

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології  
Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Зав. кафедрою екології

доц. \_\_\_\_\_ Вікторія КАЦЕВИЧ

« \_\_\_\_\_ » грудня 2025р.

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «магістр»  
на тему: «Екотоксикологічна оцінка якості ґрунтів промислових зон в м.  
Дніпро»

Виконала: здобувачка вищої освіти 2 курсу,  
групи МГЕ-1-24 спеціальності  
101 «Екологія»

\_\_\_\_\_ Калюжна А.С.

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

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет:** Водогосподарської інженерії та екології

**Кафедра:** Екології

**Освітньо-професійна програма:** «Екологія»

**Спеціальність:** 101 «Екологія»

**Ступінь вищої освіти:** Магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою екології

\_\_\_\_\_ Вікторія КАЦЕВИЧ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на підготовку кваліфікаційної роботи

Калюжна Анастасія Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Екотоксикологічна оцінка якості ґрунтів промислових зон в м. Дніпро

Керівник роботи: к.с.-г.н, доц.. Зленко Ірина Борисівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по ДДАЕУ від «15» жовтня 2025 р. №3074.

2. Термін здачі здобувачем вищої освіти закінченого проекту (роботи):

«16» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: звіти, дані власних експериментів та спостережень

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):

5. Перелік графічного матеріалу ( з точним зазначенням обов'язкових креслень):

9 рисунків, 6 таблиць та 67 посилань, Сторінок – 84.

Дата видачі завдання: «3» вересня 2025 р.

Керівник проекту (роботи): \_\_\_\_\_ / Зленко І.Б.

Завдання прийняв до виконання: \_\_\_\_\_ / Калюжна А.С.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою дослідження	03.09.2025-18.09.2025	виконано
2	Фізико-географічна і ґрунтова характеристика об'єкта досліджень	18.09.2025-03.10.2025	виконано
3	Методи досліджень	04.10.2025-17.10.2025	виконано
4	Результати досліджень та їх аналіз	18.10.2025-29.10.2025	виконано
5	Охорона праці	14.11.2025-27.11.2025	виконано
6	Оформлення дипломної роботи	28.11.2025-08.12.2025	виконано

Здобувачка \_\_\_\_\_ / (Калюжна А.С.) /  
(підпис)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ / (Зленко І.Б.) /  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: «Екотоксикологічна оцінка якості ґрунтів промислових зон у місті Дніпро». Дипломна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків та списку використаних джерел. Повний обсяг роботи становить 84 сторінки друкованого тексту, містить 9 рисунків, 6 таблиць та 67 посилань.

Мета дослідження – здійснити екотоксикологічну оцінку стану ґрунтів у межах промислових зон ВАТ «Дніпрошина» та Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп», визначити рівень техногенного навантаження та обґрунтувати можливість подальшого використання цих територій для створення технопарків.

Об’єкт дослідження – ґрунти промислових територій міста Дніпро.

Предмет дослідження – показники фітотоксичності ґрунтів та стійкість мікробіологічних угруповань до впливу важких металів та інших техногенних поллютантів.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання:

- охарактеризувати техногенне забруднення ґрунтів;
- провести біотестування;
- оцінити стійкість ґрунтової біоти за активністю азотофіксуючих мікроорганізмів;
- визначити екологічні ризики та перспективи створення технопарків;

Методи дослідження: фітотестування, визначення сумарної залишкової токсичності ґрунтів.

Ключові слова: ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА, БІОТЕСТУВАННЯ, ПРОМИСЛОВІ ЗОНИ, АНАЛІЗ ҐРУНТУ, ТЕХНОПАРК.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ГРУНТІВ ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ .....	9
1.1 Поняття та значення екотоксикологічної оцінки ґрунтів .....	9
1.2 Забруднення ґрунтів у межах промислових зон міст .....	11
1.3 Техногенне забруднення ґрунтів підприємствами .....	14
1.4 Екологічні наслідки діяльності шинного виробництва .....	17
1.5 Біотестування як метод оцінки токсичності ґрунтів .....	19
1.6 Культури індикатори .....	22
1.7 Важкі метали у ґрунтах промислових зон .....	24
1.8 Стійкість культури <i>Azotobacter</i> до важких металів .....	27
1.9 Світовий досвід реорганізації промислових зон .....	30
2 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА І ГРУНТОВА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	33
2.1 Характеристика ВАТ «Дніпрошина» .....	33
2.2 Характеристика Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп» .....	35
2.3 Ґрунтові умови територій дослідження .....	38
2.4 Методика проведення досліджень .....	41
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ .....	44
3.1 Біотестування ґрунтів промислових зон .....	44
3.2 Вміст важких металів у ґрунтах .....	51
3.3 Адаптація культури <i>Azotobacter</i> до важких металів .....	57
4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	64
4.1 Загальні вимоги з охорони праці .....	64
4.2 Заходи безпеки при відборі проб ґрунту .....	67
4.3 Охорона праці при виконанні лабораторних досліджень .....	69
4.4 Заходи пожежної безпеки та дії у надзвичайних ситуаціях .....	72
ВИСНОВКИ .....	75
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	78

## ВСТУП

У сучасних умовах інтенсивного промислового розвитку та урбанізації питання екологічної безпеки техногенно навантажених територій набуває особливої актуальності. Ґрунт, як один із ключових компонентів довкілля, відіграє важливу роль у функціонуванні наземних екосистем, забезпеченні біогеохімічних циклів та підтриманні якості життя населення. Проте саме ґрунтове середовище є найбільш чутливим до впливу промислових підприємств, оскільки здатне акумулювати значні кількості небезпечних речовин, серед яких важкі метали, нафтопродукти, поліциклічні ароматичні вуглеводні та інші техногенні токсиканти. Накопичення цих сполук призводить до деградації ґрунтової біоти, зниження родючості та формування стійких техногенних аномалій, що створює ризики для здоров'я людини і подальшого використання таких просторових зон.

Значущість теми дослідження обумовлена потребою всебічного екологічного оцінювання промислових зон, які в умовах сучасного містобудівного розвитку дедалі частіше розглядаються як потенційні площі для реконверсії, реновації та створення об'єктів інноваційної інфраструктури. Світова практика демонструє значний інтерес до формування технопарків та наукових кластерів на місцях колишніх промислових підприємств. Такий підхід дозволяє раціонально використовувати занедбані міські території, знижувати техногенний тиск на довкілля та створювати нові точки економічного зростання. Однак реалізація подібних проєктів потребує обов'язкового екологічного обґрунтування, зокрема визначення рівня токсичності ґрунтів, оцінки залишкових ризиків та необхідних заходів з рекультивації.

Вибір об'єктів дослідження—територій ВАТ «Дніпрошина» та Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп»—є обґрунтованим і

зумовлений їхнім значним впливом на довкілля протягом тривалого періоду експлуатації. Обидва підприємства належать до групи техногенно навантажених об'єктів, але характер і масштаби їхнього впливу відрізняються. Шинне виробництво традиційно є джерелом складних комбінованих забруднень, включаючи важкі метали, органічні токсиканти та гумові мікрочастинки, що зумовлює глибоку трансформацію ґрунтового середовища. У той час як територія трубопрокатного заводу зазнала техногенного впливу переважно металургійного походження, але на сьогодні проходить реструктуризацію із частковим вивезенням ґрунтових мас та зменшенням рівня забруднення. Саме різний характер техногенного навантаження та різний потенціал цих територій для подальшого використання робить їх порівняльний аналіз важливим і науково значущим.

Проблематика полягає в тому, що багато промислових зон України, включаючи місто Дніпро, залишаються екологічно небезпечними через тривалий накопичувальний ефект токсичних речовин, навіть після зупинки виробництва. Відсутність своєчасних рекультиваційних заходів, наявність залишкових техногенних забруднень, деградація ґрунтового покриву та порушення біологічної активності ґрунтів створюють ризики для планування нової урбаністичної інфраструктури. Тому оцінка рівня токсичності ґрунтів за допомогою біотестування та мікробіологічних показників є ключовим інструментом визначення екологічної безпеки та обґрунтування можливості розташування на цих територіях технопарків.

Актуальність створення технопарків на територіях колишніх промислових підприємств полягає у поєднанні економічної доцільності та екологічної відповідальності. З одного боку, такі зони мають вигідне розташування, розвинену інфраструктуру та високий потенціал для формування науково-технічних кластерів; з іншого—лише екологічно безпечний стан ґрунтів може забезпечити їх тривале функціонування без ризику для здоров'я відвідувачів, персоналу та навколишнього населення. Саме тому встановлення

екотоксикологічних характеристик ґрунтів є обов'язковою умовою ухвалення рішення про подальше перепрофілювання промислових об'єктів.

Дослідження екотоксикологічного стану ґрунтів двох промислових зон міста Дніпро є важливим науково-прикладним завданням, що дозволяє не лише оцінити рівень техногенного навантаження, а й визначити перспективи використання цих територій для створення сучасних технопарків. Результати дослідження можуть бути корисними для розробки заходів щодо реабілітації промислових земель, оптимізації містобудівного планування та формування екологічно безпечного середовища у межах міської агломерації.

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ҐРУНТІВ ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ

## 1.1 Поняття та значення екотоксикологічної оцінки ґрунтів

Ґрунт виступає базовим компонентом біосфери, що забезпечує функціонування наземних екосистем, бере участь у колообігу речовин, регулює водний режим, є середовищем існування для ґрунтової біоти та основою для розвитку рослинного покриву. В умовах урбанізації та інтенсивного промислового навантаження саме ґрунт є одним із найбільш уразливих компонентів довкілля, оскільки здатний акумулювати значні кількості токсичних сполук.

Під екотоксикологічною оцінкою ґрунтів розуміють систему методів дослідження, спрямованих на встановлення ступеня токсичності ґрунтового середовища на основі реакції біологічних тест-об'єктів, а також на визначення екологічної небезпеки забруднення для природних екосистем і здоров'я людини. На відміну від хімічного аналізу, який визначає лише вміст окремих речовин, екотоксикологічні дослідження дозволяють оцінити інтегральний ефект дії комплексу забруднювачів з урахуванням їхньої біологічної доступності та синергетичного впливу [1].

За результатами досліджень учених Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна та Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», ґрунти є надзвичайно чутливими до дії промислових забруднювачів, зокрема продуктів спалювання палива, важких металів та золи, що надходять у навколишнє середовище внаслідок роботи енергетичних та промислових підприємств. Автори

встановили, що головну масу промислових відходів теплоелектростанцій складають оксиди кремнію, кальцію, магнію, заліза, алюмінію та сірки, які здатні мігрувати в ґрунтовий покрив і формувати стійке токсичне навантаження. В результаті біотестування ґрунтів, відібраних у зоні впливу Зміївської ТЕС, було виявлено різний рівень фітотоксичних властивостей, причому на окремих ділянках ґрунти відповідали III класу якості — помірно забруднені, що свідчить про суттєве антропогенне навантаження на ґрунтовий покрив [2].

Важкі метали розглядаються як пріоритетні чинники забруднення ґрунтів, оскільки характеризуються високою токсичністю, здатністю до біоаккумуляції та тривалим періодом напіврозпаду в природному середовищі. Навіть у незначних концентраціях вони можуть спричиняти порушення обміну речовин у рослин і мікроорганізмів, пригнічувати ґрунтову біоту, знижувати родючість ґрунтів і чинити шкідливий вплив на здоров'я людини. Надходження важких металів у харчові ланцюги відбувається переважно через рослини, які акумулюють токсиканти з ґрунту, що зумовлює особливу небезпеку забруднених промислових територій.

За результатами вчених, саме біологічні методи оцінки якості ґрунтів, зокрема фітотестування та використання мікробіологічних показників, є найбільш інформативними при встановленні реального рівня екологічної небезпеки. Реакції тест-рослин на забруднення ґрунту дозволяють оперативно визначати ступінь фітотоксичності, оскільки зниження довжини коренів і пагонів є чутливим індикатором токсичного стресу. Було доведено, що зі зростанням концентрації забруднювальних речовин відбувається поступове пригнічення мікробного угруповання ґрунту, а при значних концентраціях — його повна деградація.

Дослідження сучасних підходів до екотоксикологічної оцінки підкреслюють важливість поєднання хімічних аналізів із широким спектром біологічних тестів. Сучасні дослідники зазначають, що саме тест-батареї, які охоплюють різні трофічні рівні — мікроорганізми, рослини та безхребетних, — дають змогу виявити комплексну дію забруднювачів і оцінити біодоступність

токсичних речовин. Особливо цінними є хронічні тести на ріст рослин, динаміку мікробних процесів та чутливі біотести з використанням водних організмів, які реагують навіть на низькі концентрації мобільних токсикантів. Такий комбінований підхід дозволяє встановити не лише факт забруднення, а й оцінити потенційні екологічні ризики та визначити безпечні рівні застосування матеріалів, що контактують із ґрунтом [3].

Особливої актуальності екотоксикологічна оцінка ґрунтів набуває в умовах перепрофілювання промислових територій та їх подальшого використання під забудову, створення технопарків, наукових і рекреаційних об'єктів. Забруднені ґрунти можуть залишатися джерелом вторинного забруднення повітря та вод навіть після припинення виробничої діяльності, що створює довготривалі екологічні ризики для населення. Саме тому результати екотоксикологічних досліджень є теоретичною базою для прийняття управлінських рішень щодо необхідності рекультивації, зняття та утилізації забруднених ґрунтів або обмеження господарського використання територій [4].

Екотоксикологічна оцінка ґрунтів є обов'язковим етапом комплексної екологічної діагностики промислових зон, який дозволяє об'єктивно визначити рівень техногенного впливу, оцінити екологічну небезпеку територій, спрогнозувати можливі наслідки для біоти та людини, а також обґрунтувати перспективи їх подальшого безпечного використання [5].

## 1.2 Забруднення ґрунтів у межах промислових зон міст

Забруднення ґрунтів у межах промислових зон міст є однією з найбільш небезпечних форм деградації довкілля в умовах сучасної урбанізації. Саме міські території, навколо промислових підприємств, транспортних вузлів та магістралей, характеризуються найвищими рівнями антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив. За результатами багатьох досліджень

встановлено, що найбільш забрудненими є ґрунти в межах міст, навколо промислових центрів та вздовж автомобільних шляхів, де відбувається інтенсивне надходження полютантів різної природи [6].

Урбанізація та індустріалізація спричиняють не лише механічне порушення природної структури ґрунтів, а й суттєву зміну їхніх фізико-хімічних і біологічних властивостей. За даними науковців, зростання кількості та площі міст призводить до інтенсифікації багатофакторного впливу на довкілля, обумовлює масове розсіювання хімічних елементів та сприяє акумуляції в ґрунтах техногенних полютантів у невласливих для природних екосистем поєднаннях.

У межах урбоекосистем формується специфічне середовище з порушеними потоками речовин та енергії, що зумовлює стійке забруднення ґрунтового покриву.

Поняття «міські ґрунти» об'єднує декілька груп ґрунтів, серед яких виділяють природні непорушені, природно-антропогенні, урбаноземи, культуроземи, некрозами та індустріоземи — ґрунти промислових зон. Для ґрунтів міських територій характерна значна фізична й хімічна трансформація, яка проявляється у руйнації профільної структури, підвищенні щільності, зміні реакції середовища, зменшенні стабільності гумусового горизонту, накопиченні важких металів і токсичних речовин [7].

Провідне місце серед забруднювальних речовин у промислових зонах займають важкі метали, які характеризуються високою токсичністю, персистентністю та здатністю до біоакумуляції. У малих концентраціях деякі з них є необхідними мікроелементами, проте у високих дозах вони проявляють яскраво виражені токсичні властивості. За результатами досліджень учених, найбільш забруднені важкими металами території формуються навколо підприємств чорної та кольорової металургії внаслідок інтенсивних атмосферних викидів.

Встановлено, що навколо промислових підприємств утворюються стійкі геохімічні аномалії з підвищеним умістом важких металів, радіус яких може

досягати 10–50 км, а вплив великих промислових центрів простежується на відстані до 100 км.

За результатами досліджень учених, максимальні концентрації важких металів у ґрунтах спостерігаються на відстані 0–500 м і 1000–1500 м від джерел забруднення, а частина політантів може переноситися повітряними потоками на відстані до 3–8 км, формуючи зони вторинного забруднення [8].

Особливо небезпечним забруднювачем урбоєкосистем є свинець, який у промислових центрах може перевищувати гранично допустимі концентрації у десятки разів. За даними досліджень, разові концентрації свинцю на окремих територіях міст перевищують нормативні значення у 28–39 разів, що свідчить про надзвичайно небезпечний рівень забруднення ґрунтів.

За останні 100 років викиди сполук свинцю у світі зросли майже в 20 разів, а в Україні до 65 % його надходження пов'язано з діяльністю автотранспорту

Суттєвий вплив на рівень забруднення ґрунтів має також гранулометричний склад. За результатами наукових досліджень ґрунтів міських територій встановлено, що ґрунти з високим умістом мулистої фракції мають підвищену буферну здатність і краще зв'язують політантанти, тоді як легші ґрунти санітарно-захисних та селітебних зон мають меншу здатність до акумуляції забруднювачів, що підвищує ризик їх міграції у суміжні середовища [9].

Санітарно-захисні зони промислових підприємств є найбільш техногенно навантаженими територіями. За зменшенням коефіцієнта концентрації свинцю та міді міські зони формують таку послідовність: санітарно-захисна зона > селітебна зона > ландшафтно-рекреаційна зона > транспортна зона

Забруднення ґрунтів важкими металами супроводжується суттєвими змінами їх біологічної активності. Активність уреаз в ґрунтах урбоєкосистем у 2,5–2,9 раза нижча, ніж у фонових природних біогеоценозах, що свідчить про пригнічення мікробіологічних процесів та порушення трансформації сполук азоту.

Крім того, встановлено зниження чисельності ґрунтових мікроорганізмів, водоростей і ферментативної активності, що є індикатором деградації ґрунтових екосистем.

Важливою особливістю міських ґрунтів є також зміщення реакції середовища в лужний бік, особливо поблизу промислових підприємств та автомобільних шляхів, що зумовлює зміну умов існування ґрунтової біоти та впливає на рухомість важких металів

У лужному середовищі частина металів переходить у більш рухомі форми, що підвищує їх екологічну небезпеку [10].

Забруднення ґрунтів у межах промислових зон міст має складний багатокомпонентний характер і формується під впливом сукупної дії стаціонарних промислових джерел, автотранспорту, аеротехногенного переносу та порушення природної структури ґрунтового покриву. Накопичення важких металів, зміна фізико-хімічних властивостей та пригнічення біологічної активності ґрунтів зумовлюють зниження їх екологічної стійкості, формування техногенних аномалій і підвищення ризиків для здоров'я населення та безпечного використання міських територій [11].

### 1.3 Техногенне забруднення ґрунтів підприємствами

У процесі виробничої діяльності в навколишнє середовище надходять значні обсяги токсичних речовин, що мають здатність накопичуватися в ґрунті, змінювати його фізико-хімічні властивості та негативно впливати на ґрунтову біоту. Специфікою техногенного забруднення є його тривалий характер, висока концентрація полутантів та формування стійких геохімічних аномалій.

