

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С. З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ**

Допускається до захисту
«_____» _____ 2025 р.

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.б.н., доцент Петро ХІРІВСЬКИЙ
наук. ступ., вч. зв.(ім'я та прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Магістр

(рівень вищої освіти)

**на тему: «Екологічна оцінка впливу гірничо-металургійного виробництва
на навколишнє середовище та розробка науково обґрунтованих
природоохоронних заходів»**

Виконав: студент групи Еко-61

спеціальності 101 «Екологія»

ДЯКУНОВИЧ Олег Васильович

Львів 2025

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування
Факультет агротехнологій та екології
Кафедра екології
Рівень вищої освіти «Магістр»
Галузь знань 10 «Природничі науки»
Спеціальність 101 «Екологія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри _____
к.б.н., доцент Петро ХІРІВСЬКИЙ
« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Дякуновичу Олегу Васильовичу

1. Тема роботи: «Екологічна оцінка впливу гірничо-металургійного виробництва на навколишнє середовище та розробка науково обґрунтованих природоохоронних заходів»

Затверджена наказом по університету № 906/ к-с від 31 грудня 2024 р.

2. Термін подання студентом кваліфікаційної роботи 05 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані для кваліфікаційної роботи

Літературні джерела, нормативні документи, методики виконання досліджень, законодавча база України.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які необхідно розробити)
Вступ

1 Огляд літератури

1.1 Сучасний стан та тенденції розвитку гірничо-металургійного комплексу

1.2 Джерела та фактори формування техногенного навантаження гірничо-металургійного виробництва

1.3 Екологічні наслідки діяльності гірничо-металургійних підприємств

1.4 Нормативно-правова база екологічного регулювання гірничо-металургійного виробництва

1.5 Об'єкт, умови та методика досліджень

1.6 Загальна характеристика підприємства та структура виробничого циклу

1.7 Природно-кліматична та геолого-геоморфологічна характеристика району

1.8 Характеристика джерел впливу на навколишнє середовище

1.9 Моніторинг і методи оцінки техногенного навантаження промислових підприємств

2 Результати дослідження

2.1 Екологічна оцінка рівнів техногенного навантаження на атмосферу в контексті національної та регіональної статистики

2.2 Оцінка техногенного навантаження на поверхневу гідросферу та система інженерного захисту водних об'єктів

2.3 Кількісно-якісний аналіз відходів виробництва та оцінка ефективності їх вторинного використання

2.4 Оцінка забруднення ґрунтів і донних відкладів

2.5 Екологічні наслідки для біоти та екосистемних послуг

2.6 Екологічна оцінка впливу відкритих гірничих робіт на компоненти довкілля та напрями мінімізації техногенного навантаження

2.7 Обґрунтування комплексного підходу до природоохоронних заходів на підприємствах гірничо-металургійного сектору

3 Охорона праці

3.1 Управління професійними ризиками в умовах підвищеної техногенної небезпеки

3.2 Правила охорони праці під час експлуатації гірничо-металургійного обладнання

3.3 Захист населення в умовах надзвичайних ситуацій

Висновки

Бібліографічний список

5. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3	Бальковський В.В., доцент кафедри екології			
4	Гордійчук Л.М., доцент кафедри інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання 22 вересня 2024 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1	Написання вступу та розділу «Огляд літератури»	22.09.24 р.– 31.12.24 р.	
2	Написання розділу «Об'єкт, умови та методика дослідження»	01.01.25 р.– 01.03.25 р.	
3	Написання розділу «Результати досліджень»	02.03.25 р.– 30.09.25 р.	
4	Написання розділу «Охорона праці та захист населення в умовах надзвичайних ситуацій», формулювання висновків, оформлення списку використаних літературних джерел	01.10.25 р.– 30.11.25 р.	

Студент _____ Олег ДЯКУНОВИЧ
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Володимир БАЛЬКОВСЬКИЙ

УДК 504.05:622:669:504.062

Екологічна оцінка впливу гірничо-металургійного виробництва на навколишнє середовище та розробка науково обґрунтованих природоохоронних заходів. Дякунович Олег Васильович. Кваліфікаційна робота. Кафедра екології та захисту довкілля. Львів, ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького, 2025. 78 с.

78 ст. текст. част., 11 табл., 25 рис., 45 джерел

У роботі здійснено комплексну екологічну оцінку впливу гірничо-металургійного виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на компоненти навколишнього природного середовища. Проаналізовано природно-кліматичні та геоморфологічні умови Кривбасу, які суттєво впливають на розсіювання забруднюючих речовин і просторову концентрацію екологічних ризиків.

На основі даних екологічного моніторингу встановлено, що підприємство формує домінуючу частку промислових викидів регіону, а найбільший негативний вплив пов'язаний з агломераційним, коксовим і доменним виробництвами. Виявлено зростання питомих екологічних навантажень у воєнний період, зумовлене експлуатацією обладнання в нестабільних режимах, а також наявність розбіжностей між корпоративними та незалежними даними спостережень.

З'ясовано порушення гідрохімічного та гідрогеохімічного режимів, накопичення важких металів у ґрунтах і донних відкладах, деградацію едафотопів та зниження екосистемних послуг. Обґрунтовано, що сукупний вплив пилогазових викидів, стічних вод і промислових відходів формує підвищені екологічні та санітарно-гігієнічні ризики для населення промислового регіону.

За результатами дослідження обґрунтовано комплекс природоохоронних заходів, спрямованих на зниження техногенного навантаження. Реалізація запропонованих рішень дозволить підвищити екологічну безпеку гірничо-металургійного виробництва та забезпечити його відповідність сучасним європейським вимогам у контексті Європейського зеленого курсу.

Проаналізовано питання охорони праці та захист населення.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	8
1.1 Сучасний стан та тенденції розвитку гірничо-металургійного комплексу	8
1.2 Джерела та фактори формування техногенного навантаження гірничо-металургійного виробництва	10
1.3 Екологічні наслідки діяльності гірничо-металургійних підприємств	13
1.4 Нормативно-правова база екологічного регулювання гірничо-металургійного виробництва	16
1.5 Методичні підходи до екологічної оцінки впливів гірничо-металургійних підприємств	17
2 ОБ’ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
2.1 Загальна характеристика підприємства та структура виробничого циклу	20
2.2 Природно-кліматична та геолого-геоморфологічна характеристика району	24
2.3 Характеристика джерел впливу на навколишнє середовище ...	27
2.4 Моніторинг і методи оцінки техногенного навантаження промислових підприємств	31
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	35
3.1 Екологічна оцінка рівнів техногенного навантаження на атмосферу в контексті національної та регіональної статистики	35
3.2 Оцінка техногенного навантаження на поверхневу гідросферу та система інженерного захисту водних об’єктів	43
3.3 Кількісно-якісний аналіз відходів виробництва та оцінка ефективності їх вторинного використання	50
3.4 Оцінка забруднення ґрунтів і донних відкладів	57
3.5 Екологічні наслідки для біоти та екосистемних послуг	59
3.6 Екологічна оцінка впливу відкритих гірничих робіт на компоненти довкілля та напрями мінімізації техногенного навантаження	63
3.7 Обґрунтування комплексного підходу до природоохоронних заходів на підприємствах гірничо-металургійного сектору	65
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	68
4.1 Управління професійними ризиками в умовах підвищеної техногенної небезпеки	68
4.2 Правила охорони праці під час експлуатації гірничо-металургійного обладнання	69
4.3 Захист населення в умовах надзвичайних ситуацій	70
ВИСНОВКИ.....	73
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	75

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах євроінтеграції та післявоєнного відновлення України проблеми екологічної безпеки, раціонального природокористування та мінімізації техногенного навантаження набувають особливої важливості. Гірничо-металургійний комплекс, який історично формує основу індустріального потенціалу держави, водночас залишається одним з головних джерел антропогенного тиску на довкілля. Масштабне видобування залізної руди, коксохімічні процеси, доменне та сталеплавильне виробництво супроводжуються великими обсягами викидів у атмосферне повітря, скидів у поверхневі води, утворенням відвалів гірських порід, шлаків та шлаків. За таких умов промислові регіони, зокрема Кривбас, формують високий рівень техногенного навантаження, що призводить до трансформації природних комплексів, деградації екосистем і погіршення стану здоров'я населення.

Особливо значущим є вплив цього сектору у Криворізькому регіоні, де зосереджені найбільші у Східній Європі підприємства з видобутку та переробки залізної руди, серед яких ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» займає домінуюче місце.

Актуальність теми зростає в умовах воєнного стану, коли навантаження на довкілля модифікується під впливом як безпосередніх воєнних дій, так і загального зниження інституційного контролю за екологічними процесами. Порушення логістичних ланцюгів, зміни у виробничих режимах підприємств, пошкодження екологічної інфраструктури (очисних споруд, систем моніторингу, інженерного захисту) та перерозподіл державних ресурсів на оборону створюють передумови для додаткових екологічних ризиків. За таких обставин контроль техногенного навантаження промислових гігантів та забезпечення екологічної стійкості стають критично важливими завданнями.

Не менш вагомим фактором є глобальні зміни клімату, що посилюють екологічну напруженість у регіонах із високим рівнем промислової діяльності. Металургійні підприємства є значними джерелами викидів парникових газів, зокрема CO₂, NO_x та метану, що посилює кліматичні ризики та зумовлює необхідність детальної оцінки їхнього впливу. У Кривбасі зміни клімату проявляються через почастищення екстремальних погодних явищ, хвиль тепла та дефіцит водних ресурсів. Це ускладнює роботу гірничо-металургійного комплексу, підвищує ймовірність виникнення промислових аварій та загострює проблеми забруднення довкілля.

На тлі цих процесів особливої актуальності набувають міжнародні вимоги щодо декарбонізації промисловості. Україна, інтегруючись до

європейського простору, зобов'язана імплементувати принципи Європейського зеленого курсу, що передбачає скорочення викидів CO₂, модернізацію виробництва, підвищення енергоефективності та перехід до циркулярної економіки. Металургійні підприємства, зокрема ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», опиняються в центрі цих трансформацій, оскільки їхній вплив на кліматичну систему та навколишнє середовище є визначальним. Саме тому ґрунтовна екологічна оцінка діяльності підприємства відповідає як національним, так і міжнародним пріоритетам.

Водночас необхідність екологізації промисловості України, зумовлена переходом до низьковуглецевої моделі розвитку, вимагає науково обґрунтованих природоохоронних рішень. Це передбачає не лише модернізацію технологій, але й впровадження комплексних систем екологічного менеджменту, оптимізацію процесів очищення викидів і стоків, використання вторинних ресурсів, рекультивацію порушених земель та відновлення екосистем.

Метою даної роботи було дослідити, проаналізувати та комплексно оцінити вплив гірничо-металургійного виробництва на навколишнє середовище та розробити науково обґрунтовані природоохоронні заходи з метою підвищення екологічної безпеки регіону.

Для досягнення поставленої мети було виконано ряд **завдань**:

- проаналізувати стан промислового регіону Кривбасу та визначити ключові екологічні проблеми, зумовлені діяльністю гірничо-металургійного комплексу;
- охарактеризувати виробничі процеси ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» як основного джерела забруднення атмосферного повітря, водних ресурсів та ґрунтів;
- оцінити екологічні ризики для стабільності екосистем та здоров'я населення;
- виявити тенденції змін екологічних показників у просторово-часовому розрізі;
- обґрунтувати комплекс заходів щодо мінімізації техногенного впливу та модернізації системи екологічного менеджменту підприємства.

Об'єктом дослідження обрано гірничо-металургійне виробництво ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та його вплив на компоненти довкілля промислового регіону Кривбасу.

Предметом дослідження є стан атмосферного повітря, водних ресурсів, ґрунтів, біоти та екологічні ризики, зумовлені техногенною діяльністю гірничо-металургійного комплексу, а також ефективність природоохоронних заходів щодо мінімізації цього впливу.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Сучасний стан та тенденції розвитку гірничо-металургійного комплексу

Гірничо-металургійний комплекс України залишаючись ключовим елементом національної економіки, який навіть у надскладних умовах 2024 року сформував 7% ВВП країни та забезпечив 15% товарного експорту, сектор опинився в епіцентрі «ідеального шторму». Цей шторм формується трьома потужними векторами тиску: руйнівним впливом повномасштабної війни, безальтернативністю європейської інтеграції з її жорсткими екологічними нормативами та глобальним трендом на декарбонізацію, який через механізм вуглецевого коригування імпорту (Carbon Border Adjustment Mechanism) створює прямі фінансові загрози для українських експортерів [3, 30, 31].

Гірничо-металургійний комплекс – одна з базових галузей світової економіки. За даними World Steel Association, у 2023 р. світове виробництво сталі сягнуло 1,888 млрд т [43]. Україна залишається важливим виробником: у 2023 р. обсяг виробництва сталі в Україні становив близько 6,2 млн т. До початку повномасштабної війни галузь формувала біля 10% ВВП країни та понад 15% її товарного експорту. Навіть за воєнних складнощів внесок гірничо-металургійної галузі у ВВП зберігся на високому рівні (7,2% у 2024 р. проти 5,7% у 2023 р.). Нинішній стан українського комплексу обумовлений зростанням видобутку залізної руди (+55,2%) та сталі (+21,5%) у 2024 р. (рис. 1.1) [41]. Зокрема, комбінат «Арселор Міттал Кривий Ріг» – найбільший в Україні і один із найбільших у Європі інтегрованих металургійних комплексів, має виробничу потужність понад 6 млн т сталі на рік [12, 14, 18].



Рисунок 1.1 – Зовнішньоекономічна реалізація залізорудної сировини

Сучасні тенденції в світовому гірничо-металургійному комплексі характеризуються одночасно нарощуванням технічного потенціалу та зростанням вимог до екологічної безпечності виробництва. З одного боку, металургія займає вирішальну роль у глобальній інфраструктурі і підтримує циклічну економіку, оскільки сталь повністю перероблювана [30, 38]. З іншого – галузь відповідає за значний обсяг викидів парникових газів (у 2024 р. на кожен тону сталі припадало ~2,18 т CO₂, а в сукупності сектор виробляє ~4,1 млрд т CO₂-екв., тобто 7–8% світових викидів) [28]. В Україні металургія традиційно є потужним джерелом забруднення довкілля. Водночас впровадження сучасних технологій і екологічних проєктів (закриття старих коксових батарей, встановлення фільтрів тощо) дозволило знизити частину емісій: наприклад, після консервації двох старих коксових батарей викиди від коксового виробництва на «АрселорМіттал Кривий Ріг» зменшилися на 37% [12].

В цілому, глобально спостерігається поступова тенденція до модернізації металургійних підприємств з метою скорочення викидів та

відходів. Натомість безладне зростання виробництва без адекватних модернізацій може призводити до зростання техногенного навантаження. У ЄС активніше реалізуються Цілі Європейського Зеленої угоди, що вимагають впровадження нових стандартів і переходу до найкращих доступних технологій та методів керування. В Україні ж, незважаючи на воєнні виклики, прагнуть до євроінтеграції екологічного регулювання: законопроект про екостратегію до 2030 р. акцентує інтеграцію екологічних норм у всі сфери життя та орієнтується на європейські стандарти [13, 17].

1.2 Джерела та фактори формування техногенного навантаження гірничо-металургійного виробництва

Основні технологічні стадії гірничо-металургійного комплексу включають:

- видобуток руди (кар'єри залізородних шахт, видобуток вугілля для коксу тощо),
- збагачення руди (гідравлічне та гравітаційне збагачення з виробництвом концентратів і хвостів),
- коксове виробництво (термічна обробка вугілля у коксових печах),
- агломерацію (спікання шихти з метою підвищення вмісту заліза),
- плавку сталі (феросплавне виробництво у доменних та мартенівських печах або виробництво прямовідновленого заліза),
- сталеплавильне виробництво (конвертори чи електропечі та безперервне лиття заготовок), а також
- обробку відходів (утилізація шлаку, дроблення металобрухту). Кожен з цих етапів генерує різні види забруднень.

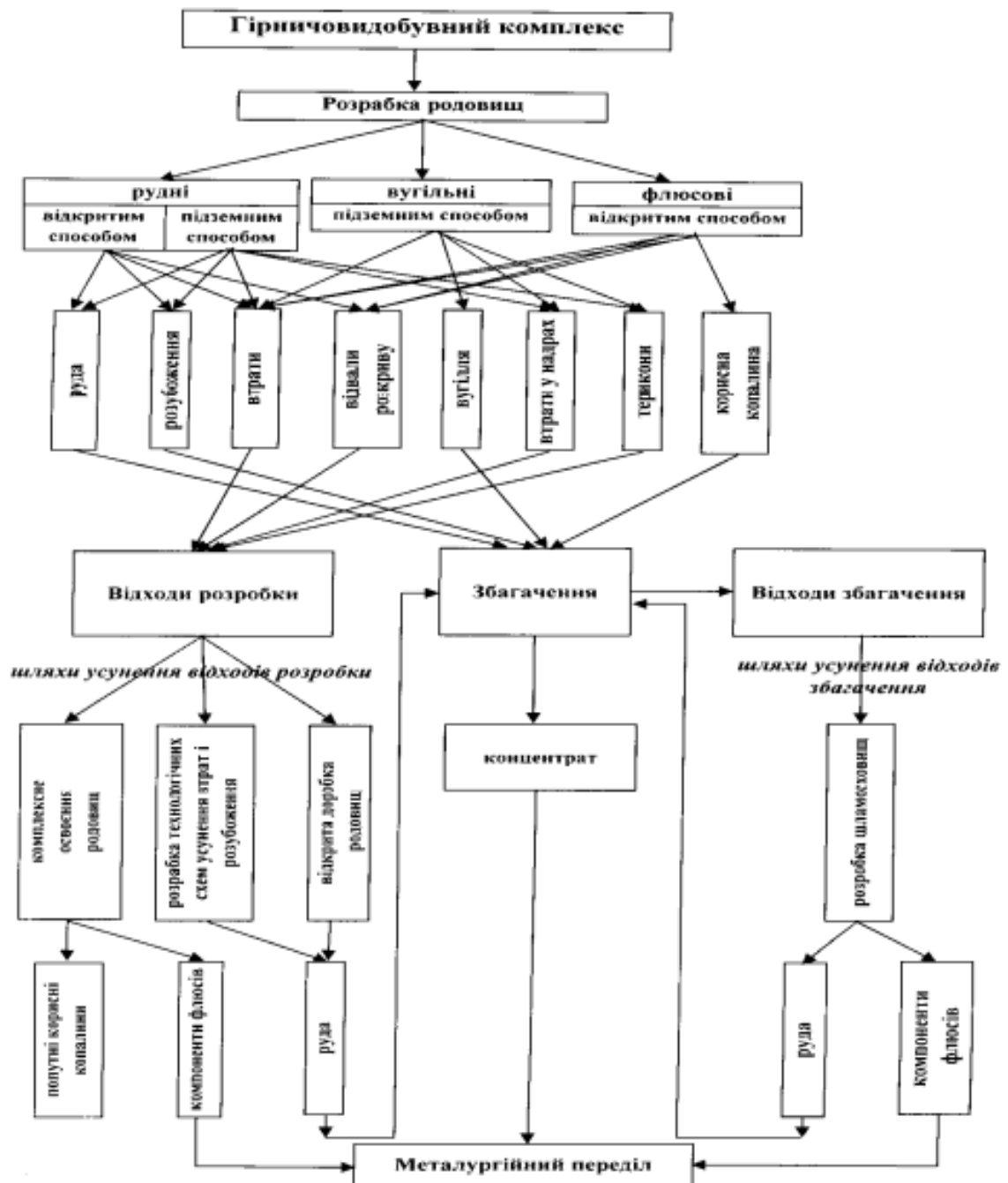


Рисунок 1.2 – Технологічна схема гірничо-металургійного комплексу та формування відходів виробництва [16]

Видобуток і збагачення формують ґрунтові і водні стоки, хвости та шламові відвали, що містять збагачувачі та важкі метали. Утворюються шкідливі стічні води (з підвищеним вмістом заліза, сірки, шкідливих домішок) та великі маси відходів (породи, хвости, шлами). Наприклад, у хвостосховищах можуть накопичуватися цинк, свинець, кадмій, ртуть та інші метали, здатні мігрувати в ґрунти та підземні води [39].

Коксове виробництво є джерелом пилових та газових викидів. При горінні коксового газу і обробці відхідного газу в атмосферу викидаються оксиди сірки, азоту, чадного газу, парникових газів, пилу і важких металів. Так, прикладом є виробництво «АрселорМіттал КР», яке скоротило свої викиди коксових газів на 37% шляхом модернізації коксових батарей [12, 16].

Етап агломерації та доменних печей супроводжується інтенсивним викидом пилу (висока концентрація PM10/PM2.5) і горючих газів, зокрема діоксиду сірки та оксидів азоту. Вивільнення пилоподібних сумішей з доменної печі містить частково важкі метали (Fe, Pb, Zn тощо) з шихтових матеріалів. В доменній печі за високої температури відбувається розкладання піриту, що призводить до виділення сірчаних сполук.

Плавка сталі (конверторний та електросталеплавильний процес) також генерує значні викиди пилу і металевих парів. При розпилюванні шлаку та прокату залишається хвіст від обтиску домішок. Сульфуровані і азотисті сполуки, а також вуглецеві еквіваленти виділяються під час реакції окиснення в сталі, що впливає на склад вихлопних газів.

Загалом, за даними технічних довідників, від 20 до 50% всіх пилових викидів інтегрованого металургійного заводу припадає на агломераційний цех [14]. У газовому стоку агломераційної установки крім пилу містяться важкі метали (цинк, свинець), оксиди сірки, хлору та інших домішок. Великі маси утворюються також від стабілізації й утилізації шлаків – твердих відходів доменного і сталеплавильного виробництва. Хоча шлак часто вважається відносно безпечним відходом, у ньому можуть міститися акцепторні домішки та важкі метали (залізо, кремній, марганець, хром та ін.), що при лужних чи кислотних умовах здатні вимиватися.



Рисунок 1.3 – Структура генерації шлакових відходів у розрізі основних виробників [1]

Таким чином, гірничо-металургійне виробництво формує комплексне техногенне навантаження:

- пилогазові викиди ($PM_{10}/PM_{2.5}$, SO_2 , NO_x , CO_2 , леткі метали),
- стічні води (кислі розчини, важкі метали, феноли), тверді відходи (шлам, хвости, шлаки, відвалені породи) і
- тензорні зміни ландшафтів (розробка кар'єрів, знеструмлення ґрунтів).

Ці фактори є основою для подальшої оцінки їхнього впливу на довкілля.

1.3 Екологічні наслідки діяльності гірничо-металургійних підприємств

Діяльність гірничо-металургійного комплексу впливає на всі компоненти довкілля та екосистемні послуги. Атмосферне повітря у районах видобутку та металургії характеризується підвищеними концентраціями пилу ($PM_{10}/PM_{2.5}$) і газових домішок. Накопичення важких металів через відкладення пилу призводить до тривалих надходжень токсичних речовин у ґрунти і водні екосистеми. Наприклад, свинець, кадмій та ртуть, які часто пов'язують із металургійними викидами, довготривало накопичуються в

рослинності та ґрунтах. Інгаляційне та атмосферне забруднення призводить до погіршення якості повітря за санітарними показниками, загострює респіраторні захворювання в населення та шкодить урбанізованим екосистемам.

