

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології  
Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Зав. кафедри екології

доц. \_\_\_\_\_ Вікторія КАЦЕВИЧ

« \_\_\_\_\_ » червня 2025 р.

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «Бакалавр»  
на тему: **«Аналіз складу і агрохімічних властивостей породи шахтного  
відвалу в місті Тернівка Павлоградського району для біологічної  
рекультивациі»**

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

\_\_\_\_\_ Богдан ДМИТРЕНКО

Керівник \_\_\_\_\_ доц. Таміла АНАНЬЄВА

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет:** Водогосподарської інженерії та екології

**Кафедра:** Екології

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

**Спеціальність:** 101 «Екологія»

**Ступінь вищої освіти** Бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри екології

доц. \_\_\_\_\_ Вікторія КАЦЕВИЧ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

**З А В Д А Н Н Я**

на підготовку кваліфікаційної роботи

Дмитренка Богдана Віталійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Аналіз складу і агрохімічних властивостей породи шахтного відвалу в місті Тернівка Павлоградського району для біологічної рекультивації.

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

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

**2. Термін подання здобувачем роботи:** «16» червня 2025 р.

**3. Вихідні дані до роботи:** Дані шахти «Західно-Донбаська» ПАТ «Павлоградвугілля», результати лабораторних вимірювань, наукова література.

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

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):** Досліджуваний район поблизу міста Тернівка; Вигляд зверху на шахтний відвал в місті Тернівка; Верхня частина плато відвалу шахти "Західно-Донбаська" в місті Тернівка; Панорамний краєвид відвалу шахти "Західно-Донбаська" в місті Тернівка; Передгір'я відвалу

шахти «Західно-Донбаська»; Схил відвалу шахти «Західно-Донбаська»; Гранулометричний склад породи відвалу; Структурно-агрегатний стан породи шахтного відвалу; Хімічний склад породи шахтного відвалу на різних глибинах; Вміст важких металів у породі шахтного відвалу на різних глибинах; Акація біла (Robinia pseudoacacia) і лох вузьколистий (Elaeagnus angustifolia); Засоби індивідуального захисту в умовах польових досліджень.

6. Дата видачі завдання: «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_\_\_\_ р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №<br>пп | Назва етапів кваліфікаційної<br>роботи                    | Термін виконання<br>етапів роботи | Примітка |
|---------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------|
| 1       | Огляд літератури                                          |                                   | Виконано |
| 2       | Фізико-географічна<br>характеристика району<br>досліджень |                                   | Виконано |
| 3       | Матеріали і методи досліджень                             |                                   | Виконано |
| 4       | Результати досліджень                                     |                                   | Виконано |
| 5       | Охорона праці                                             |                                   | Виконано |
| 6       | Оформлення роботи                                         |                                   |          |

Здобувач

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Богдан ДМИТРЕНКО

(Ім'я та прізвище)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Таміла АНАНЬЄВА

(Ім'я та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Вступ; 1 Огляд літератури; 2 Фізико-географічна характеристика району досліджень; 3 Матеріали і методи досліджень; 4 Результати досліджень; 5 Охорона праці; Висновки; Список використаної літератури. Повний обсяг роботи – 55 сторінок друкованого тексту, 12 рисунків, 5 таблиць. Список використаної літератури містить 53 найменування.

Мета дослідження – визначення хімічного складу та агрохімічних властивостей породи шахтного відвалу в місті Тернівка Павлоградського району з метою оцінки її придатності для біологічної рекультивації.

Об'єкт дослідження - Порода шахтного відвалу в місті Тернівка Павлоградського району.

Предмет дослідження - Агрохімічні властивості та еколого-біологічний потенціал відвальної породи для застосування в процесах біологічної рекультивації порушених земель.

Основними завданнями дослідження є:

1. Здійснити загальну характеристику району дослідження.
2. Проаналізувати гранулометричний та хімічний склад відвальної породи.
3. Визначити агрохімічні показники: кислотно-лужну реакцію, вміст гумусу, макро- та мікроелементів.
4. Оцінити екологічну безпечність породи та її вплив на ріст рослин.
5. Надати рекомендації щодо можливостей використання породи для біологічної рекультивації.

Методи, які застосовувались: ситовий метод, потенціометричний метод, методом Капена, метод Тюріна, метод Чирікова з ацетатно-амонійним буфером, атомно-абсорбційна спектрофотометрія, методи варіаційної статистики.

Ключові слова: ШАХТНИЙ ВІДВАЛ, БІОЛОГІЧНА РЕКУЛЬТИВАЦІЯ, АГРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД, ГУМУС, КИСЛОТНО-ЛУЖНА РЕАКЦІЯ, ФОСФОР, КАЛІЙ, ОРГАНІЧНА РЕЧОВИНА, ВІДНОВЛЕННЯ РОДЮЧОСТІ, ТЕХНОГЕННІ ПОРУШЕННЯ.

## ЗМІСТ

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                             | 7  |
| 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....                                               | 9  |
| 1.1 Вплив гірничих відвалів на довкілля .....                           | 10 |
| 1.2 Сучасні підходи до біологічної рекультивації порушених земель ..... | 11 |
| 1.3 Агрохімічні властивості порід техногенного походження .....         | 13 |
| 2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ<br>ДОСЛІДЖЕНЬ.....          | 15 |
| 2.1 Загальні природно-кліматичні умови Павлоградського району .....     | 16 |
| 2.2 Опис шахтного відвалу в місті Тернівка .....                        | 17 |
| 3. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....                                  | 21 |
| 3.1 Об'єкти дослідження .....                                           | 22 |
| 3.2 Методи хімічного і агрохімічного аналізу .....                      | 24 |
| 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....                                          | 26 |
| 4.1 Гранулометричний склад відвальної породи .....                      | 26 |
| 4.2 Хімічний склад породи .....                                         | 30 |
| 4.3 Вміст поживних елементів у породі .....                             | 32 |
| 4.4 Кислотно-лужна реакція та вміст органічної речовини .....           | 34 |
| 4.5 Властивості породи, важливі для рекультивації .....                 | 38 |
| 4.6 Перспективи використання для рослинного покриття .....              | 40 |
| 5. ОХОРОНА ПРАЦІ .....                                                  | 45 |
| ВИСНОВКИ .....                                                          | 49 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....                                                 | 51 |

## ВСТУП

Сучасна гірничодобувна промисловість, забезпечуючи потреби суспільства в паливно-енергетичних ресурсах, водночас значно впливає на навколишнє природне середовище. Однією з найбільш актуальних екологічних проблем є утворення техногенних ландшафтів, зокрема шахтних відвалів, що виникають у процесі вуглевидобутку. Такі утворення значно змінюють природну структуру ґрунтового покриву, погіршують екологічний стан територій та потребують заходів рекультивації для відновлення їхньої господарської цінності [46].

Місто Тернівка Павлоградського району є одним із центрів вугільної промисловості Західного Донбасу, де накопичено значну кількість шахтних відходів. В умовах зростаючого навантаження на навколишнє середовище постає необхідність у комплексному вивченні складу порід шахтного відвалу з метою визначення можливості їх подальшого використання у біологічній рекультивації [24].

Успішна рекультивація порушених земель потребує чіткого розуміння агрохімічних характеристик породи, її здатності до утримання вологи, наявності поживних елементів, кислотно-лужної реакції тощо. На основі таких даних можна розробити ефективні стратегії для відновлення родючості та створення стабільного рослинного покриву.

Мета дослідження - визначення хімічного складу та агрохімічних властивостей породи шахтного відвалу в місті Тернівка Павлоградського району з метою оцінки її придатності для біологічної рекультивації.

Об'єкт дослідження - Породи шахтного відвалу в місті Тернівка

Павлоградського району.

Предмет дослідження - Агрохімічні властивості та еколого-біологічний потенціал відвальної породи для застосування в процесах біологічної рекультивації порушених земель.

Основними завданнями дослідження є:

1. Здійснити загальну характеристику району дослідження.
2. Проаналізувати гранулометричний та хімічний склад відвальної породи.
3. Визначити агрохімічні показники: кислотно-лужну реакцію, вміст гумусу, макро- та мікроелементів.
4. Оцінити екологічну безпечність породи та її вплив на ріст рослин.
5. Надати рекомендації щодо можливостей використання породи для біологічної рекультивації.

## 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Проблема рекультивації земель, порушених внаслідок гірничої діяльності, зокрема вуглевидобутку, є надзвичайно актуальною для промислових регіонів України. Внаслідок утворення шахтних відвалів значно змінюється структура ґрунтів, погіршується екологічний стан територій, порушується гідрологічний режим і природна рослинність. Породи, що накопичуються у відвалах, як правило, характеризуються низькою родючістю, високим рівнем ущільнення, поганими водно-фізичними властивостями та значним вмістом токсичних сполук.

Агрохімічні дослідження породи відвалів засвідчують недостатній вміст поживних елементів, таких як азот, фосфор, калій, а також органічної речовини. Крім того, кислотно-лужна реакція часто відхиляється від нейтральної, що ускладнює розвиток рослинного покриву. Встановлено, що структура породи має високу щільність та недостатню водопроникність, що також перешкоджає формуванню сталих біоценозів [23].

Сучасні наукові підходи до вирішення проблеми відновлення порушених земель передбачають активне застосування методів біологічної рекультивації. Важливою умовою є попереднє обстеження складу породи для оцінки її придатності до впровадження озеленення та стабілізації поверхні. До ефективних заходів належить внесення органічних і мінеральних добрив, використання сидератів, фіторе mediaційних рослин, мікробіологічних препаратів, а також гідропосівів.

Отже можна сказати, що застосування комплексного підходу, який поєднує агрохімічний аналіз та екологічне проектування, є запорукою

успішної біологічної рекультивації шахтних відвалів. Такий підхід дозволяє не лише зменшити антропогенний вплив на довкілля, а й створити передумови для подальшого господарського використання територій.

### 1.1 Вплив гірничих відвалів на довкілля

Шахтні відвали суттєво змінюють ландшафт та мають комплексний негативний вплив на довкілля. В результаті видобутку корисних копалин формуються великі масиви породних відходів, які деформують поверхню, забирають значні площі родючих земель і змінюють природний рельєф. Процеси водної та вітрової ерозії, спричинені відсутністю захисного рослинного покриву, призводять до прискореного вимивання дрібних частинок породи у навколишні водні об'єкти, що сприяє їх замуленню і підвищенню турбулентності течій.

Верхові породи, складені у відвалах, часто ущільнені, мають знижену водопроникність, що порушує ґрунтовий і поверхневий водний режими. Це викликає заболочення або пересушування місцевості, підвищує ризик осідання ґрунту та формування зсувів. Водночас відвальна порода може містити токсичні елементи (солі важких металів, сірчані сполуки), котрі в умовах вивітрювання і фільтрації дощових вод надходять до ґрунту та водних об'єктів, викликаючи мінералізацію, засолення, кислотність і накопичення юними організмами.

