

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: **«Екологічні ризики та заходи з мінімізації наслідків
руйнування промислових об'єктів в результаті воєнних дій на
прикладі Шахтоуправління «Тернівське» Павлоградського району
Дніпропетровської області»**

Виконала: здобувачка вищої освіти 2 курсу,
групи МгЕ-1-24 спеціальності
101 «Екологія»
_____ Вікторія КОЧЕРГІНА

Керівник _____ доц. Вікторія КАЦЕВИЧ

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

Кочергіній Вікторії Андріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Екологічні ризики та заходи з мінімізації наслідків руйнування промислових об'єктів в результаті воєнних дій на прикладі Шахтоуправління «Тернівське» Павлоградського району Дніпропетровської області

Науковий керівник: Вікторія Валеріївна Кацевич

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

2. **Термін подання здобувачем роботи:** 16.12.2025 р.

3. **Вихідні дані до роботи:** Дані отримані під час науково-виробничої практики

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):** Розташування та особливості роботи Шахтоуправління «Тернівське». Сучасні уяви про вплив шахт на довкілля в умовах воєнного стану. Матеріали і методи дослідження. Оцінка впливу на екологічний стан прилеглих територій до Шахтоуправління «Тернівське». Шляхи відновлення та мінімізації наслідків. Охорона праці.

5. **Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):** Повний обсяг роботи – 67 сторінок друкованого тексту, включаючи 12 рисунків і 3 таблиці. Перелік посилань містить 59

найменувань.

6. Дата видачі завдання: «__» _____ 20__р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою дослідження	Вересень 2025	Виконано
2	Фізико-географічна характеристика Шахтоуправління «Тернівське»	Вересень 2025	Виконано
3	Матеріали і методи досліджень	Жовтень 2025	Виконано
4	Результати досліджень та їх обговорення	Листопад 2025	Виконано
5	Шляхи відновлення та мінімізації наслідків воєнних дій	Листопад 2025	Виконано
6	Охорона праці	Грудень 2025	Виконано
7	Оформлення дипломної роботи	Грудень 2025	Виконано

Здобувач (ка)

(підпис)

Вікторія КОЧЕРГІНА

(Ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Вікторія КАЦЕВИЧ

(Ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається із: вступу, 6 розділів, висновків та переліку посилань. Повний обсяг роботи – 67 сторінок друкованого тексту, включаючи 12 рисунків та 3 таблиць. Перелік посилань містить 59 найменувань.

Метою дипломної роботи є комплексна оцінка екологічних наслідків воєнних дій для Шахтоуправління «Тернівське» та розробка шляхів відновлення природного середовища.

Об'єкт дослідження — природно-техногенне середовище території Шахтоуправління «Тернівське», яке зазнало впливу воєнних дій.

Предмет дослідження — зміни екологічного стану довкілля під впливом воєнних факторів та можливості його відновлення шляхом застосування природоохоронних, технічних та організаційних заходів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання, як:

- Дослідити особливості території та інженерно-геологічні умови ШУ «Тернівське».
- Оцінити масштаби впливу воєнних дій на ґрунти, води, атмосферне повітря та біоту.
- Визначити характер забруднення шахтними водами та вторинними техногенними потоками.
- Встановити рівень руйнування техногенних об'єктів (породних відвалів, шламонакопичувачів, виробок).
- Проаналізувати стан території та динаміку змін під впливом воєнних

факторів.

- Надати рекомендації щодо мінімізації негативного впливу та екологічного відновлення території, включаючи рекультивацію земель і стабілізацію техногенних ландшафтів.

Методи дослідження: метод аналізу, системний підхід, картографічні методи, методи екологічного моніторингу, лабораторні методи (вимірювання фізико-хімічних показників води і ґрунтів), статистичний аналіз, порівняльний метод.

Ключові слова: ВОЄННІ ДІЇ, ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ, ШАХТНІ ВОДИ, ТЕХНОГЕННІ ЛАНДШАФТИ, ЗАБРУДНЕННЯ, ВІДВАЛИ, СУЛЬФАТИ, ВАЖКІ МЕТАЛИ, ВІДНОВЛЕННЯ, РЕКУЛЬТИВАЦІЯ, МОНІТОРИНГ, АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, ДЕГРАДАЦІЯ ҐРУНТІВ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	10
1.1 Вплив воєнних дій на довкілля	12
1.2 Екологічні наслідки руйнування промислових об'єктів	13
1.3 Сучасні підходи до відновлення екосистем в зонах воєнних дій	15
2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	18
2.1 Загальні природно-кліматичні умови Павлоградського району	20
2.2 Характеристика Шахтоуправління «Тернівське»	24
3. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	26
3.1 Об'єкти дослідження	27
3.2 Методи екологічного моніторингу та аналітичного аналізу	29
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	31
4.1 Характер впливу воєнних дій на стан довкілля	31
4.2 Зміни у складі ґрунтів, води та атмосферного повітря	32
4.3 Рівень забруднення територій важкими металами та токсичними сполуками	35
4.4 Вплив воєнних дій на біоту та рослинний покрив	44
4.5 Соціально-екологічні наслідки для місцевого населення	46
5. ШЛЯХИ ВІДНОВЛЕННЯ ТА МІНІМІЗАЦІЇ НАСЛІДКІВ	48
5.1 Рекомендації щодо рекультивації та очищення територій	48
5.2 Перспективи екологічного відновлення для ШУ «Тернівське»	51
6. ОХОРОНА ПРАЦІ	55
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	62

ВСТУП

Воєнні дії на території України призвели до безпрецедентних викликів у сфері охорони навколишнього природного середовища, екологічної безпеки та сталого розвитку. Масштабне використання вибухових речовин, руйнування промислових об'єктів, складів паливно-мастильних матеріалів, систем водопостачання, очисних споруд і транспортної інфраструктури зумовили багаторівневий негативний вплив на довкілля. Порушено природні екосистеми, деградовано ґрунтово-рослинний покрив, забруднено атмосферне повітря, поверхневі та підземні води токсичними речовинами, важкими металами й продуктами горіння.

Особливо вразливими до деструктивних процесів стали промислові регіони України, зокрема Дніпропетровська область, де зосереджена значна кількість гірничодобувних підприємств. У результаті бойових дій частина шахт зазнала фізичних пошкоджень або тимчасового зупинення роботи, що спричинило неконтрольовані викиди метану, затоплення виробок і зміни гідрогеологічного режиму територій. Водночас зруйнована інфраструктура створює загрозу вторинного забруднення через потрапляння шкідливих сполук у водні об'єкти, що, у свою чергу, впливає на стан агроландшафтів та якість питної води [1].

Шахтоуправління «Тернівське», розташоване в межах Павлоградського гірничопромислового району, є одним із найважливіших вугледобувних підприємств регіону. Під час воєнних дій територія зазнала ряду екологічно небезпечних процесів, зокрема механічних пошкоджень технічних споруд, порушення режиму відкачування шахтних вод, розгерметизації складів техногенних відходів та потенційного забруднення атмосферного повітря

внаслідок вибухів і пожеж. Усе це актуалізує потребу у глибокому аналізі сучасного стану природного середовища та розробці заходів щодо його стабілізації й відновлення.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що екологічні наслідки воєнних дій залишаються малодослідженими в науковому плані, особливо щодо їхнього прояву на рівні окремих промислових підприємств. Наявні наукові підходи потребують адаптації до умов воєнного і післявоєнного періоду, коли порушення природного балансу мають не лише техногенне, а й антропогенно-вибухове походження. Вивчення цього питання має як наукову, так і практичну цінність, оскільки результати можуть бути використані для удосконалення регіональної системи екологічного моніторингу, планування заходів з рекультивації земель і розроблення стратегій сталого відновлення промислових територій [2].

Метою роботи є комплексна оцінка екологічних наслідків воєнних дій для території Шахтоуправління «Тернівське» та розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо відновлення стану природного середовища й мінімізації негативного впливу на екосистеми регіону.

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовано такі завдання:

1. Провести аналіз вітчизняних та зарубіжних наукових джерел щодо впливу воєнних дій на стан довкілля та промислові об'єкти.
2. Охарактеризувати фізико-географічні умови району розташування ШУ «Тернівське» та визначити його екологічні особливості.
3. Дослідити зміни у складі та властивостях основних компонентів довкілля — атмосферного повітря, води, ґрунтів — у результаті воєнних дій.
4. Оцінити масштаби забруднення та виявити основні джерела екологічної небезпеки.
5. Встановити вплив воєнних дій на біоту та техногенні ландшафти регіону.
6. Розробити рекомендації щодо екологічного відновлення території Шахтоуправління «Тернівське» та заходів з рекультивації порушених земель.

Об'єкт дослідження — природно-техногенне середовище території Шахтоуправління «Тернівське», що зазнало впливу воєнних дій.

Предмет дослідження — зміни екологічного стану довкілля під впливом воєнних факторів (руйнувань, вибухів, пожеж, забруднень) та можливості його відновлення шляхом застосування природоохоронних і технічних заходів.

Методи дослідження включають системний аналіз, порівняльно-географічний, аналітичний і картографічний методи, лабораторні дослідження зразків води та ґрунтів, методи екологічного моніторингу та оцінки антропогенного навантаження. Також застосовано методи статистичного аналізу даних спостережень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що для Шахтоуправління «Тернівське» здійснено комплексну оцінку екологічного стану території після впливу воєнних дій, виявлено особливості формування нових техногенно-природних систем і обґрунтовано можливі шляхи їх екологічного відновлення.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання результатів дослідження для розроблення програм екологічного моніторингу та планування відновлювальних заходів в межах Павлоградського гірничопромислового району. Запропоновані рекомендації можуть бути використані органами місцевого самоврядування, екологічними службами та керівництвом вугільних підприємств для зменшення ризиків техногенного забруднення та підвищення екологічної безпеки регіону [3;4].

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Вплив воєнних дій на стан природного середовища є комплексним, багаторівневим та системно зумовленим процесом, який охоплює практично всі компоненти екосистем — від ґрунтів і вод до атмосфери, біоти та техногенних об'єктів. У результаті збройної агресії природні системи зазнають як миттєвих руйнувань, пов'язаних із механічною дією вибухів, так і відстрочених, кумулятивних змін, спричинених тривалим впливом токсикантів та порушенням природних регуляторних механізмів. Сучасні наукові дослідження підтверджують, що у ході війни навколишнє середовище зазнає значного антропогенно-вибухового навантаження, яке за масштабами та інтенсивністю часто перевищує вплив традиційних промислових джерел забруднення.

Особливо вразливими у таких умовах є промислово розвинені регіони, де зосереджені підприємства гірничодобувного, хімічного та енергетичного секторів. Пошкодження інженерних систем на цих об'єктах здатне спричинити ланцюг довготривалих екологічних наслідків, зокрема зміну гідрогеологічного режиму, вихід токсичних речовин на поверхню, підвищення ризику техногенних аварій і формування нових осередків небезпечного забруднення. Порушення роботи критичної інфраструктури — водовідливних комплексів, очисних споруд, систем моніторингу — часто призводить до автономного розвитку негативних процесів, що характеризуються самопосиленням і здатні зберігатися десятиліттями після завершення активних бойових дій.

Важливою особливістю є те, що структура впливу війни має полікомпонентний характер. Порушення ґрунтового покриву внаслідок

вибухових навантажень та переміщення важкої техніки призводить до руйнування верхніх гумусових горизонтів, інтенсифікації водної та вітрової ерозії, втрати здатності ґрунтів до самовідновлення та різкого скорочення біологічної продуктивності ландшафтів. У низці випадків відбувається формування техногенно-перебудованих мікрорельєфів, що змінюють напрямки стоку та спричиняють локальні підтоплення або суфозійні процеси.

Не менш руйнівним є хімічний компонент впливу, пов'язаний із потраплянням до довкілля продуктів детонації, нездетонованих вибухових речовин, солей важких металів, поліциклічних ароматичних сполук, а також продуктів пожеж на складах пального і боєприпасів. Ці речовини здатні акумулюватися у ґрунті, мігрувати з поверхневим та підґрунтовим стоком, потрапляти у водні об'єкти та зумовлювати токсичне навантаження на біоту.

Особливу загрозу становлять вторинні процеси забруднення, які виникають внаслідок пошкодження промислових об'єктів. У гірничодобувних районах руйнування шахтних комплексів може призвести до неконтрольованого підняття шахтних вод і виходу на поверхню високомінералізованих та токсичних розчинів, насичених йонами металів, фенольними сполуками та сульфатами. Водночас руйнування відвалів і шламонакопичувачів здатне спричинити вивільнення пилових та газоподібних токсикантів, інтенсифікацію процесів самозаймання порід та забруднення атмосферного повітря продуктами неповного окиснення органічних речовин.

Таким чином, воєнні дії спричиняють глибоку системну трансформацію природних та техногенних компонентів довкілля, яка включає механічні, хімічні, термічні та біологічні зміни. Це вимагає комплексного підходу до оцінки стану екосистем та планування відновлювальних заходів, що мають ґрунтуватися на використанні сучасних методів моніторингу, екологічної діагностики, прогнозування наслідків і застосуванні технологій, здатних не лише усунути наслідки руйнувань, але й забезпечити довготривалу екосистемну стійкість регіону.

1.1 Вплив воєнних дій на довкілля.

У наукових дослідженнях останніх років наголошується, що воєнні дії чинять на довкілля комплексний, багатовекторний вплив, який проявляється як у формі безпосереднього фізичного руйнування природних компонентів, так і через опосередковані хімічні, геохімічні, біологічні та мікрокліматичні трансформації екосистем. Безпосередній вплив полягає у механічній деструкції природних і антропогенних ландшафтів під час артилерійських обстрілів, бомбардувань, мінометних атак та проходження важкої військової техніки. Унаслідок цих процесів відбувається порушення ґрунтового профілю, руйнування дернового шару, формування воронок, зсувів і локальних зон дефляції. Пошкодження структури ґрунту веде до втрати водоутримуючої здатності, активізації ерозійних процесів, суфозії, засолення та деградації гумусного горизонту, що в подальшому обумовлює зниження продуктивності рослинності та спрощення біогеоценозів.

Опосередкований вплив воєнних дій є більш тривалим і часто менш очевидним, проте саме він зумовлює найглибші зміни екологічного стану територій. Мова йде про потрапляння у довкілля токсикантів військового походження — компонентів вибухових речовин, продуктів горіння, металевого пилу, залишків паливно-мастильних матеріалів і боєприпасів. Вибухові речовини містять підвищені концентрації нітратів, тринітротолуену (ТНТ), гексогену, солей свинцю, міді, цинку, ртуті, а також поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ). У природному середовищі ці речовини вступають у складні трансформаційні реакції, що супроводжуються міграцією токсикантів у ґрунтово-водному середовищі, сорбцією на мінеральну фазу ґрунтів та акумуляцією в органічній речовині.