Поверхневі й підземні води забруднюються стічними водами та фільтратами відкладень. Кислі води видобутку (кислі шахтні води з високим вмістом SO_4 , Fe, важких металів) викликають закислення водотоків, руйнуючи гідробіотичні ланцюги. Важкі метали з хвостів чи шлаків потрапляють у підземні води і вздовж розливів мігрують далі. Токсичні елементи, накопичені в рибі та ґрунтових організмах, впливають на якість харчових ланцюгів і водних екосистем.

Ґрунти в районах впливу гірничо-металургійного виробництва піддаються металомісному забрудненню і кислотному закисленню. Відкладення пилу і викиди SO_2 призводять до осадження важких металів у верхніх горизонтах ґрунту, що пригнічує мікрофлору і знижує продуктивність земель. Відвали породи та шлакові полігони змінюють ландшафт і родючість ґрунтів. Загалом індекс оконтурювання та проникності ґрунту в таких районах суттєво погіршується.

Наслідками для біоти та екосистемних послуг є втрата видового різноманіття, зменшення продуктивності сільського господарства та ризиків для водних екосистем. Підвищений фон важких металів у ґрунтах і водах порушує врожаї і харчову цінність рослинної продукції. Наприклад, ґрунтові культури можуть накопичувати Cd чи Pb із фонових ґрунтів наднормативно [42]. Зниження продуктивності річкових риб та дрібного зоо- та фітопланктону є небажаним екологічним ефектом [18]. Зменшується якість і доступність питної води (через занурення важких металів у підземні води) та чистих земель для господарювання.



Рисунок 1.4 – Вплив збільшення обсягів утворення шлаків на ґрунті, водні ресурси, атмосферне повітря та здоров'я населення [1]

Ризики для здоров'я населення пов'язані з усіма шляхами впливу. Інгаляційне надходження пилогазових домішок (в тому числі важких

металів) здатне викликати хронічні захворювання дихальної системи та впливати на нервову і серцево-судинну системи. За даними ВООЗ, кадмій асоціюється з ураженням нирок і кісткових структур, а також є потенційно канцерогенним (підвищує ризик раку легенів), свинець викликає нейророзвивальні порушення у дітей і підвищення артеріального тиску у дорослих, ртуть (особливо у метильованій формі) акумулюється в харчових ланцюгах, викликаючи неврологічні і психічні розлади [42]. Основним шляхом потрапляння важких металів в організм людини є споживання питної води та харчових продуктів, забруднених внаслідок промислових викидів. Таким чином, небезпека металургійного впливу позначається на захворюваності населення (респіраторні, кардіологічні, онкологічні захворювання) і забрудненні харчових продуктів. У сукупності природоохоронний і санітарний ризик від комбінованого впливу гірничо-металургійного виробництва в Україні залишається високим у регіонах із розвинутою металургією та гірництвом.

1.4 Нормативно-правова база екологічного регулювання гірничо-металургійного виробництва

Екологічна діяльність підприємств гірничо-металургійної галузі в Україні регулюється багатьма законами та підзаконними актами. Окремо необхідно виокремити Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» (№ 2059-VIII від 23 травня 2017 р.), який впровадив обов'язкову процедуру ОВД для проєктів з потенційно значним впливом, зокрема в гірничо-добувній та металургійній галузях [3, 9]. Цей закон імплементував відповідні норми Угоди про асоціацію з ЄС і передбачає, що перед початком будівництва великих підприємств проводиться екологічна експертиза проєктної документації.

Серед інших базових природоохоронних законів можна назвати: «Про охорону атмосферного повітря», «Про охорону вод» та «Водний кодекс України» (регулюють стандарти якості повітря і водних ресурсів), «Про

відходи» (керує питаннями утилізації й переробки промислових відходів) та «Про охорону праці»/«Про НС» (що стосуються радіаційної/хімічної безпеки на виробництві). Хоча ці закони не спеціалізуються на металургії, вони встановлюють гранично допустимі норми викидів, скидів, концентрацій речовин у середовищі та санкції за їх порушення [7, 8, 9, 10, 11, 22].

Нова віхою стало ухвалення Закону України № 3855-IX «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» (2024 р.), який фактично імплементує Директиву 2010/75/ЄС (IPPC) про промислові викиди. Закон передбачає видачу інтегрованих дозволів для великих промислових об'єктів за принципом BAT: підприємство мусить застосовувати «найкращі доступні техніки та методики» для мінімізації забруднення [22]. Водночас уряд акцентує, що втілення таких новацій відповідає цілям «Європейського зеленого курсу». Зокрема, на рівні стратегічного планування затверджено закон «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики до 2030 року» (№ 2697-VIII, 2019 р.), який офіційно орієнтує екологічну політику України на європейські стандарти. Як зазначає Міністр екології, цей документ спрямований на інтеграцію екологічних стандартів у всі сфери економіки і життя згідно з практикою країн ЄС [10]. Таким чином, нормативна база сьогодні поєднує українське законодавство з міжнародними зобов'язаннями (Угода про асоціацію з ЄС, конвенції ООН) та стандартами ВООЗ/ООН щодо безпеки довкілля і здоров'я.

1.5 Методичні підходи до екологічної оцінки впливів гірничо-металургійних підприємств

Оцінка екологічних впливів гірничо-металургійного виробництва будується на поєднанні міжнародних практик і національних методик. Перш за все, це традиційні процедури Оцінки впливу на довкілля (ОВД), що включають підготовку для запланованого будівництва чи модернізації підприємств із зазначенням очікуваних викидів і заходів з їхнього

зменшення. У багаторівневому підході окремо виділяють стратегічну екологічну оцінку планів та програм розвитку, що дає змогу врахувати екологічні наслідки уже на стадії планування.

Розширені підходи враховують методи життєвого циклу (LCA). Наприклад, світова сталеливарна спільнота активно використовує бази LCA-інвентарів і «еко-профілів» для продукції: worldsteel публікує дані про усієї ланцюг життєвого циклу сталі і розраховує її впливи (GWP, енергоспоживання, викиди забруднювачів) [40]. LCA-аналіз дозволяє виявити «гарячі точки» (найбільші внески) на різних стадіях виробництва сталі.

Оцінка екологічного впливу гірничо-металургійного виробництва повинна враховувати повний виробничий цикл, починаючи з видобутку сировини й закінчуючи складуванням відходів (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Процес виробництва товарної залізорудної сировини в Україні та Австралії [40]

Цей рис. 1.5 демонструє, що хоча загальні технологічні етапи в обох країнах подібні, існують відмінності у глибокій переробці руди, ступені автоматизації та екологічних стандартах. Зокрема, в Австралії більша увага приділяється скороченню водоспоживання та впровадженню «сухих» технологій фільтрації, що є важливою частиною оцінки екологічного впливу.

При оцінці забруднення окремих компонентів довкілля застосовують кількісні індексні методи. Це можуть бути індекси якості води, повітря

(наприклад, AQI, WQI) або індекси забруднення ґрунтів (I_{geo} , NPI тощо) з подальшим порівнянням з нормативами. Для важких металів прийнято використовувати сукупні критерії накопичення (наприклад, сумарний індекс забруднення) для оцінки відхилення від природного фону.

Оцінка ризиків для здоров'я базується на принципах експозиційного аналізу USEPA та BOOЗ. Згідно з методологією USEPA, розглядаються всі можливі шляхи потрапляння токсиканту до організму людини (інгаляція, питво забрудненої води, споживання продуктів) і обчислюються дозові навантаження. Потім за довідковими нормами BOOЗ або ЕРА встановлюються показники надлишкового ризику (для канцерогенів) чи коефіцієнти небезпеки (для неканцерогенних ефектів). Наприклад, BOOЗ і ЕРА мають встановлені допустимі значення вмісту кадмію, свинцю, ртуті у питній воді, а також класифікацію цих елементів за канцерогенністю [28]. У кінцевому підсумку ризик-аналіз дозволяє кількісно оцінити ймовірність виникнення захворювань у людей, що проживають поблизу металургійних об'єктів.

Особливого значення набуває концепція найкращих доступних технологій та методів керування у зниженні шкідливого впливу промислових підприємств. Згідно з Директивою 2010/75/ЄС, для стаціонарних джерел повинен застосовуватись принцип найкращих доступних технік. У Європейському Союзі затверджено референтний документ BREF «Виробництво заліза і сталі» (JRC 2013), у якому викладено перелік BAT для кожного технологічного процесу [30]. Аналогічні рекомендації є в документації ОЕСР щодо чистого виробництва сталі і в кодексах практик ЄК. Застосування НДТМ означає, що підприємства мають впроваджувати модернізовані фільтраційні установки, замкнені водооборотні схеми, системи рециркуляції газів, технології грануляції шлаку тощо. Саме такі методи вважаються пріоритетними для значного скорочення викидів пилу, SO_2 , NO_x та стічних вод від ГМК.

2 ОБ'ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Обґрунтованим є вибір саме ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» як об'єкта дослідження. Будучи найпотужнішим, цей комбінат акумулює у собі всі характерні екологічні проблеми галузі – від забруднення повітря продуктами згоряння коксу та викидами металургійних печей до накопичення відвалів гірських порід та шламів збагачення руди. Його вплив на довкілля має комплексний і масштабний характер, оскільки протягом багатьох років стабільно очолює перелік найбільших забруднювачів у регіоні, спричиняючи основну частку промислових викидів у повітря міста і області.

2.1 Загальна характеристика підприємства та структура виробничого циклу

ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ Кривий Ріг» (ПАТ «АМКР») залишається найбільшим інтегрованим гірничо-металургійним підприємством в центральній Україні повного циклу та частиною міжнародної корпорації ArcelorMittal – світового лідера з виробництва сталі. Станом на 2025 рік, підприємство є ключовим елементом економічної безпеки України, поєднуючи в собі потужності з видобутку залізорудної сировини та металургійного виробництва [1, 12].

Унікальність ПАТ «АМКР» полягає у вертикальній інтеграції виробничого ланцюга, що дозволяє контролювати собівартість продукції від етапу видобутку руди до відвантаження готового прокату. Залізну руду доставляють до фабрики збагачення, де одержують концентрат/окатиші → агломерація з концентратом та вапняком → гарячий агломерат на доменні печі разом із коксом → чавун → конвертери → сталь → прокатні стани.

Підприємство розташоване в м. Кривий Ріг (Дніпропетровської обл.), що є індустріальним ядром регіону.



Рисунок 2.1 – ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Загальною проєктною потужність – близько 10 млн тонн сталі на рік (станом на 2019 рік). За 2021–2023 рр. фактичний випуск сталі зменшувався (унаслідок модернізації і зменшення активності): приблизно 6 млн т/рік сталі, понад 5,5 млн т гарячого металу, понад 5 млн т прокату.

Структура виробничого комплексу представлена основними технологічними підрозділами:

1. **Гірничим департаментом**, який включає видобуток залізної руди відкритим способом (два кар'єри) та підземним способом (шахта ім. Артема, нині діюча як окремий підрозділ). Два власних рудопідприємства (Інгулецький та Широківський рудники) і відповідні фабрики з збагачення руди, які виробляють агломераційний залізняк та окатиші (агломерат і концентрат) з місцевої магнетитової руди. Отже, власні рудники (відкриті кар'єри) забезпечують частину потреб у руді. Річна проєктна потужність видобутку руди становить понад 30 млн тонн, однак фактичні показники 2023–2025 років скориговані війною [12].

2. **Дробильно-збагачувальними фабриками,** де відбувається подрібнення руди та магнітна сепарація. Основним продуктом є залізорудний концентрат (вміст $Fe_{total} \approx 65\text{--}68\%$).

3. **Коксохімічним виробництвом,** що забезпечує доменний цех металургійним коксом. Коксові батареї з випалення коксівного вугілля (для забезпечення доменних печей) та супутні цехи (сірчана кислота, газоочистка, бензол). Включає шість коксових батарей (КБ № 1–6). У 2024–2025 роках, через загрозу енергетичної нестабільності, підприємство працювало в режимі збереження пічного фонду з періодичним виведенням потужностей у гарячу консервацію [12].

4. **Агломераційним виробництвом,** що включає три аглофабрики та доменний цех. Підготовка залізорудної сировини до плавки.

Аглоцех №2 та Аглоцех металургійного виробництва є основними джерела викидів пилу та оксидів сірки. Проведена модернізація газоочисних установок (електрофільтри) дозволила знизити концентрацію пилу у відхідних газах до рівня $\leq 50 \text{ мг/м}^3$ на нових агрегатах, що відповідає європейським нормам Директиви 2010/75/EU [12].

5. **Доменно-печним виробництвом:** найбільшою є доменна піч № 9, яка є однією з найпотужніших у Європі (корисний об'єм – 5000 м^3). Станом на кінець 2025 року, робота печей № 6, 8 та 9 регулюється залежно від логістичних можливостей експорту через чорноморський коридор. Кожна піч спалює коксовий газ і природний газ для плавлення руди в чавун.

За 2021–2023 рр. зменшення темпів роботи домен (через війну) супроводжувалося зниженням викидів і випуску чавуну. У 2023 р. викиди від доменного виробництва складали 63,6 тис. т у сумі (зменшено у 3 рази від 2021).

6. **Сталеплавильним виробництвом** (сталеливарним цехом) включає конвертери з основним та кисневим дуттям, ЛПС та мартенівські печі, прокатні стани для переплавлення чавуну в сталь (виготовлення різних марок вуглецевих і легованих сталей). Конвертерний цех із машинами

безперервного лиття заготовок, що дозволяє отримувати високоякісну сортову заготовку.

7. Прокатним переділом, що включає сортопрокатні цехи, що випускають арматуру, катанку та сортовий прокат, дріт, швелер, двотавр. Продукція сертифікована за міжнародними стандартами ISO, ASTM, DIN. Наприклад, у 2023 р. вироблено ~5 млн т листової сталі та прокату [12].

Підприємство також виробляє побічні продукти: коксовий газ (енергетичні потреби), доменний шлак (будівельні матеріали), кокс (для металургії), бішофіт та інші реагенти. Матеріальні й енергетичні потоки організовано як повний цикл: руда + вугілля → кокс → агломерат/концентрат → чавун → сталь → прокат, з постійним замкненням оборотних вод та утилізацією відходів (печі багатофункціональні, теплоутилізаційні агрегати, фільтри). Завод має власні газо- та водоочисні споруди відповідно до чинних нормативів.

Підприємство є енергоємним. Енергетичний баланс базується на використанні природного газу, електроенергії, коксівного вугілля. Вторинні енергоресурси (доменний, коксовий газ) утилізуються на ТЕЦ підприємства для генерації пари та електроенергії, що є важливим елементом циркулярної економіки, проте також виступає джерелом емісії парникових газів (CO₂).

Період 2022–2025 років характеризується безпрецедентними викликами для ПАТ «АрселорМіттал КРИВИЙ РІГ» через руйнування логістичних ланцюгів, блокаду морських портів, дефіцит електроенергії внаслідок атак на енергетичну інфраструктуру та кадрові втрати через мобілізацію.

У 2024 році спостерігалася тенденція до стабілізації виробництва на рівні 25–30% від довоєнних потужностей. Ключовим фактором стало часткове відновлення морського експорту через порти Великої Одеси, що дозволило збільшити відвантаження залізрудного концентрату. Однак дефіцит електроенергії влітку-восени 2024 року та навесні 2025 року змусив підприємство обмежувати споживання, що стримувало ріст виплавки сталі.

Металургійне виробництво є енергоємним. У структурі собівартості продукції ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» енергоносії (природний газ, електроенергія, вугілля) займають до 40%. Відповідно до звітів Міжнародного енергетичного агентства, ефективність використання енергії в українській металургії залишається нижчою за середньосвітові показники, що зумовлено застарілістю частини фондів [1, 18, 21].

У 2024–2025 роках стратегія енергозабезпечення підприємства зазнала змін через імпорту електроенергії. Для забезпечення безперервності виробничих процесів керівництво компанії було змушене збільшити частку імпортованої електроенергії з ЄС, що, згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 661, гарантує невідключення від мережі при лімітах споживання [10]. По друге використання вторинних газів, оскільки підприємство використовує доменний та коксівний газ для генерації власної електроенергії на ТЕЦ, що покриває близько 30% внутрішніх потреб. Це відповідає принципам циркулярної економіки, рекомендованим UNEP [13].

2.2 Природно-кліматична та геолого-геоморфологічна характеристика району

Район розташування виробничих потужностей ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» характеризується помірно-континентальним кліматом із вираженими рисами посушливості, що притаманно степовій зоні України. Це означає спекотне посушливе літо та холодну малосніжну зиму. Середньорічна сума опадів становить близько 400–450 мм.

Згідно з багаторічними спостереженнями та даними кліматичних моделей (ERA5, Copernicus Climate Change Service), середньорічна температура повітря у регіоні демонструє стійкий тренд до підвищення і становить 9,8–10,5°C. Літній період характеризується високими температурами (абсолютні максимуми досягають +38 ... +41°C, що у поєднанні з низькою відносною вологістю повітря (влітку знижується до 30–

40%) сприяє інтенсивному вторинному пилоутворенню з поверхонь хвостосховищ та відвалів [12, 29, 36, 37, 38].

Таблиця 2.1 – Кліматичні параметри, що визначають умови розсіювання забруднюючих речовин (у м. Кривий Ріг)

Найменування характеристик	Величина
Середня температура повітря, Т, °С	9,6
Середня температура найбільш жаркого місяця року, Т, °С	22,5
Середня максимальна температура найбільш жаркого місяця року, Т, °С	28,7
Абсолютний максимум температура повітря, Т, °С	39,6
Середня температура найбільш холодного місяця року, Т, °С	- 3,4
Абсолютний мінімум температура повітря, Т, °С	-33,2
Середня річна відносна вологість повітря, %	72
Середня багаторічна сума опадів, мм	453
Середня багаторічна кількість днів з туманом	61
Багаторічне повторювання напрямків вітру (роза вітрів), %	
Пн	16,7
ПнС	17,1
С	13,7
ПдС	9,0
Пд	11,2
ПдЗ	9,7
З	11,3
ПЗ	11,3
Штиль	4,2
Швидкість вітру, повторюваність перевищення якої становить 5%, м/с	9-10
Коефіцієнт, який залежить від стратифікації атмосфери, А	200
Коефіцієнт рельєфу місцевості	1,0

Режим вітрів відіграє ключову роль у розсіюванні промислових викидів. Переважаючими напрямками вітру є північний та північно-східний (повторюваність 20–25%), що створює ризики перенесення забруднювальних речовин у бік житлової забудови історичного центру Кривого Рогу та південних житлових масивів [25]. Середньорічна швидкість вітру становить 4,0–5,2 м/с. Часто спостерігаються штилі та приземні інверсії температури, які суттєво погіршують умови розсіювання домішок в атмосфері, сприяючи формуванню смогу фотохімічного типу [35, 44].

Територія підприємства розташована в межах Українського кристалічного щита, безпосередньо у Криворізькому залізрудному басейні (Кривбас) [26, 32, 38]. Рельєф місцевості техногенно-трансформований: природна балочно-рівнинна поверхня змінена кар'єрними виїмками

(глибиною до 400м і більше) та насипними формами (відвалами розкривних порід, хвостосховищами), висота яких сягає 100–150 м над рівнем природної поверхні. Така складна орографія впливає на мікрокліматичну циркуляцію повітряних мас, створюючи зони застою забрудненого повітря ("аеродинамічні тіні") безпосередньо в кар'єрах та між відвалами. Регіон порізаний долинами річок Інгулець та її приток. Рівнинність доповнюється невеликими лесовими плато і їх схилами [32].

Поверхня має схил із півночі на південь, багато річкових долин, балок та яружних систем. Інтенсивно сформовані ерозійні річища Інгульця та Саксагані (глибина врізання до 50–60 м) утворили V-подібні долини, але з північного на південний бік густота ярів поступово зменшується [32]. Здійснювалося техногенне перетворення ландшафтів – численні кар'єри, шахти, шламосховища та відвали розробки руд. Зокрема, за 1955–1998 рр. видобуті ґрунти з 5 гірничо-збагачувальних комбінатів склалися в 18 відвалах загальною площею понад 6400 га (висота – до 100–120 м). Загальна площа порушених земель району Кривбасу становить приблизно 31,8 тис. га.

Гідрографічна мережа представлена річками Інгулець та Саксагань (басейн Дніпра). Річище Інгульця в урбанізованій частині звивисте, середня ширина близько 25–30 м, глибина до 1,7 м (при зниженому рівні води). Для водозабезпечення використовується система водосховищ: Карачунівське, Іскрівське (за 20–40 км на південь) та інші, загалом на балансі водопостачання міста – 5 водосховищ, зокрема Верхньодніпровське (Каховське) водосховище поблизу гирла Інгульця. З джерел зовнішнього водопостачання – канал «Дніпро–Кривий Ріг» (43 км до Південного водосховища) забезпечує до 83–107 млн м³ технічної води щорічно (станом на 2023 р.). Головною проблемою гідросистеми є забруднення: Інгулець накопичує значну кількість забруднюючих речовин із металургійних стоків, тож водокористування і скид стічних вод, що потребує постійного моніторингу якості води.

Домінують промислові й міські території (заводи, кар'єри, відвали,

хвостосховища, житлові масиви Кривого Рогу). Наближені до заводів землі частково порушені (відвали породи, шламові поля). На периферії панують сільськогосподарські угіддя (чорноземи), невеликі лісові урочища і степові ділянки. Загалом кількість населених пунктів у районі обмежена (найбільше – місто Кривий Ріг).

Міська агломерація Кривого Рогу, є потужним індустріальним хабом, – найбільш густонаселена в області (понад 640 тис. мешканців у межах міста), із щільністю населення близько 2300 осіб/км² у межах сельбищних зон, у межах агломерації – понад 1,1 млн. Соціально-економічний профіль території – монокультурно-індустріальний: основне працевлаштування пов’язане з гірничо-металургійними підприємствами (головне – ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»), в меншій мірі – сільське господарство та будівництво. Структура землекористування в зоні впливу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є конфліктною, адже санітарно-захисні зони часто межують із житловою забудовою, що порушує вимоги ДСП 173-96. Значні площі зайняті землями промисловості, транспорту та порушеними землями, що потребують рекультивації.

Міська інфраструктура (житлово-комунальна, транспорт, освіта, охорона здоров’я) розвинена доволі добре, проте перенаселеність і транспортний тиск посилюють фонове забруднення середовища.