Шахтні відвали також джерело пилу: дрібнодисперсні частинки, що заносяться вітром, можуть містити важкі метали та інші токсичні речовини, що забруднюють атмосферне повітря, осідають на поверхню ґрунтів та листя рослин, порушуючи фотосинтетичні процеси і газообмін у біоценозах. Це негативно відбивається на рослинному та тваринному світі прилеглих територій: знижується біомаса, погіршується якість води у водоймах,

зменшується чисельність водної фауни та змінюється структура екосистем [16].

Законодавчо забезпечується необхідність рекультивації відвалів – врегульовано способи будівництва, скиду відходів, нормування викидів і розроблено вимоги до відновлення земель після закінчення гірничої діяльності. Використання відвалів у межах екологічних мереж сприяє стабілізації водних і кисневих режимів та запобіганню ерозії, однак потребує якісних технологічних рішень – зокрема, заліснення, гідропосів, фіторекультивацію [3, 49].

Отже, гірничі відвали негативно впливають на ландшафт, гідрологію, структуру ґрунтів, атмосферне повітря та живу природу. Абсолютною умовою мінімізації шкоди є проведення системної рекультивації, зокрема біологічної, яка враховує агрохімічні властивості породи, применшує ерозію й сприяє відновленню екосистем.

## 1.2 Сучасні підходи до біологічної рекультивації порушених земель

Біологічна рекультивація є заключним етапом відновлення порушених гірничою діяльністю територій і спрямована на відновлення біологічної активності ґрунтів та створення стабільного рослинного покриву. Вона передбачає заходи, які сприяють відновленню функцій екосистем, зменшенню ерозійних процесів, поліпшенню агрохімічних показників техногенних субстратів та формуванню умов для сталого землекористування.

Сучасні підходи базуються на комплексному оцінюванні властивостей відвальної породи, що включає аналіз її гранулометричного складу, кислотно-лужної реакції, вмісту макро- і мікроелементів, рівня засоленості та фітотоксичності. Однією з ключових умов ефективної рекультивації є попереднє поліпшення фізико-хімічних параметрів субстрату за допомогою внесення органічних добрив (гній, компост, торф), мінеральних речовин

(вапно, фосфорити, калійні солі) або природних поліпшувачів структури, таких як глина чи мул [48, 50].

Окрім агрохімічного збагачення, активно застосовуються мікробіологічні препарати, що містять корисні ризосферні мікроорганізми, здатні фіксувати атмосферний азот, мобілізувати фосфор і стимулювати ріст кореневої системи рослин. Важливу роль відіграють мікоризні гриби, які утворюють симбіоз із корінням, покращуючи водо- і мінеральне живлення [33, 43].

На стадії озеленення використовуються швидкорослі і стійкі до несприятливих умов види рослин — злакові, бобові, а також сидерати (гірчиця, люпин, фацелія), які швидко формують зелений покрив, закріплюють ґрунт і накопичують біомасу. Після первинного озеленення можливе введення більш складних екосистем, зокрема штучних насаджень чагарників та деревостану, що сприяють формуванню вторинного ґрунтового профілю та відновленню лісових або степових біоценозів, характерних для регіону.

До інноваційних підходів належить гідропосів — технологія нанесення на поверхню субстрату суміші з насіння, води, мульчі, добрив та закріплювачів. Такий метод забезпечує рівномірне покриття та швидке укорінення рослин. Також застосовується фіторемедіація — використання рослин для вилучення або нейтралізації шкідливих речовин з субстрату [38].

Під час вибору методів біологічної рекультивації враховуються кліматичні умови, тип порушеної території, глибина техногенного порушення та перспективи подальшого землекористування (сільське господарство, лісове відновлення, рекреація тощо). Загалом, сучасна біологічна рекультивація поєднує традиційні агротехнічні прийоми з екобіотехнологіями та ландшафтним плануванням, що дозволяє досягти більш стійких результатів відновлення.

### 1.3 Агрохімічні властивості порід техногенного походження

Породи техногенного походження, що утворюються у результаті гірничодобувної діяльності, зокрема вугільної промисловості, є складним субстратом, який за своїми властивостями суттєво відрізняється від природних ґрунтів. Основними агрохімічними характеристиками таких порід є вміст органічної речовини, кислотно-лужна реакція, гранулометричний склад, рухомі форми макро- та мікроелементів, а також присутність фітотоксичних речовин [51].

Однією з головних проблем є вкрай низький вміст гумусу — здебільшого нижче 0,5–1,0 %, що значно обмежує біологічну активність та здатність субстрату до самоорганізації й самовідновлення. Через відсутність органіки такі породи практично не мають структури, мають високу щільність та погану водопроникність. Це утруднює розвиток кореневої системи рослин, порушує водний режим і знижує загальну біопродуктивність техногенного ландшафту.

Кисотно-лужна реакція таких порід може бути як різко кислою ( $\text{pH} < 4,5$ ), особливо при наявності сульфідів, так і сильно лужною ( $\text{pH} > 8$ ), що часто пов'язано з домішками карбонатів або зольного матеріалу. У таких умовах мікроелементи переходять у важкодоступні форми, а токсичні метали (залізо, марганець, алюміній) — навпаки, стають більш мобільними, що негативно впливає на життєдіяльність рослин [7].

Ще однією важливою характеристикою є вміст основних поживних елементів. У переважній більшості техногенних порід відзначається значний дефіцит рухомого азоту (зокрема нітратної та амонійної форм), легкодоступного фосфору та калію. Існуючі елементи переважно зв'язані у недоступні для рослин форми, що потребує або тривалого природного вивітрювання, або активного хімічного та біологічного втручання.

Також нерідко техногенні породи містять солі важких металів (свинець, кадмій, цинк, мідь), які здатні акумулюватися в біомасі рослин та впливати

на стан ґрунтових мікроорганізмів. Залежно від глибини залягання та походження, ці елементи можуть проявляти як прямий токсичний ефект, так і гальмувати розвиток симбіотичних систем (наприклад, мікоризи або бульбочкових бактерій) [45].

Для оцінки придатності породи до біологічної рекультивації проводиться комплексне агрохімічне обстеження. До нього входить аналіз кислотності, електропровідності, об'ємної щільності, вмісту загального і рухомого азоту, легкогідролізованих сполук фосфору, обмінного калію, а також кількісна оцінка вмісту мікроелементів і шкідливих домішок. У разі виявлення несприятливих характеристик рекомендується використання мінеральних добрив (амофос, суперфосфат, калійна селітра), органічних добавок (компост, біогумус), поліпшувачів структури (мул, глина, торф) і мікробіологічних препаратів.

Для забезпечення сприятливого середовища важливо досягти таких цільових показників: рН в межах 6,0–7,5, вміст гумусу не менше 2 %, вміст доступного фосфору та калію не нижче за агрономічно рекомендовані межі, щільність субстрату на рівні 1,3–1,5 г/см<sup>3</sup>. Лише за таких умов можлива стійка фітоінвазія, розвиток мікробіоти та формування повноцінного гумусового горизонту [41].

Загалом можна сказати, що породи техногенного походження мають вкрай обмежені агрохімічні якості і не можуть самостійно забезпечити функціонування біоценозів. Для їх ефективного використання в рекультивації необхідне поєднання агрохімічної оцінки з технологічним доопрацюванням — фізичним, хімічним і біологічним — що дозволяє перетворити ці породи на функціональні ґрунтозаміни.

## 2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Місто Тернівка Павлоградського району Дніпропетровської області, нині місто й адміністративний центр Тернівської громади, розташоване на сході області, приблизно за 20 км від Павлограда (рис.2.1).



Рисунок 2.1. – Досліджуваний район поблизу міста Тернівка

Місто Тернівка розташоване у Західному Донбасі, що є частиною Придніпровської низовини. Рельєф місцевості рівнинний, із незначними перепадами висот, сформований лесовидними відкладами, з курганом бронзової доби поблизу, а річки створюють звивисті русла, стариці, лимани та заболочені ділянки. Ґрунти представлені середньогумусними чорноземами, переважно солонцюватими. Гідрологічно регіон визначається річками Самара та Велика Тернівка, які формують заболочені ділянки, а водоносні горизонти забезпечують водопостачання. Природна рослинність

степова, із злаковими та різнотравними асоціаціями, але значно змінена сільським господарством і вуглевидобутком. Історично територія була вкрита заростями терну, що дало назву поселенню.

## 2.1 Загальні природно-кліматичні умови Павлоградського району

Павлоградський район Дніпропетровської області, розташований у східній частині регіону, належить до Західного Донбасу в межах Придніпровської низовини, що зумовлює його природно-кліматичні особливості. Територія району характеризується рівнинним рельєфом із незначними перепадами висот, сформованим лесовидними відкладами, які є основою для ґрунтоутворення. Переважають середньогумусні чорноземи, часто солонцюваті, з глибиною гумусового горизонту 80–100 см, на лесовидних суглинках легкоглинистого механічного складу, що забезпечує високу родючість, але потребує заходів для боротьби із засоленням [4].

Підземні води приурочені до відкладів четвертинної, тріасової та кам'яновугільної систем, формуючи водоносні горизонти, які використовуються для водопостачання, але можуть спричиняти заболочення низинних ділянок.

Гідрологічна мережа представлена річками Самара, Вовча та їхніми притоками, зокрема Велика Тернівка, які мають звивисті русла, утворюючи лимани, стариці та заболочені озера. Клімат району помірно-континентальний, із м'якою зимою (середня температура січня  $-4...-6$  °C), теплим літом (середня температура липня  $+20...+22$  °C) і достатньою кількістю опадів (450–550 мм на рік), що забезпечує гідротермічний коефіцієнт 1,3–2,0. Це створює сприятливі умови для вирощування зернових культур (озима пшениця, ячмінь, кукурудза), соняшнику та інших сільськогосподарських культур. Природна рослинність належить до степового типу з переважанням злакових і різнотравних асоціацій, але

значною мірою трансформована внаслідок інтенсивного сільськогосподарського використання та вуглевидобувної діяльності, адже район багатий на поклади кам'яного вугілля, що вплинуло на геологічну та екологічну специфіку [20].

Геологічна будова включає відклади кам'яновугільної системи, які є основою для вугільних родовищ, а також четвертинні відклади, що формують сучасний рельєф. Антропогенний вплив, зокрема розвиток вугільної промисловості та сільського господарства, призвів до змін природних ландшафтів, зокрема до деградації ґрунтів, ерозії та забруднення водних об'єктів. Водночас природно-кліматичні умови залишаються сприятливими для аграрного сектору, що становить основу економіки району.

## 2.2 Опис шахтного відвалу в місті Тернівка

Шахтний відвал у місті Тернівка Павлоградського району Дніпропетровської області є однією з ключових техногенних форм рельєфу, що утворилася внаслідок діяльності вуглевидобувної промисловості Західного Донбасу.