Основними джерелами техногенного навантаження на ґрунти є підприємства металургійної, машинобудівної, хімічної, паливно-енергетичної, гумової та коксохімічної промисловості. Унаслідок функціонування таких

підприємств у ґрунти надходять важкі метали (свинець, кадмій, ртуть, мідь, цинк, нікель, хром), нафтопродукти, феноли, поліциклічні ароматичні вуглеводні, сірчисті сполуки, кислоти та луги. Ці речовини характеризуються високою токсичністю, стійкістю у довкіллі та здатністю до міграції в суміжні природні середовища [12].

Надходження поллютантів у ґрунтовий покрив промислових зон відбувається як безпосередньо, так і опосередковано — через атмосферні випадіння, стічні води, шламонакопичувачі, відвали та полігони промислових відходів. Аеротехногенний шлях міграції забруднювальних речовин належить до числа найбільш поширених, оскільки дрібнодисперсні частинки пилу, що містять важкі метали та токсичні сполуки, здатні поширюватися на значні відстані та випадати на поверхню ґрунтів у вигляді сухих і вологих опадів. У результаті в зоні впливу підприємств формуються локальні та регіональні зони підвищеного забруднення.

Особливу екологічну небезпеку становлять важкі метали, які, потрапляючи в ґрунт, не піддаються біологічному розкладанню та здатні тривалий час зберігатися у верхньому гумусному горизонті. Вони можуть переходити в рухомі форми залежно від кислотності, вологості, окисно-відновних умов і гранулометричного складу ґрунту. За несприятливих умов важкі метали активно мігрують у підземні води та засвоюються рослинами, що створює небезпеку їх потрапляння в трофічні ланцюги [13].

Під впливом техногенного забруднення відбувається істотна трансформація морфологічної структури та хімічного складу ґрунтів. Зокрема, спостерігається ущільнення верхніх шарів, зменшення вмісту гумусу, порушення водно-повітряного режиму, а також зміна реакції середовища у бік підлугування або закислення. Такі процеси спричиняють зменшення родючості ґрунтів і втрати ними здатності виконувати природні екосистемні функції.

Біологічні наслідки техногенного забруднення ґрунтів проявляються у зниженні чисельності та видової різноманітності ґрунтових мікроорганізмів,

пригніченні ферментативної активності, порушенні процесів мінералізації органічних залишків та трансформації сполук азоту, фосфору і сірки. Особливо чутливими до дії токсикантів є азотфіксувальні бактерії, зокрема азотобактер, активність яких є ключовим індикатором екологічного стану ґрунтів. Під впливом техногенного навантаження спостерігається різке зниження їхньої чисельності, що свідчить про порушення біологічної рівноваги в ґрунтовому середовищі.

Не менш небезпечними є забруднення ґрунтів нафтопродуктами, які надходять у результаті діяльності автотранспортних підприємств, нафтобаз, ремонтних виробництв і аварійних витоків. Нафтопродукти порушують газообмін у ґрунті, зменшують доступність кисню для ґрунтових організмів, пригнічують ріст рослин та змінюють мікробіологічні процеси. Тривале забруднення такими сполуками призводить до формування деградованих, малопродуктивних ґрунтів [14].

Суттєвим чинником техногенного навантаження є також накопичення промислового пилу на поверхні ґрунтів. Пилкові частинки містять широкий спектр металів і токсичних сполук, які після випадання поступово інкорпорується у ґрунтову товщу. За певних умов відбувається їх повторна аерозолізація, що сприяє вторинному забрудненню атмосферного повітря та поширенню поллютантів за межі промислових територій.

Техногенне забруднення ґрунтів підприємствами є результатом тривалого комплексного впливу різноманітних джерел забруднення та характеризується високим рівнем токсичності, стійкістю забруднювальних речовин і значними масштабами поширення. Трансформація фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунтів у промислових зонах зумовлює зниження їх екологічної стійкості, формування небезпечного середовища для живих організмів і створює серйозні обмеження щодо подальшого безпечного використання таких територій, зокрема для рекреаційних, житлових і інноваційних об'єктів, таких як технопарки [15].

#### 1.4 Екологічні наслідки діяльності шинного виробництва

Шинне виробництво належить до найбільш екологічно небезпечних галузей промисловості через складний багатокomпонентний характер технологічних процесів і використання великої кількості токсичних речовин. У процесі виготовлення шин застосовуються натуральні та синтетичні каучуки, технічна сажа, пластифікатори, прискорювачі вулканізації, антиоксиданти, стабілізатори, сірка, органічні розчинники та сполуки важких металів. Значна частина цих компонентів у вигляді викидів, стічних вод, пилу та твердих відходів надходить у навколишнє середовище, формуючи стійке техногенне навантаження на ґрунти [16].

За даними різних екологічних досліджень, підприємства гумотехнічної та шинної промисловості щорічно утворюють десятки тисяч тонн відходів, значну частину яких становлять гумові шлами, відпрацьовані мастильні матеріали, сажа та відходи вулканізації. При цьому до 30–40 % таких відходів за відсутності ефективної системи утилізації може потрапляти у ґрунтове середовище у вигляді вторинного забруднення. Вміст важких металів у ґрунтах на територіях шинних заводів, за даними наукових спостережень, у середньому перевищує фонові значення у 3–10 разів, а локально — у 15–20 разів.

Основними хімічними забруднювачами ґрунтів у зоні впливу шинного виробництва є сполуки цинку, свинцю, кадмію, міді, хрому, а також поліциклічні ароматичні вуглеводні, бенз(а)пірен, феноли та формальдегід. Зокрема, концентрація цинку в ґрунтах поблизу шинних підприємств може досягати 500–1200 мг/кг за гранично допустимого рівня 100–300 мг/кг, а вміст бенз(а)пірену нерідко перевищує нормативи у 5–12 разів. Такі значення свідчать про високий рівень канцерогенного забруднення ґрунтів [17].

Значну екологічну небезпеку становлять пилогазові викиди, що утворюються під час змішування гумових сумішей, екструзії та вулканізації шин. Дрібнодисперсний гумовий пил і частинки технічної сажі інтенсивно осідають у верхньому горизонті ґрунту. За результатами досліджень, щорічне надходження пилу на територіях промислових зон шинних підприємств може становити від 2 до 5 т/км<sup>2</sup>, що призводить до швидкого накопичення токсичних компонентів у поверхневому шарі ґрунту.

Окрему екологічну проблему становлять продукти зношування шин. У процесі експлуатації транспортних засобів у навколишнє середовище щорічно потрапляє від 5 до 10 % маси шин у вигляді мікрочастинок гуми. За оцінками фахівців, у великих промислових містах щорічне надходження мікрочастинок шин у ґрунти може перевищувати 100–200 кг на 1 км<sup>2</sup>. Ці частинки містять цинк, свинець, ароматичні вуглеводні та синтетичні полімери, які не розкладаються протягом десятків років і змінюють фізичну структуру ґрунту [18].

Забруднення ґрунтів нафтопродуктами є ще одним типовим наслідком діяльності шинних підприємств. У зонах розташування складів, ремонтних майстерень і транспортних ділянок концентрація нафтопродуктів у ґрунтах може перевищувати гранично допустимі значення у 4–15 разів. Це призводить до різкого погіршення водно-повітряного режиму ґрунту, блокування газообміну, загибелі ґрунтових мікроорганізмів та пригнічення рослинності.

Біологічні наслідки діяльності шинного виробництва проявляються у пригніченні ґрунтової мікробіоти та ферментативної активності. За даними екотоксикологічних досліджень, у ґрунтах промислових зон шинних заводів активність уреази та каталази знижується в середньому на 40–60 % порівняно з фоновими ділянками. Чисельність азотфіксувальних бактерій, зокрема азотобактера, зменшується у 5–8 разів, що свідчить про глибоке порушення процесів азотного обміну та зниження природної родючості ґрунту.

Фітотоксичний ефект ґрунтів у зоні впливу шинного виробництва проявляється у зниженні схожості насіння, порушенні ростових процесів, хлорозі листків і зменшенні біомаси рослин. За експериментальними даними,

схожість тест-культур на забруднених ґрунтах зменшується в середньому на 30–70 %, а довжина кореневої системи — на 40–60 % у порівнянні з контролем. Це є свідченням високого рівня фітотоксичності таких територій.

Екологічні наслідки діяльності шинного виробництва мають виражений кумулятивний і довготривалий характер. Навіть після зупинки підприємств ґрунти залишаються джерелом вторинного забруднення через повторне підняття пилу, промивання забруднювальних речовин атмосферними опадами та їх міграцію в підземні води. Тривалість природного самоочищення таких ґрунтів без застосування спеціальних рекультиваційних заходів може перевищувати 30–50 років [19].

Шинне виробництво формує потужний осередок техногенного забруднення ґрунтів, що проявляється у високих концентраціях важких металів, нафтопродуктів, органічних токсикантів і мікрочастинок гуми. Системне порушення фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунту призводить до втрати його екологічних функцій, зниження біопродуктивності та створює серйозні обмеження для подальшого безпечного використання територій шинних підприємств, зокрема для житлової забудови, озеленення та розміщення об'єктів інноваційної інфраструктури, у тому числі технопарків [20].

### 1.5 Біотестування як метод оцінки токсичності ґрунтів

Метод базується на визначенні показників життєдіяльності чутливих тест-організмів, які реагують на наявність у ґрунтовому середовищі токсичних речовин шляхом зміни фізіологічних, морфологічних або поведінкових характеристик. Біотести моделюють вплив сукупності токсикантів у їх природному поєднанні, на відміну від хімічних методів, які оцінюють лише концентрації окремих компонентів. Тому біотестування дає змогу встановити

реальний екологічний ризик, який не завжди корелює з даними хімічного аналізу.

За даними екотоксикологічних досліджень, понад 65–70 % випадків токсичного навантаження ґрунтів не можуть бути повністю пояснені лише хімічними показниками, оскільки токсичність формується під впливом комплексної дії різних забрудників, їх трансформаційних продуктів і взаємодій. Зокрема, синергічний ефект важких металів у поєднанні з органічними сполуками може підвищувати токсичність середовища у 2–5 разів порівняно з дією окремих компонентів. Це робить біотестування незамінним для аналізу ґрунтів техногенних територій, де одночасно присутні важкі метали, вуглеводні, фенольні сполуки, пестициди, промисловий пил і продукти корозії [21].

Метод біотестування ґрунтів включає використання кількох груп тест-організмів. Найпоширенішими є інфузорії, ракоподібні та рослини. Інфузорії, такі як *Paramecium caudatum*, характеризуються дуже високою чутливістю: за наявності гостротоксичних речовин час їх виживання може знижуватися до 1–10 хвилин, що вказує на високий бал інтегральної токсичності (БІТ). У контрольних умовах тривалість їх виживання становить від 24 до 48 годин, тоді як у токсичних екстрактах ґрунтів із промислових територій цей показник скорочується у 50–300 разів. Ракоподібні, наприклад *Ceriodaphnia affinis* або *Daphnia magna*, використовуються як тест-об'єкти для оцінки дії токсикантів на тваринні організми. Вони демонструють чітку залежність «доза–ефект», що дозволяє статистично визначати  $LC_{50}$  та  $LT_{50}$ , які служать кількісними показниками токсичності.

Особливо важливу роль у біотестуванні відіграють рослини – універсальні біоіндикатори стану ґрунтового середовища. У світовій практиці фітотести застосовують у понад 40 % досліджень токсичності ґрунтів, оскільки рослини реагують на широкий спектр забрудників: нітрати, важкі метали, детергенти, феноли, органічні розчинники, надлишкову мінералізацію. У середньому зниження енергії проростання на 20–30 % вважається ознакою помірної фітотоксичності, а на 50–70 % – високої токсичності. За даними

польових спостережень, у ґрунтах із промислових зон значення цього показника нерідко знижується більш ніж удвічі порівняно з фоновими територіями. Коренева система є ще чутливішою: пригнічення росту коренів на 40–60 % свідчить про наявність у ґрунті токсичних сполук, які гальмують клітинний поділ у меристемі [22].

Важливою складовою біотестування є визначення активності ґрунтових мікроорганізмів, зокрема азотфіксувальних бактерій роду *Azotobacter*. Ці мікроорганізми виступають індикаторами родючості ґрунту та його екотоксикологічного стану. У нормальних умовах чисельність азотобактера може сягати десятків тисяч клітин на грам ґрунту, тоді як за умов техногенного забруднення цей показник знижується у 5–20 разів, а інколи до повної відсутності колоній. Оскільки азотобактер чутливий до важких металів, токсичних органічних сполук і підвищеного рівня рН, результати аналізу його активності дозволяють статистично достовірно оцінити деградацію ґрунтової біоти. Втрата азотфіксувальної активності навіть на 30–40 % учені розглядають як ранній індикатор техногенного навантаження, тоді як зниження на 70–90 % свідчить про глибоку деградацію ґрунтового середовища [23].

Біотестування також дає змогу визначати просторову мозаїчність забруднення. За даними ґрунтово-екологічних досліджень, відмінності у токсичності між точками відбору проб навіть у межах невеликої території можуть перевищувати 10–15-кратні значення. Це пов'язано з переміщенням забрудників поверхневими водами, стоком до нижніх частин рельєфу, накопиченням токсиканта у пониженнях, тріщинах, техногенних западинах або закритих виробничих приміщеннях. У ряді випадків концентрація токсичних речовин у таких осередках перевищує середні значення у 3–7 разів, що підтверджується відповідними біотестовими реакціями.

Метод біотестування активно використовують у системі екологічного моніторингу техногенно трансформованих ландшафтів. Зокрема, його застосування дозволяє визначити, чи є ґрунт безпечним для використання у сільському господарстві, озелененні, містобудівних проектах або реконструкції

промислових майданчиків у громадські простори чи технопарки. За статистичними даними міжнародних екотоксикологічних досліджень, приблизно 30–40 % промислових територій, що підлягають реконверсії, демонструють залишкову токсичність, встановлену саме завдяки методам біотестування, хоча хімічні аналізи не завжди виявляють перевищення нормативів. Така ситуація пов'язана з тим, що біотести враховують не лише наявність токсиканта, а й його біодоступність — ключовий фактор для оцінки реального впливу на живі організми [24].

Біотестування є універсальним, високочутливим та науково обґрунтованим методом екологічного аналізу ґрунтів. Воно дозволяє оцінити сумарний токсичний ефект забрудників, визначити мікробіологічні та фітотоксичні порушення, виявити локальні зони небезпечного техногенного впливу, а також забезпечити статистично надійні показники для прийняття рішень щодо рекультивації, оздоровлення або подальшого використання територій. Завдяки своїй комплексності та можливості кількісної інтерпретації результатів метод біотестування відіграє ключову роль у забезпеченні екологічної безпеки, моніторингу стану ґрунтових екосистем та прогнозуванні їхнього відновлення [25].

## 1.6 Культури індикатори

Культури-індикатори є важливим інструментом екотоксикологічного аналізу, оскільки дозволяють оперативно та інформативно оцінити рівень техногенного навантаження на ґрунтове середовище за реакцією живих організмів. Їх застосування ґрунтується на здатності рослин чутливо реагувати на присутність у ґрунті небезпечних хімічних сполук, включаючи важкі метали, нафтопродукти, фенольні речовини, поліциклічні ароматичні вуглеводні, поверхнево-активні речовини та інші токсиканти, характерні для промислових

територій. У межах сучасних методів біоіндикації рослини широко використовуються як модельні об'єкти, що дозволяють отримати інтегральну оцінку токсичності, яка враховує сукупний вплив різних забруднювачів — на відміну від суто хімічного аналізу, який визначає концентрації речовин окремо та не завжди дає уявлення про їхній сумарний біологічний ефект [26].

До культур-індикаторів належать види, здатні швидко проростати, демонструвати рівномірний ріст та мати високу стабільність реакцій на токсичні речовини. У науковій практиці найчастіше використовують жито, пшеницю, овес, редис, салат та крес-салат, однак ступінь їхньої чутливості, швидкість формування проростків і відтворюваність результатів значно відрізняються. Саме тому вибір оптимального тест-об'єкта є критично важливим для достовірності результатів біотестування.

Серед усіх рослинних культур, що застосовуються у біоіндикації, найефективнішою і найбільш універсальною визнано крес-салат (*Lepidium sativum L.*). Ця культура відповідає всім вимогам до індикаторних рослин і має низку суттєвих переваг, які роблять її оптимальним тест-об'єктом для оцінювання токсичності ґрунтів промислових зон. Насамперед, крес-салат характеризується надзвичайно швидким і дружним проростанням: перші показники розвитку кореневої системи та надземної частини можна реєструвати вже через 24–48 годин від моменту експозиції. Така швидкість дозволяє суттєво зменшити тривалість біотестування та оперативно отримувати дані про рівень токсичного впливу [27].

Крес-салат відзначається високою чутливістю до широкого спектра токсикантів. Він реагує навіть на низькі концентрації важких металів (свинцю, кадмію, хрому, нікелю), які найчастіше присутні у ґрунтах промислових зон. Спостерігаються такі характерні реакції: зменшення довжини кореня, деформації кореневої системи, пригнічення росту сім'ядолей, зміна пігментації проростків. Ці показники легко піддаються морфометричному аналізу та можуть бути використані для кількісної оцінки токсичності. У свою чергу, така чутливість дозволяє розмежовувати навіть слабко забруднені ґрунти, що є

важливим при екологічному моніторингу територій, де триває або колись велося інтенсивне промислове виробництво [28].

Важливою перевагою крес-салату є простота методики його вирощування. Для біотестування не потрібні спеціальні умови або складне лабораторне обладнання: насіння висівають у зразки ґрунту або водні екстракти, після чого здійснюють спостереження за динамікою росту проростків у стандартних умовах освітлення та вологості. Насіння культури має високу схожість, що значно підвищує відтворюваність експериментів і мінімізує похибки [29].

Крім того, крес-салат є універсальним індикатором, який можна застосовувати для різних типів забруднення. Це дозволяє використовувати його як у комплексній оцінці стану ґрунтів, так і для визначення специфічних видів токсикантів. Наприклад, культура добре реагує на сумарну токсичність ґрунту, що робить її цінною при аналізі забруднених територій, де одночасно присутні важкі метали, нафтопродукти та залишки виробничих хімічних реагентів. Саме такі умови часто характерні для промислових зон, зокрема тих, де тривалий час функціонували металургійні, машинобудівні чи хімічні підприємства [30].

## 1.7 Важкі метали у ґрунтах промислових зон

Важкі метали є одними з найпоширеніших та найстійкіших політантів ґрунтового середовища, особливо в межах промислових територій, де інтенсивні техногенні процеси призводять до їх надмірного накопичення. Накопичення важких металів у ґрунтах відбувається в результаті діяльності підприємств металургійної, хімічної, коксохімічної, машинобудівної, енергетичної галузей та переробної промисловості, а також внаслідок викидів автотранспорту, спалювання палива і неправильного поводження з відходами. Основними металами, що визначають токсичний потенціал техногенно трансформованих

ґрунтів, є свинець, кадмій, ртуть, цинк, мідь, хром, нікель, кобальт і манган. Особливу небезпеку становить те, що ці елементи не розкладаються у природних умовах і володіють властивістю тривалої міграції та акумуляції у ґрунтовому профілі, рослинності та організмах різних трофічних рівнів [31].