Економіка регіону орієнтована на видобуток і металообробку: частка Кривого Рогу у ВВП України – близько 9%, у експорті – 8% (загалом промислове виробництво Дніпропетровщини – 42,3% забезпечує Кривий Ріг)

2.3 Характеристика джерел впливу на навколишнє середовище

ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є домінуючим забруднювачем навколишнього середовища регіону. За 2023 рік на підприємство припало ~87% усіх промислових викидів міста. Аналогічно, у 2022 році воно сформувало понад 88% міських викидів (65,8 тис. т, що на 71% менше 2021р.). Основні види впливу:

– Організовані викиди через високі димарі доменних печей, коксових батарей, агломераційних машин, котлів і іншого обладнання (представлені оксидами азоту, сірки, чадного газу, пиул, фенолами, аміаком тощо). Неорганізовані викиди від руху автотранспорту, відвантаження руди й вугілля, пересипання сипучих матеріалів, вітрова ерозія складів вугілля та руди, пиління сухих пляжів хвостосховищ, негерметичність дверцят коксових печей. Неорганізовані викиди важко піддаються інструментальному контролю і розраховуються за методиками емісійних факторів.

– Підприємство використовує рециркуляцію води, але має утримувані технологічні стоки: доменні шлами (нейтралізовані), стічні води коксового газоочистки, агломащини, систему промивки (требо) доменної печі, зворотні води охолодження. Ці стоки накопичують у водоймищах (охолоджувальні ставки) або очищають на станціях очищення до скиду у відкриту воду за регламентом.

Підприємство споживає велику кількість технічної води для охолодження та виробничих процесів, тому повертає значний об'єм стічних вод. Характер стоків залежить від виробничих ліній: вода з конвертерів та прокатних станів містить метали та нафтопродукти, з коксозаводу – аміак, феноли, сірковмісні сполуки; з доменних печей – шлам (тверді частки, зважені доменні шлаки), сірчисті гази (в розчині), вуглекислий газ, залишки коксових газів.

За технологією, частина стоків очищується у відстійниках або через водоочисні комплекси на підприємстві (технологічне очищення, нейтралізація, сорбція), а потім скидається у місцеві канали й річки (Інгулець та канал «Дніпро–Кривий Ріг») у межах отриманих дозволів на спецводокористування.

Підприємство має дозвіл на забір і скид води згідно з чинним Водним кодексом України. В обсязі проводяться щомісячні лабораторні контрольні аналізи якості відпрацьованої води за фізико-хімічними показниками (рН, O_2 , ХСК, нафтопродукти, зважені речовини, метали) і бактеріологічними показниками. На основі дозволу на водокористування завод зобов'язаний

дотримуватися лімітів за показниками стоку і своєчасно надавати звіти у Держекоінспекцію.

– Відходи виробництва представлені:

➤ шлаками металургійними, а саме доменними і мартенівськими шлаками (залізовмісні, використовуються на будівництво або складуються на шлакових відвалах);

➤ шламами та шлаками концентраторів, насамперед хвостовими шламами збагачення залізної руди (вологі хвостові відвали), хвостовими відвалами агломерації (серпашки та пил);

➤ відпрацьованим коксом, що утилізується як вторсировина або відправляється на звалище;

➤ нафтопродуктовими та хімічними осадами, наприклад, осадом з очищення коксового газу (сульфатна і сода-квасцева, стічні рідини);

➤ пилом і бурим шламом з фільтрів агломашин і коксових газоочисток. За державними реєстрами, щорічне утворення небезпечних і невиробничих відходів на підприємстві – сотні тисяч тонн (зокрема, десятки тонн сполук важких металів). Частина цих відходів підлягає переробці чи вторинному використанню. Інша частина накопичується у спеціально облаштованих накопичувачах (лужний шлам, молібденовий анодний шлам, феросплавні пилові осади тощо).

Наприклад, за 9 міс. 2023 року утворилось ~81 млн тонн промислових відходів (зменшення на 12% до 2022 р.). Значну частину становлять хвостові відвали збагачення залізної руди.

– Підприємство експлуатує кілька гідротехнічних споруд для накопичення збагачувальних відходів. Зокрема, діють три великі хвостосховища – «Миролюбівка», «Об'єднана» і «Центральне» [12] – у яких акумулюються хвости збагачення залізної руди. Існують також численні насипи пустої гірської породи та відвали. Ці об'єкти можуть спричинювати розповсюдження забруднення (металами, сульфатами) у поверхневій й підземній воді та у повітря (пил), якщо не виконувати заходів укріплення й рекультивації.

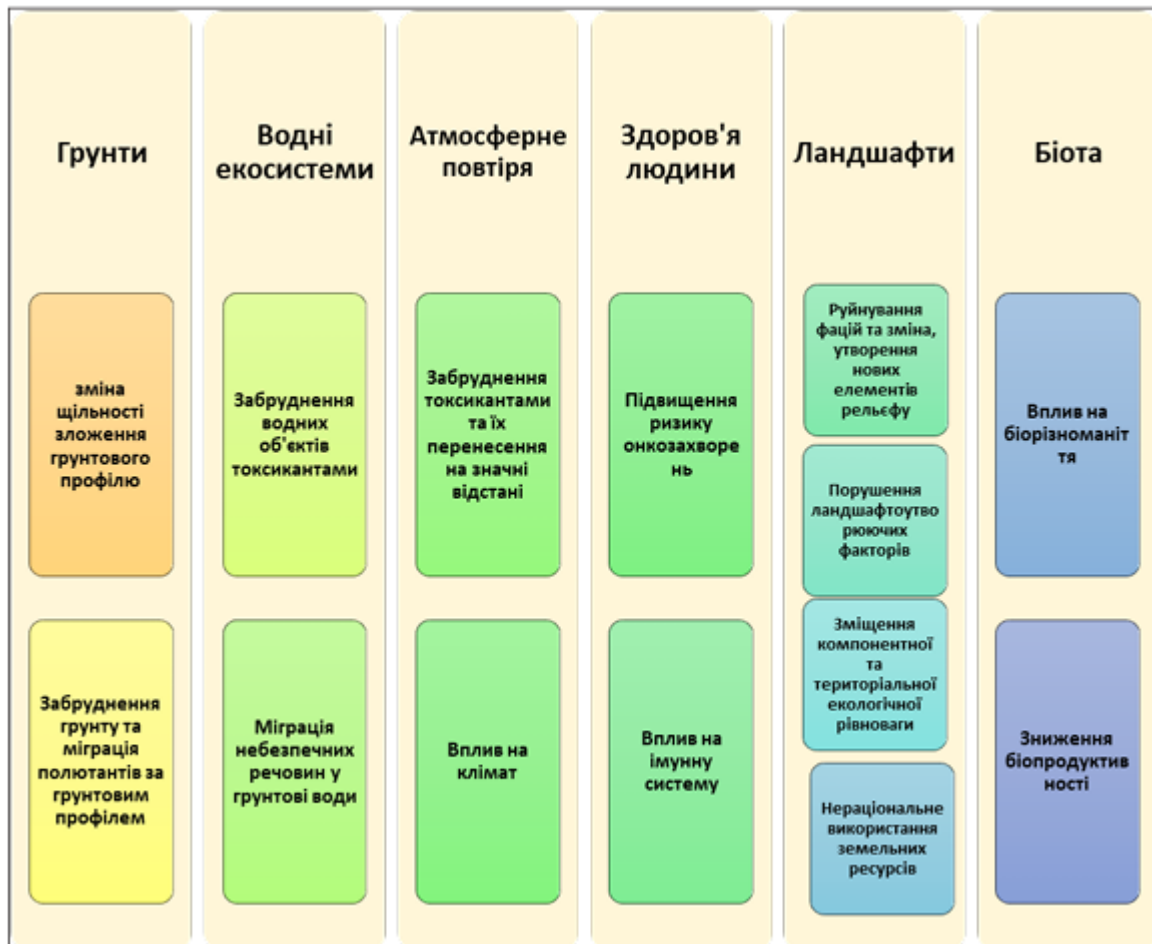


Рисунок 2.2 – Вплив відходів гірничо-металургійного комплексу на довкілля та рівень захворюваності [1]

У підсумку, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» формує більшість промислових впливів у регіоні – в атмосфері, воді та ґрунті – і потребує комплексного контролю та запобіжних заходів для мінімізації негативного навантаження на довкілля.

Також з 2022 р. споруджено новий породозвалищний відвал «Степовий-2» (площею 271 га, розрахованою ємністю 51,4 млн м³) для залишкових пустих порід після видобутку [12]. На сьогодні найбільші існуючі хвостосховища – «Миролюбівка» (другий каскад, площею 130 га) та «Центральна». Вони забезпечують акумулювання шламів збагачення руди й агломераційних цехів, але історично не піддавалися регулярному капітальному закриттю, що створює екологічні ризики (емісія пилу, фільтраційних стоків)

2.4. Моніторинг і методи оцінки техногенного навантаження промислових підприємств

Моніторинг навколишнього середовища навколо ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») здійснювався за типовою схемою спостережень «джерело – охоронна зона – навколишнє середовище». Мережа моніторингу базується на принципі охоплення зони максимальних концентрацій.

Пости спостереження за атмосферним повітрям передбачають встановлення фонового посту, що розташовується на відстані 10–15 км від джерела проти переважного напрямку вітру (зокрема, с. Лозуватка). Контрольні пости облаштовуються на межі санітарно-захисної зони підприємства (вул. Криворіжсталі).

Пункти відбору проб води:

- 500 м вище скиду стічних вод (фоновий створ);
- 500 м нижче скиду стічних вод (контрольний створ).

Ґрунти відбираються методом «конверта» на пробних майданчиках розміром 10 x 10 м у зоні впливу факела викидів (1 раз на рік (весняно-літній період) [5].

Методологія дослідження базується на чинних державних та міжнародних стандартах, що забезпечує верифікованість результатів [6].

Стандартизовані методики відбору проб:

– відбір проб повітря із застосуванням фільтрів (типу АФА) для визначення пилу та на сорбційні трубки для газоподібних домішок. Використовуються аспіратори типу М-822 та автоматичні пробовідбірники низького об'єму згідно з ДСТУ ISO 4219:2003;

– Відбір проб води здійснюється батометрами згідно з ДСТУ ISO 5667-1:2003 «Якість води. Відбір проб» [34]. Консервація проб проводиться залежно від цільового аналізу (наприклад, додавання HNO_3 для металів).

– Відбір проб ґрунту згідно з ДСТУ ISO 10381-1:2004. Проби відбираються з горизонту 0–20 см, де акумуляція поллютантів є найвищою.

Донні відклади з дна водойм беруть багером або шламовідбірником. Біологічні зразки (рослини) збирають за методикою елементного садку по території. Для уніфікації застосовуються методичні вказівки та стандарти ДСТУ ISO, рекомендовані Міністерством охорони здоров'я та Держекоінспекцією (зокрема, низка «ДСТУ ISO 10381:2009» – відбір проб ґрунту для різних цілей [5].

Для забезпечення високої точності визначення концентрацій використовуються сучасні інструментальні методи:

1. Атомно-абсорбційна спектрометрія для визначення важких металів (Pb, Cd, Zn, Cu) у воді та витяжках з ґрунтів. Метод забезпечує межу виявлення на рівні 10^{-3} мг/дм³.

2. Фотометрія та спектрофотометрія для визначення NO₂, SO₂ (з парарозаніліном), аміаку, фенолів. Використовуються спектрофотометри типу Specord або UNICO.

3. Гравіметричний метод є базовим методом визначення концентрації пилу (зважених часток) шляхом зважування фільтрів на аналітичних вагах.

4. Газова хроматографія для визначення органічних забруднювачів (бенз(а)пірен, леткі органічні сполуки).

Обробка результатів виконується за допомогою програмних пакетів Statistica та R. Розраховуються середні арифметичні значення, середньоквадратичні відхилення, коефіцієнти варіації. Для оцінки достовірності різниці між фоновими та контрольними показниками використовується t-критерій Стюдента (при рівні значущості $p < 0,05$). Побудова трендів забруднення здійснюється методом найменших квадратів.

Для визначення значущості екологічних аспектів гірничо-металургійної галузі використовується напівкількісний метод матричного аналізу, такий підхід базується на міжнародних стандартах серії ISO 14000 та ISO 31000, а також на методологічних розробках українських вчених у сфері екологічної безпеки (Рудьком Г.І., Адаменком О.М., Качинським А.Б.) [27]. У науковій практиці цей підхід дозволяє кількісно та якісно визначити

ймовірність виникнення негативних подій та масштаби їхніх наслідків (табл. 2.2-2.3).

Таблиця 2.2 – Матриця ідентифікації та ранжування екологічних ризиків

Важкість	Ймовірність				
	1	2	3	4	5
	2	4	6	8	10
	3	6	9	12	15
	4	8	12	16	20
	5	10	15	20	25

Таблиця 2.3 – Класифікація категорій значущості наслідків техногенного впливу на довкілля

НИЗЬКИЙ РИЗИК (low)	Прогнозовано відсутні або мінімальні негативні наслідки для навколишнього середовища, які не вимагають детального оцінювання та не потребують особливого захисту, компенсації або контролю.
ПОМІРНИЙ РИЗИК (moderate)	Прогнозовано несуттєві та контрольовані негативні наслідки для навколишнього середовища, які мають обмежений масштаб, є в основному нетривалими, оборотними і можуть бути встановлені з достатньою мірою визначеності та легко вирішені шляхом застосування загальних заходів щодо пом'якшення наслідків під час виконання ДДП.
ЗНАЧНИЙ РИЗИК (substantial)	Прогнозовано поодинокі суттєві негативні наслідки для навколишнього середовища, які є більш різноманітними або складними, ніж у наслідків з помірним ризиком, але залишаються обмеженими за масштабами та часом. Сценарії із значним ризиком, як правило, вимагають попередження/пом'якшення та складних заходів з управління наслідками (під час та після виконання ДДП).
ВИСОКИЙ РИЗИК (high)	Прогнозовано численні суттєві негативні наслідки для навколишнього середовища, які є безпрецедентними, частково незворотними, можуть призвести до значної деградації навколишнього середовища та/або сприяти кумулятивному впливу. Сценарії виконання ДДП з високим ризиком переважно підлягають відхиленню або вимагають обов'язкового попередження/пом'якшення та комплексних заходів з управління наслідками (під час та після виконання ДДП).
ЕКСТРЕМАЛЬНИЙ РИЗИК (extreme)	Прогнозовано численні суттєві негативні наслідки для навколишнього середовища, які є безпрецедентними, повністю або переважно незворотними, можуть призвести до повної деградації навколишнього середовища та кумулятивного впливу. Сценарії виконання ДДП з екстремальним ризиком, як правило, підлягають відхиленню або вимагають обов'язкового попередження/пом'якшення та надзвичайних заходів з управління наслідками (під час та після виконання ДДП).

Методологія екологічної оцінки базується на зведенні даних із різних джерел, зокрема дані Держекоінспекції та Гідрометслужби, Дніпропетровського регіонального центру з гідрометеорології, департаментом екології Дніпропетровської ОДА є основою. Важливо зазначити, що у Кривому Розі діє автоматизована система моніторингу атмосферного повітря з понад 30 стаціонарними постами спостереження, які надають щоденну інформацію про якість повітря.

Крім того, ПАТ «АМКР» публікує власні звіти та результати екологічного моніторингу. На офіційному сайті щомісяця оновлюються онлайн-дані з автоматичних постів (кошики АПК №1–9). Підприємство також має аудитні звіти ISO 14001 (система екологічного менеджменту).

Поставлена мета та завдання дослідження зумовили використання загальнонаукових підходів, логічних законів побудови висновків, спеціальних методів наукового пізнання. Під час виконання дослідження було враховано світовий досвід застосування геоінформаційних технологій для картування та аналізу небезпечних впливів на довкілля в гірничодобувних регіонах.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Екологічна оцінка рівнів техногенного навантаження на атмосферу в контексті національної та регіональної статистики

Атмосферне повітря є найбільш динамічним компонентом навколишнього середовища, який зазнає першочергового впливу від викидів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Враховуючи масштабність виробництва, підприємство формує регіональний фон забруднення, частка якого у валових викидах м. Кривий Ріг становить близько 80–85% [14, 12]. Оцінка впливу базується на аналізі даних за період 2020–2024 рр. та перше півріччя 2025 р., що дозволило відстежити динаміку змін в умовах воєнного стану та часткового відновлення виробничих потужностей [18].

Слід врахувати, що на підприємстві діють численні організовані джерела викидів: димові труби коксохімзаводу (газоочисні фільтри), агломераційних машин, доменних печей, мартенівських печей, конвертерів, котелень, а також автотранспортного цеху.

За результатами аналізу статистичної звітності (форма 2-ТП повітря) та Екологічних паспортів Дніпропетровської області, валові викиди забруднюючих речовин від стаціонарних джерел ПАТ «АМКР» демонструють складну динаміку, обумовлену коливанням обсягів виробництва чавуну і сталі [14].

Для забезпечення об'єктивного контролю за станом довкілля у структурі КП «Інститут розвитку міста Кривого Рогу» функціонує аналітичний відділ, який агрегує дані з автоматизованих постів спостереження. Порівняльний аналіз цих даних із звітністю промислових підприємств виявив суттєві розбіжності, особливо в періоди несприятливих метеоумов [13].

Таблиця 3.1 – Моніторинг оксиду вуглецю (CO) в атмосферному повітрі та метеорологічних параметрів у зоні впливу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (26–27 лютого 2020 року)

Дата, час	ПАС №4 (показники з сайту "ЕКОМОНІТОРИНГ")					ПАС №3 (показники з сайту "ЕКОМОНІТОРИНГ")					ПАС №2 ПАТ "АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ" (показники)				
	Оксид вуглецю, мг/м³	Метеопараметри				Оксид вуглецю, мг/м³	Метеопараметри				Оксид вуглецю, мг/м³	Метеопараметри			
		Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Температура	Тиск		Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Температура	Тиск		Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Температура	Тиск
26.02.2020 09:00	5,4	5,1	ПдЗ	4,8	744,7	3,8	1,9	ПдЗ	4,8	741,5	5	Метеопараметри не змінюються з 12:00 25 лютого 2020 р. (швидкість вітру - 2,6 м/с, вітер - ПдЗ, температура - 6,3° , тиск - 752,3.)			
08:00	4	5	ПдЗ	3,6	745	4,2	1,5	ПдЗ	3,4	741,9	3,9				
07:00	4,4	4,6	ПдЗ	2,8	745,2	4,5	1,3	ПдЗ	2,5	742,1	3,6				
06:00	4,2	2,9	Пд	2,6	745,5	5	1,5	ПдЗ	2	742,4	3,8				
05:00	8,8	4,1	ПдЗ	2,4	746,1	5,2	1,4	ПдЗ	2,1	742,9	5,2				
04:00	2,6	1,8	ПдС	2	746,7	5,6	1,5	ПдС	1,8	743,2	3,9				
03:00	10,8	2,2	ПдЗ	3	747	5,7	1,4	ПдЗ	2,5	743,7	4,1				
02:00	9,1	2,9	ПдЗ	3,2	747,7	5,3	1	ПдЗ	2,5	744,7	2,3				
01:00	6,9	4,4	ПдС	3,1	748	4,7	1,1	ПдЗ	2,6	744,8	3,5				
00:00	3,9	3,9	ПдЗ	3,2	748,2	4,3	2	ПдЗ	3,3	744,9	3,4				
Дата, час	ПАС №4 (показники з сайту "ЕКОМОНІТОРИНГ")					ПАС №3 (показники з сайту "ЕКОМОНІТОРИНГ")					ПАС №2 ПАТ "АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ" (показники)				
	Оксид вуглецю, мг/м³	Метеопараметри				Оксид вуглецю, мг/м³	Метеопараметри				Оксид вуглецю, мг/м³	Метеопараметри			
		Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Температура	Тиск		Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Температура	Тиск		Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру	Температура	Тиск
27.02.2020 08:00	6,6	2,7	ПдЗ	5,9	740,1	6,3	1,4	ПдЗ	5,9	737	З 26.02.2020 19:00 по 27.02.2020 08:00 - показники відсутні, так як і на сайті підприємства				
07:00	1,6	1,6	ПдЗ	5,4	740,1	6,7	1,2	ПдЗ	5,4	737					
06:00	2,2	1,5	Пд	5,2	740,4	7,6	0,9	ПдЗ	5,2	737,1					
05:00	1,6	1,3	ПдЗ	4,6	740,6	8,3	1,4	ПдЗ	4,9	737,6					
04:00	3,6	1,5	ПдС	5,2	740,7	8,5	1,4	ПдЗ	4,9	737,4					
03:00	8,7	0,8	ПдС	5,8	740,7	8,2	1,1	ПдЗ	5,6	737,5					
02:00	7,6	2,9	Пд	6,2	741	7,5	1,9	ПдЗ	6,2	737,9					
01:00	1,9	2,8	Пд	6,1	741,2	6,7	1,3	ПдЗ	6,1	738					
00:00	1,5	3,3	Пд	5,9	741,5	5,9	1,9	ПдЗ	6,2	738,2					
23:00	1,5	1,7	ПдЗ	5,8	741,8	4,6	2,3	ПдЗ	6,2	738,5					
22:00	1,5	4,4	Пд	6,1	741,5	4	2,7	ПдЗ	6,4	738,3					
21:00	1,6	4,3	ПдЗ	6,8	741,4	3,3	2,5	ПдЗ	7,1	738,3					

Як зазначено на офіційному сайті Виконавчого комітету Саксаганської районної ради, що під час несприятливих метеорологічних умов II ступеня (17–18.02.2020) незалежні муніципальні пости фіксували перевищення середньодобових концентрацій оксиду вуглецю в 3,2–6,5 раза та пилу в 1,2–1,5 раза [18]. Натомість внутрішні звіти підприємств-забруднювачів не відображали перевищень на межах санітарно-захисних зон.

Особливе занепокоєння викликає достовірність даних корпоративного моніторингу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Зафіксовано випадки (14–16.02.2020), коли міський пост на межі санітарно-захисної зони показував перевищення нормативів, тоді як внутрішні пости підприємства демонстрували «чисте» повітря. Більше того, 26 лютого 2020 року, після фіксації перевищення ГДК по оксиду вуглецю на посту коксохімічного виробництва, передача даних з підприємства до системи «Екомоніторинг» була технічно заблокована, що унеможливило подальший контроль ситуації в режимі реального часу.

Черговий епізод невідповідності даних зафіксовано 03.03.2020 представниками Саксаганського виконкому. Попри фіксацію на міському посту № 4 перевищення ГДК по оксиду вуглецю до 2,16 раза (спричиненого південно-західним переносом повітряних мас), мережа спостереження ПАТ «АМКР» не зареєструвала жодних відхилень від норми, що підтверджує тенденцію до приховування реальних обсягів впливу підприємства на якість повітря в житлових зонах.

Для характеристики рівня забруднення приземного шару атмосфери використано величини фонових концентрацій, що відображають сумарний вклад стаціонарних і пересувних джерел. Значення прийняті згідно з офіційними даними натурних спостережень Гідрометслужби (довідка від 11.04.2025) та розрахунковими даними профільного Департаменту екології ОДА, розробленими для зони впливу металургійного виробництва (табл. 3.2) [4, 14, 18].

