

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології

Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Зав. кафедрою екології

доц. \_\_\_\_\_ Вікторія КАЦЕВИЧ

« \_\_\_\_ » грудня \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «магістр»  
на тему: «**Оцінка наслідків воєнних дій на якість атмосферного  
повітря в місті Дніпро**»

Виконав: здобувач вищої освіти 2 курсу,

групи МгЕ-1-23 спеціальності

101 «Екологія»

\_\_\_\_\_ Артем ДЕМЧЕНКО

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

Рецензент \_\_\_\_\_ док.ф. Олег НЕСТЕРЕНКО

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет:** Водогосподарської інженерії та екології

**Кафедра:** Екології

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

**Спеціальність:** 101 «Екологія»

**Ступінь вищої освіти:** Магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою екології

\_\_\_\_\_ Вікторія КАЦЕВИЧ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на підготовку кваліфікаційної роботи

Демченку Артему Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Оцінка наслідків воєнних дій на якість атмосферного повітря в місті Дніпро

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

затверджена наказом по ДДАЕУ від «25» жовтня 2024 р. № 3584

**2. Термін подання здобувачем роботи:** 16.12.2024 р.

**3. Вихідні дані до роботи:** Результати лабораторних вимірювань, дані моніторингових досліджень, наукова література, статистичні звіти.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):** Вступ, Огляд літератури, Географічна характеристика та кліматичні умови міста Дніпро, Матеріали та методи досліджень, Результати дослідження та їх обговорення, Оцінка економічних збитків від забруднення атмосферного повітря, Охорона праці, Висновки, Список використаної літератури.

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):** Зміни рівнів діоксиду сірки (SO<sub>2</sub>), діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>), дрібнодисперсного пилу (PM<sub>2.5</sub>) у атмосферному повітрі міста Дніпро за період 2022–2024 років; Зміни рівнів дрібнодисперсного пилу (PM<sub>10</sub>) оксиду оксиду вуглецю (CO) у атмосферному повітрі міста Дніпро за період

2022–2024 років; Зміни рівнів забруднювачів атмосферного повітря у місті Дніпро після початку війни; Сезонні коливання рівнів дрібнодисперсного пилу (PM10 та PM2.5) у атмосферному повітрі міста Дніпро; Сезонні коливання рівнів дрібнодисперсного пилу (PM10) у атмосферному повітрі міста Дніпро у 2023 р.

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Огляд літератури		
2	Географічна характеристика та кліматичні умови міста Дніпро		
3	Матеріали та методи досліджень		
4	Результати дослідження та їх обговорення		
5	Оцінка економічних збитків від забруднення атмосферного повітря		
6	Охорона праці		
7	Оформлення дипломної роботи		

Здобувач \_\_\_\_\_ Артем ДЕМЧЕНКО  
(підпис) (Ім'я та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Таміла АНАНЬЄВА  
(підпис) (Ім'я та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається з 6 розділів, в яких розкрита проблема, містить 69 сторінок тексту, 1 таблицю, 5 рисунків, 21 літературних джерел.

Об'єкт досліджень: атмосферне повітря міста Дніпро.

Предмет досліджень: санітарно-екологічні, економічні і соціальні наслідки зміни якості атмосферного повітря в м Дніпро за період війни.

Мета роботи – проведення комплексного аналізу змін якості атмосферного повітря в місті Дніпро, спричинених безпосередньо воєнними діями, детальне визначення основних джерел забруднення, що виникли внаслідок конфлікту, та розробка практичних рекомендацій, спрямованих на зниження рівня забруднення повітря та покращення загальної екологічної ситуації в регіоні.

Завдання роботи:

1. Провести ґрунтовний аналіз наукової літератури, монографій, статей та нормативно-правових документів, що стосуються проблематики якості атмосферного повітря та впливу воєнних конфліктів на екологічний стан довкілля.

2. Зібрати, систематизувати та проаналізувати дані моніторингу якості повітря в місті Дніпро за період з 2022 по 2024 роки, використовуючи дані державних та громадських моніторингових станцій.

3. Детально виявити та ідентифікувати основні джерела забруднення атмосферного повітря, що були безпосередньо спричинені військовими діями, такі як вибухи, пожежі та руйнування інфраструктури.

4. Проаналізувати динаміку зміни концентрацій основних забруднюючих речовин, зокрема PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, оксидів азоту, діоксиду сірки та інших, у різні періоди воєнного часу, з метою виявлення тенденцій та закономірностей.

5. Розробити практичні, науково обґрунтовані та економічно доцільні рекомендації щодо ефективного зниження рівня забруднення атмосферного

повітря в місті Дніпро та покращення загальної екологічної ситуації в регіоні в умовах воєнного та післявоєнного періоду.

Методи дослідження. У роботі застосовано міждисциплінарний науковий підхід, який включає в себе використання методів статистичного аналізу даних, порівняльний аналіз показників якості повітря в різні часові періоди, методи математичного моделювання впливу різних джерел забруднення на екологічну ситуацію.

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	12
1.1 Дослідження якості атмосферного повітря	12
1.2 Вплив воєнних дій на якість атмосферного повітря	13
1.3 Вплив якості атмосферного повітря на здоров'я населення	14
2 ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА КЛІМАТИЧНІ УМОВИ МІСТА ДНІПРО	16
2.1 Географічне положення та рельєф	19
2.2 Гідрологічні умови	21
2.3 Кліматичні умови	24
3 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
3.1 Джерела даних	27
3.2 Методи дослідження	28
3.2.1 Статистичний аналіз	28
3.2.2 Геоінформаційний аналіз (ГІС)	28
3.2.3 Метод порівняльного аналізу	29
3.2.4 Метод моделювання	30
4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	31
4.1 Результати моніторингових досліджень	31
4.2 Вплив кліматичних умов на якість атмосферного повітря	35
4.3 Вплив на здоров'я населення	40
4.4 Заходи зі зменшення негативного впливу впливу на довкілля	44
4.5 Пропозиції щодо відновлення стану атмосферного повітря в м. Дніпро	48
4.6 Стратегічне планування у подоланні екологічних наслідків військових дій	54

5	ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНИХ ЗБИТКІВ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ	57
5.1	Оцінка впливу на здоров'я населення	57
5.2	Оцінка впливу на екосистеми та міську інфраструктуру	57
5.3	Оцінка збитків від воєнних дій	58
5.4	Оцінка витрат на заходи з поліпшення якості повітря	59
6	ОХОРОНА ПРАЦІ	62
6.1	Загальні принципи охорони праці	62
6.2	Аналіз потенційних ризиків	63
6.2.1	Ризики, пов'язані з роботою на забруднених територіях	63
6.2.2	Ризики під час встановлення моніторингових станцій	64
6.2.3	Ризики під час відновлення екосистем	64
6.2.4	Ризики для здоров'я працівників	65
6.2.5	Ризики, пов'язані з використанням техніки та інструментів	65
6.3	Заходи для забезпечення охорони праці	65
	ВИСНОВКИ	67
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	68

## ВСТУП

Якість атмосферного повітря відіграє вирішальну роль у формуванні екологічного благополуччя та безпосередньо впливає на здоров'я населення. Проблема забруднення повітря вже давно переросла в глобальну катастрофу, що вимагає невідкладних та скоординованих зусиль на міжнародному рівні для її ефективного вирішення. В умовах стрімкої урбанізації, безперервного розвитку промисловості та постійного зростання антропогенного тиску на довкілля якість повітря неухильно погіршується. Ця тенденція спостерігається не лише у великих мегаполісах, де зосереджено мільйони мешканців та значна кількість транспортних засобів, але й у промислових центрах, які характеризуються високою концентрацією джерел забруднення, таких як заводи, фабрики та електростанції.

Місто Дніпро, як один із ключових індустріальних центрів України, історично зіштовхувалося з серйозною проблемою забруднення атмосферного повітря. Це зумовлено інтенсивною діяльністю підприємств важкої промисловості, розвиненою транспортною інфраструктурою та потужною енергетичною галуззю. Проте з початком повномасштабної військової агресії у 2022 році екологічна ситуація в місті зазнала значних та, подекуди, катастрофічних змін. Військові обстріли, цілеспрямовані руйнування об'єктів критичної інфраструктури, масштабні пожежі, спричинені бойовими діями, та детонація боєприпасів стали потужними додатковими джерелами викидів шкідливих речовин в атмосферу. Ці фактори суттєво погіршили якість повітря та створили нові виклики для екологічної безпеки регіону. Наслідки цих руйнівних процесів потребують глибокого та всебічного дослідження, оскільки вони мають довготривалий та комплексний вплив не тільки на екологічний стан регіону, але й на фізичне та психічне здоров'я його мешканців, створюючи загрозу для майбутніх поколінь.



Війна, на жаль, стала потужним фактором додаткового екологічного навантаження на значну частину території України. Для Дніпра, який розташований відносно близько до зони активних бойових дій, проблематика якості атмосферного повітря набуває особливої гостроти та актуальності. Постійне та систематичне моніторингове дослідження, що має на меті аналіз змін у складі повітря, є абсолютно необхідним кроком для точної оцінки масштабу проблеми, ідентифікації ключових факторів впливу, а також для розробки ефективних та дієвих рішень щодо мінімізації негативних наслідків та запобігання подальшому погіршенню екологічної ситуації.

Забруднення повітря в умовах військового конфлікту має специфічний та багатогранний характер. Одним із найбільш значущих факторів є детонація різноманітних боєприпасів, які, окрім безпосереднього механічного руйнування будівель та інфраструктури, спричиняють потужне хімічне забруднення навколишнього середовища. Кожен вибух – це миттєвий та масовий викид величезної кількості різноманітних токсичних речовин, серед яких особливо небезпечними є оксиди азоту, діоксид сірки, важкі метали, такі як свинець, кадмій та ртуть, а також дрібнодисперсний пил фракцій PM<sub>2.5</sub> та PM<sub>10</sub>, що здатні проникати глибоко в легені та викликати серйозні захворювання. Додатковими джерелами забруднення виступають масштабні пожежі, що виникають на місцях ракетних та артилерійських ударів. Такі пожежі можуть тривати протягом тривалого часу, від кількох годин до кількох діб, постійно викидаючи в атмосферу канцерогенні сполуки, діоксини, фурани та інші надзвичайно шкідливі речовини, що становлять серйозну загрозу для здоров'я людей та екосистем. Крім того, руйнування промислових підприємств та об'єктів енергетичної інфраструктури призводить до утворення нових, нетипових для мирного часу, точок викидів забруднюючих речовин, що ще більше ускладнює екологічну ситуацію [1, 4].

*Актуальність теми.* Вивчення впливу воєнних дій на якість атмосферного повітря є надзвичайно актуальним та важливим не тільки через

гостроту екологічної ситуації, що склалася в регіоні, але й через його безпосередній та значний вплив на здоров'я та добробут населення. Забруднене повітря значно підвищує ризики виникнення та розвитку різноманітних захворювань дихальної, серцево-судинної та нервової систем. У короткостроковій перспективі це може проявлятися у вигляді алергічних реакцій, подразнень слизових оболонок, частих респіраторних інфекцій та утрудненого дихання. У довгостроковій перспективі можливі набагато серйозніші та небезпечні наслідки, зокрема хронічні обструктивні захворювання легень (ХОЗЛ), бронхіальна астма, рак легень, інші онкологічні захворювання, інфаркти, інсульти та загальне зниження тривалості та якості життя [3, 4].

*Метою даного дослідження є проведення комплексного аналізу змін якості атмосферного повітря в місті Дніпро, спричинених безпосередньо воєнними діями, детальне визначення основних джерел забруднення, що виникли внаслідок конфлікту, та розробка практичних рекомендацій, спрямованих на зниження рівня забруднення повітря та покращення загальної екологічної ситуації в регіоні.*

*Об'єктом дослідження є атмосферне повітря в межах міста Дніпро, а предметом – санітарно-екологічні, економічні і соціальні наслідки зміни якості атмосферного повітря в м Дніпро за період війни.*

Для досягнення поставленої мети було визначено такі основні завдання:

1. Провести ґрунтовний аналіз наукової літератури, монографій, статей та нормативно-правових документів, що стосуються проблематики якості атмосферного повітря та впливу воєнних конфліктів на екологічний стан довкілля.

2. Зібрати, систематизувати та проаналізувати дані моніторингу якості повітря в місті Дніпро за період з 2022 по 2024 роки, використовуючи дані державних та громадських моніторингових станцій.

3. Детально виявити та ідентифікувати основні джерела забруднення атмосферного повітря, що були безпосередньо спричинені військовими діями, такі як вибухи, пожежі та руйнування інфраструктури.

4. Проаналізувати динаміку зміни концентрацій основних забруднюючих речовин, зокрема PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, оксидів азоту, діоксиду сірки та інших, у різні періоди воєнного часу, з метою виявлення тенденцій та закономірностей.

5. Розробити практичні, науково обґрунтовані та економічно доцільні рекомендації щодо ефективного зниження рівня забруднення атмосферного повітря в місті Дніпро та покращення загальної екологічної ситуації в регіоні в умовах воєнного та післявоєнного періоду.

*Методи дослідження.* У роботі застосовано міждисциплінарний науковий підхід, який включає в себе використання методів статистичного аналізу даних, порівняльний аналіз показників якості повітря в різні часові періоди, методи математичного моделювання впливу різних джерел забруднення на екологічну ситуацію. Крім того, для наочної візуалізації просторового розподілу забруднень та їх динаміки в часі застосовуються сучасні геоінформаційні системи (ГІС) та методи дистанційного зондування Землі.

## 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Огляд літератури є важливим етапом наукового дослідження, оскільки дозволяє визначити стан вивчення обраної теми, проаналізувати сучасні досягнення, прогалини в знаннях та сформулювати теоретичну основу для подальшого дослідження. У цьому розділі буде розглянуто основні джерела, присвячені дослідженню якості атмосферного повітря, екологічних змін, спричинених воєнними діями, та впливу цих змін на здоров'я населення.

### 1.1 Дослідження якості атмосферного повітря

У багатьох міжнародних дослідженнях увага зосереджена на визначенні концентрації дрібнодисперсного пилу (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), оксидів азоту (NO<sub>x</sub>), чадного газу (CO) та озону (O<sub>3</sub>). Особливий акцент зроблено на їхньому впливі на здоров'я населення. Роботи Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) містять рекомендації щодо гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин. Наприклад, згідно з ВООЗ, середньорічна концентрація PM<sub>2.5</sub> не повинна перевищувати 10 мкг/м<sup>3</sup> [3].

Українські вчені (наприклад, роботи Інституту гідрометеорології) досліджують вплив промислових викидів на якість повітря у великих містах України, таких як Дніпро, Запоріжжя та Кривий Ріг. Аналізуються впливи викидів промислових підприємств, автомобільного транспорту та природних факторів, таких як кліматичні умови [15, 16].

Застосування автоматизованих станцій для моніторингу забруднюючих речовин є стандартним підходом у міжнародних і національних дослідженнях.

Геоінформаційні системи (ГІС) використовуються для створення карт забруднення та аналізу просторового розподілу концентрацій шкідливих речовин.