У промислових районах рівні накопичення важких металів у ґрунтах можуть перевищувати природний фон у десятки разів, що пов'язано з постійними атмосферними викидами, осіданням пилу, витіканням технічних розчинів, корозійними процесами металевих конструкцій, транспортуванням сировини та накопиченням промислових відходів. Важкі метали здатні швидко накопичуватися у верхньому горизонті ґрунту, де вони вступають у взаємодію з органічною речовиною, глинистими частинками та ґрунтовим розчином. Їх мобільність залежить від кислотності, структури та вмісту гумусу, однак навіть за умов часткового зв'язування ці речовини залишаються екологічно небезпечними через можливість ремобілізації внаслідок зміни властивостей середовища.

У ґрунтах промислових зон свинець є одним із найпоширеніших забруднювачів. Його основними джерелами є металургійні комбінати, фарбувальні виробництва, викиди від зношування акумуляторів і гальмівних систем, а також осідання з атмосферного повітря. Свинець характеризується високою токсичністю для живих організмів, накопичується у поверхневому шарі ґрунту та має тривалий період напіввилучення. Кадмій, який часто надходить до ґрунту з відходами металургії і гальванічного виробництва, вважається одним із найнебезпечніших металів через високу рухомість, здатність до біоакумуляції та виражену токсичність навіть у низьких концентраціях. Ртуть, хоча й менш поширена у ґрунтах, становить надзвичайно високий екологічний ризик завдяки здатності переходити у рухомі органічні форми, які мають високу біологічну активність [32].

Значне техногенне навантаження на ґрунти промислових територій пов'язане також із надходженням міді та цинку. Ці метали є типовими компонентами виробничого пилу, шлаків, сплавів та корозійних матеріалів.

Вони відзначаються відносно високою рухомістю, що сприяє їх переходу у ґрунтовий розчин і засвоєнню рослинами. Хром і нікель характерні для районів металургійного виробництва та підприємств машинобудування. Особливо небезпечним є шестивалентний хром, який має виражену канцерогенну дію та високий рівень токсичності для мікроорганізмів і рослин [33].

Акумуляція важких металів у ґрунтах промислових територій спричиняє низку негативних екологічних ефектів. Насамперед відбувається порушення ґрунтової мікробіоти, зниження чисельності корисних мікроорганізмів, зокрема азотфіксувальних, таких як *Azotobacter*. Важкі метали пригнічують ферментативну активність, гальмують мінералізацію органічної речовини та процеси гумусоутворення. Унаслідок цього знижується біологічна родючість ґрунтів, погіршуються їх структура та водно-фізичні властивості. Додатково токсичний вплив металів проявляється у зниженні здатності рослин проростати та розвиватися, ослабленні їх імунітету та зменшенні фітомаси.

Особливо небезпечним є те, що важкі метали мають здатність накопичуватися у харчових ланцюгах. У промислових районах рослинність здатна поглинати значні кількості металів, які надалі можуть потрапляти до організмів тварин і людини. Це створює ризик кумулятивного отруєння, оскільки важкі метали мають властивість накопичуватися у тканинах і органах, порушувати роботу нервової, ендокринної та імунної систем [34].

Умови промислових зон характеризуються також високим рівнем пилового забруднення, у складі якого містяться дрібнодисперсні частинки металевої та оксидної природи. Такий пил, осідаючи на ґрунт, є джерелом вторинного забруднення та сприяє поширенню важких металів на значні території. У сукупності ці процеси формують складну структуру екологічного ризику, що вимагає комплексного моніторингу та аналізу.

Важкі метали у ґрунтах промислових зон створюють багаторівневу екологічну проблему, яка охоплює порушення хімічного складу ґрунтів, деградацію його біоти, зниження родючості, погіршення стану рослинності та ризику для здоров'я населення. Вивчення характеру забруднення, джерел

надходження, міграційних властивостей металів та їхнього впливу на біологічні компоненти ґрунту є ключовим елементом оцінки екологічної безпеки техногенно навантажених територій, а також базою для розроблення програм рекультивації та раціонального використання таких земель у майбутньому [35].

### 1.8 Стійкість культури *Azotobacter* до важких металів

*Azotobacter* належить до групи вільноживучих азотфіксувальних бактерій, які виконують ключову функцію збагачення ґрунту доступними сполуками азоту. Їх присутність і активність виступають важливим індикатором родючості та екологічного стану ґрунтових екосистем. Особливу увагу до цього роду бактерій привертає те, що *Azotobacter* є чутливим до широкого спектра техногенних забруднювачів, серед яких найбільш небезпечними вважаються важкі метали. У ґрунтах промислових територій їх концентрація часто перевищує фонові рівні у десятки разів, що формує складне середовище для існування мікроорганізмів та великим чином впливає на інтенсивність їх метаболічних процесів.

Важкі метали, такі як свинець (Pb), кадмій (Cd), ртуть (Hg), нікель (Ni), мідь (Cu), цинк (Zn) та хром (Cr), мають здатність порушувати природні механізми функціонування клітин *Azotobacter*. Дія цих металів проявляється у комплексному впливі на структуру та активність нітрогенази — ключового ферментного комплексу, що каталізує процес біологічної фіксації азоту. Нітрогеназа є надзвичайно чутливою до зовнішніх токсикантів, зокрема до іонів  $Cd^{2+}$  та  $Hg^{2+}$ , які можуть інгібувати фермент уже в малих концентраціях. Під впливом  $Pb^{2+}$  та  $Cr^{6+}$  значно знижується швидкість фіксації азоту, що зумовлює зниження загальної біологічної родючості ґрунту. У результаті навіть незначне забруднення ґрунтів важкими металами призводить до зменшення чисельності

популяції *Azotobacter*, пригнічення їх біомаси та зниження загального рівня мікробіологічної активності [36].

Порушення клітинних процесів *Azotobacter* за умов присутності важких металів включає декілька взаємопов'язаних механізмів. На клітинному рівні токсиканти впливають на мембранні структури, зменшуючи проникність мембрани, руйнуючи цілісність фосфоліпідного шару та змінюючи транспорт іонів. Іони важких металів мають здатність взаємодіяти з тіолами ферментів, що призводить до їх інактивації, а також порушують перебіг окисно-відновних реакцій у клітині. На рівні метаболізму інгібується синтез білків, нуклеїнових кислот, зменшується інтенсивність дихальних процесів та порушується нормальний обмін вуглецю, необхідний для підтримки азотфіксувальної активності. Усе це формує комплексний токсичний ефект, який знижує життєздатність бактерій та їхню здатність до колонізації ґрунтового середовища.

Разом із тим, *Azotobacter* характеризується певною стійкістю до дії важких металів, яка формується у результаті адаптації популяції до тривалого техногенного тиску. Ця стійкість реалізується за допомогою низки механізмів клітинної детоксикації. Одним з основних механізмів є біосорбція — здатність клітинної стінки та екзополісахаридів зв'язувати іони металів і перешкоджати їх проникненню до цитоплазми. Іншим адаптаційним механізмом є активне виведення токсичних іонів за допомогою енергозалежних транспортних систем. Деякі штами здатні відновлювати оксиди металів до менш токсичних форм або утворювати нерозчинні комплекси, що осаджуються у вигляді мікрокристалічних включень. Відомі також випадки, коли *Azotobacter* продукує пігменти або хелатуючі речовини, що беруть участь у зв'язуванні металів у позаклітинному середовищі та зменшують їх біодоступність. Попри ефективність таких адаптаційних механізмів, вони потребують значних енергетичних витрат, тому за умов високого рівня забруднення загальна мікробіологічна активність та здатність до фіксації азоту знижуються.

Слід наголосити, що у промислових зонах забруднення ґрунтів рідко обмежується одним видом токсиканта. Найчастіше ґрунти містять комбіновані

суміші металів, які посилюють токсичну дію один одного. У присутності органічних поллютантів, таких як вуглеводні, нафтопродукти, фенольні сполуки або поліциклічні ароматичні вуглеводні, токсичність ґрунту підвищується у декілька разів унаслідок синергічної дії. У такому середовищі навіть помірно стійкі штами *Azotobacter* демонструють зниження активності, а інколи й повне пригнічення біологічної фіксації азоту. Часто у таких ґрунтах спостерігається зменшення різноманіття мікробних угруповань, зміна співвідношення між корисними та нейтральними або навіть патогенними формами бактерій [37].

Зниження активності *Azotobacter* у ґрунтах промислових територій має виражений шкідливий вплив на стан навколишнього середовища. Оскільки ці бактерії є одним із головних нехімізованих джерел фіксації атмосферного азоту, пригнічення їх діяльності призводить до порушення азотного балансу. Це виявляється у зменшенні доступних для рослин форм азоту, що негативно впливає на рослинність, її здатність до росту, виживання та фітомеліоративний потенціал. Крім того, порушення роботи азотфіксувальних бактерій призводить до зниження інтенсивності процесів гумусоутворення, що ускладнює відновлення родючості ґрунту, погіршує його структуру та водний режим, а також зменшує здатність ґрунту до самоочищення.

Вивчення стійкості *Azotobacter* до важких металів є важливим не лише з точки зору мікробіології, але й у ширшому контексті екологічної безпеки промислових територій. Аналіз активності цих бактерій дозволяє оцінити ступінь деградації ґрунту, інтенсивність техногенного впливу та перспективи природного або антропогенно-керованого відновлення порушених земель. Мікробіологічні показники, зокрема чисельність та активність *Azotobacter*, можуть бути використані в системах екологічного моніторингу для визначення ефективності заходів рекультивації, контролю санітарного стану територій та оцінки доцільності їхнього подальшого використання у промислових або рекреаційних цілях. Урахування цих аспектів забезпечує можливість науково обґрунтованого управління ландшафтами з підвищеним техногенним

навантаженням та сприяє формуванню стійких моделей розвитку промислових регіонів [38].

### 1.9 Світовий досвід реорганізації промислових зон

Світовий досвід реорганізації промислових зон демонструє багатогранність підходів до трансформації застарілих виробничих територій та їх інтеграції у сучасну міську структуру. У більшості розвинених країн цей процес розглядається як важливий інструмент сталого міського розвитку, спрямований на зниження екологічного навантаження, оптимізацію використання територій та підвищення соціально-економічної привабливості міст. У дослідженнях підкреслюється, що реорганізація промислових зон дає змогу відновити занедбані міські простори, інтегрувати їх у сучасні функціональні системи та сформувати умови для розвитку інноваційних кластерів, креативних індустрій і нових форм громадського простору.

Перші масштабні програми реновації промислових територій були реалізовані у 1970–1980-х роках у країнах Західної Європи, Великобританії та США. Масове згорання промислового виробництва в цих регіонах супроводжувалося виникненням депресивних міських зон, які потребували комплексного планування, екологічної санації та нового функціонального наповнення. У цей період сформувалися концепції «економіки міста знань» та «конкурентоспроможності міських регіонів», які розглядали постіндустріальні території як потенційні осередки інновацій та культурного розвитку. Відповідно, у Лондоні, Манчестері, Гамбурзі та Піттсбурзі промислові об'єкти були трансформовані у технологічні парки, культурні центри, бізнес-кластери, рекреаційні зони та житлові квартали, що поєднували сучасні архітектурні рішення зі збереженням історичної спадщини [39].

Однією з ключових особливостей міжнародного досвіду є збереження архітектурної цінності промислових об'єктів і їх адаптивне використання. Зокрема, у Європі активно розвивається практика ревіталізації промислової спадщини з перетворенням заводських корпусів на виставкові центри, музеї, готельні комплекси чи багатофункціональні громадські простори. Прикладами є реконструкція електростанції Battersea в Лондоні, перетворення колишніх виробничих споруд у Корнінгу (США) на музей скла, а також численні об'єкти індустриальної спадщини в Чехії, Латвії та Франції, де старі промислові комплекси стали місцями культурного та туристичного тяжіння.

Подібні проєкти зберігають історико-архітектурні елементи, водночас поєднуючи їх з інноваційними технологіями, енергоефективними рішеннями та сучасною інфраструктурою.

Світовий досвід також свідчить про зростаюче значення екологічних стандартів і засад сталого розвитку у процесах реновації. Більшість постіндустріальних територій характеризується техногенним забрудненням, що потребує комплексної рекультивациі ґрунтів, очищення вод, демонтажу застарілих інженерних мереж і впровадження екологічно безпечних технологій. Країни Європейського Союзу активно застосовують стандарти урбаністичного «зеленого» планування, орієнтовані на зменшення викидів, розвиток кругової економіки, використання відновлюваної енергії та підвищення енергоефективності будівель. Такі підходи узгоджуються з концепцією екоміста, яка передбачає створення самодостатніх, екологічно стабільних і технологічно привабливих міських систем.

Успішні моделі реновації передбачають активну участь місцевих громад, муніципалітетів та приватних інвесторів, що забезпечує гармонізація соціальних, економічних та екологічних пріоритетів. У багатьох країнах застосовуються партнерські механізми управління, спрямовані на узгодження рішень між державними структурами, бізнесом і мешканцями. Крім того, на Заході широко використовуються фінансові інструменти стимулювання реновації, зокрема

податкові пільги, гранти, субсидії на екологічну санацію територій та підтримку малого бізнесу, який розміщується у відновлених промислових об'єктах.

Значний світовий досвід свідчить про те, що реновація промислових зон здатна радикально змінити просторову структуру міста, підвищити його глобальну конкурентоспроможність і забезпечити передумови для розвитку інноваційних галузей промисловості. У більшості успішних практик особливу увагу приділяють формуванню мультифункціональних просторів, що поєднують виробничі, освітні, науково-дослідні, культурні та рекреаційні функції. У результаті постіндустріальні території перетворюються на сучасні урбаністичні центри, які сприяють економічному зростанню, соціальній інтеграції та поліпшенню екологічної ситуації.

Міжнародний досвід реновації промислових територій засвідчує необхідність комплексного підходу, що охоплює екологічну реабілітацію, модернізацію інфраструктури, збереження культурної спадщини, соціальну участь та впровадження інноваційних технологій. Застосування таких підходів є особливо важливим для українських міст, де велика частина промислової забудови втратила свою функцію і потребує переосмислення відповідно до сучасних стандартів сталого міського розвитку [40].

## 2 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА І ҐРУНТОВА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Характеристика ВАТ «Дніпрошина»

ВАТ «Дніпрошина» є одним із найвідоміших промислових підприємств м. Дніпро, яке протягом десятиліть становило значний сектор у структурі вітчизняної гумовотехнічної та шинної промисловості. Підприємство було створене у середині ХХ століття та спеціалізувалося на виробництві шин для різних типів транспортних засобів, включно з легковими та вантажними автомобілями, сільськогосподарською технікою та спеціалізованими машинами. Завдяки масштабним потужностям і вигідному територіальному розташуванню «Дніпрошина» тривалий час виконувала стратегічну роль у забезпеченні шинною продукцією не лише України, але й низки країн СНД [41].

На рисунку 2.1 зображено територію ВАТ «Дніпрошина».

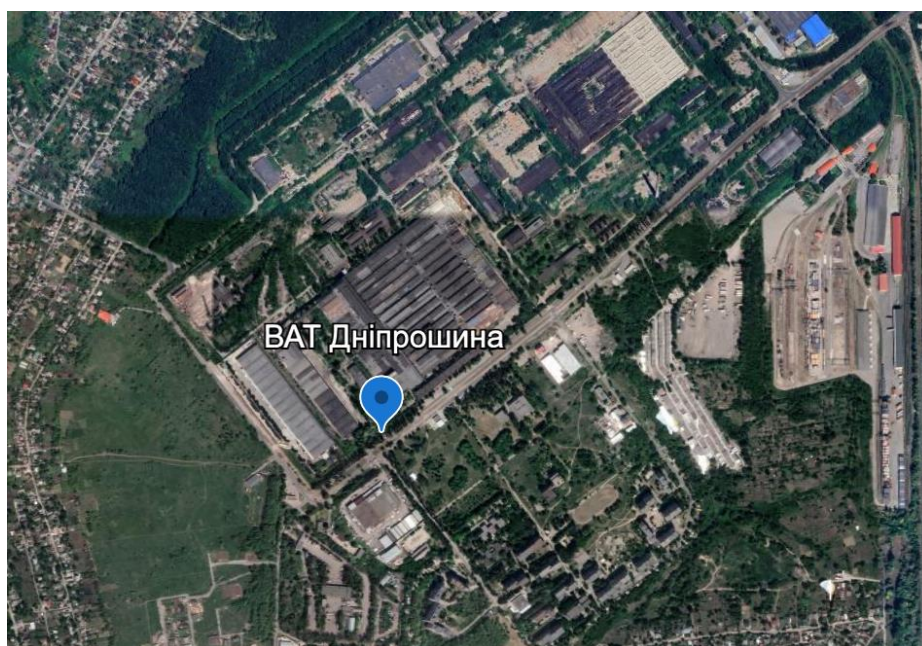


Рисунок 2.1 - Територія ВАТ «Дніпрошина»

Виробничий цикл підприємства передбачав використання широкого спектра хімічних речовин, зокрема синтетичних каучуків, технічного вуглецю, сірки, прискорювачів вулканізації, пластифікаторів та інших компонентів, властивих шинній промисловості. Технологічні процеси формування, вулканізації та обробки гумових сумішей супроводжувалися утворенням промислових викидів і відходів, які потребують особливих умов зберігання та утилізації. У період активної експлуатації підприємство формувало істотне техногенне впливання на суміжні території, що зумовлювало поступове накопичення забруднювачів у ґрунті, повітрі та промислового пилу [42].

Тривала діяльність «Дніпрошини» призвела до утворення локальних осередків забруднення, характерних для підприємств гумо- та шиновиробництва. Найбільш поширеними компонентами техногенного навантаження були важкі метали (цинк, кадмій, свинець), продукти термічного розкладу гумових матеріалів, поліциклічні ароматичні вуглеводні та леткі органічні речовини, що можуть накопичуватися у верхніх горизонтах ґрунту. Діяльність підприємства також сприяла утворенню значної кількості дрібнодисперсного пилу гумового походження, який здатний переноситися вітром на значні відстані та взаємодіяти з ґрунтовим субстратом. Саме пилові викиди шинних виробництв часто слугують ключовим джерелом забруднення у постіндустріальних зонах, де функціонували подібні підприємства.

Після тривалого періоду економічних труднощів виробнича активність ВАТ «Дніпрошина» поступово скорочувалася, а частина промислових площ була виведена з експлуатації. Закриття окремих виробничих цехів супроводжувалося зниженням контролю над екологічним станом території та накопиченням слідів техногенного впливу у ґрунтах. У результаті територія заводу на сьогодні має ознаки промислової деградації, включно з фрагментами забруднених ґрунтів, відкритими майданчиками накопичення відходів минулого виробництва та залишками інфраструктурних об'єктів.

З екологічної точки зору територія ВАТ «Дніпрошина» становить підвищений інтерес для дослідження, оскільки забруднення, пов'язані з гумовою

промисловістю, є потенційно небезпечними для розвитку технопарків, рекреаційних зон чи інших форм вторинного використання постіндустріальних земель.

Сучасний стан промислової території ВАТ «Дніпрошина» визначається як екологічно напружений та такий, що вимагає інтегрованого підходу до рекультивації та реновації. Ураховуючи значний техногенний спадок, пов'язаний із тривалим виробництвом шинної продукції, використання цієї території для розміщення технопарку або інших інноваційних об'єктів можливе лише після ретельної екологічної реабілітації та усунення осередків забруднення. Екотоксикологічна оцінка ґрунтів відіграє ключову роль у визначенні перспектив подальшого використання цієї ділянки та формуванні стратегії її безпечної трансформації у склад сучасної міської інфраструктури [43].