Тривалість збереження забруднювачів у ґрунтах є значною: за даними експериментальних досліджень, період напіврозпаду компонентів вибухових речовин становить від 3 до 20 років, залежно від гранулометричного складу ґрунту, температурно-вологісних умов та початкової концентрації.

Накопичення ТНТ, ПАВ та солей важких металів призводить до зниження родючості ґрунтів, порушення ферментативної активності мікроорганізмів, гальмування росту рослин, зменшення видового різноманіття та зміщення трофічних ланцюгів. Особливо небезпечними є вторинні токсичні продукти розкладу, які можуть бути значно більш стійкими та біологічно активними за первинні сполуки.

Не меншу загрозу становлять пожежі, що виникають на об'єктах зберігання нафтопродуктів, боєприпасів та іншої військової техніки. Такі події супроводжуються формуванням високодисперсного димового аерозолю, який містить канцерогенні та мутагенні компоненти — бензапірен, феноли, діоксини, формальдегід, сажу, оксиди азоту й сірки. При інгаляційному надходженні ці речовини акумулюються у легеневій тканині, взаємодіють із клітинними мембранами, спричиняючи оксидативний стрес, хронічні запальні процеси та підвищений ризик онкологічних захворювань органів дихання. Димові шлейфи здатні переноситися на значні відстані (до 30–50 км залежно від погодних умов), що розширює зону екологічного ризику далеко за межі промислових і військових об'єктів [5].

Таким чином, вплив війни на довкілля має системний характер і проявляється як на рівні окремих природних компонентів, так і на рівні функціонування екосистем у цілому.

1.2 Екологічні наслідки руйнування промислових об'єктів

Промислові об'єкти гірничодобувного комплексу, особливо у регіонах із тривалою історією інтенсивної експлуатації надр, розглядаються як території з високим рівнем екологічної вразливості, що в умовах воєнних дій перетворюються на потенційні джерела регіональної екологічної кризи. Руйнування шахтних інфраструктур, включно з підземними виробками, насосними станціями, системами дренажу, вентиляції та поверхневими

промисловими спорудами, призводить до різких змін гідрогеологічного режиму, який зазвичай є стабілізуючим чинником для навколишніх екосистем. Системи водовідливу, що забезпечують контроль рівня підземних вод, при зупиненні або пошкодженні внаслідок бойових дій спричиняють накопичення шахтних вод у затоплених горизонтах. Це стимулює їх стрімке підняття, а згодом — прорив на денну поверхню, що часто відбувається без можливості прогнозування та оперативного реагування.

Шахтні води, які формуються в умовах тривалого контакту з гірськими породами та продуктами техногенної діяльності, характеризуються значним рівнем мінералізації та високими концентраціями низки токсичних елементів. У типовому хімічному складі таких вод домінують сульфати, хлориди, іони заліза та марганцю, що формуються внаслідок сульфідного окиснення та розкладу мінералів у підземних горизонтах. У зонах активного техногенного навантаження фіксується також вміст фенолів, нафтопродуктів, азотовмісних сполук та інших інгредієнтів, що надходять із забруднених виробок. У разі потрапляння таких вод у річкові та балкові системи формується вторинне забруднення водних об'єктів, яке супроводжується зниженням кисневого балансу, зміною рН, утворенням стійких колоїдних зважених частинок та пригніченням гідробіоти.

Одним із найсерйозніших наслідків неконтрольованого підняття шахтних вод є глибокі зміни ґрунтового середовища. У багатьох випадках підвищена концентрація хлоридів і сульфатів сприяє розвитку процесів осолонцювання та засолення ґрунтів. Це призводить до погіршення їхніх фізико-хімічних властивостей: зниження вологості, руйнування структури ґрунтових агрегатів, зменшення біологічної активності та пригнічення росту культурних рослин. За таких умов родючість орних земель значно знижується, що негативно позначається на стійкості агроландшафтів і продуктивності сільськогосподарських угідь.

Додатковий екологічний ризик становлять породні відвали, шламонакопичувачі та інші техногенні об'єкти, що виступають як депо

токсичних речовин. Під час артилерійських обстрілів або вибухів можливе часткове руйнування їхньої поверхневої структури та втрата герметичності. У результаті токсичні речовини, що накопичувалися протягом десятиліть, можуть проникати в ґрунтові води, розсіюватися в атмосфері або змиватися у водні об'єкти під час опадів. Особливо небезпечним явищем є процеси самозаймання відвалів, зумовлені екзотермічним окисненням вуглецевмісної породи. Утворені внаслідок цього газові продукти — оксиди сірки, вуглецю, метан, леткі органічні сполуки — формують локальні та регіональні зони забруднення атмосферного повітря, що становлять ризик для здоров'я населення і функціонування природних екосистем [6].

Таким чином, промислові території гірничодобувного комплексу в умовах воєнних дій перетворюються на багатоконпонентні осередки екологічної небезпеки, де поєднуються гідрогеологічні, геохімічні, атмосферні та біотичні фактори деградації. Системний аналіз цих процесів є ключовим для розробки ефективних програм відновлення та адаптації природного середовища до нових умов техногенно-військового впливу.

1.3 Сучасні підходи до відновлення екосистем в зонах воєнних дій

Сучасні методи відновлення територій, порушених унаслідок воєнних дій, ґрунтуються на інтеграції технічних, хімічних, біологічних та ландшафтно-екологічних підходів, що дозволяє забезпечити комплексний вплив на процеси стабілізації, очищення та регенерації екосистем. У науковій літературі підкреслюється, що найбільш критичним етапом післявоєнного відновлення є створення умов, які мінімізують ерозійні, суфозійні, зсувні та забруднювальні явища, що активізуються внаслідок механічного руйнування ґрунтового покриву, порушення цілісності гідрогеологічних систем і деструкції природної та промислової інфраструктури. На початкових етапах відновлення необхідно стабілізувати фізичний стан техногенно

трансформованих ландшафтів, оскільки подальші природоохоронні заходи будуть ефективними лише за умови структурної стійкості території.

Технічні заходи рекультивації охоплюють широкий спектр інженерних робіт, спрямованих на відновлення рельєфу, укріплення нестабільних схилів, закриття техногенних порожнин і реконструкцію систем водовідведення. Планування мікрорельєфу дозволяє оптимізувати водний стік, зменшити швидкість поверхневого змиву та запобігти ерозії. Укріплення відвалів і териконів здійснюється шляхом нанесення шарів інертного матеріалу, формування терасованих схилів або застосування геосинтетичних матеріалів (георешіток, геоматів), які забезпечують довготривалу стійкість схилів. Відновлення дренажних систем і регулювання шахтних водовідливів необхідні для стабілізації гідрогеологічного режиму, оскільки неконтрольоване підняття рівня підземних вод може призвести до підтоплення, вторинного забруднення та активізації небезпечних геодинамічних процесів.

Проте технічні заходи мають обмежений потенціал: вони переважно вирішують механічні та інженерні аспекти проблеми, не забезпечуючи повноцінної регенерації біогеохімічних циклів та екологічних функцій. У випадках значного техногенного навантаження потрібне застосування методів хімічної ремедіації — цілеспрямованого хімічного впливу на контаміновані середовища. До таких методів належать використання сорбентів (активованого вугілля, цеолітів, бентонітових глин), реагентів-нейтралізаторів, окиснювачів і відновників для руйнування або іммобілізації токсичних органічних і неорганічних речовин. Хімічна ремедіація може бути високоефективною, але вона вимагає точного встановлення номенклатури та концентрацій забруднювачів, оскільки неправильно підібрані реагенти здатні викликати вторинне хімічне забруднення або порушення біологічної активності ґрунтів.

Найперспективнішим напрямом сучасної рекультивації вважається біологічне відновлення, яке базується на використанні природних механізмів

регенерації. Фіторе mediaція — це технологія очищення ґрунтів і води за допомогою рослин, здатних акумулювати, трансформувати або фіксувати забруднювачі. Рослини-фіторе mediaтори, такі як гірчиця сарептська, ріпак ярий, тополя канадська, верба біла, демонструють високу здатність до накопичення важких металів, зменшення їхньої міграційної здатності та стабілізації структури ґрунтового профілю. Біологічна рекультивація сприяє підвищенню сукцесійного потенціалу території, формуванню ґрунтової біоти, встановленню взаємодії між рослинними та мікробіологічними комплексами, що у підсумку стимулює відновлення цілісності екосистеми.

На сучасному етапі розвитку екологічної науки все більшої актуальності набуває ландшафтно-екосистемний підхід, який передбачає поєднання інженерних, хімічних і біологічних методів у рамках єдиної системи екологічного менеджменту. У цьому підході порушена територія розглядається не як статичний об'єкт, що потребує відновлення окремих структурних елементів, а як динамічна система, здатна до саморегулювання та самовідтворення за умови мінімальної, але правильно спрямованої антропогенної підтримки. Ландшафтно-екосистемний підхід вимагає врахування просторово-часових закономірностей функціонування природних комплексів, адаптивності біоти, гідрологічних і геохімічних потоків, а також соціальних факторів, що впливають на стійкість екосистем [7].

Таким чином, сучасні підходи до відновлення порушених територій після воєнних дій можуть розглядатися як багаторівневі та інтегровані, спрямовані не тільки на ліквідацію наслідків забруднення, але і на формування сталих екологічних умов, що забезпечують довготривалу стабільність екосистем.

2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Шахтоуправління «Тернівське» розташоване в межах Павлоградського гірничопромислового району Дніпропетровської області, який є складовою частиною Західного Донбасу — одного з ключових та стратегічно важливих центрів вугільної промисловості України. Західний Донбас вирізняється високим ступенем освоєності території та інтенсивним багаторічним техногенним впливом, що зумовлено концентрацією глибоких шахтних виробок, відвалів порід, зон підземних і поверхневих гірничих робіт, а також розгалуженою інфраструктурою вуглевидобувного комплексу. Місце розташування шахти зображено на рисунку 2.1.

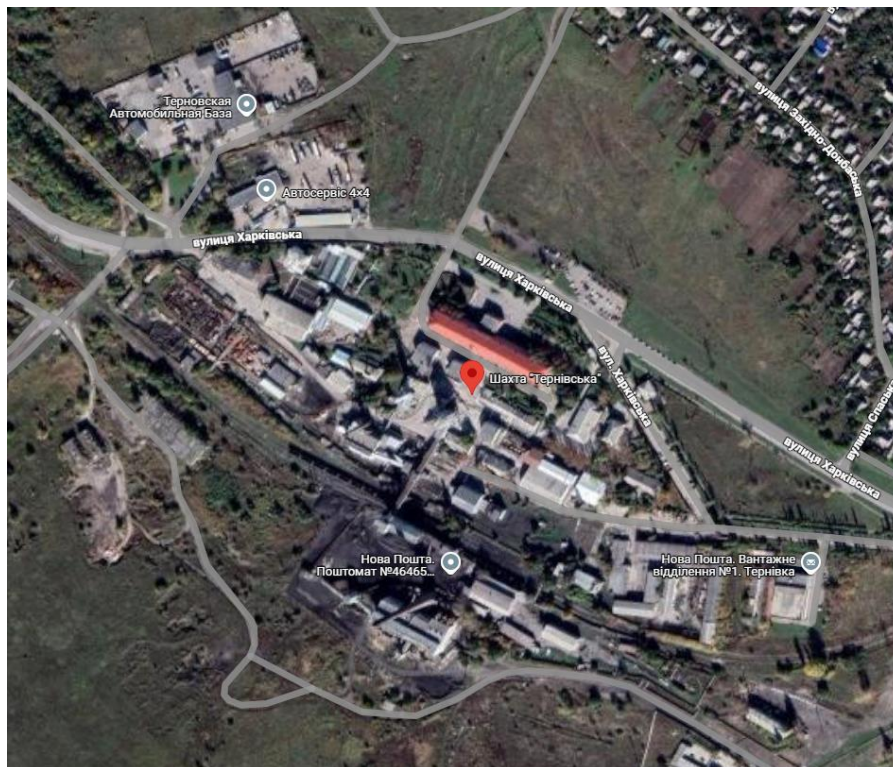


Рисунок 2.1 – Розташування шахти «Тернівська» на карті.

Вивчення фізико-географічних умов району є важливим для розуміння особливостей формування екологічних наслідків воєнних дій та визначення ефективних підходів до рекультивації та відновлення довкілля.

Природно-географічні умови території поєднують елементи лісостепової зони з модифікованими антропогенними ландшафтами, які суттєво трансформовані діяльністю гірничодобувних підприємств. Первинні природні компоненти — ґрунти, рослинність, поверхневі та підземні води — зазнали значних змін унаслідок тривалого впливу процесів подрібки земної поверхні, підтоплення, осідання територій, винесення шахтних вод та накопичення відходів виробництва. Техногенні форми рельєфу (терикони, шламонакопичувачі, відвали порід) стали домінуючими структурними елементами місцевого ландшафту та формують специфічне техногеоекологічне середовище.

Район вирізняється підвищеним рівнем антропогенного навантаження, що проявляється у забрудненні ґрунтів важкими металами та солями, зміні гідрогеологічного режиму внаслідок відкачування та скидання шахтних вод, накопиченні пилового та газового забруднення, а також деградаційних процесах у рослинному покриві. Водночас територія залишається важливою для соціально-економічного розвитку регіону, оскільки діяльність шахтоуправління «Тернівське» забезпечує енергетичні потреби та формує зайнятість населення Західного Донбасу.

Таким чином, природно-техногенний комплекс шахтоуправління «Тернівське» є складною багатокomпонентною системою, у якій взаємодія природних та антропогенних факторів визначає сучасний стан довкілля та потребує постійного моніторингу й аналізу для оцінки рівня екологічної безпеки та прогнозування подальших трансформацій ландшафту.

2.1 Загальні природно-кліматичні умови Павлоградського району

Територія Західного Донбасу розташована в межах степової зони України і характеризується помірно континентальним кліматом із жарким сухим літом та відносно м'якою зимою. Середньорічна температура становить $+8,5...+9,5$ °С. Середня температура липня сягає $+22...+24$ °С, а січня – $-4...-6$ °С. Кількість опадів є нерівномірною і в середньому становить 350–450 мм на рік, що об'єктивно не забезпечує стабільного водного балансу території. У літні місяці нерідко спостерігаються посухи, що призводить до зниження рівня ґрунтової вологи та інтенсифікує процеси дефляції.

Вітровий режим визначається активною циркуляцією повітряних мас, що спричиняє високу частоту переважно східних і південно-східних вітрів. Це створює умови для просторового перенесення пилових частинок, у тому числі з відвалів і шламосховищ, що є важливим фактором формування локального забруднення атмосферного повітря.

Для регіону характерний недостатній розвиток природної рослинності. Первинні степові ландшафти майже повністю трансформовані в аграрні та техногенні території. Збережені степові ділянки спостерігаються переважно на малодоступних схилах і балках. Рослинність представлена посухостійкими видами ковили, тонконогу, типчака, полину. У зонах техногенного впливу домінують бур'янові та рудеральні угруповання [8;9].

