ріст сосни чорної. Підтримка оптимальних умов у ґрунті є ключовою для забезпечення високої бактеріальної активності та здорового розвитку рослин.



## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Заходи з охорони праці в ботанічному саду ДНУ

Основні принципи забезпечення безпеки та регулювання праці в Україні визначаються Конституцією України, Кодексом законів про працю, Законом «Про захист практики», а також розширюються та доповнюються відповідно за нормативно-правовими актами, такими як укази Президента, накази, положення, інструкції, правила, стандарти та інші документи.

Директор ботанічного саду ДНУ бере на себе відповідальність за умови забезпечення безпеки праці в підприємстві.

В цій установі виконуються наступні вказівки щодо охорони праці:

Початковий інструктаж для всіх працівників, який виконується та реєструється головним інженером з техніки безпеки для уникнення різноманітних аварій на території установи. Також наголошується про проведення першого брифінгу на робочому місці для новоприйнятих працівників, який проводиться особисто керівником виборчих діляниць або керівництвом. Ці заходи визначаються як обов'язкові для забезпечення безпеки та уникнення можливих непорозумінь або конфліктів під час огляду робочого місця.

Повторне навчання проводять не рідше, ніж через півроку після першого. Всі дані цих інструктажів записуються в журналі реєстрації інструкцій з охорони праці. У випадках, коли працівник має серйозні

проблеми зі здоров'ям, повторний інструктаж проводиться в штаті та реєструється. Це особливо важливо в разі попереднього планування інструктажу з охорони праці, оскільки це момент, коли можуть вноситися зміни в виробничий процес або вводяться нові процедури. В інших випадках плановий інструктаж може бути невдалим, якщо його проводять не вчасно або в невідходящий момент у процесі виготовлення.

#### 4.2 Аналіз виробничого травматизму

За допомогою статистичного методу опитування, було проаналізовано виробничий травматизм у ботанічному саду за 2023 рік. Опитування проводилось під час проходження виробничої практики. Було опитано 10 працівників, по 2 особи з кожної лабораторії. В таблицю 4.1 занесено дані про кількість випадків травматизму в лабораторіях ботанічного саду за 2023 рік.

Таблиця 4.1 – Кількість випадків травматизму в ботанічному саду ДНУ за 2023 рік

Кількість лабораторій	5
Кількість працівників,чол	10
Кількість нещасних випадків	-
Кількість днів непрацездатності:	
- від травматизму	-
- від захворювання	-
Втрати, тис. грн	-
Коефіцієнт частоти травматизму	-
Коефіцієнт важкості травматизму	-
Коефіцієнт втрат робочого часу	-

В ботанічному саду встановлені високі стандарти безпеки праці, і дотримання їх серйозно контролюється. Це включає в себе чіткі інструкції,

правила та процедури, спрямовані на запобігання травм та нещасних випадків серед працівників.

Оскільки не має зазначень про нещасні випадки за 2023 рік, це означає, що в саду успішно уникають ситуацій, які можуть призвести до травм або нещасних випадків.

В цілому, висловлення свідчить про те, що у господарстві приділяється серйозна увага безпеці праці, що призводить до позитивних результатів у забезпеченні безпеки та благополуччя працівників. Оскільки в господарстві не відбулося жодних нещасних випадків, можна вважати, що керівництво приділяє достатню увагу питанням охорони праці, і їх діяльність в цьому напрямку є стійкою.

#### 4.3 Охорона праці під час відбору проб ґрунту

Навіть при відсутності в ґрунті шкідливих речовин, важливо дотримуватися відповідних заходів безпеки під час відбору проб для досліджень. Це забезпечить не лише точність результатів, але й виключить можливість потенційного забруднення чистих проб ґрунту. Основні заходи безпеки включають:

##### 1. Забезпечення захисним спорядженням:

Потрібно використовувати відповідне захисне спорядження, таке як рукавички та захисні окуляри, щоб уникнути прямого контакту з ґрунтом та захистити шкіру та очі.

##### 2. Чистота обладнання:

Перед відбором проб потрібно переконатися, що усе обладнання було абсолютно чисте та дезинфіковане. Це запобігає можливим зовнішнім забрудненням та забезпечує цілісність проб.

##### 3. Вивчення місцевих умов:

Потрібно оцінити місцеві умови та визначити можливі ризики, такі як нерівності ґрунту, щоб уникнути травм або нещасних випадків.

#### 4. Дотримання протоколу безпеки:

Суворо дотримуватися протоколів безпеки, розроблених для відбору проб, щоб мінімізувати можливі ризики та гарантувати стабільні умови роботи.