Таблиця 3.2 – Розрахункові значення фонових концентрацій для району розташування об'єкта (за даними ПСЗ № 2)

Номер поста	Умовні координати X, Y (км) на карті схемі	Концентрація в мг/м³				
		0-2	Більше 2			
		Напрямок (румби)				
		Будь-який	Північ	Схід	Південь	Захід
1	2	3	4	5	6	7
ПСЗ №2 вул. Степана Тільги	+12, -25	Пил 2902				
		0,49646	0,49986	0,46226	0,64110	0,43570
		Двооксид сірки 0330				
		0,03719	0,03359	0,03681	0,04818	0,03592
		Оксид вуглецю 0337				
		2,21416	1,69224	2,00258	3,05671	1,69037
		Двооксид азоту 0301				
		0,05593	0,05593	0,05593	0,05593	0,05593
		Сірководень 0333				
		0,00205	0,00171	0,00183	0,00272	0,00182
		Фенол 1071				
		0,00371	0,00296	0,00356	0,00501	0,00338
		Аміак 0303				
		0,01584	0,01584	0,01584	0,01584	0,01584
		Формальдегід 1325				
		0,02002	0,02002	0,02002	0,02002	0,02002

Табл. 3.3 містить зведені дані щодо рівнів забруднення атмосфери (середньорічні та пікові концентрації).

Таблиця 3.3 – Значення осереднених за рік та граничних (максимально разових) концентрацій поллютантів

Найменування речовини	ГДК, мг/м ³	Середньорічна концентрація, мг/м ³ за 2024 р.	Максимально разова концентрація, мг/м ³ за 2024 р.
1	2	3	4
<i>ПСЗ №2 вул. Степана Тільги, 2</i>			
Пил	0.5	0,3	2,4
Двооксид сірки	0.5	0,026	0,071
Оксид вуглецю	5.0	1	5
Двооксид азоту	0,2	0,03	0,17
Сірководень	0.008	0,001	0,004
Фенол	0.01	0,002	0,012
Аміак	0.2	0,01	0,03
Формальдегід	0.035	0,013	0,051

Фіксація субкритичного рівня забруднення атмосферного повітря зваженими речовинами (0,99292 частки ГДК) є закономірним наслідком локалізації об'єкта в межах потужного індустріального вузла, що характеризується високою щільністю підприємств гірничо-металургійного

циклу.

Базуючись на даних державної системи моніторингу (ЦГО ім. Б. Срезневського), яка у I півріччі 2020 року провела комплексну оцінку якості атмосферного повітря в урбанізованих зонах України, оперувала даними зі 129 постів у 39 містах України [34], екологічна ситуація в індустріальних регіонах залишалася напруженою.

Варто зазначити, що Кривий Ріг залишається єдиним містом у Дніпропетровській області, де успішно імплементовано та експлуатується автоматизована система моніторингу повітряного середовища [14, 18]. Архітектура мережі включає 5 міських та 23 відомчі (промислові) станції спостереження (рис. 3.1), що дозволяє в режимі реального часу відстежувати концентрації забруднюючих речовин та метеорологічні умови в житлових масивах, забезпечуючи вищу репрезентативність даних порівняно з дискретними методами.

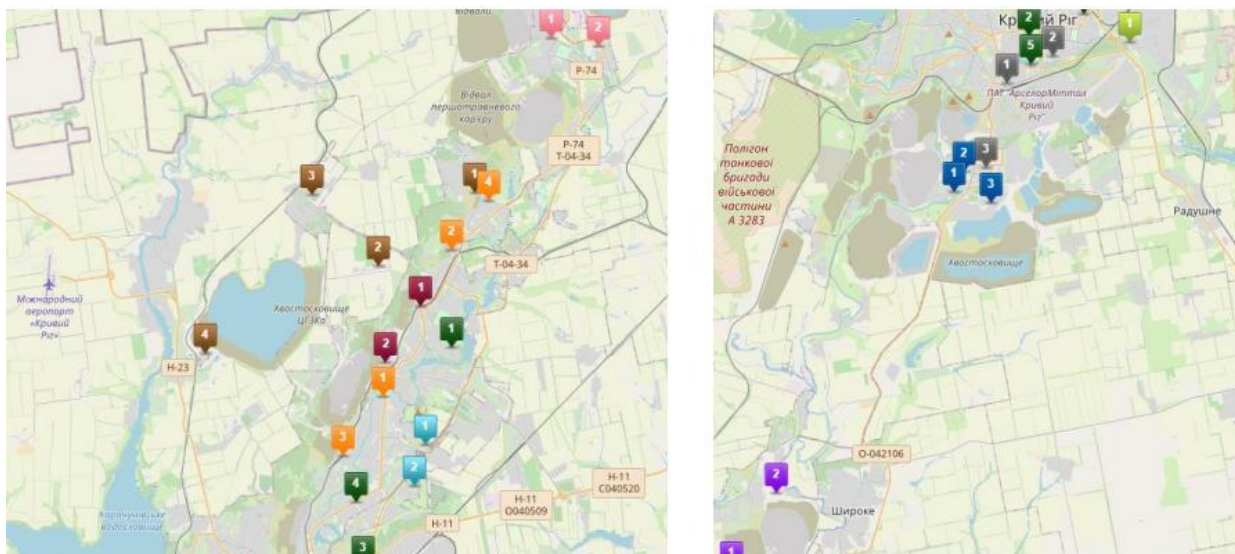


Рисунок 3.1 – Карта міста із автоматизованими постами моніторингу: північна частина (ліворуч) і південна частина (праворуч)

Аналіз просторового розподілу показників забруднення (за комплексним індексом забруднення атмосфери – ІЗА) виявив значну диференціацію екологічного стану: дуже високий рівень забруднення було ідентифіковано у м. Маріуполь; високий рівень зафіксовано у 10 промислових центрах та

мегаполісах: Кам'янське, Одеса, Дніпро, Кривий Ріг, Київ, Миколаїв, Херсон, Черкаси, Запоріжжя, Кременчук. У 11 містах спостерігався підвищений рівень, а у 17 населених пунктах – низький (рис. 3.2).

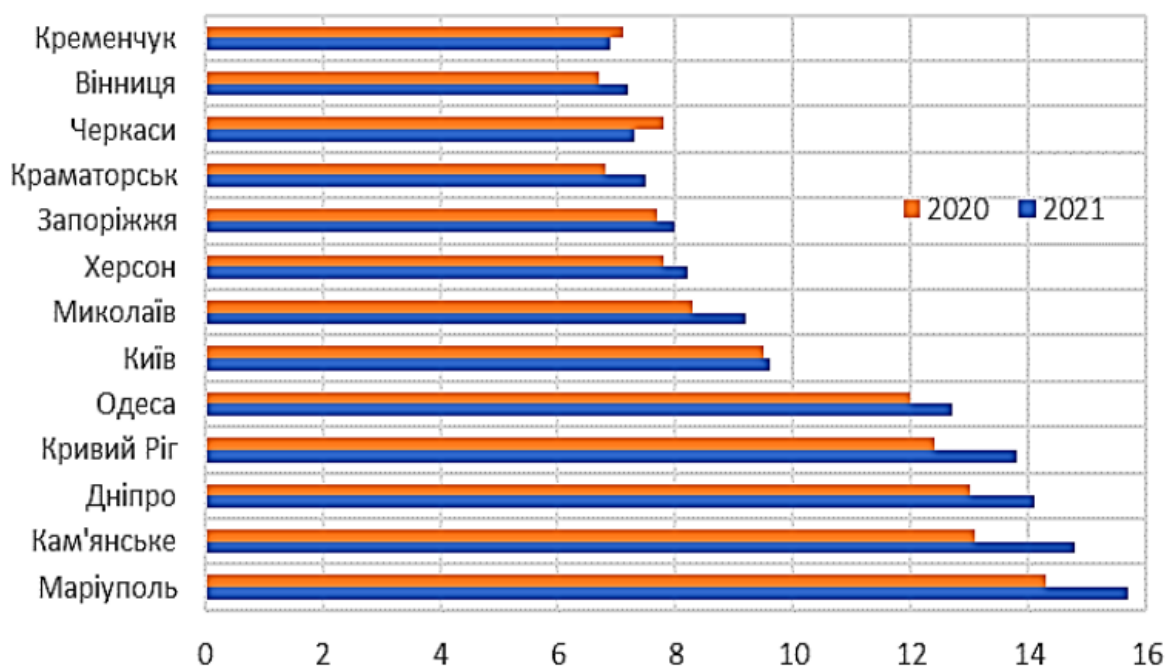


Рисунок 3.2 – Розподіл міст за категоріями якості повітряного середовища (2020 – 2021 рр.)

Зокрема, для Кривого Рогу у 2020 році ІЗА становив приблизно 13,1, а в 2021 році – 13,5, що свідчить про незначне зростання загального рівня забруднення атмосфери. За даними звітності Криворізької міської ради за 2023 рік, величину ІЗА зафіксовано на рівні 7,43. Це підтверджує ефективність природоохоронних заходів, оскільки спостерігається зниження рівня забруднення на 15% (до 2022 р.) та на 48% (до 2015 р.).

Результати досліджень підтверджують формування стійких ареалів пилового забруднення в районах зосередження потужностей гірничо-видобувної промисловості. Найвищі рівні запилення фіксуються вздовж вісі розробки залізрудних родовищ, зокрема в зоні безпосереднього впливу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (рис. 3.3, 3.4).

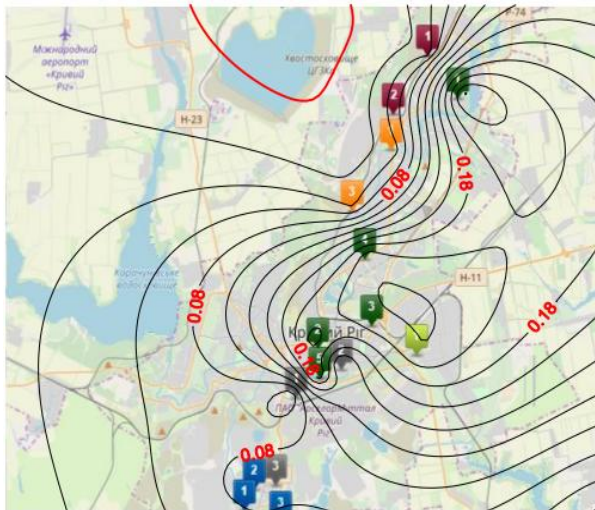


Рисунок 3.3 – Карта пилу за середніми значеннями (липень, 2022)

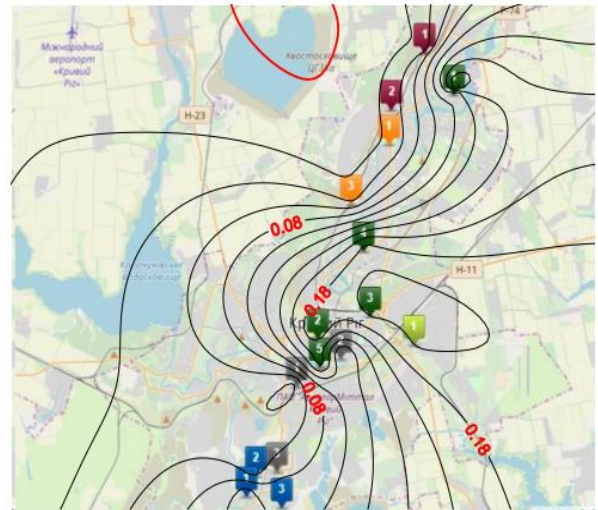


Рисунок 3.4 – Карта пилу за середніми значеннями (жовтень, 2022)

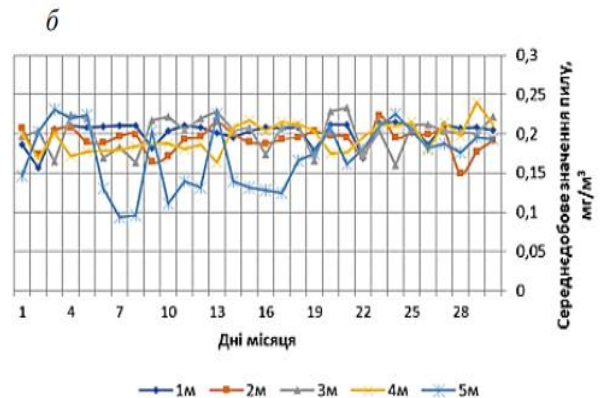
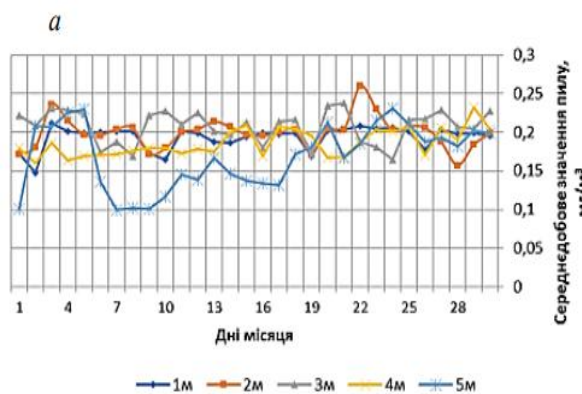


Рисунок 3.5 – Динаміка добових викидів пилу за періоди: листопад 2021 р. (а) та червень 2022 р. (б). Дані з муніципальних станції [18, 34]

Стратегія охорони атмосферного повітря базується на виведенні з експлуатації застарілих активів (двованного агрегату №6, аглофабрики, ДП №5 і №7, КБ №1 і №2) та одночасному впровадженні новітніх систем газоочистки в агломераційному (цех №2, новий корпус) та конвертерному (конвертери №1–3) виробництвах.

Моніторинг стану атмосферного повітря в районі розташування ПАТ «АМКР» забезпечується функціонуванням дев'яти постів спостереження з публікацією даних на корпоративному порталі.

Аналіз звітної документації свідчить, що незважаючи на загальне зниження навантаження майже вдвічі порівняно з довоєнним періодом, питомі викиди на одиницю продукції у 2024–2025 роках зросли на 12–15%. Це, передусім, зумовлено експлуатацією агрегатів у перехідних режимах (зупинка та запуск), що супроводжується неефективним згорянням палива та підвищеним виділенням CO, а також зниженням ефективності газоочисного обладнання через дефіцит запчастин та обмеження фінансування капітальних ремонтів [1, 12].

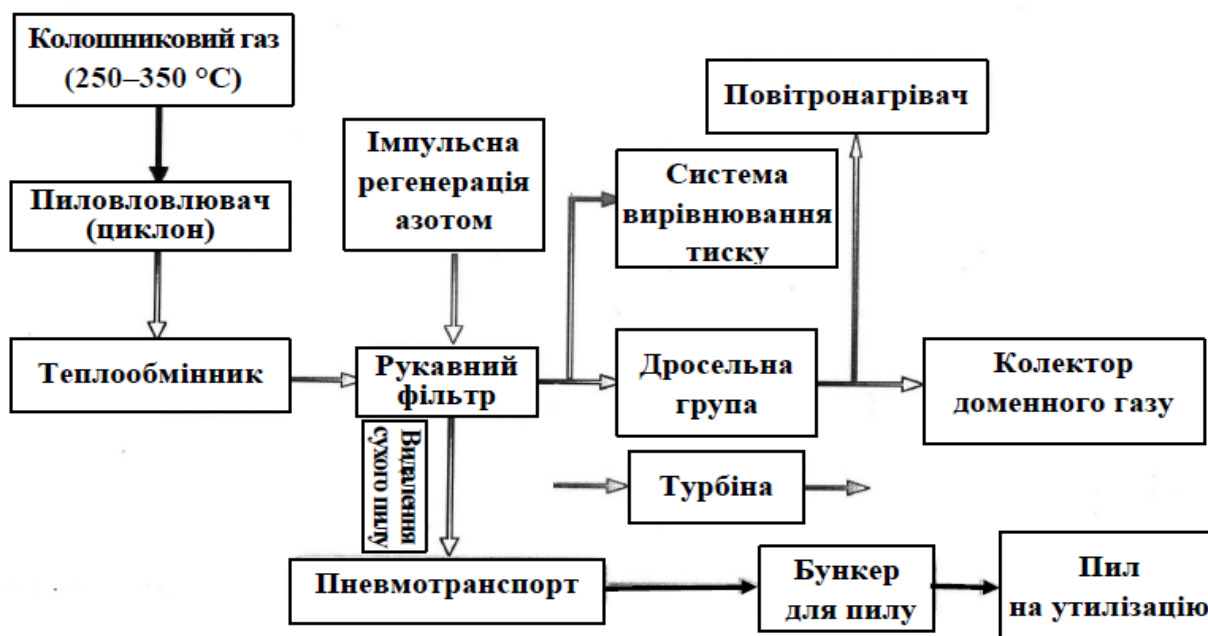


Рисунок 3.6 – Схема сухої газоочистки доменної печі рукавними фільтрами [19, 30]

Основним компонентом викидів залишається оксид вуглецю ($\approx 70\%$ від маси), проте найбільшу гігієнічну небезпеку становлять дрібнодисперсний пил (PM2.5, PM10) та діоксид сірки, які формуються переважно в агломераційному цеху №2.

За даними підприємства, впровадження нових технологій і скорочення обсягів виробництва під час воєнного стану дозволили зменшити сумарні викиди забруднювачів у повітря на 70% з 2021 по 2023 рік (з 210,6 тис. т до 63,6 тис. т). Основну частку в цьому обсязі становлять тверді частинки (пил), оксиди сірки (SO₂), оксиди азоту (NO_x) та оксид вуглецю (CO). Тоді як

реконструкція агломашини №3 із встановленням нової газоочисної установки дозволила зменшити пилові викиди орієнтовно на 500 т/рік. Закриття застарілих агрегатів (коксових батарей №1–2, доменної печі №5 тощо) додатково знизило емісії на ~46 тис. т (без урахування поточних робочих доменів) [19]. Побічно, скорочення виробництва через війну також суттєво зменшило промислові викиди, про що підтверджується показниками індексу забруднення атмосферного повітря в місті Кривому Розі: у 2023 році він склав 7,43, що на 15% нижче рівня 2022 року (хоча є тенденція до поліпшення порівняно з базовим 2015 р. (зниження майже на 48%)) [28].

Розсіяні джерела забруднення атмосфери: кар'єри, відвали, шламосховища, дороги та терикони підприємства. При веденні відкритої розробки утворюються пилові фракції, які під час вітру розносяться у навколишнє середовище. Для їхнього пригнічення на території ПАТ «АМКР» застосовують регулярне зволоження та стабілізацію поверхонь відвалів (використання полів ґрунтоутворювальних матеріалів) [26, 28, 36, 38]. Викиди пилу автотранспорту та навантажувачів моніторяться за допомогою постів. У 2022–2024 рр. виконувалися щоквартальні польові виміри пилу у трьох точках на межі санітарно-захисної зони з метою контролю фонових концентрацій.

За даними міського моніторингу, у 2022 р. середньорічні концентрації основних забруднювачів суттєво знизилися порівняно з попереднім роком: пил – на 25%, формальдегід – на 21%, СО – на 50%, H_2S – на 50%, NO_2 – на 40%. Проте у 2022 р. середньорічні показники по пилу та формальдегіду все ще перевищували гранично допустимі норми відповідно у 2 та 3,7 рази.

3.2 Оцінка техногенного навантаження на поверхневу гідросферу та система інженерного захисту водних об'єктів

За результатами оцінки гідрографічної мережі в межах локалізації полігону для складування промислових й будівельних відходів встановлено, що найменша відстань до поверхневих вод становить близько 3,1 км у східному напрямку (Південне водосховище), тоді як річка Інгулець протікає на відстані 7,6 км західніше від місця провадження діяльності.

Враховуючи високу щільність промислової забудови регіону та існуючий рівень техногенного навантаження, виокремити ізольований вплив полігону на поверхневу гідросферу складно. Тому оцінка впливу проводиться в контексті кумулятивного навантаження промислового вузла на водні ресурси.

Критично важливим аспектом екологічної безпеки є захист Південного водосховища, яке використовується для питного водопостачання, від забруднення поверхневим стоком. Для перехоплення дощових та талих вод із прилеглих урбанізованих та промислових територій реалізовано систему інженерного захисту у вигляді мережі нагірних каналів.

Схема водовідведення організована наступним чином:

- нагірний канал, що бере початок в районі залізничної станції «Батуринська». Траса каналу пролягає вздовж техногенних масивів – відвалів доменних шлаків, полігону переробки будівельних та промислових відходів, а також комплексу шламонакопичувачів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».
- гідротехнічними параметрами: загальна протяжність каналу становить 10 км, а площа водозбору, з якої здійснюється перехоплення стоку, сягає 28 км² (рис. 3.7).
- Приймачем стоків слугує канал, який впадає в обвідний канал у районі ставка-охолоджувача №2.

Обвідний канал виконує функцію буферної гідротехнічної споруди, призначеної для транспортування дебалансних вод металургійного циклу та

аккумуляції поверхневого стоку з прилеглих промайданчиків, унеможливаючи їх неконтрольоване потрапляння у природні водойми.

Узагальнені дані щодо динаміки гідрохімічного стану річки Інгулець та Південного водосховища за період 2019–2024 рр. (за результатами державного моніторингу) наведено в табл. 3.5 [4, 14, 18].

Таблиця 3.5 – Динаміка гідрохімічного стану води р. Інгулець у створах державного моніторингу (2019–2024 рр.)

Період спостережень	Значення показника якості води, мг/дм ³								
	амоній-іон	БСК5, мгО ₂ /дм ³	завислі речовини	кисень розчинний, мгО ₂ /дм ³	нітрат-іон	нітрит-іон	фосфат-іон	хлорид-іон	сульфат-іон
	ГДК (наказ МОЗ України від 02.05.2022 р. № 721)								
	2	3	–	≥4	45	3,3	3,5	350	500
р. Інгулець, 335 км, м. Кривий ріг, Карачунівське водосховище, питний водозабір міста									
2019 р.	0,35	2,77	7,83	7,45	1,11	0,07	0,31	113,67	403,48
2020 р.	0,28	2,46	5,86	8,65	1,10	0,04	0,25	109,59	361,57
2021 р.	0,24	2,75	5,86	8,48	1,01	0,04	0,28	102,96	331,69
2022* р.	0,20	2,26	5,00	10,51	1,56	0,03	0,38	101,04	345,66
2023* р.	0,31	2,57	5,47	9,90	1,69	0,04	0,19	107,54	426,02
2024 р.	0,30	2,71	8,10	8,66	1,36	0,07	0,22	83,50	336,85
канал Дніпро – Кривий Ріг, 43 км, Південне водосховище, питний водозабір									
2019 р.	0,35	3,02	7,83	8,77	1,48	0,03	0,23	38,83	49,01
2020 р.	0,29	2,49	6,44	8,98	1,29	0,04	0,15	40,10	49,61
2021 р.	0,21	2,60	6,48	8,86	1,02	0,04	0,17	37,96	55,78
2022* р.	0,25	1,93	5,10	9,83	1,89	0,11	0,20	41,66	59,77
2023* р.	0,28	2,54	6,33	10,30	1,74	0,05	0,28	250,53	416,51
2024 р.	0,25	2,72	6,15	9,23	1,14	0,03	0,16	258,95	522,03

* – середні показники за період січень-лютий 2022 р. та жовтень-грудень 2023 р.; з причини воєнної ситуації у Дніпропетровській області з березня 2022 р. по вересень 2023 р. спостереження по вищевказаним постах не проводилися

Починаючи з 2023 року, у Південному водосховищі (рис. 3.8) зафіксовано суттєве зростання концентрації сульфат- та хлорид-іонів. Зазначені зміни гідрохімічного складу зумовлені вимушеним поповненням водосховища водами річок Саксагань (з Кресівського водосховища) та Інгулець у рамках реалізації проєктів із відновлення водопостачання міста (рис. 3.7).