Відвал розташований у межах міста, і пов'язаний із роботою шахти «Західно-Донбаська», що функціонує з 1950-х років. Цей об'єкт являє собою значний за об'ємом накопичувач породи, видобутої під час розробки вугільних пластів кам'яновугільної системи, і складається переважно з глинистих сланців, пісковиків, аргілітів та інших порід, що не мають промислової цінності.

Візуально відвал має форму конічного або трапецієподібного пагорба, висота якого може сягати кількох десятків метрів, залежно від тривалості експлуатації та обсягів накопичення. Поверхня відвалу нерівна, з крутими схилами, що ускладнює природну рекультивацію та сприяє ерозійним

процесам, зокрема водній та вітровій ерозії, особливо в умовах помірно-континентального клімату з достатньою кількістю опадів та сильними вітрами (рис.2.2-2.3) [53].



Рисунок 2.2. – Вигляд зверху на шахтний відвал в місті Тернівка



Рисунок 2.3 - Верхня частина плато відвалу шахти "Західно-Донбаська" в місті Тернівка [53]

Хімічний склад породи відвалу характеризується підвищеним вмістом сірки, оксидів заліза, алюмінію та інших мінералів, що можуть впливати на

навколишнє середовище через вимивання токсичних речовин у ґрунті та поверхневі води, зокрема річки Самара та Велика Тернівка, які протікають неподалік.

Відвал також є джерелом пилового забруднення, оскільки дрібнодисперсні частки породи легко піднімаються вітром, погіршуючи якість повітря в місті. Рослинність на відвалі розвивається повільно через бідність ґрунтового покриву, високу кислотність та низький вміст органічних речовин, хоча в окремих ділянках спостерігаються піонерні види, такі як злакові трави чи чагарники (рис.2.4) [10, 53].

Температурний режим відвалу може бути зміненим через процеси окислення сульфідів, що призводять до локального нагрівання породи, іноді до десятків градусів за Цельсієм, що ускладнює рекультивацію. Екологічний вплив відвалу проявляється у деградації прилеглих земель, зміні гідрологічного режиму та погіршенні умов проживання місцевих мешканців.



Рисунок 2.4 - Панорамний краєвид відвалу шахти "Західно-Донбаська" в місті Тернівка [53]

Для зменшення негативного впливу на відвалі проводяться заходи з укріплення схилів, засипання верхнього шару родючим ґрунтом та заліснення, однак ці роботи виконуються нерегулярно через обмежене фінансування. Відвал також має певний економічний потенціал, оскільки в породі можуть міститися мікроелементи чи вторинна сировина, придатна для використання в будівельній чи хімічній промисловості, але такі можливості в Тернівці поки що не реалізовані. Загалом шахтний відвал у Тернівці є типовим прикладом техногенного об'єкта, що відображає наслідки вуглевидобутку в Західному Донбасі, поєднуючи екологічні виклики з потенціалом для рекультивації та подальшого використання [46].

А отже шахтний відвал у місті Тернівка є значним техногенним об'єктом, що формує локальний ландшафт та впливає на екологічний стан регіону. Його характеристики, такі як хімічний склад, ерозійні процеси та низька природна регенерація, створюють виклики для довкілля, але за умови належної рекультивації відвал може бути частково інтегрований у природне середовище або використаний для господарських потреб.

### 3. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження було проведено на території шахтного відвалу, розташованого в місті Тернівка Павлоградського району Дніпропетровської області. Основною метою дослідження є вивчення агрохімічних властивостей породи з метою визначення її придатності до біологічної рекультивації. Відбір проб здійснювався відповідно до вимог чинних стандартів (ДСТУ 4287:2004) на трьох глибинах: 0–10 см, 10–30 см і 30–50 см. У кожному випадку формувалися об'єднані зразки з п'яти точок, що дозволяло отримати репрезентативну середню пробу для кожного шару.

Аналіз породи проводився в агрохімічній лабораторії із застосуванням класичних методик. Гранулометричний склад визначався ситовим класичним методом. Реакція середовища (pH) оцінювалася потенціометричним методом як у водній, так і в сольовій витяжці. Гідролітичну кислотність визначали методом Капена. Вміст гумусу аналізувався за методом Тюріна з окисненням хромовою сумішшю. Для визначення вмісту поживних речовин застосовували метод Чирікова з ацетатно-амонійним буфером, що дозволяло оцінити кількість рухомих форм фосфору та калію [47].

Мікроелементи досліджувалися за допомогою атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Статистична обробка результатів виконувалася з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel та Statistica 10.0, що дало змогу провести варіаційний аналіз, обчислити середні значення, стандартні відхилення та коефіцієнти варіації. Для оцінки потенційної придатності породи до біологічної рекультивації було застосовано комплексний підхід, що включає як агрохімічні показники, так і екологічну безпеку, а також враховується можливість поліпшення властивостей породи

шляхом внесення органічних і мінеральних компонентів.

### 3.1 Об'єкти дослідження

Об'єктами дослідження є породи шахтного відвалу, розташованого поблизу міста Тернівка Павлоградського району, Дніпропетровської області. Відвал представляє собою штучний насип шахтно-відвальних порід, що утворився в результаті тривалої експлуатації місцевих вугільних шахт. Внаслідок обстеження породного відвалу шахти «Західно-Донбаська» встановлено, що площа основи породного відвалу становить 25,8 га, форма відвалу рівна, максимальна висота 60 м, об'єм відваленої породи 7383 тис. м<sup>3</sup> породи, кут нахилу в зоні відвалу за контуром відвалу 37–39°, зольність 86,3 %, вміст сірки 0,41 %, насипна щільність 2400 кг/м<sup>3</sup>. На рисунку 3.1 наведено передгір'я відвалу [53]. Місцевість рівна, з дрібними насипами породи, переважно сірого кольору.



Рисунок 3.1 - Передгір'я відвалу шахти «Західно-Донбаська» [53]

Також, важливо розглянути схил відвалу [53]. Він крутий, покритий сірим та темним техногенним ґрунтом, із помітними слідами ерозії та руху техніки (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 - Схил відвалу шахти «Західно-Донбаська» [53]

За час утворення складу порід зазнали часткового самостійного упорядкування, при цьому формувалося своєрідне агрохімічне середовище, зокрема варіювання рН, концентрацій рухомих форм макро- та мікроелементів, вмісту органічної речовини, а також присутність потенційно токсичних хімічних елементів. У межах дослідницького проєкту було відібрано серію проб із трьох глибинних горизонтів: верхнього (0–10 см), середнього (10–30 см) і глибшого (30–50 см), щоб охопити різні стадії сформованості породно-хімічного профілю. Кожен зразок отримано шляхом об'єднання проб із п'яти різних точок на площі відвалу, що забезпечило його репрезентативність.

Особлива увага приділялася виявленню порід з підвищеним вмістом

важких металів та оцінці їх просторового розподілу — факторів, які є ключовими при розробці рекомендацій щодо біологічної рекультивації. Результатом попереднього огляду стало підтвердження різної ступені фізико-хімічної неоднорідності відвалу, що накладає вимоги до багатоетапного підходу — зокрема, визначення потреби у додаткових ґрунтоутворювальних матеріалах (чорнозем, компост), вапняних аменізантах та мікродобривах. Таким чином, комплексний аналіз відібраних зразків дозволяє не лише оцінити їх поточний агрохімічний статус, але й спланувати адекватну стратегію відновлення з урахуванням умов довкілля, фізико-хімічних обмежень і можливого токсичного навантаження [22].

### 3.2 Методи хімічного і агрохімічного аналізу

Для оцінки складу та агрохімічних властивостей породи шахтного відвалу в місті Тернівка були використані загальноприйняті методи хімічного і агрохімічного аналізу, що дозволяють точно і надійно визначити її придатність для біологічної рекультивації.

Основними об'єктами визначення стали: кислотність середовища, вміст гумусу, рухомі форми фосфору і калію, вміст мікроелементів, а також гідролітична кислотність та загальна мінералізація. Для визначення реакції середовища (рН) використовували потенціометричний метод з приготуванням водної (1:2,5) та сольової (0,1 н. KCl) витяжок [4].

Вміст гумусу визначали методом Тюріна, який базується на окисненні органічної речовини хромовою сумішшю з наступним фотометричним визначенням. Рухомі форми фосфору і калію аналізували методом Чирікова з використанням ацетатно-амонійного буферу (рН 4,8), після чого концентрації визначалися фотометрично та полуменево-фотометричним методом відповідно.

Вміст мікроелементів (заліза, марганцю, міді, цинку) досліджували за допомогою атомно-абсорбційної спектрофотометрії, що дозволяє з високою точністю виявити навіть слідові концентрації. Гідролітична кислотність визначалася за методом Капена, що базується на титруванні зразка після обробки 1 н. розчином ацетату натрію.

Гранулометричний склад породи досліджувався ситовим класичним методом, що дозволило оцінити механічний склад зразків і зробити висновки щодо їх водно-фізичних властивостей [8].

Використання саме цих методів дало змогу комплексно проаналізувати хімічні та агрохімічні властивості породи, зважаючи як на її потенційну токсичність, так і на можливість для покращення шляхом рекультивації.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1 Гранулометричний склад відвальної породи

Вивчення гранулометричного складу породи шахтного відвалу є важливою складовою комплексної оцінки її фізичних властивостей та потенціалу для біологічної рекультивації. Аналіз проводився за ситовим класичним методом седиграфії відповідно до ДСТУ 7863:2015, що дозволяє визначити процентне співвідношення основних фракцій: піщаної, пилюватої та глинистої.

Результати дослідження свідчать, що порода характеризується пилювато-піщаним складом із домінуванням дрібнопіщаної фракції (табл.4.1).

Таблиця 4.1- Гранулометричний склад породи шахтного відвалу в місті  
Тернівка

| Показники               | Верхнє плато       | Схил відвалу       | Підніжжя відвалу   |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Гранулометричний склад: | Супіщаний суглинок | Супіщаний суглинок | Супіщаний суглинок |
| Глина, %                | 8.75               | 6.25               | 10.00              |
| Мул, %                  | 16.25              | 21.25              | 20.00              |
| Пісок, %                | 75.00              | 72.50              | 70.00              |

За результатами аналізів, на плато гранулометричний склад відповідав значенню супіску, в якому розподіл розмірів частинок був наступним: глина – 8,75 %, мул – 16,25 %, пісок – 75,00 %. На схилах відвалу гранулометричний склад відповідає тому ж класу, що й на плато – супісок з

розподілом глини – 6,25 %, мулу – 21,25 %, піску – 72,50 %. Підніжжя породного відвалу також представлене супіском, в якому глина становила 10,00 %, мулу – 20,00 %, піску – 70,00 % [37, 19].

Для того, щоб провести оцінку наведених даних, важливо розглянути рисунок 4.1.

