

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Навчально-науковий інститут екології  
Кафедра екології та менеджменту довкілля

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

### ТЕНДЕНЦІЇ ФОРМУВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА (НА ПРИКЛАДІ М. ЗАПОРІЖЖЯ)

Виконала: студентка 2 курсу, групи ЗДЕ-72  
спеціальності: 101 «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Автор \_\_\_\_\_ Ольга ЛІТВІН  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник \_\_\_\_\_ Наталія РИЧАК  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я та прізвище)

*«До захисту допущено»*

В. о. завідувача кафедри \_\_\_\_\_ Андрій АЧАСОВ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ Валентина ШАПОВАЛОВА  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК \_\_\_\_\_ Світлана БУРЧЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2022 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Інститут: Навчально – науковий інститут екології  
Кафедра: екології та менеджменту довкілля  
Рівень вищої освіти: магістр  
Спеціальність: 101 «Екологія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В. о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_/проф. Андрій АЧАСОВ  
(підпис) (ім'я та прізвище)  
« 20 » квітня 2022 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Ользі ЛІТВИН  
(ім'я та прізвище)

Тема роботи: Тенденції формування рівня забруднення атмосферного повітря  
урбанізованого середовища (на прикладі м. Запоріжжя)

керівник роботи Наталія РИЧАК, кандидат географічних наук, доцент  
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «10» листопада 2022 року № 4301-5/1990

2. Строк подання студентом роботи «24» листопада 2022 року

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1. провести розрахунки індексів забруднення атмосфери та комплексного індексу забруднення атмосфери м. Запоріжжя;
2. провести розрахунки метеорологічного потенціалу атмосфери м. Запоріжжя;
3. оцінити рівень та динаміку забруднення повітря у м. Запоріжжя;
4. надати рекомендації щодо покращення якості атмосферного повітря м. Запоріжжя.

#### 4. План роботи.

№ з/п	Назва етапів роботи
1	Огляд літературних джерел та існуючих досліджень з даної тематики.
2	Опанування методики дослідження.
3	Написання теоретичної частини роботи.
4	Проведення розрахунків метеорологічного потенціалу атмосфери та індексів забруднення атмосфери.
5	Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя в динаміці.
6	Надання рекомендацій.
7	Написання висновків.

#### 5. Дата видачі завдання « 20 » квітня 2022 року

<b>Студент</b>	_____	<b>Ольга ЛІТВІН</b>
	(підпис)	(ім'я, прізвище)
<b>Керівник роботи</b>	_____	<b>Наталія РИЧАК</b>
	(підпис)	(ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

**ТЕНДЕНЦІЇ ФОРМУВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО  
ПОВІТРЯ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА (НА ПРИКЛАДІ  
М. ЗАПОРІЖЖЯ)**

Ольга ЛІТВІН

Кваліфікаційна робота «Тенденції формування рівня забруднення атмосферного повітря урбанізованого середовища (на прикладі м. Запоріжжя)» містить 41 сторінку, 4 розділи, 6 таблиць, 15 рисунків, 34 використаних джерела.

*Мета роботи:* визначити тенденції формування рівня забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя.

*Актуальність роботи.* Запоріжжя є одним з найбільш навантажених міст України за промисловим потенціалом, що обумовлено наявністю великої кількості промислових підприємств, де простежується тенденція до збільшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Останнім часом кількість захворювань, які виникають в результаті вдихання забрудненого повітря у м. Запоріжжя, досягає критичних значень. Проблема забруднення атмосферного повітря у даному місті є дуже актуальною та потребує невідкладного вирішення уже багато років, адже стан здоров'я населення напряму залежить від якості повітря.

*Завдання* полягали у проведенні розрахунків індексів забруднення атмосфери, комплексного індексу забруднення атмосфери та метеорологічного потенціалу атмосфери м. Запоріжжя, оцінці рівня та динаміки забруднення повітря, наданні рекомендацій щодо покращення якості атмосферного повітря м. Запоріжжя.

*Методи:* аналітичний та статистичний методи обробки інформації.

*Результати:* в ході дослідження тенденцій формування забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя виявлено, що рівень забруднення повітря у місті є досить високий, просліджується тенденція перевищення гранично-допустимих концентрацій за показником діоксиду азоту, формальдегіду та фенолу протягом трьох досліджуваних років, стан атмосфери за 2018 рік відповідає слабо забрудненій, за 2019 та 2020 роки – забрудненій атмосфері. Тобто йде тенденція до

погіршення якості атмосферного повітря міста. Тому доцільно впроваджувати заходи для мінімізації забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя.

Результати роботи представлено на XVIII Всеукраїнських наукових Галіівських читаннях.

АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, ІНДЕКС ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ, ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМА КОНЦЕНТРАЦІЯ, ВИКИДИ, МЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ АТМОСФЕРИ

## ANNOTATION

# TENDENCIES OF FORMATION OF THE LEVEL OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN THE URBAN ENVIRONMENT (ON THE EXAMPLE OF ZAPORIZHZHIA)

Olga LITVIN

The qualification work «Trends in the formation of the level of atmospheric air pollution in the urban environment (on the example of the city of Zaporizhzhia)» contains 41 pages, 4 sections, 6 tables, 15 figures, 34 used source.

*The purpose* of the work: to determine the trends in the formation of the level of atmospheric air pollution in the city of Zaporizhzhia.

*Relevance of work.* Zaporizhzhia is one of the busiest cities in Ukraine in terms of industrial potential, which is due to the presence of a large number of industrial enterprises, where there is a tendency to increase emissions of pollutants into the atmospheric air. Recently, the number of diseases that arise as a result of breathing in polluted air in the city of Zaporizhzhia has reached critical values. The problem of atmospheric air pollution in this city is very urgent and needs an urgent solution for many years, because the state of health of the population directly depends on the quality of the air.

*The tasks* consisted in conducting calculations of atmospheric pollution indices, a comprehensive index of atmospheric pollution and the meteorological potential of the atmosphere of the city of Zaporizhzhia, assessing the level and dynamics of air pollution, providing recommendations for improving the quality of atmospheric air in the city of Zaporizhzhia.

*Methods:* analytical and statistical methods of information processing.

*Results:* during the study of trends in the formation of atmospheric air pollution in the city of Zaporizhzhia, it was found that the level of air pollution in the city is quite high, the trend of exceeding the maximum permissible concentrations based on the indicator of nitrogen dioxide, formaldehyde and phenol during the three years under study, the state of the atmosphere in 2018 corresponds to slightly polluted, for 2019 and 2020 – polluted atmosphere. That is, there is a tendency towards deterioration of the

quality of atmospheric air in the city. Therefore, it is advisable to implement measures to minimize atmospheric air pollution in the city of Zaporizhzhia.

The results of the work were presented at the 18th All-Ukrainian Scientific Thaliiv Readings.

ATMOSPHERIC AIR, INDEX OF ATMOSPHERIC POLLUTION, LIMIT ALLOWABLE CONCENTRATION, EMISSIONS, METEOROLOGICAL POTENTIAL OF THE ATMOSPHERE

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1 Особливості географічного розташування та кліматичних умов м. Запоріжжя.....	11
1.2 Характеристика джерел забруднення та їх викидів в атмосферне повітря у м. Запоріжжя.....	12
1.3 Вплив забрудненого повітря на стан здоров'я населення.....	15
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ЗАПОРІЖЖЯ.....	18
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ЗАПОРІЖЖЯ.....	20
3.1 Результати розрахунків метеорологічного потенціалу атмосфери для м. Запоріжжя.....	20
3.2 Результати дослідження динаміки викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря м. Запоріжжя.....	26
3.3 Результати розрахунків індексів забруднення атмосфери для м. Запоріжжя.....	31
РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ М. ЗАПОРІЖЖЯ .....	35
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

## ВСТУП

**Актуальність дослідження.** Запоріжжя є одним з найбільш навантажених міст України за промисловим потенціалом, що обумовлено наявністю великої кількості промислових підприємств, де простежується тенденція до збільшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Останнім часом кількість захворювань, які виникають в результаті вдихання забрудненого повітря у м. Запоріжжя, досягає критичних значень. Проблема забруднення атмосферного повітря у даному місті є дуже актуальною та потребує невідкладного вирішення уже багато років, адже стан здоров'я населення напряму залежить від якості повітря.

**Мета дослідження** – визначити тенденції формування рівня забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя.

Для досягнення поставленої мети було вирішено такі **завдання**:

- провести розрахунки індексів забруднення атмосфери та комплексного індексу забруднення атмосфери м. Запоріжжя;
- провести розрахунки метеорологічного потенціалу атмосфери м. Запоріжжя;
- оцінити рівень та динаміку забруднення повітря у м. Запоріжжя;
- надати рекомендації щодо покращення якості атмосферного повітря м. Запоріжжя.

**Об'єкт дослідження** – забруднення атмосферного повітря урбанізованого середовища.

**Предмет дослідження** – взаємозв'язки між забруднювачами атмосферного повітря в урбанізованому середовищі та формування тенденцій рівня забруднення.

**Основна гіпотеза** – передбачається, що аналіз забруднення атмосферного повітря дозволить виявити тенденції формування рівнів його забруднення для м. Запоріжжя і, як наслідок, призведе до визначення та обґрунтування першочергових заходів для покращення екологічного стану у місті.

**Наукова новизна одержаних результатів:** в результаті дослідження отримано результати, які відображають рівень забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя за 2018-2020 рр., визначено тенденції формування рівня забруднен-

ня атмосферного повітря м. Запоріжжя та надано рекомендації для покращення його якості.

**Методи дослідження:** аналітичний та статистичний методи обробки інформації.

**Практичне значення отриманих результатів:** результати спостереження можуть бути використані як основа для дослідження подальших закономірностей забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя та задіяні для розробки стратегій щодо покращення його якості.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1 Особливості географічного розташування та кліматичних умов м. Запоріжжя

Запоріжжя – місто обласного значення у Запорізькій області, п'яте за величиною серед міст України, площа якого складає 331 км<sup>2</sup>. Дане місто розташовано на лівому та правому березі р. Дніпро та являється одним з найбільших адміністративних і промислових центрів країни. Протяжність р. Дніпро в межах Запоріжжя становить 24,2 км [1]. Місто розташоване на півночі Запорізької області. У Запоріжжі сконцентровано майже 65 % продуктивних потужностей області та 43 % населення.