## 2.2 Характеристика Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп»

Нижньодніпровський трубопрокатний завод НТЗ «Інтерпайп» є одним із найбільших металургійних підприємств Дніпропетровського регіону та важливим елементом індустріальної інфраструктури міста Дніпро. Підприємство має багаторічну історію та спеціалізується на виробництві широкого спектра трубної продукції, включаючи електрозварні, безшовні, великодіаметрові труби, а також металопрокат, що використовується у машинобудуванні, будівництві, нафтогазовидобувній галузі й енергетичному секторі. Діяльність заводу тривалий час формувала локальний промисловий кластер, а його потужності забезпечували значний обсяг експорту металопродукції [44].

Територія НТЗ «Інтерпайп» характеризується складною структурою виробничих майданчиків, які включають прокатні цехи, допоміжні технологічні

дільниці, склади металобрухту, транспортно-логістичні зони та технічну інфраструктуру. Як і більшість металургійних підприємств, завод функціонував упродовж десятиліть із використанням технологічних процесів, що супроводжувалися інтенсивним техногенним впливом на довкілля. Серед основних чинників забруднення характерними для трубопрокатного виробництва є металевий пил, оксиди важких металів, промислові аерозолі, нафтопродукти, мастильно-охолоджувальні рідини та продукти їх розкладу. Значну увагу привертають і відходи допоміжних процесів, таких як очищення металу, термічна обробка, змащення та охолодження металевих заготовок.

На рисунку 2.2 зображено територію промислового комплексу Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп».

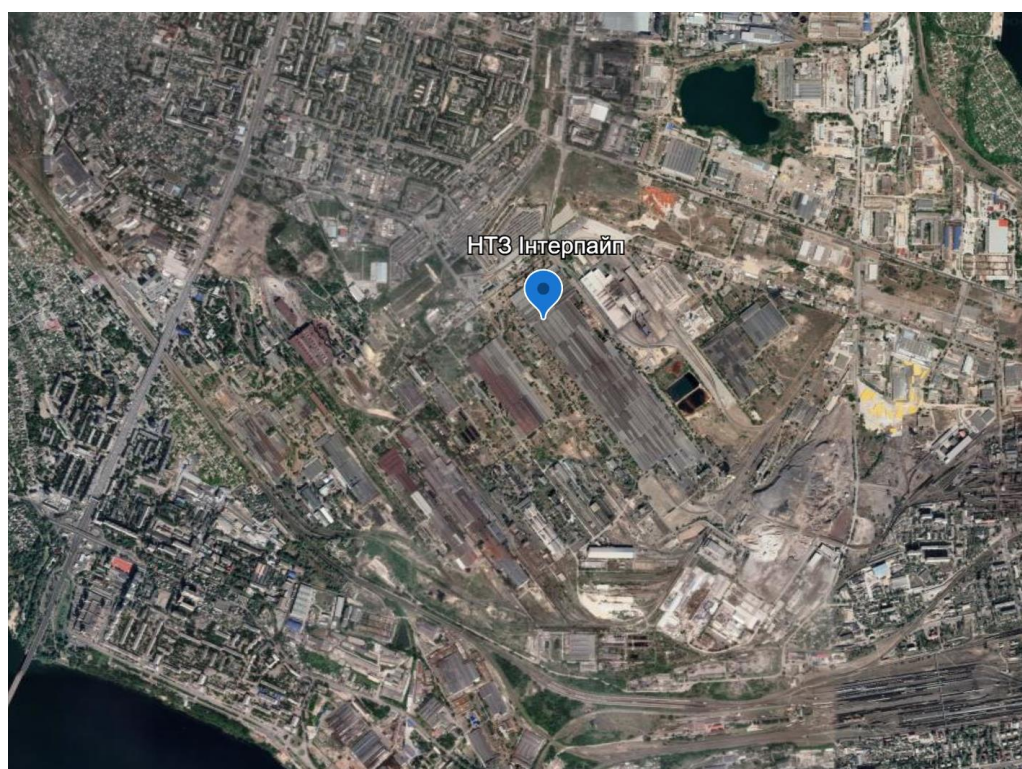


Рисунок 2.2 - Територія промислового комплексу Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп»

За останні роки підприємство зазнало суттєвої трансформації, пов'язаної з модернізацією технологічних процесів та переходом частини виробництва на нові технічні стандарти. У результаті цього частина території заводу була виведена з активного промислового використання, а ґрунтовий покрив на окремих ділянках зазнав змін унаслідок переміщення, рекультивациі або

видалення верхнього техногенного шару. Саме цей аспект є принципово важливим для екотоксикологічної оцінки, оскільки вивезення ґрунту з території зменшує рівень історичного забруднення та сприяє формуванню більш сприятливих умов для подальшого потенційного використання земель [45].

Територія, що розглядається у дослідженні, охоплює п'ять точок відбору зразків ґрунту, розташованих у безпосередній близькості до промислових корпусів та допоміжних майданчиків заводу. Просторова організація цих ділянок свідчить про неоднорідність техногенного впливу: найбільш забрудненими є зони, наближені до місць зберігання металобрухту, промислових майданчиків і транспортних шляхів, тоді як периферійні ділянки демонструють нижчий рівень забруднення через часткову рекультивацію території. В рамках дослідження особлива увага була зосереджена на аналізі ґрунтів, які зазнали переміщення під час санування промислової інфраструктури, оскільки такі процеси суттєво змінюють показники екологічної безпеки.

Екотоксикологічний потенціал території НТЗ «Інтерпайп» відрізняється від типових металургійних зон завдяки активним процесам технічної модернізації та демонтажу окремих старих цехів. На відміну від більшості занедбаних промислових майданчиків, ця територія має тенденцію до поступового очищення, що підтверджується зменшенням рівня токсичності ґрунтів за результатами біотестування. Хоча частина зразків демонструє підвищений вміст техногенних компонентів, їх загальний токсикологічний статус є помірним порівняно зі значно більш забрудненими територіями гумової промисловості.

Саме ці особливості роблять територію НТЗ «Інтерпайп» потенційно перспективною для створення технопарку чи іншого інноваційного комплексу. Вивезення контамінованих ґрунтів, часткова рекультивація, наявність зручної транспортної інфраструктури та промислових площ із мінімізованим техногенним навантаженням створюють передумови для трансформації цієї ділянки у сучасний технопростір. Водночас екологічна безпека такого проєкту потребує додаткової оцінки, включно з дослідженням залишкового забруднення,

потенційної міграції важких металів та оцінки ризиків для відвідувачів і персоналу [46].

Територія Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп» характеризується складною історією техногенного впливу, але водночас демонструє значний потенціал для екологічно безпечної реновації. Сучасні тенденції очищення та перебудови виробничих площ створюють підґрунтя для подальшого використання земель у межах концепції сталого розвитку міста Дніпро, що робить цю промислову зону одним із найперспективніших об'єктів для формування технопарку.

### 2.3 Ґрунтові умови територій дослідження

Ґрунтові умови територій дослідження, розташованих у межах промислових зон ВАТ «Дніпрошина» та Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп», формувалися під впливом тривалих техногенних процесів, що суттєво змінили природні характеристики ґрунтового покриву. Обидві промислові ділянки розташовані в межах лісостепової зони Придніпровського регіону, де за природних умов ґрунтоутворення домінують чорноземи звичайні та чорноземи техногенно-перетворені. Однак багаторічна діяльність промислових підприємств зумовила значну трансформацію ґрунтового профілю, що проявляється у зміні гранулометричного складу, накопиченні важких металів і техногенного пилу, утворенні антропогенних нашарувань та деградації біологічної активності ґрунту [47].

На території ВАТ «Дніпрошина» ґрунтовий покрив представлений переважно техноземами та урбаноземами, що сформувалися внаслідок тривалого функціонування шинного виробництва. Характерною рисою цих ґрунтів є наявність техногенної «надбудови» — шару гумового пилу, фрагментів пластифікованих матеріалів, органічних полімерів та продуктів термічної

деструкції каучуків. Ці матеріали здатні змінювати фізичні властивості ґрунту, знижуючи його водопроникність, погіршуючи аерацію та сприяючи формуванню ущільненого поверхневого горизонту. Внаслідок цього ґрунти характеризуються підвищеною щільністю, слабким розвитком структурних агрегатів, зменшенням кількості порового простору та значним порушенням природних процесів ґрунтоутворення [48].

Хімічні властивості ґрунтів на території шинного заводу також зазнали суттєвих змін. Накопичення важких металів (цинк, свинець, кадмій) є типовим для гумової промисловості та часто перевищує фонові показники. Присутність поліциклічних ароматичних вуглеводнів і залишків пластифікаторів може впливати на кислотність ґрунту, змінюючи його реакцію в бік слабокислої або нейтральної. Біологічна активність ґрунтів суттєво пригнічена, що підтверджується низькими показниками активності азотфіксувальних мікроорганізмів та різким зниженням ферментативної активності. Це вказує на значну ступінь техногенної деградації ґрунтового покриву і необхідність його санації перед можливим повторним використанням території.

На території Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп» ґрунтові умови мають інший характер, зумовлений специфікою металургійного виробництва. Ґрунти цієї промислової зони змінилися переважно під впливом металевого пилу, оксидів заліза та важких металів, мастильно-охолоджувальних рідин і продуктів їх розкладу. Формування техногенного поверхневого горизонту тут пов'язане з накопиченням металевих частинок різної дисперсності, які сприяють зміні гранулометричного складу ґрунту. У місцях інтенсивного навантаження ґрунт набуває властивостей, характерних для промислових техноземів, а просторове розподілення забруднювачів має неоднорідний характер [49].

Характерною особливістю ґрунтів НДТЗ є те, що частина території зазнала штучної реконфігурації: переміщення ґрунтової маси, відсипання нових шарів або часткове вивезення верхнього техногенного горизонту в процесі модернізації та демонтажу застарілих технологічних ліній. Це суттєво вплинуло

на екологічний стан ґрунту, зменшивши рівень токсичності окремих ділянок. У таких зонах ґрунтовий покрив частково відтворює природні властивості з потенційною можливістю подальшої рекультивації. Однак на інших полігонах заводу зберігаються сліди металургійного забруднення — збагачення оксидами заліза, підвищений вміст марганцю, нікелю чи хрому, а також наявність мастильних залишків у ґрунтовій матриці.

Біологічні показники ґрунтів території НДТЗ також зазнали змін, проте вони демонструють вищу відновлюваність у порівнянні з ґрунтами «Дніпрошини». Біотестування із застосуванням крес-салату підтверджує наявність помірної токсичності, що є типовим для промислових майданчиків металургійного профілю. У той же час у зонах зі зниженим техногенним навантаженням або штучно оновленим ґрунтом спостерігається покращення ростових показників тест-культури, що свідчить про часткове відновлення родючості та зменшення техногенного впливу.

Ґрунтові умови обох промислових територій характеризуються значною техногенною трансформацією, однак ступінь деградації та екологічної небезпеки різняться залежно від профілю виробництва. Територія ВАТ «Дніпрошина» має більш виражене та хронічне забруднення, зумовлене специфікою шинної промисловості, тоді як ґрунти НДТЗ «Інтерпайп» демонструють більшу потенційну здатність до відновлення, що пов'язано з проведенням технічної санації та частковим переміщенням ґрунтових мас. Оцінка цих ґрунтових умов є ключовою для визначення безпечності подальшого використання територій, зокрема щодо створення технопарків чи інших об'єктів із тривалим перебуванням людей [50].

## 2.4 Методика проведення досліджень

Методичний підхід до екотоксикологічної оцінки ґрунтів промислових зон ВАТ «Дніпрошина» та Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп» ґрунтувався на поєднанні лабораторних, біотестових та мікробіологічних методів аналізу. Комплекс застосованих методик дозволив визначити сумарну залишкову токсичність ґрунтів, оцінити їх фітотоксичні властивості та встановити реакцію мікробіоти на техногенне навантаження [51].

Відбір ґрунтових проб проводили згідно з вимогами ДСТУ 4287:2004 «Якість ґрунту. Відбір проб», який встановлює правила формування об'єднаних зразків, глибини відбору та попередньої підготовки проб до досліджень. Для кожної промислової зони було визначено дві точки спостереження: дослідна — безпосередньо поблизу виробничих майданчиків, та контрольна — в межах прилеглих житлових кварталів, що характеризуються умовно фоновим рівнем техногенного впливу. Проби відбирали з верхнього горизонту (0–20 см), оскільки саме він зазнає найбільшого антропогенного навантаження і є найбільш інформативним для біотестування.

Підготовку ґрунту до лабораторних досліджень здійснювали відповідно до ДСТУ ISO 11464:2007 «Якість ґрунту. Попередня підготовка проб», що передбачає висушування проб до повітряно-сухого стану, видалення грубих включень та просівання через сито з діаметром комірок 2 мм. Отриманий підготовлений ґрунт використовували для фітотестування та визначення показників залишкової токсичності [52].

Біотестування сумарної токсичності проводили методом пророщування насіння крес-салату (*Lepidium sativum* L.) як високочутливої культури-індикатора. Методика базувалася на підходах, викладених у стандарті ДСТУ ISO 11269-1:2001 «Якість ґрунту. Визначення впливу забруднювачів на рослини.

Частина 1. Метод визначення інгібування проростання і росту». Насіння рівномірно висівали в кювети з досліджуваними ґрунтами, підтримуючи оптимальні умови вологості та освітлення. Експозиція становила 72 години, після чого вимірювали довжину коренів і пагонів, визначали енергію проростання та відсоток схожості. Отримані результати порівнювали з контрольними значеннями та визначали фітотоксичний ефект за ступенем інгібування ростових процесів [53].

Для встановлення реакції ґрунтової мікробіоти проводили оцінку стійкості азотфіксувальних бактерій роду *Azotobacter* до дії важких металів. Мікробіологічні дослідження здійснювали згідно з вимогами ДСТУ ISO 10381-6:2004 / ДСТУ ISO 10381-6:2005 «Якість ґрунту. Відбір проб. Частина 6. Настанови щодо відбору проб для мікробіологічного аналізу». Для виділення азотобактера застосовували середовище Ешбі, на яке висівали ґрунтові суспензії, приготовлені шляхом багаторазового розведення. Після інкубації оцінювали кількість колоній та морфологічні особливості культур, порівнюючи показники дослідних і контрольних зразків [54].

Оцінку сумарної залишкової токсичності ґрунтів проводили за методикою інтегрального екотоксикологічного показника, який базується на поєднанні результатів фітотестування та мікробіологічного аналізу. Такий підхід дозволяє визначити токсичний ефект комплексної дії забруднювальних речовин незалежно від їх хімічної природи та індивідуальних концентрацій. Сумарну токсичність інтерпретували за шкалою, адаптованою відповідно до екотоксикологічних критеріїв оцінки стану техногенно порушених територій.

Усі лабораторні дослідження проводили в умовах контрольованої вологості, температури та освітленості з дотриманням вимог ДСТУ ISO 10381-8:2007 «Якість ґрунту. Відбір проб. Частина 8. Настанови щодо відбору проб для визначення аеробних мікроорганізмів», що гарантує відтворюваність результатів і мінімізацію впливу сторонніх чинників. Статистичну обробку даних виконували відповідно до стандартних методів варіаційного аналізу з визначенням середніх значень, похибок та коефіцієнтів варіації [55].

Застосований комплекс стандартизованих методик дозволив не лише отримати кількісну оцінку техногенного навантаження на ґрунти промислових зон, але й встановити їх фактичний екотоксикологічний стан, що є необхідною умовою для визначення перспектив подальшого використання досліджуваних територій, зокрема для розміщення технопарків чи інших інноваційних об'єктів.

### 3 РЕЗУЛЬТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

#### 3.1 Біотестування ґрунтів промислових зон

Для оцінки фітотоксичних властивостей ґрунтів промислових зон міста Дніпро було проведено біотестування із використанням тест-культури *Lepidium sativum*. Основними показниками слугували енергія проростання, загальна схожість насіння та інтенсивність росту проростків, які дозволяють комплексно оцінити рівень екотоксикологічного навантаження ґрунтового середовища.

У таблиці 3.1 наведено дані про результати біотестування ґрунтів за показниками енергії проростання та схожості культури *Lepidium sativum*.

Таблиця 3.1 - Результати біотестування ґрунтів за показниками енергії проростання та схожості культури *Lepidium sativum*.

Показник	Нижньодніпровський трубопрокатний завод «Інтерпайп»		ВАТ «Дніпрошина»	
	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід
Нормально пророслі насінини у строк обліку енергії проростання	48	39	59	76
Нормально пророслі насінини у строк обліку схожості	48	74	70	86

Встановлено, що показники енергії проростання та загальної схожості *Lepidium sativum* суттєво змінюються залежно від походження ґрунтових зразків

та рівня їх техногенного забруднення. Для території Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп» у контрольній точці частка нормально пророслих насінин у строк обліку енергії проростання становила 48 %, тоді як у дослідному варіанті цей показник знизився до 39 %. Таке зменшення свідчить про пригнічення початкових ростових процесів у тест-культури під впливом ґрунтів промислової зони.

Водночас у строк обліку схожості для ґрунтів НТЗ «Інтерпайп» спостерігається протилежна тенденція: у контрольному варіанті кількість нормально пророслих насінин становила 48 %, тоді як у дослідному — зросла до 74 %. Це може вказувати на уповільнений, але все ж можливий розвиток частини насіння за рахунок адаптаційних механізмів рослин до змінених умов середовища.

Для ґрунтів території ВАТ «Дніпрошина» отримано інший характер змін. У контрольному варіанті енергія проростання становила 59 %, тоді як у досліді вона зросла до 76 %. Аналогічна тенденція простежується і за показником схожості: у контролі вона дорівнювала 70 %, а в дослідному варіанті — 86 %. На перший погляд, це може свідчити про відсутність вираженого токсичного ефекту на ранніх етапах росту. Однак подальші показники розвитку проростків (довжина кореня, гіпокотилля, біологічна активність ґрунтів) свідчать, що стимулювання проростання не виключає наявності латентної токсичної дії, характерної для забруднених ґрунтів шинного виробництва.

Отримані результати свідчать, що ґрунти обох промислових зон мають змінений біологічний потенціал, який по-різному проявляється на початкових стадіях онтогенезу рослин. Зниження енергії проростання у випадку НТЗ «Інтерпайп» вказує на більш виражений стартовий токсичний ефект, тоді як підвищені показники для ВАТ «Дніпрошина» можуть бути наслідком компенсаторної реакції насіння, що не виключає подальшого пригнічення ростових процесів.

У таблиці 3.2 наведено дані про загальну кількість пророслих насінин у досліді.

Таблиця 3.2 - Загальна кількість пророслих насінин у дослідях

Показник	Нижньодніпровський трубопрокатний завод «Інтерпайп»		ВАТ «Дніпрошина»	
	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід
Загальна кількість пророслих насінин	48	94	70	92

Наведені результати відображають загальну кількість пророслих насінин культури *Lepidium sativum* у контрольних та дослідних зразках ґрунтів, відібраних на територіях Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп» та ВАТ «Дніпрошина». Отримані дані свідчать про суттєві відмінності у загальній здатності насіння до проростання залежно від умов середовища.