Математичне моделювання дозволяє оцінити внесок різних джерел у загальний рівень забруднення. Наприклад, у роботах Інституту проблем екології та енергозбереження використовується моделювання для прогнозування змін у складі атмосферного повітря.

## **1.2 Вплив воєнних дій на якість атмосферного повітря**

Щоб краще зрозуміти масштаби проблеми, варто звернутися до історичних прикладів впливу військових конфліктів на довкілля.

Під час В'єтнамської війни (1961–1975 роки) американська армія використовувала хімікати, такі як Agent Orange, для знищення тропічних лісів. Це не лише завдало шкоди екосистемам, а й спричинило довготривалі проблеми зі здоров'ям місцевого населення. Хоча у Дніпрі немає подібних хімічних атак, наслідки від руйнувань інфраструктури та забруднення пилом демонструють схожі ризики для екосистем.

Дослідження впливу воєнних дій на довкілля в Іраку, Сирії та інших регіонах демонструють, що вибухи, руйнування інфраструктури та горіння матеріалів спричиняють значне підвищення концентрації забруднюючих речовин. Наприклад, у Сирії після руйнування промислових об'єктів концентрація важких металів у повітрі залишалася підвищеною протягом кількох років [1, 20].

Міжнародні дослідження підтверджують, що військові конфлікти мають тривалий вплив на екологію, зокрема на якість повітря.

Під час і після активних бойових дій у Сирії рівень дрібнодисперсного пилу залишався високим протягом 5 років. Масштабні руйнування будівель та інфраструктури призвели до накопичення пилу в повітрі, який поступово розсіювався, впливаючи на здоров'я населення. У деяких районах рівень PM<sub>2.5</sub> перевищував 100 мкг/м<sup>3</sup>, що втричі більше за норми ВООЗ [1, 20].

У 1990-х роках військові дії у колишній Югославії призвели до значного забруднення повітря через руйнування нафтових і хімічних заводів.

Бомбардування нафтових заводів і хімічних підприємств у Сербії призвело до масового забруднення річок і повітря. Викиди токсичних речовин, таких як бензапірен та діоксини, впливали на довкілля навіть через 10 років після закінчення конфлікту. Для відновлення екологічної рівноваги уряд країни залучив міжнародні організації, що дозволило швидше впоратися з кризою. Цей досвід може бути корисним для Дніпра..

Під час війни у 1991 році підпали нафтових свердловин у Кувейті спричинили утворення токсичних хмар, які містили частинки сажі, оксиди сірки та азоту. Забруднення повітря мало серйозний вплив на здоров'я населення регіону, а також на екосистеми, викликавши зниження біорізноманіття.

Після початку війни в Україні у 2022 році було зафіксовано різке погіршення якості атмосферного повітря внаслідок руйнування інфраструктури, використання військової техніки та пожеж. Роботи українських екологів та державних організацій зосереджені на моніторингу змін у складі повітря та оцінці довгострокових наслідків [7, 14].

### **1.3 Вплив якості атмосферного повітря на здоров'я населення**

Дослідження показали, що забруднення повітря пов'язане зі збільшенням кількості захворювань дихальної та серцево-судинної систем.

Роботи українських лікарів демонструють, що в регіонах із високою концентрацією забруднюючих речовин спостерігається зростання кількості випадків бронхіальної астми, хронічного бронхіту та інфарктів міокарда [4].

Дослідження у міському середовищі свідчать, що урбанізація і зростання транспортного потоку є ключовими факторами забруднення. Наприклад, у роботах Національного університету "Львівська політехніка" проаналізовано роль автотранспорту у формуванні забруднень міського середовища [17, 18].

На підставі проведення літературного аналізу виявлено низку питань, що потребують подальшого розгляду і дослідження:

- Недостатньо даних щодо довгострокових наслідків впливу воєнних дій на екологічну ситуацію в Україні.
- Відсутність системного аналізу впливу забруднення повітря на конкретні групи населення (дітей, літніх людей).
- Потреба в розробці локальних методів зниження рівня забруднення, адаптованих до умов воєнного часу.

Огляд літератури показав, що проблема якості атмосферного повітря є актуальною як на міжнародному, так і на національному рівнях. Існує значний обсяг досліджень, присвячених впливу забруднення на здоров'я населення, проте є прогалини у вивченні наслідків воєнних дій для довкілля України. Це підкреслює важливість подальшого дослідження впливу воєнних дій на якість повітря в місті Дніпро та пошуку ефективних заходів для зменшення негативного впливу.

## 2 ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА КЛІМАТИЧНІ УМОВИ МІСТА ДНІПРО

Місто Дніпро, розташоване в центральній частині України, є одним із найбільших промислових, економічних та культурних центрів країни. Його географічне положення, кліматичні умови та природні особливості мають суттєвий вплив на формування екологічної ситуації, зокрема на якість атмосферного повітря та рівень забруднення.

Займаючи площу понад 405 км<sup>2</sup>, місто Дніпро характеризується різноманітним ландшафтом, що включає густонаселені житлові масиви, транспортну інфраструктуру, великі промислові зони та прибережні території, розташовані вздовж річки Дніпро. Саме річка Дніпро, одна з найбільших водних артерій України, відіграє важливу роль у кліматоутворенні та забезпечує місто водними ресурсами. Проте наявність інтенсивного антропогенного навантаження у цих регіонах створює значні виклики для підтримання екологічної рівноваги.

Дніпро знаходиться в центральній частині України на перехресті важливих транспортних магістралей. Це стратегічне розташування сприяє розвитку промисловості та логістики, але водночас обумовлює підвищене екологічне навантаження. Місто межує з густозаселеними передмістями, що входять до складу Дніпровської агломерації, площа якої перевищує 1 000 км<sup>2</sup>. Агломерація об'єднує численні житлові, промислові та рекреаційні зони, утворюючи складну екосистему, де поєднуються природні та антропогенні фактори.

Місто розташоване на обох берегах Дніпра, що впливає на його ландшафт і мікроклімат. У межах міста річка утворює численні затоки, острови та канали, які сприяють формуванню природних бар'єрів для забруднення. Однак у сучасних умовах ці переваги часто нівелюються інтенсивним впливом промислових викидів і транспортного забруднення.



Клімат Дніпра класифікується як помірно континентальний, з чітко вираженими сезонами. Основні кліматичні характеристики, які впливають на якість повітря, включають:

*Середньорічна температура.* У Дніпрі середньорічна температура становить близько  $+9,2^{\circ}\text{C}$ . Літні температури можуть досягати  $+35^{\circ}\text{C}$ , що сприяє утворенню фотохімічного смогу через інтенсивне сонячне випромінювання. Зимові місяці характеризуються середньою температурою  $-2^{\circ}\text{C}$ , що посилює використання твердопаливних котлів, генераторів та інших джерел опалення, які підвищують рівень забруднення.

*Рівень опадів.* Середньорічна кількість опадів у місті становить 450–550 мм. Недостатня кількість опадів у літні місяці сприяє підвищенню рівня пилу у повітрі.

*Сила та напрямок вітру.* Переважаючий напрямок вітру в Дніпрі – північно-західний. Це сприяє переміщенню забруднюючих речовин з промислових зон на житлові масиви, що створює додаткові виклики для екологічного моніторингу.

*Рівень вологості.* Вологість повітря у Дніпрі коливається від 60% до 75%. У літні місяці низька вологість сприяє поширенню дрібнодисперсного пилу, тоді як взимку висока вологість утримує забруднюючі речовини в нижніх шарах атмосфери.

#### *Промислове навантаження*

Дніпро є одним із найбільших промислових центрів України, де зосереджено понад 200 великих підприємств. Основними галузями є металургія, хімічна промисловість, машинобудування та енергетика. Наприклад, металургійний завод "Дніпросталь" є джерелом викидів оксидів сірки та дрібнодисперсного пилу; хімічні підприємства, розташовані на лівому березі, викидають у повітря леткі органічні сполуки (ЛОС) та інші токсичні речовини. Щороку підприємства міста викидають у повітря сотні тисяч тонн забруднюючих речовин, серед яких дрібнодисперсний пил, оксиди азоту та сірки, вуглекислий газ і важкі метали.

Інтенсивний розвиток промисловості в поєднанні з недостатньо ефективними фільтраційними системами створює серйозні екологічні виклики для міста. Розташування підприємств поблизу житлових зон і транспортних вузлів підсилює концентрацію забруднюючих речовин у повітрі, особливо під час несприятливих метеорологічних умов. Промисловість залишається основним джерелом забруднення навіть у воєнний час, адже частина підприємств продовжувала працювати, забезпечуючи стратегічні потреби країни.

#### *Транспортна інфраструктура*

Місто має розвинену транспортну інфраструктуру, що включає автомобільні дороги, залізничні вузли, аеропорт і річковий порт. Щодня вулицями Дніпра пересуваються тисячі автомобілів, більшість з яких працюють на дизельному або бензиновому пальному, що сприяє утворенню оксидів азоту та вуглецю. Інтенсивність руху особливо зростає під час евакуації населення через воєнні дії, що додатково ускладнює ситуацію.

#### *Прибережні території та зелені зони*

Попри значне промислове навантаження, місто має унікальний природний ресурс – річку Дніпро та її прибережні території. Уздовж берегів річки розташовані зелені зони, які виконують роль природного фільтра для повітря та сприяють підтриманню мікроклімату. Однак урбанізація та руйнування інфраструктури значно скоротили площу цих зон, що негативно вплинуло на здатність міста утримувати баланс між антропогенним навантаженням і природними бар'єрами.

Географічні та кліматичні особливості Дніпра, у поєднанні з інтенсивним антропогенним впливом, створюють складну екологічну ситуацію, яка потребує системного підходу до вирішення. Ефективне використання природних ресурсів, таких як річка Дніпро, у поєднанні з впровадженням сучасних екологічних технологій і стратегічним плануванням, дозволить зменшити негативний вплив промисловості та транспорту на якість повітря і забезпечити стійкий розвиток міста.

## 2.1 Географічне положення та рельєф

Місто Дніпро розташоване на обох берегах однієї з найбільших річок Європи – Дніпра, який поділяє місто на правобережну та лівобережну частини. Географічне положення міста визначає його стратегічну важливість як транспортного, промислового та економічного центру України. Крім того, розташування на березі великої водної артерії суттєво впливає на мікроклімат і екологічну ситуацію в регіоні.

Правобережна частина міста характеризується підвищеним рельєфом, який включає численні яри, балки та пагорби. Висота цієї частини міста в середньому становить 80–120 метрів над рівнем моря, що створює природні бар'єри для поширення забруднюючих речовин. Яри та балки виконують роль своєрідних коридорів, через які здійснюється циркуляція повітряних мас. Однак у деяких районах спостерігається затримка повітряних потоків через густу забудову, що може спричинити локальне накопичення забруднювачів.

Правобережжя є основною житловою та адміністративною частиною міста, де розташовані центральні райони, історичні пам'ятки та значна частина зелених зон. Наявність зелених насаджень сприяє утриманню пилу та зниженню концентрації шкідливих речовин у повітрі, однак швидка урбанізація зменшила їхню площу, що негативно вплинуло на екологічний баланс.

Лівобережна частина міста, на відміну від правобережної, має рівнинний характер і розташована на висоті 50–70 метрів над рівнем моря. Ця частина міста переважно забудована промисловими об'єктами, транспортною інфраструктурою та житловими масивами. Рівнинний рельєф сприяє рівномірному поширенню забруднюючих речовин, однак через обмежену природну вентиляцію у низинних районах спостерігається тенденція до накопичення шкідливих газів та дрібнодисперсного пилу.

Лівобережжя включає значну частину промислової зони міста, яка є основним джерелом викидів у повітря. Через наявність великих площ асфальтованих територій та відсутність достатньої кількості зелених зон температура в цій частині міста часто вища, ніж у правобережній. Це створює умови для формування міських "островів тепла", які додатково впливають на якість повітря.

Різниця в рельєфі між правобережною та лівобережною частинами міста суттєво впливає на циркуляцію повітряних мас і розсіювання забруднюючих речовин. У підвищених районах правобережжя відбувається краща вентиляція, що сприяє зниженню концентрації забруднювачів. Яри та балки виступають своєрідними каналами для повітряних потоків, які сприяють очищенню атмосфери. Проте у зонах із щільною забудовою, таких як центр міста, циркуляція повітря може бути обмеженою, що призводить до накопичення шкідливих речовин.

На лівобережжі, через рівнинний рельєф, природна вентиляція менш інтенсивна, особливо у промислових районах. Низинні райони часто виступають своєрідними "пастками" для забруднюючих речовин, де через слабку циркуляцію повітря накопичуються дрібнодисперсний пил, оксиди азоту та інші шкідливі речовини. У зимові місяці ця проблема посилюється через температурні інверсії, які утримують забруднення на низьких висотах.

Річка Дніпро відіграє важливу роль у формуванні рельєфу та мікроклімату міста. Вона створює природний бар'єр, який впливає на напрямок та інтенсивність повітряних потоків. У літні місяці водна поверхня сприяє зменшенню температури в прилеглих районах, тоді як взимку водойма може виступати джерелом додаткової вологості, що впливає на розсіювання забруднюючих речовин.

Острови, затоки та канали, розташовані у межах міста, виконують функцію природних зон відпочинку, але в умовах високого антропогенного навантаження їхня здатність до очищення повітря значно знижується.

Забруднення води та берегових зон негативно впливає на екологічну ситуацію та вимагає комплексного підходу до відновлення цих територій.

Інтенсивна урбанізація Дніпра, що тривала протягом останніх десятиліть, суттєво змінила природний ландшафт міста. Вирівнювання ділянок для забудови, розширення транспортної мережі та промислових зон призвело до зменшення природних бар'єрів, які могли б сприяти очищенню повітря. У багатьох районах, особливо на лівобережжі, природні особливості рельєфу були замінені техногенними структурами, що знижує їхню екологічну цінність.

Географічне положення та рельєф міста Дніпро відіграють важливу роль у формуванні якості атмосферного повітря. Правобережжя, завдяки підвищеному рельєфу, має кращу природну вентиляцію, тоді як лівобережжя, через низинний характер, є більш вразливим до накопичення забруднюючих речовин. Річка Дніпро, незважаючи на свій природний потенціал, не повністю виконує роль очищення довкілля через високий рівень антропогенного навантаження. Для покращення екологічної ситуації необхідно враховувати особливості рельєфу при плануванні екологічних заходів і розвитку міської інфраструктури.

## **2.2 Гідрологічні умови**

Річка Дніпро є головною водною артерією міста Дніпро, яка має значний вплив на його екологічний стан, формування мікроклімату та якість повітря. Її роль у міській екосистемі є багатогранною, охоплюючи як позитивні, так і негативні аспекти впливу. Окрім річки Дніпро, на території міста розташовані численні озера, ставки та канали, які також відіграють важливу роль у регуляції вологості повітря, очищенні атмосферних забруднень і забезпеченні стійкості екосистем.