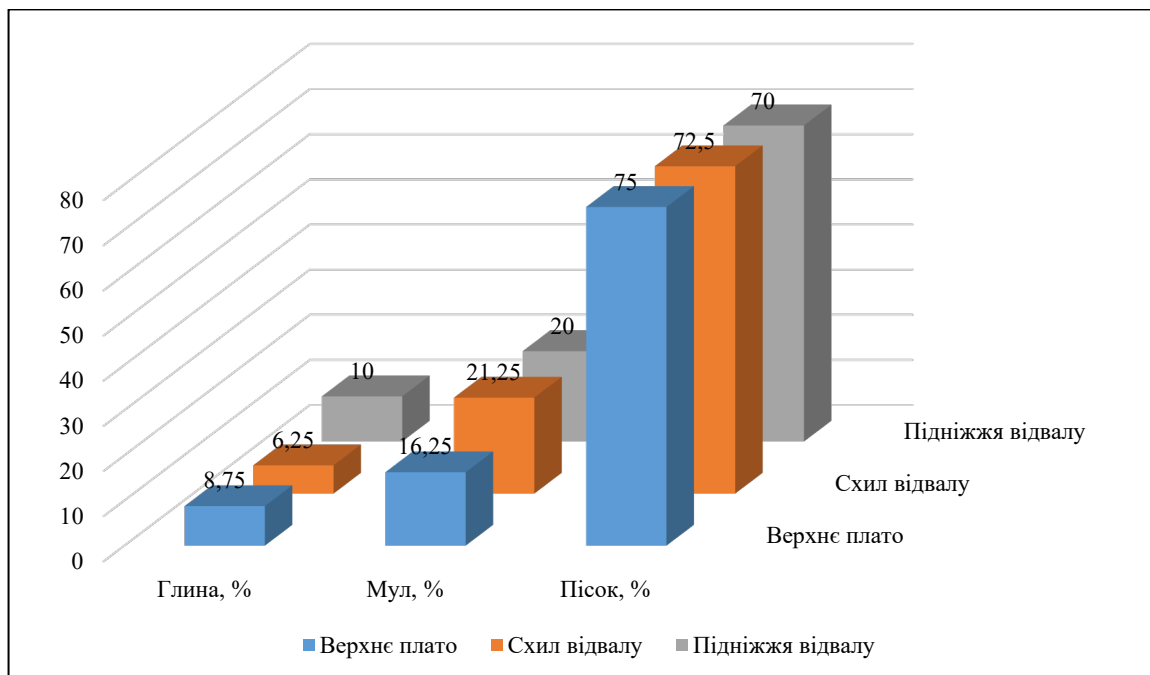


Рисунок 4.1 – Гранулометричний склад породи відвалу

На графіку видно, що у всіх трьох ділянках домінує пісок — його кількість найбільша порівняно з іншими фракціями. Найбільша концентрація піску спостерігається на верхньому плато, дещо менша — на схилі, а ще менша — в підніжжі. Мул присутній у помірній кількості в усіх трьох зонах, але його більше на схилі відвалу та в підніжжі, ніж на верхньому плато. Це свідчить про накопичення дрібніших частинок внизу схилу через ерозійні процеси. Глина є найменшою складовою у всіх ділянках. Її частка найбільша в підніжжі відвалу, де ймовірно осідають найдрібніші частинки. На верхньому плато та на схилі її значно менше.

Отже, діаграма демонструє, як змінюється склад ґрунту залежно від рельєфу: крупніші частинки переважають угорі, а дрібніші накопичуються внизу, що типово для зон техногенного впливу.

В таблиці 4.2 наведений детальний опис структурно-агрегатного стану породи шахтного відвалу.

Таблиця 4.2- Структурно-агрегатний стан породи шахтного відвалу в місті Тернівка

| Показники                                      | Верхнє плато | Схил відвалу | Підніжжя відвалу |
|------------------------------------------------|--------------|--------------|------------------|
| Частки менше 0,25 мм, %                        | 12.56        | 16.40        | 1.57             |
| Сума часток більше 10 мм, %                    | 10.11        | 5.30         | 14.47            |
| Сума частинок менше 0,25 мм та більше 10 мм, % | 77.33        | 21.70        | 16.04            |
| Сума частинок від 0,25 до 10 мм, %             | 22.67        | 78.30        | 83.96            |
| Коефіцієнт структурності ґрунту                | 3.41         | 3.61         | 5.23             |
| Сухий залишок, %                               | 0.30         | 0.39         | 1.73             |

Отримані дані свідчать про те, що відвальна порода має низьку здатність до утримання вологи, погану агрегатну структуру та недостатню водостійкість. Ці характеристики створюють несприятливі умови для проростання та укорінення рослин, особливо в умовах посушливого клімату або нестабільного зволоження. Також важливо розглянути ці дані у вигляді діаграми (рис.4.2).

За гранулометричними показниками порода потребує поліпшення структури шляхом внесення органічної речовини (торф, компост, перегній), яка покращить водоутримувальну здатність, повітропроникність та створить сприятливі умови для розвитку мікрофлори й фітобіоти. Крім того, доцільним є застосування агротехнічних прийомів, спрямованих на

формування поверхневого родючого шару з механічним складом, оптимальним для росту культурних рослин.

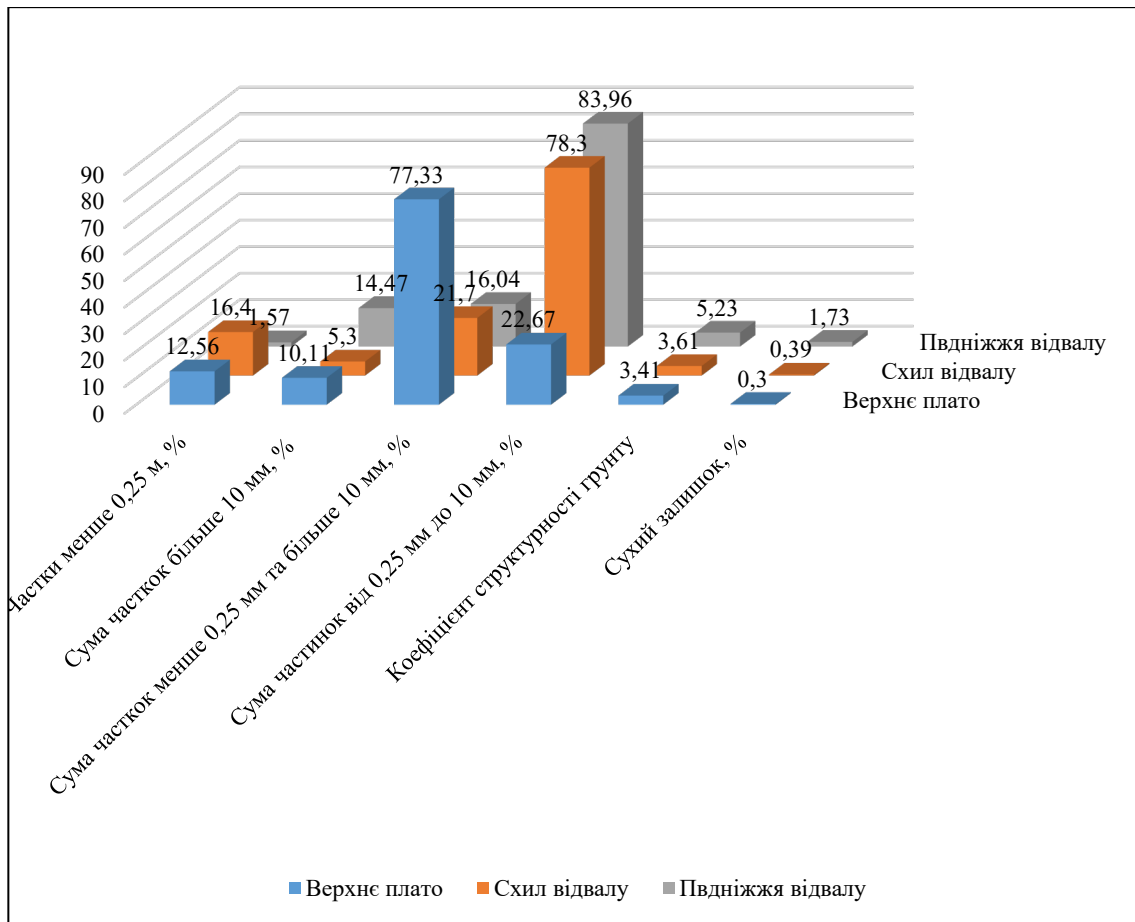


Рисунок 4.2 - Структурно-агрегатний стан породи шахтного відвалу

Зображена діаграма демонструє структурно-агрегатний стан породи шахтного відвалу на трьох ділянках — верхньому плато, схилі відвалу та підніжжі. Вона дозволяє порівняти фізичні властивості ґрунту на різних рівнях накопичення породи. Найкращі структурні характеристики має порода на підніжжі відвалу. Тут спостерігається найвищий рівень структурованості ґрунту, що вказує на кращу стабільність і фізико-механічний стан породи. Також ця зона характеризується меншою кількістю дрібних фракцій і більшою часткою великих агрегатів, що сприяє кращому повітрообміну та водопроникності. На схилі відвалу ситуація гірша: тут найбільше дрібнодисперсних частинок, що може спричиняти зниження стійкості породи, погіршення аерації та водопроникності. Верхнє плато займає

проміжну позицію за більшістю показників, демонструючи середній рівень структурованості.

Загалом, аналіз свідчить про те, що фізичний стан породи змінюється залежно від розташування на відвалі. Підніжжя накопичує більш стабільні й структуровані фракції, що може бути корисним для подальшої рекультивації та екологічного відновлення територій.

#### 4.2 Хімічний склад породи

Хімічний аналіз породи шахтного відвалу, розташованого в місті Тернівка, дозволив оцінити вміст макро- та мікроелементів, кислотність середовища, а також наявність потенційно токсичних сполук (табл.4.3). Ці дані є критично важливими для прийняття рішень щодо можливостей та обмежень біологічної рекультивації території.

Таблиця 4.3 - Хімічний склад породи шахтного відвалу на різних глибинах

| Показник                                | Глибина залягання |          |          |
|-----------------------------------------|-------------------|----------|----------|
|                                         | 0-10 см           | 10-30 см | 30-50 см |
| pH (водна витяжка)                      | 6,1               | 5,6      | 5,4      |
| pH (сольова витяжка, 0,1 н KCl)         | 5,3               | 5,0      | 4,8      |
| Гідролітична кислотність (мг-екв/100 г) | 1,2               | 2,5      | 3,5      |
| Залізо (Fe), мг/кг                      | 190               | 200      | 210      |
| Марганець (Mn), мг/кг                   | 45                | 48       | 50       |
| Мідь (Cu), мг/кг                        | 10                | 9        | 8        |
| Цинк (Zn), мг/кг                        | 18                | 15       | 12       |
| Електропровідність (мОм/см)             | 0,28              | 0,26     | 0,24     |

Показники вмісту важких металів не перевищують критичних рівнів для ґрунтів згідно з санітарно-гігієнічними нормативами, проте у деяких локальних зразках зафіксовано підвищений рівень марганцю та заліза, що вимагає подальшого моніторингу при довгостроковій рекультивації.