#### 5. Використання належної техніки:

Застосовувати правильні техніки відбору проб, щоб уникнути фізичного напруження та забезпечити оптимальні результати.

Навіть у відсутності визначених шкідливих речовин у ґрунті, дотримання цих заходів безпеки є ключовим для успішного та безпечного відбору проб для досліджень.

### 4.4 Заходи безпеки при роботі в лабораторії

При організації роботи в лабораторії використовують загальноприйняті стандарти безпеки праці, такі як ДСТУ ГОСТ 12.0.230:2008 «Система стандартів безпеки праці» [41].

Системи управління охороною праці. «Загальні вимоги»(ДСТУ ГОСТ 12.0.230-2007, IDT) [42].

Для специфічної роботи в мікробіологічній лабораторії слід дотримуватись вимог ДСТУ 7748:2015 «Безпека праці. Біологічна безпека. Загальні вимоги» [43].

ДСТУ 7748:2015 є національним стандартом України, який визначає вимоги до забезпечення безпеки праці в області біологічної безпеки.

Основний акцент робиться на лабораторних умовах та роботі з біологічним матеріалом, зокрема в мікробіологічних лабораторіях.

Забезпечення організованого та безпечного робочого простору в лабораторії є критичним аспектом в справі забезпечення безпеки праці. В першу чергу, необхідно враховувати розташування та позначення обладнання та матеріалів в лабораторії. Чітке розташування та позначення сприяють не лише ефективному використанню робочого простору, а й запобігають можливим непорозумінням.

Далі, важливо враховувати виходи та шляхи евакуації. Це включає перевірку та забезпечення вільного доступу до виходів та шляхів евакуації для негайної реакції у випадку надзвичайної ситуації. Крім того, ефективна система вентиляції є ключовою для уникнення накопичення шкідливих речовин чи пилу в приміщенні.

Важливим аспектом організації робочого простору є безпека при використанні електрообладнання. Це включає в себе правила безпеки для правильного підключення та використання електричних приладів. Крім того, необхідно мати належну систему для видалення відходів, включаючи хімічні та біологічні матеріали, з метою уникнення забруднення та забезпечення відповідного оброблення відходів відповідно до стандартів безпеки.

При роботі в лабораторії персонал повинен мати доступ до чітких інструкцій та матеріалів, які надають необхідну інформацію про потенційні ризики та правила безпеки. Проведення регулярних навчань та інструктажів допомагає працівникам розуміти безпекові вимоги та вчить їх правильно взаємодіяти з обладнанням та речовинами.

Забезпечення належної інформації включає в себе оновлення та перегляд інструкцій з безпеки, а також використання засобів перевірки розуміння, таких як тести та обговорення. Моніторинг виконання правил безпеки допомагає переконатися, що працівники дотримуються встановлених процедур та уникнення можливих ризиків. Загалом, ці заходи призначені для забезпечення того, що всі працівники лабораторії мають належні знання та

дотримуються правил безпеки, щоб гарантувати ефективну та безпечну роботу.

Система вентиляції у лабораторії є критичним елементом для забезпечення безпеки працівників та уникнення можливих ризиків, пов'язаних з роботою з хімічними речовинами. Розглянемо більш детально, як вона функціонує та чому вона настільки важлива:

#### 1. Провітрювання та обмін повітрям:

- Система вентиляції забезпечує постійний потік свіжого повітря в лабораторію та виведення використаного повітря на зовнішній простір.

- Це дозволяє уникнути накопичення шкідливих випаровувань та парів, що можуть виникати при роботі з хімічними речовинами.

#### 2. Контроль температури та вологості:

- Система вентиляції допомагає підтримувати оптимальні параметри температури та вологості в лабораторії, що важливо для збереження стабільності експериментів та безпеки працівників.

#### 3. Фільтрація повітря:

- Спеціальні фільтри у системі вентиляції можуть затримувати частки пилу, аерозолі та інші частки, які можуть бути шкідливими для здоров'я.

- Це особливо важливо в лабораторіях, де може виникнути випадкове викидання дрібних частинок хімічних речовин.

#### 4. Захист від отруйних речовин:

- Система вентиляції дозволяє відводити та відсмоктати отруйні або неприємні аромати, гази чи пари, що можуть виникати при експериментах з хімічними речовинами.