Для території НТЗ «Інтерпайп» у контрольному варіанті загальна кількість пророслих насінин становила 48 %, тоді як у дослідному зразку цей показник зріс до 94 %. Таким чином, у ґрунтах, відібраних безпосередньо поблизу підприємства, зафіксовано майже дворазове збільшення загальної кількості пророслих насінин. Це може свідчити про наявність у ґрунті факторів, які стимулюють проростання на пізніших етапах, зокрема змінених фізико-хімічних властивостей або підвищеного вмісту доступних мінеральних елементів, що перебивають первинний токсичний ефект.

Для ґрунтів території ВАТ «Дніпрошина» у контрольному варіанті кількість пророслих насінин становила 70 %, а у дослідному — 92 %. Отримані результати також свідчать про підвищення загальної схожості насіння в умовах забруднених ґрунтів. Різниця між контрольним і дослідним варіантами становить 22 %, що вказує на зміну біологічних властивостей ґрунту внаслідок техногенного впливу.

У таблиці 3.3 наведено дані про вплив ґрунтів Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп» на інтенсивність росту проростків *Lepidium sativum*.

Таблиця 3.3 - Вплив ґрунтів Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп» на інтенсивність росту проростків *Lepidium sativum*.

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Гіпокотиль	Корінь	Гіпокотиль
Кількість проростків (n)	40	40	88	88
Середня довжина, мм	25,5	31,4	66,6	36,9
Сума квадратів	108,23	70,25	1000,25	224,34
Стандартне відхилення	1,665	1,342	3,391	1,605
Імовірність	1,728	0,114	1,728	0,114

У контрольному варіанті кількість проростків становила 40 шт. як для кореня, так і для гіпокотіля. Середня довжина кореня в контролі дорівнювала 25,5 мм, тоді як середня довжина гіпокотіля — 31,4 мм. Отримані значення свідчать про нормальний перебіг ростових процесів за умов відсутності прямого техногенного навантаження.

У дослідному варіанті кількість проростків зростає до 88 шт., що вказує на високу загальну схожість насіння у ґрунтах промислової території. Середня довжина кореня при цьому становила 66,6 мм, а гіпокотіля — 36,9 мм. Порівняно з контролем, довжина кореня у досліді збільшилась у 2,6 раза, тоді як приріст довжини гіпокотіля був менш вираженим і становив близько 1,2 раза.

Збільшення довжини кореневої системи в дослідному варіанті може свідчити про активізацію ростових процесів у відповідь на змінені умови середовища та можливу компенсаторну реакцію рослин на дію стресових факторів. У той же час відносно незначне зростання довжини гіпокотіля може вказувати на вибіркочу дію ґрунтових факторів саме на підземні органи рослин, які першими контактують із забрудненим субстратом.

Показники стандартного відхилення у досліді для кореня (3,391) і гіпокотиля (1,605) перевищують відповідні контрольні значення (1,665 та 1,342), що свідчить про більшу варіабельність ростових процесів у ґрунтах промислової території. Це є характерною ознакою дії нестабільних екотоксикологічних факторів, які по-різному впливають на окремі особини.

Значення ймовірності для контрольного та дослідного варіантів є однаковими для відповідних органів (1,728 та 0,114), що підтверджує достовірність отриманих результатів та можливість їх використання для подальшої інтерпретації.

У таблиці 3.4 наведено дані про вплив ґрунтів ВАТ «Дніпрошина» на інтенсивність росту проростків *Lepidium sativum*.

Таблиця 3.4 - Вплив ґрунтів ВАТ «Дніпрошина» на інтенсивність росту проростків *Lepidium sativum*.

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Гіпокотиль	Корінь	Гіпокотиль
Кількість проростків (n)	51	51	91	91
Середня довжина, мм	41,7	5,8	61,7	6,7
Сума квадратів	217,87	7,93	542,46	14,50
Стандартне відхилення	2,070	0,398	2,455	0,401
Ймовірність	1,098	0,199	1,098	0,199

Наведені дані характеризують особливості росту проростків культури *Lepidium sativum* у контрольних і дослідних ґрунтах, відібраних на території ВАТ «Дніпрошина». Результати дослідження дають змогу оцінити вплив ґрунтів шинного виробництва на морфометричні показники кореня та гіпокотиля на ранніх етапах розвитку рослин.

У контрольному варіанті кількість проростків становила 51 шт. як для кореня, так і для гіпокотиля. Середня довжина кореня дорівнювала 41,7 мм, тоді як середня довжина гіпокотиля становила лише 5,8 мм. Таке співвідношення

свідчить про нормальну диференціацію вегетативних органів, але з помітним домінуванням росту кореневої системи над надземною частиною.

У дослідному варіанті кількість проростків зросла до 91 шт., що узгоджується з високими показниками загальної схожості насіння на ґрунтах території підприємства. Середня довжина кореня при цьому збільшилась до 61,7 мм, що у 1,5 раза перевищує контрольне значення. Середня довжина гіпокотилля в досліді становила 6,7 мм, що лише незначно перевищує контрольний показник (у 1,16 раза).

Значне подовження кореня у дослідному варіанті може свідчити про адаптивну реакцію проростків на стресові умови середовища, зумовлені техногенним забрудненням ґрунтів шинного виробництва. Рослини, перебуваючи в умовах підвищеного токсичного навантаження, посилюють ріст кореневої системи з метою пошуку більш сприятливих умов для водо- та мінерального живлення. Водночас слабке збільшення довжини гіпокотилля вказує на можливе пригнічення росту надземних органів.

Показники стандартного відхилення у дослідному варіанті для кореня (2,455) та гіпокотилля (0,401) перевищують відповідні контрольні значення (2,070 та 0,398), що свідчить про зростання варіабельності ростових процесів у забрудненому ґрунтовому середовищі. Це є характерною ознакою дії токсичних факторів, які по-різному впливають на окремі проростки.

Значення ймовірності у контролі та досліді для кореня (1,098) і гіпокотилля (0,199) є однаковими, що підтверджує статистичну зіставність отриманих результатів і можливість їх подальшого використання для екотоксикологічного аналізу.

Таким чином, результати свідчать, що ґрунти території ВАТ «Дніпрошина» чинять суттєвий вплив на інтенсивність росту проростків *Lepidium sativum*, що проявляється у стимуляції росту кореневої системи на фоні відносного пригнічення розвитку гіпокотилля. Така диспропорція є характерною ознакою дії техногенних стресових факторів і підтверджує наявність екотоксикологічного навантаження на ґрунти шинного виробництва.

На рисунку 3.1 зображено дані порівняльної характеристики енергії проростання *Lepidium sativum* на дослідних варіантах

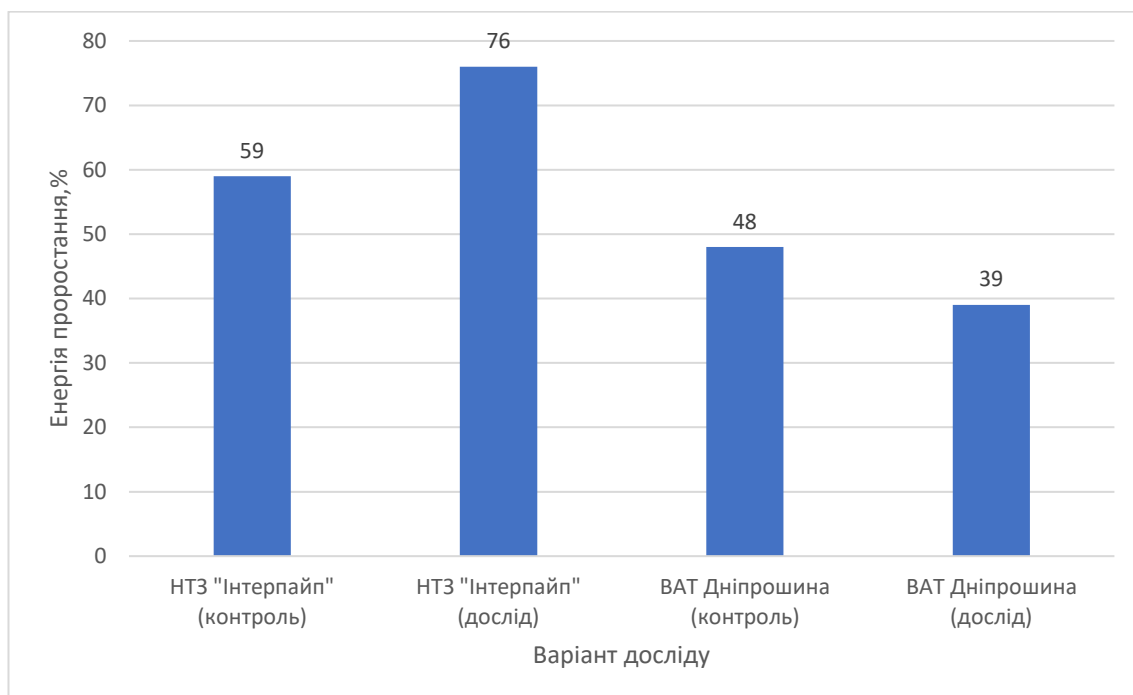


Рисунок 3.1 - Порівняльна характеристика енергії проростання *Lepidium sativum* на дослідних варіантах

Результати дослідження вказують на значні відмінності у фітотоксичних властивостях ґрунтів двох промислових зон міста Дніпро. Згідно з даними графіка 3.1, ґрунти території Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп» характеризуються вищою енергією проростання насіння *Lepidium sativum* порівняно з ґрунтами ВАТ «Дніпрошина» як у контрольному, так і в дослідному варіантах. Підвищення енергії проростання у дослідному варіанті ґрунтів НТЗ «Інтерпайп» порівняно з контролем свідчить про відсутність вираженого фітотоксичного ефекту на початкових етапах онтогенезу рослин та вказує на відносно сприятливі фізико-хімічні властивості ґрунтового середовища, що може бути пов'язано з проведенням робіт із переміщення та часткової заміни ґрунтів на території підприємства. У цьому випадку ґрунти не лише не пригнічують, а й частково стимулюють стартові ростові процеси.

На відміну від цього, для ґрунтів ВАТ «Дніпрошина» зафіксовано зниження енергії проростання у дослідному варіанті порівняно з контрольним, що свідчить про чітко виражений фітотоксичний ефект. Пригнічення енергії проростання є характерною ознакою негативного впливу токсичних сполук, зокрема важких металів, поліциклічних ароматичних вуглеводнів, продуктів зносу гуми та інших компонентів, характерних для шинного виробництва, які здатні порушувати ферментативну активність, клітинний поділ і енергетичний обмін у проростків.

Результати біотестування за показником енергії проростання дозволяють зробити висновок, що ґрунти території НТЗ «Інтерпайп» характеризуються відносно низьким рівнем фітотоксичності та мають більш сприятливі екологічні властивості на початкових етапах розвитку рослин, тоді як ґрунти ВАТ «Дніпрошина» проявляють підвищене екотоксикологічне навантаження, що підтверджується пригніченням енергії проростання тест-культури. З позицій екотоксикологічної оцінки отримані дані свідчать, що територія НТЗ «Інтерпайп» є більш перспективною для подальшого безпечного господарського використання, зокрема для розміщення технопарків, тоді як ґрунти ВАТ «Дніпрошина» потребують проведення додаткових рекультиваційних і ґрунтоочисних заходів перед їх можливим використанням.

### 3.2 Вміст важких металів у ґрунтах

Комплексна оцінка екологічного стану ґрунтів промислових територій передбачає аналіз вмісту токсичних елементів, насамперед важких металів, які є індикаторами техногенного навантаження та характеризуються тривалим збереженням у ґрунтовому профілі. Дослідження концентрацій металів у різних горизонтах ґрунту дозволяє визначити ступінь забруднення, особливості їхнього розподілу та глибину проникнення полютантів, а також оцінити потенційні

екологічні ризики для довкілля та майбутнього використання промислових територій.

У таблиці 3.5 наведено дані про концентрацію важких металів у ґрунтовому покриві НТЗ «Інтерпайп»

Таблиця 3.5 - Концентрація важких металів у ґрунтовому покриві НТЗ «Інтерпайп»

№	Глибина	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Cu	Mn	Fe
1	10 см	0,32	2,17	2,85	1,02	7,80	2,32	6,86	175,63
2	15 см	0,33	2,20	2,57	1,10	10,21	2,42	7,86	182,58
3	20 см	0,33	2,94	2,69	1,19	6,68	2,35	7,08	175,50
4	25 см	0,30	2,21	2,58	1,13	13,56	2,14	6,20	123,52
5	30 см	0,33	2,21	2,83	1,37	11,84	2,65	8,04	168,78

Отримані дані відображають концентрацію важких металів у ґрунтовому покриві НТЗ «Інтерпайп» на глибинах від 10 до 30 см. Загалом концентрації металів залишаються відносно стабільними по всьому профілю, що свідчить про рівномірний техногенний вплив на територію.

Вміст кадмію практично не змінюється (0,30–0,33 мг/кг), що вказує на його слабку міграційну здатність у цих ґрунтах. Концентрації свинцю також стабільні (2,17–2,94 мг/кг), лише з невеликим підвищенням на глибині 20 см. Нікель і мідь демонструють незначні коливання, характерні для ґрунтів металургійних зон. Кобальт має тенденцію до поступового зростання з глибиною, що може бути пов'язано з його фіксацією у більш щільних горизонтах ґрунту.

Найбільшу варіабельність показує хром: його концентрації коливаються від 6,68 до 13,56 мг/кг, з максимумом на глибині 25 см, що може свідчити про локальну акумуляцію техногенного походження. Вміст мангану та заліза є найвищим серед досліджених елементів, що відповідає їх природній поширеності та можливому надходженню з виробничого пилу. Fe має максимум

у шарі 15 см (182,58 мг/кг), що характерно для ґрунтів, які зазнають поверхневого осідання металевих часток.

У цілому отримані результати підтверджують наявність техногенного забруднення та рівномірний розподіл металів у ґрунтового профілі, характерний для промислових територій з тривалим впливом металургійного виробництва.

У таблиці 3.6 наведено дані про вміст важких металів у ґрунтах ВАТ «Дніпрошина»

Таблиця 3.6 - Вміст важких металів у ґрунтах ВАТ «Дніпрошина»

№	Глибина	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Cu	Mn	Fe
1	30 см	0,57	3,20	4,10	1,90	21,40	3,85	48,30	210,5
2	15 см	0,48	3,05	4,68	1,75	19,70	4,47	72,97	225,4
3	10 см	0,52	3,37	3,91	1,81	22,73	5,68	60,52	198,6
4	5 см	0,46	3,45	3,60	1,93	20,52	4,16	74,15	236,0

Дані відображають концентрації важких металів у ґрунтах ВАТ «Дніпрошина» на різних глибинах від 5 до 30 см. Загальна картина свідчить про значно вищий рівень техногенного забруднення порівняно з територією НТЗ «Інтерпайп», що узгоджується з історичним профілем підприємства, яке працювало з токсичними компонентами шинного виробництва.

Кадмій демонструє концентрації в межах 0,46–0,57 мг/кг і є вищим, ніж у ґрунтах НТЗ «Інтерпайп», що свідчить про виражений техногенний вплив. Вміст свинцю також стабільно підвищений (3,05–3,45 мг/кг), із найбільшим значенням у верхньому шарі 5 см, що характерно для поверхневого забруднення, пов'язаного з атмосферними викидами та пиловими осіданнями.

Нікель має найвищі концентрації у верхніх горизонтах (до 4,68 мг/кг на 15 см), а кобальт коливається у межах 1,75–1,93 мг/кг без чіткої тенденції до зростання чи зменшення. Хром демонструє високі значення (19,70–22,73 мг/кг), з піком у шарі 10 см, що свідчить про тривале накопичення цього металу у ґрунтах шинного виробництва. Мідь у ґрунтах «Дніпрошини» перевищує

показники «Інтерпайпу» майже вдвічі (3,85–5,68 мг/кг), що узгоджується з характером хімічних сполук, які використовувалися у виробничому циклі.

Манган має різко підвищені концентрації, особливо у верхніх шарах ґрунту (до 74,15 мг/кг), що свідчить про його активне надходження з промислового пилу та техногенних відходів. Вміст заліза залишається найвищим серед усіх металів (198,6–236,0 мг/кг), із зростанням у напрямку до поверхні, що є типовим для зон з інтенсивним пиловим забрудненням.

У цілому результати вказують на виражений техногенний характер забруднення ґрунтів ВАТ «Дніпрошина», з максимальними концентраціями більшості металів у верхніх шарах, що свідчить про поверхневе осідання поллютантів та тривале антропогенне навантаження.

На рисунку 3.2 наведено дані про середній вміст важких металів у ґрунтах промислової території НТЗ «Інтерпайп».

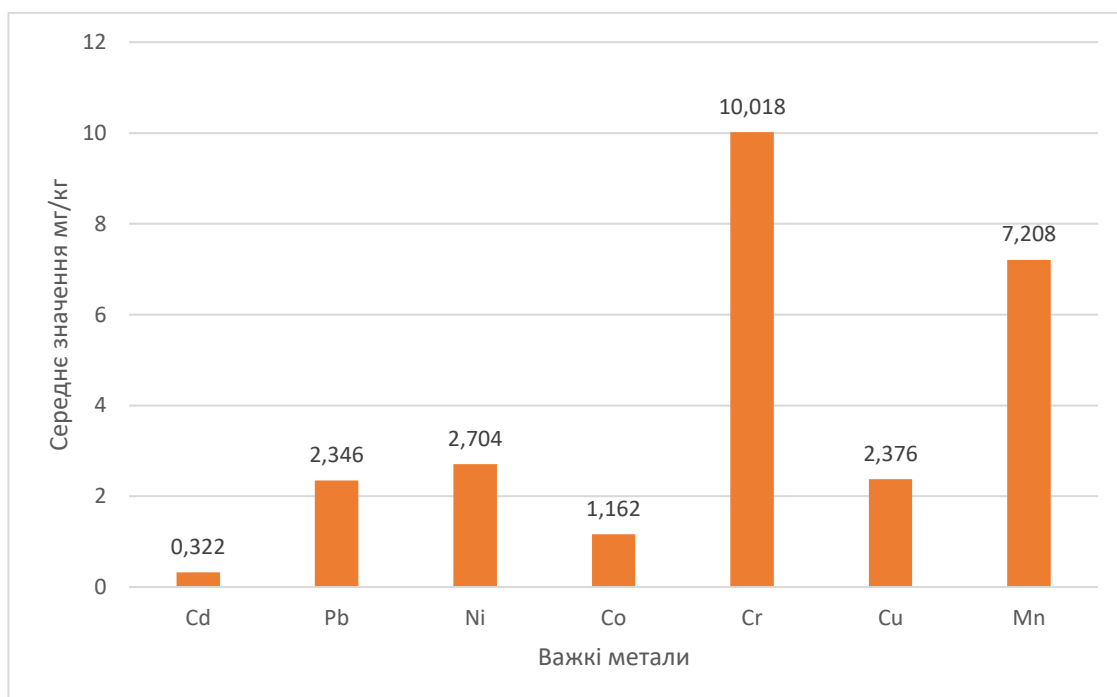


Рисунок 3.2 - Середній вміст важких металів у ґрунтах промислової території НТЗ «Інтерпайп».

Графік демонструє нерівномірний розподіл елементів, характерний для техногенно навантажених зон металургійного виробництва. Найнижчі середні значення спостерігаються для кадмію (Cd) — 0,322 мг/кг, що відповідає його мінімальній присутності у ґрунтового профілі. Дещо вищі концентрації мають

свинець (Pb — 2,346 мг/кг), нікель (Ni — 2,704 мг/кг), кобальт (Co — 1,162 мг/кг) та мідь (Cu — 2,376 мг/кг), що є типовим для зон металургійного пилового забруднення.