Для більш детального аналізу отримані результати представлені у вигляді діаграм (рис.4.3-4.4).

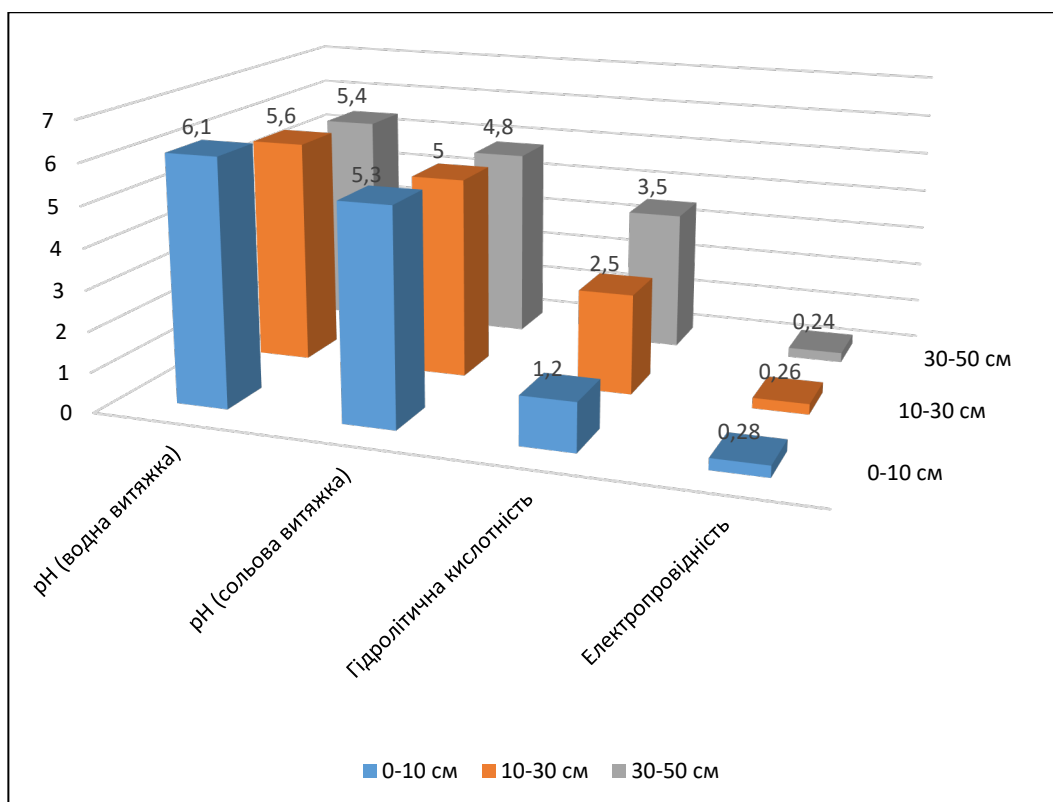


Рисунок 4.3 - Хімічний склад породи шахтного відвалу на різних глибинах

Реакція середовища (pH) коливається від 5,4 до 6,1 у водній витяжці, що свідчить про слабокислий характер середовища. У сольовій витяжці pH був ще нижчим – 4,8–5,3, що вказує на наявність потенційної кислотності, особливо у глибших горизонтах.

Гідролітична кислотність становила від 1,2 до 3,5 мг-екв/100 г, що є свідченням високої насиченості породи кислими основами, які можуть негативно впливати на кореневу систему рослин та мікробіоту.

Вміст розчинних солей був низьким, показники електропровідності витяжки не перевищували 0,3 мОм/см, що підтверджує відсутність засоленості.

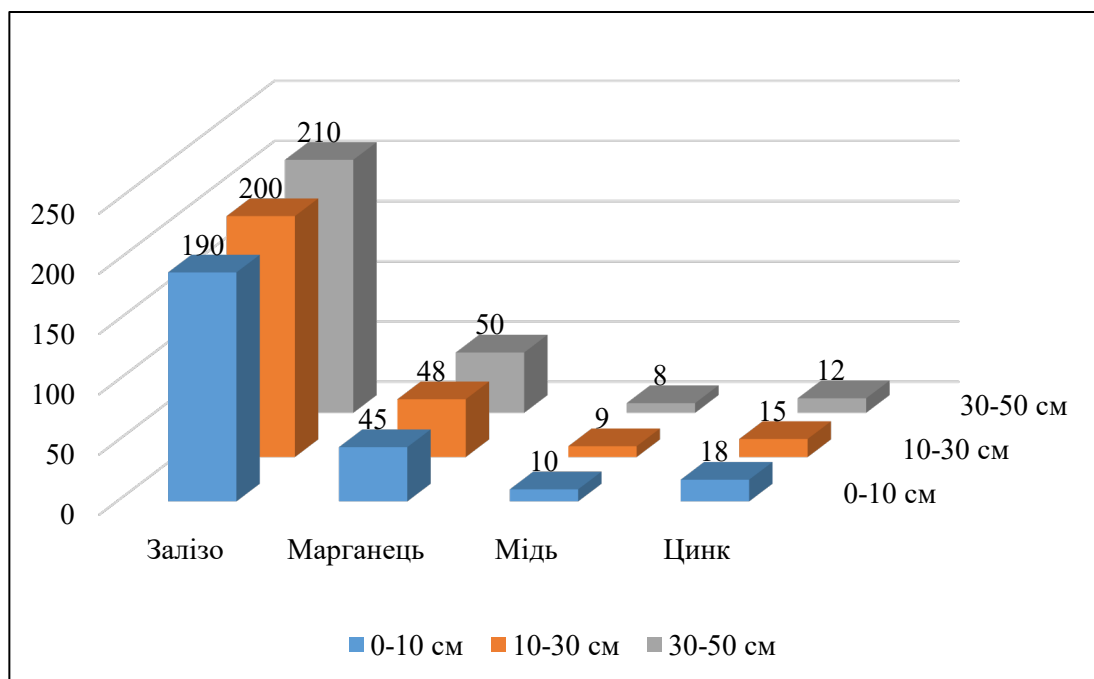


Рисунок 4.4 – Вміст важких металів у породі шахтного відвалу на різних глибинах

Таким чином, хімічний склад породи свідчить про її обмежену агрохімічну цінність у природному стані. Однак за умов проведення відповідних меліоративних заходів, таких як нейтралізація кислотності (вапнування), внесення добрив і органіки, порода може бути використана як основа для формування родючого шару у процесі біологічної рекультивації. Важливим є також періодичний моніторинг рівня важких металів, особливо у зонах з підвищеною концентрацією сульфідних мінералів [31].

#### 4.3 Вміст поживних елементів у породі

Для оцінки придатності породи шахтного відвалу в місті Тернівка

Павлоградського району для біологічної рекультивації було проведено детальний аналіз вмісту основних поживних елементів, необхідних для росту рослин, таких як азот, фосфор, калій, а також органічна речовина і мікроелементи. Дослідження проводилися на зразках породи, відібраних з різних глибин відвалу (0–10 см, 10–30 см, 30–50 см), щоб оцінити вертикальний розподіл поживних речовин і їх доступність для рослин. Отримані дані свідчать про низьку природну родючість породи, що зумовлено її техногенним походженням і обмеженим вмістом поживних елементів, необхідних для створення стійкого рослинного покриву [40].

Нижче наведено таблицю 4.4 з результатами аналізу вмісту поживних елементів у зразках породи, відібраних із різних глибин шахтного відвалу.

Таблиця 4.4 - Вміст поживних речовин у різних глибинах шахтного відвалу

| Глибина відбору | Азот (N) % | Фосфор (P) мг/кг | Калій (K) мг/кг | Гумус % |
|-----------------|------------|------------------|-----------------|---------|
| 0-10 см         | 0,12       | 18               | 95              | 0,45    |
| 10-30 см        | 0,08       | 14               | 70              | 0,30    |
| 30-50 см        | 0,05       | 10               | 55              | 0,20    |

Аналіз показав, що вміст загального азоту в породі є низьким на всіх глибинах, що вказує на значний дефіцит цього елемента для забезпечення нормального росту рослин.

Доступний фосфор також характеризується низькими або середніми значеннями, що може обмежувати розвиток кореневої системи рослин і потребує корекції шляхом внесення фосфорних добрив. Вміст обмінного калію є відносно вищим, особливо в верхньому шарі, що забезпечує певну базу для початкового етапу рекультивації, однак на більших глибинах його концентрація знижується, що може створювати труднощі для

глибококоренових рослин. Органічна речовина в породі присутня в мінімальних кількостях, що суттєво знижує здатність породи утримувати вологу та поживні речовини, ускладнюючи створення родючого шару [2].

Результати аналізу підтверджують, що порода шахтного відвалу має низьку природну родючість і потребує значних агрохімічних заходів для підготовки до біологічної рекультивації [41]. Для підвищення родючості рекомендується комплексний підхід, який включає внесення органічних добрив (наприклад, компосту або гною), мінеральних добрив із високим вмістом азоту і фосфору, а також мікродобрив для корекції дефіциту мікроелементів. Крім того, для покращення структури породи та її вологоутримуючої здатності доцільно використовувати рослини-азотфіксатори та сидерати, які сприятимуть накопиченню органічної речовини та поживних елементів у верхніх шарах [11].

#### 4.4 Кислотно-лужна реакція та вміст органічної речовини

Для оцінки придатності породи шахтного відвалу в місті Тернівка Павлоградського району Дніпропетровської області для біологічної рекультивації було проведено детальний аналіз кислотно-лужної реакції (рН) та вмісту органічної речовини в зразках породи, відібраних із різних глибин (0–10 см, 10–30 см, 30–50 см). Ці параметри є визначальними для розуміння агрохімічних властивостей субстрату, його здатності підтримувати ріст рослин, утримувати вологу, забезпечувати поживні елементи та створювати умови для формування стійкого рослинного покриву. Оскільки шахтні відвали є техногенними об'єктами, їхні властивості значно відрізняються від природних ґрунтів, що зумовлює необхідність ретельного аналізу та спеціальних агротехнічних заходів для підготовки до рекультивації [21].