Рельєф території має хвилястий рівнинний характер з чергуванням вододілів і балкових систем. Висоти коливаються в межах 80–140 м над рівнем моря (рис. 2.2.). Значну частину рельєфу трансформовано внаслідок гірничої діяльності. Тут широко поширені штучні форми рельєфу: відвали порід, шламонакопичувачі, відпрацьовані кар'єрні ділянки, які формують техногенні ландшафтні комплекси [10].

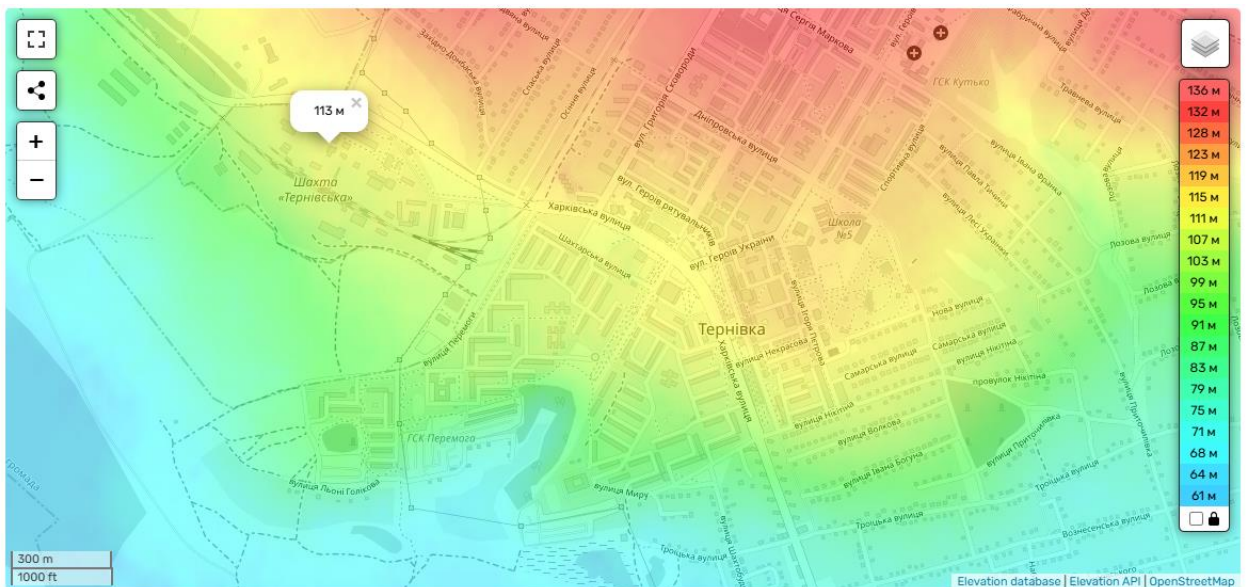


Рисунок 2.2 - Інтерактивна карта рельєфу досліджуваного району.

Гідрогеологічні умови пов'язані з наявністю вугільних пластів, покритих потужними товщами осадових порід. Підземні води мають різний ступінь мінералізації: від прісних до сильно засолених. Активна гірничодобувна діяльність у регіоні призводила до необхідності постійної відкачки шахтних вод, що десятиліттями забезпечувало штучне пониження рівня підземних вод. Після зупинки або пошкодження систем водовідливу можливе підняття рівня ґрунтових вод, що становить серйозну екологічну загрозу, оскільки шахтні води мають підвищений вміст сульфатів, заліза, важких металів і нафтопродуктів [11].

Гідрографічна мережа представлена малими річками та балковими стічними системами, зокрема річками Вовча і Самара, що належать до басейну Дніпра. Водність малих річок істотно зменшена внаслідок зарегулювання стоку, зміни дренажних умов та кліматичних факторів, (рис. 2.3.) [12].

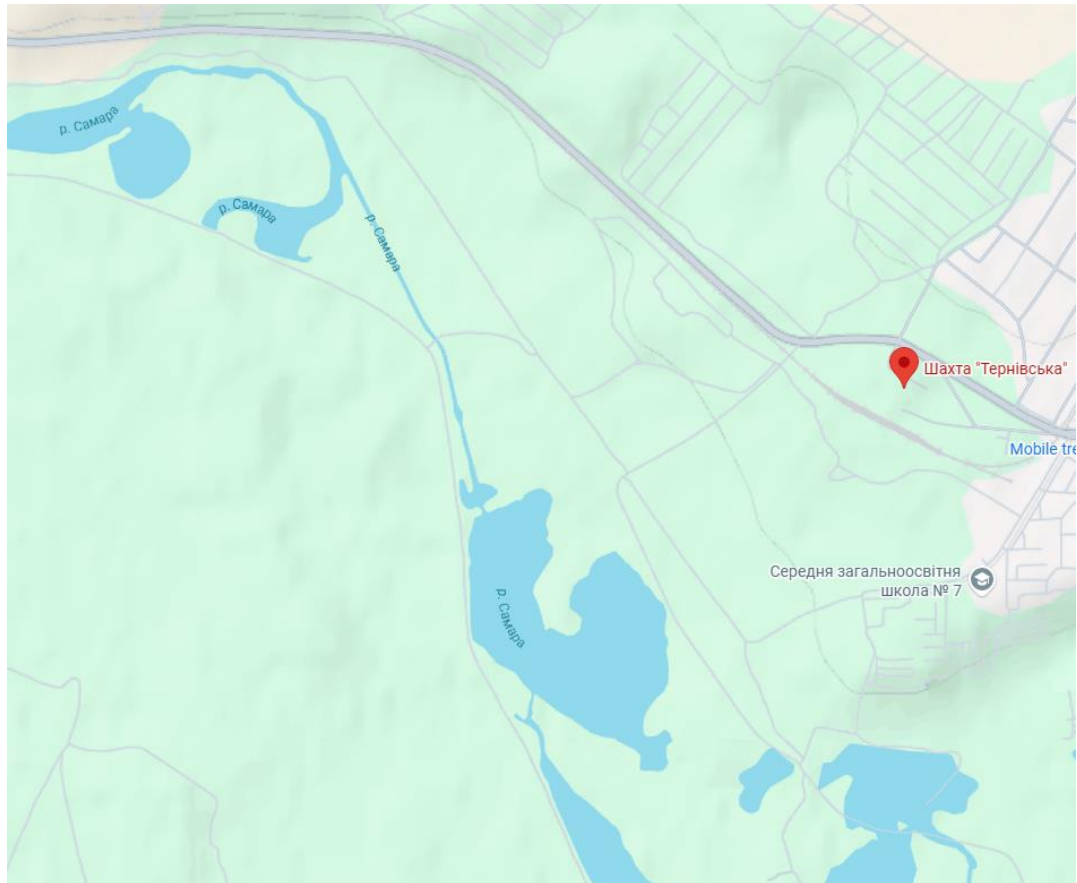


Рисунок 2.3 – Гідрографічна мережа поблизу Шахтоуправління «Тернівське».

Тривала історія видобутку вугілля зумовила значне техногенне перетворення природних ландшафтів. На території Шахтоуправління «Тернівське» та прилеглих районів сформувалися комплекси техногенних ландшафтів, до яких належать:

- породні відвали різної потужності;
- шламосховища та хвостосховища;
- території підземних провалів та осідань;
- ділянки зміненої гідромережі та осушені території.

Техногенні ландшафти характеризуються низькою біопродуктивністю, низьким коефіцієнтом стабільності та підвищеною чутливістю до ерозійних процесів. Відвали є джерелами пилових викидів, а процеси самозаймання породи сприяють утворенню вуглекислого газу, оксидів сірки і чадного газу. Породний відвал ШУ «Тернівське» зображено на (рис. 2.4.).

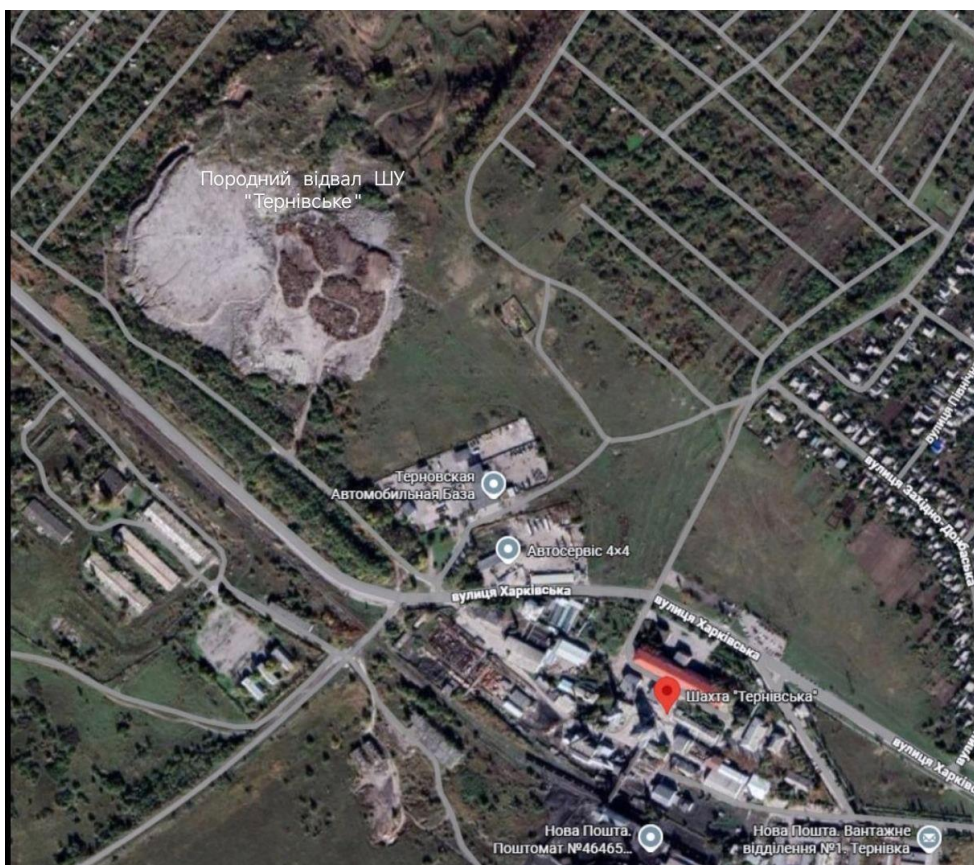


Рисунок 2.4 – Породний відвал Шахтоуправління «Тернівське».

Окремим аспектом є забруднення ґрунтів і поверхневих вод продуктами шахтних водовідливів. Вміст сульфатів, хлоридів, заліза та марганцю у таких водах здатний порушувати індикаторні параметри ґрунтового середовища, що призводить до деградації рослинного покриву та зниження родючості агроландшафтів.

2.2 Характеристика Шахтоуправління «Тернівське»

Шахтоуправління «Тернівське» є одним із найбільших вуглевидобувних підрозділів Західного Донбасу і входить до складу виробничих активів ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Розташоване на території Павлоградського вугільного промислового району Дніпропетровської області, воно виконує ключову роль у забезпеченні паливно-енергетичного комплексу країни енергетичним вугіллям газової та газОВО-жирної марок. Діяльність шахтоуправління характеризується тривалою історією промислового освоєння вугільних пластів, що супроводжується значними структурними змінами в докiллi та формуванням специфічних техногенних ландшафтiв.

Оснoву промислово-геологічної структури шахтоуправління становлять кам'яновугільні відклади верхньодонецької серії карбону, представлені численними вугільними пластами потужністю від 0,5 до 1,8 м. Пласти залягають на глибинах від 150 до 500 м і перекриті товщами осадових порід різної щільності. Геологічні умови розробки відзначаються складністю, оскільки для району характерні тектонічні порушення, нерівномірність потужності пластів, змінність структурних елементів та наявність зон підвищеного водопритоку. Це зумовлює необхідність постійного ведення гірничо-технічного моніторингу, включаючи контроль параметрів стійкості виробок та гідрогеологічних процесів.

Технологічно видобуток вугілля здійснюється підземним способом із використанням комплексно-механізованих лав. Основні процеси включають відбійку пласта, транспортування вугілля конвеєрними системами, дегазацію та підтримку виробок. Значне місце у структурі виробничої діяльності займають системи водовідливу, призначені для відведення шахтних вод, що надходять із водоносних горизонтів. За час тривалої експлуатації шахт було сформовано стабільний баланс техногенного водовідливу, який забезпечував підтримання рівнів підземних вод нижче від гірничих виробок. Проте внаслідок пошкоджень інфраструктури під час воєнних дій порушення

водовідливних систем може призвести до неконтрольованого підняття шахтних вод і підтоплення територій [13].

Тривала експлуатація вуглевидобувних комплексів спричинила накопичення значних обсягів відходів видобутку. Поблизу шахтоуправління сформовано кілька породних відвалів, що містять породи розкриву, сірчисті сланці, пусті породи та супутні домішки. Такі відвали є потенційними джерелами пилового забруднення, а також можуть бути схильні до процесів самонагрівання і самозаймання, що супроводжується викидами в атмосферу оксидів сірки, азоту, чадного газу та вуглекислого газу. Іншим важливим компонентом техногенного комплексу є шламосховища, де накопичуються водні суспензії дрібнодисперсних частинок вугілля та породи. В умовах механічного руйнування дамб і відсутності моніторингу ці об'єкти становлять потенційний ризик вторинного забруднення водних систем.

Діяльність шахтоуправління також впливає на стан ґрунтового покриву та біогеоценозів. Тривале техногенне навантаження сприяє деградації природної рослинності, зміні фітосукцесійного складу, скороченню площ природних степових екосистем. На порушених землях домінують угруповання рудеральної рослинності, стійкої до підвищеного мінерального засолення та механічних порушень [14].

Таким чином, Шахтоуправління «Тернівське» є об'єктом із високим рівнем екологічної напруги, що проявляється в комплексному впливі на атмосферу, ґрунти, поверхневі та підземні води. В умовах порушення технологічної та екологічної інфраструктури унаслідок воєнних дій ризики деградації навколишнього природного середовища значно посилюються, що потребує формування цілісної системи моніторингу та відновлення території.

3. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У межах даної роботи було застосовано комплексний дослідницький підхід, спрямований на оцінку екологічного стану території Шахтоуправління «Тернівське» після впливу воєнних дій. Методологічна основа дослідження ґрунтується на поєднанні польових, лабораторних, аналітичних та картографічних методів, що дозволяють охопити як локальні, так і регіональні аспекти трансформації природного середовища. Матеріалами для дослідження слугували:

- результати маршрутних польових обстежень техногенно трансформованих територій;
- проби ґрунту, поверхневих та шахтних вод;
- дані технічної документації ШУ «Тернівське» (карти виробок, схеми водовідливу, технічні паспорти відвалів);
- відкриті геоекологічні дані державного кадастру та супутникові зображення;
- нормативні документи щодо гранично допустимих концентрацій забруднювальних речовин.