Найбільш інтенсивно у ґрунтах накопичуються хром і манган. Значення Cr становить 10,018 мг/кг, що робить його найбільш представленим токсичним металом серед досліджених. Це може свідчити про наявність джерел хромовмісних відходів або осідання виробничого пилю, характерного для сталеплавильних процесів. Вміст мангану (Mn — 7,208 мг/кг) також є високим, що відповідає специфіці металургійної промисловості та широкому застосуванню сплавів на основі Mn.

Таким чином, графік наочно демонструє, що для ґрунтів НТЗ «Інтерпайп» характерні підвищені рівні Cr та Mn, тоді як концентрації Cd, Pb, Ni, Cu та Co є відносно невисокими, але все ж свідчать про техногенне походження забруднення. Отримані результати підтверджують наявність стійкого впливу металургійних процесів на якість ґрунтів досліджуваної території.

На рисунку 3.3 наведено дані про середній вміст важких металів у ґрунтах промислової території ВАТ «Дніпрошина».

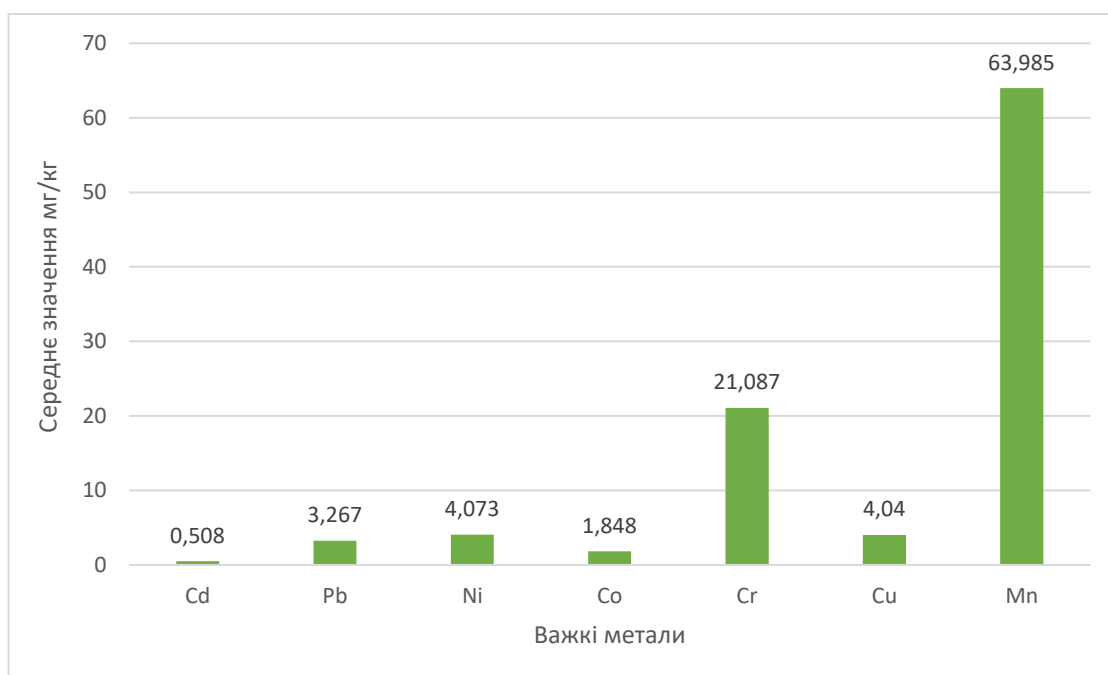


Рисунок 3.3 - Середній вміст важких металів у ґрунтах промислової території ВАТ «Дніпрошина».

Графік демонструє високий рівень техногенного навантаження та значні коливання між окремими елементами, що відображає специфіку хімічних процесів, характерних для шинного виробництва.

Найнижчі значення мають кадмій (0,508 мг/кг) та кобальт (1,848 мг/кг), проте навіть ці концентрації є вищими за аналогічні показники для території НТЗ «Інтерпайп». Середні рівні свинцю (3,267 мг/кг), нікелю (4,073 мг/кг) та міді (4,04 мг/кг) свідчать про стійке забруднення поверхневих і підповерхневих шарів ґрунту сполуками, що надходили у довкілля протягом тривалого періоду експлуатації підприємства.

Особливо високими є концентрації хрому та мангану. Вміст хрому становить 21,087 мг/кг, що перевищує показники «Інтерпайпу» більш ніж удвічі. Це вказує на наявність у ґрунтовому профілі Cr-вмісних техногенних компонентів, які можуть бути пов'язані з використанням органічних каталізаторів, барвників, технічних сумішей та продуктів виробничого зношування. Найбільш екстремально забрудненим є ґрунт манганом (63,985 мг/кг), що більш ніж у 8 разів перевищує середній рівень цього елемента для НТЗ «Інтерпайп». Значна кількість Mn є характерною для територій, де функціонували підприємства з обробкою гуми, технічних стрижнів, формувальних сумішей та металовмісних сполук.

Загалом графік демонструє, що для ґрунтів ВАТ «Дніпрошина» характерні істотно вищі концентрації майже всіх досліджених металів порівняно з іншими промисловими зонами міста. Це свідчить про тривале та інтенсивне техногенне навантаження, наявність стійких забруднювачів і необхідність подальших досліджень щодо їх впливу на стан біоти та можливості рекультивації території.

### 3.3 Адаптація культури *Azotobacter* до важких металів

Для оцінки адаптаційного потенціалу *Azotobacter vinelandii* були використані ґрунтові зразки з промислових зон ВАТ «Дніпрошина» та НТЗ «Інтерпайп», а також контрольні проби, відібрані на прилеглих до них територіях житлової забудови, які характеризуються мінімальним техногенним впливом. Такий підхід дав змогу порівняти реакції мікроорганізмів на різні рівні забруднення та виявити ступінь їх адаптації до стресових умов.

Із кожної проби готувалася ґрунтова витяжка у співвідношенні 1:10, що забезпечувало вилучення з ґрунту найбільш біологічно доступної частки мікроорганізмів та супутніх розчинних компонентів, включаючи важкі метали. Підготовлені витяжки використовувалися для висівання на селективне азот-дефіцитне агаризоване середовище, традиційно застосовуване для виділення азотфіксуючих бактерій роду *Azotobacter*. Це середовище стимулює розмноження мікроорганізмів, що здійснюють фіксацію азоту з атмосфери, і таким чином дозволяє ефективно відсіяти небажану супутню мікрофлору.

Колонії *Azotobacter vinelandii* ідентифікували за комплексом характерних ознак: слизовою та дещо плоскою поверхнею, білуватим або жовтуватим забарвленням, наявністю специфічного пігменту, а також результатами ряду біохімічних тестів, що включають здатність до утворення полісахаридної капсули, оксидазну та каталазну активність та інші видові реакції. Виділені колонії переносилися у чисту культуру для подальших досліджень.

Отримані ізоляти з дослідних ділянок використовували для визначення їх ростової активності в умовах, що максимально відображають реальний токсикологічний стан ґрунтів. Важкі метали до поживного середовища додатково не вводилися, оскільки їх підвищений вміст було встановлено аналітично вже у вихідних ґрунтових пробах. Таким чином, ізольовані штами *A.*

*vinelandii* контактували з токсикантами *in situ*, тобто у природних умовах їхнього існування, що дозволило оцінити природний ступінь адаптації цих бактерій до хронічного техногенного навантаження. Такий підхід є принципово важливим для екотоксикологічної оцінки, оскільки він дозволяє виявити не лише лабораторну стійкість штамів, а й їх реальну життєздатність у забрудненому середовищі та потенційну здатність до збереження азотфіксувальної активності в умовах промислових територій.

На рисунку 3.4 наведено дані про динаміку росту *Azotobacter vinelandii* на ґрунтовому середовищі дослідної ділянки НТЗ «Інтерпайп»

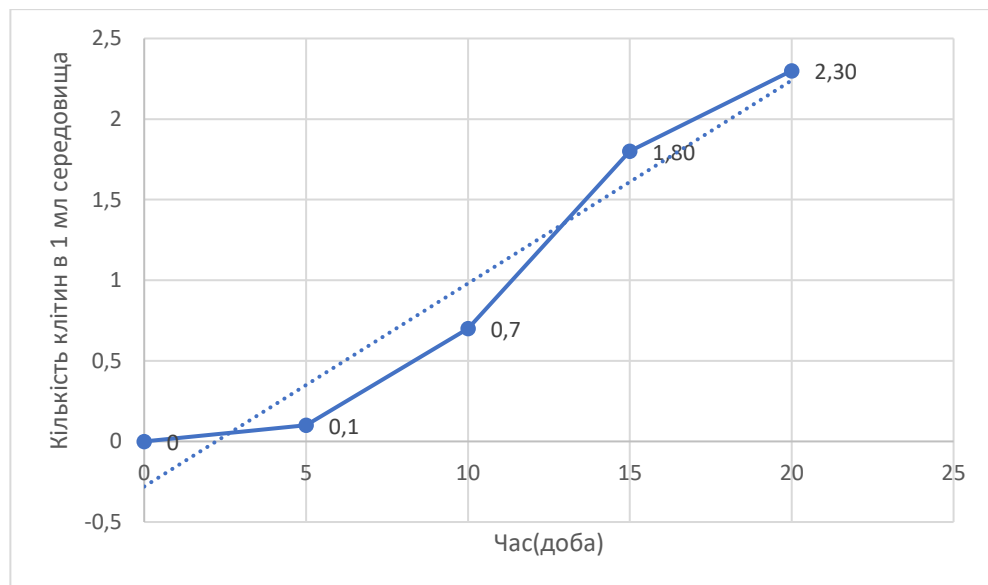


Рисунок 3.4 - Динаміка росту *Azotobacter vinelandii* на ґрунтовому середовищі дослідної ділянки НТЗ «Інтерпайп»

На графіку представлено зміну чисельності клітин *Azotobacter vinelandii* у динаміці 20-добового культивування на середовищі, приготовленому на основі ґрунтової витяжки з дослідної ділянки НТЗ «Інтерпайп». Упродовж перших п'яти діб спостерігається виражена лаг-фаза, під час якої кількість клітин залишається на мінімальному рівні ( $0-0,1 \cdot 10^6$  кл/мл), що свідчить про початкову адаптацію культури до наявних у ґрунтовій матриці чинників, зокрема підвищеного вмісту важких металів.

Починаючи з 5-ї доби, відбувається поступове активування метаболічної активності бактерій, і чисельність клітин зростає до  $0,7 \cdot 10^6$  кл/мл на 10-ту добу.

Цей етап відповідає переходу від адаптаційної до логарифмічної фази росту, що супроводжується інтенсивним поділом клітин.

Найбільш стрімке збільшення чисельності відмічається між 10-ю та 15-ю добами, коли концентрація клітин досягає  $1,8 \cdot 10^6$  кл/мл. Це свідчить про стабільне функціонування фізіологічних механізмів адаптації *A. vinelandii* до компонентів ґрунтової витяжки промислової ділянки.

Після 15-ї доби ріст уповільнюється і на 20-ту добу виходить на стаціонарний рівень ( $2,3 \cdot 10^6$  кл/мл). Досягнення плато може бути зумовлене вичерпанням доступних поживних речовин або накопиченням шкідливих метаболічних продуктів, а також обмежуючим впливом залишкових концентрацій металів.

Отже, отримана крива росту демонструє, що *Azotobacter vinelandii*, ізольований із ґрунтів техногенно навантаженої території, здатний до активної проліферації навіть за умов підвищеного техногенного навантаження, проте потребує тривалої адаптаційної фази перед входженням у логарифмічний ріст. Це свідчить про наявність стійких фізіологічних механізмів, сформованих унаслідок тривалого впливу промислових забруднювачів.

На рисунку 3.5 наведено дані про динаміку росту *Azotobacter vinelandii* на ґрунтовому середовищі контрольної ділянки в районі НТЗ «Інтерпайп»

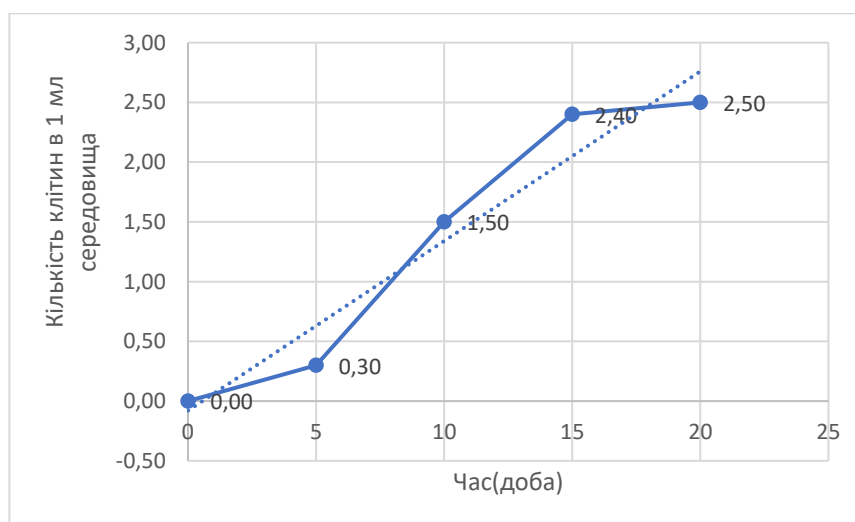


Рисунок 3.5 - Динаміка росту *Azotobacter vinelandii* на ґрунтовому середовищі контрольної ділянки в районі НТЗ «Інтерпайп»

Графік показує динаміку росту *Azotobacter vinelandii* протягом 20 діб на середовищі з ґрунтової витяжки контрольної ділянки біля НТЗ «Інтерпайп». Завдяки низькому техногенному навантаженню ґрунт цієї території забезпечує кращі умови для розвитку бактерій.

У перші 5 діб відмічається коротка лаг-фаза з ростом до  $0,3 \cdot 10^6$  кл/мл. До 10-ї доби культура входить у лог-фазу, досягаючи  $1,5 \cdot 10^6$  кл/мл — майже вдвічі більше, ніж на дослідній ділянці. Максимальне зростання фіксується між 10–15 добами (до  $2,4 \cdot 10^6$  кл/мл), що свідчить про достатність поживних речовин і низький рівень токсинів. На 20-ту добу встановлюється стаціонарна фаза на рівні  $2,5 \cdot 10^6$  кл/мл.

Штам із контрольної ділянки росте швидше та інтенсивніше, що вказує на сприятливіші мікробіологічні умови та нижчий вплив промислового забруднення.

На рисунку 3.6 наведено дані про динаміку росту *Azotobacter vinelandii* на ґрунтовому середовищі дослідної ділянки ВАТ «Дніпрошина».

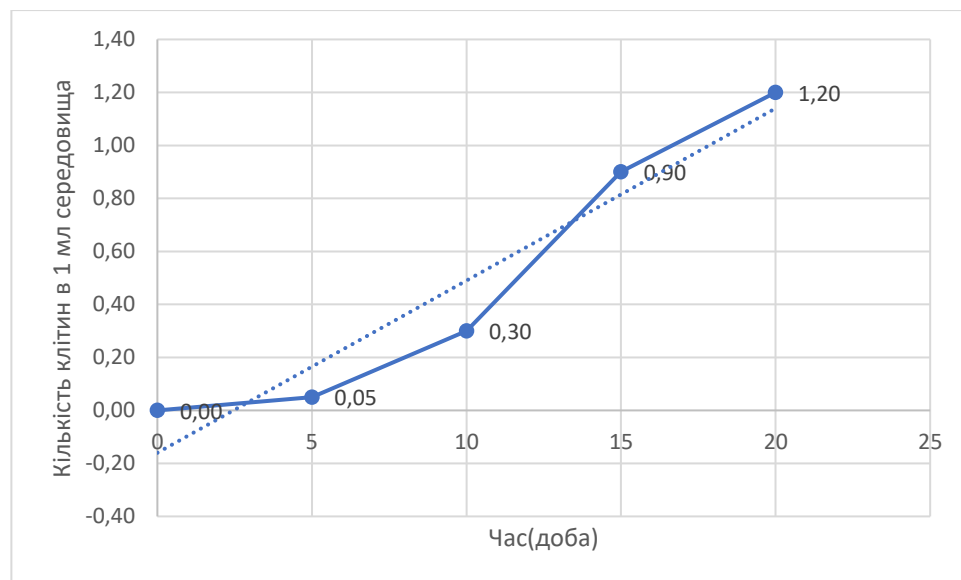


Рисунок 3.6 - Динаміка росту *Azotobacter vinelandii* на ґрунтовому середовищі дослідної ділянки ВАТ «Дніпрошина»

Наведені показники характеризують динаміку росту *Azotobacter vinelandii* упродовж 20-добового культивування на ґрунтовому середовищі,

отриманому з дослідної ділянки ВАТ «Дніпрошина». Ця територія зазнає техногенного навантаження, що може впливати на фізико-хімічні властивості ґрунту та відповідно — на швидкість росту мікроорганізмів.

У перші 5 діб приріст є мінімальним — популяція досягає лише  $0,05 \cdot 10^6$  кл/мл. Такий повільний старт свідчить про тривалішу лаг-фазу, під час якої бактерії адаптуються до умов середовища та ймовірно стикаються з певними обмежувальними факторами, характерними для техногенно навантажених ґрунтів.

До 10-ї доби чисельність клітин зростає до  $0,30 \cdot 10^6$  кл/мл. Це вказує на перехід культури у початкову логарифмічну фазу, коли активуються процеси розмноження, однак темпи росту залишаються відносно низькими, що може бути пов'язано з недостатньою кількістю доступних поживних речовин або наявністю токсичних домішок.

Найпомітніше збільшення популяції спостерігається на інтервалі між 10-ю та 15-ю добами, коли чисельність клітин досягає  $0,90 \cdot 10^6$  кл/мл. Даний період слід розглядати як фазу максимальної активності росту, хоча темпи все ще значно нижчі порівняно з показниками для контрольної ділянки, що підкреслює вплив умов довкілля на життєдіяльність *A. vinelandii*.

На 20-ту добу чисельність бактерій становить  $1,20 \cdot 10^6$  кл/мл. Зростання триває, але воно сповільнюється, що є ознакою наближення культури до стаціонарної фази. Ймовірно, на цей час доступні ресурси середовища частково вичерпані, а накопичення продуктів метаболізму або токсичних речовин обмежує подальше збільшення популяції.

Узагальнюючи, ріст *Azotobacter vinelandii* на ґрунтовому субстраті дослідної ділянки є помірним, із подовженою лаг-фазою та нижчими темпами розмноження. Це може свідчити про наявність у ґрунті факторів, що пригнічують активність бактерій, або про знижений рівень поживності, що характерно для територій зі значним техногенним впливом.