Центральна частина міста включає Вознесенівський, Олександрівський та частину Дніпровського району, які розміщені на лівому березі Дніпра. Промислові підприємства розташовуються переважно у Заводському районі, житлові масиви знаходяться на незначній відстані від промзони. У Вознесенівському районі також зосереджені 43 підприємства промисловості. Інші райони міста вважаються міськими околицями, переважно спальними [1]. Так, як основні промислові підприємства близько розташовані до жилих забудов, які розташовані в межах СЗЗ, димка смогу є частим явищем над містом.

Основним типом ґрунтів Запоріжжя є чорнозем. Типовий рельєф – хвиляста рівнина з розвинутою яружно-балочною мережею з перепадом висот до 30-50 м, що здійснює вплив на структуру потоку повітря. Характерний тип рельєфу ускладнює умови розсіювання викидів підприємств в атмосферне повітря та погіршує вентиляцію території [2, 3].

Клімат території – континентальний, місто розташоване в південній кліматичній області, для якої характерні виражені посушливі суховії влітку. Літо у Запоріжжі сухе та спекотне з переважаючим південним напрямом вітру. Літній період, зазвичай, починається з початку травня і триває до кінця вересня або початку жовтня. Зима у місті помірно м'яка з майже постійною відсутністю сніж-

ного покриву [1]. Весна починається з першої половини березня і є дуже короткою тому, що відбувається інтенсивне наростання тепла [4].

Для м. Запоріжжя характерними є дефіцит вологи та надлишок тепла. Рівень вологозабезпечення достатньо низький, тому територія міста належить до посушливої зони. Річна кількість опадів коливається в межах 350-400 мм. Середньорічна температура влітку складає  $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , взимку –  $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  [5].

На рисунку 1.1 відображені рози вітрів м. Запоріжжя за 2018-2020 рр. [6, 7].

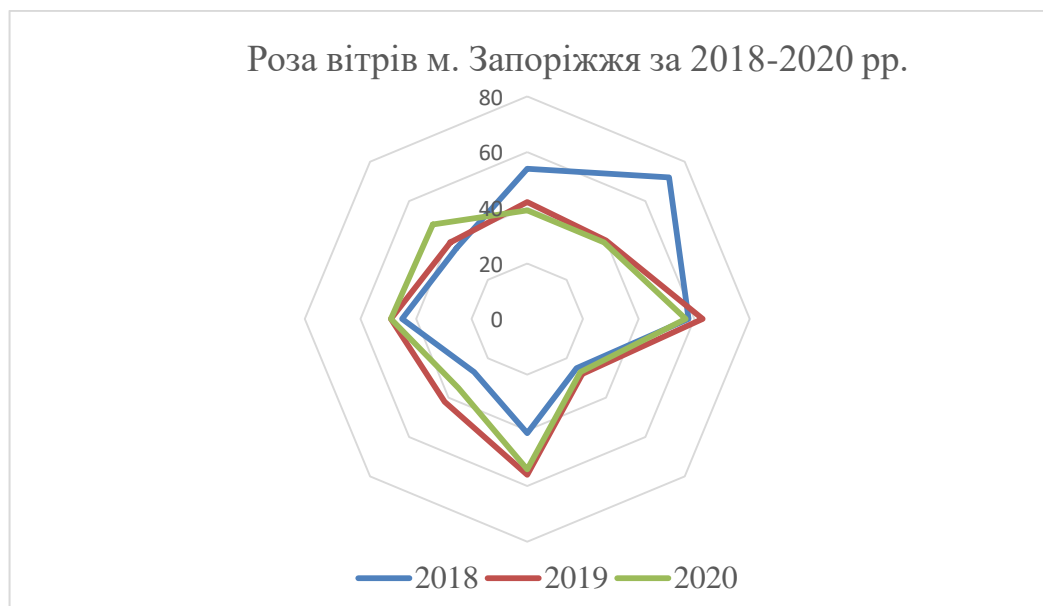


Рис. 1.1 – Рози вітрів м. Запоріжжя за 2018-2020 рр.

Аналіз рози вітрів на території міста показав, що у 2018 році переважаючими у м. Запоріжжя були вітри північно-східного напрямку, у 2019 та 2020 роках роза вітрів дуже схожа, переважали південні та східні вітри. Кількість штитів у 2018 та 2019 роках складала – 7 днів, у 2020 – 17 днів.

## 1.2 Характеристика джерел забруднення та їх викидів в атмосферне повітря у м. Запоріжжя

Запоріжжя – є четвертим за величиною промисловим мегаполісом України, на території якого нараховується приблизно 290 підприємств. У місті розмі-

щуються підприємства чорної та кольорової металургії, машинобудування, будівельної та хімічної промисловості, викиди яких складають 90 % від загального валового обсягу забруднюючих речовин та негативно впливають на стан атмосферного повітря [1, 8].

Основними забруднювачами повітря м. Запоріжжя являються такі підприємства:

- ПАТ «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь»;
- ПрАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь»;
- АТ «Запорізький завод феросплавів»;
- ТОВ «Титано-магнієвий комбінат»;
- ПАТ «Запорізький абразивний комбінат»;
- ПрАТ «Запоріжжкокс»;
- ПАТ «Мотор січ»;
- ПрАТ «Запоріжвогнетрив» тощо [1].

Використання на підприємствах застарілого устаткування та недосконалих технологій є основною причиною інтенсивного забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя сьогодні.

У таблиці 1.1 відображено динаміку обсягів викидів забруднюючих речовин найбільшими промисловими підприємствами у м. Запоріжжя за 3 роки.

Таблиця 1.1

Обсяги викидів забруднюючих речовин найбільшими промисловими підприємствами у м. Запоріжжя за 2018-2020 рр. [9, 10, 11]

Назва підприємства	Обсяги викидів, тис.т		
	2018	2019	2020
ПАТ «Запоріжсталь»	52,294	51,831	50,248
АТ «Запорізький завод феросплавів»	7,512	7,061	5,336
ПАТ «Запорізький абразивний комбінат»	2,488	2,412	1,546
ПрАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь»	0,731	0,659	0,671
ПрАТ «Запоріжжкокс»	1,804	1,625	1,523
ПрАТ «Український графіт»	1,426	1,359	1,196

## Продовження таблиці 1.1

ПрАТ «Запоріжвогнетрив»	0,281	0,307	0,366
ТОВ «Запорізький титано–магнієвий комбінат»	0,816	0,761	0,579
АТ «Мотор Січ»	0,575	0,548	0,012

Порівнюючи динаміку обсягів викидів в атмосферне повітря від найвагоміших забруднювачів м. Запоріжжя, бачимо, що просліджується загальна тенденція до їх зменшення. Найбільший внесок у забруднення повітря міста вносить промислове підприємство ПАТ «Запоріжсталь» – металургійний комбінат, який посідає в Україні перші місця по виробництву сталі.

Зниження рівня забруднення може пояснюватись тим, що у 2019 році підприємство ПАТ «Запоріжсталь», обсяги викидів якого складають більш ніж 80 % усіх викидів підприємств м. Запоріжжя, проводило модернізацію аспіраційних систем вловлювання забруднюючих речовин, тому, відповідно, це могло стати причиною зниження загальнорічних обсягів викидів від підприємств [12]. Іншою причиною є зниження обсягів виробництв основних підприємств забруднювачів [11].

На рисунку 1.2 відображено загальну динаміку обсягів викидів забруднюючих речовин від усіх стаціонарних джерел у м. Запоріжжя за 3 роки.



Рис. 1.2 – Обсяги викидів забруднюючих речовин найбільшими промисловими підприємствами у м. Запоріжжя за 2018-2020 рр. [9, 10, 11]

Основними забруднюючими речовинами, які викидають в атмосферне повітря промислові підприємства м. Запоріжжя є завислі речовини (пил), діоксид сірки, оксид вуглецю, діоксид азоту, оксиди азоту, фенол, формальдегід, фтористий та хлористий водень тощо [11].

Встановлено, що на зменшення концентрації шкідливих речовин у повітрі впливає сильний вітер та випадання атмосферних опадів, збільшення концентрації виявляється при умовах сухого повітря, штилю або слабого вітру [13].

Забруднювачі повітря класифікують за висотою викиду (низькі, середні та високі), за кількістю викидів (дуже крупні, крупні та дрібні) та температурою викиду (холодні та гарячі, тобто більші чи менші за 50 °С). Переважна частина підприємств-забруднювачів повітря міста Запоріжжя відносяться до гарячих за температурою, дуже великих за кількістю та середніх за висотою викиду [14].

Дана тематика дослідження розглядалась у наукових працях Н. Л. Ричак [15], С. В. Гришко [16], О. Ф. Рильського [17] тощо.

Аналіз наукових робіт (С. І Сніжко (2011) [18]; Т. В. Козленко (2002) [19] тощо вказує на те, що рівні забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій залежать від сукупності різноманітних факторів та чинників. У повітряному середовищі житлової зони міста, концентрація забруднюючих речовин має залежність від кліматичних умов території, географічного розташування міста, висоти джерел забруднення, віддаленості від джерел забруднення, фізичних та хімічних властивостей речовин.

### 1.3 Вплив забрудненого повітря на стан здоров'я населення

Атмосферне повітря – це частина навколишнього оточуючого середовища людини, від якості якого залежить стан її здоров'я. Постійні його забруднення впливають на загальну захворюваність населення міста. Забруднене повітря стає причиною хвороб серця, легень, знижує імунну функцію організму тощо.