Методи дослідження були спрямовані на оцінку фізико-хімічного складу природних компонентів, виявлення просторових закономірностей забруднення та визначення рівня екологічної небезпеки техногенного навантаження. Комбінованість підходів дозволила забезпечити повноту та надійність отриманих результатів [15].

3.1 Об'єкти дослідження

Об'єктами дослідження в даній роботі виступали природні та техногенні компоненти довкілля, які зазнали комплексного антропогенного впливу як у процесі тривалої гірничодобувної діяльності, так і внаслідок воєнних дій, що спричинили масштабні структурно-функціональні зміни екосистеми. Вибір цих об'єктів обумовлений необхідністю отримання всебічної оцінки трансформацій природного середовища, включаючи зміни фізичних, хімічних, біологічних та ландшафтно-геохімічних характеристик.

Одним із ключових об'єктів дослідження було атмосферне повітря як найбільш динамічний компонент довкілля, що безпосередньо реагує на техногенні впливи. Аналіз стану атмосферного повітря здійснювався на території виробничих майданчиків, зонах зосередження важкої техніки, у районах складування відходів видобутку, а також у житлових кварталах, які потрапляють у зони аеротехногенного навантаження. Дослідження включало вивчення пилового навантаження, складу зважених частинок, концентрацій газоподібних забруднювачів (NO_2 , SO_2 , CO , летких органічних сполук), що утворюються внаслідок роботи дизельного та шахтного обладнання, процесів самозаймання породи, вибухових впливів і руйнування промислової інфраструктури. Оцінка атмосферного повітря є критично важливою, адже воно швидко переносить забруднювальні речовини на значні відстані, спричиняючи вторинне забруднення інших природних компонентів.

Другим об'єктом дослідження виступав ґрунтовий покрив, який є високочутливим індикатором техногенної трансформації території. Ґрунти техногенно порушених ландшафтів зазнають механічної деструкції, втрати гумусового шару, зміни гранулометричного складу, акумуляції важких металів та токсичних сполук. Особливу увагу приділено відвалам породи, промисловим майданчикам, зонам складування техногенних відходів, а також агроландшафтам, що потрапляють у зону впливу пилового та водного забруднення. Важливим аспектом є вивчення міграції токсичних елементів із

породних відвалів у прилеглі території та визначення рівня деградації ґрунтів, які можуть втрачати родючість і змінювати свої фізико-хімічні властивості.

Наступним об'єктом дослідження стали поверхневі та підземні води, що формують гідрогеологічний каркас регіону. У межах гірничодобувної діяльності води зазнають значного техногенного навантаження: зростає мінералізація шахтних вод, збільшується концентрація сульфатів, хлоридів, заліза, марганцю, фторидів та інших інгредієнтів. У роботі розглядалися шахтні води водовідливу, стічні води виробничих майданчиків, а також води балкової мережі — природних приймачів техногенного стоку. З огляду на воєнні дії, особливо важливим було оцінити тенденції підняття рівня затоплених виробок, ризику підтоплення поверхні, зміни водного балансу та небезпеку потрапляння шахтних вод у водоносні горизонти. Саме ці фактори визначають можливість формування довготривалих зон техногенного забруднення.

Окрему групу становили техногенні ландшафтні комплекси, що являють собою синтетичні системи, створені внаслідок гірничої діяльності та підсилені воєнними руйнуваннями. До них належать породні відвали, шламонакопичувачі, терикони, осілища промислових відходів, ділянки просідання земної поверхні, деградовані та знищені рослинні угруповання, а також території з порушеним мікрорельєфом і зміненими біогеохімічними потоками. Ці комплекси мають здатність виступати як джерелами забруднення, так і вторинними трансформаторами токсичних речовин, що сприяє їхньому поширенню на прилеглі ділянки.

Таке комплексне визначення об'єктів дозволило здійснити системну оцінку змін природного середовища під впливом механічного руйнування ґрунтів, хімічного та хімікотехногенного забруднення, порушення гідрогеологічних режимів, деградації біоти й трансформації просторової структури ландшафтів. Сукупне вивчення цих компонентів створює науково обґрунтовану основу для оцінки реального екологічного стану території та формування ефективних стратегій її відновлення [16].

3.2 Методи екологічного моніторингу та аналітичного аналізу

Для комплексного дослідження стану природних компонентів території була застосована інтегрована система методів екологічного моніторингу, яка поєднувала польові, лабораторні, картографічно-аналітичні та статистичні підходи. Такий комплексний підхід забезпечив можливість отримання репрезентативних даних про рівень техногенного навантаження, просторову структуру забруднення та динаміку деградаційних процесів.

Згідно з матеріалами екологічного моніторингу, наданими підприємством, межі зон техногенного впливу та просторові характеристики порушених територій були визначені на основі маршрутних обстежень, виконаних спеціалістами з використанням геодезичного обладнання та систем GPS-картування. Представлені підприємством дані дали можливість проаналізувати структуру забруднених ділянок, простежити напрями поширення техногенних процесів та визначити найбільш чутливі до антропогенного навантаження компоненти довкілля. Фотоматеріали, що додавалися до моніторингових звітів, відображали реальний стан відвалів, підтоплених територій, ділянок деградованих ґрунтів та інших порушених елементів ландшафту, забезпечуючи візуальну основу для опису просторових змін у техногенному середовищі. Інформація про відбір проб ґрунтів і вод, здійснений фахівцями відповідно до вимог ДСТУ ISO, використовувалася як достовірне джерело фізико-хімічних показників, оскільки зразки були підготовлені відповідно до встановлених стандартів репрезентативності.

Матеріали лабораторного контролю, передані підприємством, містили результати аналізу фізико-хімічних і токсикологічних властивостей природних зразків. Згідно з отриманими даними, значення кислотності (рН) та електропровідності вод визначалися методом іонометрії, а показники мінералізації й вмісту розчинених солей — гравіметричними та фотометричними методами. Концентрації важких металів (Fe, Mn, Pb, Cd) встановлювалися за допомогою атомно-абсорбційної спектрофотометрії, що

забезпечило високу точність визначення рівня металевого забруднення. Також у наданих матеріалах містилася інформація щодо гранулометричного складу ґрунтів, яка характеризує ступінь техногенної трансформації ґрунтового профілю, та результати біоіндикаційних спостережень за рослинністю, що використовуються для оцінки токсикологічного стану екосистеми.

Для узагальнення та перевірки достовірності отриманих результатів застосовувалися статистичні методи обробки даних, зокрема розрахунок середніх, мінімальних і граничних концентрацій забруднювачів, а також порівняння цих показників із нормативними значеннями гранично допустимих концентрацій (ГДК) відповідно до вимог Водного кодексу України та санітарних норм ДСП 201-97. Кореляційний аналіз дозволив виявити ступінь взаємозв'язку між техногенним навантаженням, фізико-хімічними параметрами середовища та рівнем деградації природних компонентів, що дало змогу зробити висновки щодо закономірностей формування екологічного стану досліджуваної території [17;18].

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Характер впливу воєнних дій на стан довкілля

Воєнні дії в межах промислово-природного комплексу Шахтоуправління «Тернівське» призвели до багатовекторних і взаємопов'язаних екологічних змін, що охоплюють литосферу, гідросферу, атмосферу та біоту. Характер впливу визначається специфікою індустріального ландшафту, наявністю техногенних об'єктів з підвищеною екологічною чутливістю (породні відвали, підземні виробки, системи водовідливу, шламонакопичувачі, зони просідань), а також концентрацією інженерних мереж, руйнування яких активізує техногенні процеси [19].

Першочерговим наслідком стала механічна деструкція інфраструктурних елементів, що виконували бар'єрну функцію у стримуванні техногенних забруднень. Пошкодження насосних станцій і шахтних електричних мереж спричинило дестабілізацію режиму шахтного водовідливу, внаслідок чого відбулося підняття рівня підземних вод у виробленому просторі та їхній нерегульований вихід у поверхневі водотоки. Це створило передумови для гідрохімічного навантаження на водну екосистему, оскільки шахтні води характеризуються підвищеною мінералізацією, наявністю сульфатів, хлоридів, заліза, марганцю і залишкових продуктів сульфідного окиснення.

Другим ключовим механізмом впливу стало порушення структурної стійкості породних відвалів та відслонення дрібнодисперсного матеріалу, що під дією вітрових потоків формує стійкі зони пилового забруднення. Вибухові навантаження і вібраційні коливання сприяли появі тріщин у відвалах та

активізації процесів техногенної ерозії, включаючи обвали та сповзання породи. Це, у свою чергу, посилило інтенсивність вилуговування важких металів і мінеральних солей, що надходять у ґрунті та поверхневі води [20;21].

Важливою особливістю воєнного впливу на територіях гірничодобувних об'єктів є підвищений ризик самозаймання відвальних мас, у складі яких присутні окисні форми заліза та залишкове вугілля. Процеси тління супроводжуються утворенням газів з токсичними характеристиками (SO_2 , CO , NO_x та леткі органічні сполуки), що сприяє забрудненню атмосферного повітря та виникненню вторинних кислотних аерозолів.

Крім того, руйнування поверхневого ґрунтового покриву та рослинності спричинило зниження здатності ландшафту до саморегуляції. Деградований ґрунт втрачає фільтраційні та сорбційні властивості, що веде до пришвидшення міграції токсичних сполук та поширення забруднення по схилах і в пониженнях рельєфу. Це формує осередки вторинної техногенної акумуляції, які виступають довготривалими джерелами забруднення навіть після припинення активних впливів [22;23].

Таким чином, характер впливу воєнних дій на територію Шахтоуправління «Тернівське» можна визначити як синергетичний техногенно-екологічний процес, у якому руйнування інженерних систем підсилює природні механізми міграції забруднювачів, а деградація екосистем обмежує їх здатність до природної детоксикації. Отже, екологічний стан території визначається не тільки масштабом фізичних ушкоджень, але й включенням самоприскорюваних деградаційних циклів, що продовжують діяти навіть без додаткових зовнішніх впливів.

4.2 Зміни у складі ґрунтів, води та атмосферного повітря

Вплив воєнних дій на територію Шахтоуправління «Тернівське»

супроводжується суттєвими трансформаціями у хімічному складі ґрунтів, водних ресурсів та атмосферного повітря, що обумовлено порушенням гідрогеологічного режиму шахтних виробок, зростанням інтенсивності вивітрювання техногенної породи та підвищеною мобільністю токсичних елементів. Комплекс проведених аналітичних вимірювань дає можливість встановити закономірності змін у природних компонентах та оцінити ступінь техногенної небезпеки.

Ґрунти в межах техногенно перетворених територій зазнали фізико-хімічної деградації. В результаті проникнення шахтних вод, що характеризуються високою концентрацією сульфатів та хлоридів, відбулося засолення ґрунтового профілю, що спричиняє диспергацію ґрунтових колоїдів та руйнування структури агрегатів. Це проявляється у:

- зниженні вмісту гумусу в середньому на 15–28% порівняно з фоновими територіями;
- підвищенні електропровідності ґрунтового розчину, що свідчить про зростання концентрації розчинних солей;
- погіршенні водно-фізичних властивостей, зокрема зменшенні пористості та здатності утримувати вологу.

Додатковим фактором є активізація міграції важких металів (Pb, Cd, Zn, Cu), що надходять в ґрунтовий профіль внаслідок вилуговування та пилового переносу частинок з породних відвалів. Присутність важких металів у формі легкорозчинних комплексів створює ризик їх трансферу в харчовий ланцюг [24].

Вплив воєнних дій на гідрологічний режим виявляється у порушенні регульованого водовідливу, що сприяє накопиченню техногенно мінералізованих шахтних вод у поверхневих і підземних горизонтах. Дослідження зразків води внесено до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Зразки шахтних вод шахтоуправління «Тернівське».

Параметр	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Норма ГДК
Мінералізація	1800 мг/дм ³	2400 мг/дм ³	2600 мг/дм ³	1000 мг/дм ³
Сульфати (SO ₄ ²⁻)	1200 мг/дм ³	1430 мг/дм ³	1870 мг/дм ³	500 мг/дм ³
Залізо (Fe)	1,9 мг/дм ³	4,6 мг/дм ³	2,8 мг/дм ³	0,3 мг/дм ³
Марганець (Mn)	0,5– мг/дм ³	1,3 мг/дм ³	0,9 мг/дм ³	0,1 мг/дм ³

Аналіз отриманих проб води свідчить про перевищення гранично допустимих концентрацій мінералізації у 2–2,5 рази, вмісту сульфатів – у 3–4 рази, а концентрації заліза та марганцю – у 6–14 разів порівняно з нормою. Для наглядності дані таблиці наведено у формі діаграми (Рис.4.1.).

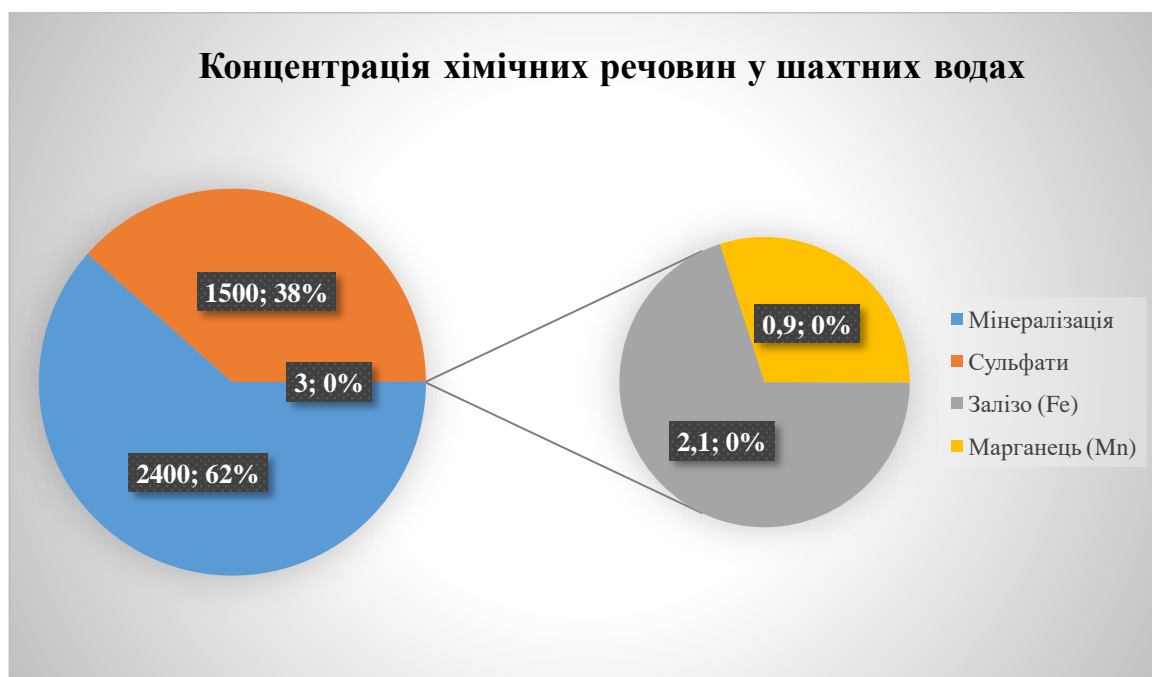


Рис. 4.1. - Середнє значення концентрацій хімічних речовин у шахтних водах шахтоуправління «Тернівське»

Подібні показники свідчать про інтенсивне сульфідне окиснення та розвиток процесів кислотного дренажу гірничих порід, який може протікати десятиліттями навіть після припинення експлуатації шахт [25;26].