Річка Дніпро, одна з найбільших річок Європи, є центральним елементом гідрологічної системи міста. Її широка водна поверхня створює сприятливі умови для формування мікроклімату завдяки таким факторам:

1. Підвищення вологості повітря. Велика водна поверхня сприяє випаровуванню, що підвищує рівень вологості у прилеглих районах. Це допомагає зменшити сухість повітря, яка може посилювати поширення пилу та інших забруднювачів.

2. Осадження твердих частинок Вологе повітря, створене завдяки близькості річки, сприяє осадженню дрібнодисперсного пилу та інших твердих частинок, що позитивно впливає на якість повітря.

3. Роль природного бар'єра. Річка діє як природний бар'єр для поширення деяких забруднювачів, особливо у напрямку переважаючих вітрів. Водночас вона створює умови для розсіювання повітряних мас, що знижує концентрацію забруднюючих речовин у певних районах.

Попри важливу роль у підтриманні екологічного балансу, річка Дніпро є об'єктом значного антропогенного навантаження. Основні джерела забруднення – стічні води промислових підприємств, зливові стоки, накопичення твердих відходів, евтрофікація водойм.

Промислові підприємства міста здійснюють скиди забруднених вод, які містять важкі метали (свинець, кадмій, ртуть), нафтохімічні сполуки та інші токсичні речовини. Ці забруднювачі осідають на дні річки або накопичуються у воді, впливаючи на якість прилеглих територій.

Під час дощів у річку потрапляють великі обсяги забруднень з міських територій, включаючи нафтові продукти, пестициди та хімічні добрива. Це погіршує якість води та сприяє перенесенню шкідливих речовин у прилеглі екосистеми.

У прибережних зонах часто спостерігається накопичення сміття, що створює локальні екологічні проблеми та може впливати на якість повітря через утворення токсичних газів під час розкладання органічних матеріалів.

Надмірне збагачення води азотом і фосфором, що потрапляють до річки зі стічними водами, сприяє розвитку синьо-зелених водоростей. Їх розкладання погіршує якість води та може виділяти у повітря неприємні запахи й токсичні сполуки.

Окрім Дніпра, у межах міста розташовані численні озера, ставки, канали та затоки, які також впливають на мікроклімат та екологічну ситуацію. Ці водні об'єкти забезпечують додаткове зволоження повітря, особливо в літні місяці, коли спостерігається підвищена температура. Вони створюють локальні зони зниження температури, які пом'якшують наслідки міських "островів тепла". Деякі озера та ставки можуть виконувати роль природних фільтрів, осаджуючи частину твердих частинок і забруднювачів, що потрапляють у них із повітря або ґрунту. Багато водойм використовуються як місця відпочинку для населення. Однак антропогенний вплив, включаючи забруднення сміттям і скиди хімічних речовин, знижує їхню екологічну цінність.

Прибережні території Дніпра та інших водних об'єктів часто страждають від накопичення забруднюючих речовин. Особливо це стосується лівобережної частини міста, де розташовані основні промислові підприємства. У цих районах спостерігається підвищена концентрація важких металів та інших токсичних речовин, що потребує проведення додаткових досліджень і рекультиваційних заходів.

Гідрологічні умови міста Дніпро, включаючи річку Дніпро та численні озера й ставки, мають суттєвий вплив на мікроклімат та якість повітря. З одного боку, вони сприяють підвищенню вологості та частковому очищенню атмосфери. З іншого боку, значне антропогенне навантаження, пов'язане зі скидами забруднених вод і накопиченням сміття, створює додаткові екологічні проблеми. Для покращення ситуації необхідно впроваджувати сучасні технології очищення води, зменшувати обсяги забруднення та забезпечувати належний контроль за станом водних об'єктів.

### 2.3 Кліматичні умови

Клімат міста Дніпро є помірно континентальним, із чітко вираженими сезонними коливаннями температури, вологості та інших метеорологічних параметрів. Ці особливості безпосередньо впливають на формування якості атмосферного повітря, сприяючи різним процесам розсіювання, трансформації та накопичення забруднюючих речовин у різні пори року.

Середньорічна температура в Дніпрі становить близько  $+9^{\circ}\text{C}$ . Найвищі температури спостерігаються в липні ( $+22^{\circ}\text{C}$  у середньому), тоді як найнижчі – у січні ( $-5^{\circ}\text{C}$  у середньому). Влітку можливі періоди сильної спеки з температурами понад  $+35^{\circ}\text{C}$ . Узимку спостерігаються сильні морози до  $-20^{\circ}\text{C}$  і нижче, які можуть тривати кілька днів поспіль.

Середньорічна кількість опадів становить 450–550 мм, більша частина яких випадає в теплу пору року. Оподи у вигляді дощу та снігу суттєво впливають на здатність атмосфери самоочищуватися.

Переважаючі вітри – північно-західного напрямку. Вони відіграють важливу роль у розсіюванні забруднюючих речовин, але водночас можуть сприяти їх переміщенню на значні відстані, у тому числі з промислових зон до житлових районів.

Середній рівень вологості повітря становить 60–75%. Низька вологість улітку сприяє підвищенню концентрації пилу, тоді як висока вологість узимку та восени ускладнює розсіювання газоподібних забруднювачів.

Низькі температури сприяють утворенню приземних температурних інверсій, які утримують шкідливі речовини поблизу поверхні землі. Сніговий покрив може тимчасово затримувати пил та інші тверді частинки, але з настанням відлиги та таненням снігу ці забруднення повертаються до атмосфери. Використання твердопаливних котлів і генераторів для опалення у приватному секторі значно підвищує рівень викидів у зимовий період. Часті тумани погіршують умови розсіювання забруднюючих речовин, посилюючи їх концентрацію в приземному шарі атмосфери.



З настанням весни температура поступово підвищується, досягаючи середніх показників  $+10-15^{\circ}\text{C}$  у квітні. Посилення вітрової активності сприяє розсіюванню забруднюючих речовин, зменшуючи їхню концентрацію. Весняні вітри можуть піднімати пил із сухих ґрунтів, будівельних майданчиків і доріг, тимчасово погіршуючи якість повітря. Сезонні підпалювання сухої рослинності в передмістях створюють додаткове джерело шкідливих викидів.

Збільшення кількості сонячних днів активізує фотохімічні реакції в атмосфері, які можуть сприяти утворенню вторинних забруднювачів, таких як озон.

Середня температура в липні становить  $+22^{\circ}\text{C}$ , але в періоди спеки може досягати  $+35^{\circ}\text{C}$  і вище. Низька вологість у поєднанні з високими температурами сприяє збільшенню концентрації дрібнодисперсного пилу в атмосфері. Інтенсивна сонячна радіація активізує фотохімічні реакції, що призводять до утворення озону ( $\text{O}_3$ ) на приземному рівні. Озон є потужним окислювачем, який негативно впливає на здоров'я людей, особливо осіб із захворюваннями дихальної системи. Улітку через високі температури збільшується випаровування летких органічних сполук (VOC), що додає нових компонентів до суміші забруднюючих речовин. Спекта та відсутність вітру в певні періоди створюють умови для накопичення забруднюючих речовин у повітрі, особливо в густозаселених районах.

Поступове зниження температури до  $+5-10^{\circ}\text{C}$  у жовтні створює сприятливі умови для очищення атмосфери. Висока вологість восени сприяє утворенню туманів, які затримують частинки пилу та інших забруднювачів, але можуть перешкоджати розсіюванню газоподібних речовин. Дощі сприяють очищенню атмосфери від пилу та інших твердих частинок. Осіннє спалювання рослинності, характерне для прилеглих територій, додає в атмосферу токсичні гази та дрібнодисперсний пил. Підвищена кількість опадів сприяє зменшенню рівня забруднення, але місцеві затоплення у

промислових зонах можуть спричиняти локальне підвищення концентрації токсичних речовин.

Кліматичні умови Дніпра мають суттєвий вплив на формування якості атмосферного повітря та характер розсіювання забруднюючих речовин. Кожен сезон створює специфічні умови, які можуть як покращувати, так і погіршувати екологічну ситуацію. Зима та літо є найбільш критичними періодами через інверсії, смог, утворення озону та високу концентрацію пилу. Весна та осінь сприяють очищенню повітря, але також супроводжуються тимчасовими викликами. Для ефективного управління екологічною ситуацією необхідно враховувати ці сезонні особливості при плануванні природоохоронних заходів і моніторингу якості повітря.

### 3 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення дослідження було використано комплексний підхід до збору та аналізу даних, що дозволило отримати максимально повну та об'єктивну картину стану атмосферного повітря в місті Дніпро.

#### 3.1 Джерела даних

*Дані Дніпропетровського обласного центру з гідрометеорології.* Цей центр є основним джерелом інформації про якість атмосферного повітря в регіоні. Він здійснює регулярний моніторинг концентрацій різних забруднюючих речовин за допомогою мережі автоматизованих станцій, розташованих у різних частинах міста. Були використані дані за період 2022-2024 роки, що дозволило проаналізувати зміни якості повітря до, під час та після активних бойових дій.

*Дані Державної служби статистики України.* Використовувались статистичні дані щодо промислового виробництва, транспортної діяльності та інших факторів, що впливають на рівень забруднення атмосферного повітря.

*Дані супутникового моніторингу.* Для отримання інформації про поширення забруднюючих речовин та динаміку атмосферних процесів використовувались дані супутників, зокрема Sentinel-5P.

*Дані відкритих джерел та офіційних звітів.* Інформація про вибухи, пожежі та руйнування інфраструктури була зібрана з відкритих джерел, таких як повідомлення ЗМІ, звіти місцевих органів влади та міжнародних організацій.

*Результати попередніх досліджень.* Були проаналізовані наукові публікації та звіти попередніх досліджень з питань якості атмосферного повітря в місті Дніпро та інших регіонах України.

## 3.2 Методи дослідження

Для проведення дослідження впливу воєнних дій на якість атмосферного повітря в місті Дніпро використовувались комплексні методи, що дозволили отримати детальну картину просторово-часового розподілу забруднюючих речовин, виявити основні тенденції та оцінити фактори, які сприяли погіршенню екологічної ситуації.

### 3.2.1 Статистичний аналіз

Статистичний аналіз відіграв ключову роль у дослідженні якості повітря:

*Обробка первинних даних.* Використовувались методи описової статистики для розрахунку середніх значень, стандартного відхилення, мінімальних та максимальних значень концентрацій забруднюючих речовин (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, важкі метали). Аналіз тимчасових рядів дозволив виявити сезонні коливання концентрацій забруднюючих речовин та залежність від метеорологічних умов [19].

*Кореляційний аналіз.* Для визначення зв'язків між концентрацією забруднюючих речовин та метеорологічними параметрами (температура, вологість, швидкість вітру) використовувались методи кореляційного аналізу. Це дозволило оцінити вплив кліматичних факторів на поширення та накопичення забруднень у різні періоди року.

*Інтерпретація результатів.* Результати статистичного аналізу лягли в основу побудови моделей і прогнозування змін якості повітря в майбутньому.

### 3.2.2 Геоінформаційний аналіз (ГІС)

Геоінформаційні системи (ГІС) стали важливим інструментом для вивчення просторового розподілу забруднюючих речовин у місті.

*Візуалізація даних.* На основі даних моніторингових станцій створено карти забруднення, які відображають концентрацію шкідливих речовин у різних районах міста. Карти дозволили виявити зони з підвищеним рівнем забруднення, такі як промислові райони, транспортні вузли та зони руйнувань.

*Просторовий аналіз.* Вивчено динаміку поширення забруднення залежно від вітрового режиму та географічних особливостей міста. Геоінформаційний аналіз дозволив визначити "гарячі точки", де концентрація забруднюючих речовин перевищувала допустимі норми.

*Інтеграція даних.* Дані з різних джерел (моніторингові станції, супутникові знімки, кліматичні параметри) інтегровані в ГІС для отримання цілісної картини екологічного стану міста.

### **3.2.3 Метод порівняльного аналізу**

Порівняльний аналіз дозволив оцінити динаміку змін якості повітря у трьох ключових періодах:

Довоєнний період (2018–2021 роки):

Використовувались архівні дані про концентрацію забруднюючих речовин для встановлення базового рівня забруднення. Доведено, що якість повітря у цей період була стабільнішою, ніж під час активних бойових дій.

Період активних бойових дій (2022–2023 роки):

Встановлено, що концентрація PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> та важких металів значно перевищила довоєнні показники через руйнування інфраструктури, пожежі та збільшення транспортного навантаження. Порівняльний аналіз виявив різницю у впливі різних джерел забруднення на якість повітря.

Поточний період (2023–2024 роки):

Оцінено, як поступове відновлення інфраструктури вплинуло на стабілізацію екологічної ситуації. Результати аналізу показали, що попри зменшення концентрації деяких забруднювачів, рівень забруднення залишався вищим за довоєнний.

### 3.2.4 Метод моделювання

Математичне моделювання використовувалось для оцінки внеску різних джерел забруднення в загальний рівень забруднення.

Розподіл джерел забруднення. Створено моделі, які враховують вплив промислових підприємств, транспорту, воєнних дій та побутових джерел на рівень забруднення. Моделювання дозволило визначити, що основними джерелами PM<sub>2.5</sub> та важких металів були руйнування будівель і пожежі, тоді як транспорт і промисловість сприяли зростанню рівня NO<sub>x</sub> та CO.

*Прогнозування.* Розроблено прогнози змін якості повітря за різних сценаріїв, таких як збільшення використання екологічно чистого транспорту або встановлення нових систем очищення повітря. Моделювання показало, що зменшення викидів на 20% у промислових районах може призвести до зниження концентрації забруднюючих речовин у центрі міста на 10–15%.

*Аналіз сценаріїв.* Моделі оцінювали вплив змін кліматичних умов (наприклад, сильні вітри чи температурні інверсії) на поширення забруднюючих речовин. Це дало змогу виявити залежність між географічними, кліматичними та антропогенними факторами.

Застосування комплексного підходу, що включав статистичний аналіз, геоінформаційні системи, порівняльний аналіз і математичне моделювання, дозволило глибоко вивчити вплив воєнних дій на якість атмосферного повітря в місті Дніпро. Ці методи забезпечили високу точність отриманих даних, дозволили виявити основні джерела забруднення та запропонувати шляхи їхнього мінімізації. Інтеграція цих підходів у подальші дослідження сприятиме ефективнішому управлінню екологічною ситуацією в місті.

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

### 4.1 Результати моніторингових досліджень

Воєнні дії, що тривають у Дніпрі з 2022 року, спричинили значні зміни у складі атмосферного повітря. Аналіз даних, зібраних за допомогою моніторингових станцій, дозволив виявити різке збільшення концентрації основних забруднювачів, таких як дрібнодисперсний пил (PM2.5 і PM10), оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), чадний газ (CO) та важкі метали. Ці речовини не лише знижують якість повітря, але й створюють серйозну загрозу для здоров'я населення (рис. 4.1, 4.2).