Однією з найпоширеніших забруднюючих речовин повітряного середовища промислового міста є пил, який може по-різному впливати на здоров'я людини,

бо наше тіло має можливість усувати частинки більших розмірів, тоді як частинки до 2,5 мм можуть надовго затримуватись у легенях. Короткотривалий прояв може викликати такі симптоми, як: кашель, роздратування очей, ЛОР-органів, втому, важке і часте дихання, біль у грудній клітині тощо. Довготривалий вплив дрібнодисперсного пилу викликає дуже серйозні наслідки для стану здоров'я: онкологічні захворювання, астму, серцево-судинні порушення, руйнує тканини легень тощо, але найстрашніше це те, що він може викликати передчасну смерть людини. При постійному впливі, частки розміром до 2,5 мм накопичуються в організмі людини і досягають критичного рівня.

Найбільш вразливими категоріями до впливу забруднювачів повітря дрібнодисперсним пилом відносять маленьких дітей, людей з хронічними захворюваннями серця та легень, людей похилого віку [20].

Забруднення атмосферного повітря урбанізованого середовища діоксидом сірки спричиняє виникнення та прояв таких хвороб, як: бронхіальна астма, емфізема легень, хронічний бронхіт. Найбільш уразливою до впливу даної речовини категорією є діти, які не палять та не мають професійних шкідливостей.

Вплив оксиду вуглецю на організм людини викликає запаморочення та головний біль, зниження уваги, порушення сну, задишку, болі в серці тощо. Концентрації даної речовини у кількостях, які містяться в атмосферному повітрі промислових міст, спроможні погіршити стан тканинного дихання, призводить до дисфункції центральної нервової та серцево-судинної систем [21].

Дія діоксиду азоту, при підвищених його концентраціях, може стати причиною серйозного отруєння людини. Він спричиняє патологічні, функціональні та сенсорні ефекти. Дана речовина впливає на нюх, послабляє нічний зір, викликає підвищений опір дихальних шляхів. У людей, на який здійснювали вплив значні концентрації  $\text{NO}_2$ , зазвичай виникають бронхіти, пневмонія, круп та катар верхніх дихальних шляхів [22].

При підвищених концентраціях оксиду азоту у повітрі, у людини виникає блювота, з'являється сильний кашель та головна біль. Коли оксиди азоту

потрапляють у вологе середовище слизистої оболонки легень, утворюються кислоти, які стають причиною їх набряку [23].

Формальдегід є основним забруднювачем, що виражає максимальну токсичну дію серед інших забруднювачів повітря та є найголовнішим канцерогеном. Найбільшого ураження від його дії зазнають ЦНС, органи ШКТ, печінка, верхні дихальні шляхи, нирки, селезінка тощо [24].

Фенол також являється небезпечною речовиною для здоров'я людини. При вдиханні його парів можуть уражатися слизові оболонки очей, органів ШКТ та дихальних шляхів. При потраплянні його на шкіру людини виникають опіки.

Фенол має дуже сильну токсичну дію на внутрішні органи, наприклад, при впливі на ниркову систему спричиняє пієлонефрит, потрапляючи у кров, руйнує структуру еритроцитів, виникає кисневе голодування тощо.

Вдихання фенолу у значних концентраціях призводить до порушення функціонування мозкової діяльності, і, у найгіршому варіанті, може викликати зупинку дихання [25].

Отже, вплив деяких забруднюючих речовин може призводити до незворотних наслідків для здоров'я людини.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ м. ЗАПОРІЖЖЯ

З метою оцінки рівня забруднення повітря м. Запоріжжя, у роботі було розраховано індекс забруднення атмосфери, що розраховується за формулою 2.1 (Сніжка С. І.) [18].

$$ІЗА_i = (C_i / ГДК_i)^{K_i} \quad (2.1)$$

де  $C_i$  – відповідно середня концентрація забруднюючої речовини;

$ГДК_i$  – гранично-допустима середньодобова концентрація відповідної забруднюючої речовини;

$K_i$  – стала величина (константа), яка дорівнює: для речовин першого класу небезпеки – 1,7; другого класу – 1,3; третього – 1,0 та четвертого – 0,9.

Також за методикою Сніжка С. І. визначали комплексний індекс забруднення атмосфери ( $ІЗА_5$ ) м. Запоріжжя за пріоритетними речовинами на основі їх парціальних індексів за формулою 2.2 [18]:

$$ІЗА_5 = \sum_{i=1}^5 ІЗА_i \quad (2.2)$$

де  $ІЗА_i$  – парціальний індекс кожної окремої забруднюючої речовини.

Після розрахунку та отриманні значень комплексного індексу, визначається ступінь забруднення атмосфери (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Ступінь забруднення атмосфери	
Значення $ІЗА_5$	Відповідність
< 2,5	чиста
2,5 – 7,5	слабо забруднена

## Продовження таблиці 2.1

7,5 – 12,5	забруднена
12,5 – 22,5	сильно забруднена
22,5 – 52,5	значно забруднена
> 52,5	екстремально забруднена

Відповідно до методики Барановського В. [26] визначався метеорологічний потенціал атмосфери за формулою 2.3:

$$K_M = \frac{P_{ш} + P_T}{P_0 + P_B} \quad (2.3)$$

де  $P_{ш}$  – дні зі  $V$  вітру від 0 до 1 м/с (штиль);

$P_T$  – дні, коли був туман;

$P_0$  – дні з опадами  $\geq 0,5$  мм;

$P_B$  – зі  $V$  вітру  $> 6$  м/с.

Якщо отримане значення метеорологічного потенціалу менше за 1, то за таких погодних умов процеси самоочищення атмосфери переважають над процесами накопичення речовин, що її забруднюють, а коли більше за 1, то навпаки.

## РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО  
ПОВІТРЯ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА М. ЗАПОРІЖЖЯ3.1 Результати розрахунків метеорологічного потенціалу атмосфери для  
м. Запоріжжя

На основі відкритих даних погодних умов з сайтів Gismeteo [6] та Метеопост [7], у роботі було розраховано метеорологічний потенціал атмосфери м. Запоріжжя для кожного року дослідження (2018-2020 рр).

У таблиці 3.1 показані дані спостережень за метеоявищами по кожному місяцю 2018 року для м. Запоріжжя.

Таблиця 3.1

Спостереження за метеоявищами у м. Запоріжжя за 2018 рік

Місяць	$P_{ш}, \%$	$P_{в}, \%$	$P_{о}, \%$	$P_{т}, \%$
I	6,5	16,2	42	42
II	7,14	10,7	28,6	28,6
III	25,8	6,5	51,6	16,13
IV	3,33	30	16,7	6,7
V	3,23	22,6	16,13	3,23
VI	6,67	10	13,33	0
VII	0	16,13	32,26	0
VIII	3,23	3,23	3,23	0
IX	3,33	26,67	20	10
X	6,45	16,13	9,68	9,68
XI	0	16,67	6,67	13,33
XII	6,45	6,45	41,94	19,35

Відповідно до отриманих даних у роботі розраховано метеорологічний потенціал атмосфери для м. Запоріжжя по кожному місяцю 2018 року:

$$K_{м\ січ} = \frac{6,5 + 42}{42 + 16,2} = 0,83;$$

$$K_{м\ лип} = \frac{0}{48,9} = 0;$$

$$K_{м\ лют} = \frac{7,14 + 28,6}{28,6 + 10,7} = 0,91;$$

$$K_{м\ сер} = \frac{3,23 + 0}{3,23 + 3,23} = 0,5;$$

$$K_{м\ бер} = \frac{25,8 + 16,13}{51,6 + 6,5} = 0,72;$$

$$K_{м\ вер} = \frac{3,33 + 10}{20 + 20,67} = 0,29;$$

$$K_{\text{м квіт}} = \frac{3,33 + 6,7}{16,7 + 30} = 0,22;$$

$$K_{\text{м жовт}} = \frac{6,45 + 9,68}{9,68 + 16,3} = 0,62;$$

$$K_{\text{м трав}} = \frac{3,23 + 3,23}{16,13 + 22,6} = 0,17;$$

$$K_{\text{м лист}} = \frac{0 + 13,33}{16,67 + 6,67} = 0,57;$$

$$K_{\text{м черв}} = \frac{6,67 + 0}{13,33 + 10} = 0,29;$$

$$K_{\text{м груд}} = \frac{6,45 + 19,35}{41,94 + 6,45} = 0,53.$$

На основі розрахунків побудовано діаграму (рис. 3.1), яка показує розподіл значень метеорологічного потенціалу атмосфери міста Запоріжжя по місяцям 2018 року.

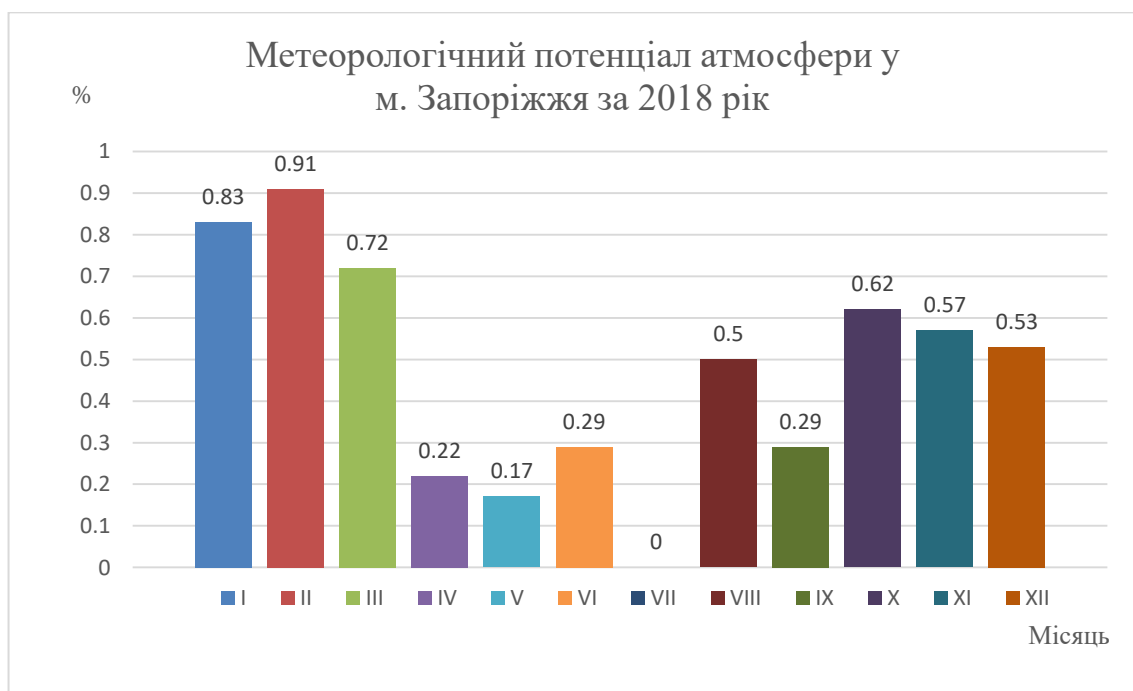


Рис. 3.1 – Розподіл значень метеорологічного потенціалу атмосфери м. Запоріжжя по місяцям 2018 року

Як бачимо, найбільше значення метеорологічного потенціалу виявлено у місяці лютому, найменше у липні. В усіх випадках отриманий показник  $K_{\text{м}}$  складає менше 1, тобто за даних погодних умов протягом усього року у м. Запоріжжя відбувалося розсіювання домішок, так як атмосфера характеризується високою здатністю до самоочищення. У теплий період року (з квітня по вересень) простежуються найкращі умови для самоочищення. У холодну пору року значення наближені до 1.