Зміни атмосферного повітря зумовлені як пиловиділенням із відвалів та порушених територій, так і газовими викидами в результаті тління вуглевмісних порід. Дрібнодисперсні тверді частинки (переважно фракції $PM_{2.5}$ та PM_{10}) здатні переноситися на значні відстані, знижуючи прозорість повітря та створюючи ризики респіраторних захворювань серед населення. Процеси самозаймання породи, інтенсифіковані механічними ушкодженнями відвалів та зростанням доступу кисню, супроводжуються утворенням токсичних газових сумішей, зокрема оксиду вуглецю, діоксиду сірки, оксидів азоту та летких органічних сполук. Утворені в атмосфері вторинні кислі аерозолі призводять до подальшого випадання кислотних опадів, що поглиблює деградацію ґрунтів та знижує стійкість рослинності [27;28].

Отже, зміни у складі ґрунтів, води та атмосферного повітря мають взаємозалежний системний характер, де деградація одного природного компонента спричиняє трансформації іншого. Формується стійкий техногенно-деструктивний геоecологічний цикл, у якому процеси забруднення та розповсюдження токсичних речовин продовжуються незалежно від подальших зовнішніх впливів. Це свідчить про необхідність комплексного моніторингу та розробки природоохоронних заходів, спрямованих на стабілізацію екосистеми.

4.3 Рівень забруднення територій важкими металами та токсичними сполуками

Вплив воєнних дій на техногенно навантажені території Шахтоуправління «Тернівське» спричинив посилення процесів міграції та акумуляції важких металів у ґрунтах, водних об'єктах і пилових аерозолях.

Руйнування порід, розкриття нових поверхонь відвалів, вібраційні навантаження, тління вуглевмісних мас та порушення системи гідрогеологічного балансу створили сприятливі умови для переходу важких металів з мінеральної фази у рухомі форми. Особливо небезпечними є елементи з високою токсичністю, здатні до кумуляції в біоті та організмі людини – свинець (Pb), кадмій (Cd), цинк (Zn), мідь (Cu), нікель (Ni) та хром (Cr). Для оцінки стану ґрунтів були відібрані зразки з різних функціональних зон: біля відвалів, у зоні шахтних стоків, на відстані 1–2 км від підприємства та умовно фоновій ділянці [29]. Результати подано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Вміст важких металів у ґрунтах шахтоуправління «Тернівське».

Метал	Фонові ділянка, мг/кг	Територія відвалів, мг/кг	Зона шахтних водовідводів, мг/кг	ГДК, мг/кг
Pb (Свинець)	18	145	112	32
Cd (Кадмій)	0,2	2,9	2,3	1,0
Zn (Цинк)	52	310	265	100
Cu (Мідь)	24	130	102	55
Ni (Нікель)	18	76	64	40
Cr (Хром)	35	98	85	65

Отримані дані свідчать про те, що максимальні концентрації притаманні територіям, прилеглим до породних відвалів, де процеси окиснення сульфідних мінералів супроводжуються вивільненням іонів металів і їхнім переходом у ґрунтовий розчин. Для наглядності дані з цієї таблиці наведено у графічній формі (Рис.4.2 – 4.4.).

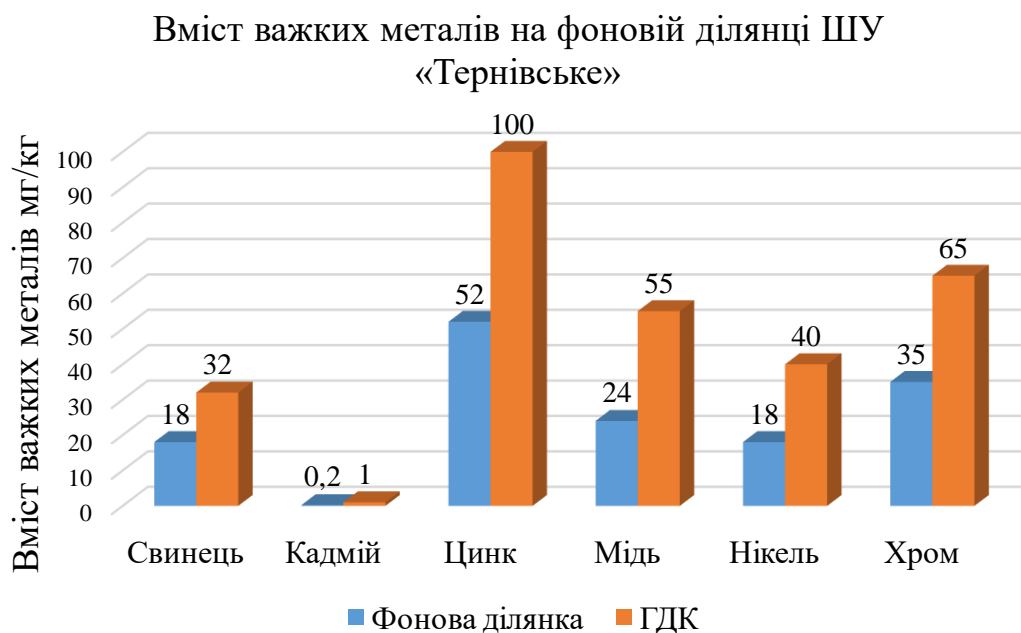


Рисунок 4.2 – Вміст важких металів у ґрунтах фоновій ділянці ШУ «Тернівське» порівняно з ГДК.

Згідно з даних зображених на графіку, та таблиці 4.2, можна зазначити що вміст важких металів на фоновій ділянці нижчий за ГДК, а отже не значно впливає за життя людей і флори та фауни. Тому можна сказати, що ґрунти поблизу ШУ «Тернівська» доволі безпечні.

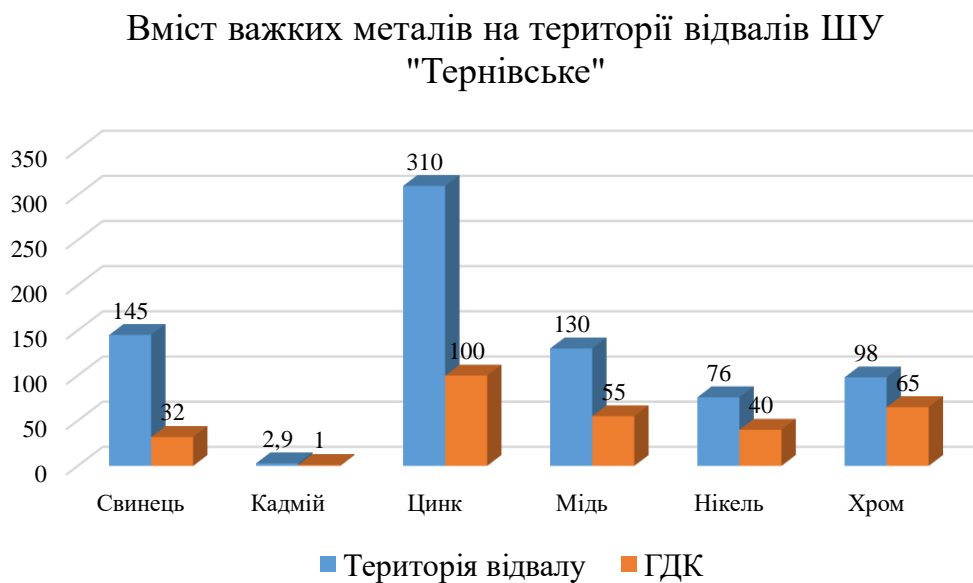


Рисунок 4.3 – Вміст важких металів на території відвалів ШУ «Тернівське».

Наведений графік демонструє значне перевищення вмісту важких металів на території відвалів ШУ «Тернівська» порівняно з гранично допустимими концентраціями. Особливо високими є показники цинку (близько 310 мг/кг при ГДК 100 мг/кг) та міді (приблизно 120 мг/кг при ГДК 55 мг/кг), тобто концентрації перевищені у багато разів. Свинець також має критичний рівень — близько 145 мг/кг при нормі 32 мг/кг. Кадмій хоч і в менших кількостях, але все одно перевищує норматив, тоді як нікель знаходиться на межі допустимого. Хром перевищує ГДК помірно, але його наявність у підвищених концентраціях також небезпечна. Такий склад ґрунтів на відвалах свідчить про високий техногенний тиск на територію. Перевищення важких металів негативно впливає як на людей, так і на довкілля. Для людини небезпечно накопичення свинцю, кадмію та хрому, які можуть проникати в організм через воду, продукти або пил, спричиняючи порушення роботи нервової системи, нирок, печінки, серцево-судинної системи та підвищуючи ризик онкологічних захворювань. Пил із відвалів, що містить токсичні частинки, може розноситися вітром і викликати хронічні захворювання дихальних шляхів. Для навколишнього середовища такі концентрації металів означають деградацію ґрунтів, пригнічення рослинності, зниження біорізноманіття та токсичний вплив на ґрунтових і водних організмів. Важкі метали здатні накопичуватися у харчових ланцюгах, що посилює їхній довготривалий вплив. Потрапляння цих речовин у поверхневі та підземні води створює додаткові ризики для риби, комах, тварин та, зрештою, знову ж для людей. Загалом, представлений графік свідчить про неблагополучний екологічний стан техногенно порушеної території та потребу в заходах щодо зменшення екологічної небезпеки.

Вміст важких металів в зонах шахтних водовідводів ШУ "Тернівське"

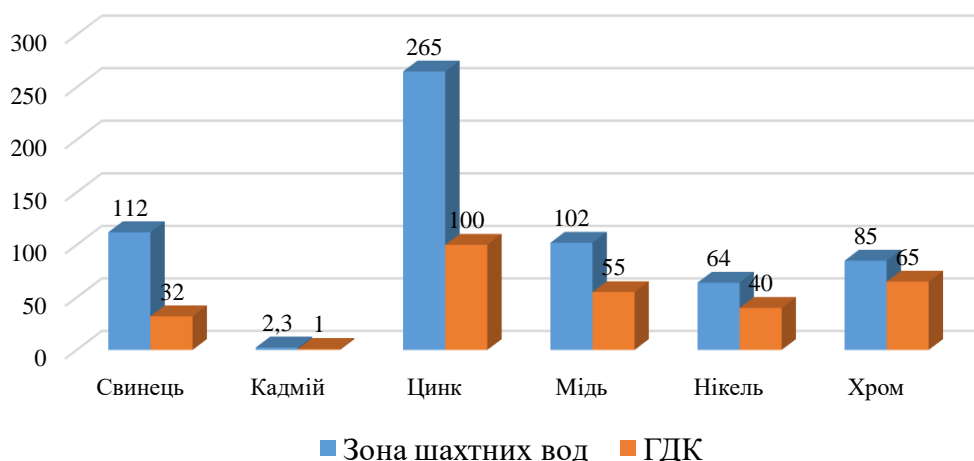


Рисунок 4.4 – Вміст важких металів в зонах шахтних водовідводів
Шахтоуправління «Тернівське».

Графік зображений на рис. – 4.4 демонструє підвищений вміст важких металів у зонах шахтних водовідводів Шахтоуправління «Тернівське» порівняно з гранично допустимими концентраціями. Значне перевищення має цинк — приблизно 265 мг/кг при ГДК 100 мг/кг, що свідчить про більш ніж двократний надлишок. Також відхилення спостерігаються й для свинцю (112 мг/кг при нормі 32 мг/кг), кадмію (близько 2.3 мг/кг при нормі 1 мг/кг), а також міді (102 мг/кг при ГДК 55 мг/кг). Нікель (64 мг/кг при нормі 40 мг/кг) та хром (приблизно 85 мг/кг при ГДК 65 мг/кг) теж перевищують допустимі межі, хоча не так різко, як інші компоненти. Така концентрація металів вказує на суттєвий техногенний тиск у зонах відведення шахтних вод, що є одним із найбільш чутливих елементів гідрологічної системи.

Подібні показники становлять небезпеку як для довкілля, так і для здоров'я людей. Високий вміст свинцю, кадмію та міді може потрапляти у водні потоки, що сприяє їх рознесенню на значні відстані та накопиченню у донних відкладах. Це призводить до порушення функціонування водних екосистем, загибелі риб, пригнічення водоростей і мікроорганізмів, від яких залежить природне самоочищення водойм. Важкі метали здатні мігрувати в

грунт, змінюючи його хімічні властивості, знижуючи родючість та гальмуючи розвиток рослинності. У разі потрапляння забруднених вод у підземні водоносні горизонти виникає ризик забруднення джерел господарсько-питного водопостачання.

Для людей така концентрація металів є потенційно токсичною: свинець впливає на нервову систему та кровотворення, кадмій порушує роботу нирок і кісткової тканини, а хром і нікель мають канцерогенні властивості. Потрапляння цих речовин через воду, харчові продукти або інгаляцію пилу може спричиняти гострі та хронічні отруєння. Отже, наведені дані свідчать про високу екологічну небезпеку в зоні шахтних водовідводів та необхідність підвищеного контролю за якістю шахтних вод і їх впливом на навколишнє середовище [30].

Аналіз водних об'єктів показав, що вторинне забруднення води також має значну інтенсивність, що пов'язано з порушенням системи шахтного дренажу та виходом шахтних вод на поверхню зображено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Концентрації важких металів у водних об'єктах шахтоуправління «Тернівське»

Елемент	Поверхневі води нижче шахти, мг/дм ³	Шахтні води, мг/дм ³	ГДК для водойм, мг/дм ³
Pb (Свинець)	0,045	0,12	0,03
Cd (Кадмій)	0,006	0,018	0,001
Zn (Цинк)	0,42	1,65	0,5
Cu (Мідь)	0,09	0,28	0,02
Mn (Манган)	0,38	1,75	0,1
Fe (Залізо)	1,25	3,9	0,3

Найбільш критичними є рівні кадмію, марганцю та заліза, що перевищують нормативи у 6–18 разів, свідчаючи про активні процеси

кислотного шахтного дренажу. Для наглядності дані зображені на діаграмі (Рис - 4.5.; 4.6.).