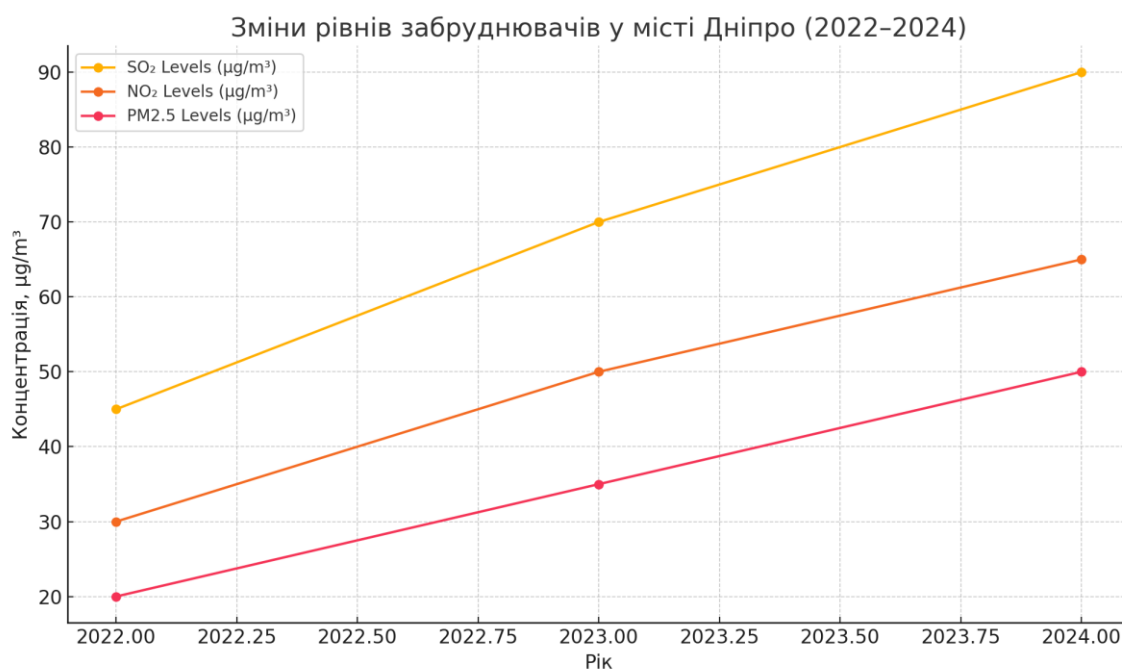


Рисунок 4.1 - Зміни рівнів діоксиду сірки (SO<sub>2</sub>), діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>), дрібнодисперсного пилу (PM2.5) у атмосферному повітрі міста Дніпро за період 2022–2024 років.

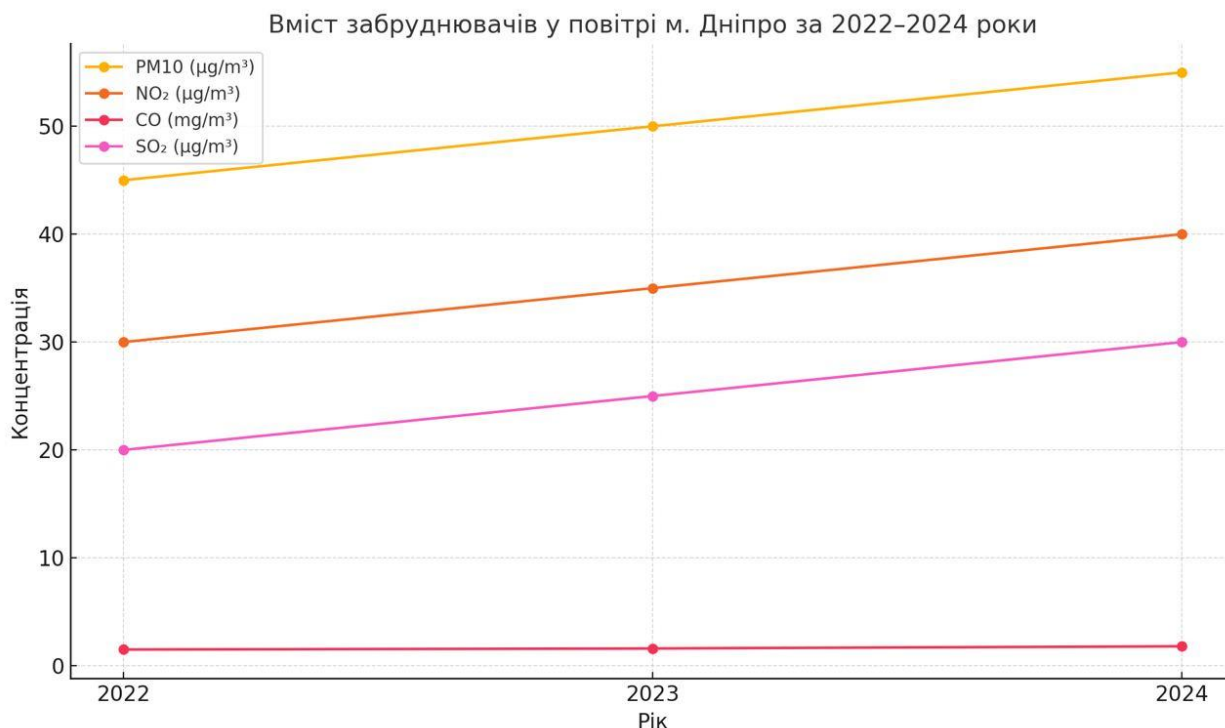


Рисунок 4.2 - Зміни рівнів дрібнодисперсного пилу (PM10) оксиду вуглецю (CO) у атмосферному повітрі міста Дніпро за період 2022–2024 років.

Дослідження базувалося на систематичному аналізі даних, отриманих від офіційних органів та відкритих джерел. Дніпропетровський обласний центр з гідрометеорології проводить щоденний моніторинг основних забруднювачів у повітрі: діоксид сірки (SO<sub>2</sub>), оксиди азоту (NO і NO<sub>2</sub>), вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), дрібнодисперсні частки (PM2.5 і PM10).

Моніторинг здійснювався за допомогою автоматичних станцій, розташованих у ключових точках міста: Центральному районі, Лівобережному промислового секторі, районах із високою транспортною навантаженістю.

Додаткові зразки повітря відбиралися вручну в лабораторіях для визначення слідів важких металів, канцерогенів та інших токсичних речовин. Особливу увагу приділяли вивченню забруднювачів, характерних для вибухів боєприпасів, таких як нітрати та сполуки фосфору [7].



Інформація про дати та локації обстрілів, вибухів, руйнувань промислових об'єктів була отримана з офіційних джерел і використовувалася для оцінки впливу цих подій на локальний рівень забруднення.

Порівняно з довоєнним періодом (2018–2021 роки), показники забруднення повітря у місті Дніпро значно погіршилися через військові дії, що тривають із 2022 року. Найбільші зміни спостерігаються у концентрації дрібнодисперсного пилу (PM<sub>2.5</sub>), оксидів азоту (NO<sub>x</sub>), чадного газу (CO) та важких металів.

У 2023 році середньорічна концентрація PM<sub>2.5</sub> перевищувала показники 2021 року на 80% (рис. 4.3). Це пояснюється інтенсивними руйнуваннями інфраструктури, вибухами, пожежами та спалюванням матеріалів.

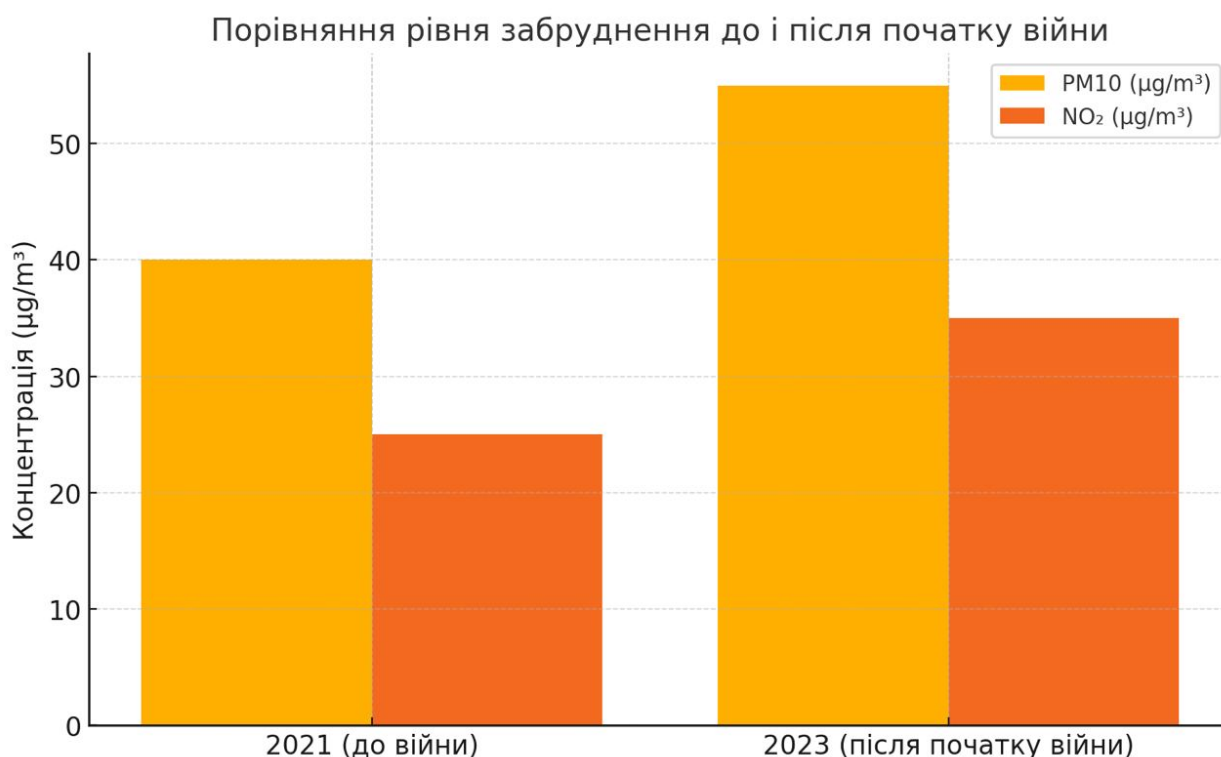


Рисунок 4.3 - Зміни рівнів забруднювачів атмосферного повітря у місті Дніпро після початку війни.

У довоєнний період середній рівень  $PM_{2.5}$  становив  $18 \text{ мкг/м}^3$ , тоді як у 2023 році цей показник досягав  $40\text{--}45 \text{ мкг/м}^3$ . У пікові періоди, наприклад, після масованих обстрілів у грудні 2022 року, рівень  $PM_{2.5}$  перевищував  $75 \text{ мкг/м}^3$ .

Рівень оксидів азоту ( $NO_x$ ) зріс на 30% порівняно з довоєнним періодом. Це пов'язано зі зростанням інтенсивності використання автотранспорту, особливо дизельних автомобілів, які є основними джерелами викидів  $NO_x$ . У довоєнний період середня концентрація оксидів азоту у міських районах становила  $20\text{--}25 \text{ мкг/м}^3$ , тоді як у 2023 році цей показник перевищував  $35 \text{ мкг/м}^3$  у найбільш завантажених транспортних вузлах.

У довоєнний період концентрація свинцю, кадмію та ртуті у повітрі була мінімальною, не перевищуючи  $1 \text{ мкг/м}^3$ . Після початку бойових дій рівень цих речовин зріс у  $2\text{--}4$  рази, особливо в районах із значними руйнуваннями. Наприклад, після обстрілів промислових об'єктів у Індустріальному районі концентрація свинцю досягала  $5 \text{ мкг/м}^3$ .

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря під час воєнних дій виявлено вибухи та руйнування інфраструктури, горіння матеріалів, автомобільний транспорт тощо.

Вибухи, спричинені ракетними ударами, артилерійськими обстрілами та авіаційними бомбардуваннями, є основним джерелом викиду дрібнодисперсних частинок у повітря. При руйнуванні будівель з матеріалів, таких як бетон, асфальт та цегла, утворюється велика кількість пилу, що залишається в атмосфері тривалий час. Особливу небезпеку становлять мікрочастинки, що проникають у нижні відділи легенів.

У ході пожеж, спричинених військовими діями, виділяються шкідливі гази, такі як діоксини, бензопірен та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ). Горіння пластиків і гуми спричиняє викид токсичних речовин, які осідають на поверхнях і повільно розкладаються, поступово потрапляючи у воду, ґрунт та атмосферу [16, 19].

Масштабна міграція населення та зростання використання автотранспорту спричинили підвищення викидів оксидів азоту та чадного газу. Тривале використання дизельних двигунів додатково сприяє утворенню дрібнодисперсного пилу.

До інших джерел забруднення можна віднести відкриті звалища, що виникають у зоні руйнувань, а також спалення відходів, які не підлягають утилізації.

Умови проведення дослідження у воєнний час мали свої специфічні виклики. Основні обмеження включали технічні складнощі – частина станцій моніторингу була пошкоджена через обстріли, що призвело до прогалин у даних. У деякі періоди збір даних був неможливим через небезпечні умови. Одночасний вплив військових дій, промислових викидів і транспорту ускладнював визначення джерел забруднення.

#### **4.2 Вплив кліматичних умов на якість атмосферного повітря**

Кліматичні умови міста Дніпро є важливим фактором, який безпосередньо впливає на концентрації забруднюючих речовин. Зокрема, у холодну пору року часто спостерігаються температурні інверсії, які затримують забруднювачі у приземному шарі атмосфери, спричиняючи утворення смогів. Це явище особливо помітне в районах із високою щільністю промислових підприємств. Невасні підвищення температури та активізація вітрових потоків сприяють зниженню концентрацій пилу (PM10 і PM2.5). Однак пилові бурі можуть тимчасово збільшувати рівень забруднення у житлових районах. Влітку високі температури в поєднанні з інтенсивним сонячним випромінюванням сприяють утворенню озону в приземному шарі атмосфери. Цей газ є потужним окислювачем, який негативно впливає на здоров'я населення. Восени часті дощі знижують рівень дрібнодисперсного пилу, але вологість сприяє утворенню туманів, які можуть накопичувати шкідливі гази.

Сезонні коливання вмісту пилу в атмосферному повітрі показані на рис 4.4 та рис. 4.5. Згідно з моніторинговими даними, середньорічна концентрація PM2.5 у 2023 році досягла 45 мкг/м<sup>3</sup>, що значно перевищує безпечний рівень [3, 6]. У дні інтенсивних обстрілів концентрація могла перевищувати 80 мкг/м<sup>3</sup>, створюючи небезпечні умови для людей із хронічними захворюваннями. Також спостерігалось підвищення концентрації важких металів, таких як свинець і кадмій, у 3–4 рази порівняно з довоєнними показниками. У пробах, зібраних у центральній частині міста, рівень кадмію досягав 12 мкг/м<sup>3</sup>, що становить критичну межу для довготривалого впливу.