У таблиці 3.2 відображені отримані значення спостережень за метеоявищами по кожному місяцю 2019 року у м. Запоріжжя.

Таблиця 3.2

## Спостереження за метеоявищами у м. Запоріжжя за 2019 рік

Місяць	Р <sub>ш</sub> , %	Р <sub>в</sub> , %	Р <sub>о</sub> , %	Р <sub>т</sub> , %
I	3,23	29	48,4	32,26
II	0	28,57	10,71	21,43
III	0	35,48	19,35	9,68
IV	6,67	13,33	20	3,33
V	6,46	19,35	29	3,23
VI	0	10	23,3	0
VII	3,23	6,45	25,81	3,26
VIII	6,45	3,23	6,45	0
IX	10	13,33	16,67	3,33
X	12,9	12,9	22,6	41,9
XI	6,67	23,3	13,33	33,33
XII	9,68	9,68	25,81	48,39

Відповідно до отриманих даних у роботі розраховано метеорологічний потенціал атмосфери для м. Запоріжжя по кожному місяцю 2019 року:

$$K_{\text{м січ}} = \frac{3,23 + 32,26}{48,4 + 29} = 0,46;$$

$$K_{\text{м лип}} = \frac{03,23 + 3,26}{25,8 + 6,45} = 0,2;$$

$$K_{\text{м лют}} = \frac{0 + 21,43}{10,71 + 28,57} = 0,55;$$

$$K_{\text{м сер}} = \frac{6,45 + 0}{6,45 + 3,23} = 0,67;$$

$$K_{\text{м бер}} = \frac{0 + 9,8}{19,35 + 35,48} = 0,18;$$

$$K_{\text{м вер}} = \frac{10 + 3,33}{16,67 + 13,33} = 0,44;$$

$$K_{\text{м квіт}} = \frac{6,67 + 3,33}{13,33 + 20} = 0,3;$$

$$K_{\text{м жовт}} = \frac{12,9 + 41,9}{22,6 + 12,9} = 1,54;$$

$$K_{\text{м трав}} = \frac{6,46 + 3,23}{19,35 + 29} = 0,2;$$

$$K_{\text{м лист}} = \frac{6,67 + 33,33}{13,33 + 23,3} = 1,09;$$

$$K_{\text{м черв}} = \frac{0 + 0}{2,8 + 6,45} = 0;$$

$$K_{\text{м груд}} = \frac{9,68 + 48,39}{25,81 + 9,68} = 1,64.$$

На основі розрахунків побудовано діаграму (рис. 3.2), яка показує розподіл значень метеорологічного потенціалу атмосфери м. Запоріжжя по місяцям 2019 року.

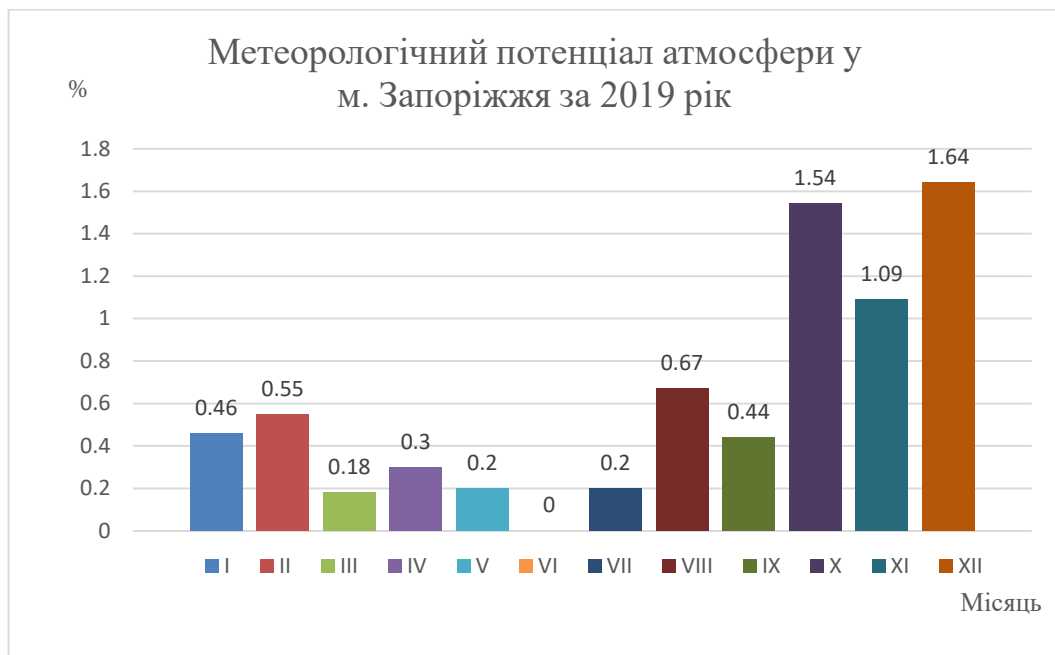


Рис. 3.2 – Розподіл значень метеорологічного потенціалу атмосфери м. Запоріжжя по місяцям 2019 року

Отже, виходячи з розрахунків, показники  $K_m$  у жовтні, листопаді та грудні перевищують 1, тобто за даних погодних умов переважали процеси накопичення забруднюючих речовин у повітрі території міста. У теплий період року, починаючи з березня по липень, простежуються найкращі умови для самоочищення атмосфери.

У таблиці 3.3 показані дані спостережень за метеоявищами по кожному місяцю 2020 року для м. Запоріжжя.

Таблиця 3.3

Спостереження за метеоявищами у м. Запоріжжя за 2020 рік

Місяць	$P_{ш}, \%$	$P_{в}, \%$	$P_{о}, \%$	$P_{т}, \%$
I	12,9	16,13	19,35	38,71
II	6,9	37,93	31	10,34
III	3,23	41,93	12,9	0
IV	6,67	26,67	6,67	0
V	16,13	12,9	45,16	0
VI	16,67	3,33	36,67	0
VII	16,13	3,23	19,35	0
VIII	16,13	6,45	12,9	0
IX	3,33	10	3,33	3,33
X	6,45	3,23	19,35	22,6

## Продовження таблиці 3.3

XI	10	0	16,67	6,67
XII	0	19,35	9,68	12,9

Відповідно до отриманих даних у роботі розраховано метеорологічний потенціал атмосфери для м. Запоріжжя по кожному місяцю 2020 року:

$$K_{\text{м січ}} = \frac{12,9 + 38,71}{19,35 + 16,13} = 1,46;$$

$$K_{\text{м лип}} = \frac{16,13 + 0}{19,35 + 3,23} = 0,71;$$

$$K_{\text{м лют}} = \frac{6,9 + 10,34}{31 + 37,93} = 0,25;$$

$$K_{\text{м сер}} = \frac{16,13 + 0}{12,9 + 6,45} = 0,83;$$

$$K_{\text{м бер}} = \frac{3,23 + 0}{6,67 + 26,67} = 0,1;$$

$$K_{\text{м вер}} = \frac{3,33 + 3,33}{10 + 3,33} = 0,5;$$

$$K_{\text{м квіт}} = \frac{6,67 + 0}{6,67 + 26,67} = 0,2;$$

$$K_{\text{м жовт}} = \frac{6,45 + 22,6}{19,35 + 3,23} = 1,29;$$

$$K_{\text{м трав}} = \frac{16,13 + 0}{45,16 + 12,9} = 0,28;$$

$$K_{\text{м лист}} = \frac{10 + 6,67}{16,67 + 0} = 1;$$

$$K_{\text{м черв}} = \frac{16,67 + 0}{36,67 + 3,33} = 0,42;$$

$$K_{\text{м груд}} = \frac{0 + 12,9}{9,68 + 19,35} = 0,44.$$

На рисунку 3.3 відображено діаграму, яка показує розподіл значень метеорологічного потенціалу атмосфери м. Запоріжжя по місяцям 2020 року.