Нижче наведено таблицю з результатами аналізу кислотно-лужної реакції та вмісту органічної речовини в зразках породи, відібраних із різних глибин шахтного відвалу:

Кислотно-лужна реакція породи є одним із ключових факторів, що впливають на доступність поживних елементів для рослин, активність мікроорганізмів і загальну придатність субстрату для рекультивації.. Розглянути детальні значення щодо кислотно-лужних реакцій та вмісту органічної речовини в зразках породи на різній глибині відбору, можна в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Кислотно-лужні реакції та вміст органічної речовини в зразках породи на різній глибині відбору

| Глибина відбору, см | pH (водна витяжка) | Органічна речовина г/м <sup>2</sup> , % | Рекомендації                                                            |
|---------------------|--------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 0-10                | 6,8-7,2            | 150-200 (0,40-0,45)                     | Внесення органічних добрив (20–30 т/га), висів сидератів                |
| 10-30               | 6,2-6,6            | 100-130 (0,25-03)                       | Внесення органічних добрив (15–25 т/га), часткове вапнування (1–2 т/га) |
| 30-50               | 5,8-6,2            | 50-80 (до 0,2)                          | Вапнування (2–5 т/га), внесення органічних добрив (10–20 т/га)          |

Аналіз зразків породи показав значну варіабельність pH залежно від глибини відбору. У верхньому шарі (0–10 см) значення pH коливається в межах 6,8–7,2, що відповідає слабокислій до нейтральної реакції середовища. Такий діапазон є оптимальним для більшості сільськогосподарських і рекультиваційних рослин, таких як люцерна, конюшина, багаторічні трави чи

деревні культури, оскільки забезпечує хорошу розчинність і доступність макроелементів (азоту, фосфору, калію) та мікроелементів (заліза, марганцю, цинку). Нейтральна реакція також сприяє активності ґрунтових мікроорганізмів, які беруть участь у процесах гумусоутворення та азотфіксації [21, 37].

На глибині 10–30 см значення рН знижується до 6,2–6,6, що характеризується як слабокисла реакція. Хоча цей діапазон все ще є прийнятним для багатьох рослин, він може обмежувати доступність деяких поживних елементів, зокрема фосфору, який утворює важкорозчинні сполуки в кислому середовищі. Крім того, слабокисла реакція може підвищувати розчинність токсичних елементів, таких як алюміній, що негативно впливає на кореневу систему рослин. На глибині 30–50 см рН становить 5,8–6,2, що відповідає кислій реакції середовища. Такий рівень кислотності є несприятливим для більшості рослин, оскільки може викликати дефіцит кальцію, магнію та інших катіонів, а також підвищувати токсичність алюмінію та марганцю. Для корекції кислотності на глибших горизонтах рекомендується проведення вапнування з використанням мелених вапнякових матеріалів (наприклад, вапняку, доломітового борошна або крейди) у дозах 2–5 т/га залежно від буферної ємності породи. Вапнування не лише нейтралізує кислотність, але й покращує структуру субстрату, сприяючи агрегації часток і підвищенню вологоутримуючої здатності [27, 42].

Вміст органічної речовини в породі шахтного відвалу є критично низьким, що є типовою характеристикою техногенних субстратів, які формуються з порід, витягнутих із шахт. Органічна речовина відіграє ключову роль у формуванні родючості, оскільки впливає на вологоутримуючу здатність, буферність, структуру субстрату та забезпечує рослини поживними елементами, що вивільняються в процесі мінералізації. Аналіз зразків показав, що у верхньому шарі (0–10 см) вміст органічної речовини становить 150–200 г/м<sup>2</sup>, що еквівалентно 0,40–0,45% за масою. Цей

показник є значно нижчим за мінімально необхідний для природних ґрунтів (2–3%), що вказує на низьку природну родючість і обмежену здатність породи підтримувати ріст рослин без додаткових агрохімічних заходів [25].

На глибині 10–30 см вміст органічної речовини знижується до 100–130 г/м<sup>2</sup> (0,25–0,3%), а на глибині 30–50 см становить лише 50–80 г/м<sup>2</sup> (<0,2%). Така тенденція зменшення вмісту органічної речовини з глибиною зумовлена відсутністю природних процесів гумусоутворення в техногенних субстратах і мінімальним надходженням органічного матеріалу в глибші шари. Низький вміст органічної речовини призводить до слабкої структури породи, її низької вологоутримуючої здатності та обмеженої здатності утримувати поживні елементи, що ускладнює створення стійкого рослинного покриву. Для підвищення вмісту органічної речовини рекомендується внесення органічних добрив, таких як гній (20–40 т/га), компост (15–30 т/га) або торф (10–20 т/га). Крім того, ефективним заходом є висів сидеральних культур, таких як люпин, вика, гірчиця або редька олійна, які не лише збагачують субстрат органічною речовиною, але й сприяють азотфіксації та покращенню структури породи. Застосування біопрепаратів на основі ґрунтових мікроорганізмів (наприклад, азотобактеру чи мікоризних грибів) також може прискорити процеси гумусоутворення та підвищити біологічну активність субстрату.

Отримані дані свідчать, що порода шахтного відвалу в Тернівці має обмежену придатність для біологічної рекультивації через кислу реакцію середовища на глибших горизонтах і критично низький вміст органічної речовини. У верхньому шарі (0–10 см) кислотнo-лужна реакція є сприятливою (слабокисла до нейтральної), що дозволяє розпочати рекультивацію без значної корекції рН, але на глибині 30–50 см необхідне вапнування для нейтралізації кислотності. Низький вміст органічної речовини на всіх глибинах потребує активного внесення органічних добрив і використання сидеральних культур для поступового відновлення родючості. Комплексний підхід, що включає вапнування, внесення органічних і

мінеральних добрив, а також висів рослин-азотфіксаторів, сприятиме створенню умов для формування стійкого рослинного покриву та довгострокового відновлення техногенного ландшафту [28].

#### 4.5 Властивості породи, важливі для рекультивації

Аналіз властивостей відвальної породи шахтного відвалу в місті Тернівка показав, що порода має як низку обмежень, так і потенціал для відновлення екологічного функціонування ділянки за умови правильного підходу до біологічної рекультивації.

Однією з ключових характеристик є реакція середовища. Порода має слабокислий до кислий рН, що може гальмувати поглинання деяких поживних речовин (особливо кальцію, магнію та молібдену) та зменшувати активність мікроорганізмів. Висока гідролітична кислотність (до 3,5 мг-екв/100 г) є ще одним фактором, що вимагає застосування нейтралізуючих речовин (вапна, доломіту), які не лише покращують хімічний склад, а й сприяють структуруванню породи [18].

Органічна речовина (гумус) виявлена у дуже низьких концентраціях — 0,2–0,45 %, що свідчить про майже повну відсутність джерел вуглецю, азоту та мікробіологічного життя. Це робить неможливим природне формування родючого шару без внесення органічних добрив, компосту, сапропелю або інших органо-мінеральних матеріалів. Включення сидератів у процес фіторекультивації також доцільне для біологічного збагачення органікою [36].

Фізичні властивості породи, зокрема гранулометричний склад, визначено як пилювато-піщаний. Це означає добру аерацію, однак і низьку водоутримувальну здатність, що призводить до швидкого висихання верхнього шару та нестабільності вологоутворення, особливо у весняно-літній період. В таких умовах молоді рослини будуть зазнавати водного

стресу. Рекомендується покращення структури шляхом внесення глинистих добавок або торфу.

Хімічний склад породи, виявлений у процесі аналізу, не містить надмірної кількості токсичних елементів, але деякі мікроелементи, такі як залізо (до 210 мг/кг) і марганець (до 50 мг/кг), присутні у концентраціях, які можуть бути граничними для окремих видів рослин. Важливо враховувати це при доборі видів для фіторекультивуації — слід надавати перевагу видам, стійким до металонавантаження (наприклад, *Festuca rubra*, *Medicago sativa*, *Lolium perenne*).

Відсутність засоленості (низька електропровідність — до 0,3 мОм/см) є позитивним чинником, який свідчить про те, що порода придатна для вегетації більшості культур без додаткових засобів вилуговування. Також варто зазначити, що щільність укладання породи на деяких ділянках надмірна, що погіршує її проникність для корневих систем і вологи. Це зумовлює необхідність попереднього механічного рихлення або підготування поверхні.

З екологічної точки зору, важливою властивістю є стабільність хімічного складу породи в динаміці: тобто відсутність активного вилуговування солей, зміщення рН у часі або накопичення важких металів у надмірних концентраціях. Це свідчить про певну інертність породи, що полегшує управління рекультиваційним процесом [23].

У підсумку, фізико-хімічні та екологічні властивості породи свідчать про її помірну агроекологічну цінність у природному стані, але відкривають перспективу для повноцінної біологічної рекультивації за умов агрохімічної корекції, структурного поліпшення та адаптації рослинного покриву.

#### 4.6 Перспективи використання для рослинного покриву

Рослинний покрив є одним із ключових компонентів у системі біологічної рекультивації порушених територій, зокрема техногенних ландшафтів, що утворюються внаслідок накопичення відвальної породи шахт. Наявність або відновлення зеленого покриву дозволяє не лише стабілізувати поверхню відвалу, зменшити прояви ерозії, запобігти пиловому забрудненню та вторинному забрудненню навколишнього середовища, але й запустити природні ґрунтоутворювальні процеси. У разі використання біологічного покриву з бобових та багаторічних культур формуються органо-мінеральні горизонти, які поступово набувають властивостей природного ґрунту.

Порода шахтного відвалу в місті Тернівка, попри ряд агрохімічних обмежень, виявилася потенційно придатною до рекультивації. Вона не є токсичною, має слабокислий рН, не засолена, не містить надмірної кількості важких металів, а її фізична структура, попри домінування пилювато-піщаних фракцій, забезпечує добру водопроникність. Водночас низький вміст гумусу, дефіцит рухомих форм фосфору та калію, а також підвищена гідролітична кислотність потребують обов'язкового коригування [38, 39].

Для ефективного формування рослинного покриву на техногенній породі шахтного відвалу необхідно здійснити комплекс заходів з агрохімічної та агротехнічної підготовки субстрату, оскільки вихідна порода характеризується низькою біологічною активністю, нестачею поживних елементів, несприятливою структурою та часто підвищеною кислотністю або засоленістю. Хімічна меліорація включає вапнування для нейтралізації кислотності, що забезпечує поліпшення умов для розвитку корневих систем рослин. Рекомендоване внесення вапнякових матеріалів у дозах від 2 до 4 т/га, залежно від величини рН субстрату та вмісту гідролітичної кислотності. Вапно сприяє не лише регуляції кислотності, а й покращенню структури

субстрату, зменшенню токсичності алюмінію та марганцю. Органічне удобрення є ключовим фактором створення родючого шару [52].

Доцільним є внесення перегною, торфокомпостів або компостованих біовідходів у кількості не менше 30–40 т/га. Це дозволяє підвищити вміст гумусу, активізувати мікробіологічну діяльність, покращити водоутримувальну здатність і фізико-хімічні властивості субстрату. Мінеральне живлення регулюється відповідно до даних ґрунтової (субстратної) діагностики [35].