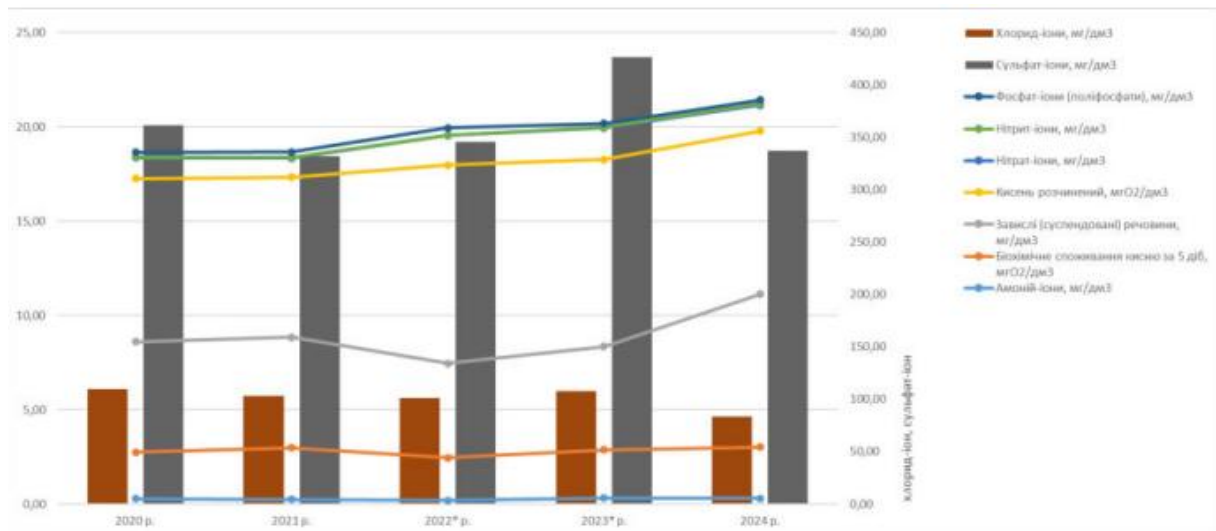


Рисунок 3.7 – Динаміка гідрохімічних показників води р. Інгулець у період 2019–2024 рр.

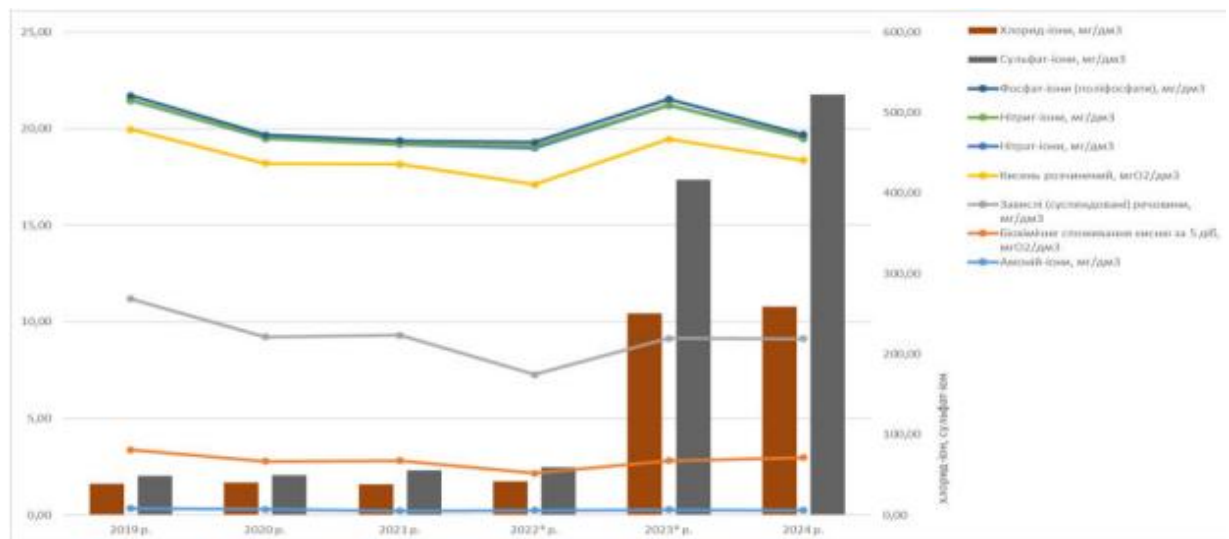


Рисунок 3.8 – Зміни показників якості води Південного водосховища у 2019–2024 рр.

Гідрогеологічний моніторинг на підприємстві здійснюється через розгалужену мережу пунктів спостереження, яка на початок 2025 року налічувала 73 свердловини. Основний масив спостережень зосереджено на водоносному горизонті четвертинних відкладів, який контролюється 49 свердловинами. Глибші, неогенові відклади, охоплені мережею з 24 свердловин (рис. 3.9). Такий розподіл дозволяє оцінювати вертикальну міграцію забруднень.

Таблиця 3.6 – Гідрохімічні показники підземних вод у межах спостережної мережі

Період спос- тережень	№ сверд- ловини	pH	Макрокомпоненти, мг/дм³													Мікрокомпоненти, мг/дм³							
			Сухий залишок	Жорст- кість ммоль/ дм³	Аніони					Катіони						Залізо заг.	Бром	Строн- цій	Молиб- ден	Марга- нець	Фтор	Іод	
					HCO₃⁻	Cl⁻	SO₄²⁻	NO₃⁻	NO₂⁻	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺ + K⁺	Fe²⁺	Fe³⁺	NH₄⁺								
ЧЕТВЕРТИННИЙ ВОДОНОСНИЙ ГОРИЗОНТ																							
Період спос- тережень	№ сверд- ловини	pH	Макрокомпоненти, мг/дм³													Мікрокомпоненти, мг/дм³							
			Сухий залишок	Жорст- кість ммоль/ дм³	Аніони					Катіони						Залізо заг.	Бром	Строн- цій	Молиб- ден	Марга- нець	Фтор	Іод	
HCO₃⁻	Cl⁻	SO₄²⁻	NO₃⁻	NO₂⁻	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺ + K⁺	Fe²⁺	Fe³⁺	NH₄⁺													
2021 рік	1	7,5	2460	13,5	73,2	105,7	1502,0	16,5	0,6	220,4	30,4	512,7	<0,05	<0,05	<0,1	0,02	2,4	4,1	відс.	<0,1	відс.	1,08	
	3	6,9	4496	28,5	311,1	88,1	2798,2	50	0,045	220,4	212,8	878,2	<0,05	<0,05	<0,1	0,02	1,0	5,1	відс.	<0,1	0,33	0,5	
	10	7,2	1878	18,0	561,2	102,2	786,0	1,4	<0,01	140,3	133,8	241,4	<0,05	0,25	<0,1	0,04	1,8	<0,5	0,003	<0,1	0,03	0,65	
	11	6,8	8764	32,5	506,3	669,5	4973,0	<1	0,19	190,4	279,7	2259,9	<0,05	0,06	<0,1	0,6	1,9	1,8	0,003	0,2	0,45	0,75	
	12	6,5	5572	16,5	170,8	792,8	2790,0	<1	0,05	230,5	60,8	1533,4	<0,05	0,05	<0,1	1,6	3,2	5,1	0,003	0,1	0,1	0,75	
	13	7,6	5788	20,0	73,2	1374,2	2427,8	<1	0,02	130,3	164,2	1620,8	<0,05	0,25	<0,1	0,62	4,8	5,1	0,003	<0,1	0,1	1,06	
	14	6,7	8550	30,5	85,4	1585,7	4117,1	<1	0,01	160,3	273,6	2331,2	<0,05	0,06	<0,1	3,5	5,9	4,1	0,005	0,13	відс.	0,75	
	15	6,1	9820	40,0	115,9	1797,1	4774,2	<1	0,01	190,4	370,9	2574,9	<0,05	0,05	<0,1	2,0	6,1	5,4	0,003	<0,1	відс.	0,75	
	16	7,3	5478	40,0	85,4	379,2	3215,0	<1	<0,01	521	170,2	898,9	<0,05	<0,05	<0,1	0,68	0,92	3,6	0,003	<0,1	0,1	0,5	
	17	7,6	706	8,5	317,2	59,1	253,5	1,0	<0,01	98,2	43,8	84,4	<0,05	<0,05	<0,1	0,4	0,9	1,12	відс.	<0,1	0,03	0,5	
	19	6,5	804	3,5	323,3	88,1	189,7	<1	<0,01	28,1	25,5	188,5	<0,05	0,28	0,1	0,04	1,2	0,6	відс.	0,3	0,4	0,5	
	38	7,3	596	5,5	292,8	68,1	109,9	<1	<0,01	20,0	54,7	80,5	<0,05	0,05	0,1	8,2	1,0	1,0	<0,003	0,32	0,48	0,5	
	40	7,4	3872	36,5	335,5	136,4	2385,9	3,2	<0,01	250,5	289,4	517,3	<0,05	<0,05	0,08	5,9	2,4	2,1	<0,003	0,38	0,12	0,5	
	58	6,4	7418	29,5	146,4	1215,7	3703,5	<1	0,35	160,3	261,4	1931,2	8,0	0,28	0,1	42,0	3,6	4,8	0,01	0,15	0,28	0,5	
2022 рік	1	7,5	2788	33,5	84,4	88,1	1815,5	10,5	0,01	497,0	105,8	193,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,01	1,3	2,0	0,005	<0,1	0,58	0,2	
	2	7,3	6462	49,0	378,2	281,8	4043,4	20,0	0,12	300,6	413,4	1190,3	<0,05	0,95	<0,1	<0,01	0,09	5,2	1,16	0,12	1,05	<0,02	
	3	7,3	5612	63,5	359,9	204,3	3621,4	33,0	0,022	330,7	571,5	554,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,01	0,2	5,6	0,003	0,31	1,19	0,63	
	4	7,2	3408	55,5	244,0	387,5	2002,8	25,0	0,128	180,4	565,4	34,5	<0,05	<0,05	<0,1	<0,01	<0,02	9,2	1,16	0,28	0,95	<0,02	
	10	7,3	1448	11,0	695,4	77,5	365,4	<1	0,01	100,2	73,0	234,5	<0,05	0,31	<0,1	0,27	0,2	<0,01	0,005	0,1	0,03	0,2	
	11	7,6	5684	60,0	335,5	211,3	3618,3	<1	<0,01	290,6	413,4	889,7	<0,05	0,30	<0,1	<0,01	0,3	5,6	0,003	0,28	1,07	0,16	
	12	7,4	5250	32,5	91,5	739,7	2767,3	<1	<0,01	430,9	133,8	1089,7	<0,05	0,31	<0,1	<0,01	0,6	4,0	0,003	0,10	0,53	0,2	
	13	7,4	5510	41,0	61,0	1320,9	2441,9	<1	<0,01	220,4	364,8	1103,5	<0,05	0,35	<0,1	0,45	3,2	6,8	0,003	0,11	0,51	0,26	
	14	7,4	8202	57,0	54,9	1514,6	4145,0	<1	<0,01	300,6	510,7	1678,3	<0,05	0,36	<0,1	3,84	1,9	7,2	0,005	0,17	0,30	0,35	
	15	7,3	9388	68,5	61,0	1708,3	4808,8	<1	<0,01	310,6	644,5	1857,6	<0,05	1,68	<0,1	2,12	3,2	6,4	0,003	<0,1	0,34	0,31	
	16	7,1	1197	7,5	115,9	115,4	592,1	<1	<0,01	132,3	10,9	216,1	<0,05	<0,05	<0,1	0,82	0,42	4,29	0,003	<0,1	0,30	0,5	
	17	6,7	1635	22,2	786,9	86,8	559,6	<1	<0,01	266,5	108,2	144,8	<0,05	<0,05	<0,1	<0,01	0,2	0,11	відс.	<0,1	0,18	0,47	
	19	7,6	612	5,0	219,6	105,7	129,2	<1	0,025	24,0	46,2	98,9	<0,05	0,31	<0,1	<0,01	0,2	0,7	відс.	0,1	0,53	0,33	
	38	7,2	1014	13,0	207,4	147,9	440,7	<1	<0,01	80,2	109,4	87,4	<0,05	0,06	<0,1	4,27	0,03	0,8	1,28	0,23	0,85	0,76	
	40									не має доступу													
	58	7,4	7048	50,5	54,9	1268,0	3596,9	<1	0,015	290,6	437,8	1402,4	<0,05	0,15	<0,1	2,85	2,09	1,92	2,69	0,67	0,63	0,1	

продовження таблиці 3.6

Період спос- тережень	№ сверд- ловини	pH	Макрокомпоненти, мг/дм³												Мікрокомпоненти, мг/дм³							
			Сухий залишок	Жорст- кість ммоль/ дм³	Аніони					Катіони						Залізо заг.	Бром	Строн- цій	Молиб- ден	Марга- нець	Фтор	Йод
					HCO₃⁻	Cl⁻	SO₄²⁻	NO₃⁻	NO₂⁻	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺ + K⁺	Fe²⁺	Fe³⁺	NH₄⁺							
ЧЕТВЕРТИННИЙ ВОДОНОСНИЙ ГОРИЗОНТ																						
Період спос- тережень	№ сверд- ловини	pH	Макрокомпоненти, мг/дм³												Мікрокомпоненти, мг/дм³							
			Сухий залишок	Жорст- кість ммоль/ дм³	Аніони					Катіони						Залізо заг.	Бром	Строн- цій	Молиб- ден	Марга- нець	Фтор	Йод
					HCO₃⁻	Cl⁻	SO₄²⁻	NO₃⁻	NO₂⁻	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺ + K⁺	Fe²⁺	Fe³⁺	NH₄⁺							
2023 рік	10	7,3	1438	7,3	622,2	70,8	407,4	<1	<0,005	64,1	49,9	308,1	<0,05	0,25	<0,1	0,02	1,2	0,5	0,003	0,1	0,23	0,5
	11	7,6	3428	21,5	183,0	98,5	2148,8	<1	0,011	190,4	146,9	669,0	<0,05	<0,05	<0,1	0,1	0,9	4,5	0,003	<0,1	0,33	0,25
	12	7,3	5274	15,0	115,9	674,9	2772,7	<1	<0,01	220,4	48,6	1464,5	<0,05	0,71	<0,1	1,12	4,8	5,2	0,003	<0,1	0,18	1,0
	13	6,7	5662	19,5	67,1	1301,3	2428,3	<1	0,013	120,2	164,2	1584,0	<0,05	0,26	<0,1	0,56	4,1	7,4	0,003	<0,1	0,18	0,27
	14	7,6	8314	30,0	54,9	1512,3	4067,3	<1	0,011	150,3	273,6	2257,6	<0,05	0,20	<0,1	4,16	2,2	6,8	0,005	0,3	відс.	0,75
	15	7,7	9642	34,5	61,0	1653,0	4838,8	<1	0,015	140,3	334,4	2618,6	<0,05	0,25	<0,1	2,32	4,1	4,9	0,003	0,1	0,8	0,75
	16	7,0	3502	24,3	213,5	274,6	1976,8	3,1	<0,01	280,4	173,9	648,3	1,21	0,22	1,11	0,96	1,2	3,2	0,003	0,1	0,23	0,52
	17	7,2	1232	10,9	442,5	112,6	354,3	<1	<0,01	126,2	35,4	159,6	0,01	<0,05	<0,1	0,44	0,9	1,0	відс.	<0,1	0,5	0,5
	19	7,9	586	1,7	262,3	77,9	121,8	<1	0,021	10,0	14,6	167,8	<0,05	0,39	<0,1	0,04	0,6	<0,5	0,003	<0,1	0,45	0,5
	38	7,4	1070	6,0	164,7	123,9	469,9	<1	0,011	46,1	45,0	229,9	<0,05	0,06	<0,1	<0,005	3,4	3,48	1,3	0,51	0,26	0,61
	40				не має доступу																	
	58	7,8	7704	28,3	58,0	1345,5	3842,6	<1	<0,01	140,3	259,0	2082,9	<0,05	0,58	<0,1	1,7	3,2	6,9	0,0	<0,1	0,28	0,1
2024 рік	1	7,6	2630	27,5	42,7	119,1	1672,7	14,5	<0,01	456,9	57,2	266,7	<0,05	0,21	<0,1	<0,05	1,54	2,08	0,24	0,44	0,62	0,08
	2				не має доступу																	
	3	7,4	4200	55,2	311,1	105,1	2737,7	55,0	0,67	430,9	409,8	248,3	<0,05	0,23	<0,1	<0,05	1,50	5,25	0,03	0,49	1,22	0,21
	4	7,6	9400	77,5	244,0	1023,1	5519,0	41,5	0,91	396,8	701,6	1623,3	<0,05	0,2	<0,1	<0,05	1,54	7,43	0,3	1,47	0,87	0,96
	6				не має доступу																	
	10	7,3	1250	11,5	658,8	84,1	374,5	<1	0,01	120,2	66,9	218,4	<0,05	0,21	<0,1	<0,05	5,4	0,3	відс.	1,41	0,31	<0,02
	11	7,6	3800	43,0	262,3	315,3	2267,4	<1	0,01	340,7	316,2	400,0	<0,05	0,16	<0,1	1,51	2,05	5,25	відс.	0,31	0,42	0,32
	12	6,9	5340	31,4	97,6	791,9	2781,3	<1	0,01	406,8	135,0	1158,7	<0,05	<0,05	<0,1	0,15	1,35	4,46	0,33	<0,01	0,55	<0,02
	13	7,1	5500	37,3	54,9	1349,3	2393,7	<1	0,01	200,4	332,0	1184,0	<0,05	0,22	<0,1	1,48	2,62	6,83	0,09	0,07	0,49	<0,02
	14	8,1	8176	55,5	61,0	1506,7	4121,6	<1	<0,01	304,6	490,0	1696,7	<0,05	0,23	<0,1	1,52	5,35	7,82	0,33	0,05	0,36	<0,02
	15	7,7	9460	67,5	61,0	1695,4	4870,1	<1	<0,01	284,5	648,1	1903,6	<0,05	0,65	<0,1	1,54	8,83	6,44	0,24	0,32	0,32	<0,02
	16				знищена																	
	17	6,9	906	13,5	292,8	76,7	356,4	<1	<0,01	160,3	66,9	20,7	<0,05	1,1	<0,1	0,5	0,7	1,2	відс.	<0,1	0,3	0,6
	19	6,7	1082	7,3	390,4	187,4	222,2	<1	0,045	104,2	25,5	206,9	<0,05	0,4	<0,1	<0,05	0,33	0,3	0,33	0,72	0,47	<0,02
	38	6,3	930	13,0	195,2	210,2	343,6	<1	<0,01	78,2	110,7	85,1	<0,05	0,15	<0,1	1,46	9,5	1,68	відс.	0,06	0,78	<0,02
	40				не має доступу																	
	58	8,2	8140	60,5	61,0	1443,6	4224,0	<1	0,01	290,6	559,4	1591,0	<0,05	0,3	<0,1	1,46	1,86	6,83	0,2	0,39	0,35	0,18

продовження таблиці 3.6

НЕОГЕНОВИЙ ВОДОНОСНИЙ ГОРИЗОНТ																						
Період спос- тережень	№ сверд- ловини	pH	Макрокомпоненти, мг/дм³												Мікрокомпоненти, мг/дм³							
			Сухий залишок	Жорст- кість ммоль/ дм³	Аніони					Катіони					Залізо заг.	Бром	Строн- цій	Молиб- ден	Марга- нець	Фтор	Йод	
					HCO₃⁻	Cl⁻	SO₄²⁻	NO₃⁻	NO₂⁻	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺ + K⁺	Fe²⁺	Fe³⁺								NH₄⁺
2020 рік	39	6,5	498	1,5	146,4	158,8	34,1	<1	<0,01	8,0	13,4	140,2	<0,05	0,05	<0,1	75,0	2,2	0,6	0,003	0,48	0,6	0,95
	41	7,4	2310	9,0	79,3	1234,9	167,9	<1	<0,01	54,1	76,6	703,5	<0,05	0,25	<0,1	2,82	0,8	0,6	0,003	0,15	0,45	0,5
	59	6,4	3004	8,0	54,9	1073,2	873,7	<1	<0,01	94,2	40,1	910,4	8,0	0,25	0,45	139,0	4,2	2,5	0,006	1,7	відс.	1,0
2021 рік	39	7,2	684	10,5	286,7	68,1	200,4	<0,1	<0,01	60,1	91,2	6,9	0,05	0,18	<0,1	54,0	3,1	0,75	0,003	0,56	0,72	0,82
	41	6,8	4688	38,0	268,4	954,5	2113,5	3,5	<0,01	340,7	255,4	857,5	0,55	0,08	0,1	3,24	0,96	0,62	0,003	0,22	0,52	0,5
	59	8,2	2720	4,9	79,3	828,1	864,1	<1	0,015	60,1	23,1	866,7	<0,05	0,18	5,2	96,0	5,22	3,2	0,006	2,4	відс.	1,0
2022 рік	39	5,6	1286	8,0	18,3	669,2	138,7	<1	<0,01	100,2	36,5	315,0	8,2	0,12	0,1	0,32	<0,02	2,4	1,3	0,97	0,34	0,76
	41		не має доступу																			
	59	6,7	2844	11,0	48,8	951,0	867,4	<1	0,02	120,2	60,8	793,1	<0,05	0,12	3,1	893,4	3,35	6,17	1,84	0,86	0,14	<0,02
2023 рік	39	8,1	2530	3,7	48,8	548,8	1067,4	<1	0,02	56,1	10,9	800,1	<0,05	0,21	<0,1	<0,005	11,21	2,5	1,2	0,71	0,34	1,2
	41		не має доступу																			
	59	8,2	2712	4,8	146,4	920,6	749,3	<1	0,022	50,1	28,0	887,4	<0,05	0,71	8,5	75,2	3,02	6,2	1,7	0,8	0,2	1,7
2024 рік	39	6,3	1200	17,0	67,1	245,3	568,7	<1	<0,01	110,2	139,8	64,4	<0,05	0,14	<0,1	1,36	2,3	4,06	відс.	1,29	0,37	0,18
	41		не має доступу																			
	59	5,7	3130	14,0	91,5	1096,1	882,7	<1	<0,01	110,2	103,4	836,8	8,2	0,75	2,2	1,46	7,9	1,49	0,22	1,07	0,41	<0,02

Гідрохімічний моніторинг (2019–2024 рр.) підтверджує часову стабільність складу вод неогенового горизонту на прилеглих територіях. Води класифікуються як хлоридно-сульфатні магнієво-кальцієво-натрієві, переважно слабкосолонуваті (сухий залишок 0,5–5,53 г/дм³) та дуже жорсткі (1,4–38,0 ммоль/дм³). Вміст макрокомпонентів варіює у широких межах, зокрема сульфатів (11,1–2300,5 мг/дм³) та хлоридів (68,1–1306,2 мг/дм³).