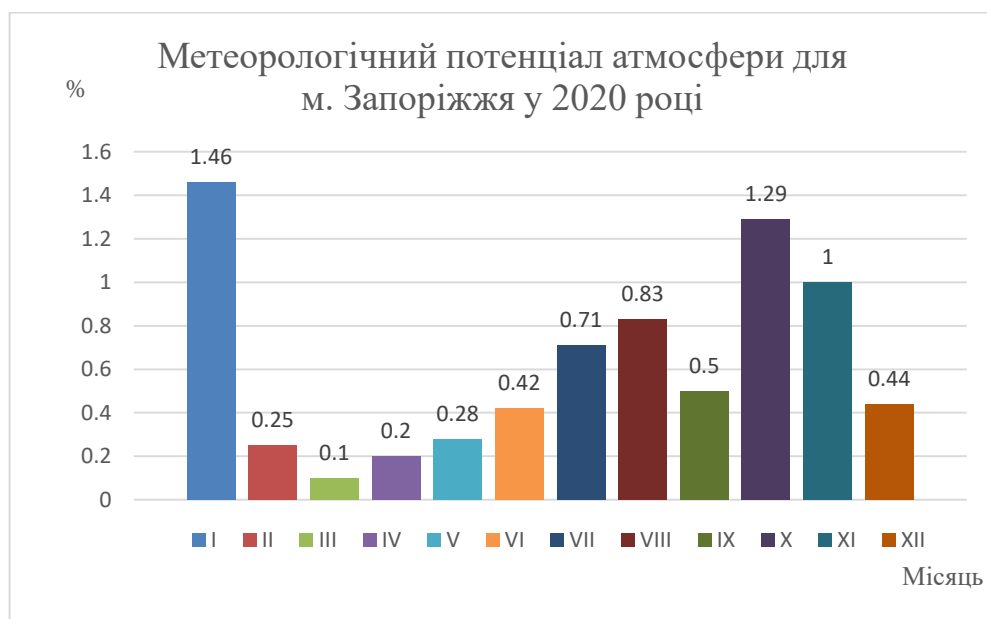


Рис. 3.3 – Розподіл значень метеорологічного потенціалу атмосфери м. Запоріжжя по місяцям 2020 року

В ході дослідження було виявлено, що значення показників  $K_m$  у лютому та жовтні перевищують 1, у листопаді дорівнює 1, тобто за даних погодних умов у місті Запоріжжі переважали процеси накопичення забруднюючих речовин у повітрі. З лютого по червень, простежуються найкращі умови для самоочищення атмосфери.

На рисунку 3.4 зображено діаграму з порівнянням середньорічних значень метеорологічного потенціалу атмосфери за період 2018-2020 рр. для м. Запоріжжя.



Рис. 3.4 – Діаграма з порівнянням середньорічних значень метеорологічного потенціалу атмосфери за період 2018-2020 рр. для м. Запоріжжя

В цілому протягом 2018-2020 рр. середньорічні значення метеопотенціалу атмосфери мають допустимі значення, але простежується динаміка зменшення здатності атмосфери до самоочищення.

Отже, можна зробити висновок, що при порівнянні погодних умов м. Запоріжжя протягом трьох років, простежується загальна тенденція до збільшення здатності атмосфери міста до самоочищення у теплий період, а у холодний період – до її зменшення. Тому основним підприємствам-забруд-

нювачам м. Запоріжжя, які здійснюють викиди у атмосферне повітря, слід зменшувати обсяги свого виробництва у холодну пору року, так як виникає ризик захворювання населення в результаті застою забруднюючих речовин над містом.

### 3.2 Результати дослідження динаміки викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря м. Запоріжжя

На основі відкритих даних, відображених у Екологічних паспортах Запорізької області [27, 28, 4], у роботі було досліджено динаміку викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря м. Запоріжжя у період 2018-2020 рр.

На рисунку 3.5 показано динаміку викидів завислих речовин (пилу) у атмосферне повітря м. Запоріжжя протягом 2018-2020 рр. та порівняно з їх гранично-допустимими концентраціями (далі – ГДК) відповідної речовини.



Рис. 3.5 – Динаміка викидів завислих речовин (пилу) у атмосферне повітря м. Запоріжжя (2018-2020 рр.) та порівняння з ГДК

В результаті порівняння середньорічних концентрацій пилу у атмосферному повітрі Запоріжжя протягом 2018, 2019 та 2020 років, перевищень ГДК не було виявлено.

На рисунку 3.6 показано динаміку викидів діоксиду сірки у атмосферне повітря м. Запоріжжя протягом 2018-2020 рр. та порівняно з їх ГДК відповідної речовини.



Рис. 3.6 – Динаміка викидів діоксиду сірки у атмосферне повітря м. Запоріжжя (2018-2020 рр.) та порівняння з ГДК

Концентрація діоксиду сірки у атмосферному повітрі Запоріжжя протягом трьох досліджуваних років має однакове значення і складає 0,007 мг/м<sup>3</sup>, тобто не перевищує ГДК відповідної речовини.

Динаміку викидів діоксиду азоту у атмосферне повітря м. Запоріжжя протягом 2018-2020 рр. та порівняння з ГДК показано на рисунку 3.7.

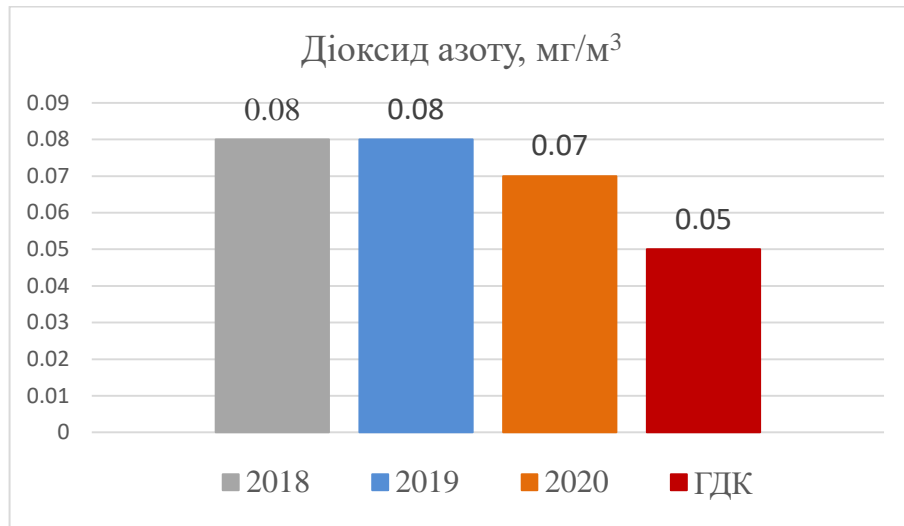


Рис. 3.7 – Динаміка викидів діоксиду азоту у атмосферне повітря м. Запоріжжя (2018-2020 рр.) та порівняння з ГДК

Як бачимо, концентрація діоксиду азоту у 2018 та 2019 роках була однаковою і складала 0,08 мг/м<sup>3</sup>, у 2020 році простежується тенденція до зменшення концентрації даної речовини у повітрі міста. В усіх випадках виявлено перевищення ГДК по даній речовині.

На рисунку 3.8 зображено динаміку викидів оксиду азоту у атмосферне повітря м. Запоріжжя протягом 2018-2020 рр. та порівняно з їх ГДК досліджуваної речовини.

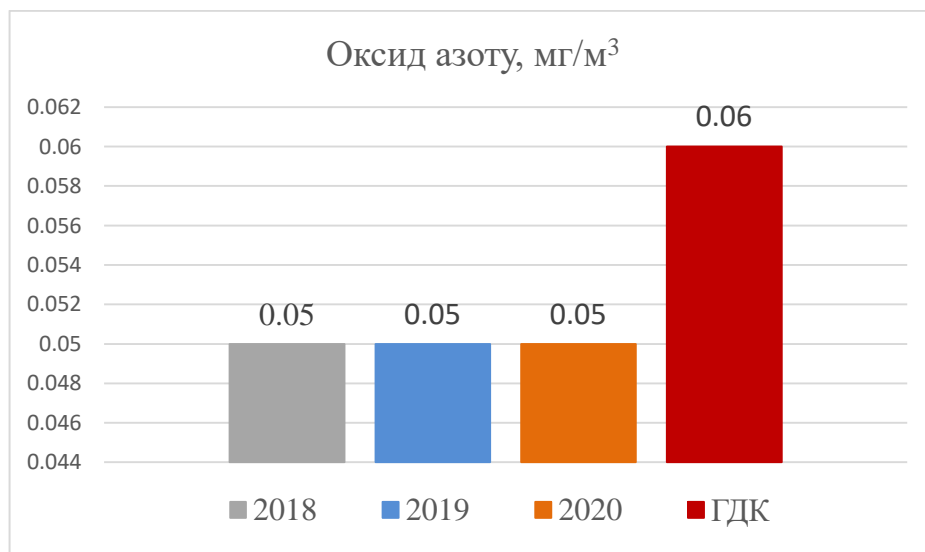


Рис. 3.8 – Динаміка викидів оксиду азоту у атмосферне повітря м. Запоріжжя (2018-2020 рр.) та порівняння з ГДК

Як бачимо, середньорічні концентрації оксиду азоту протягом кожного року дослідження залишаються незмінними та не перевищують гранично-допустиму.

Динаміка викидів оксиду вуглецю у атмосферне повітря м. Запоріжжя протягом досліджуваних років та порівняння концентрацій забруднюючої речовини з їх ГДК відображена на рисунку 3.9.