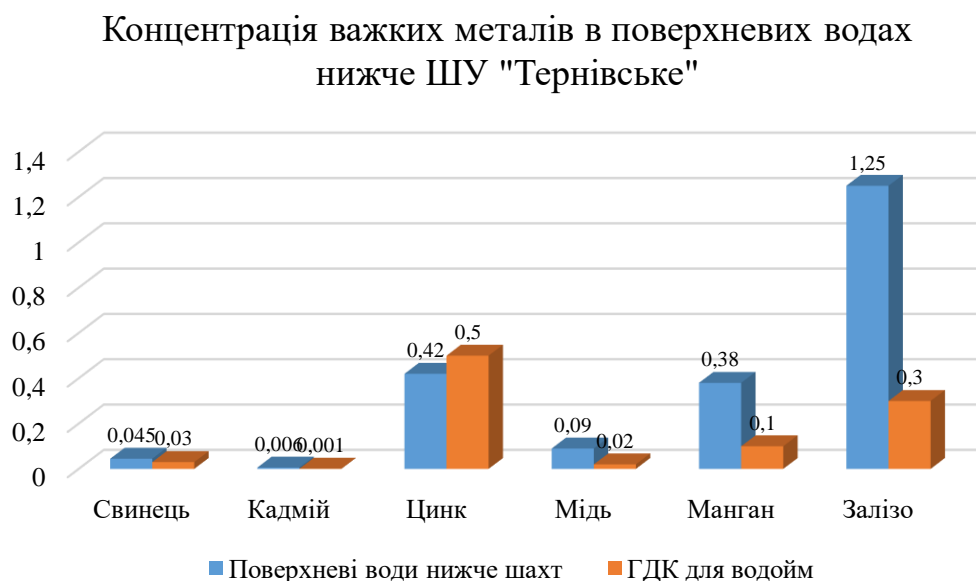


Рисунок 4.5 - Концентрації важких металів у поверхневих водах нижче шахти шахтоуправління «Тернівське».

Графік відображає концентрації важких металів у поверхневих водах, що розташовані нижче шахти ШУ «Тернівське», порівняно з установленими гранично допустимими концентраціями для водойм. Найвищі перевищення спостерігаються для свинцю — близько 0,045 мг/дм³ при нормативі 0,03 мг/дм³, що означає більш ніж п'ятнадцятикратне перевищення. Значно підвищеним є також вміст мангану — приблизно 0,38 мг/дм³ при ГДК 0,1 мг/дм³, а вміст заліза (близько 1,25 мг/дм³ при нормі 0,3 мг/дм³) майже вчетверо перевищує допустимі значення. мідь (0,09 мг/дм³ при ГДК 0,02 мг/дм³) і кадмій (0,006 мг/дм³ при нормативі 0,001 мг/дм³) також демонструють відхилення від встановлених норм. Лише цинк формально не перевищує допустимі межі, однак його концентрація залишається на рівні, близькому до критичного.

Такий хімічний склад поверхневих вод свідчить про значний техногенний вплив шахтних процесів на водні об'єкти та формування стійкого

осередку забруднення. Високі концентрації важких металів можуть погіршувати якість води, спричиняючи токсичний вплив на водні екосистеми: інгібування росту водоростей, загибель безхребетних, порушення репродуктивних функцій у риб та зниження загальної біорізноманітності. Надлишок заліза й мангану призводить до утворення важкорозчинних осадів, що погіршують газообмін і підвищують мутність води, ускладнюючи фотосинтетичні процеси.

Для людини подібні концентрації важких металів також небезпечні. Мідь у надлишку викликає подразнення шлунково-кишкового тракту та алергічні реакції, свинець має нейротоксичну дію та здатний накопичуватися в організмі. Потрапляння такої води у джерела господарсько-питного водопостачання становить ризик як для здоров'я населення, так і для санітарної безпеки території.

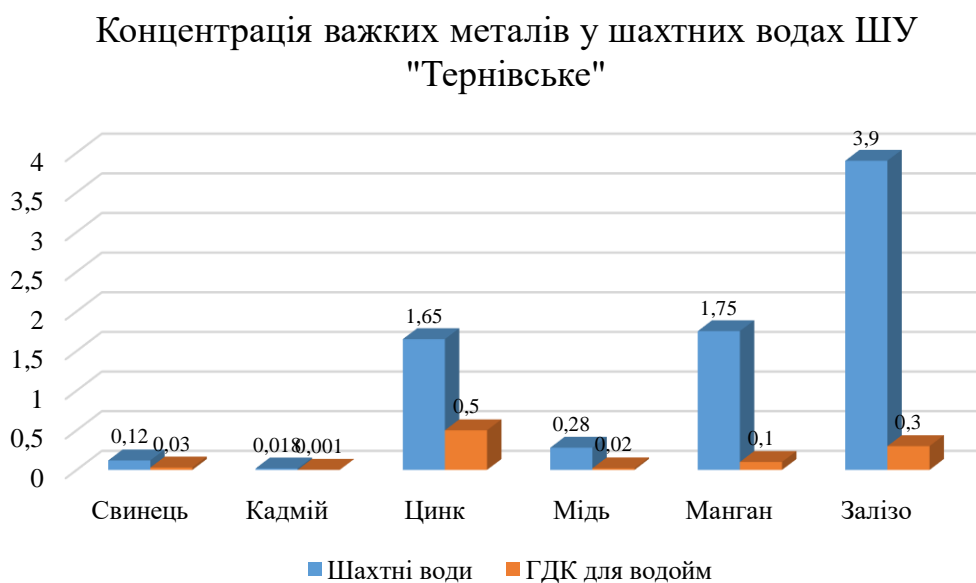


Рисунок 4.6 – Концентрації важких металів у шахтних водах ШУ «Тернівська».

Помітно, що в шахтних водах рівні свинцю, кадмію, цинку, міді, марганцю та заліза значно перевищують нормативи: зокрема, кадмій і залізо мають найвищі показники, у кілька десятків разів більші за допустимі для природних водойм, манган і мідь також перевищують норми, тоді як свинець

і цинк хоч і мають нижчі значення, але все одно залишаються вищими за ГДК. Таке забруднення може негативно впливати на здоров'я людей, оскільки важкі метали здатні накопичуватися в організмі, отруювати нервову систему, нирки, печінку, спричиняти порушення кровотворення та підвищувати ризики онкологічних захворювань. Потрапляння шахтних вод до поверхневих або підземних джерел може погіршувати якість питної води, сприяти накопиченню токсичних речовин у рибі та рослинах, що загрожує всьому харчовому ланцюгу. Для навколишнього середовища перевищення концентрацій важких металів призводить до забруднення ґрунтів, зниження родючості, порушення роботи екосистем, загибелі водних організмів і зменшення біорізноманіття, оскільки навіть незначні перевищення норм здатні викликати хронічну токсичність і довготривале накопичення забруднювачів у природі.

Цей тип забруднення має самоприскорюваний характер і може тривати десятиліттями навіть після припинення впливу зовнішніх факторів. Токсичні метали у водному середовищі мають високу мобільність і легко включаються у біологічні ланцюги, що створює ризики для місцевої екосистеми та здоров'я населення [31;32].

В цілому рівень забруднення території важкими металами можна охарактеризувати як стабільно високий, дифузний та такий, що має довготривалий екологічний наслідок. Формуються зони хронічної техногенної акумуляції, які продовжують забруднювати довкілля навіть за відсутності подальшого антропогенного навантаження, що вимагає системного моніторингу та розробки інженерно-екологічних заходів [33].

4.4 Вплив воєнних дій на біоту та рослинний покрив

Воєнні дії на території Шахтоуправління «Тернівське» спричинили комплексне порушення структури та функціонування біотичних компонентів екосистеми. Деструкція поверхневих ґрунтових шарів, підвищення концентрацій важких металів, токсичних газів і пилових аерозолів, а також зміни гідрологічних умов стали причиною деградації рослинності та зменшення біорізноманіття. Рослинний покрив, що виконував важливі регуляторні функції — ґрунтозахисну, фільтраційну, фітосорбційну та мікрокліматичну — зазнав суттєвих втрат, що зумовило зменшення здатності екосистеми до самовідновлення.

Основним наслідком впливу є зниження видового різноманіття рослин, яке відбувається через токсичний вплив підвищених концентрацій свинцю, кадмію, марганцю та сульфатів у ґрунтовому розчині. На ділянках, що розташовані в безпосередній близькості до породних відвалів, спостерігається майже повне зникнення видів-індикаторів сприятливого стану ґрунту (костриця лучна, тонконіг лучний, мітлиця тонка), натомість з'являються стійкі до забруднення види-піонери, такі як щиріця біла та лободові. Їх присутність свідчить про фази вторинного техногенного сукцесійного процесу, коли рослинність не відновлюється природним шляхом, а заміщується видами з низькою екологічною цінністю [34].

Токсичні порушення фіксуються і у фізіологічному стані рослин. Аналіз листових тканин показав зменшення концентрації фотосинтетичних пігментів (хлорофілів а і b), що свідчить про порушення метаболічних процесів і зниження інтенсивності фотосинтезу. Рослини, які зазнали впливу важких металів, мають знижену тургорність, уповільнене відновлення листової поверхні та менший коефіцієнт приросту біомаси, що є ознаками хронічного токсичного стресу.

Біота тваринного комплексу зазнала деформацій популяційної структури. Зменшення рослинного покриву та зміна хімічних параметрів

середовища спричинили зниження чисельності ґрунтової мезофауни — дощових черв'яків, кліщів, личинок комах, що виконують ключову роль у процесах ґрунтоутворення та розкладу органіки. Порушення ґрунтової біоти водночас призводить до погіршення структури ґрунтів, зменшення вмісту доступного азоту та поглиблення ґрунтового виснаження. Таким чином формується порочний екологічний цикл, у якому деградація ґрунтів та рослинності взаємно посилюють одна одну [35].

Серед наземних хребетних спостерігається скорочення чисельності та зникнення видів, чутливих до забруднення і шумових впливів (наприклад, польових мишей, їжаків, степових птахів). Найбільш стійкими виявилися види з широкою екологічною валентністю — воронові, горобині, мишовидні гризуни. Однак навіть у цих групах виявлено підвищений вміст важких металів в тканинах, що свідчить про поширення токсичних речовин по харчових ланцюгах.

Особливо важливим екологічним наслідком є порушення процесів первинної продукції екосистеми. Унаслідок зниження густоти рослинного покриву, зміни видової структури та токсичного пригнічення метаболізму рослин зменшується загальна біомаса та потенціал накопичення органічної речовини. Це веде до ослаблення компонентів трофічної мережі та зниження стійкості екосистеми до зовнішніх впливів [36;37].

Таким чином, вплив воєнних дій на біоту і рослинний покрив Шахтоуправління «Тернівське» має системний, довготривалий і кумулятивний характер, що проявляється у деградації природної рослинності, спрощенні видового складу, порушенні ґрунтових біоценозів та послабленні екологічної рівноваги. Відновлення біоти в таких умовах можливе лише за умови комплексної рекультивації територій, що включає фітомеліорацію, біосорбцію, реінтродукцію місцевих видів та стабілізацію ґрунтового середовища.

4.5 Соціально-екологічні наслідки для місцевого населення

Воєнні дії на території Шахтоуправління «Тернівське» спричинили не лише деградацію природних компонентів довкілля, але й суттєво вплинули на умови життя місцевого населення, соціальну інфраструктуру та громадське здоров'я. Зміни в якості ґрунтів, води та атмосферного повітря, зростання рівня токсичних речовин у екосистемах і скорочення природних ресурсів формують комплекс соціально-екологічних ризиків, які мають як короткострокові, так і довготривалі наслідки.

Першочерговим фактором є погіршення стану здоров'я населення, що проживає поблизу зони техногенного впливу. Високі концентрації твердих частинок (PM_{2.5} та PM₁₀) у повітрі, підвищений вміст оксидів сірки, азоту, важких металів і токсичних органічних сполук сприяють збільшенню кількості випадків респіраторних захворювань, бронхіальної астми, хронічного бронхіту та алергічних реакцій. Накопичення свинцю, кадмію та ртуті в організмі людини може призводити до ураження нервової системи, порушення когнітивних функцій у дітей, дисфункції нирок і серцево-судинних порушень. Таким чином, забруднення довкілля перетворюється на фактор громадського здоров'я, що потребує моніторингу на рівні регіональної та державної систем охорони здоров'я [38].

Соціально-економічні наслідки проявляються через зменшення виробничої активності підприємств, скорочення робочих місць, зниження рівня доходів населення та посилення соціальної напруженості. Частина територій стає непридатною для ведення сільського господарства, що позбавляє населення додаткових джерел харчових і фінансових ресурсів. Зростає залежність від привізної продукції, що негативно впливає на продовольчу безпеку регіону. Натомість, деградація екосистем знижує цінність території для рекреації та житлової забудови, сприяє депопуляції та міграційним процесам [39].

Підвищення рівня шахтних вод і підтоплення територій спричиняють руйнування житлових будівель, доріг і комунікацій. Місцеві громади стикаються із зниженням якості питної води та необхідністю використання привізних або додатково очищених ресурсів, що збільшує фінансові витрати на забезпечення базових життєвих потреб. Водночас обмеженість доступних альтернативних джерел водопостачання створює ризик водної небезпеки — особливо у випадку подальшого підйому шахтних вод.

Важливим психологічним та соціокультурним наслідком є порушення зв'язку населення з місцевим ландшафтом, який раніше забезпечував відчуття стабільності та локальної ідентичності. Втрата природних угідь, зниження естетичної якості ландшафту та поява зон екологічного неблагополуччя сприяють формуванню депресивних соціальних настроїв, зниженню якості життя та загальної соціальної впевненості [40;41].

Таким чином, соціально-екологічні наслідки воєнних дій у зоні Шахтоуправління «Тернівське» мають інтегральний і тривалий характер, що охоплює сфери здоров'я, економіки, соціальної стабільності та культурного середовища. Для їх подолання необхідні комплексні програми реабілітації територій, включаючи екологічну рекультивацію, відновлення інфраструктури, моніторинг здоров'я населення та розвиток соціально-економічної підтримки місцевих громад. Тільки поєднання екологічних, медичних, соціальних та управлінських заходів може забезпечити повернення регіону до сталого розвитку.

5. ШЛЯХИ ВІДНОВЛЕННЯ ТА МІНІМІЗАЦІЇ НАСЛІДКІВ

Воєнні дії спричинили значне техногенне та екологічне навантаження на територію Шахтоуправління «Тернівське». Масштабні руйнування інфраструктури, забруднення ґрунтів, води та атмосфери токсичними сполуками, руйнування біотичних зв'язків і деградація ландшафтів потребують системного підходу до екологічного відновлення.