Найчастіше техногенні субстрати мають критичний дефіцит фосфору і калію, тому рекомендується внесення фосфорних та калійних добрив у середніх дозах 45–60 кг/га д. р. Азотні добрива вносяться з обережністю, переважно під сидеральні або бобові культури, щоб уникнути надмірного виносу азоту з водою через слабку буферну здатність субстрату. Перед внесенням добрив та матеріалів обов'язковим є агротехнічне вирівнювання поверхні відвалу з розпушенням ущільнених ділянок механічним способом (дисковими боронами, культиваторами або фрезами). Це забезпечує покращення аерації, дренажу та доступу кореневої системи рослин до глибших шарів породи. Доцільним є створення мікрорельєфу, невеликих заглиблень, валиків або ложбин для затримки опадів та талих вод, що покращує зволоження верхнього шару і знижує ерозійні процеси. Такі техніки також сприяють локальному накопиченню органічної речовини та розвитку первинної рослинності. Усі ці заходи є обов'язковими елементами попередньої підготовки породного субстрату для фіторекультивациі і забезпечують основу для створення стійких трав'янистих або чагарникових біоценозів, які надалі сприятимуть стабілізації техногенного ландшафту.

Рослинність слід підбирати з урахуванням кліматичних умов регіону, властивостей породи та стійкості до бідного поживного середовища. Види рослин, здатні до симбіозу з азотфіксуючими бактеріями, відіграють основну роль у формуванні початкового зеленого покриття. Бобові культури, як-от люцерна посівна, конюшина лучна, буркун жовтий, не лише збагачують

породу азотом, а й стимулюють розвиток мікробіоти. Злакові види, зокрема житняк багаторічний, костриця тростинова, тимофіївка лучна, формують щільну дернину, що захищає поверхню від ерозії.

Також перспективним є використання фіторемедіаторів та енергетичних культур — таких як міскантус китайський, який характеризується високою біомасою, здатністю до фітоекстракції важких металів і стабільним щорічним приростом.

Окремої уваги заслуговує висаджування дерев і кущів з азотфіксуючою або мікоризною активністю, оскільки ці рослини не лише підвищують родючість техногенних субстратів, а й активно сприяють формуванню стабільних екосистем. Наприклад, акація біла (*Robinia pseudoacacia*) і лох вузьколистий (*Elaeagnus angustifolia*) добре приживаються в умовах шахтних відвалів завдяки високій посухостійкості, здатності фіксувати атмосферний азот та формувати глибоку кореневу систему, що ефективно закріплює породу (рис.4.4). Ці види утворюють сприятливий мікроклімат: знижують температуру ґрунту, зменшують випаровування вологи, пригнічують ріст бур'янів і сприяють затриманню органічного опаду. Крім того, симбіоз із мікоризними грибами покращує доступність поживних речовин для інших рослин [38].

Рослинність такого типу не тільки захищає від ерозійних процесів (особливо вітрової та опадової ерозії), але й виступає первинною структурною ланкою в процесі формування ґрунтового профілю. Завдяки постійному надходженню органічної маси й активності ґрунтових мікроорганізмів відбувається поступове накопичення гумусу та розвиток біологічно активного шару. У результаті створюються умови для природного вселення аборигенних видів — трав'янистих, чагарникових і навіть деревних рослин, що притаманні локальному біогеоценозу.

Таким чином, цілеспрямоване впровадження азотфіксуючих і мікоризних видів є важливою складовою довготривалої стратегії біологічної

рекультивації, яка передбачає не лише стабілізацію субстрату, але й екологічну реінтеграцію техногенно змінених земель у природний ландшафт.



Рисунок 4.5 - Акація біла (*Robinia pseudoacacia*) і лох вузьколистий (*Elaeagnus angustifolia*).

Із часом на таких територіях можливе самовідновлення природної флори, якщо підтримувати стабільні агрохімічні умови.

Біологічна рекультивація передбачає не лише створення тимчасового фітоценозу, а й поступове формування самопідтримуваної екосистеми. Через кілька років можливе введення більш вибагливих культур, сидератів, лікарських та нектароносних рослин, що забезпечуватимуть подальше збагачення ґрунту органічною речовиною, а також сприятимуть біорізноманіттю. Також важливо організовувати довготривалий моніторинг динаміки рН, гумусу та мікроелементів у породі, щоб вчасно коригувати агротехнічні заходи [13, 1, 44].

Таким чином, використання відвальної породи для формування рослинного покриву є цілком можливим і перспективним заходом за умови грамотного підходу до агрохімічної підготовки, добору культур та технічного супроводу. Внесення органічних добрив, нейтралізація кислотності, застосування мікробіологічних препаратів і вибір стійких до несприятливих умов рослин дозволяють суттєво покращити фізико-хімічні властивості породи. Правильно сформований зелений покрив не лише забезпечує стабільність породи та захист від ерозії, а й створює умови для розвитку

грунтової біоти, покращення гідрологічного режиму та загального екологічного стану території. Такий підхід сприяє не тільки зменшенню негативного впливу техногенного ландшафту на довкілля, а й відкриває можливості для його поступової інтеграції в природне середовище. Відновлені площі можуть бути використані як для створення рекреаційних зон, так і для вирощування технічних, кормових або енергетичних культур, а також для заліснення, що особливо актуально в умовах кліматичних змін та деградації ґрунтів.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Безпечне виконання дипломної роботи на тему «Аналіз складу і агрохімічних властивостей породи шахтного відвалу в місті Тернівка Павлоградського району для біологічної рекультивації» передбачає врахування комплексу вимог з охорони праці. Дослідження включає проведення виїзного польового етапу з відбору зразків породи та подальшого лабораторного аналізу, що пов'язано з рядом небезпечних, шкідливих, шкідливо-біологічних та техногенних факторів.

Територія шахтного відвалу належить до категорії техногенно порушених ландшафтів, які мають підвищену ступінь небезпеки через нестійкий рельєф, ерозійні та обвальні процеси, залишки промислових конструкцій або металевих предметів. Поверхня породи нерівна, часто має круті схили, на яких легко травмуватись. У літній період існує ризик теплового удару, в осінньо-зимовий — ризик посковзнутися на вологій або мерзлій поверхні.

Перед виходом на об'єкт необхідно провести обов'язковий первинний інструктаж з охорони праці, а також цільовий інструктаж перед кожним виїздом. Всі роботи повинні проводитися у складі групи не менше 2 осіб. Забороняється самотійне пересування по схилах або робота без візуального контакту з напарником.

Працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) (рис.5.1):

- каска захисна (від ударів при можливих обвалах);
- респіратор (типу РПГ-67 або аналоги) для захисту дихальних шляхів від пилу;

- щільний спецодяг (з довгим рукавом), бажано бавовняний;
- чоботи або черевики з протиковзкою підошвою;
- захисні окуляри (від пилу, УФ-променів);
- рукавиці з прогумованим або шкірозамінником покриттям.
- аптечку першої медичної допомоги на місці;
- мобільний зв'язок для виклику допомоги у разі потреби;
- наявність питної води;
- головні убори та сонцезахисний крем для роботи в умовах прямої інсоляції.



Рис 5.1. – Засоби індивідуального захисту в умовах польових досліджень.

Відбір зразків має здійснюватися згідно з ДСТУ 4287:2019, з дотриманням техніки безпеки під час використання шурфів, бурового обладнання, лопат та пробовідбірників. Забороняється працювати поблизу нестійких урвищ, обвалів або тріщин у масиві [14, 15].

У лабораторії проводяться агрохімічні та хімічні аналізи, в тому числі з використанням кислот, лугів, окисників (наприклад, хромова суміш для визначення гумусу), токсичних речовин (свинцевий ацетат, сірчаноокислий калій, сульфат амонію тощо), що потребує максимальної обережності.

Кожна лабораторна робота виконується тільки після проходження інструктажу з хімічної безпеки. Всі роботи проводяться з дотриманням Санітарних правил улаштування і утримання хімічних лабораторій (СанПіН 5179-90), а саме необхідні ЗІЗ:

- халат лабораторний або хімічний комбінезон;
- захисні окуляри або щиток;
- нітрилові рукавички або прогумовані (залежно від реагенту);
- респіратор (при роботі з леткими речовинами).

Хімічні реактиви мають зберігатися в маркованих посудинах, у спеціалізованих шафах. Після завершення роботи проводиться утилізація залишків речовин відповідно до регламенту, миття посуду у спеціально відведених місцях, знезараження витяжних шаф. У лабораторії мають бути:

- план евакуації;
- вогнегасник (вуглекислотний або порошковий);
- аварійна витяжка;
- аптечка з протиопіковими, протиалергічними засобами та очною ванночкою.

Також важливим є електробезпека — заборонено працювати із зволоженими руками, при несправних проводах, без заземлення приладів. При використанні приладів (потенціометри, спектрофотометри, сушильні шафи) необхідно перевірити стан електромережі, запобіжників та вологозахисту [19].

Тривала зосереджена робота в лабораторії або в екстремальних умовах на відвалі може призвести до втоми, порушення концентрації, ризику помилок або травм. Рекомендується дотримуватись режиму праці та відпочинку: не більше 4 годин безперервної роботи з хімікатами, не більше 6 годин — у польових умовах з високим тепловим навантаженням. Забороняється виконання робіт у стані фізичного або психічного виснаження [15].

Охорона праці під час реалізації дослідницької роботи — це не лише формальна вимога, а реальна необхідність забезпечення безпеки, стабільної ефективної праці та захисту життя і здоров'я. Дотримання правил техніки безпеки, правильне використання засобів індивідуального захисту, уважність і відповідальність з боку учасників робіт гарантують успішне виконання наукового завдання без загроз здоров'ю.

## ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження було сформовано ключові висновки:

1. Шахтний відвал у місті Тернівка є значним техногенним об'єктом, що формує локальний ландшафт та впливає на екологічний стан регіону. Його характеристики, такі як хімічний склад, ерозійні процеси та низька природна регенерація, створюють виклики для довкілля, але за умов належної рекультивації відвал може бути частково інтегрований у природне середовище або використаний для господарських потреб;

2. Хімічний склад породи свідчить про її обмежену агрохімічну цінність у природному стані. Однак за умов проведення відповідних меліоративних заходів, таких як нейтралізація кислотності (вапнування), внесення добрив і органіки, порода може бути використана як основа для формування родючого шару у процесі біологічної рекультивації. Важливим є також періодичний моніторинг рівня важких металів, особливо у зонах з підвищеною концентрацією сульфідних мінералів;

3. Порода шахтного відвалу має низьку природну родючість і потребує значних агрохімічних заходів для підготовки до біологічної рекультивації. Для підвищення родючості рекомендується комплексний підхід, який включає внесення органічних добрив (наприклад, компосту або гною), мінеральних добрив із високим вмістом азоту і фосфору, а також мікродобрив для корекції дефіциту мікроелементів;

4. Порода шахтного відвалу в Тернівці має обмежену придатність для біологічної рекультивації через кислу реакцію середовища на глибших

горизонтах і критично низький вміст органічної речовини. У верхньому шарі (0–10 см) кислотнo-лужна реакція є сприятливою (слабокисла до нейтральної), що дозволяє розпочати рекультивацію без значної корекції рН, але на глибині 30–50 см необхідне вапнування для нейтралізації кислотності. Низький вміст органічної речовини на всіх глибинах потребує активного внесення органічних добрив і використання сидеральних культур для поступового відновлення родючості;

5. Фізико-хімічні та екологічні властивості породи свідчать про її помірну агроекологічну цінність у природному стані, але відкривають перспективу для повноцінної біологічної рекультивації за умов агрохімічної корекції, структурного поліпшення та адаптації рослинного покриву;

6. Використання відвальної породи для формування рослинного покриву є цілком можливим і перспективним заходом за умови грамотного підходу до агрохімічної підготовки, добору культур та технічного супроводу. Правильно сформований зелений покрив забезпечує стабільність породи, екологічну безпеку регіону та може стати основою для поступового відновлення природного ландшафту або створення продуктивного лісового чи пасовищного масиву;

7. Отримані результати свідчать про необхідність комплексного підходу до біологічної рекультивації території шахтного відвалу. Рекомендовано використання органічних добрив, сидератів, вапнування, глинистих домішок та мікробіологічних препаратів для поліпшення фізико-хімічних властивостей субстрату. Впровадження зазначених заходів дозволить створити умови для формування стійкого рослинного покриву, зменшити екологічне навантаження та частково інтегрувати техногенну ділянку у природне середовище.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Антонік В. І. Спосіб стимулювання природного озеленення крутих схилів відвалів залізорудних шахт і кар'єрів. Патент України № 151336, 2022. Бюл. № 27.
2. Барановська В. М., Кулинич О. В. Рекультивація порушених земель шахтних відвалів: агрохімічні аспекти та екологічні наслідки. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія, № 235, 2016. С. 112–120.
3. Білецький В. С., Черняк В. М. Вплив гірничих технологій на геологічне середовище. Зб. наук. пр. ПолНТУ, 2016, Вип. 8. С. 165–173.
4. Бойко В. М. Екологічний стан ґрунтів Дніпропетровської області: сучасні виклики та перспективи. Екологічний вісник, 2018. № 3. С. 45–52.
5. Бойко І. В., Сидоренко О. С. Основи агрохімічного аналізу ґрунтів: методи визначення рН, рухомих форм Р та К. Агрохімія та ґрунтознавство, № 2, 2018. С. 25–34.
6. Величко В. А., Кравченко О. М. Рекультивація техногенно порушених земель: сучасні підходи та технології. Екологія та природокористування, 2020, № 35. С. 112–120.
7. Гаврюшенко О. О. та ін. Придатність фізико-хімічних властивостей гірських порід для меліорації в різних підзонах Степу України. Journal of Geology, Geography and Geocology, 2022, т. 31, № 2. С. 251–259.
8. Гнатюк Ю. М., Терещенко П. В. Застосування атомно-абсорбційної спектрофотометрії для визначення мікроелементів у ґрунтового середовищі. Вісник екології та природокористування, 2020. С. 78–86.

9. Григор'єв Ю.І. Моделювання гідрологічних процесів на породних відвалах. Український гідрологічний журнал, № 2. 2018. С. 23–30.
10. Гриценко О.П. Вплив вуглевидобувної промисловості на природне середовище Дніпропетровської області. Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Географія, 2020. Вип. 28. С. 42–50.
11. Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О. Агрохімічна оцінка порід шахтних відвалів для відновлення родючості. Агроєкологічний журнал, № 3, 2018. С. 45–52.
12. Грицаєнко З.М., Ковальчук І.П. Вплив кислотності техногенних субстратів на ефективність біологічної рекультивації. Агроєкологічний журнал, № 4, 2018. С. 52–60.
13. Дегурко О.П., Мельник С.О., Брагіна Л.Л., Рябінін С.О. Дослідження можливості використання відходів каменевидобування і каменеобробки гірських порід. Тези конференції, Харків, 2020. С. 68–70.
14. ДСТУ 4287:2019. Якість ґрунту. Відбирання та підготовка проб для лабораторних досліджень. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
15. ДСТУ ISO 18400-104:2019. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 104: Стратегії відбирання проб. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
16. Зворигін К.О., Ковров О.С. Проблема фіторе mediaції гірничих відвалів. Матеріали НТУ, 2021. С. 1–15.
17. Зеленська Т.С. Стан і перспективи фіторе mediaції шахтних відвалів. Екологічна безпека, № 3. 2023. С. 131–138.
18. Зубов А.О. Екологічна небезпека породних вугільних відвалів у агроландшафтах. Агроєкологічний журнал, № 2. 2019. С. 24–31.
19. Коваленко І.І. Біологічна рекультивація. Екологічний вісник, № 3. 2020. С. 12–18.
20. Ковальчук І.С. Кліматичні особливості Придніпровської низовини та їх вплив на сільське господарство. Агросвіт, № 15. 2022. С. 12–19.

21. Кравець Л. О., Сметана С. М. Агрохімічна оцінка кислотно-лужних властивостей техногенних субстратів для рекультивації. Наук. вісник ДДАЕУ, № 1. 2016. С. 88–95.
22. Красовський С. А. Розробка технології фіторекультивації відвалів відходів вуглевидобування. Дис. 2024. 180 с.
23. Красовський С. А., Ковров О. С., Клімкіна І. І. Використання процесів фітореMediaції для біовилуговування хімічних елементів з відвалів. Матеріали симпозіуму «Тиждень еколога – 2021». 2021. С. 158–160.
24. Кучер Л. І., Касіян А. Фізичні властивості порід відвалів Західного Донбасу. Збірник тез V Міжнародної конференції, НУБіП. 2021. С. 65–66.
25. Лозовий М. К., Підлісецький Г. М. Екотехнології рекультивації техногенних субстратів Західного Донбасу. Монографія. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2022. 210 с.
26. Мартиненко І. В. Гранулометрія породних відвалів Донбасу як основа оцінки їх агрохімічного потенціалу. Геологічний журнал, № 1. 2021. С. 33–40.
27. Матвійчук О. А., Шевчук В. Я. Органічна речовина в техногенних ґрунтах: оцінка та шляхи підвищення. Екологія і природокористування, № 30. 2019. С. 65–73.
28. Мельник О. П., Кравченко Ю. С. Кисотно-лужний баланс і органічна речовина в породах шахтних відвалів. Екологічна безпека, № 2. 2023. С. 48–55.
29. Новікова Т. С., Яковенко П. І. Ерозійні процеси на схилах шахтних відвалів. Механіка ґрунтів і фундаментів, № 2. 2019. С. 57–64.
30. Панасюк М. Г., Дорошенко В. І. Мікробіологічна реакція ґрунту внаслідок фіторекультивації. Бюлетень Інституту ґрунтознавства, № 25. 2022. С. 91–98.
31. Петренко С. П. Вплив хімічного складу ґрунтів на агрохімічну цінність. Наукові записки, № 15. 2019. С. 78–85.

32. Петришин О. В., Лаврик Т. П. Комплексний агрохімічний аналіз шахтних відвалів Тернівки. Наук. праці УжНУ. Серія «Екологія», № 4. 2021. С. 120–128.
33. Піндер В. Ф. Рекультиваційні заходи зниження техногенного впливу відвалів. Автореф. дис. Львівська політехніка. 2021. С. 1–50.
34. Рибалко К. В. Агрохімічна оцінка мулових відкладів породних відвалів Тернівки. Матеріали регіональної конференції (Малин), 2023. С. 67.
35. Русанко О. П. Структуроутворюючі агенти в підготовці субстратів для рекультивації. Чорноморський екологічний журнал, № 3. 2023. С. 45–52.
36. Савченко О. Ст. Гранулометричний склад та його вплив на фізичні властивості ґрунтів. Агроекологія, № 2. 2018. С. 45–50.
37. Савчук І. Д. Кислотність і солонцювання ґрунтів на відвалах Тернівки. ГІС-екологічні системи, № 5. 2020. С. 78–85.
38. Сіра М. Г., Бучавий Ю. В. Перспективи використання гідропосіву та озеленення породних відвалів. Матеріали НМУ, 2019. С. 1–20.
39. Сорока О. І., Назаренко В. К. Рухомі форми фосфору і калію на породних відвалах. Агрохімія і ґрунтознавство, № 1. 2023. С. 34–40.
40. Ткаченко А. П. Геохімічні характеристики техногенних субстратів Донбасу. Геологія Донеччини, № 2. 2018. С. 21–27.
41. Тимчук І. С., Шквірко О. В. та ін. Науково-методологічні основи біологічної рекультивації. Київ: НААН, 2020. С. 1–121.
42. Усатюк Н. М., Кравець І. С. Органіка як чинник відновлення кисло-лужного балансу. Екологічна безпека, № 1. 2022. С. 99–106.
43. Федорчук В. О., Онищук А. І. Мінеральний склад породних відвалів східного Донбасу. Проблеми геології, № 3. 2019. С. 60–67.
44. Хоменко Т. Б., Лисенко М. С. Фітоциди в рекультивації техногенних субстратів. Екологія і природокористування, № 32. 2021. С. 112–119.

45. Цибенко О. Ю., Мацейко П. Л. Баланс важких металів у відвалах шахт України. Екологічний вісник, № 4. 2020. С. 63–71.
46. Шевченко Н. В. Екологічні проблеми шахтних відвалів у Західному Донбасі. Водне господарство України, № 5. 2019. С. 19–26.
47. Шевчук М. П. Гранулометричні характеристики вугільних відвалів Донбасу. Гірнича екологія, № 6. 2018. С. 105–112.
48. Швець Є. М. Зольність і структура субстратів під рекультивацію. Техногенна екологія, № 1. 2020. С. 49–56.
49. Щербак О. Ю., Нестеренко А. П. Проектування рекультиваційних систем для техноагроландшафтів. Ландшафт і довкілля, № 1. 2017. С. 55–64.
50. Яременко А. О., Кожушко В. М. Ґрунтові процеси при природній самоочистці відвалів. Сільськогосподарська наука, № 7. 2019. С. 37–44.
51. Яценко В. І. Доступність макро- і мікроелементів у породних відвалах. Екологія та охорона довкілля, № 5. 2021. С. 89–97.
52. Ящук П. В. Ґрунтоутворюючі процеси в умовах техносубстратів. Наукові праці ХНУ, серія «Екологія», № 12. 2022. С. 73–82.
53. Oleksandr Masiuk, Tamila Ananieva, Hanna Yeromchenko. Conditions for biological reclamation of a mine dump in the area of the Ternivka city, Ukraine. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1499. 012041. DOI: 10.1088/1755-1315/1499/1/012041