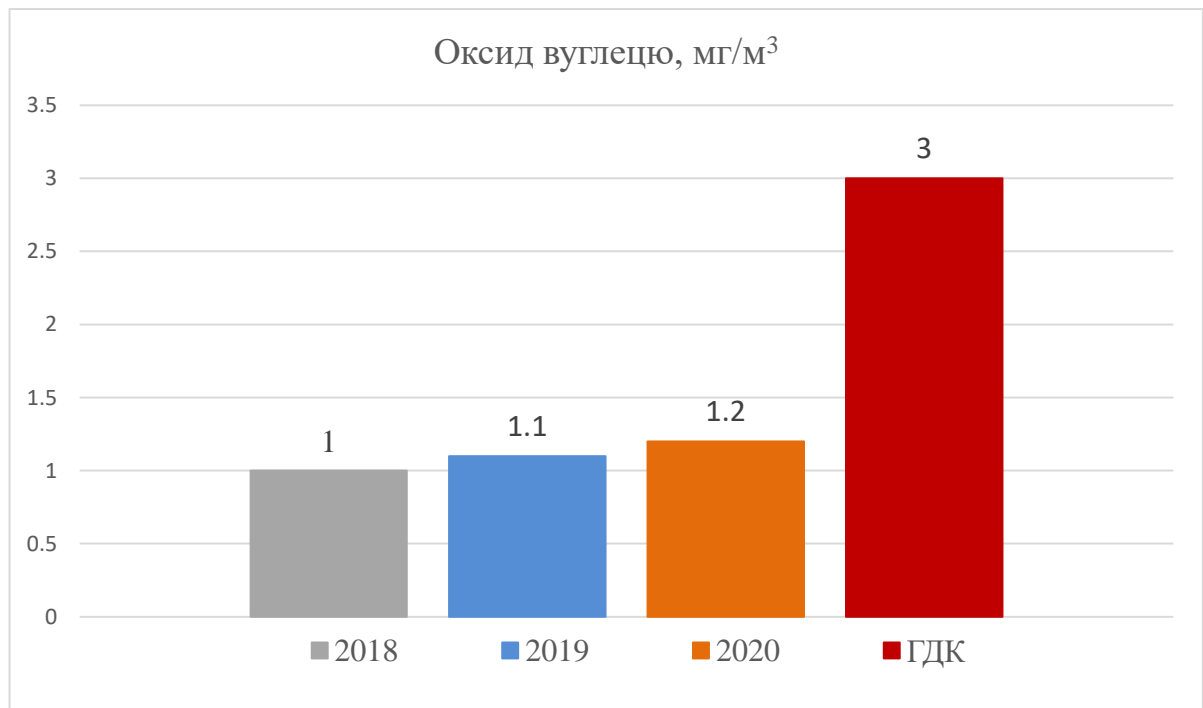


Рис. 3.9 – Динаміка викидів оксиду вуглецю у атмосферне повітря м. Запоріжжя (2018-2020 рр.) та порівняння з ГДК

Аналіз отриманих даних показав, що у динаміці концентрація оксиду вуглецю протягом трьох років несуттєво збільшується, проте перевищень ГДК не простежується.

На рисунку 3.10 відображені концентрації формальдегіду у атмосферному повітрі досліджуваного міста протягом трьох років та їх порівняння з відповідною ГДК.

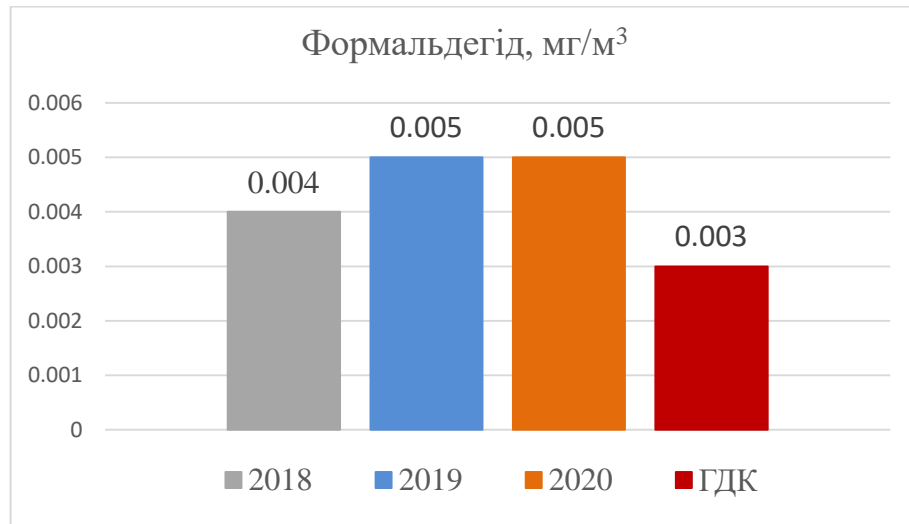


Рис. 3.10 – Динаміка викидів формальдегіду у атмосферне повітря м. Запоріжжя (2018-2020 рр.) та порівняння з ГДК

Виявлено, що концентрація формальдегіду, який відноситься до 2 класу небезпеки, у повітрі міста Запоріжжя у 2018-2020 рр. перевищує встановлену ГДК. При постійних підвищених концентраціях він може наносити шкідливий вплив на шкіряний та слизовий покрив, викликати подразнення, висипи на тілі людини тощо [29].

Вміст фенолу у атмосферному повітрі Запоріжжя у 2018-2020 рр. та їх порівняння з ГДК висвітлено на рисунку 3.11.

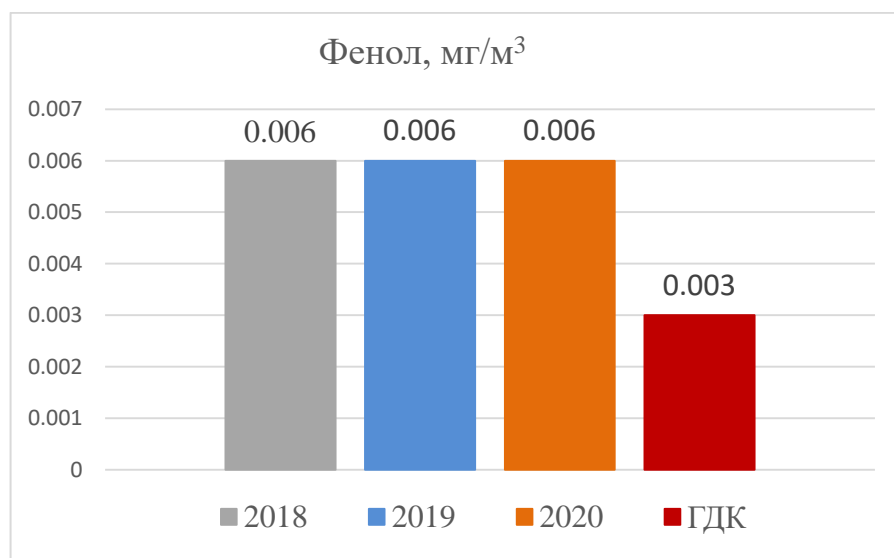


Рис. 3.11 – Концентрація фенолу у повітрі м. Запоріжжя (2018-2020 рр.) та порівняння з ГДК

Отже, концентрації фенолу кожного року перевищує гранично-допустиму і складають 0,006, що є вдвічі більше за норму. Дана речовина, при частому вдиханні людиною, може спричиняти гострий бронхіт, утруднення дихання, нудоту тощо.

### 3.3 Результати розрахунків індексів забруднення атмосфери для м. Запоріжжя

В ході дослідження було здійснено комплексну оцінку рівнів забруднення повітря м. Запоріжжя за період 2018-2020 рр. через визначення показників індексу забруднення атмосфери (ІЗА) для семи забруднюючих речовини серед пріоритетних, враховуючи їх клас небезпеки [30], та комплексних індексів забруднення атмосфери (ІЗА<sub>5</sub>).

Пріоритетні забруднюючі речовини атмосферного повітря м. Запоріжжя, їх клас небезпеки та гранично-допустимі концентрації, які використовувалися для розрахунків наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Пріоритетні забруднюючі речовини атмосферного повітря м. Запоріжжя, їх клас небезпеки та гранично-допустимі концентрації

№	Забруднююча речовина	ГДК, мг/м <sup>3</sup> [30]	Клас небезпеки [30]
1	Пил (завислі речовини)	0,15	3
2	Діоксид азоту	0,04	3
3	Оксид азоту	0,06	3
4	Формальдегід	0,003	2
5	Фенол	0,003	2
6	Діоксид сірки	0,05	3
7	Оксид вуглецю	3	4

Бачимо, що більшість зазначених речовин відносять до 3 класу небезпеки, тобто вони є помірно небезпечними, фенол та формальдегід належать до 2 класу та являються високонебезпечними.

Результати розрахунків ІЗА для м. Запоріжжя за 2018 рік:

$$ІЗА_1 = (0,10/0,15)^{1,0} = 0,67;$$

$$ІЗА_2 = (0,08/0,04)^{1,0} = 2;$$

$$ІЗА_3 = (0,05/0,06)^{1,0} = 0,83;$$

$$ІЗА_4 = (0,004/0,003)^{1,3} = 1,45;$$

$$ІЗА_5 = (0,006/0,003)^{1,0} = 2,46;$$

$$ІЗА_6 = (0,007/0,005)^{1,0} = 0,14;.$$

$$ІЗА_7 = (1/3)^{0,9} = 0,37.$$

Результати розрахунків ІЗА для м. Запоріжжя за 2019 рік:

$$ІЗА_1 = (0,12/0,15)^{1,0} = 0,8;$$

$$ІЗА_2 = (0,08/0,04)^{1,0} = 2;$$

$$ІЗА_3 = (0,05/0,06)^{1,0} = 0,83;$$

$$ІЗА_4 = (0,005/0,003)^{1,3} = 1,94;$$

$$ІЗА_5 = (0,006/0,003)^{1,0} = 2,46.$$

$$ІЗА_6 = (0,007/0,005)^{1,0} = 0,14;.$$

$$ІЗА_7 = (1,1/3)^{0,9} = 0,41.$$

Результати розрахунків ІЗА для м. Запоріжжя за 2020 рік:

$$ІЗА_1 = (0,11/0,15)^{1,0} = 0,73;$$

$$ІЗА_2 = (0,07/0,04)^{1,0} = 1,75;$$

$$ІЗА_3 = (0,05/0,06)^{1,0} = 0,83;$$

$$ІЗА_4 = (0,005/0,003)^{1,3} = 1,94;$$

$$ІЗА_5 = (0,006/0,003)^{1,0} = 2,46;$$

$$ІЗА_6 = (0,007/0,005)^{1,0} = 0,14;.$$

$$ІЗА_7 = (1,2/3)^{0,9} = 0,44.$$

Динаміку змін індексу забруднення атмосфери за період 2018-2020 рр. по кожній досліджуваній речовині висвітлено на рисунку 3.12.