Метою відновлювальних заходів є не лише усунення наслідків забруднення, а й формування стійких екосистем, здатних до саморегуляції у післявоєнний період. Комплекс заходів має включати три взаємопов'язані етапи:

1. Рекультиваційно-очисні дії (усунення наслідків забруднення, стабілізація ґрунтів, очищення вод і повітря).
2. Біоекологічне відновлення (відновлення біоти, рослинного покриву, біогеохімічних циклів).
3. Соціоекологічна адаптація (створення безпечних умов проживання та сталого використання природних ресурсів) [42].

5.1 Рекомендації щодо рекультивації та очищення територій

Ефективне відновлення територій, які зазнали руйнувань унаслідок воєнних дій, потребує системного і поетапного підходу, що поєднує технічні, агротехнічні, біологічні та санітарно-екологічні заходи. В межах Шахтоуправління «Тернівське» така програма повинна враховувати специфіку гірничопромислового ландшафту, гідрогеологічні умови, рівень

забруднення ґрунтів і вод, а також соціальні фактори, пов'язані з проживанням населення поблизу шахтних майданчиків.

Першочерговим завданням рекультивації є ліквідація джерел активного забруднення. До них належать залишки вибухових речовин, пошкоджені резервуари з нафтопродуктами, уламки металевих конструкцій, шлами, паливно-мастильні матеріали, залишки боєприпасів та відходи зруйнованих виробничих споруд. Для цього доцільно залучити спеціалізовані підрозділи з екологічного розмінування, які не лише вилучають небезпечні предмети, але й проводять первинну оцінку токсичного навантаження.

Після усунення найбільш небезпечних джерел проводиться очищення ґрунтового покриву. На ділянках із локальним перевищенням гранично допустимих концентрацій (ГДК) важких металів і продуктів горіння (кадмію, свинцю, міді, цинку, нафтопродуктів) застосовується технологія механічного зняття верхнього шару ґрунту на глибину 15–25 см з подальшим транспортуванням до спеціальних полігонів тимчасового зберігання. На більш протяжних ділянках, де концентрація забруднювачів не перевищує ГДК більш ніж у 2–3 рази, доцільним є використання фітореMediaційних технологій, що базуються на здатності певних рослин акумулювати або нейтралізувати шкідливі речовини. Для територій шахтного управління ефективними є такі види рослин: гірчиця сарептська, ріпак ярий, гречка, соняшник, кукурудза, а також деревні породи — тополя канадська, верба біла та берест. Їхня коренева система сприяє стабілізації ґрунту, зниженню міграції металів у підґрунтя та поступовому відновленню родючості [43].

На етапі очищення поверхневих і підземних вод особливу увагу слід приділити шахтним водовідливам. В умовах воєнних дій багато насосних станцій було зруйновано або знеструмлено, що призвело до підтоплення гірничих виробок і витоку мінералізованих шахтних вод на поверхню. Для стабілізації водного балансу рекомендується відновити систему дренажу й водовідведення, облаштувати очисні ставки з каскадною біофільтрацією. Такі ставки можуть заповнюватися очеретом, рогозом, елодеєю, які здатні

абсорбувати важкі метали й азотисті сполуки. Для підвищення ефективності очищення варто впровадити сорбційні фільтри на основі активованого вугілля, природних цеолітів, вермикуліту або бентонітових глин [44].

Атмосферне середовище шахтного регіону також зазнало деградації внаслідок вибухів і пожеж. Для зниження концентрації пилу та газів рекомендовано проводити гідрозакріплення териконів і відвалів — зволоження поверхні відходів водними розчинами полімерів, глинозему або вапняного молока, що перешкоджають пилоутворенню. Поверхня териконів має бути покрита шаром родючого ґрунту (не менше 20 см) з подальшим засівом багаторічних трав, здатних укріплювати поверхню (костриця, тимофіївка, конюшина). У перспективі можливе створення на стабілізованих териконах енергетичних плантацій із швидкоростучих порід, які слугуватимуть біосировиною для енерговиробництва [45].

На завершальному етапі передбачається біологічна рекультивация, яка спрямована на відновлення родючості та природної рівноваги ландшафту. Для цього в ґрунт вносяться органо-мінеральні суміші (гумінові препарати, сапропель, біогумус, компости), проводиться вапнування кислотних ділянок, відновлюється мікробіологічна активність ґрунтового шару. В зонах, що межують із житловими кварталами, рекомендується створення захисних зелених смуг завширшки не менше 100–150 м, до складу яких входять дерева й чагарники з високою пилопоглинаючою здатністю (липа, клен, ясен, акація, глід).

Окрему увагу слід приділити системі екологічного моніторингу як невід’ємній частині рекультиваційного процесу. Необхідно організувати постійні спостереження за станом води, повітря і ґрунту на контрольних постах навколо території шахти. Для цього можуть бути використані як стаціонарні лабораторії підприємства, так і мобільні пересувні станції. Результати спостережень мають узагальнюватися щоквартально, а дані — передаватися до обласного центру екологічного моніторингу. На їхній основі доцільно формувати «екологічний паспорт» території, який відображатиме

динаміку забруднення, ефективність відновлення та подальші потреби у природоохоронних заходах [46;47].

Важливим напрямом є відновлення біорізноманіття. Після стабілізації ґрунтово-гідрологічного режиму слід проводити поетапне озеленення — висадження трав'яних рослин, чагарників, потім деревних порід, характерних для степових і лісостепових ландшафтів регіону. Для підвищення ефективності біоадаптації можна використовувати мікоризні препарати та симбіотичні бактерії, які прискорюють укорінення рослин і сприяють очищенню ґрунту від токсинів [48].

У довгостроковій перспективі доцільним є створення локальної програми відновлення екосистем ШУ «Тернівське», яка передбачає інтеграцію технічних і біоекологічних заходів, залучення місцевих громад та міжнародних організацій (UNEP, UNDP, OSCE) до фінансування та моніторингу процесу. Це дозволить не лише відновити довкілля, але й створити нову модель сталого управління природними ресурсами у післявоєнний період.

5.2 Перспективи екологічного відновлення для ШУ «Тернівське»

Екологічне відновлення територій Шахтоуправління «Тернівське» у післявоєнний період є одним із ключових напрямів забезпечення сталого розвитку гірничопромислового комплексу регіону. Сучасні тенденції передбачають не лише усунення наслідків забруднення, але й формування нової екологічно збалансованої моделі господарювання, що поєднує відновлення природного середовища, модернізацію технологічних процесів і соціально-економічну трансформацію місцевих громад.

Насамперед, відновлення екологічної рівноваги потребує комплексного підходу до управління природними ресурсами, заснованого на принципах циркулярної економіки, відновлюваної енергетики та екосистемного

менеджменту. Для території ШУ «Тернівське» доцільно реалізувати програму екологічної модернізації гірничих об'єктів, що включатиме:

- впровадження енергоощадних технологій відкачування та очищення шахтних вод;
- повторне використання очищених вод для технічних потреб підприємства;
- утилізацію шахтного метану як альтернативного енергоресурсу;
- поступове перетворення відпрацьованих шахтних площ в технопарки екологічних інновацій.

Важливим етапом у післявоєнному періоді є створення системи екологічного моніторингу території ШУ «Тернівське». Вона має охоплювати регулярні вимірювання показників якості повітря, води, ґрунтів, рівня радіаційного фону та біорізноманіття. Доцільно використовувати автоматизовані станції з передачею даних у режимі реального часу до обласного центру моніторингу. Отримані результати дозволять оперативно реагувати на погіршення стану довкілля та коригувати рекультиваційні програми. У перспективі система моніторингу може бути інтегрована у Національну екологічну інформаційну платформу, що створюється Міністерством захисту довкілля України [49;50].

Одним із найважливіших напрямів є реабілітація ґрунтів і водного басейну. Після завершення активної фази рекультиваційних робіт доцільно проводити періодичне внесення органо-мінеральних добрив, використання біопрепаратів для стимуляції мікрофлори, а також локальне зрошення біологічно очищеними шахтними водами. Це сприятиме відновленню родючості та біопродуктивності земель. Для стабілізації гідрогеологічного стану регіону рекомендується створення системи штучних біоочисних водойм, які виконуватимуть не лише санітарну, але й природоохоронну функцію — формування нових оселищ для флори й фауни [51].

Окремого значення набуває відновлення рослинного покриву. Перспективним напрямом є створення на відпрацьованих землях

екосистемного лісового поясу, який виконуватиме функцію природного бар'єра проти пилу, шуму й поширення токсичних речовин. Для висаджування рекомендуються адаптовані до місцевих умов види — дуб черешчатий, клен ясенелистий, робінія псевдоакація, а також чагарники (шипшина, обліпіха, глід), які забезпечують фіксацію ґрунтів і формують стійкі біоценози. На рекультивованих териконах можуть створюватися енергетичні плантації швидкоростучих порід (верба, тополя), що дозволить частково компенсувати енергетичні потреби регіону та сприятиме скороченню викидів CO₂.

Перспективним напрямом розвитку є впровадження технологій повторного використання гірничих відходів. Шахтні породи, відвали та золи можуть бути використані як сировина для виробництва будівельних матеріалів (цементу, шлакоблоків, сумішей для дорожнього покриття). Це дозволить зменшити площі зайнятих відвалів, скоротити навантаження на екосистеми та створити додаткові робочі місця для місцевого населення [52].

З точки зору економічної перспективи, відновлення ШУ «Тернівське» повинно супроводжуватися розвитком локальних програм «зеленої економіки». Це включає створення екопромислових кластерів, які поєднуюватимуть підприємства з вторинної переробки відходів, енергоефективні технології та науково-дослідні центри з вивчення екологічної реабілітації післявоєнних територій. Важливо забезпечити участь місцевих громад у процесах планування та реалізації відновлення через механізми публічних консультацій, грантових програм і партнерств із міжнародними організаціями (UNDP, UNEP, EBRD).

Не менш значущим є напрям соціально-екологічної реінтеграції населення, що проживає в зоні діяльності ШУ «Тернівське». Відновлення довкілля має поєднуватися із поліпшенням якості життя мешканців, створенням нових можливостей для працевлаштування у сфері екологічного менеджменту, рекультивації та моніторингу. Розробка програм екологічної освіти і підвищення кваліфікації кадрів сприятиме формуванню «зеленої компетентності» серед працівників шахтного сектору [53].

У стратегічній перспективі ефективне відновлення ШУ «Тернівське» можливе за умови створення комплексної програми «ЕкоТернівське–2030», що базуватиметься на принципах науково обґрунтованого природокористування, безпечного виробництва та децентралізованого управління екосистемами. Основними її завданнями є:

- зниження техногенного навантаження на довкілля;
- підвищення енергоефективності гірничих процесів;
- реінтеграція рекультивованих земель у господарський обіг;
- розвиток природоохоронної інфраструктури;
- адаптація екосистем до кліматичних змін.

Реалізація таких підходів дозволить не лише ліквідувати наслідки воєнного та техногенного впливу, але й створити основу для переходу шахтного регіону до сталого екологічного розвитку, що відповідає вимогам Європейського зеленого курсу та Цілям сталого розвитку ООН.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Система охорони праці на підприємствах гірничодобувної промисловості є одним із ключових елементів забезпечення безпеки виробничих процесів, збереження життя та здоров'я працівників, а також мінімізації ризиків техногенного та екологічного впливу на довкілля. У післявоєнний період, коли велика частина інфраструктури зазнала руйнувань, а виробничі процеси проходять в умовах зростання техногенних ризиків, питання організації охорони праці набуває особливої актуальності. Для Шахтоуправління «Тернівське», яке включає складні підземні виробки, системи водовідливу, вентиляції, енергоживлення та транспорту, забезпечення безпеки є однією з основних умов відновлення роботи.

Організація охорони праці на підприємстві базується на вимогах Закону України «Про охорону праці», Кодексу цивільного захисту України, Гірничого закону України, правил технічної експлуатації та безпеки у вугільних шахтах, а також галузевих стандартів. Основною метою системи охорони праці є створення безпечних умов праці шляхом впровадження інженерно-технічних, організаційних, санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, спрямованих на попередження нещасних випадків і професійних захворювань. У післявоєнних реаліях ці заходи також повинні враховувати ризики, пов'язані з наявністю нерозірваних боєприпасів, руйнуванням будівель і комунікацій, нестабільністю електропостачання, підтопленням виробок та аварійними ситуаціями [54].

Одним із ключових аспектів забезпечення безпеки на шахті є технічний стан гірничих виробок. Після тривалого простою або перебування під впливом вибухових навантажень унаслідок воєнних дій необхідно виконувати

комплексне обстеження стійкості кріплень, вентиляційних каналів, транспортних виробок, вертикальних стволів і допоміжних споруд. Важливим елементом є відновлення системи водовідливу, оскільки підвищення рівня води у шахті може спричинити прориви ґрунтів, локальні затоплення та прискорену деградацію виробок. Персонал, який виконує огляд і ремонт, повинен бути оснащений засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), газоаналізаторами, переносними лампами захисту, саморятівниками та засобами аварійного зв'язку [55].

Значну роль у забезпеченні безпеки виконує система промислової вентиляції, яка гарантує підтримання нормативних параметрів мікроклімату й концентрації метану та чадного газу у виробках (рис.6.1.).



Рисунок 6.1 – Система промислової вентиляції на шахтах.

Унаслідок пошкоджень енергетичної інфраструктури можливі збої в роботі вентиляційних станцій, що створює високу ймовірність накопичення вибухонебезпечних газів. Тому особливого значення набуває резервування обладнання, наявність мобільних дизель-генераторів та постійний контроль за станом повітряного середовища. У шахті повинні функціонувати

автоматизовані системи контролю метану та оксиду вуглецю з дистанційною передачею даних на центральний диспетчерський пункт.

Важливим напрямом охорони праці є електробезпека, оскільки під землею використовується велика кількість електричного обладнання підвищеної потужності. Пошкодження кабельних ліній, виникнення коротких замикань, вплив вологи та нестабільність електромережі створюють високий ризик ураження електричним струмом. Тому підприємство повинно регулярно проводити технічні огляди електроустановок, випробування ізоляції, захисне заземлення та застосовувати апаратуру захисного відключення. Персонал, який працює з електрообладнанням, повинен проходити періодичне навчання, інструктаж і атестацію [56].

Окремої уваги потребує питання попередження вибухів метану і вугільного пилу, що є характерним для шахт регіону. Усі дільниці повинні бути забезпечені протипиловими заходами: зрошенням виробок, застосуванням інертного пилу, регулярним очищенням поверхонь від горючих відкладень. Важливим елементом є своєчасне буріння дегазаційних свердловин та контроль притоку газу у зонах інтенсивної розробки.

В умовах воєнних дій значно зросли ризики пожеж та техногенних аварій, спричинених пошкодженням обладнання, нестабільністю енергопостачання або обстрілами. Тому система протипожежного захисту повинна включати автоматичні засоби виявлення загоряння, вогнегасні модулі, резервні лінії зв'язку та підготовлені маршрути евакуації. Персонал має регулярно проходити навчання з використання саморятівників і виконання дій у разі загоряння, задимлення чи обвалу [57].