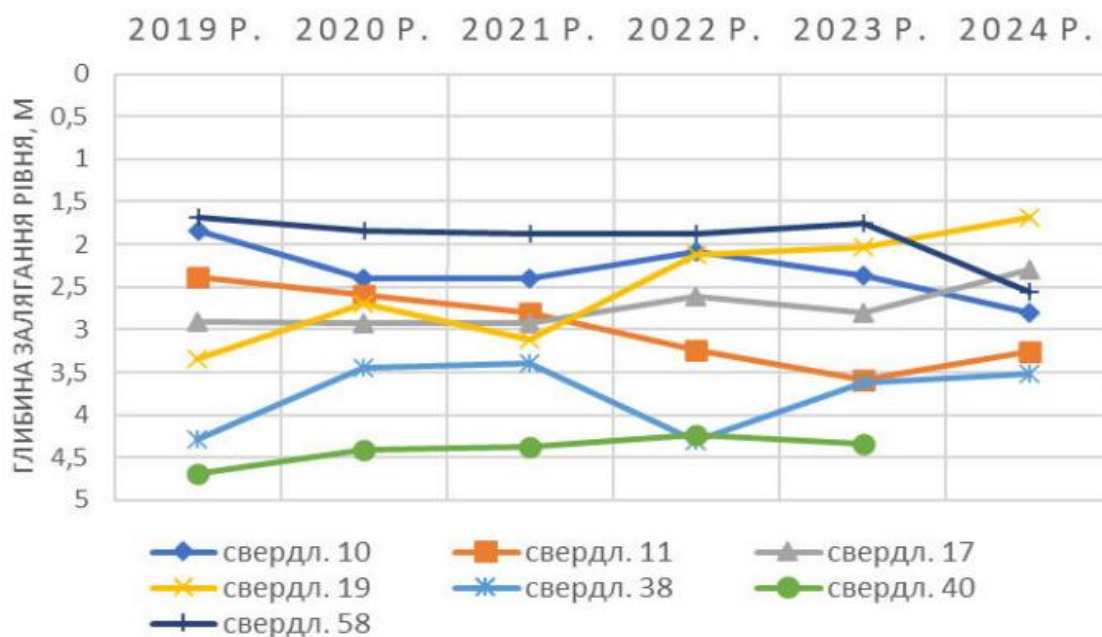


Рисунок 3.10 – Графік ходу рівнів ґрунтових вод у режимних свердловинах, розташованих у зоні впливу місць видалення відходів [12]

Дослідження динаміки рівневого режиму у свердловинах прилеглої території (№ 10, 11...58) свідчить, що коливання дзеркала ґрунтових вод визначаються переважно метеорологічними факторами (атмосферні опади, випаровування), що характерно для безнапірних водоносних горизонтів.

Підприємство використовує значні об'єми води (переважно водопідготовленої річної). Очищені стічні води (виробничі й побутові) скидаються до місцевої системи водовідведення або безпосередньо в р. Інгулець. За урядовими даними, у 2016 р. ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг» відкачало зворотних вод близько 2,79 млн м³ (для затоплення рудникових вод, розбавлення стічних тощо). Усі скиди регулюються дозволами, фільтрами та очисними спорудами підприємства.

3.3 Кількісно-якісний аналіз відходів виробництва та оцінка ефективності їх вторинного використання

Масштабність виробничої діяльності підприємства, до складу якого входить понад 60 структурних підрозділів, зумовлює утворення значних обсягів та широкої номенклатури відходів. Щорічна інвентаризація фіксує утворення до 140 видів найменувань, причому кожен окремий підрозділ генерує в середньому 20–30 видів.

Аналіз динаміки утворення відходів у довоєнний період (до активної фази агресії РФ) демонструє обсяги на рівні 30–35 млн тонн/рік. Важливою складовою екологічної політики підприємства є впровадження принципів циркулярної економіки: рівень залучення відходів у повторне використання як вторинних матеріальних ресурсів становить 49–50%.

Стратегія поводження з відходами, що не підлягають утилізації на власних потужностях, здійснюється згідно з класом небезпеки. Великогабаритні та інертні відходи складуються на власних полігонах, тоді як небезпечні відходи (I–III клас небезпеки: люмінесцентні лампи, АКБ, відпрацьовані нафтопродукти, гальваношлами) збираються селективно та передаються суб'єктам господарювання, що мають відповідну ліцензію у сфері поводження з небезпечними відходами.

Експлуатацію полігону здійснює шлакопереробна дільниця Копрового цеху, що є підрозділом Департаменту з виробництв чавуну та сталі ПАТ «АМКР». Аналіз балансу розподілу відходів свідчить про стійку тенденцію до мінімізації обсягів їх розміщення на спеціалізованому полігоні. Якщо усереднений показник частки захоронення історично становив 1,5–1,6% від загальної генерації відходів підприємства, то в останні роки зафіксовано суттєве зниження цього індексу. Проте ретроспективний аналіз за період 2018–2024 років вказує на те, що частка видалених відходів відносно загального обсягу утворення знизилася з 1,56% у 2018 році до 0,73% у

2021 році. У період воєнного стану та скорочення виробництва цей показник досяг мінімальних значень: 0,49% у 2023 році та 0,26% у 2024 році.



Рисунок 3.11 – Територіальна локалізація полігону захоронення відходів промисловості та будівництва

Полігон розташований на південно-східній околиці міста, інтегрований у проммайданчик комбінату. Землекористування здійснюється на двох ділянках загальною площею понад 2 тис. га: перша (1758,4 га) орендується у Криворізької міськради, друга (328,5 га) належить до земель Новописької ТГ на правах постійного користування. Територіальний відвід під полігон охоплює площу 28,11 га.

Найближчими об'єктами житлової та приватної до неї забудови є приватний сектор сел. Ілліча (вул. Вишень), розташований за 1,06 км у південному напрямку. У східному та північно-східному секторах на відстані 2,5–3,2 км знаходяться садово-дачні масиви (м. Кривий Ріг та смт Радущне), тоді як житлова забудова самого смт Радущне віддалена на 4,5 км на південний схід [25, 35].

Територія полігону розмежована на дві функціональні зони: зону адміністративно-технічного обслуговування та зону складування. Розміщення відходів здійснюється на шести спеціалізованих картах з урахуванням їхньої сумісності та токсикологічних характеристик, що мінімізує вплив на довкілля та попереджає виникнення небезпечних сполук.



Рисунок 3.12 – План зонування технологічних ємностей полігону з відображенням просторової структури після об'єднання накопичувачів № 1 та № 1А [12]

На звітну дату (01.01.2025 р.) фактичний обсяг акумульованих відходів на об'єкті становить 2359353,624 т. При загальній проєктній місткості полігону у 3486827,448 т (або 1689091,0 м³), поточний коефіцієнт заповнення дорівнює ~67%. Ретроспективний аналіз експлуатаційного навантаження демонструє позитивну динаміку зниження відносного рівня заповнення: для порівняння, на початок 2024 року цей показник становив ~73%, а на початку 2023 року сягав ~84%.



Рисунок 3.13 – Динаміка надходження, передачі та зберігання виробничих відходів на полігоні ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за 2018–2024 роки (станом на 01.01.2025 р.)

Основними екологічними та виробничими ризиками експлуатації є фільтраційні процеси, пожежна небезпека та порушення стійкості масиву. Для захисту довкілля реалізовано екранування та дренаж карт. Ризик самозаймання нафтопродуктів (карта №6) мінімізується шляхом ізоляції кожної партії відходів. Водночас, існує ймовірність зсувних процесів на укосах полігону, що потребує дотримання регламенту безпеки праці.

Згідно з п. 8.33 ДСП 173-96, нормативний розмір санітарно-захисної зони для полігонів інертних промислових відходів регламентовано на рівні 300 м. Поточний стан буферної зони характеризується високим рівнем фітомеліоративного облаштування: площа зелених насаджень сягає 680 га, що становить близько 40% загальної території санітарно-захисної зони.

Система водовідведення базується на мережі каналів уздовж транспортних комунікацій та карт, які транспортують стік до екранованих

емностей. Акумуляцію вод забезпечує каскад гідроспоруд: контрольно-регулюючі резервуари (2 х 3,0 тис. м³), накопичувач (5,0 тис. м³) та випарник (3,0 тис. м³).

Окрім основної діяльності з видалення промислових відходів, експлуатація полігону супроводжується генерацією власних супутніх відходів (від ремонту техніки, роботи АБК та персоналу). Реєстр та розрахункові обсяги генерації цих відходів представлено в табл. 3.7 [23, 33].

Таблиця 3.7 – Номенклатура та кількісна характеристика відходів виробничої діяльності

№ з/п	Національний перелік відходів (затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 20.10.2023 р. №1102)		Обсяг утворення, т/рік
	Код	Назва виду відходів	
1	2	3	4
1	20 03 01	Змішані побутові відходи	1,488
2	13 01 05*	Нехлоровані емульсії	4,620 ¹⁾
3	15 02 02*	Абсорбенти, фільтрувальні матеріали (включаючи оливні фільтри інакше не зазначені), обтиральне ганчір'я та захисний одяг, забруднені небезпечними речовинами	4,952 ¹⁾
4	16 01 99	Інші відходи цієї підгрупи	1,270 ¹⁾
5	16 01 03	Відпрацьовані шини	13,14 ¹⁾
6	16 06 01*	Свинцеві батареї	0,353 ¹⁾
7	16 07 08*	Відходи, що містять оливи та нафтопродукти	36,1 ²⁾
8	19 08 02	Відходи від знепісочування	325,8 ²⁾
9	20 01 21*	Люмінесцентні лампи та інші ртутьвмісні відходи	0,011
-	-	ВСЬОГО ВІДХОДІВ, з них:	387,734
-	-	Небезпечні відходи	46,036
-	-	Відходи, що не є небезпечними	341,698

За результатами оцінки впливу на атмосферне повітря встановлено, що функціонування об'єкта «Полігон» зумовлює додаткове техногенне навантаження в обсязі 1889,832 т/рік. У структурі валових викидів домінуючу позицію займають парникові гази, обсяг яких становить 1827,845 т/рік. Емісія суспендованих твердих частинок (пилу) оцінюється у 2,532 т/рік, а сумарний викид інших забруднюючих речовин складає 59,4545 т/рік.

Аналіз хімічного складу шлаків гірничо-металургійного комплексу залежно від фракційного розподілу представлено на рис. 3.14.

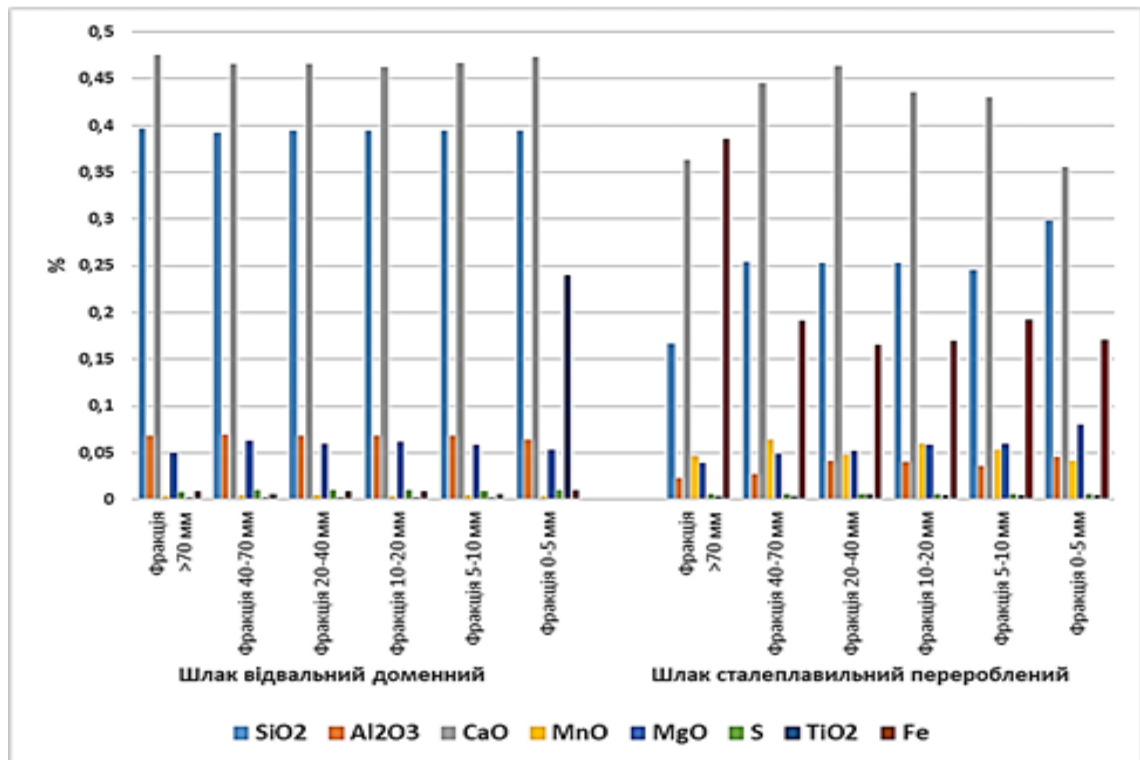


Рисунок 3.14 – Хімічний склад шлаків ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [1]

На рис. 3.14 представлено порівняльну гістограму хімічного складу двох типів техногенних відходів: відвального доменного шлаку та переробленого сталеплавильного шлаку.

Сталеплавильний шлак, з огляду на високий вміст Fe (особливо у фракції >70 мм та 0–5 мм), є цінним ресурсом для повторного вилучення металу. Доменний шлак, завдяки стабільному вмісту силікатів кальцію, є ідеальним матеріалом для дорожнього будівництва та виробництва цементу (граншлак).

Фракція 0–5 мм для обох типів шлаків становить найбільшу екологічну небезпеку з точки зору вітрової ерозії та рознесення пилу. Високий вміст заліза у пиловатій фракції доменного шлаку вимагає спеціальних заходів пилоподавлення на відвалах. Високий вміст CaO в обох типах відходів свідчить про лужну реакцію середовища при контакті з водою, що необхідно враховувати при оцінці впливу стоків з відвалів на ґрунтові води.



Рисунок 3.15 – Класифікація напрямів використання шлакових матеріалів у дорожньо-будівельних технологіях [1]

Вибір напрямку утилізації техногенних відходів металургійного виробництва (рис. 3.15) ґрунтується на їхніх фізико-хімічних властивостях та ресурсному потенціалі, визначеному в ході лабораторного аналізу.



Рисунок 3.16 – Класифікація основних видів промислових відходів та побічних продуктів, що використовуються як вторинна сировина [1]

3.4 Оцінка забруднення ґрунтів і донних відкладів

Ґрунтовий покрив у зоні впливу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» виступає депонуючим середовищем, яке акумулює довготривалі техногенні випадіння. Аналіз ґрунтів є ключовим індикатором для ретроспективної оцінки забруднення, оскільки, на відміну від атмосферного повітря, ґрунти фіксують забруднення за весь період експлуатації підприємства.

Дослідження едафотопів у зоні впливу промислових емісій виявило суттєві зміни їхніх фізико-хімічних властивостей. Спостерігається зниження вмісту гумусу на 8,2–13,9% та зсув реакції ґрунтового розчину в лужний бік. Геохімічний профіль ґрунтів характеризується аномальним накопиченням ряду елементів (S, Fe, Mn, Ca, Si), що надходять із пилогазовими викидами.

Моніторинг стану ґрунтового покриву в зоні впливу полігону здійснюється на п'яти фіксованих контрольних точках (реперних постах). Просторове розташування пунктів відбору проб візуалізовано на рис. 3.17.

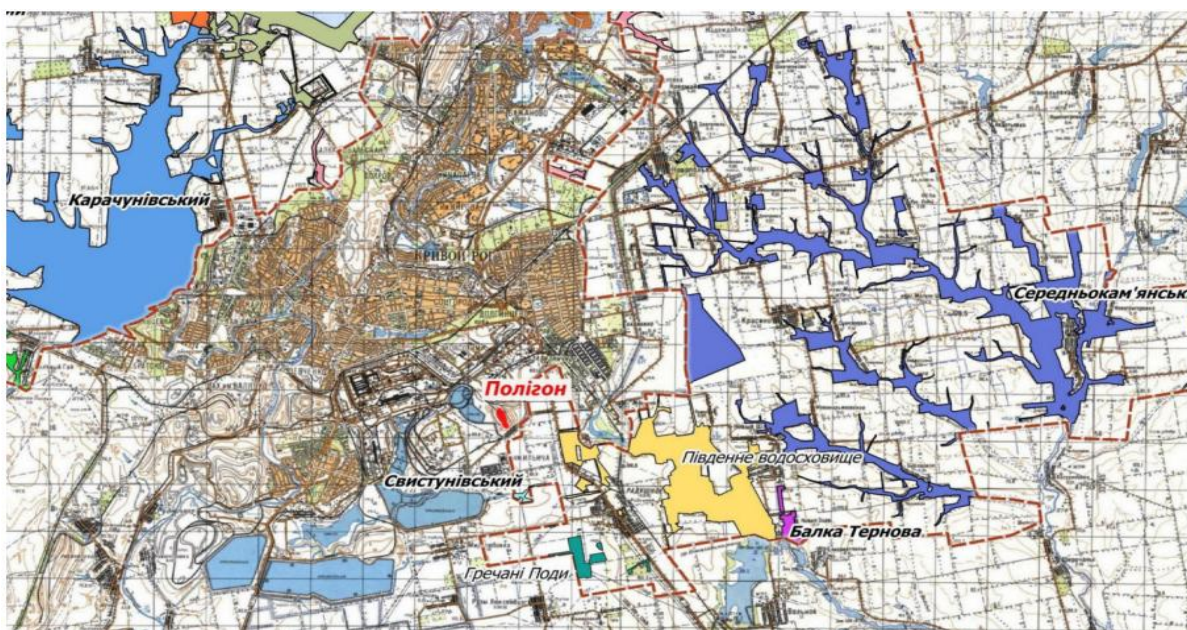


Рисунок 3.17 – Просторово-картографічна схема локалізації полігону [12]

Лабораторний контроль елементного складу ґрунтів забезпечується фахівцями групи атомно-емісійного аналізу (підрозділ охорони водного басейну ПАТ «АМКР»). Узагальнені результати аналітичних досліджень за період 2019–2024 рр. систематизовано в табл. 3.8.

Таблиця 3.8– Дані лабораторного аналізу складу ґрунтів на території дослідження

Період	№ точки відбору	Глибина відбору	Вміст хімічних елементів, мг/кг							
			Залізо	Магній	Нітрати	Кальцій	Нафтоп родукти	Хром	Маргане ць	Мідь
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2022 рік	8	0-5	16038,80	н.ч.м.	2,99	н.ч.м.	30,0	34,86	100,33	0,17
		5-20	14118,80	н.ч.м.	3,19	н.ч.м.	23,0	26,10	120,35	0,14
	9	0-5	21058,80	н.ч.м.	1,94	н.ч.м.	н.ч.м.	30,04	137,93	0,21
		5-20	19138,80	н.ч.м.	1,52	н.ч.м.	21,0	28,36	128,13	0,33
	10	0-5	17348,80	н.ч.м.	4,41	н.ч.м.	24,0	35,92	81,93	0,48
		5-20	14726,80	н.ч.м.	4,42	н.ч.м.	26,0	31,94	125,09	0,46
	12	0-5	20038,80	н.ч.м.	4,30	н.ч.м.	33,0	25,04	102,09	0,55
		5-20	19718,80	н.ч.м.	4,15	н.ч.м.	26,0	21,32	100,91	0,52
	13	0-5	17734,80	н.ч.м.	3,09	н.ч.м.	30,0	31,04	134,87	0,13
		5-20	19938,80	н.ч.м.	3,04	н.ч.м.	27,0	29,32	122,91	0,18
2023 рік	8	0-5	15890,20	н.ч.м.	3,11	н.ч.м.	32,0	25,27	133,03	0,20
		5-20	13302,20	н.ч.м.	3,35	н.ч.м.	26,0	26,89	118,63	0,17
	9	0-5	15454,20	н.ч.м.	1,81	н.ч.м.	н.ч.м.	28,51	91,83	0,26
		5-20	16050,20	н.ч.м.	1,65	н.ч.м.	22,0	27,15	88,05	0,27
	10	0-5	14236,20	н.ч.м.	4,73	н.ч.м.	24,0	25,33	110,85	0,46
		5-20	15196,20	н.ч.м.	4,94	н.ч.м.	28,0	26,61	105,49	0,50
	12	0-5	11372,20	н.ч.м.	4,12	н.ч.м.	36,0	22,93	127,55	0,63
		5-20	16096,20	н.ч.м.	4,04	н.ч.м.	24,0	20,80	127,97	0,55
	13	0-5	14176,20	н.ч.м.	3,03	н.ч.м.	34,0	26,43	110,79	н.ч.м.
		5-20	16110,20	н.ч.м.	3,34	н.ч.м.	27,0	30,43	134,33	н.ч.м.
2024 рік	8	0-5	15902,40	н.ч.м.	2,99	н.ч.м.	58,0	27,32	134,96	0,21
		5-20	15312,40	н.ч.м.	3,05	н.ч.м.	60,0	26,94	123,96	0,18
	9	0-5	17464,40	н.ч.м.	2,09	н.ч.м.	н.ч.м.	28,56	99,52	0,27
		5-20	17060,40	н.ч.м.	1,88	н.ч.м.	н.ч.м.	27,16	96,30	0,29
	10	0-5	16246,40	н.ч.м.	3,95	н.ч.м.	30,0	27,38	117,18	0,47
		5-20	15816,40	н.ч.м.	3,67	н.ч.м.	33,0	26,72	116,34	0,39
	12	0-5	15384,40	н.ч.м.	3,97	н.ч.м.	42,0	22,98	130,50	0,24
		5-20	16110,40	н.ч.м.	4,25	н.ч.м.	30,0	20,46	132,16	0,16
	13	0-5	16188,40	н.ч.м.	4,02	н.ч.м.	32,0	30,50	139,60	н.ч.м.
		5-20	16042,40	н.ч.м.	3,66	н.ч.м.	32,0	28,84	134,50	н.ч.м.
Нормативи ГДК (Постанова КМУ №1325 від 15.12.2021 р.)			—	—	130 (вал. вміст)	—	500 (вал.вміст)	— *	140 (рух. ф.)	3 (рух. ф.)