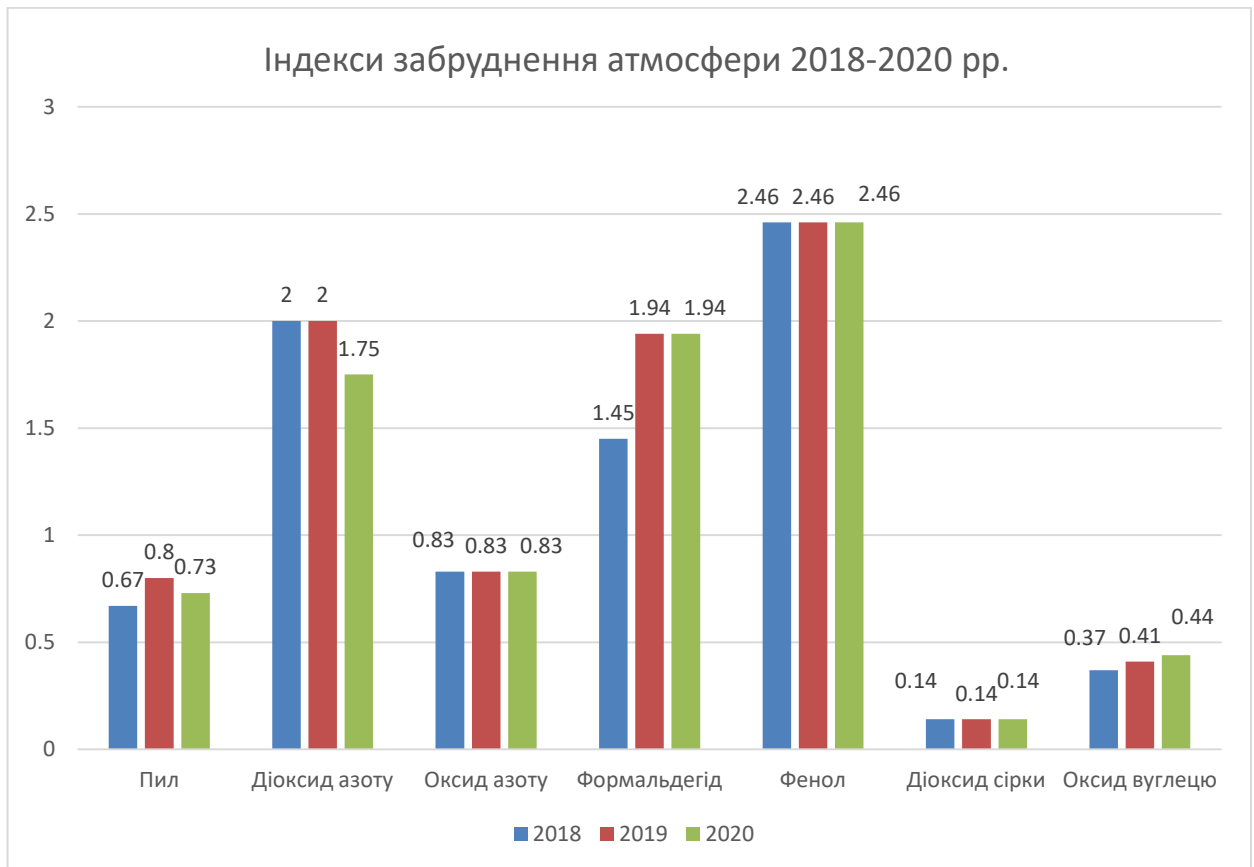


Рис. 3.12 – Порівняння індексів забруднення атмосфери забруднюючих речовин м. Запоріжжя за період 2018-2020 рр.

Порівнюючи отримані дані за три роки, бачимо, що найбільші значення ІЗА, серед досліджуваних речовин, спостерігаються за показником фенолу, діоксиду азоту та формальдегіду, найменші – за показником пилу, оксиду азоту, діоксиду сірки та оксиду вуглецю, що мають індекси забруднення менші за одиницю.

За методикою С. І. Сніжка (2011) [18], враховуючи ІЗА п'яти забруднюючих речовин (пил, діоксид азоту, оксид азоту, формальдегід, фенол), які мають найбільші концентрації в атмосферному повітрі Запоріжжя, розраховано ІЗА<sub>5</sub> – комплексні індекси забруднення атмосфери для м. Запоріжжя за 2018-2020 рр. (рис. 3.13).

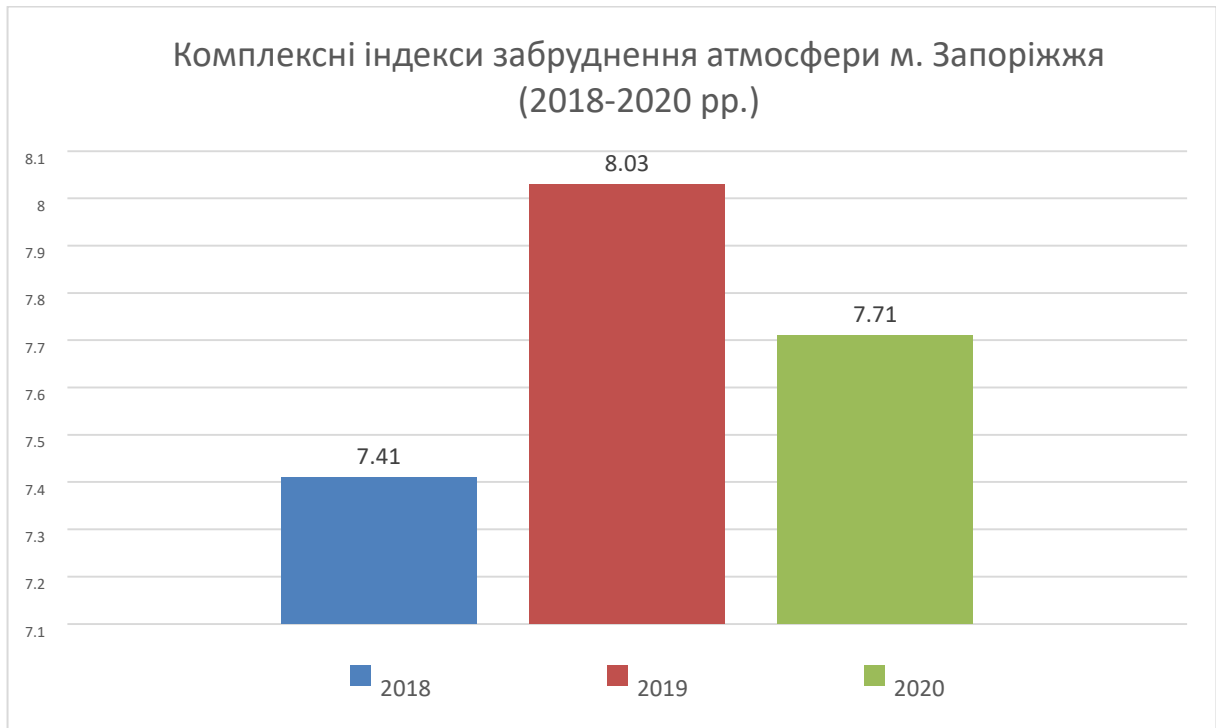


Рис. 3.13 – Порівняння комплексних індексів забруднення атмосфери м. Запоріжжя за період 2018-2020 рр.

Величина комплексного індексу забруднення атмосфери за 2018 рік має значення 7,41, що відповідає слабо забрудненій атмосфері (2,5 – 7,5), отримана величина індексу 2019 року (8,41) та 2020 року (7,71) – забрудненій атмосфері (7,5 – 12,5).

Враховуючи те, що рівень забруднення повітря у м. Запоріжжя є досить високий та стан атмосфери не відповідає «чистій», доцільно впроваджувати заходи для мінімізації забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ М. ЗАПОРІЖЖЯ

Тенденції формування забруднення атмосферного повітря свідчать про достатньо високий його рівень у м. Запоріжжя. Протягом багатьох років ситуація залишається незмінною, ряд проблем так і не вирішується. Це пояснюється тим, що у нашій країні не проводиться управління якістю атмосферного повітря та державний моніторинг його стану. Сьогодні функцію оперативного повідомлення як у м. Запоріжжя, так і в Україні в цілому, виконує тільки громадський моніторинг, такий як SaveEcoBot або EcoCity. Тому рішенням щодо покращення стану атмосферного повітря, особливо потужних промислових міст як Запоріжжя, може слугувати впровадження обов'язкового державного моніторингу та управління якістю повітря.

Іншою проблемою є застарілі та недосконалі стандарти вимірювання якості повітря та нормативні документи, у яких деякі речовини, такі як, наприклад, дрібнодисперсний пил розміром від 10 нм до 2,5 мкм, зовсім не нормуються, що не дає можливості оцінити якість атмосферного повітря за даними речовинами. Рішенням цієї проблеми може стати впровадження в українське законодавство в області охорони атмосферного повітря нових стандартів та регламентів, максимально прирівняних до європейських.

Так як основна концентрація забруднюючих речовин потрапляє у повітря м. Запоріжжя в результаті діяльності підприємств чорної та кольорової металургії, машинобудування, будівельної та хімічної промисловості, викиди яких складають 90 % від валового обсягу, слід посилити контроль над викидами шкідливих домішок у атмосферне повітря, особливо підприємства-гіганта ПАТ «Запоріжсталь», під час експлуатації якого потрапляють 80 % забруднюючих речовин. Також для мінімізації забруднення атмосферного повітря від викидів підприємств промислового комплексу, слід знижувати їх виробничу активність у період, коли простежується зменшення самоочищення атмосфери, вдосконалювати обладнання (наприклад, вчасна заміна конвеєрів по збиранню пилу, підвідних

газоходів неочищеного та очищеного газу тощо) та системи фільтрації на таких підприємствах.