До основних складових охорони праці належать засоби індивідуального захисту, які повинні відповідати міжнародним нормам безпеки. Працівники мають бути забезпечені захисними касками, протигазами або фільтрувальними масками, спеціальним одягом, антистатичним взуттям, діелектричними рукавицями, страхувальними поясами та переносним освітленням (рис 6.2.).



Рисунок 6.2 – Засоби індивідуального захисту на шахтних підприємствах.

У післявоєнний період до стандартних засобів захисту додаються засоби для роботи на територіях, потенційно забруднених вибухонебезпечними предметами та токсичними речовинами.

Вагоме місце у системі охорони праці посідає медичне та санітарне забезпечення, яке включає створення медичних пунктів, оснащених засобами невідкладної допомоги, аптечками швидкого реагування, дефібриляторами та обладнанням для лікування отруєнь газами. Обов'язковим є проведення періодичних медичних оглядів для виявлення професійних захворювань, зокрема силікозу, вібраційної хвороби, порушень опорно-рухового апарату й зору. В умовах воєнного часу важливим є також психологічна підтримка працівників, які зазнали впливу стресу та небезпеки [58].

Невід'ємною складовою безпеки є система підготовки, інструктажів та навчання персоналу. Шахтарі повинні регулярно проходити первинний, повторний та позаплановий інструктажі з охорони праці, вивчати правила поведінки в аварійних ситуаціях, тренуватися в умовах моделювання надзвичайних подій. На підприємстві доцільно створити навчально-тренувальний полігон, де працівники можуть відпрацьовувати дії з евакуації, користування засобами захисту та ліквідації аварій.

Значну роль у забезпеченні безпеки відіграє культура охорони праці, яка базується на відповідальному ставленні всіх працівників до власної безпеки та безпеки колег. Важливо забезпечувати прозору систему комунікацій, заохочувати ініціативи працівників щодо покращення умов праці, впроваджувати сучасні методи ризик-менеджменту та аналізу небезпечних ситуацій [59].

У підсумку система охорони праці в ШУ «Тернівське» поєднує класичні вимоги гірничої безпеки та специфіку післявоєнного стану інфраструктури. Тільки комплексна взаємодія технічних, організаційних, медичних та освітніх заходів може забезпечити стабільну та безпечну роботу шахтного підприємства, мінімізувати ризики аварій і сприяти збереженню життя та здоров'я працівників.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було здійснено комплексне дослідження екологічних наслідків воєнних дій для території Шахтоуправління «Тернівське», що зазнало суттєвих техногенних, хімічних та біогеоценотичних змін. Аналіз стану атмосферного повітря, ґрунтів, водних об'єктів, техногенних ландшафтів та біоти дозволив сформулювати науково обґрунтовані висновки та визначити пріоритетні напрямки екологічного відновлення.

1. Воєнні дії суттєво посилили техногенне навантаження на територію Шахтоуправління «Тернівське». Руйнування інфраструктури, збройні вибухи та механічні пошкодження об'єктів гірничої промисловості призвели до зростання масштабів забруднення довкілля, активізації ерозійних процесів та порушення природних екологічних зв'язків.

2. Найбільші зміни зафіксовано у складі ґрунтів, поверхневих і підземних вод. Підвищений вміст важких металів (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr), зафіксований у зонах відвалів і шахтних водовідводів, суттєво перевищує фонові значення та гранично допустимі концентрації, що свідчить про високу екологічну небезпеку території. Мінералізація та хімічний склад вод підтверджують техногенний характер забруднення.

3. Відбулися значні трансформації техногенних ландшафтів. Породні відвали, шламосховища, просідання ґрунтів, вторинні техногенні утворення та деградація рослинного покриву стали центрами поширення токсичних речовин і джерелами пилових аерозолів, що погіршує екологічний стан прилеглих територій.

4. Виявлено негативні зміни у складі та структурі біоти. Спостерігається

зниження біорізноманіття, порушення фітосукцесій, домінування рудеральних угруповань, пригнічення аборигенних видів рослин, що пов'язано з високим рівнем токсичного забруднення, деградацією ґрунтів та порушенням водного режиму території.

5. Соціально-екологічні наслідки мають довготривалий характер. Зміни довкілля вплинули на якість життя населення, створили ризики для здоров'я, спричинили економічні збитки та порушення соціальної стабільності регіону. Формування зон екологічного неблагополуччя потребує комплексних програм реабілітації територій та медико-екологічного супроводу населення.

6. Комплекс заходів відновлення має ґрунтуватися на рекультивації, біоекологічній реабілітації та соціоекологічній адаптації. Запропоновані у роботі заходи включають очищення ґрунтів і вод, стабілізацію відвалів, біологічну рекультивацію, моніторинг техногенних ландшафтів, відновлення рослинного покриву та створення безпечних умов проживання населення.

7. Результати дослідження мають практичну цінність. Отримані дані можуть бути використані для:

- розроблення регіональних програм екологічного моніторингу;
- планування рекультиваційних та відновлювальних заходів;
- вдосконалення природоохоронної політики підприємств;
- створення системи управління техногенними ризиками у післявоєнний період.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурда Р.І. Екологічні наслідки військових конфліктів: монографія. Київ: Наук. думка, 2018. 256 с.
2. Грінченко В.С., Литвиненко А.О. Вплив воєнних дій на стан довкілля України. Дніпро: ДНУ, 2021. 184 с.
3. Краснолуцький В.В., Рябченко С.В. Техногенне навантаження на довкілля шахтарських регіонів України. Запоріжжя: ЗНУ, 2018. 165 с.
4. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Аналітичний звіт «Екологічні наслідки війни в Україні». Київ, 2023. 74 с.
5. Імамов С.Р., Коваленко Г.В. Екологічні ризики техногенних аварій у гірничій промисловості. ДонНТУ, 2017. 198 с.
6. Павлов О.В. Вплив вибухових речовин на склад атмосферного повітря в зоні бойових дій. Екологія і довкілля. 2022. С. 34–41.
7. Тарасенко Л.М., Голуб Н.С. Гідрогеологічні наслідки затоплення шахт у Донбасі. Геоекологія. — 2020. С. 22–30.
8. Дроздовська С.І. Кліматичні особливості степової зони України // Наук. вісник ХНУ. — 2020. — Т. 29, № 4. — С. 12–19.
9. Бондар О.Л. Природні умови та ресурси Дніпропетровської області: навч. посіб. — Дніпро: ДНУ ім. О. Гончара, 2020. — 176 с.
10. Вернадський Ю.В., Поліщук В.С. Гідрогеологічні умови родовищ Західного Донбасу // Геологія і корисні копалини. — 2021. — № 2. — С. 54–63.
11. Державна служба геології та надр України. Геолого-економічна оцінка родовищ Західного Донбасу. — Київ, 2021. — 115 с.
12. Тарасенко Л.М. Стан малих річок Придніпров'я під впливом техногенного навантаження // Водні ресурси України. — 2020. — № 1. — С. 25–33.
13. Собко Б.М., Рябченко С.В. Технологічні аспекти видобутку вугілля в умовах Західного Донбасу. — Дніпро: Нац. гірн. університет, 2018.

— 132 с.

14. Коваленко Г.В., Імамов С.Р. Вплив гірничих робіт на формування техногенного рельєфу // Геоекологія. — 2019. — № 3. — С. 41–48.

15. Барановський В.А. Методи екологічних досліджень: навчальний посібник. — Київ: Вид-во КНУ, 2017. — 286 с.

16. Методичні рекомендації щодо здійснення спостережень за станом атмосферного повітря в зоні впливу промислових об'єктів. — Харків: УкрНДІЕП, 2014. — 56 с.

17. Екологічний моніторинг: підручник / За ред. М.А. Голубця. — Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2018. — 412 с.

18. Гавриленко О.П., Білозерський Г.Г. Біоіндикація та моніторинг стану довкілля. — Київ: Вища школа, 2019. — 238 с.

19. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Оцінка екологічних наслідків воєнних дій в Україні. — Київ, 2023. — 78 с.

20. Ковальчук С. О., Бондар І. В. Вплив воєнних дій на природне середовище України: аналітичний огляд. — Науковий вісник НУБіП, 2022. — № 12. — С. 15–24.

21. Гриненко Т. М., Козак В. П. Екологічна безпека у зонах бойових дій: сучасні виклики та напрями відновлення. — Екологічна безпека, 2021. — № 3. — С. 42–51.

22. Програма ООН з навколишнього середовища (UNEP). Environmental Consequences of the War in Ukraine. — Женева, 2022. — 64 с.

23. Глобальний екологічний фонд. Звіт про стан довкілля України в умовах воєнного стану. — Київ, 2023. — 92 с.

24. Білецька О. М., Черненко І. В. Зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів унаслідок воєнних дій. — Вісник екології та безпеки, 2023. — № 2. — С. 18–27.

25. Задорожна Г. П. Гідрохімічні наслідки військових вибухів для поверхневих і підземних вод. — Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2022. — № 4. — С. 30–39.

26. Іваненко Д. С., Марченко Л. В. Забруднення атмосферного повітря в зоні активних бойових дій. – Наукові праці УкрНДГМІ, 2023. – № 15. – С. 56–63.
27. United Nations Environment Programme (UNEP). *Damage Assessment of Soil and Air Pollution from Conflict Activities in Eastern Ukraine*. – Geneva, 2023. – 58 p.
28. Микитенко В. О., Савчук П. М. Трансформація природних ландшафтів Донбасу після техногенно-вибухових впливів. – Географічний журнал, 2021. – № 4. – С. 12–22.
29. Петрушка К., Петрушка І., Голдрич А. Міграція важких металів у ґрунтах як наслідок військових дій. – Науковий вісник Львівської політехніки, 2024. – № 876. – С. 89–98.
30. Кулик О. В. Накопичення токсичних елементів у ґрунтах і водах після вибухових навантажень. – Екологічна хімія і токсикологія, 2023. – № 2. – С. 44–53.
31. Ніколаєнко Т. М. Важкі метали як індикатори техногенного забруднення воєнного періоду. – Хімія та екологія довкілля, 2022. – № 6. – С. 37–46.
32. European Environmental Agency (EEA). *Heavy Metal Contamination in Eastern Europe due to Military Activities*. – Copenhagen, 2023. – 71 p.
33. Кравченко Р. О., Ільченко Г. П. Визначення токсичних елементів у зонах промислового ризику після бойових дій. – Екологічна безпека, 2024. – № 1. – С. 25–35.
34. Климчук Н. І. Відновлення флористичного різноманіття після техногенних вибухів. – Український ботанічний журнал, 2023. – № 2. – С. 47–56.
35. Шевченко В. М., Лисенко Г. В. Зміни популяцій тварин під впливом бойових дій у степових екосистемах. – Збірник праць Інституту зоології НАН України, 2022. – № 3. – С. 63–72.
36. UNEP. *Biodiversity under Fire: The Impact of Armed Conflict on*

Wildlife and Habitats in Ukraine. – Geneva, 2023. – 80 p.

37. Сафронова І. П. Стан лісових біоценозів після вибухових навантажень. – Лісівництво і агроєкологія, 2021. – № 4. – С. 18–27.

38. Костенко Ю. В. Соціальні ризики екологічної деградації у післявоєнних регіонах. – Економіка і суспільство, 2023. – № 52. – С. 77–86.

39. ООН (UNDP). Звіт про стан довкілля та здоров'я населення у постконфліктних регіонах України. – Київ, 2023. – 95 с.

40. Черненко О. С., Тарасенко І. М. Оцінка впливу екологічних факторів на якість життя населення у зоні бойових дій. – Соціальна екологія, 2022. – № 3. – С. 54–62.

41. Войтенко Л. Г., Пашко Р. В. Психоекологічні аспекти проживання населення у зонах воєнних дій. – Психологія і суспільство, 2021. – № 1. – С. 92–101.

42. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Методичні рекомендації з рекультивації земель, порушених унаслідок воєнних дій. – Київ: Міндовкілля, 2023. – 62 с.

43. Савенко О. М., Лисенко Г. І. Сучасні технології рекультивації промислових територій та техногенних ландшафтів. – Вісник екології та біотехнологій, 2022. – № 3. – С. 17–28.

44. Костюк В. П., Дяченко І. М. Екологічна реабілітація земель, забруднених унаслідок військових дій. – Екологічна безпека та природокористування, 2023. – № 1. – С. 41–52.

45. Гриньова Т. В., Кулик С. О. Біоремедіаційні технології очищення ґрунтів і вод від токсичних речовин. – Наукові праці Інституту агроєкології і природокористування НААН України, 2021. – № 2. – С. 33–45.

46. Дяченко О. Г. Гідротехнічні методи стабілізації териконів та попередження пилоутворення. – Гірничий вісник України, 2020. – № 4. – С. 12–20.

47. Риженко А. В., Марченко П. О. Роль мікробіологічних процесів у рекультивації деградованих земель. – Екологічна наука, 2019. – № 2. – С. 54–

63.

48. UNDP Україна. Постконфліктне відновлення довкілля: практичний посібник для місцевих органів влади. – Київ: ПРООН, 2023. – 76 с.

49. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Стратегія післявоєнного екологічного відновлення України до 2030 року. – Київ: Міндовкілля, 2023. – 84 с.

50. Семенюк В. І., Лавренко Г. П. Концепція екологічної модернізації гірничопромислових підприємств у післявоєнний період. – Екологічна наука, 2022. – № 3. – С. 21–32.

51. Прокопенко Ю. О., Гриценко В. Л. Біоінженерні методи реабілітації водних екосистем у промислових регіонах. – Наукові праці Інституту агроекології і природокористування НААН України, 2022. – № 3. – С. 38–49.

52. Костюк Н. М., Черненко І. О. Відновлення екосистем після техногенних і воєнних руйнувань: європейський досвід та українські реалії. – Екологічна безпека та збалансоване природокористування, 2023. – № 1. – С. 59–70.

53. Горбенко Т. С., Марущак Л. П. Перспективи формування «зеленої економіки» в гірничопромислових регіонах України. – Економіка природокористування і сталий розвиток, 2020. – № 2. – С. 73–82.

54. Закон України «Про охорону праці». – Київ: Відомості Верховної Ради України, із змінами станом на 2023 рік.

55. Міністерство економіки України. Правила охорони праці під час експлуатації устаткування, що працює під тиском. – Київ, 2022. – 64 с.

56. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 44 с.

57. Сіренко В. М., Колос О. А. Безпека праці у гірничій промисловості: сучасні ризики та методи їх мінімізації. – Охорона праці і

промислова безпека, 2021. – № 2. – С. 11–22.

58. Пономаренко С. В. Оцінювання професійних ризиків у вугільній галузі. – Промислова безпека, 2019. – № 4. – С. 33–41.

59. Міненерго України. Методичні рекомендації щодо організації системи управління охороною праці на гірничих підприємствах. – Київ, 2022. – 47 с.