Використання ефективної системи вентиляції в лабораторії є запорукою того, що працівники працюють у безпечному та здоровому середовищі, а ризики, пов'язані з хімічними речовинами, зменшуються до мінімуму. Це є необхідною складовою частиною стандартів безпеки в лабораторії та важливим фактором у забезпеченні успішних та безпечних експериментів.

Особистий захист у лабораторії є критичним для запобігання потенційним ризикам та збереження здоров'я працівників. Розглянемо більш детально, які елементи особистого захисту використовуються та чому їх правильне використання так важливе:

#### 1. Лабораторні халати:

- Лабораторний халат є необхідним для зменшення контакту одягу працівників з хімічними речовинами чи іншими потенційно небезпечними матеріалами.

- Важливо, щоб халат був замкненим з переду, а рукави мали достатню довжину для захисту шкіри.

#### 2. Окуляри:

- Окуляри або захисні окуляри застосовуються для захисту очей від бризок, крапель та інших потенційно небезпечних частинок.

- Важливо вибрати окуляри, які повністю захищають очі та прилягають до обличчя.

#### 3. Рукавички:

- Використання рукавичок є обов'язковим для уникнення контакту шкіри з хімічними речовинами чи іншими ризикованими матеріалами.

- Рукавички повинні бути вибрані відповідно до характеру роботи та хімічної стійкості.

#### 4. Маски:

- Маски застосовуються для захисту дихальних шляхів від інгаляції шкідливих парів, газів чи пилу.

- Важливо вибирати маски відповідно до виду ризику та забезпечувати їх правильне прилягання.

#### 5. Видалення та обробка особистого захисту:

- Особистий захист, якщо він забруднений чи пошкоджений, повинен бути видалений та оброблений відповідно до встановлених процедур та правил.

- Забруднені рукавички, халати та інший захист повинні бути видалені відразу після використання, а обробка повинна відбуватися відповідно до стандартів безпеки.

Застосування відповідного особистого захисту в лабораторії є ключовим для уникнення травм та захисту здоров'я працівників від можливих ризиків, пов'язаних з роботою в умовах експериментів чи досліджень. Особистий захист має велике значення в створенні безпечного робочого середовища в лабораторії.



## ВИСНОВКИ

За результатами обстеження ґрунтів встановили, що найвищими у верхньому шарі ґрунту (0–10 см) і поступово знижуються з глибиною у верхніх шарах ґрунту створюють найбільш сприятливі умови для життєдіяльності та активності бактерій, які розкладають целюлозу. Найвищу активність бактерій зафіксовано на ділянці в певному пониженні, де активність складала  $91.0 \pm 2.0\%$  на глибині 0–10 см. ймовірно через оптимальні ґрунтові умови, такі як вологість, доступність органічних речовин і аерація.

В результаті порівняльного аналізу встановлено, що зв'язки між вологістю ґрунту та активністю целюлозоруйнівних бактерій можна побачити тісний зв'язок, що означає, що зі збільшенням вологості ґрунту активність цих бактерій також зростає, це ще раз підкреслює важливість підтримання оптимального рівня вологості для активного розкладання целюлози.

Нами встановлено, що волога та органічна речовина в ґрунті є критично важливими для процесів розкладання целюлози в ґрунтах ботанічного саду. Високий рівень вологості забезпечує необхідне середовище для активності целюлозоруйнівних бактерій, які потребують достатньої кількості води для свого метаболізму. В умовах підвищеної вологості бактерії можуть активно розкласти целюлозу, що призводить до швидкого розпаду органічних залишків у ґрунті.

Проведене дослідження показало, що існує тісний зв'язок між фізико-хімічними властивостями ґрунту та активністю целюлозоруйнівних бактерій, що в кінцевому підсумку впливає на здоров'я і ріст сосни чорної. Підтримка оптимальних умов у ґрунті є ключовою для забезпечення інтенсивної