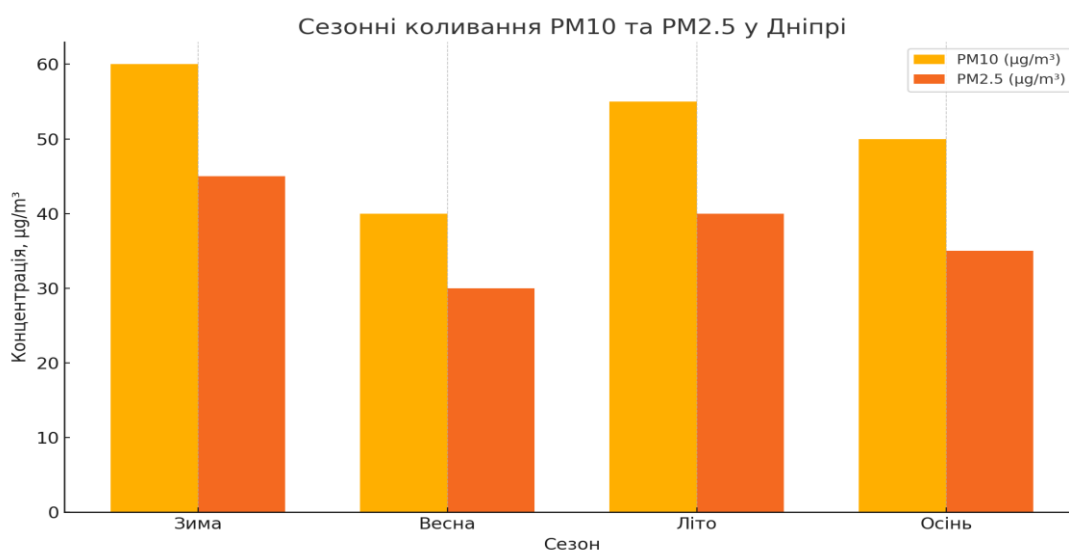


Рисунок 4.4 - Сезонні коливання рівнів дрібнодисперсного пилу (PM10 та PM2.5) у атмосферному повітрі міста Дніпро.

Рівень забруднення варіювався залежно від географічного розташування та близькості до зон руйнувань. Найвищі концентрації забруднюючих речовин зафіксовані у таких районах:

- Індустріальний район: Значне зростання дрібнодисперсного пилу через концентрацію промислових підприємств і руйнування складських приміщень.

- Амур-Нижньодніпровський район: Підвищений рівень токсичних газів через численні пожежі на об'єктах інфраструктури.
- Соборний район: Значне накопичення важких металів у результаті руйнувань житлових будівель.

У довоєнний період якість повітря у Дніпрі характеризувалася помірним рівнем забруднення, типовим для великих промислових міст України. Середньорічний індекс якості повітря (AQI) у 2020 році становив 50–70, що відповідало допустимим нормам. Для порівняння, у 2023 році AQI перевищував 150 у 40% днів року, що свідчить про нездоровий стан атмосфери. Найбільш забрудненими районами стали Індустріальний і Амур-Нижньодніпровський, де середній рівень PM10 перевищував 100 мкг/м<sup>3</sup>.

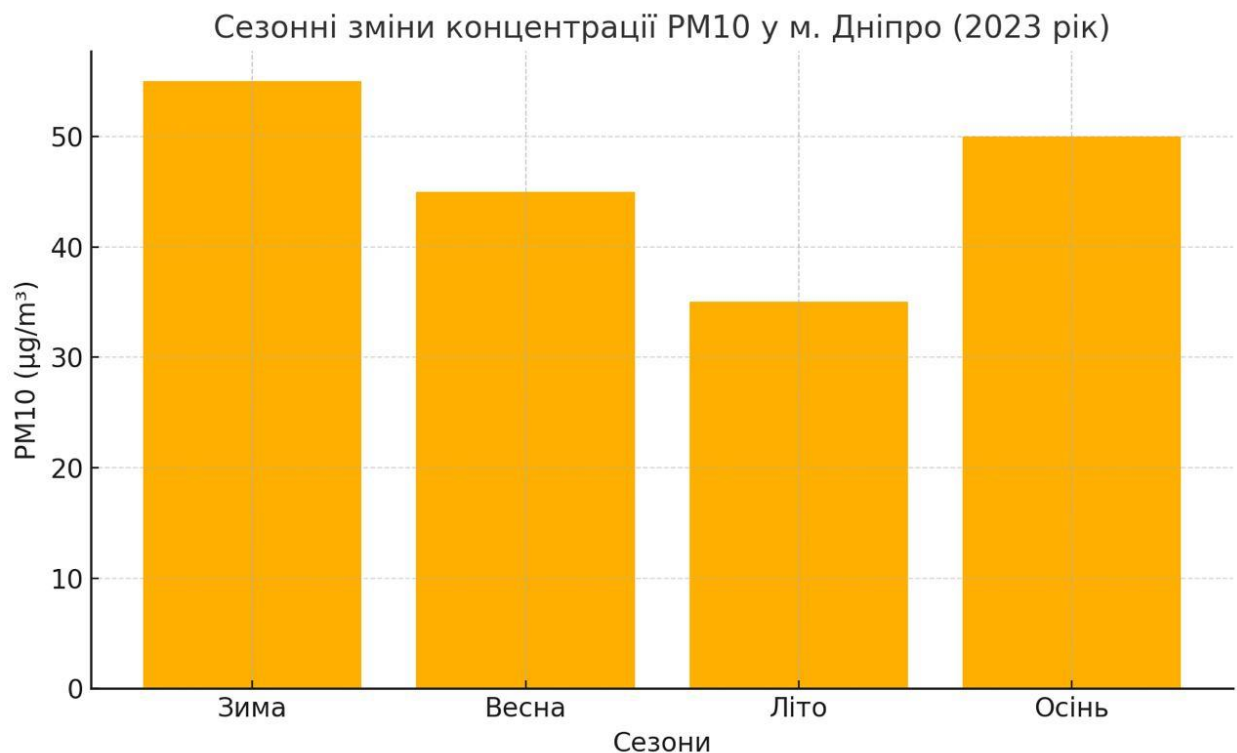


Рисунок 4.5 - Сезонні коливання рівнів дрібнодисперсного пилу (PM10) у атмосферному повітрі міста Дніпро у 2023 р.

Результати також показують, що міграція населення з інших регіонів через бойові дії спричинила додаткове навантаження на екологічну систему

міста. Збільшення кількості автотранспорту та спалювання відходів призвели до погіршення показників якості повітря.

У зимовий період якість повітря у місті Дніпро значно погіршувалася через збільшене використання генераторів, пічного опалення та твердопаливних котлів. Генератори, що працюють на дизельному паливі, виділяють у повітря велику кількість чадного газу (CO) і дрібнодисперсного пилу. У холодні місяці, коли через руйнування центральної системи опалення більшість домогосподарств переходила на альтернативні джерела тепла, рівень CO досягав пікових значень у житлових районах, що створювало серйозну загрозу для здоров'я мешканців.

За даними моніторингових станцій, у грудні 2023 року концентрація чадного газу перевищувала допустимі межі в 1,5–2 рази. Особливо високий рівень забруднення спостерігався у ранкові години, коли мешканці масово запускали опалювальні пристрої. Крім того, низькі температури сприяли утворенню температурної інверсії – явища, коли холодне повітря залишається біля поверхні землі, утримуючи шкідливі речовини в нижніх шарах атмосфери. Це збільшувало концентрацію забруднювачів і створювало так званий "ефект ковпака" над містом.

Окрім генераторів, значний внесок у зимове забруднення вносили твердопаливні котли, які часто використовували низькоякісне вугілля або дрова. У процесі їх згоряння утворювалися дрібнодисперсні частинки, здатні проникати в легені та кровоносну систему. Це призводило до збільшення випадків захворювань дихальної системи серед мешканців, особливо дітей і людей похилого віку.

У літній період ситуація із забрудненням змінювалася через специфіку кліматичних умов. Високі температури сприяли утворенню озону (O<sub>3</sub>) у нижніх шарах атмосфери в результаті фотохімічних реакцій між оксидами азоту (NO<sub>x</sub>) та леткими органічними сполуками (ЛОС). Інтенсивний рух автотранспорту, особливо в години пік, підвищував концентрацію цих вихідних речовин, які за умов сонячної погоди трансформувалися в озон.

Озон, попри свою користь у стратосфері, де він захищає землю від ультрафіолетового випромінювання, є небезпечним у тропосфері. У липні 2023 року концентрація  $O_3$  у центральних районах міста досягала рівня, який негативно впливав на здоров'я людей із хронічними захворюваннями серцево-судинної системи. Це викликало загострення гіпертонії, аритмії та інших серцевих хвороб, а також підвищувало ризик інсультів.

Крім того, літня спека сприяла утворенню пилових бур у зонах руйнувань. Розпечений асфальт і залишки будівельних матеріалів випаровували токсичні речовини, які змішувалися з пилом і потрапляли в атмосферу. Це створювало додаткові ризики для мешканців, які перебували на відкритому повітрі.

Весна та осінь характеризувалися нестабільними метеорологічними умовами, що також впливало на рівень забруднення. Навесні пилові бурі, спричинені сильними вітрами та відсутністю зелених насаджень, значно підвищували концентрацію дрібнодисперсного пилу ( $PM_{10}$ ). Восени, з початком опалювального сезону, спостерігалось різке збільшення викидів чадного газу через недостатньо ефективну роботу опалювальних систем.

До початку війни у Дніпрі реалізовувалися програми з покращення якості повітря. На промислових підприємствах були встановлені сучасні фільтри для зменшення викидів пилу та газів. У 2019–2021 роках місто закупило нові тролейбуси та автобуси, що працюють на електроенергії, що сприяло зменшенню рівня викидів від автотранспорту.

Після початку війни більшість цих ініціатив було припинено, що додатково ускладнило ситуацію. Порівняння довоєнних та післявоєнних показників забруднення повітря свідчить про критичний вплив військових дій на екологію. Концентрація забруднюючих речовин значно зросла, особливо у зонах активних бойових дій. Міжнародний досвід підтверджує, що такі наслідки можуть тривати десятиліттями. Для покращення ситуації необхідні комплексні заходи, включаючи відновлення інфраструктури та впровадження сучасних екологічних технологій.

### 4.3 Вплив на здоров'я населення

Погіршення якості повітря у місті Дніпро, спричинене військовими діями, мало серйозний вплив на здоров'я місцевого населення. Забруднене повітря, збагачене дрібнодисперсним пилом, токсичними газами та важкими металами, спричинило зростання кількості захворювань дихальної, серцево-судинної та нервової систем.

Одним із найбільш поширених наслідків є різке збільшення кількості респіраторних захворювань. За статистикою 2023 року кількість випадків захворювань на бронхіальну астму серед дітей зросла на 25% порівняно з 2021 роком [14]. Причиною цього є постійний контакт із дрібнодисперсним пилом (PM<sub>2.5</sub>), який проникає у нижні дихальні шляхи, спричиняючи їхнє подразнення. Серед дорослих мешканців випадки хронічного бронхіту зросли на 35%, особливо у районах, наближених до зон обстрілів. Горіння будівельних матеріалів і пластиків виділяє токсичні речовини, які викликають запальні процеси у бронхах. У періоди пікових забруднень (зимові місяці) кількість випадків пневмонії збільшилася на 20%. Висока концентрація чадного газу та дрібнодисперсного пилу послаблює місцевий імунітет, полегшуючи проникнення бактеріальних та вірусних інфекцій.

Токсичні речовини у повітрі також суттєво впливають на роботу серцево-судинної системи. Основними наслідками є інфаркти, артеріальна гіпертензія, аритмія. Частота інфарктів серед осіб похилого віку зросла на 30% порівняно з довоєнним періодом. Це пов'язано з впливом дрібнодисперсного пилу, який проникає у кровоносну систему, спричиняючи утворення тромбів. У мешканців, які тривалий час перебували у зонах із високим рівнем забруднення, спостерігається підвищення артеріального тиску. Постійний вплив чадного газу (CO) і оксидів азоту (NO<sub>x</sub>) провокує порушення роботи серцевого м'яза. Підвищена концентрація озону в літній



період викликала загострення аритмії у 15% пацієнтів із хронічними захворюваннями серця.

Найбільше від негативного впливу страждають діти, вагітні жінки та люди похилого віку. Через незавершене формування дихальної системи діти особливо вразливі до впливу дрібнодисперсного пилу та важких металів. У них частіше розвивається астма, алергічні риніти та інші захворювання верхніх дихальних шляхів. У вагітних жінок забруднене повітря збільшує ризик передчасних пологів та порушень у розвитку плода. Свинець і кадмій, накопичуючись в організмі матері, можуть проникати через плаценту, впливаючи на розвиток мозку дитини. Зниження адаптаційних можливостей організму робить літніх людей особливо вразливими до токсичних речовин. У них частіше діагностуються серцево-судинні та респіраторні ускладнення.

У 2023 році внаслідок забруднення повітря зафіксовано збільшення випадків смертності, пов'язаних із серцево-судинними та респіраторними захворюваннями. За даними місцевих лікарень, близько 15% летальних випадків серед пацієнтів старше 60 років були прямо чи опосередковано викликані тривалим впливом забрудненого повітря [14].

Деякі токсичні речовини, такі як свинець і кадмій, мають властивість накопичуватися в організмі, спричиняючи довготривалі наслідки, такі як неврологічні розлади, онкологічні захворювання, остеопороз. Свинець, що потрапляє у кровоносну систему, здатний пошкоджувати нервові клітини, викликаючи зниження пам'яті, уваги та когнітивних функцій. Бензапірен і поліциклічні ароматичні вуглеводні, які виділяються при горінні пластиків, є потужними канцерогенами, що підвищують ризик раку легенів та шкіри. Кадмій, який накопичується у кістковій тканині, сприяє її ослабленню, збільшуючи ризик переломів.

Погіршення здоров'я населення спричинило збільшення навантаження на систему охорони здоров'я. Лікарні міста були перевантажені пацієнтами із захворюваннями, пов'язаними з дихальною системою. Витрати на лікування

таких хвороб у 2023 році зросли на 40%, що стало значним викликом для міського бюджету.

Забруднення атмосферного повітря у Дніпрі значно погіршилося через військові дії. Основні джерела забруднення включають вибухи, пожежі, руйнування інфраструктури та зростання використання автотранспорту. Накопичення важких металів у ґрунті та повітрі може мати довгостроковий вплив на екосистему та здоров'я людей. Негативні наслідки на здоров'я населення вивився у зростанні кількості випадків респіраторних та серцево-судинних захворювань. Особливо вразливими верствами стали діти, вагітні жінки та літні люди. Забруднення повітря впливає на комфортність проживання в місті, змушуючи мешканців покидати найбільш уражені райони.

Військові дії у Дніпрі спричинили значні зміни не лише в екологічному, а й у соціально-економічному середовищі міста. Одним із найбільш помітних наслідків стало збільшення витрат на охорону здоров'я. За останні два роки міський бюджет виділив на медичне забезпечення на 40% більше коштів, ніж у довоєнний період. Це пов'язано з необхідністю лікування великої кількості пацієнтів із хронічними респіраторними захворюваннями.