На рисунку 3.7 наведено дані про динаміку росту *Azotobacter vinelandii* на ґрунтовому середовищі контрольної ділянки в районі ВАТ «Дніпрошина»

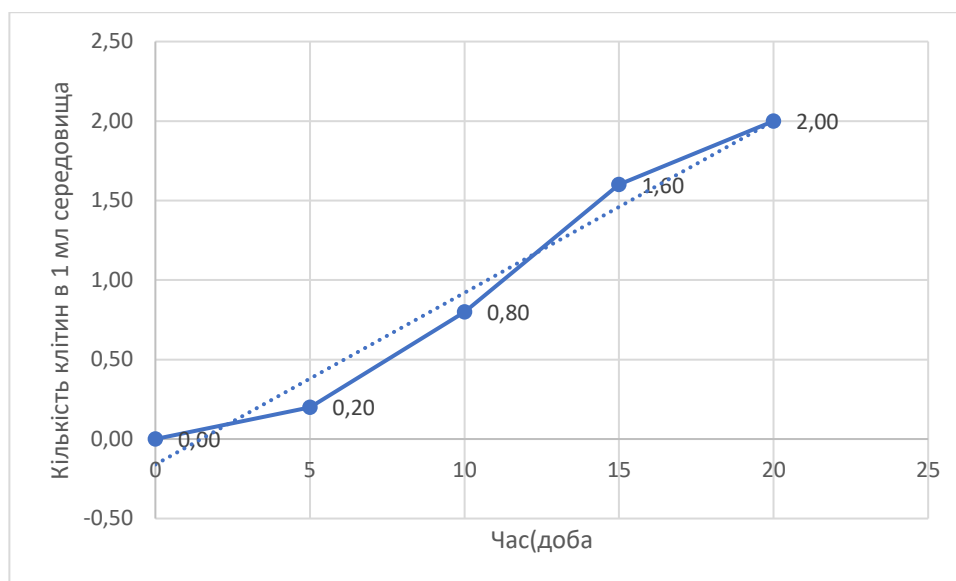


Рисунок 3.7 - Динаміка росту *Azotobacter vinelandii* на ґрунтовому середовищі контрольної ділянки в районі ВАТ «Дніпрошина»

В першу добу кількість клітин становить 0, що відповідає початковому моменту внесення бактерій у поживне середовище. Уже через 5 діб чисельність зростає до  $0,20 \cdot 10^6$  кл/мл, що є істотнішим підвищенням порівняно з дослідною ділянкою. Це свідчить про коротку лаг-фазу та швидку адаптацію *A. vinelandii* до умов середовища, які, ймовірно, характеризуються більшою поживністю та відсутністю інгібуючих факторів.

На 10-ту добу популяція збільшується до  $0,80 \cdot 10^6$  кл/мл, що вказує на перехід у виражену логарифмічну фазу росту. Темпи розмноження в цей період досить високі, ймовірно завдяки оптимальному балансу доступних мінеральних речовин і відсутності негативного впливу токсикантів.

Найінтенсивніший ріст спостерігається між 10-ю та 15-ю добами, коли чисельність бактерій підвищується до  $1,60 \cdot 10^6$  кл/мл. Це свідчить про максимальну активність клітин і достатню кількість поживних ресурсів у середовищі. Популяція розвивається в оптимальних умовах, не стикаючись із суттєвими екологічними обмеженнями.

На 20-ту добу кількість клітин сягає  $2,00 \cdot 10^6$  кл/мл. Хоча ріст продовжується, темп його дещо знижується, що свідчить про поступовий перехід культури до стаціонарної фази. Імовірно, частина доступних ресурсів уже вичерпана, але загалом середовище залишається досить сприятливим.

У цілому дані демонструють, що *Azotobacter vinelandii* на ґрунтовому середовищі контрольної ділянки росте швидко та інтенсивно, значно активніше, ніж на дослідній території. Це підтверджує нижчий рівень техногенного забруднення та кращі мікробіологічні властивості ґрунту цієї місцевості.

Отримані результати засвідчили, що *Azotobacter vinelandii* значно краще росте та швидше адаптується в ґрунтах району НТЗ «Інтерпайп», ніж у зразках з території ВАТ «Дніпрошина». Це вказує на нижчий рівень техногенного забруднення та стабільніший екологічний стан ґрунтів біля «Інтерпайпу».

З огляду на це, територія НТЗ «Інтерпайп» є більш перспективною для створення технопарків, оскільки її ґрунтово-екологічні умови є сприятливішими та менш токсичними порівняно з ділянками біля «Дніпрошини».

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Загальні вимоги з охорони праці

Упорядкування робіт з виконання екологічних, ґрунтових та лабораторних досліджень у межах промислових зон має відповідати чинному законодавству України, вимогам охорони праці та стандартам безпеки, спрямованим на забезпечення захисту життя і здоров'я персоналу. Відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» та норм ДСТУ 2293:2014 «Охорона праці. Терміни та визначення» кожен працівник під час виконання виробничих чи науково-дослідних робіт має бути забезпечений безпечними умовами праці, а роботодавець — зобов'язаний створити систему управління ризиками, яка запобігає виникненню нещасних випадків, аварій та професійних патологій.

Норми до організації безпечної діяльності ґрунтуються на принципах, викладених у ДСТУ ISO 45001:2019 «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці», який визначає підхід «плануй–виконуй–перевірй–дій» як основу управління небезпечними чинниками. Згідно з цим стандартом, перед початком досліджень необхідно провести ідентифікацію небезпек, оцінити потенційні ризики польових та лабораторних робіт, визначити запобіжні заходи та забезпечити відповідні засоби індивідуального захисту [56].

Важливою складовою безпечної організації робіт є своєчасна підготовка персоналу з питань техніки безпеки, що регламентується ДСТУ ГОСТ 12.0.004:2015 «Організація навчання з питань охорони праці. Загальні положення». Усі учасники досліджень мають пройти вступний та первинний інструктаж, а також інструктаж безпосередньо на робочому місці перед виконанням небезпечних операцій, зокрема під час перебування на промислових

об'єктах, які характеризуються високим рівнем техногенного впливу та можуть містити небезпечні домішки у ґрунті, пилу та атмосфері.

Виконання польових робіт передбачає дотримання вимог щодо безпечної організації робочого місця та ергономічного розташування інструментів згідно з ДСТУ ISO 11064-1:2005, що визначає принципи безпечного облаштування та просторової організації робочих зон. Під час відбору проб ґрунту слід уникати небезпечних об'єктів (вибоїн, відкритих комунікацій, залишків конструкцій), а пересування територією колишніх промислових підприємств повинно здійснюватися лише обладнаними маршрутами [57].

Особливу увагу приділяють безпеці під час роботи у техногенно забруднених зонах, де можливе підвищене накопичення важких металів, промислового пилу, залишків хімічних реагентів та нафтопродуктів.

Застосування ЗІЗ є обов'язковою вимогою, оскільки ґрунти промислових майданчиків можуть містити токсичні залишки діяльності металургійного та шинного виробництв (сажа, фенол, бенз(а)пірен, важкі метали), що створюють потенційні ризики отруєння або алергічних реакцій.

Під час виконання лабораторних досліджень мають дотримуватися вимоги ДСТУ 1513-2007 «Правила безпеки для лабораторій з використанням хімічних речовин», які регламентують організацію безпечного робочого простору, вентиляцію, використання витяжних шаф, маркування посуду та реагентів, порядок приготування розчинів, а також правила поводження з мікробіологічними культурами. Усі хімічні реагенти повинні зберігатися у щільно закритих, промаркованих ємностях, окремо від харчових продуктів та побутових матеріалів. Після завершення роботи лабораторні столи повинні оброблятися дезінфікуючими розчинами, а відходи — утилізуватися відповідно до вимог стандартів у сфері поводження з небезпечними матеріалами.

Обов'язковим елементом забезпечення безпеки є контроль стану лабораторного обладнання, що регламентується ДСТУ ISO 10012:2005 «Системи управління вимірюваннями». Усі вимірювальні прилади повинні проходити

регулярну перевірку, що гарантує точність результатів та запобігає аваріям, пов'язаним із виходом обладнання з ладу.

Крім того, має бути забезпечений захист працівників від електротравм відповідно до національного стандарту ДСТУ 61140:2017 «Захист від ураження електричним струмом». Не допускається підключення приладів у несправні розетки, використання кабелів з пошкодженою ізоляцією, робота у вологих приміщеннях або використання обладнання із порушеним заземленням. У разі виявлення несправності електроприладів роботу слід негайно припинити.

Забезпечення пожежної безпеки здійснюється у відповідності до положень ДСТУ 2:2017, що регламентує класи пожеж та вибір типу вогнегасників. Лабораторія та польовий пункт повинні бути обладнані засобами пожежогасіння, а персонал — ознайомлений з їх використанням. Заборонено зберігати легкозаймисті речовини поблизу теплових джерел, використовувати відкритий вогонь у лабораторних приміщеннях, залишати ввімкнене обладнання без нагляду.

Усі працівники, які виконують науково-дослідні роботи, повинні дотримуватися правил особистої гігієни:

- заборонено приймати їжу у лабораторії;
- необхідно мити руки після роботи з ґрунтами та хімічними речовинами;
- одяг та ЗІЗ мають зберігатися окремо від особистих речей;
- післяопрацювання з ґрунтами необхідно проводити дезінфекцію рук та робочої поверхні.

Додатковою вимогою є організація медичного контролю у відповідності до чинних нормативно-правових актів та правил роботи з небезпечними речовинами. Працівники, які контактують з потенційно токсичними компонентами ґрунту (важкі метали, нафтопродукти), повинні проходити періодичні медичні огляди.

Виконання екологічних досліджень в умовах промислових зон потребує суворого дотримання норм охорони праці, національних стандартів безпеки та комплексного підходу до управління ризиками. Реалізація вимог ДСТУ, належна

організація робочих місць, правильне застосування засобів індивідуального захисту та дотримання санітарно-гігієнічних стандартів забезпечують безпечно виконання науково-дослідних робіт і мінімізують можливість виникнення небезпечних ситуацій [58].

#### 4.2 Заходи безпеки при відборі проб ґрунту

Вибірка ґрунтових зразків на територіях промислових підприємств є видом робіт підвищеної небезпеки, оскільки пов'язаний з можливим контактом працівників із токсичними речовинами, важкими металами, промисловим пилом, залишками мастил, паливно-мастильних матеріалів та іншими техногенними забруднювачами. З метою запобігання травмам, отруєнням та аварійним ситуаціям усі роботи з відбору проб виконуються відповідно до Закону України «Про охорону праці», галузевих норм та вимог державних стандартів.

Підготовка до відбору проб здійснюється згідно з ДСТУ 4287:2004 «Якість ґрунту. Відбір проб», який регламентує порядок вибору точок відбору, використання інструментів, підготовку знарядь праці, вимоги до тари, транспортування та маркування зразків. Перед початком робіт проводиться інструктаж відповідно до ДСТУ ГОСТ 12.0.004:2015, що визначає обов'язковість ознайомлення персоналу з можливими небезпечними чинниками та правилами поведінки в техногенно навантажених зонах. Особливу увагу приділяють ризикам, характерним для територій колишніх промислових підприємств: можливість обвалів, наявність відкритих комунікацій, забруднених ділянок та нестійких поверхонь [59].

Під час роботи персонал повинен бути забезпечений необхідними засобами індивідуального захисту. Наявність ЗІЗ є обов'язковою вимогою, оскільки ґрунт на територіях колишнього шинного заводу та металургійного

комплексу може містити небезпечні концентрації свинцю, кадмію, цинку, поліциклічних ароматичних вуглеводнів та інших токсичних речовин.

Перебування на промислових територіях повинно здійснюватися виключно у визначених безпечних зонах. Забороняється пересування поблизу аварійних конструкцій, неукріплених котлованів, місць складування промислових відходів або металобрухту. Під час виконання польових робіт необхідно дотримуватися вимог щодо безпечної організації робочого місця відповідно до ДСТУ ISO 11064-1:2005, який регламентує ергономічні та безпечні принципи роботи на відкритій місцевості. Інструменти для відбору проб (бури, лопати, шпателі, ґрунтові пробовідбірники) мають бути справними, очищеними та промаркованими. Заборонено використовувати обладнання з пошкодженнями, що може спричинити травми або спотворити результати аналізів [60].

Під час роботи необхідно уникати надмірного нахилу корпусу, різких рухів або перевантажень, дотримуючись вимог ДСТУ EN 614-1:2017, що визначає загальні принципи безпечної роботи з ручними інструментами. Для попередження травм важливо працювати на стійкій поверхні, уникаючи зон з високою вологістю, слизькістю або можливістю утворення провалів. У випадку відбору проб у важкодоступних місцях слід користуватися допомогою другого працівника, який контролюватиме безпеку робочого процесу.

Окремим аспектом є небезпека контакту з ґрунтом, який містить уламки скла, металу, шлак, гуми та інші небезпечні включення. Тому заборонено проводити роботи голими руками або без захисних рукавичок. Усі проби поміщаються у герметичні ємності, виготовлені з інертних матеріалів, а їх маркування здійснюється відповідно до ДСТУ ISO 11074:2003 «Якість ґрунту. Термінологія». Транспортування проб має здійснюватися у спеціальних контейнерах, що запобігають розсипанню або витоку ґрунту.

У випадку виявлення ділянок із сильним запахом хімічних речовин, підвищеною температурою ґрунту або ознаками хімічного розливу роботи слід негайно припинити до оцінки ситуації відповідальною особою. Персонал

зобов'язаний володіти навичками надання першої домедичної допомоги та діяти відповідно до плану реагування на аварійні ситуації.

Після завершення відбору проб необхідно провести дезінфекцію інструментів, очищення одягу та рук, а також утилізацію одноразових ЗІЗ відповідно до екологічних вимог. Територію відбору проб залишають лише після повного збирання та перевірки інструментів, з дотриманням вимог пожежної безпеки.

Комплекс зазначених заходів забезпечує мінімізацію ризиків під час роботи в умовах потенційно небезпечного техногенного середовища та гарантує безпечний процес відбору проб ґрунту, що є необхідною умовою для проведення достовірних та екологічно коректних досліджень [61].

#### 4.3 Охорона праці при виконанні лабораторних досліджень

Лабораторні дослідження, пов'язані з аналізом ґрунтів, біотестуванням та мікробіологічними методами, належать до робіт підвищеної небезпеки і потребують суворого дотримання правил охорони праці, санітарно-гігієнічних норм та вимог техніки безпеки. Основними регламентуючими документами у сфері безпечного проведення лабораторних робіт є ДСТУ 1513-2007 «Правила безпеки для лабораторій з використанням хімічних речовин», ДСТУ ISO 7218:2007 «Мікробіологія харчових продуктів та кормів для тварин. Загальні вимоги та настанови з безпеки», ДСТУ EN 61010-1:2017 «Вимоги безпеки до електротехнічних приладів для вимірювань, контролю та лабораторних досліджень», а також положення системи стандартів охорони праці [62].

Перед початком лабораторних робіт кожен ацівник має пройти інструктаж щодо правил охорони праці та безпеки відповідно до ДСТУ ГОСТ 12.0.004:2015, ознайомитися з правилами поводження з хімічними реагентами, мікробіологічними культурами, лабораторним обладнанням і засобами захисту.

До робіт допускаються лише особи, що пройшли медичний огляд та мають відповідну професійну підготовку, оскільки лабораторні процеси можуть передбачати роботу з токсичними розчинами, аерозолями, потенційно патогенними мікроорганізмами або хімічно активними речовинами.

Усі роботи повинні виконуватися в умовах, що відповідають вимогам санітарно-технічного стану лабораторій. Робочі приміщення мають бути оснащені припливно-витяжною вентиляцією, витяжними шафами, системами локального очищення повітря та аварійним освітленням. Згідно з ДСТУ 1513-2007, робочі поверхні повинні бути виготовлені з матеріалів, стійких до дії кислот, лугів та органічних розчинників, що унеможлиблює їх руйнування внаслідок контакту з реагентами.

Під час виконання лабораторних операцій обов'язковим є застосування засобів індивідуального захисту:

- захисного халата та головного убору
- захисних рукавиць
- окулярів або захисного щитка
- респіраторів фільтрувального типу при роботі з пилоподібними матеріалами або леткими хімікатами.

Надзвичайно важливим є дотримання правил роботи з хімічними реагентами. Відповідно до ДСТУ 1513-2007, усі реагенти повинні зберігатися у щільно закритих, промаркованих ємностях, що мають етикетки із зазначенням назви речовини, концентрації, класу небезпеки та дати приготування. Заборонено переносити реагенти у непередбаченій для цього тарі, змішувати їх без відповідних інструкцій або працювати з невідомими розчинами [63].

Під час біотестування та роботи з азотобактером необхідно дотримуватися вимог ДСТУ ISO 7218:2007, який регламентує правила поводження з культурами мікроорганізмів: стерильність робочих поверхонь, застосування автоклавів для стерилізації, правильне поводження з поживними середовищами та відходами біологічного походження. Усі мікробіологічні

відходи повинні збиратися у спеціальні контейнери та підлягати знешкодженню термічним або хімічним шляхом.

Окремо приділяється увага роботі з електричним обладнанням. Забороняється використовувати обладнання з пошкодженими проводами, неізолюваними контактами, несправними комутаторами або порушенням заземлення. Вмикання та вимикання приладів здійснюється тільки сухими руками, а прилади мають бути розташовані на стійких поверхнях, віддалених від водних джерел.

Для запобігання пожежам лабораторія повинна бути оснащена первинними засобами пожежогасіння, а працівники — навчитися правильному використанню вогнегасників, діям під час займання та евакуації. Заборонено працювати з відкритим полум'ям поблизу легкозаймистих розчинників, сушильних шаф або електронагрівальних приладів.

Після завершення лабораторних робіт потрібно здійснити комплекс обов'язкових процедур:

- очистити та продезінфікувати поверхні;
- промити і висушити обладнання;
- утилізувати відходи згідно з нормами екологічної безпеки;
- здати реагенти та інструменти відповідальній особі;
- вимкнути електроприлади та вентиляційні системи за встановленим

порядком.

Ретельне дотримання норм охорони праці гарантує безпечні умови проведення лабораторних досліджень, мінімізує ризики травматизму, отруєння та інфікування, а також гарантує достовірність отриманих результатів і збереження здоров'я працівників [64].

#### 4.4 Заходи пожежної безпеки та дії у надзвичайних ситуаціях

Пожежна безпека під час виконання лабораторних і польових екологічних досліджень належить до основних напрямів охорони праці, оскільки діяльність з використанням хімічних реактивів, електролабораторного обладнання, інструментів та легкозаймистих матеріалів створює потенційні ризики виникнення пожеж та аварійних ситуацій. Забезпечення пожежної безпеки регламентується положеннями Кодексу цивільного захисту України та вимогами стандартів, зокрема ДСТУ EN 2:2017 «Класифікація пожеж», ДСТУ EN 3-7:2017 «Пожежна техніка. Вогнегасники», ДСТУ ISO 13943:2011 «Пожежна безпека. Термінологія», а також правилами улаштування і експлуатації електроустановок.

До початку виконання робіт персонал повинні пройти інструктаж з пожежної безпеки відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 12.0.004:2015, отримати інформацію про розташування первинних засобів пожежогасіння, аварійних виходів, місць збору під час евакуації та правила поведінки при виникненні надзвичайних ситуацій. Підвищену увагу зосереджують на оцінці ризиків, характерним для промислових зон: наявності легкозаймистих матеріалів, старих комунікацій, іржавих резервуарів, залишків мастильно-паливних продуктів та хімічних речовин, що можуть вступати в реакцію при нагріванні [65].