Вимірювання проводили: витяжкою рухомих форм елементів марганцю, міді валовим визначенням елементів заліза, магнію, кальцію, хрому.

* ГДК для хрому у валовій формі - відсутній

Ґрунти досліджуваної території класифікуються як техногенно-трансформовані з вираженим залізисто-марганцевим типом забруднення. Попри те, що більшість показників (крім марганцю) формально не перевищують нормативів, високий вміст заліза створює ризики зміни фізичних властивостей ґрунту (цементация, зниження водопроникності).

3.5 Екологічні наслідки для біоти та екосистемних послуг

Екологічні наслідки функціонування гірничо-металургійного комплексу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для біоти та екосистемних послуг зумовлені, насамперед, тривалим забрудненням атмосферного повітря, ґрунтів і донних відкладів важкими металами, пилом, продуктами згоряння палива та високотемпературними аерозолями. Сукупний вплив цих чинників веде до деградації природних і напівприродних екосистем, спрощення флористичної та ценотичної структури, трансформації трофічних ланцюгів, а також до суттєвого послаблення регуляційних, ресурсних і культурних екосистемних послуг території. Це узгоджується з глобальними висновками IPBES, згідно з якими близько 75 % суходільних екосистем і значна частина їхніх послуг уже істотно деградовані внаслідок антропогенної діяльності [37].

Дослідження, проведене Савосько В., Базалуком О. та співавторами, у Криворізькому гірничо-металургійному районі свідчать, що інтенсивне забруднення ґрунтів важкими металами (Fe, Mn, Zn, Pb, Cd, Cu, Ni) та продуктами руйнування гірських порід призводить до глибокої трансформації рослинного покриву, особливо на порушених і техногенно перевантажених землях – відвалах, хвостосховищах, шламонакопичувачах та прилеглих до них територіях [1, 2, 20, 26, 27, 29, 36, 38, 39, 44].

На «спустошених землях» Кривбасу загальний вміст важких металів у ґрунті перевищує контрольні (квазіприродні) рівні у 1,4–5,9 разу для Fe, Mn, Cu, Cd і Zn, причому середній вміст Fe у ґрунті становить близько 9,5 %, Mn – ≈ 960 мг/кг, Cd – до 0,95 мг/кг, що формує вкрай несприятливі умови для росту більшості видів деревних рослин [42]. Такі рівні забруднення відповідають високому й дуже високому ступеню фітотоксичності за критеріями UNEP та FAO щодо ґрунтового забруднення важкими металами [15, 16].

Унаслідок цього виявляється:

- зниження видового різноманіття та спрощення ценотичної структури фітоценозів;
- заміщення чутливих видів стійкими до забруднення рудеральними та металотолерантними видами;
- скорочення участі мезофітних, лісових та лучно-степових видів і збільшення частки ксерофітних, нітрофільних та адвентивних рослин у

растровому покриві [15 20, 24].

Експериментальні та оглядові роботи з фітотоксичності важких металів демонструють, що перевищення фонового вмісту Cd, Pb, Zn навіть у 2–5 разів може зумовлювати:

- пригнічення фотосинтезу та дихання;
- порушення мінерального живлення та водного режиму;
- зниження активності ферментних систем;
- пригнічення росту, зменшення асиміляційної поверхні листків та продуктивності.

Для територій Кривбасу, згідно з дослідженням Савоська В., встановлено, що мобільні форми Fe, Mn та Zn у ґрунтовому профілі під аграрними, степовими й лісовими угрупованнями можуть перевищувати локальний геохімічний фон на 30–280 % у верхніх горизонтах, особливо в зонах інтенсивного пилового випадіння та поблизу кар'єрів [42]. Така аномальна мобільність елементів не лише погіршує умови для природного відновлення рослинного покриву, але й зумовлює акумуляцію важких металів у листках деревних видів (*Acer negundo*, *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia* тощо), що підтверджено результатами дослідженнях макро- і мікроелементного складу листової маси на деградованих і техногенно трансформованих землях Кривого Рогу [15, 35, 36].

Таким чином, фітоценози промислових територій Кривбасу виконують водночас функцію біофільтра й біомонітора, але зазнають хронічного токсичного навантаження, що проявляється у фітотоксичності, зниженні життєздатності рослин і збідненні флористичного складу.

Забруднення ґрунтів, донних відкладів та повітря важкими металами й пилом призводить до порушення структури зообентосу, ґрунтової мезо- та мікрофауни, популяцій безхребетних-детритофагів і фітофагів, а також до акумуляції токсичних елементів у вищих трофічних рівнях – птахів, дрібних ссавців, хижаків. Для гірничодобувних регіонів України, зокрема Криворізького залізорудного басейну, показано, що розробка родовищ і розміщення відходів супроводжуються суцільним порушенням поверхні, фрагментацією середовища існування та деградацією місць гніздування й нагулу тварин.

Накопичення важких металів у ґрунтах і донних відкладах спричиняє їхню трансформацію у трофічних ланцюгах. Ґрунтові безхребетні, які

живляться органічною речовиною й частинками ґрунту, акумулюють метали й стають джерелом вторинного забруднення для дрібних ссавців та птахів-інсективорів. В умовах хронічного надходження металів (Cd, Pb, Ni, Zn) можливе:

- зниження чисельності чутливих груп безхребетних;
- спрощення трофічних мереж;
- підвищення частоти морфологічних і фізіологічних аномалій у водних та наземних організмів [1].

У річкових екосистемах Інгульця та Саксагані під впливом техногенно навантажених стоків і пилового надходження фіксується накопичення Zn, Pb, Ni та Cr у донних відкладах, що створює потенційний ризик для іхтіофауни та водних безхребетних [18]. Згідно з глобальними оцінками IPBES, такі локальні прояви деградації біоти узгоджуються з тенденцією прискореного зникнення видів і втрати біорізноманіття, що прямо послаблює здатність екосистем підтримувати екосистемні послуги й стійкість до техногенних і кліматичних впливів [1].

У контексті сучасної екосистемної парадигми (IPBES, Конвенція про біологічне різноманіття, Європейська стратегія з біорізноманіття до 2030 р.) екосистемні послуги поділяють на регуляційні, ресурсні (забезпечувальні) та культурні [23, 31]. Для територій, що зазнають впливу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», спостерігається деградація всіх трьох груп послуг.

Регуляційні функції екосистем Кривбасу включають:

- регулювання якості повітря (зв'язування пилових частинок кронами дерев та чагарників);
- буферування стоку й очищення поверхневих вод завдяки фільтраційній здатності ґрунтів і прибережно-водної рослинності;
- кліматорегулювальну функцію (зв'язування вуглецю в біомасі та ґрунті, формування локального мікроклімату).

Інтенсивне забруднення та деградація рослинного покриву зменшують листову поверхню та біомасу, що прямо знижує пиловловлювальну здатність екосистем і їхню роль у зв'язуванні CO₂. Дослідження штучних лісових насаджень у Криворізькому районі показали, що за умов підвищеного навантаження важкими металами й пилом їхній санітарно-захисний ефект значно зменшується, тоді як підтримання й розширення лісових смуг та паркових насаджень розглядається як ключовий елемент

стратегії пом'якшення «гібридних екологічних загроз» у промислових районах [37-38].

До ресурсних послуг у регіоні належать:

- продуктивність сільськогосподарських угідь (рослинництво, кормова база);
- якість ґрунтів як основа агровиробництва;
- якість води для технічного та частково господарсько-побутового використання.

Забруднення ґрунтів важкими металами (Cd, Pb, Ni, Zn), виявлене у зонах впливу гірничо-металургійного комплексу, створює ризик надходження токсикантів у сільськогосподарську продукцію, що прямо суперечить рекомендаціям FAO та ВООЗ щодо безпечності харчових продуктів і ґрунтового середовища. Погіршення агрономічних властивостей ґрунту (структура, вміст гумусу, кислотність, вміст макро- та мікроелементів) на спустошених землях Кривбасу призводить до зниження потенційної родючості й потребує додаткових витрат на рекультивацію й фітооптимізацію [1, 27, 29, 36, 38, 45].

Культурні екосистемні послуги включають естетичну цінність ландшафтів, рекреаційний потенціал, можливості для екологічної освіти та формування екологічної ідентичності населення. Масштабна техногенна трансформація територій Кривбасу (кар'єри, відвали, хвостосховища, промислові майданчики) спричиняє:

- зменшення площі привабливих для рекреації ландшафтів;
- формування монотонних, візуально деградованих індустріальних панорам;
- посилення психологічного дискомфорту населення, пов'язаного з «індустріальним» іміджем міста та відчуттям екологічної небезпеки [8,9].

Згідно з глобальними оцінками IPBES, втрата культурних і нематеріальних цінностей, пов'язаних із природним середовищем, розглядається як один з найсерйозніших довгострокових наслідків деградації біорізноманіття і екосистемних послуг, який безпосередньо впливає на добробут, здоров'я та соціальну згуртованість суспільства.

3.6 Екологічна оцінка впливу відкритих гірничих робіт на компоненти довкілля та напрями мінімізації техногенного навантаження

Технологічний процес відкритої розробки залізорудних родовищ у структурі гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» виступає потужним джерелом мультифакторного навантаження на довкілля, спричиняючи глибоку трансформацію ландшафтів та порушення екологічної рівноваги регіону.

На рис. 3.18 представлено типову структуру відкритого кар'єру – однієї з виробничих ділянок ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», що є найбільшим гірничо-металургійним підприємством України. Видобуток руди відкритим способом супроводжується масштабованою трансформацією ландшафту, втратами ґрунтового-рослинного покриву та незворотними змінами у структурі геосистеми.



Рисунок 3.18 – Відкритий кар'єр ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» як джерело багатофакторного техногенного навантаження на довкілля

Рух техніки та буро-вибухові роботи сприяють утворенню великої кількості твердих зважених частинок – пилу. У посушливий період спостерігаються значні перевищення гранично допустимих концентрацій за пиловими інгредієнтами в зоні кар'єрів.

Кар'єри впливають на гідрологію території через осушення акваторій (водоносних горизонтів), пониження рівня підземних вод, а також створення застійних вод у технологічних западинах. Це особливо актуально для Центрального гірничопромислового регіону України, де гідравлічний режим є напруженим.

Знищення біоценозів відбувається ще на етапі підготовки території до видобутку. Втрата природного середовища збіднює видовий склад флори і фауни, а також порушує екосистемні послуги (фільтрацію повітря, рекреацію, регуляцію водного стоку тощо).

Значне навантаження на акустичне середовище регіону спричиняють вибухи та робота транспортних засобів. Перевищення рівнів шуму є постійним фактором негативного впливу на здоров'я мешканців прилеглих районів.

Важливими є рекомендації щодо природоохоронних заходів, а саме:

- впровадження пилопригнічувальних заходів, насамперед системного зрошення технологічних доріг та використання вітрозахисних екранів;
- проведення рекультивації кар'єрних територій із застосуванням технічного (планування, засипка) та біологічного (озеленення) етапів;
- забезпечення акустичної безпеки шляхом встановлення тимчасових шумозахисних бар'єрів та обмеження робіт у нічний час;
- організація моніторингу екосистемних змін із включенням біоіндикаційних методів оцінки стану територій у межах санітарно-захисних зон.

3.7 Обґрунтування комплексного підходу до природоохоронних заходів на підприємствах гірничо-металургійного сектору

В умовах активізації євроінтеграційних процесів та повоєнного відновлення України, стратегія екологічної модернізації ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» потребує переходу від фрагментарного вирішення екологічних проблем до системного упровадження принципів сталого розвитку екологічного управління. Такий підхід ґрунтується на синергії глобальних кліматичних зобов'язань корпорації, вимог європейського екологічного законодавства (Green Deal) та локальних потреб екологічної безпеки Криворізького промислового регіону.

Компанія ArcelorMittal офіційно задекларувала глобальну мету скорочення викидів CO₂ на 25% до 2030 року та досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року. Втім, виклики, спричинені воєнними діями в Україні, зумовили необхідність коригування темпів реалізації цих зобов'язань для українського виробничого майданчика ПАТ «АМКР». Наразі підприємство концентрує зусилля на впровадженні найкращих доступних технологій, що прямо впливає з Угоди про асоціацію Україна – ЄС. Одним із ключових напрямів є модернізація газоочисних установок агломераційного цеху № 2, роботи над якою було частково призупинено через бойові дії, однак відновлено у 2024 році [17].

Важливим аспектом зовнішнього регуляторного тиску є впровадження механізму вуглецевого коригування імпорту, який ЄС почав поетапно впроваджувати з 2023 року, а з 2026 року розпочнуться фінансові стягнення. Для АМКР це створює необхідність ведення чіткої звітності щодо вуглецевого сліду продукції, що експортується до Європи та переходу до низьковуглецевих технологій [13, 22, 23, 31].

У цьому контексті надзвичайно важливою є інтегрована система управління відходами гірничо-металургійного виробництва (рис. 3.19), яка базується на комплексному підході до контролю виробничих ресурсів, кількісної та якісної оцінки відходів та сучасних підходів екологічного

менеджменту. Такий підхід передбачає оптимальне поєднання енергетичного, сировинного та екологічного балансів для підвищення ефективності всіх етапів виробництва – від підготовки сировини й агломерації до сталеплавильних та прокатних процесів.

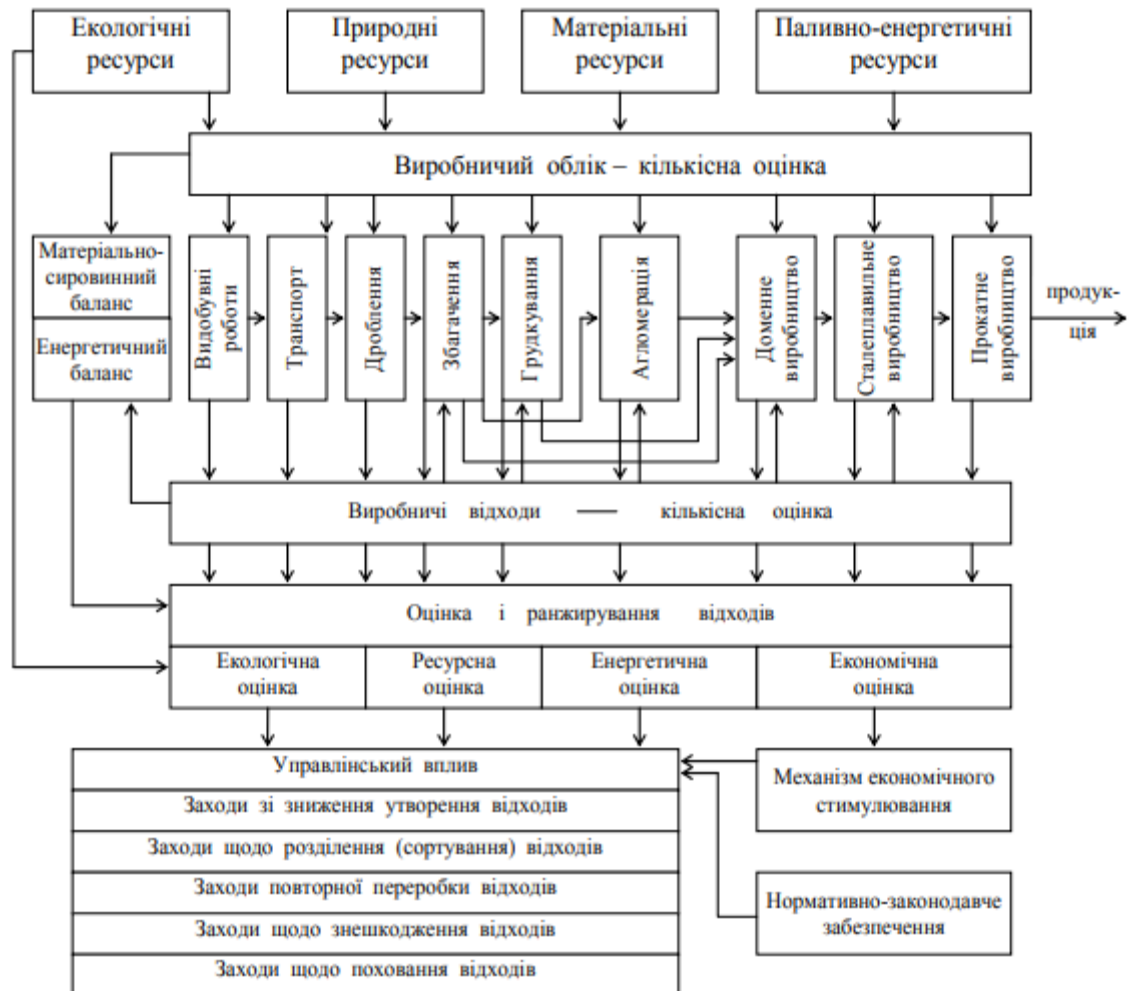


Рисунок 3.19 – Модель поводження з відходами гірничо-металургійної галузі [16]

У структурі інтегрованого управління передбачено чотири ключові типи оцінки – екологічна, ресурсна, енергетична та економічна, що дозволяє обґрунтовано вибудувати пріоритети щодо утилізації, знешкодження чи захоронення відходів.

Особливістю такої управлінської моделі є інтеграція економічних стимулів, механізмів державного та корпоративного екологічного контролю, а також нормативно-правового забезпечення. Це сприяє впровадженню

технологій повторного використання відходів, їхнього сортування, мінімізації утворення нових відходів та переходу до принципів циркулярної економіки.

Для підприємств рівня ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», які генерують значні обсяги промислових відходів – доменних і сталеплавильних шлаків, агломераційного пилу, металургійних шлаків тощо, – застосування комплексного підходу дає можливість інтегрувати управління екологічними ризиками у загальну виробничу стратегію. Це підвищує рівень екологічної безпеки, сприяє зниженню техногенного впливу на довкілля, а також забезпечує відповідність вимогам міжнародних стандартів та кліматичних цілей корпорації.

Ефективне зниження техногенного навантаження гірничо-металургійних підприємств можливе лише за умови впровадження комплексного, інтегрованого підходу, що охоплює технологічні, управлінські, організаційні, моніторингові та природоохоронні рішення. Актуальність такого підходу підтверджується міжнародними нормативними документами – WHO Global Air Quality Guidelines (2021), UNEP Environmental Management Framework, директивами ЄС у сфері промислових викидів, а також принципами ISO 14001:2015 Environmental Management Systems.

Таким чином, впровадження подібної системи на підприємствах гірничо-металургійного комплексу є критично важливим для досягнення цілей сталого розвитку, виконання вимог чинного екологічного законодавства України та євроінтеграційних зобов'язань.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Управління професійними ризиками в умовах підвищеної техногенної небезпеки

Діяльність гірничо-металургійного комплексу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» пов'язана з наявністю широкого спектра небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Забезпечення безпеки персоналу в умовах повного металургійного циклу – від видобутку руди до прокатного переділу – вимагає системного підходу, що інтегрує технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні заходи.

Управління професійними ризиками на підприємстві базується на ідентифікації загроз, що виникають у процесі експлуатації великогабаритного обладнання, роботи з розплавленим металом, агресивними хімічними речовинами та в умовах підвищеної запиленості. Станом на 2025 рік система управління охороною праці функціонує в умовах подвійного навантаження: техногенних ризиків виробництва та зовнішніх загроз, зумовлених воєнним станом.

У цих умовах система охорони праці виступає невід'ємним елементом забезпечення екологічної та промислової безпеки підприємства.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами, характерними для гірничо-металургійних підприємств, є: підвищені концентрації пилу (PM_{10} , $PM_{2.5}$), газів (SO_2 , NO_2 , CO); вплив важких металів (Fe, Mn, Pb, Cd, Cr) у повітрі робочої зони; високі температури та теплове випромінювання доменних і сталеплавильних агрегатів; підвищений рівень шуму та вібрації; ризики вибухів і пожеж, пов'язані з використанням коксового та доменного газів; небезпека обвалів у кар'єрах, на відвалах і хвостосховищах; психофізіологічні навантаження в умовах безперервного виробничого циклу.

Управління професійними ризиками на підприємстві повинно базуватися на системному ризик-орієнтованому підході, що передбачає ідентифікацію небезпек, оцінку ймовірності настання небезпечних подій, аналіз тяжкості можливих наслідків та впровадження превентивних заходів. Такий підхід відповідає принципам міжнародного стандарту ISO 45001:2018 та положенням Закону України «Про охорону праці».

Ключовими елементами системи управління охороною праці в умовах підвищеної техногенної небезпеки є:

- регулярна оцінка професійних ризиків на робочих місцях;
- виробничий контроль за станом повітря робочої зони та фізичними факторами;
- застосування колективних і індивідуальних засобів захисту;
- планування та реалізація заходів з попередження аварій і нештатних ситуацій;
- систематичне навчання персоналу з питань охорони праці та безпеки.

В умовах воєнного стану та підвищеного навантаження на інфраструктуру підприємства особливого значення набуває інтеграція питань охорони праці з екологічним менеджментом, оскільки порушення технологічних режимів і аварійні ситуації можуть призводити як до травматизму персоналу, так і до масштабного негативного впливу на довкілля.

4.2 Правила охорони праці під час експлуатації гірничо-металургійного обладнання

Безпечна експлуатація обладнання гірничо-металургійного виробництва ґрунтується на дотриманні галузевих правил охорони праці, технологічних регламентів та інструкцій виробників обладнання. Усі роботи повинні виконуватися з урахуванням вимог Правил охорони праці у гірничодобувній промисловості, Правил безпеки систем газопостачання, Правил пожежної безпеки та чинних ДСТУ.

Основні вимоги охорони праці під час експлуатації обладнання включають:

- допуск до роботи лише персоналу, який пройшов медичний огляд, навчання та перевірку знань;
- обов’язкове використання засобів індивідуального захисту (респіраторів, касок, захисного одягу, термостійких рукавиць, засобів захисту слуху);
- постійний контроль герметичності газопроводів і агрегатів, що працюють під тиском;
- автоматизацію процесів та дистанційне керування найбільш небезпечними операціями;
- заборону виконання ремонтних робіт на обладнанні, що перебуває під напругою, тиском або температурним навантаженням.

Експлуатація гідротехнічних споруд, до яких належать хвостосховища

«Миролобівка» та «Центральне», а також полігонів промислових відходів, класифікується як діяльність підвищеної небезпеки через ризики зсувів, проривів дамб та вторинного забруднення середовища. Основним завданням охорони праці на цих об'єктах є запобігання аваріям гідротехнічних споруд. Категорично забороняється перевищення проєктного рівня води у ставках-відстійниках та шламонакопичувачах. Для забезпечення стійкості дамб необхідно здійснювати регулярний інструментальний та візуальний контроль за станом укосів, пляжів наміву та дренажних систем з метою своєчасного виявлення ознак фільтрації або деформації. Зони можливого зсуву ґрунту повинні бути огорожені попереджувальними знаками, а доступ техніки та людей до них – суворо регламентований.