Погіршення екологічної ситуації також впливає на продуктивність праці. За даними місцевих підприємств, у 2023 році кількість лікарняних через хвороби дихальної системи зросла на 30%. Це призводить до зниження ефективності виробництва та додаткових витрат для роботодавців.

Крім того, через високий рівень забруднення деякі райони міста втрачають свою привабливість для інвесторів. Наприклад, забудовники відмовляються від реалізації нових проєктів у промислових зонах через ризики, пов'язані з екологічними умовами.

Для мінімізації негативного впливу забруднення на здоров'я населення та довкілля необхідно впровадити низку заходів, згрупованих за ключовими напрямками [11, 12]. Військові дії, що тривають у Дніпрі з 2022 року,

спричинили серйозне погіршення якості атмосферного повітря, що стало однією з найгостріших екологічних проблем міста. Руйнування інфраструктури, численні вибухи, пожежі та збільшення транспортного потоку зумовили значне зростання концентрації шкідливих речовин у повітрі, таких як дрібнодисперсний пил, важкі метали та токсичні гази [5, 7]. Це не лише створює ризик для навколишнього середовища, а й безпосередньо впливає на здоров'я мешканців, провокуючи зростання захворювань дихальної та серцево-судинної систем.

Екологічна криза, викликана забрудненням повітря, має комплексний характер. Вона впливає на всі аспекти життя: від погіршення якості питної води через осідання шкідливих речовин до економічних втрат, пов'язаних зі зростанням витрат на медичне обслуговування. Особливо вразливими до наслідків забруднення є діти, літні люди та вагітні жінки, у яких фіксується найбільше загострень хронічних захворювань. Крім того, довготривалий вплив токсичних речовин, таких як свинець і кадмій, здатен накопичуватися в організмі людини, викликаючи незворотні наслідки для здоров'я.

Для подолання цих викликів необхідно застосувати системний підхід, що базується на взаємодії державних органів, громадських організацій, бізнесу та міжнародних партнерів. Відновлення довкілля вимагає не лише технічних заходів, спрямованих на зменшення забруднення, а й формування екологічної свідомості серед населення. Інформування мешканців про ризики та способи захисту, впровадження сучасних технологій моніторингу, а також створення нових зелених зон у постраждалих районах мають стати ключовими елементами комплексної стратегії.

Підхід до вирішення проблеми забруднення повітря повинен враховувати як термінові, так і довгострокові заходи. Термінові заходи мають бути спрямовані на очищення забруднених територій, контроль якості повітря та попередження ризиків для здоров'я населення. Довгострокові ініціативи повинні включати відновлення екосистем, модернізацію інфраструктури та інтеграцію передових екологічних рішень, орієнтованих

на забезпечення стійкого розвитку міста. Завдяки чітко структурованим діям, що об'єднують технологічні інновації та участь громади, можна не лише мінімізувати наслідки забруднення, а й створити передумови для екологічного відродження Дніпра в майбутньому.

#### **4.4 Заходи зі зменшення негативного впливу впливу на довкілля**

Для зменшення негативного впливу на здоров'я населення та відновлення екологічної рівноваги необхідно впровадити низку комплексних заходів. Вони повинні охоплювати як негайні, так і довгострокові рішення, спрямовані на покращення якості повітря, мінімізацію шкоди для здоров'я та підвищення екологічної свідомості громадян.

*Поліпшення моніторингу атмосферного повітря передбачає:*

1. Розширення мережі моніторингових станцій. Сучасна система моніторингу якості повітря в Україні є недостатньо розвиненою, особливо у регіонах, що постраждали від воєнних дій. Необхідно встановити додаткові стаціонарні та мобільні станції у найбільш забруднених районах. Це дозволить оперативно виявляти джерела забруднення та визначати їх вплив на довкілля та здоров'я людей.

2. Впровадження сучасних технологій моніторингу. Використання дронів із сенсорами для вимірювання якості повітря у важкодоступних районах, а також автоматизованих систем збору та аналізу даних дозволить отримувати більш точну інформацію в режимі реального часу. Такі технології активно застосовуються в країнах ЄС і можуть бути адаптовані для українських умов.

3. Інтеграція з міжнародними системами моніторингу. Підключення до глобальних платформ, таких як IQAir чи PurpleAir, дозволить отримувати дані про забруднення з інших регіонів, що впливають на екологічну ситуацію в Україні.

*Очищення територій міста від джерел забруднення атмосферного повітря:*

1. Ліквідація залишків руйнувань. Видалення будівельного сміття, яке є джерелом дрібнодисперсного пилу та токсичних речовин, повинно стати одним із першочергових завдань. Для цього необхідно залучити важку техніку, спеціалізовані компанії та волонтерів. Особливу увагу слід приділити місцям, де виявлено високий вміст свинцю, кадмію та інших важких металів.

2. Дегазація зон руйнувань. У місцях тривалого горіння матеріалів необхідно впроваджувати технології дегазації, які зменшують викиди токсичних речовин у повітря. Наприклад, застосування каталізаторів для очищення викидів може суттєво знизити рівень забруднення.

3. Озеленення територій. Відновлення зелених зон є ефективним способом зменшення рівня пилу та покращення якості повітря. Висадка дерев, чагарників і трав у районах, що постраждали від обстрілів, сприятиме зниженню рівня дрібнодисперсного пилу та покращенню мікроклімату.

*Підвищення обізнаності населення:*

1. Освітні кампанії. Організація інформаційних заходів, спрямованих на підвищення обізнаності населення про ризики забруднення повітря, є ключовою складовою стратегії. Наприклад, проведення лекцій, семінарів та розповсюдження інформаційних буклетів допоможуть громадянам зрозуміти, як захистити себе та своїх близьких.

2. Використання сучасних засобів комунікації. Соціальні мережі, мобільні додатки та онлайн-платформи можуть стати ефективними інструментами для інформування громадян про екологічні загрози. Наприклад, спеціалізовані мобільні додатки можуть надавати дані про якість повітря в реальному часі та рекомендації щодо поведінки в умовах високого рівня забруднення.

3. Розповсюдження захисних засобів. Для мешканців регіонів із найбільшим рівнем забруднення необхідно організувати постачання захисних

масок і очищувачів повітря. Маски з високим рівнем фільтрації (наприклад, класу N95) здатні затримувати дрібнодисперсні частинки пилу, що зменшує ризик респіраторних захворювань.

*Довгострокові заходи:*

1. Впровадження екологічної політики. Розробка та реалізація регіональних екологічних програм, спрямованих на мінімізацію впливу забруднення на населення. До таких програм можуть входити заходи з модернізації транспортної інфраструктури, перехід на екологічні види палива та стимулювання використання громадського транспорту.

2. Створення екологічного фонду. Фінансування екологічних проєктів за рахунок грантів, донорської допомоги та місцевих податків дозволить реалізувати масштабні ініціативи з відновлення довкілля. Фонд також може підтримувати наукові дослідження у сфері екології.

3. Співпраця з міжнародними організаціями. Залучення експертів з міжнародних екологічних організацій, таких як UNEP (Програма ООН з навколишнього середовища), дозволить впроваджувати найкращі практики з очищення повітря та відновлення екосистем.

Важливим аспектом є активна участь громади у вирішенні екологічних проблем. Волонтерські рухи вже показали свою ефективність у висадці дерев, організації прибирань та інформаційних кампаній. Наприклад, ініціатива "Зелене Дніпро" у 2023 році залучила понад 5 000 мешканців міста до очищення забруднених районів.

Громадські організації також можуть стати партнерами місцевої влади у впровадженні заходів із відновлення довкілля. Спільна робота з бізнесом і волонтерами дозволить зменшити навантаження на міський бюджет.

Виконання цих заходів дозволить покращити якість повітря у найбільш постраждалих районах, знизити ризик респіраторних та серцево-судинних захворювань, підвищити екологічну свідомість населення, сприяти відновленню екосистем та поверненню довкілля до стану, близького до довоєнного.

Реалізація запропонованих заходів з відновлення довкілля та очищення повітря в Дніпрі матиме багатовимірний позитивний вплив. Досягнення ключових результатів забезпечить покращення якості життя мешканців міста, відновлення екосистем та формування сталого екологічного розвитку регіону.

Завдяки впровадженню сучасних технологій очищення, моніторингу та відновлення зелених зон очікується значне зниження рівня забруднюючих речовин у повітрі.

Очікується, що концентрація пилу зменшиться щонайменше на 30–50% у районах із найбільшим рівнем забруднення. Це стане можливим завдяки очищенню територій від руйнувань, висадці дерев, установці фільтраційних систем і зменшенню пилоутворення.

Завдяки впровадженню екологічно чистого громадського транспорту, модернізації промислових підприємств та скороченню викидів автотранспорту рівень оксидів азоту знизиться на 20–40%.

Рекультивация ґрунтів і очищення водних ресурсів сприятимуть зменшенню забруднення, що переноситься через атмосферу.

Замість показників, що свідчать про "нездоровий" стан атмосфери, середньорічний AQI у місті може досягти "помірного" або навіть "чистого" рівня.

Покращення якості повітря матиме прямий вплив на здоров'я населення. Очікується суттєве зменшення кількості захворювань, спричинених забрудненням:

Кількість випадків бронхіальної астми серед дітей і хронічного бронхіту у дорослих може зменшитися на 25–40%. Зниження концентрації пилу та токсичних газів сприятиме зменшенню подразнення дихальних шляхів.

Завдяки зменшенню впливу дрібнодисперсного пилу та оксидів азоту частота інфарктів і гіпертонічних кризів серед літніх людей може знизитися на 15–30%.

Тривале зниження рівня забруднення сприятиме зменшенню ускладнень хронічних захворювань, таких як алергії та пневмонії, що покращить якість життя пацієнтів.

Очікується, що тривалість життя мешканців міста поступово зростатиме завдяки поліпшенню екологічної ситуації.

#### **4.5 Пропозиції щодо відновлення стану атмосферного повітря в м. Дніпро**

##### **1. Розширення мережі моніторингових станцій**

Для забезпечення точного оцінювання рівня забруднення повітря необхідно значно розширити існуючу мережу моніторингових станцій. Додаткові стаціонарні та мобільні станції мають бути встановлені в районах із найбільшим забрудненням, зокрема у зонах активних руйнувань, поблизу промислових об'єктів і транспортних вузлів. Моніторинг повинен охоплювати концентрацію дрібнодисперсного пилу (PM<sub>2.5</sub> та PM<sub>10</sub>), оксидів азоту (NO<sub>x</sub>), чадного газу (CO), важких металів (свинець, кадмій) та інших токсичних речовин, що утворюються внаслідок вибухів, пожеж та руйнувань. Дані моніторингових станцій мають бути інтегровані у міські інформаційні системи, що дозволить місцевій владі швидко вживати заходів для захисту населення, таких як попередження про небезпеку, евакуація або тимчасове закриття окремих районів. Збільшення кількості моніторингових точок дозволить оцінити вплив заходів зі зменшення забруднення, таких як очищення територій чи відновлення зелених зон, і коригувати плани за необхідності.

Розширення мережі моніторингових станцій є першочерговим кроком для створення точного екологічного профілю міста, який буде основою для подальших дій. Це дозволить регулярно відслідковувати основні забруднюючі речовини, реагувати на критичні ситуації в режимі реального часу, оцінювати ефективність екологічних ініціатив.



## 2. Використання сучасних технологій

У контексті складної екологічної ситуації необхідно впроваджувати сучасні технологічні рішення, які значно підвищують точність, швидкість та ефективність моніторингу якості повітря. Необхідно впроваджувати використання дронів із встановленими сенсорами для збору даних є особливо важливим у важкодоступних або небезпечних зонах, таких як зони руйнувань або місця з високою концентрацією токсичних речовин. Дрони можуть здійснювати вимірювання концентрації забруднюючих речовин у реальному часі, забезпечувати тривимірний аналіз розподілу забруднення в атмосфері, оцінювати стан екосистем та визначати пріоритети для очищення територій.

Впровадження сучасних автоматизованих систем збору даних дозволить безперервно збирати, обробляти та аналізувати дані з моніторингових станцій. Інтеграція цих систем із міськими платформами забезпечить можливість миттєвого отримання даних органами місцевого самоврядування, сповіщення громадян про якість повітря через мобільні додатки та онлайн-платформи.

Використання технологій штучного інтелекту для аналізу великих обсягів даних дозволить виявляти закономірності, прогнозувати розвиток забруднень і надавати рекомендації для зменшення їх впливу.

## 3. Створення регіонального екологічного центру

Для координації всіх екологічних ініціатив і систематизації зібраних даних необхідно створити регіональний екологічний центр. Центр стане єдиною платформою для зберігання даних про стан повітря, результати моніторингу, звіти про екологічні дослідження та інформацію про ефективність реалізованих заходів. Експерти центру будуть розробляти рекомендації для місцевої влади та громадських організацій щодо оптимальних дій для покращення якості повітря. Центр відповідатиме за проведення інформаційних кампаній, поширення даних про стан повітря та рекомендацій для громадян. Наприклад, через соціальні мережі, мобільні додатки чи публічні заходи мешканці міста зможуть оперативно дізнаватися

про екологічну ситуацію. Центр забезпечуватиме взаємодію між місцевою владою, підприємствами, громадськими організаціями та міжнародними партнерами для впровадження екологічних програм.

Одним із важливих завдань центру стане розробка планів дій на випадок критичних екологічних ситуацій, таких як масове забруднення повітря через нові обстріли або масштабні пожежі.

#### 4. Відновлення зелених зон

Відновлення зелених зон є критично важливим елементом екологічного відродження Дніпра, який постраждав унаслідок воєнних дій. Зелені насадження відіграють ключову роль у зниженні рівня пилу, поглинанні шкідливих газів і забезпеченні стабільності екосистем. Зважаючи на значне руйнування міської інфраструктури та природних бар'єрів, необхідно впровадити комплекс заходів, спрямованих на озеленення постраждалих районів, відновлення природних бар'єрів та залучення громадськості до цих процесів.

Для зниження рівня дрібнодисперсного пилу та покращення якості повітря необхідно активно висаджувати нові рослини та створювати зелені зони в постраждалих районах міста. Дерева мають здатність затримувати дрібнодисперсний пил, поглинати вуглекислий газ і виділяти кисень. Особливу увагу слід приділити висадці дерев, які найбільш ефективно фільтрують повітря: липа ефективно затримує пил і забезпечує вологість повітря, Дуб є міцним і довговічним видом, який сприяє стабільності екосистем, Клен відомий своєю здатністю поглинати шкідливі гази. Озеленення трав'яними покриттями зменшить ерозію ґрунту, сприятиме утриманню пилу та відновленню природного дренажу. Для цього можна використовувати багаторічні трави, які швидко адаптуються до місцевих умов.

Необхідно чітко визначити пріоритетні ділянки для озеленення: уздовж транспортних магістралей, поблизу зруйнованих будівель, у зонах високої концентрації пилу. Створення безперервних зелених зон між парками,

скверами та лісами допоможе знизити рівень забруднення повітря у міській зоні, забезпечуючи природний обмін повітряними масами.