У лабораторних умовах суворо регламентується порядок поводження з горючими та хімічно активними речовинами. Відповідно до ДСТУ 1513-2007, легкозаймисті рідини (ЛЗР), органічні розчинники, етанол, ацетон, ефір та інші хімічні реагенти мають зберігатися у спеціальних шафах, виготовлених із негорючих матеріалів, подалі від джерел тепла. Забороняється працювати з відкритим вогнем, розташовувати легкозаймисті речовини поблизу електронагрівальних приладів, сушильних шаф, термостатів та обладнання, що може створювати іскру.

Важливою вимогою пожежної безпеки є правильне використання електролабораторного обладнання. Згідно з ДСТУ EN 61010-1:2017, усі прилади повинні бути технічно справними, заземленими та розташованими на стійких поверхнях. Заборонено працювати з приладами, що мають пошкоджений кабель, перегріваються або видають характерний запах горіння. Обладнання не можна залишати увімкненим без нагляду, а після завершення роботи — необхідно вимикати з мережі.

Під час польових робіт особливо небезпечним є контакт із техногенно забрудненими територіями, де можуть бути залишки горючих рідин, мастил, промислових відходів або газів. Під час пересування необхідно уникати відкритих колодязів, старих трубопроводів, викидів газу чи незнайомих хімічних запахів. Будь-які підозрілі ділянки слід негайно покинути та повідомити відповідальну особу [66].

У разі виникнення пожежі або загорання працівники повинні діяти відповідно до встановленого алгоритму:

Негайно повідомити відповідальну особу та службу порятунку.

Припинити роботу, знеструмити електрообладнання та евакуювати людей із небезпечної зони.

Використовувати первинні засоби пожежогасіння відповідно до типу пожежі:

– Вогнегасники порошкові чи вуглекислотні — для гасіння електрообладнання (клас Е).

– Водяні чи пінні вогнегасники — для загорання твердих матеріалів (клас А) або рідин (клас В).

У разі неможливості локалізувати загорання — організувати повну евакуацію будівлі згідно з планом, не використовуючи ліфти, не відкриваючи гарячі двері без перевірки температури тильною стороною руки.

Уникати дії токсичного диму, оскільки при горінні хімічних реагентів можуть утворюватися небезпечні для здоров'я гази (феноли, хлорорганічні сполуки, оксиди азоту та вуглецю).

У разі виникнення надзвичайної ситуації хімічного характеру (розлив токсичних реагентів, утворення газів, вибухонебезпечна реакція) необхідно:

- негайно припинити всі роботи;
- відкрити витяжну вентиляцію (якщо вона безпечна для використання);
- ізолювати небезпечну речовину або накрити її сорбентом;
- уникати контакту зі шкірою та слизовими оболонками;
- повідомити відповідального за охорону праці та викликати аварійні служби;
- при необхідності — провести евакуацію приміщення.

Весь персонал зобов'язаний орієнтуватися у розташуванні аптечок, засобів індивідуального захисту та аварійних комплектів нейтралізаторів для кислот і лугів. Перша допомога при опіках, отруєннях та ураженнях димом надається відповідно до рекомендацій Міністерства охорони здоров'я та правил домедичної допомоги.

Системне дотримання вимог пожежної безпеки, правильна організація робочого простору та своєчасне реагування на позаштатні ситуації є ключовими умовами запобігання аваріям і забезпечення безпечного виконання науково-дослідних робіт [67].

## ВИСНОВКИ

Проведена екотоксикологічна оцінка ґрунтів у межах промислових зон ВАТ «Дніпрошина» та Нижньодніпровського трубопрокатного заводу «Інтерпайп» засвідчила наявність суттєвого техногенного навантаження, що сформувалося під впливом тривалого функціонування промислових об'єктів. Застосування комплексу методів – фітотестування з використанням крес-салату та визначення стійкості азотофіксуючих мікроорганізмів до важких металів за методикою сумарної залишкової токсичності – дозволило отримати інтегральну характеристику екологічного стану ґрунтового середовища та виявити відмінності у рівні техногенної трансформації на досліджуваних територіях.

Результати біотестування продемонстрували, що ґрунти, відібрані у безпосередній близькості до промислових майданчиків, характеризуються різним ступенем фітотоксичності. На території трубопрокатного заводу «Інтерпайп» отримані показники свідчать про помірний рівень токсичного навантаження, що, однак, є контрольованим та знижується завдяки активному переміщенню і вилученню ґрунтових мас у процесі реорганізації території. Водночас ґрунти, відібрані на території ВАТ «Дніпрошина», демонструють більш виражений токсичний ефект, що корелює з характером колишнього шинного виробництва, відомого значними викидами важких металів, органічних токсикантів, мікрочастинок гумових сумішей та нафтопродуктів.

Мікробіологічні показники, зокрема рівень активності азотфіксуючих мікроорганізмів, підтвердили наявність стійкого техногенного впливу. На території шинного заводу відзначено значне пригнічення азотфіксувальних бактерій, що свідчить про деградацію ґрунтової біоти та погіршення природної родючості ґрунту. На території «Інтерпайпу» ці порушення проявляються

меншою мірою, що вказує на відносно сприятливіші умови для подальшого використання ділянки.

Порівняльний аналіз засвідчує, що територія Нижньодніпровського трубопрокатного заводу є більш перспективною для реорганізації та подальшого створення технопарку. Активні роботи зі зняття й вивезення ґрунтів, демонтаж застарілих конструкцій та зменшення техногенного навантаження формують сприятливі передумови для безпечного розвитку інноваційної інфраструктури. За умови завершення санації території та дотримання нормативів щодо поводження з техногенними відходами ця зона може бути адаптована під сучасні науково-технологічні об'єкти.

Натомість територія ВАТ «Дніпрошина» потребує впровадження комплексу додаткових природоохоронних та рекультиваційних заходів, спрямованих на зниження залишкової токсичності ґрунтів. Доцільними є такі заходи:

1. Зняття та утилізація найбільш забруднених верхніх шарів ґрунту з подальшим їх розміщенням на спеціалізованих полігонах;
2. Фітореабілітація із використанням рослин-аккумуляторів важких металів (гірчиця біла, ріпак, соняшник) з подальшим вилученням рослинної маси;
3. Внесення сорбентів та меліорантів (цеоліти, сапоніт, активовані глини), які зменшують рухомість токсичних елементів;
4. Біологічна рекультивація з відновленням мікробіологічної активності ґрунтів, зокрема реінтродукцією азотфіксувальних бактерій;
5. Створення захисних зелених бар'єрів для зниження пилового та вторинного забруднення;
6. Локальний моніторинг токсикантів для оцінки ефективності проведених заходів та контролю екологічної безпеки.

З огляду на отримані дані, територія НТЗ«Інтерпайп» може розглядатися як екологічно прийнятна база для створення технопарку за умови продовження робіт з реабілітації та забезпечення санітарно-гігієнічних вимог. Для території ВАТ «Дніпрошина» перспективи створення технопарку є реальними, проте

реалізація такого проєкту має передбачати поетапну та комплексну екологічну санацію, без якої існує ризик збереження довготривалого токсичного впливу на відвідувачів та персонал майбутнього технологічного комплексу.

Проведене дослідження підтверджує значущість екотоксикологічного підходу для оцінки промислових територій, що підлягають перепрофілюванню. Результати роботи слугують науково-теоретичною базою для прийняття управлінських рішень та планування заходів з рекультивації і обґрунтування можливості створення технопарків на трансформованих промислових землях міста Дніпро.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Реновація промислової забудови та її адаптація до сучасного міського середовища : монографія / [Ю. І. Гайко, Є. Ю. Гнатченко, О. В. Завальний, Е. А. Шишкін; за заг. ред. Ю. І. Гайка, Е. А. Шишкіна] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 353 с. ISBN 978-966-695-526-8.
2. Бекетова, 2021. – 353 с. ISBN 978-966-695-526-8. 2. Про регулювання містобудівної діяльності / Верховна Рада України; Закон від 17.02.2011 № 3038-VI.
3. Бабич Є.В., Степанов О.С. Реновація промислових зон як важливий елемент управління розвитком міст. Містобудування та територіальне планування. 2019. № 80. 71 с.
4. Бойчук О., Лісова Т. Адаптація промислових зон до вимог сталого розвитку в Україні. Сучасний розвиток міст: проблеми і перспективи. 2018. № 19. С. 54–67.
5. Бруттомессо Р., Кукілаттоо Е. Перетворення промислових районів на культурні райони: роль креативних індустрій у процесах міського відновлення. *European Planning Studies*. 2020. № 28. С. 2373–2391.
6. Гусев В., Іванов П. Стратегії реконструкції промислових територій у пострадянських містах. Міська та регіональна розробка. 2020. № 33. С. 42–57.
7. Житкова Н.Ю. Промисловість у містобудівному середовищі міста.// Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Науково-технічний збірник. Вип.6 (спеціальний): Київ архітектурний: Шляхи розвитку міського середовища. К.: КНУБА, 1999. С. 31-38.
8. Baran A., Jasiewicz C., Antonkiewicz J. Testing toxicity of oily grounds using

- phytotoxkit tests // The First Joint PSE-SETAC Conference on Ecotoxicology. Book of Abstracts. – Poland, 2009, poster.
9. Biologische Testverfahren / Eds. K.G.Steinhauser, P.D.Hansen. – Stuttgart: Gustav-Fisher Verlag, 1992. – 884p
  10. Holm S. A simple sequentially rejective multiple test procedure // Scandinavian Journal of Statistics. – 1979. – Vol.6, no. 2. – P. 65–70.
  11. Мислива Т.М. Важкі метали в лісоаграрних ландшафтах Житомирського Полісся. Агрохімія і ґрунтознавство. 2006. С. 260–263.
  12. Мислива Т.М. Важкі метали в урбоєдафатопх і фітоценозах та території м. Житомира. Вісник ХНАУ. 2009. № 2. С. 134–142.
  13. Надточій П.П. Екологія ґрунту та його забруднення. К.: Аграрна наука, 1997. 286 с.
  14. Razanov S., Melnyk V., Symochko L., Dydiv A., Vradii O., Balkovskyi V., Khirivskyi P., Panas N., Lysak H., Koruniak O. Agroecological assessment of gray forest soils under intensive horticulture. International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES). 2022. Vol. 12 (4). P. 459–464. DOI: <https://doi.org/10.31407/ijeess12.4>
  15. Мазур В.А., Врадій О.І. Моніторинг забруднення ґрунтів важкими металами науково-дослідної ділянки в НДГ «Агрономічне» Вінницького національного аграрного університету. Сільське господарство та лісівництво. 2019. № 2 (13). С. 16–24. DOI: 10.37128/2707-5826-2019-2-2
  16. Надточій П.П. Екологія ґрунту: монографія. Житомир: Вид-во «ПП Рута », 2010. 473 с.
  17. Aliksieiev O.O., Vradii O.I. Organic agriculture as an element of soil preservation and restoration. Сільське господарство та лісівництво. 2023. № 3 (30). С. 228–239. DOI: 10.37128/2707-5826-2023-3-17
  18. T. Cairney The re-use of contaminated land: A handbook of risk assessment (1995)
  19. Pickett S. T. A., Cadenasso M. L., Grove J. M., Nilon C. H. Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components

- of metropolitan areas. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 2001. 32. P. 127–157
20. Vasenev V. I., Prokofeva T. V., Makarov O. A. The development of approaches to assess the soil organic carbon pools in megapolises and small settlements. *Eurasian Soil Sci.* 2013. 46 (6). P. 685–696. doi: 10.7868/S0032180X13060117
21. Byrne L. B. Habitat structure: a fundamental concept and framework for urban soil ecology. *Urban Ecosyst.* 2007. 10. P. 255–274
22. Liu Y., Xiao T., Baveye P.C., Zhu J., Ning Z., Li H. Potential health risk in areas with high naturally-occurring cadmium background in southwestern China. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2015. 112. P. 122–131.
23. Dong R., Jia Z., Li S. Risk assessment and sources identification of soil heavy metals in a typical county of Chongqing Municipality, Southwest China. *Process Safety and Environmental Protection.* 2018. 113. P. 275–281.
24. Позняк С.П., Телегуз О. Г. Антропогенні ґрунти. Навчальний посібник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 200 с
25. Тітенко Г. В., Кулик М. І. Гумусовий горизонт міських ґрунтів, як геохімічний бар'єр в урболандшафті. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2012. № 1–2. С. 130–136.
26. Криштоп Є. А., Волощенко В. В. Міські ґрунти як невід'ємний елемент урбанізованих і техногенно забруднених територій. *Вісник ХНАУ.* 2013. № 2. С. 200–206.
27. Enya Osim, Heaney Natalie, Iniama Grace, Lin Chuxia. Effects of heavy metals on organic matter decomposition in inundated soils: Microcosm experiment and field examination. *Science of The Total Environment.* 2020. 724. 138–223. 10.1016/j. scitotenv.2020.138223.
28. Яцук І. П. Екотоксикологічна оцінка ґрунтів Чернігівської області за вмістом пестицидів і важких металів / І. П. Яцук, А. М. Ліщук, Г. Д. Матусевич // *Вісник Уманського національного університету садівництва.* - 2014. - № 2. - С. 117-120. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vumnuc\\_2014\\_2\\_29](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vumnuc_2014_2_29).
29. Домусчи С., Тригуб В. Біотестування як метод визначення екологічного

стану міських ґрунтів // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Географія. Тернопіль : Тайп, 2020. № 2 (49). С. 156–164.

30. Біоіндикація. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт студентами напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» / А. І. Горова, А. В. Павличенко, О. О. Борисовська, В. Ю. Ґрунтова, О. В. Деменко; Д.: Національний гірничий університет, 2014. 76 с. 5
31. Біоіндикація та біотестування / В. В. Никифоров, С. В. Дігтяр, О. В. Мазницька, Т. Ф. Козловська. Кременчук : КрНУ, 2016. 100 с.
32. Білявський Г. О., Фурдуй Р. С., Костіков І. Ю. Основи екології: Підручник.- 2-ге вид. К.: Либідь, 2005. 408 с.
33. Бешлей З. М., Бешлей С. В., Баранов В. І., Терек О. І. Використання рослинних тест-систем для оцінки токсичності техногенно забруднених субстратів. Вісник Харківського національного аграрного університету. Сер. : Біологія. 2014. Вип. 1. С. 97-102.
34. Грицак Л. Р., Барна І. М., Кодлюк І. М., Сельська І. І., Сплавінська Ю. Т., Сукар Х. В., Барна С. С. Біоіндикаційні методи для потреб системного аналізу якості довкілля. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Географія. 2017. № 2. С. 153-165.
35. Губачов О. І. Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій / О. І. Губачов // Наук. Вісник КУЕІТУ. Нові технології. 2010. № 3 (29). –С. 164–171.
36. Пилипенко Ю. В., Скок С. В. Оцінка рівня забруднення ґрунту важкими металами в межах міської системи (на прикладі м. Херсон). Біологія та валеологія. Збірник наукових праць Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди. 2015. № 17. С. 138–145.
37. Валерко Р. А. Особливості біотестування антропогенно забруднених

- ґрунтів з метою їх екотоксичної оцінки / Р. А. Валерко // Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва. Серія : Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів. - 2013. - № 2. - С. 262-266.
38. Губачов О. І. Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій / О. І. Губачов // Наук. Вісник КУЕІТУ. Нові технології. – 2010. – № 3 (29). – С. 164–171.
39. Тригуб, В. І., Домусчи, С. В. (2020). Біотестування як метод дослідження токсичності ґрунтів. Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки, 25(2(37)), 112–127.
40. Андріюк, К.І., Іутинська, Г.О., Антипчук, А.Ф. (2001). Функціонування мікробних ценозів в умовах антропогенного навантаження. Обереги, Київ, 240 с.
41. Глущенко В. П., Карпенко О. Ю. Екологічні аспекти впливу гумової промисловості на стан довкілля. Дніпро: Пороги, 2017. 184 с.
42. Кравченко О. І., Литвиненко С. М. Техногенне забруднення ґрунтів у районах шинних заводів. Екологічний вісник. 2019. №3. С. 45–52.
43. Environmental impact of tire manufacturing facilities. Journal of Industrial Ecology. 2020. Vol. 24(1). P. 112–124.
44. Мельничук В. М. Металургійні викиди та їх вплив на довкілля Придніпровського регіону. Дніпро: Ліра, 2018. 208 с.
45. Industrial soil contamination near steel and pipe plants: heavy metal accumulation and risk assessment. Environmental Pollution. 2021. Vol. 268. P. 115–123.
46. Interpipe Corporation. Annual Sustainability Report 2022. Дніпро, 2023. 95 р.
47. Позняк С. П. Ґрунтознавство. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2015. 368 с.
48. Медведєв В. В. Техноземи України: властивості, класифікація, шляхи реабілітації. Харків: НУГГ, 2016. 312 с.
49. Булгаков М. П., Жукова Л. С. Антропогенно-трансформовані ґрунти:

- структура та екологічні функції. Київ: Фітосоціоцентр, 2018. 224 с
- 50.Клімов С. М. Фізико-хімічні зміни ґрунтів у зонах промислового пилового забруднення. Агрохімія і ґрунтознавство. 2019. №4. С. 33–41.
- 51.ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбір проб. Київ: Держспоживстандарт України, 2004.
- 52.ДСТУ ISO 11269-1:2001. Якість ґрунту. Визначення впливу забруднювачів на рослини. Київ, 2001.
- 53.ДСТУ ISO 11464:2007. Якість ґрунту. Попередня підготовка проб. Київ, 2007.
54. ДСТУ ISO 10381-6:2004/2005. Настанови щодо відбору проб для мікробіологічного аналізу. Київ.
- 55.Kairo M., Smith R. Plant bioassays for assessing soil toxicity: methodologies and applications. *Environmental Toxicology*. 2018. Vol. 33(2). P. 145–154.
- 56.Закон України «Про охорону праці» № 2694-ХІІ від 14.10.1992 р.
- 57.ДСТУ 2293:2014 Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. — К.: Мінекономрозвитку України, 2014.
- 58.Ісаєнко С. В. Системи управління охороною праці: принципи та практика : навч. посіб. — Дніпро : ДТУ, 2022. — 212 с
- 59.ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбір проб. — К.: Держспоживстандарт, 2004.
- 60.Паламарчук І. М. Основи екологічного моніторингу та безпеки польових досліджень : навч. посіб. — К. : Академвидав, 2019. — 310 с.
- 61.Гриценко Л. М. Організація та методи відбору проб ґрунту в умовах техногенного навантаження : монографія. — Харків : НУХТ, 2021. — 168 с.
- 62.ДСТУ EN 61010-1:2017. Вимоги безпеки до електрообладнання для вимірювання, контролю та лабораторного використання. — К.: УкрНДНЦ, 2017.
- 63.ДСТУ 1513-2007. Правила безпеки для лабораторій, що працюють з хімічними речовинами. — К.: Держспоживстандарт, 2007.

- 64.Музичук Н. С. Оцінка небезпек під час лабораторного аналізу ґрунтів різного ступеня забруднення // Екологічний моніторинг і безпека. — 2022. — № 1. — С. 73–80.
- 65.ДСТУ 2:2017. Пожежна безпека. Класифікація пожеж. — К.: УкрНДНЦ, 2017.
- 66.ДСТУ EN 3-7:2017. Вогнегасники. Вимоги та методи випробування. — К.: УкрНДНЦ, 2017.
- 67.Шаповал В. П. Планування дій у надзвичайних ситуаціях під час лабораторних екотоксикологічних досліджень // Журнал охорони праці. — 2023. — № 4. — С. 18–26.