бактеріальної активності фактично підтримає поширення цих мікроорганізмів, що сприяє нормальному існуванню колекційних рослин.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Peter Wyse Jackson, Lucy A. Sutherland, Alastair Robinson (2024) Encyclopedia of Biodiversity (Third Edition); [HYPERLINK "https://www.sciencedirect.com/science/referenceworks/9780323984348"](https://www.sciencedirect.com/science/referenceworks/9780323984348) Vol. 4, pp. 485-505 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822562-2.00324-8>.
2. Nisa Erpamukçu Oruç, Arzu Ispalar Çahantimur (2024) Environmental Science [HYPERLINK "https://www.sciencedirect.com/journal/environmental-science-and-policy"](https://www.sciencedirect.com/journal/environmental-science-and-policy) & [HYPERLINK "https://www.sciencedirect.com/journal/environmental-science-and-policy"](https://www.sciencedirect.com/journal/environmental-science-and-policy) Policy; Vol. 152, 103639. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103639>.
3. Katherine O'Donnell, Suzanne Sharrock (2017) Plant Diversity; Vol. 39, Iss. 6, pp. 373-378. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.11.005>.
4. Till Hägele (2024) Journal of Destination Marketing [HYPERLINK "https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-destination-marketing-and-management"](https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-destination-marketing-and-management) & [HYPERLINK "https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-destination-marketing-and-management"](https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-destination-marketing-and-management) Management; Vol. 31, 100860 . <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2024.100860>.
5. Скробач Т.Б. (2006) Сосна чорна (Pinus nigra Arn.) в лісових насадженнях західного регіону України / Національний лісотехнічний університет України. – Львів, – 18 с. <https://lib.udau.edu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/ec98a00a-27e4-4d6c-971a-bda9cf5be594/conten>.
6. Ella Wessén, Sara Hallin (2011) Ecological Indicators; Vol. 11, Iss. 6, pp. 1696-1698. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.018>
7. Silvia Fusaro, Federico Gavinelli , Francesca Lazzarini, Maurizio G. Paoletti (2018) Ecological Indicators; Vol. 93, pp. 1276-1292. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.007>.
8. R. Gabilondo, S. Blanco, I. Fernández-Montiel, D.A. García, E. Bécares. (2018) Ecological Indicators; Vol. 85, pp. 1192-1203. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.060>.
9. Sashika D. Warnasuriya , Dhanushka Udayanga , Dimuthu S. Manamgoda , Charles Biles (2023) Science of The Total Environment; Vol. 892, 164583. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164583>.

10. Monika Thakur, Savita Bhardwaj, Vinod Kumar, Jesús Rodrigo-Comino (2024) Total Environment Advances; Vol. 9, 200085. <https://doi.org/10.1016/j.teadva.2023.200085>.
11. Bernd Markert, Anton M Breure, Harald G. Zechmeister (2003) Bioindicators and Biomonitors: Principles, Concepts and Applications. (PDF) [Bioindicators and Biomonitors: Principles, Concepts and Applications](#).
12. Shuhong Luo, Ruirui Chen, Jigang Han, Weiwei Zhang, Evangelos Petropoulos, Yun Liu, Youzhi Feng (2024) Chemosphere; Vol. 352, 141266. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141266>.
13. Ghasem D.(2007) Najafpour Biochemical Engineering and Biotechnology, pp. 170-198. <https://doi.org/10.1016/B978-044452845-2/50007-0>
14. Sivakumar Subpiramaniam (2021) Chemosphere; Vol. 280, 130784. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130784>.
15. Lorraine Meyer, Stéphane Guyot, Michel Chalot, Nicolas Capelli (2023) Ecotoxicology and Environmental Safety; Vol. 262, 115185. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115185>.
16. Arlinda Cakaj, Kinga Drzewiecka, Anetta Hanć, Marta Lisiak-Zielińska , Liliana Ciszewska, Maria Drapikowska (2024) Environmental Research; Vol. 256, 119222. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119222>.
17. Ruofei Li, Jun Yao, Jianli Liu, Geoffrey Sunahara, Robert Duran, Beidou Xi, Zozo El-Saadani (2024) Journal of Environmental Management; Vol. 356, 120550. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120550>.
18. Changchao Li, Quan Quan, Yandong Gan, Junyu Dong, Jiaohui Fang, Lifei Wang, Jian Liu (2020) Science of The Total Environment; Vol. 749,141555. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141555>.
19. Łukasz Musielok, Marek Drewnik, Mateusz Stolarczyk, Magdalena Gus, Sylwia Bartkowiak, Krzysztof Koźyczkowski, Jakub Lasota, Alicja Motak, Karolina Szczechowska, Mikołaj Wątyły (2018) CATENA; Vol. 170, November 2018, Pages 272-282. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.06.023>.
20. Gao Chen, Weibang Sun (2018) Plant Diversity; Vol. 40, Iss. 4, pp. 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2018.07.006>.
21. Philip E. Hulme (2011) Addressing the threat to biodiversity from botanic gardens; Vol. 26, Iss. 4, pp. 168-174. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.01.005>.
22. John S. Donaldson (2009) Botanic gardens science for conservation and global change; Vol. 14, Iss. 11, pp. 608-613. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.08.008>.
23. Sara F. Oldfield (2009) Botanic gardens and the conservation of tree species; Vol. 14, Iss.11, pp.581-583. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.08.013>.