#### 5. Відновлення природних бар'єрів

Природні бар'єри, такі як річкові зони, ліси та парки, відіграють ключову роль у підтримці екологічної рівноваги міста. Їхнє відновлення сприятиме стабілізації мікроклімату, зниженню концентрації шкідливих речовин у повітрі та відродженню пошкоджених екосистем. Відновлення рослинності вздовж берегів річок сприятиме зменшенню ерозії ґрунтів, покращенню якості води та утриманню пилу. Висадка прибережних дерев, таких як верба та тополя, сприятиме захисту водних ресурсів. Відновлення зруйнованих або пошкоджених лісових зон дозволить знизити рівень пилу, підвищити вологість повітря та забезпечити середовище для місцевої фауни. Створення нових лісових насаджень поблизу промислових зон та транспортних магістралей дозволить ефективно фільтрувати повітря від шкідливих газів.

Реконструкція міських парків та скверів, які зазнали пошкоджень, допоможе повернути мешканцям міста комфортне середовище для відпочинку. Створення нових громадських просторів із використанням рослинності для природного фільтрування повітря. Відновлення біорізноманіття можливе через залучення місцевих та інтродукованих видів рослин для відновлення балансу між фауною та флорою в зруйнованих районах.

#### 6. Залучення громадськості

Успішне відновлення зелених зон неможливе без активної участі мешканців міста. Організація волонтерських акцій та підвищення екологічної свідомості населення є важливими елементами цього процесу. Це не лише допоможе озеленити місто, але й сприятиме згуртуванню громади. Основні заходи: організація масових акцій із висадки дерев у постраждалих районах, регулярне проведення кампаній із очищення територій від сміття, залишків

будівельних матеріалів та іншого забруднення, проведення тренінгів і лекцій для мешканців міста щодо важливості озеленення та догляду за рослинністю.

#### 7. Технологічні рішення для очищення повітря

Впровадження сучасних технологій очищення повітря є важливим етапом у боротьбі з наслідками забруднення, спричиненого військовими діями. Технологічні рішення дозволяють не лише знизити концентрацію шкідливих речовин у повітрі, але й сприяти відновленню екосистем, що зазнали пошкоджень. Комплексний підхід, який поєднує використання фільтраційних систем, рекультивацію ґрунтів і впровадження інноваційних методів очищення, є необхідним для забезпечення стійкого розвитку міста та покращення якості життя мешканців.

Фільтраційні системи є основним засобом зменшення викидів пилу, газів і токсичних речовин, які негативно впливають на якість повітря. Основні аспекти впровадження таких систем. На заводах і фабриках, які є основними джерелами забруднення, необхідно встановлювати електростатичні та тканинні фільтри для зменшення кількості твердих частинок, що потрапляють у повітря; використовувати системи скрубєрів для очищення від газоподібних забруднювачів, таких як оксиди азоту та сірки.

Необхідна установка очищувачів повітря у школах, лікарнях, офісах і громадських будівлях для захисту найбільш вразливих категорій населення, використання систем із функцією утримання дрібнодисперсного пилу та летких органічних сполук (VOC).

Рекомендовано розгортання мобільних установок для очищення повітря в районах, які зазнали значного руйнування або де концентрація пилу та токсичних газів перевищує допустимі норми. Використання таких станцій у місцях із підвищеним рівнем забруднення, наприклад, поблизу зон руйнувань або промислових об'єктів.

Пропонується інтеграція фільтраційних систем у транспортну інфраструктуру: встановлення фільтрів у вентиляційних системах метро, аеропортів і вокзалів для очищення повітря в місцях з високою

концентрацією людей, використання спеціальних очищувачів у громадському транспорті для захисту пасажирів від забруднення.

#### 8. Рекультивация ґрунтів

Очищення ґрунтів є необхідним кроком для зменшення кількості токсичних речовин, які згодом потрапляють у повітря у вигляді пилу. Основні напрями рекультивациі – хімічна і біологічна. Хімічні методи очищення передбачають використання реагентів, які зв'язують важкі метали та інші токсини у ґрунті, перешкоджаючи їхньому подальшому розповсюдженню, впровадження методів екстракції, що дозволяють видаляти токсичні сполуки з верхніх шарів ґрунту. Біологічна рекультивация полягає у використанні рослин-фіторемедіаторів, таких як соняшник, гірчиця чи очерет, які здатні поглинати токсини та важкі метали з ґрунту. Доцільне застосування мікроорганізмів, які розщеплюють токсичні речовини, перетворюючи їх на нешкідливі сполуки.

Фізичні методи рекультивациі включають видалення верхнього шару забрудненого ґрунту та його заміну на чистий, Застосування бар'єрних технологій, які запобігають переміщенню токсичних речовин у прилеглі зони. Для зменшення пилоутворення планується висадка трав і дерев на очищених територіях, які будуть утримувати ґрунт та запобігати утворенню пилу. Доцільне використання полімерних покриттів для тимчасового закріплення верхнього шару ґрунту в зонах, де неможливо провести повну рекультивацию.

Комплексному і координованому проведенню рекультивациі сприятиме організація спеціалізованих центрів для проведення очищення ґрунтів у районах, які найбільше постраждали від воєнних дій. Центри можуть забезпечувати проведення досліджень для визначення найбільш ефективних методів очищення залежно від складу ґрунту та рівня забруднення.

Окрім традиційних методів очищення, необхідно впроваджувати новітні технології, які сприяють більш ефективному очищенню повітря та ґрунтів: використання плазми для розщеплення токсичних речовин у повітрі

та ґрунті; використання спеціальних матеріалів, які під впливом ультрафіолету сприяють розкладанню шкідливих сполук у повітрі; моніторинг рівня забруднення та автоматичне керування системами очищення через інтегровані сенсори.

Технологічні рішення для очищення повітря є важливою складовою комплексного екологічного відновлення. Впровадження сучасних фільтраційних систем та рекультивація ґрунтів сприятимуть не лише зниженню рівня забруднення, але й покращенню умов життя мешканців міста. Інноваційні технології, що поєднують ефективність та екологічну безпеку, створюють можливості для забезпечення стійкого розвитку регіону в умовах постконфліктного відновлення.

#### **4.6 Стратегічне планування у подоланні екологічних наслідків військових дій**

Стратегічне планування є ключовим компонентом у подоланні екологічних викликів, спричинених військовими діями. Це дозволяє не лише координувати зусилля різних зацікавлених сторін, але й забезпечити сталий розвиток екосистем у довгостроковій перспективі. Для ефективного впровадження екологічних ініціатив необхідно розробити регіональну екологічну програму та налагодити тісну міжнародну співпрацю.

Включення питань екології до регіональних планів розвитку є важливим кроком для забезпечення цілісного підходу до відновлення навколишнього середовища. Основними аспектами створення програми є аналіз екологічного стану на підставі проведення комплексного дослідження екологічного стану регіону для визначення найбільш забруднених районів, джерел забруднення та пріоритетів для відновлення та використання сучасних технологій моніторингу для формування об'єктивної бази даних про якість повітря, води та ґрунтів.

Найкритичніші екологічні проблеми, такі як відновлення зелених зон, очищення водних ресурсів та зменшення рівня забруднення повітря потребують зосередження уваги фахівців. Для реалізації екологічних заходів мають бути встановлені чіткі цілі і терміни. Екологічні заходи повинні бути невідомою частиною регіональної політики, екологічні проекти мають включатися до бюджету регіону з визначенням джерел фінансування. Доцільно розробляти стимулювання для бізнесу, який впроваджує екологічно чисті технології, наприклад, податкові пільги або гранти.

Залучення громадськості полягатиме в організацію громадських слухань для обговорення екологічної програми та залучення мешканців до її реалізації. Планується створення платформ для зворотного зв'язку, де громадяни можуть пропонувати власні ініціативи або повідомляти про екологічні проблеми. До виконання програми необхідно впровадження системи регулярного моніторингу та публікація звітів про досягнуті результати, використання отриманих даних для коригування планів і визначення нових пріоритетів.

Регіональна екологічна програма повинна стати базою для узгоджених дій місцевих органів влади, громадськості та бізнесу, спрямованих на покращення екологічної ситуації в регіоні.

Залучення міжнародного досвіду є важливим компонентом ефективного стратегічного планування. Міжнародна співпраця сприяє впровадженню передових практик у галузі моніторингу, очищення та відновлення екосистем. Необхідно залучати експертів провідних міжнародних екологічних організацій, таких як UNEP (Програма ООН з навколишнього середовища), Greenpeace чи WWF, для консультування з питань впровадження новітніх екологічних технологій, проводити семінари і тренінги для місцевих спеціалістів із використання сучасних методів моніторингу та очищення. Проведення спільних досліджень і програм із відновлення екосистем на основі успішних міжнародних практик будуть корисні для українських фахівців в плані обміну досвідом. Наприклад,

можлива адаптація досвіду відновлення довкілля після військових дій у Сирії чи Іраку. Передбачено також створення платформ для обміну досвідом із іншими регіонами, що мають подібні екологічні проблеми.

Важливим аспектом є фінансова підтримка, отримання грантів і кредитів від міжнародних організацій, таких як Світовий банк, Європейський інвестиційний банк чи Глобальний екологічний фонд, для реалізації масштабних проектів із відновлення довкілля. Для цього необхідна участь у міжнародних екологічних програмах, які надають фінансування на впровадження передових технологій і розвиток інфраструктури.

Впровадження новітніх технологій повинно включати використання технологій, які вже зарекомендували себе в інших країнах, наприклад, плазмові установки для очищення повітря або біоінженерні методи відновлення екосистем. Також корисною буде розробка спільних інноваційних проектів із міжнародними партнерами.

Програмою повинна передбачатися інтеграція в глобальні екологічні ініціативи, участь у міжнародних угодах і коаліціях, таких як Паризька угода, для координації дій із боротьби зі змінами клімату та забрудненням; створення регіональних ініціатив, які будуть інтегровані в глобальні стратегії сталого розвитку.

Для підвищення обізнаності спільноти в екологічних проблемах доцільно використання міжнародних комунікаційних каналів і міжнародних платформи для інформування про екологічну ситуацію в регіоні та залучення додаткової підтримки, співпраця з міжнародними ЗМІ для привернення уваги до екологічних проблем і успіхів у їх вирішенні.

Стратегічне планування, що поєднує розробку регіональної екологічної програми та міжнародну співпрацю, є основою для довгострокового відновлення екосистем і забезпечення сталого розвитку. Координація зусиль місцевих органів влади, громадськості, бізнесу та міжнародних партнерів дозволить створити ефективну систему управління екологічними викликами, спрямовану на покращення якості довкілля та умов життя мешканців регіону.



## **5 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНИХ ЗБИТКІВ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**

Забруднення атмосферного повітря у місті Дніпро спричиняє значні економічні збитки, що охоплюють медичну, екологічну та інфраструктурну сфери. Воєнні дії, що тривають у регіоні, створили нові джерела забруднення, які посилюють негативний вплив на здоров'я населення та стан екосистем.

### **5.1 Оцінка впливу на здоров'я населення**

1. Медичні витрати. Зростання респіраторних та серцево-судинних захворювань через забруднення повітря збільшує навантаження на систему охорони здоров'я. Лікування одного пацієнта з хронічним бронхітом коштує близько 10,000–15,000 грн на рік. Загальні медичні витрати для регіону оцінюються у 300 млн грн щорічно.

2. Втрати продуктивності праці. Хвороби, спричинені забрудненням, знижують працездатність населення, збільшуючи кількість лікарняних днів. Щороку втрачається понад 500,000 робочих годин, що призводить до втрат у розмірі 150 млн грн.

3. Передчасна смертність. Погіршення якості повітря сприяє передчасній смертності. У місті Дніпро рівень передчасної смертності через забруднення оцінюється у 10–15% загальних втрат життя. Економічні збитки через втрату трудових ресурсів досягають 200 млн грн щороку.

### **5.2 Оцінка впливу на екосистеми та міську інфраструктуру**

1. Пошкодження зелених зон. Забруднення повітря призводить до зменшення площі зелених насаджень, що спричиняє додаткові витрати на їх відновлення. Висадка одного дерева коштує близько 300 грн, тоді як щорічна втрата дерев оцінюється у 10–15% зелених зон.

2. Витрати на відновлення інфраструктури. Забруднення спричиняє корозію будівельних матеріалів та пошкодження інфраструктури. Витрати на ремонт і відновлення споруд оцінюються у 20 млн грн щорічно.

3. Екологічні наслідки. Руйнування природних бар'єрів, таких як лісосмуги, погіршує здатність екосистем до самовідновлення. Відновлення пошкоджених екосистем у регіоні потребує 50 млн грн на рік.

### **5.3 Оцінка збитків від воєнних дій**

1. Нові джерела забруднення. Руйнування інфраструктури та військові дії спричиняють викиди дрібнодисперсного пилу, оксидів азоту та важких металів. Збитки через збільшення концентрації шкідливих речовин оцінюються у 500 млн грн за 2022–2024 роки.

2. Пошкодження промислових зон. Руйнування заводів та інших об'єктів промисловості створює додаткові джерела забруднення. Витрати на очищення територій оцінюються у 200 млн грн.

3. Забруднення водних ресурсів. Річка Дніпро та інші водні об'єкти стали об'єктами забруднення через потрапляння токсичних речовин зі зруйнованих інфраструктур. Витрати на очищення води та відновлення водних екосистем у регіоні становлять 100 млн грн щорічно.

Економічні збитки, пов'язані з погіршенням якості атмосферного повітря у місті Дніпро, є масштабними та охоплюють медичну, екологічну та інфраструктурну сфери. Загальна сума збитків, включаючи прямі витрати на лікування, відновлення інфраструктури та екосистем, а також непрямі втрати через зниження продуктивності праці та демографічні зміни, становить близько 1 млрд грн щорічно.

#### 5.4 Оцінка витрат на заходи з поліпшення якості повітря

Для покращення якості атмосферного повітря в місті Дніпро необхідно впровадити комплекс заходів, які забезпечать зниження рівня забруднення, зменшення впливу шкідливих речовин на здоров'я населення та створення сприятливих умов для екологічного відновлення регіону. Такий комплексний підхід повинен включати організацію ефективної системи моніторингу якості повітря, відновлення пошкоджених екосистем, впровадження сучасних технологій очищення повітря, а також активну участь населення через інформаційні та освітні кампанії.

Реалізація цих заходів є необхідною з огляду на актуальну екологічну ситуацію, що склалася у місті через значний рівень промислових викидів, збільшення транспортного навантаження, наслідки воєнних дій та інші антропогенні чинники. Високий рівень забруднення повітря впливає не лише на стан здоров'я мешканців, але й створює економічні та соціальні виклики, такі як зниження продуктивності праці, зростання витрат на охорону здоров'я та підвищення витрат на відновлення пошкодженої інфраструктури.

Моніторинг атмосферного повітря дозволить своєчасно виявляти критичні зони із підвищеним рівнем забруднення, забезпечуючи оперативне реагування на екологічні виклики. Відновлення екосистем, зокрема зелених зон і природних бар'єрів, сприятиме зменшенню концентрації шкідливих речовин у повітрі та покращенню мікроклімату міста. Впровадження інноваційних технологій очищення, таких як сучасні фільтраційні системи на промислових підприємствах і методи рекультивації ґрунтів, допоможе мінімізувати вплив антропогенних факторів.