Під час експлуатації доменних, агломераційних і сталеплавильних агрегатів особливу увагу приділяють запобігання викидам пилу й газів у робочу зону, організації ефективної вентиляції та аспірації, а також дотриманню режимів теплового захисту персоналу. У гірничих підрозділах обов'язковими є заходи щодо стабілізації бортів кар'єрів, контролю стану відвалів і хвостосховищ та моніторингу можливих зсувних процесів.

Таким чином, дотримання правил охорони праці під час експлуатації гірничо-металургійного обладнання є важливою складовою загальної системи екологічної та техногенної безпеки підприємства. Реалізація комплексних організаційних і технічних заходів дозволяє знизити рівень виробничого травматизму, мінімізувати професійні ризики та запобігти виникненню аварійних ситуацій, що можуть мати негативні наслідки як для персоналу, так і для навколишнього середовища.

4.3 Захист населення в умовах надзвичайних ситуацій

Одним із ключових аспектів охорони праці на гірничо-металургійних підприємствах, таких як ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», є забезпечення ефективного захисту персоналу та населення у випадках аварійного або надзвичайного забруднення атмосферного повітря токсичними речовинами. Промислові підприємства подібного масштабу потенційно небезпечні через можливі емісії оксидів азоту, сірки та вуглецю, особливо при несправності газоочисного обладнання, порушенні регламенту роботи або стихійних лихах.

Згідно з гігієнічними нормативами, встановленими МОЗ України, гранично допустимі концентрації зазначених речовин у повітрі робочої зони

визначено на рівні, що у разі перевищення становлять серйозну загрозу для здоров'я працівників.

У табл. 4.1 наведено порівняння ГДК та основні токсикологічні характеристики речовин, які найбільш часто зустрічаються в умовах гірничо-металургійного виробництва.

Таблиця 4.1 – Нормативні показники ГДК та характеристика токсичної дії газо- і пароподібних сполук виробничого середовища [28]

Шкідлива газо- або пароподібна речовина	ГДК, мг/м³ у повітрі			Загальний характер токсичної дії	Симптоми і наслідки ураження
	робочої зони	атмосферному однора- зова	добова		
1	2	3	4	5	6
Оксид азоту (IV)	2,0	0,085	0,04	Змінюється залежно від вмісту в газовій суміші. В основному отруєння протікає за дратівливим типом дії. Високотоксичний. Навіть у невеликих концентраціях він подразнює дихальні шляхи, у великих концентраціях викликає набряк легенів.	Кашель, головний біль, блювота, почуття страху і сильної слабкості, іноді озноб, підвищена температура, прискорене серцебиття. Хронічні бронхіти, руйнування зубів, запалення ясен, туберкульоз, гіпотонія. При дії на шкіру - фарбування в жовтуватий колір волосся на голові, ніздрів і кистей рук.
Оксид сірки (IV)	10,0	0,5	0,05	Дратує дихальні шляхи зі спазмами бронхів, утруднює дихання. Вражає шкіру.	Роздратування слизових дихальних шляхів і очей. Задишка, погіршення нюху, зниження смакового сприйняття, астмоподібні напади. Руйнування зубів. Захворювання шлунку, печінки. При дії на вологу шкіру та очі - опіки.
Оксид вуглецю (II)**	20	5,0	3,0	Активно зв'язується з гемоглобіном, утворюючи карбоксигемоглобін, і блокує передачу кисню тканинним клітинам, що призводить до гіпоксії генетичного типу. Також включається в окислювальні реакції, порушуючи біохімічну рівновагу в тканинах.	Головний біль, запаморочення, нудота, блювота, м'язова слабкість, підвищений артеріальний тиск, розширені зіниці, задишка. У важких випадках спостерігається втрата свідомості, розлад серцевої і дихальної діяльності, судоми.
Сірководень	10	0,008	0,008	Нервова отрута, що викликає зупинку дихання. Дратує дихальні шляхи і очі. Вражає шкіру. При вдиханні повітря з невеликими концентраціями досить швидко виникає адаптація до неприємного запаху і він перестає відчуватися. При вдиханні повітря з великою концентрацією, через параліч нюхового нерва, запах сірководню майже відразу перестає відчуватися.	Головний біль, печіння в очах, сльозотеча, світлобоязнь. Нежить, нудота, блювота, болі при сечовипусканні. Задишка, серцебиття, слабкість, непритомний стан. Запалення і набряк легенів. Розлади травлення. Шкірні висипання. При дії на шкіру вологого газу або розчину - почервоніння, екземи.
Аміак	20,0	0,2	0,04	При інгаляційному ураженні викликає токсичний набряк легенів (ТНЛ) і важке ураження нервової системи. ТНЛ розвивається при впливі аміаку протягом години з концентрацією 1,5 г/м³. Короточасний вплив аміаку в концентрації £3,5 г/м³ швидко призводить до розвитку загальнотоксичних ефектів. Поріг відчуття нюхом – 0,5 мг/м³	Сильно подразнює слизові оболонки очей та органів дихання, а також шкірні покриви; викликає рясну сльозотечу, біль в очах, хімічний опік кон'юнктиви і рогівки, втрату зору, напади кашлю, почервоніння та свербіж шкіри.

Фенол	0,3	0,01	0,003	Токсична дія безпосередньо пов'язана з концентрацією вільного фенолу в крові. При вдиханні вельми отруйний для центральної нервової системи. Дратує слизові оболонки очей, дихальних шляхів, шкіру, викликаючи хімічні опіки. Всмоктується в кров через слизові оболонки і шкіру, а потім розподіляється по органах і тканинах.	Гостре отруєння проявляється в вазодилатації, серцевій недостатності, гіпотермії, комі та зупинці дихання. Навіть при впливі мінімальних доз спостерігається чхання, кашель, головний біль, запаморочення, блідість, нудота, занепад сил. Важкі випадки отруєння характеризуються несвідомим станом, синюшністю, утрудненням дихання, нечутливістю рогівки, швидким, ледь відчутним пульсом, холодним потім, нерідко судомами.
Формальдегід	0,5	0,035	0,003	Вражає центральну нервову систему, має дратівливі, припікальні і сенсibiliзуючі властивості.	При гострому інгаляційному отруєнні: кон'юнктивіт, гострий бронхіт, аж до набряку легенів. Можливі набряк гортані, рефлекторна зупинка дихання. Поступово нарастають ознаки ураження центральної нервової системи (запаморочення, відчуття страху, хитка хода, судоми). Хронічне проявляється схудненням, диспепсичними симптомами, ураженням ЦНС (психічне збудження, тремтіння, атаксія, розлади зору, стійкі головні болі, поганий сон). Відзначені випадки бронхіальної астми.
Фенол	0,3	0,01	0,003	Токсична дія безпосередньо пов'язана з концентрацією вільного фенолу в крові. При вдиханні вельми отруйний для центральної нервової системи. Дратує слизові оболонки очей, дихальних шляхів, шкіру, викликаючи хімічні опіки. Всмоктується в кров через слизові оболонки і шкіру, а потім розподіляється по органах і тканинах.	Гостре отруєння проявляється в вазодилатації, серцевій недостатності, гіпотермії, комі та зупинці дихання. Навіть при впливі мінімальних доз спостерігається чхання, кашель, головний біль, запаморочення, блідість, нудота, занепад сил. Важкі випадки отруєння характеризуються несвідомим станом, синюшністю, утрудненням дихання, нечутливістю рогівки, швидким, ледь відчутним пульсом, холодним потім, нерідко судомами.
Формальдегід	0,5	0,035	0,003	Вражає центральну нервову систему, має дратівливі, припікальні і сенсibiliзуючі властивості.	При гострому інгаляційному отруєнні: кон'юнктивіт, гострий бронхіт, аж до набряку легенів. Можливі набряк гортані, рефлекторна зупинка дихання. Поступово нарастають ознаки ураження центральної нервової системи (запаморочення, відчуття страху, хитка хода, судоми). Хронічне проявляється схудненням, диспепсичними симптомами, ураженням ЦНС (психічне збудження, тремтіння, атаксія, розлади зору, стійкі головні болі, поганий сон). Відзначені випадки бронхіальної астми.

У зв'язку з цим для ефективного захисту населення та працівників необхідно забезпечити: постійний автоматизований моніторинг атмосферного повітря; інформування громадськості про потенційні загрози; створення локальних систем оповіщення у разі перевищення ГДК; забезпечення засобів індивідуального захисту для працівників та евакуаційних заходів у разі НС; проведення навчань персоналу щодо реагування на інциденти з викидами небезпечних речовин.

Таким чином, дотримання нормативних значень ГДК є не лише питанням відповідності санітарним нормам, а й запорукою збереження життя та здоров'я людей у зонах потенційного техногенного ризику.

ВИСНОВКИ

Досліджуване підприємство, Публічне Акціонерне Товариство «АрселорМіттал Кривий Ріг», є одним із найбільших металургійних комплексів Європи, що функціонує за принципом замкненого виробничого циклу – від видобутку залізної руди до випуску готової прокатної продукції. Такий технологічний ланцюг формує потужний і багатокомпонентний техногенний вплив на довкілля, масштаби якого визначають екологічний стан усього Криворізького промислового вузла.

З'ясовано, що станом на кінець 2025 року підприємство функціонує в умовах воєнно-економічної нестабільності та вимушеного зниження потужностей до 25–30% від довоєнного рівня. Попри це, воно зберігає статус містоутворюючого об'єкта та одного з ключових платників податків регіону. Проаналізовано, що головним викликом для підприємства є баланс між виживанням виробництва та дотриманням нових жорстких екологічних норм, що диктуються євроінтеграційним курсом України та глобальними тенденціями декарбонізації.

У результаті комплексної оцінки встановлено, що підприємство формує 80–87% загальноміських промислових викидів, що робить його домінантним джерелом забруднення атмосферного повітря. Виявлено, що найбільший внесок належить агломераційному, коксовому та доменному виробництвам, які генерують значні концентрації пилу $PM_{2.5}/PM_{10}$, SO_2 , NO_x та металовмісних аерозолів. З'ясовано, що кліматичні особливості регіону – низька кількість опадів, часті температурні інверсії та швидкості вітру 4–5 м/с – створюють деструктивний режим розсіювання, що сприяє акумуляції домішок у приземному шарі атмосфери та погіршенню якості повітря.

На основі аналізу даних моніторингу встановлено, що домінуючими забруднювачами є оксид вуглецю, діоксид сірки, оксиди азоту та пил, причому значна частка викидів припадає на агломераційне виробництво. Хоча валові викиди зменшилися через падіння обсягів виробництва під час війни, зафіксовано зростання питомих викидів на одиницю продукції на 12–15% через експлуатацію агрегатів у перехідних та нестабільних режимах. Критичною проблемою є виявлені розбіжності між даними корпоративного моніторингу та незалежних муніципальних постів, особливо у періоди несприятливих метеоумов, що свідчить про необхідність вдосконалення системи контролю.

Дослідження стану водних ресурсів показало суттєву трансформацію гідрохімічного режиму річки Інгулець і Південного водосховища, зокрема зростання концентрацій сульфатів і хлоридів. Підземні води у межах дії хвостосховищ характеризуються підвищеною мінералізацією (до 10,33 г/дм³) та специфічним сульфатно-магнієво-натрієвим складом, що вказує на міграцію техногенних розчинів та порушення природного гідрогеохімічного балансу.

Едафотопи регіону класифікуються як техногенно-трансформовані з вираженим накопиченням важких металів (Fe, Mn, Zn, Pb), концентрації яких перевищують фонові показники у 1,4–5,9 разів. Це створює умови високої фітотоксичності, призводить до деградації рослинного покриву та спрощення трофічних ланцюгів, знижуючи здатність екосистем надавати регуляційні та ресурсні послуги. Вагомим чинником ризику є значні обсяги відходів, зокрема хвости збагачення та пиловаті фракції, що акумулюються у хвостосховищах «Миролубівка» та «Центральне» та інших техногенних масивах, і виступають джерелами вторинного пилоутворення та фільтрації забруднених вод.

Масштаби антропогенного втручання зумовили формування техногенно-трансформованих ландшафтів: кар'єрних виїмок понад 400 м, відвалів висотою 100–150 м та понад 31,8 тис. га порушених земель. Такі зміни визначають особливості мікроклімату, режиму поверхневого стоку та стійкість екосистем. Обґрунтовано, що тривалий вплив пилогазових домішок і важких металів створює високі ризики для здоров'я населення, передусім щодо респіраторних, серцево-судинних і канцерогенних захворювань.

На підставі отриманих результатів обґрунтовано, що подальше функціонування ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» без зміни парадигми природокористування несе загрозу незворотної деградації екосистем регіону. Вирішення проблеми лежить не у фрагментарних заходах, а у переході до інтегрованої моделі екологічного управління, що має базуватися на принципах циркулярної економіки (максимальна утилізація відходів та шлаків), впровадженні найкращих доступних технологій для газоочистки та водопідготовки, а також на створенні прозорої, автоматизованої системи моніторингу. Тільки такий підхід дозволить синхронізувати відновлення промислового потенціалу з європейськими стандартами екологічної безпеки «Green Deal».

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондар О.І., Риженко Н.О., Салій І.В. Накопичення шлаків металургійних підприємств: оцінка впливу на довкілля та екологічно обґрунтоване поводження. *Науково-практичний журнал: Екологічні науки*. № 3(30). 2020. С. 83-91. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.14>
2. Босак П.В., Стокалюк О.В., Корольова О.Г., Попович В.В. Управління екологічною безпекою у проектах розвитку гірничопромислових комплексів. *Вісник ЛДУБЖД*, №22, 2020. С. 5-11. DOI: [10.32447/20784643.22.2020.01](https://doi.org/10.32447/20784643.22.2020.01)
3. Гірничий закон України : Закон України від 06.10.1999 р. № 1127-XIV: станом на 28 березня 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1127-14#Text>
4. Державна служба статистики України. <https://www.ukrstat.gov.ua/>
5. ДСТУ 4287:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб».
6. ДСТУ 7738:2015 «Безпека екологічна та техногенна. Терміни та визначення понять».
7. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992. Поточна редакція від 08.08.2025., № 3855-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text>
8. Закон України «Про охорону земель від 19.06.2003. Поточна редакція від 08.11.2024, 3993-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>
9. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 26.06.91. Поточна редакція від 08.08.2025, 3855-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>
10. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>
11. Закон України «Про управління відходами» № 2849-IX від 13.12.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
12. Звіт з оцінки впливу на довкілля здійснення управління відходами на об'єкті оброблення відходів «Полігон для захоронення промислових та будівельних відходів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Кривий Ріг, 2025. 1230 с.
13. Звіт про стратегічну екологічну оцінку. Стратегічна екологічна оцінка документа державного планування «Програма соціально-економічного та культурного розвитку Криворізького району на 2023-2027 роки». ТОВ «ЕКОЛОГІЯ СУСПІЛЬСТВА». URL: <https://krrda.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/649/c21/611/649c21611ca85482149813.pdf>
14. Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2022 рік. 2023. 299 с.

Офіційний веб-сайт ДніпроОДА. URL: <https://adm.dp.gov.ua/prooblast/ekologiya-pro-oblast/ekologiya>

15. Казаков В.Л. Антропогенні ландшафти Кривбасу. Різноманіття ландшафтних комплексів України та шляхи їх раціонального використання і збереження: методологічні і прикладні аспекти. *Зб. наук. праць наук. конф.* Київ, 2000. С. 41–46.

16. Копач П.І., Данько Т.Т., Горобець Н.В., Чілій Д.В. Обґрунтування напрямків зниження відходності господарських комплексів гірничо-металургійних регіонів в контексті принципів сталого розвитку. Дніпровська політехніка. С. 173-182. <https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/c2605f76-4de2-4704-9603-b66e7bab17d2/content>

17. Пріоритетні напрями повоєнного відновлення потенціалу гірничо-металургійного комплексу України. *Метал та лиття України*. 2025. Том 33, № 2. С. 67-73. <https://www.metalsandcasting.com/index.php/mcu/article/view/293/289>

18. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Екологічні паспорти за 2020-2024 рр. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/>

19. Меркулов О.Є. Чи є місце доменній печі в умовах Європейського зеленого курсу? Вісник НАН України. 2024. № 4. С. 69—79. URL: <https://doi.org/10.15407/visn2024.04.069>

20. Назарук, М., та Остроушко, М. Розвиток промислового комплексу Криворіжжя: економічні вигоди, техногенні наслідки та екологічні проблеми. *Економічна та соціальна географія*. Київ, 2021. Вип. 86. С. 77–85. DOI: [10.17721/2413-7154/2021.86.77-85](https://doi.org/10.17721/2413-7154/2021.86.77-85)

21. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. Київ: Міністерство охорони навколишнього середовища та природних ресурсів України. 2022. 514 с.

22. Національний план управління відходами до 2033 року, затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1353.

23. Наказ «Про затвердження Правил охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом». № 61 від 18.03.2010 р.

24. Остроушко М. В. Антропогенне перетворення ландшафтів Криворіжжя внаслідок промислового розвитку регіону. *Екологічна безпека держави: тези доповідей Всеукраїнського Круглого столу*. Київ, 2021. С. 125-129.

25. Руденко М. О. Архітектурно-планувальна організація громадських будинків і споруд на території рекультивованих кар'єрів (на прикладі Кривбасу): дис. канд. арх.: 18.00.02 / М. О. Руденко. Полтава : Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2017. 226 с.

26. Рудько Г.І., Яковлев Є.О. Регіональні техногенні зміни еколого-геодинамічних умов розробки залізорудних родовищ Кривбасу. *Мінеральні ресурси України*. 2018. № 2. С. 43-50. doi: [10.31996/mru.2018.2.43-50](https://doi.org/10.31996/mru.2018.2.43-50)
27. Рудько Г.І., Яковлев Є.О. Постмайнінг гірничодобувних районів України як новий напрям екологічно безпечного використання мінерально-сировинних ресурсів. *Мінеральні ресурси України*. 2020. № 3. С. 37–44. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.3.37-44>
28. Семірягін С., Петрищев А., Журавель М., Журавель С., Лазуткін М., Цимбал Б. Екологічна безпека в контексті шкідливих чинників промислових викидів як умова гігієни праці і безпеки життєдіяльності людини. *Journal of Scientific Papers «Social Development and Security»*, Vol. 13, No. 5, 2023. С. 192-199.
29. Тимошенко Є.В., Іванов Є.А. Сучасні технології гірничих робіт із залишенням породи у виробленому просторі у складних гірничо-геологічних умовах України. *Надрокористування в Україні*. Перспективи інвестування : матер. 8-ої міжнарод. наук.-практ. конф. Київ : ДКЗ, 2023. С. 397–402.
30. Тубольцев Л.Г., Пригунова А.Г., Нарівський А.В., Петренко В. Концепція сталого розвитку металургії України. Стан, досвід, перспективи. Дніпро, 2023. 364 с.
31. Указ Президента України №722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року».
32. Фізична географія Криворіжжя: монографічна навчальна книга / В.Л. Казаков, О.О. Калініченко, В.В. Коцюрuba, І.О. Остапчук, І.С. Паранько, В.М. Савосько та ін. Кривий Ріг: ТОВ «Центр-Принт», 2012. 263 с.
33. Хандогіна О.В., Дрозд О.М., Дядін Д.В. Аналіз проведення стратегічної екологічної оцінки регіональних планів управління відходами. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 2 (47). С. 232–241. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.38>
34. Центральна геофізична обсерваторія ім. Бориса Срезневського «Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2023 році»
35. Ярков С.В. Ландшафтно-технічні системи Кривого Рогу: екотопічні умови сингенезу // Фізична географія та геоморфологія. Київ: ВГЛ «Обрій», 2008. Вип. 54. С. 246–254.
36. Antonik V., Babets Y., Antonik I., Melnikova I. Optimization of Landscape Disturbances in the Territory during Mining. *Novel Perspectives of Geography, Environment and Earth Sciences*. 2023. Vol. 7, 128-146.

<https://doi.org/10.9734/bpi/npgees/v7/5198B>

37. Batur Maryna, Babii Kateryna Spatial assessment of air pollution due to mining and industrial activities: a case study of Kryvyi Rih, Ukraine. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 970 012004. 2022. DOI: 10.1088/1755-1315/970/1/012004 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/970/1/012004/pdf>

38. Bazaluk O., Petlovanyi M., Sai K., Chebanov M., Lozynskyi V. Comprehensive assessment of the earth's surface state disturbed by mining and ways to improve the situation: case study of Kryvyi Rih Iron-ore Basin, Ukraine. *Front. Environ. Sci.* 12:1480344. doi: [10.3389/fenvs.2024.1480344](https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1480344) <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2024.1480344/full>

39. Behera S. K., Mishra D. P., Singh P., Mishra K., Mandal S. K., Ghosh C. N., et al. Utilization of mill tailings, fly ash and slag as mine paste backfill material: review and future perspective. *Constr. Build. Mater.* 309, 125120.2021. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2021.125120](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125120)

40. Hromozdova L., Bodyuk A., Makhortov U., Baranik Z., Khamska N., Kukhar N., et al. Iron ore use as a potential of sustainable development of industrial regions of Ukraine: aspects of environmental taxation. *SHS Web Conf.* 126, 01001. 2021. doi: [10.1051/shsconf/202112601001](https://doi.org/10.1051/shsconf/202112601001)

41. Kurylo M., Plotnikov, O. Quality parameters of Ukrainian iron ore deposits and their compliance with modern technological processes. *20th SGEM Int. Multidiscip. Sci. GeoConference Proc. 2020, Sci. Technol. Geol. Explor. Min.* 20 (1.1), 2020. P. 263–270. doi: [10.5593/sgem2020/1.1/s01.033](https://doi.org/10.5593/sgem2020/1.1/s01.033)

42. Savosko V.M., Bielyk Y.V., Lykholat Y.V., Heilmeier H.: Assesment of heavy metals concentration in initial soils of post-mining landscapes in Kryvyi Rih District (Ukraine). *Ekológia (Bratislava)*, Vol. 41, No. 3, p. 201–211, 2022. <https://sciendo.com/2/v2/download/article/10.2478/eko-2022-0020.pdf>

43. Stupnik M., Oliinyk T., Pochtarev A., Kalinichenko O., Kalinichenko V. Enhancement of the quality of marketable iron ore products of Kryvyi Rih iron ore basin. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 1156 (1), 2023. 012031. doi: [10.1088/1755-1315/1156/1/012031](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1156/1/012031)

44. Stupnik, M., and Shatokha, V. (2021). History and current state of mining in the Kryvyi Rih iron ore deposit. *Iron Ores*. doi: [10.5772/intechopen.96120](https://doi.org/10.5772/intechopen.96120)

45. Tymchuk I., Malovanyy M., Shkvirko O., Zhuk V., Masikevych A., Synelnikov S. Innovative creation technologies for the growth substrate based on the man-made waste – perspective way for Ukraine to ensure biological reclamation of waste dumps and quarries. *Int. J. Foresight and Innovation Policy*, 14 (2/3/4), 2020. p. 248-263. doi: [10.1504/ijfip.2020.111239](https://doi.org/10.1504/ijfip.2020.111239)