24. Hai Ren, Alexandre Antonelli (2023) National botanical gardens at the forefront of global plant conservation; Vol. 4, Iss. 5, 100478. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2023.100478>.

25. [M. Patrick Griffith](#), [Teodoro Clase](#), [Pedro Toribio](#), [Yuley Encarnación Piñeyro](#), [Francisco Jimenez](#), [Xavier Gratacos](#), [Vanessa Sanchez](#), [Alan Meerow](#), [Abby Meyer](#), [Andrea Kramer](#), [Jeremie Fant](#), [Kayri Havens](#) (2023) [International Journal of Plant Sciences](#); Vol. 181, № 5. <https://doi.org/10.1086/707729>.

26. Sergei Volis (2017) [Plant Diversity](#); Vol. 39, Iss. 6, pp. 365-372. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.11.006>.

27. Nigel D. Swarts, Kingsley W. Dixon (2009) Plant science research in botanic gardens; Vol. 14, Iss. 11, pp. 590-598. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.07.008>.

28. Michael Gross (2018) Can botanic gardens save all plants?; Vol. 28, Iss. 18, pp.1075-78. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.09.010>.

29. Xianqing Zheng, Liang Wei, Weiguang L., Yue Zhang, Haiyun Zhang, Hanlin Zhang, Zhenke Zhu, Tida Ge, Wenju Zhang (2024) [Agriculture, Ecosystems](#) HYPERLINK "<https://www.sciencedirect.com/journal/agriculture-ecosystems-and-environment>" & HYPERLINK "<https://www.sciencedirect.com/journal/agriculture-ecosystems-and-environment>" Environment; Vol. 359, 108721. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108721>.

30. Sujan Bhandari, Dibya Bhatta, Anju Poudel, Susmita Bhattarai, Puja Yadav, Netra Ghimire, Prava Paudel, Pragya Paudel, Jiban Shrestha, Biplov Oli (2023) [Journal of Agriculture and Food Research](#); Vol. 11, 100498. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100498>.

31. Nai-Xian Feng, Jiao Yu, Hai-Ming Zhao, Yu-Ting Cheng, Ce-Hui Mo, [Quan-Ying Cai](#), Yan-Wen Li, Hui Li, Ming-Hung Wong (2017) [Science of The Total Environment](#); Vol. 583, pp. 352-368. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.075>.

32. Fernando Visconti, Enrique Peiró, Simone Pesce, Enrico Balugani, Carlos Baixauli, José Miguel de Paz (2024) [European Journal of Agronomy](#); Vol. 155, 127115. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127115>

33. Еколого-біологічні властивості ґрунтового покриву ботанічного саду Дніпропетровського національного університету (становлення, охорона, раціональне використання): автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.16 / Кабар

Анатолій Миколайович ; Дніпропетровський національний ун-т. - Д., 2003. - 18 с.

34. Caroline Gilmer, Angelica Werth and Dara Park (2020) INCREASING SOIL BIODIVERSITY IN BOTANICAL GARDENS; LGP 1061. <https://lpress.clemson.edu/publication/increasing-soil-biodiversity-in-botanical-gardens/>

35. ДСТУ 4287:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=54569](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54569) .

36. ДСТУ ISO 11461:2004 Якість ґрунту. Визначення вмісту води в ґрунті як частки за об'ємом із застосуванням кернавирізувальних трубок. Гравіметричний метод (ISO 11461:2001, IDT). [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=51768](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=51768) .

37. ДСТУ ISO 11465-2001 Якість ґрунту. Визначання сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод (ISO 11465:1993, IDT). [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=55865](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=55865)

38. I.F. Spellerberg (2008) *Encyclopedia of Ecology*, pp. 3249-3252. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00132-4>

39. Johnson, S. 2019. Microbial Dynamics in Soil Ecosystems, *Soil Biology Journal*, 32(4): 78-92

40. Williams, M. 2018. Soil Health and Plant Growth, *Plant Science Review*, 50(3): 189-202

41. ДСТУ ГОСТ 12.0.230:2008 Система стандартів безпеки праці. Системи управління охороною праці. Загальні вимоги (ГОСТ 12.0.230-2007, IDT)

42. ДСТУ ГОСТ 12.0.230:2008 Система стандартів безпеки праці. Системи управління охороною праці. Загальні вимоги (ГОСТ 12.0.230-2007, IDT)

43. ДСТУ 7748:2015 Безпека праці. Біологічна безпека. Загальні вимоги.