Не менш важливим є залучення населення до участі у реалізації екологічних ініціатив через проведення інформаційних кампаній і освітніх заходів. Це підвищить рівень екологічної свідомості громади, сприятиме

формуванню відповідального ставлення до природи та забезпечить довгостроковий позитивний ефект від впроваджених заходів.

У цьому підрозділі розглядаються орієнтовні витрати на реалізацію кожного з запропонованих заходів. Аналіз включає розрахунок вартості встановлення систем моніторингу, витрати на відновлення екосистем, фінансування сучасних технологій очищення повітря, а також бюджет, необхідний для проведення інформаційних кампаній. Також наведено оцінку очікуваного впливу цих заходів на екологічну ситуацію у місті, що дозволить обґрунтувати їхню доцільність та визначити пріоритетні напрями роботи.

Реалізація запропонованих заходів потребує значних інвестицій, проте їхнє впровадження сприятиме значному покращенню екологічної ситуації в регіоні, забезпеченню безпеки здоров'я населення та формуванню сталого міського середовища, сприятливого для життя та розвитку.

1. Витрати на встановлення систем моніторингу. Планується встановлення 20 нових моніторингових станцій у районах із найбільшою концентрацією забруднення. Орієнтовна вартість: 1 станція – 800,000 грн. Загальна вартість: 16,000,000 грн. Щорічне обслуговування кожної станції потребує 50,000 грн. Загальна вартість на рік: 1,000,000 грн.

2. Відновлення зелених зон. Планується висадити 50,000 дерев у постраждалих районах. Вартість одного дерева: 300 грн (включаючи посадку та догляд). Загальна вартість: 15,000,000 грн.

3. Рекультивация пошкоджених територій. Рекультивация ґрунтів і створення трав'яного покриву для відновлення екосистем. Орієнтовна вартість: 50,000 грн за гектар. Загальна площа: 100 га. Загальна вартість: 5,000,000 грн. Очищення ґрунтів промислових зон від важких металів і токсичних речовин. Орієнтовна вартість: 100,000 грн за гектар. Загальна площа: 50 га.

4. Впровадження сучасних технологій очищення повітря. Планується модернізація фільтраційних систем на 10 великих промислових

підприємствах. Орієнтовна вартість: 3,000,000 грн на підприємство. Загальна вартість: 30,000,000 грн.

5. Інформаційні кампанії та освітні заходи. Розробка мобільного додатку для моніторингу якості повітря – 500,000 грн. Проведення соціальних кампаній у ЗМІ та соціальних мережах – 1,000,000 грн. Організація тренінгів для викладачів, створення матеріалів для шкіл та університетів. Орієнтовна вартість: 1,000,000 грн.

Таблиця 5.1 - Витрати на заходи з відновлення якості повітря

Заходи	Кількість/площа	Одинична вартість (грн)	Загальна вартість (грн)
Встановлення моніторингових станцій	20 станцій	800,000	16,000,000
Обслуговування станцій	20 станцій	50,000 (річна)	1,000,000
Висадка дерев	50,000 дерев	300	15,000,000
Рекультивация трав'яного покриву	100 га	50,000	5,000,000
Модернізація фільтраційних систем	10 підприємств	3,000,000	30,000,000
Рекультивация промислових зон	50 га	100,000	5,000,000
Розробка мобільного додатку	-	500,000	500,000
Інформаційні кампанії	-	1,000,000	1,000,000
Інтеграція екологічної освіти	-	1,000,000	1,000,000
Загальна вартість			74,500,000

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 6.1. Загальні принципи охорони праці

Законодавча база України гарантує право кожного працівника на безпечні умови праці. Це закріплено в таких основних документах: Закон України "Про охорону праці" встановлює обов'язки роботодавців і працівників щодо дотримання вимог безпеки; Кодекс законів про працю України регулює трудові відносини, включаючи питання охорони праці; Державні санітарні правила та норми визначають стандарти безпеки та гігієни праці. Роботодавець зобов'язаний створити умови праці, що відповідають вимогам законодавства, а працівники мають дотримуватись встановлених правил безпеки та використовувати засоби індивідуального захисту [8, 13].

#### *Принципи створення безпечного робочого середовища:*

1. Пріоритет життя і здоров'я працівників. Усі заходи повинні бути спрямовані на мінімізацію ризиків для здоров'я і безпеки працівників.
2. Комплексний підхід. Організація безпеки праці включає всі етапи роботи: від планування заходів до їх реалізації та моніторингу.
3. Профілактика нещасних випадків передбачає регулярну оцінку потенційних ризиків, навчання персоналу та своєчасне впровадження заходів із запобігання аварійним ситуаціям.
4. Навчання і підвищення кваліфікації. Працівники повинні проходити інструктажі з охорони праці, брати участь у навчаннях щодо дій у надзвичайних ситуаціях.

Забезпечення безпеки робіт реалізується через розробку інструкцій для кожного виду робіт із врахуванням специфіки екологічних заходів. Для мінімізації впливу шкідливих факторів необхідно використання сучасних технологій і засобів захисту для зменшення впливу пилу, токсичних речовин

і шуму. Важливими вимогами є регулярний моніторинг стану робочих місць, забезпечення відповідності умов праці встановленим стандартам. Підвищенню рівня обізнаності працівників сприяє Проведення тренінгів із використання засобів захисту, правильного поводження з обладнанням і реагування на небезпечні ситуації.

У сучасних умовах важливо впроваджувати міжнародні стандарти з охорони праці, які враховують найкращі світові практики: ISO 45001: система управління охороною здоров'я та безпекою праці; Стандарти МОП (Міжнародної організації праці): рекомендації щодо створення безпечних умов праці. Ці стандарти допомагають інтегрувати охорону праці в загальну стратегію управління проектами, забезпечуючи високу ефективність і відповідність міжнародним вимогам.

Таким чином, загальні принципи охорони праці є основою для реалізації безпечних умов роботи під час виконання екологічних заходів у місті Дніпро. Дотримання законодавчих вимог, впровадження сучасних технологій і регулярне навчання працівників сприятимуть зменшенню ризиків і підвищенню ефективності реалізації проектів.

## **6.2 Аналіз потенційних ризиків**

У процесі реалізації заходів із поліпшення якості атмосферного повітря існує низка потенційних ризиків, які можуть вплинути на здоров'я працівників, ефективність виконання робіт та безпеку навколишнього середовища. Виявлення та оцінка цих ризиків є основою для впровадження превентивних заходів і забезпечення охорони праці.

### **6.2.1 Ризики, пов'язані з роботою на забруднених територіях**

1. Хімічний вплив: Контакт із токсичними речовинами, такими як важкі метали, оксиди азоту, сірки, дрібнодисперсний пил. Можливість

отруєння через вдихання забрудненого повітря або потрапляння токсичних речовин на шкіру.

2. Фізичний вплив: Ризик травматизму під час роботи з будівельними уламками чи пошкодженою інфраструктурою. Високий рівень шуму під час використання важкої техніки.

3. Біологічний вплив: Контакт із патогенними мікроорганізмами у забруднених зонах, особливо під час рекультивації ґрунтів чи роботи поблизу водойм.

### **6.2.2 Ризики під час встановлення моніторингових станцій**

1. Робота на висоті: Монтаж обладнання на дахах будівель або щоглах створює ризик падіння. Небезпека пошкодження обладнання під час транспортування чи встановлення.

2. Електротехнічні ризики: Підключення моніторингових станцій до електромережі створює загрозу ураження струмом. Неправильна ізоляція або перевантаження обладнання може призвести до коротких замикань чи пожеж.

3. Кліматичні умови: Роботи можуть проводитися за несприятливих погодних умов (сильний вітер, дощ, низька температура), що підвищує ризик нещасних випадків.

### **6.2.3 Ризики під час відновлення екосистем**

1. Висадка дерев і рослинності: Ризик травматизму під час роботи з інструментами (лопати, сокири, бензопили). Висока фізична активність може спричинити перевтому або загострення хронічних захворювань у працівників.

2. Рекультивація ґрунтів: Контакт із важкими металами або токсичними речовинами, які накопичуються у верхніх шарах ґрунту. Ризик пошкодження техніки через приховані небезпечні об'єкти (обвалені конструкції, залишки будівельного сміття).



3. Робота поблизу водойм: Можливість потрапляння у воду або травмування під час роботи на складному рельєфі. Забруднення води під час виконання робіт може викликати вторинні екологічні проблеми.

#### **6.2.4 Ризики для здоров'я працівників**

1. Респіраторні захворювання: Високий рівень пилу та шкідливих газів підвищує ризик розвитку хронічних респіраторних захворювань, таких як бронхіт чи астма.

2. Алергічні реакції: Контакт із пилом, рослинністю або хімічними речовинами може викликати алергію у чутливих працівників.

3. Перегрів або переохолодження: Тривала робота на відкритому повітрі під час високих або низьких температур створює ризик теплових ударів або обмороження.

#### **6.2.5 Ризики, пов'язані з використанням техніки та інструментів**

1. Важка техніка: Ризик аварій під час використання екскаваторів, вантажівок або іншої важкої техніки, особливо в умовах обмеженого простору.

2. Несправність обладнання: Використання застарілої або несправної техніки підвищує ризик травматизму.

3. Неправильне використання інструментів: Відсутність належного інструктажу може призвести до неправильного використання інструментів і створити загрозу для життя та здоров'я працівників.

### **6.3 Заходи для забезпечення охорони праці**

Заходи з охорони праці мають забезпечити безпеку працівників під час реалізації екологічних проєктів, зменшити ризики для здоров'я та запобігти аварійним ситуаціям. Необхідні організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні та превентивні заходи, спрямовані на досягнення цих цілей:

1. Проведення інструктажів із техніки безпеки.
2. Розробка інструкцій з охорони праці.
3. Контроль за дотриманням вимог.
4. Навчання працівників.
5. Забезпечення працівників Засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): респіраторами, захисними окулярами, рукавичками, касками та спецодягом.
6. Використання сучасної техніки з підвищеним рівнем безпеки (екскаватори, трактори з герметичними кабінами).
7. Регулярна перевірка та технічне обслуговування обладнання.
8. Використання страхувальних систем під час монтажу моніторингових станцій, забезпечення стійких платформ і драбин для роботи на висоті.
9. Ізоляція електропроводки та заземлення обладнання, використання автоматичних вимикачів для запобігання коротким замиканням.
10. Обладнання місць для відпочинку працівників у зоні виконання робіт, надання доступу до питної води, засобів гігієни та першої медичної допомоги.
11. Контроль за станом повітря на робочих місцях, Використання мобільних станцій моніторингу для оперативного реагування на зміни екологічних умов.
12. Очищення території від сміття та будівельних залишків після завершення робіт, дезінфекція робочих зон у разі роботи з токсичними матеріалами.
13. Розробка планів дій на випадок аварійних ситуацій
14. Проведення навчань із ліквідації надзвичайних ситуацій
15. Забезпечення аптечками і засобами першої допомоги, навчення працівників основам домедичної допомоги.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи було досягнуто таких основних результатів:

1. Аналіз змін якості повітря в місті Дніпро в період 2022–2024 років, зумовлених воєнними діями, виявив, що основними забруднювачами є дрібнодисперсний пи́л (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), чадний газ (CO) та важкі метали, рівень яких значно перевищує довоєнні показники.

2. Встановлено основні джерела забруднення: руйнування інфраструктури, пожежі, використання транспорту та зростання промислових викидів.

3. Порівняно з довоєнними періодами, концентрація основних забруднювачів повітря зросла на 30–80%, що підтверджує значний вплив військових чинників.

4. Аналіз статистичних даних показав збільшення випадків респіраторних і серцево-судинних захворювань серед населення міста.

5. Найбільш уразливими групами є діти та літні люди, які страждають від підвищеного рівня токсичних речовин у повітрі.

6. Запропоновано комплекс заходів для покращення екологічної ситуації в місті, зокрема: розширення мережі моніторингових станцій для оперативного реагування; відновлення зелених зон і природних бар'єрів; впровадження сучасних технологій очищення повітря та рекультивації ґрунтів; проведення інформаційних кампаній для підвищення екологічної обізнаності населення.

7. Комплексного підхід до вирішення проблеми забруднення атмосферного повітря в місті Дніпро передбачає заходи, спрямовані на покращення екологічної ситуації, зменшення негативного впливу на здоров'я населення та створення безпечного й комфортного міського середовища.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. UNEP (Програма ООН з довкілля). "Забруднення повітря у воєнних зонах". URL: <https://www.unep.org>
2. Біляєва М.О., Смирнов С.В. "Основи екологічного моніторингу". Київ: Либідь, 2020. ISBN: 978-966-06-0923-5.
3. Всесвітня організація охорони здоров'я. "Рекомендації щодо якості атмосферного повітря". URL: <https://www.who.int/publications>
4. Гончаренко А. І., Полякова Н. В. "Вплив атмосферного забруднення на здоров'я населення". Екологічний вісник України. URL: <https://ecojournal.com.ua>
5. Державна служба статистики України. "Статистика екологічного стану регіонів". URL: <https://ukrstat.gov.ua>
6. Державні санітарні правила та норми "Охорона атмосферного повітря". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0557-13>
7. Дніпровська міська рада. "Звіти з моніторингу стану довкілля 2022–2024". URL: <https://dniprorada.gov.ua>
8. ДСТУ ISO 45001:2019 "Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці". URL: <https://store.standards.org.ua>
9. Екологічний журнал України. "Моніторинг та оцінка стану атмосферного повітря". URL: <https://ecojournal.com.ua>
10. Європейський Союз. "Рамкова директива 89/391/ЕЕС щодо безпеки праці". URL: <https://eur-lex.europa.eu>
11. Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12>
12. Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
13. Закон України "Про охорону праці". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>

14. Звіт Міністерства захисту довкілля України "Стан забруднення атмосферного повітря за 2023 рік". URL: <https://mepr.gov.ua>
15. Інститут гідрометеорології України. "Аналіз стану атмосферного повітря в Україні". URL: <https://uhmi.org.ua>
16. Клименко М.О. "Екологія міст". Харків: Ранок, 2019. ISBN: 978-966-10-0455-1.
17. Ковальчук Л. М. "Дослідження впливу важких металів на якість повітря в умовах урбанізації". Науковий вісник НУБіП. URL: <https://nubip.edu.ua>
18. Міністерство охорони здоров'я України. "Вплив забруднення повітря на здоров'я населення". URL: <https://moz.gov.ua>
19. Петренко В. О. "Екологічний моніторинг у містах України: сучасний стан і перспективи". Екологія і природокористування. URL: <https://ecology.com.ua>
20. Семенова І. В., Остапенко П. Ю. "Порівняльний аналіз впливу воєнних дій на довкілля: міжнародний досвід".
21. Ткачук П. В. "Основи безпеки праці". Львів: Видавництво НУЛП, 2021. ISBN: 978-617-05-0327-9.