Так як у м. Запоріжжя відбувається систематичне перевищення вмісту діоксиду азоту, фенолу та формальдегіду у атмосферному повітрі, доцільно використовувати обладнання, яке буде мінімізувати викиди саме по цих забруднюючим компонентам. Для очищення повітря від діоксиду азоту на підприємствах, найбільшу фільтраційну ефективність проявляють скрубери. Принцип їх дії полягає у проходженні забрудненого повітря у конструкцію, де насадки постійно зрошуються декількома форсунками зверху, в результаті чого відбувається очищення вхідного газу. Очищення повітря від фенолу та формальдегіду доцільно здійснювати за допомогою використання абсорбційно-біохімічних установок. Принцип їх дії полягає у тому, що повітря поступає у скрубер, де забруднюючі речовини уловлюються абсорбентом, а далі за допомогою мікроорганізмів у біореакторі, ці забруднюючі речовини мінералізуються та розкладаються на  $\text{CO}_2$  та воду. Ця установка є досить екологічною, так як в результаті її функціонування, не утворюються вторинних забруднень [31, 32].

Також доцільно впровадити нові збільшені штрафні санкції та збільшити кількість та якість перевірок промислових підприємств-забруднювачів атмосферного повітря.

Рішенням для покращення якості атмосферного повітря м. Запоріжжя може бути збільшення кількості зелених насаджень на території міста. Рослинність може регулювати ступінь забруднення атмосферного повітря та його газовий склад. Для території міста доцільно створювати гарно провітрювані насадження липи серцелистої, клена звичайного та каштану кінського поблизу ділянок забруднення м. Запоріжжя, тому, що серед густо насадженої рослинності утворюється своєрідний застій повітря, який навпаки може спричинити збільшення концентрацій забруднюючих речовин. Наприклад, ширина захисної смуги ПАТ «Запоріжсталь», що є основним забруднювачем серед усіх підприємств м. Запоріжжя, складає 65 м, це дуже мало, така щільність не виконує потрібної захисної функції, а насадження не мають 2-4 рядів чагарників, як

визначається при проектуванні підприємств I класу. Поводження з джерелом викидів має бути максимально щільним, без просвітів у трьох ярусах [33].

Особливо сьогодні, під час війни, можемо припустити, що стан атмосферного повітря став ще гіршим, в результаті детонування снарядів, атак на промислові об'єкти, згоряння лісів тощо. Від таких вибухів в атмосферне повітря викидаються сажа, свинець, вуглець та безліч інших забруднюючих речовин. А залишки снарядів містять у своєму складі мідь, сірку, вуглець, залізо тощо. Можемо припустити, що в результаті руйнування будівель, які слугували своєрідним бар'єром, посилилася міграція забруднюючих речовин у повітрі міста.

Тому впровадження вищезазначених заходів захисту повітряного середовища м. Запоріжжя є особливо актуальними у післявоєнний час.

Війна росії проти України прискорює зміну клімату та призводить до збільшення викидів парникових газів, в результаті використання нафтопродуктів під час експлуатації військової техніки у атмосферне повітря, за півроку постійних обстрілів з боку країни-агресора, потрапило близько 4 мільйонів тон вуглекислого газу.

Не зважаючи на війну, Україна застосовує євроінтеграційні реформи у сфері захисту навколишнього середовища. За рахунок співфінансування LIFE, наша країна буде мати більше можливостей для оновлення пошкоджених або повністю знищених природних екосистем, ревіталізації річок, будівництва центрів реабілітації тварин тощо [34].

## ВИСНОВКИ

1. Протягом 2018-2020 рр. середньорічні значення метеопотенціалу атмосфери м. Запоріжжя мають допустимі значення, але простежується динаміка зменшення здатності атмосфери до самоочищення;

2. При порівнянні погодних умов м. Запоріжжя протягом трьох років, простежується загальна тенденція до збільшення здатності атмосфери міста до самоочищення у теплий період, а у холодний період – до її зменшення;

3. Порівнюючи середньорічні концентрації завислих речовин, діоксиду сірки, оксиду азоту та оксиду вуглецю перевищень ГДК не виявлено. Концентрація діоксиду азоту перевищує ГДК протягом трьох років.

4. Концентрації формальдегіду та фенолу, які відносяться до 2 класу небезпеки, у повітрі міста Запоріжжя протягом 2018-2020 рр. перевищують встановлену ГДК.

5. Найбільші значення ІЗА, серед досліджуваних речовин, спостерігаються за показником фенолу, діоксиду азоту та формальдегіду, найменші – за показником пилу, оксиду азоту, діоксиду сірки та оксиду вуглецю, що мають індекси забруднення менші за одиницю.

6. Величина комплексного індексу забруднення атмосфери за 2018 рік відповідає слабо забрудненій, за 2019 та 2020 роки – забрудненій атмосфері. Тобто йде тенденція до погіршення якості атмосфери міста.

7. Враховуючи те, що рівень забруднення повітря у м. Запоріжжя є досить високий та стан атмосфери не відповідає «чистій», доцільно впроваджувати заходи для мінімізації забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про місто. Офіційний сайт *Запорізької міської ради* : веб-сайт. URL: <https://zp.gov.ua/uk> (дата звернення: 14.10.2022)
2. Склад атмосферної речовини міста Запоріжжя : монографія. / Наседкін Є. І. та ін. Київ, 2019. 159 с.
3. Торбунова, М. Д. Вплив рельєфу на забруднення повітря продуктами техногенезу (на прикладі м. Запоріжжя). *Регіональні проблеми України : Географічний аналіз та пошук шляхів вирішення*. Херсон : ПП Вишемирський, 2007. 360 с.
4. Екологічний паспорт Запорізької області 2020. Запоріжжя : Запорізька обласна державна адміністрація, 2021. 164 с.
5. Запорізький район. *Офіційний сайт Запорізької районної державної адміністрації* : веб-сайт. URL: [https://zrda.gov.ua/zaporizkii\\_raion/](https://zrda.gov.ua/zaporizkii_raion/) (дата звернення: 16.10.2022)
6. Погода у м. Запоріжжя. *Gismeteo* : веб-сайт. URL: <https://www.gismeteo.ua/> (дата звернення: 17.10.2022)
7. Погода у Запоріжжі. *Метеопост* : веб-сайт. URL: <https://meteorpost.com> (дата звернення: 17.10.2022)
8. Рівень забруднення повітря в Запоріжжі. *Clean air* : веб-сайт. URL: <https://cleanairlove.com> (дата звернення: 16.10.2022)
9. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Запорізькій області у 2018 році. Запоріжжя : Департамент екології та природних ресурсів, 2019. 289 с.
10. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Запорізькій області у 2019 році. Запоріжжя : Департамент агропромислового розвитку та захисту довкілля, 2020. 284 с.
11. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Запорізькій області у 2020 році. Запоріжжя : Департамент захисту довкілля, 2021. 276 с.

12. Звіт з оцінки впливу на довкілля ПАТ «Запоріжсталь». URL: [https://www.zaporizhstal.com/wp-content/uploads/2019/05/zvit\\_pro\\_ovd.pdf](https://www.zaporizhstal.com/wp-content/uploads/2019/05/zvit_pro_ovd.pdf) (дата звернення: 07.11.2022)
13. Моніторинг стану повітря у м. Дніпро. URL: <https://udhtu.edu.ua> (дата звернення: 17.10.2022)
14. Літвін О. В., Ричак Н. Л. Вплив пилу, як основної забруднюючої речовини на якість та стан атмосферного повітря в м. Запоріжжя. *Охорона довкілля* : зб. наук. статей XVIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань, 2022.
15. Ричак Н. Л., Табачна І. М. Тенденції формування рівня забруднення атмосферного повітря урбанізованого середовища. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. № 3-4. 2012. С. 120-127.
16. Гришко С. В., Непша Я. Ю., Стегареску Х. І. Сучасний стан атмосферного повітря міста Запоріжжя та його вплив на здоров'я населення. *Здоров'я та суспільство* : зб. наук. статей. 2020. С. 24-30.
17. Пірогова І. М., Рильський О. Ф. Проблема регулювання якості повітря м. Запоріжжя при несприятливих метеоумовах. *Молодий вчений* : зб. наук. статей. № 7 (83). 2020. С. 128-132.
18. Сніжко С. І. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста : монографія. Київ. 2011. 199 с.
19. Кіптенко Є. М., Козленко Т. В. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря у містах України. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2002. URL: [https://uhmi.org.ua/pub/np/250/24\\_Kiptenko.pdf](https://uhmi.org.ua/pub/np/250/24_Kiptenko.pdf) (дата звернення: 04.11.2022).
20. PM10. *IQAir* : веб-сайт. URL: <https://www.iqair.com/ru/blog/air-quality/pm10> (дата звернення 19.10.2022)
21. Вплив забрудненої атмосфери на здоров'я людини. *Уманський НУС* : веб-сайт. URL: <https://www.udau.edu.ua> (дата звернення 24.10.2022)
22. Вплив діоксиду азоту на організм людини та НПС. *Нова екологія* : веб-сайт. URL: <http://www.novaecologia.org/voecos-377-1.html> (дата звернення 26.10.2022)
23. Вплив забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я населення. URL: <https://www.zhiva-planeta.org.ua> (дата звернення 29.10.2022)

24. Оцінка канцерогенного ризику техногенного навантаження на населення промислових міст. URL: <https://ldubgd.edu.ua> (дата звернення 29.10.2022)
25. Що таке фенол і його вплив на організм людини. *Діагноз* : веб-сайт. URL: <http://diagnoz03.in.ua/otruyennya/sho-take-fenol-i-iogo-vpliv-na-organizm-ludini.html> (дата звернення: 04.11.2022)
26. Барановський В. А. Екологічна географія і екологічна картографія. Київ : Фітоцентр. 2001. 252 с.
27. Екологічний паспорт Запорізької області 2018. Запоріжжя : Запорізька обласна державна адміністрація, 2019. 173 с.
28. Екологічний паспорт Запорізької області 2019. Запоріжжя : Запорізька обласна державна адміністрація, 2020. 185 с.
29. Формальдегід: чим небезпечний для людини і як позбутися від формальдегіду в квартирі. *Health day* : веб-сайт. URL: <https://healthday.in.ua/korisno-znati/formaldehyd-chym-nebezpechnyi-dlia-liudyny> (дата звернення: 06.11.2022)
30. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 14 січ. 2020 р. № 52. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text> (дата звернення: 02.11.2022)
31. Мартиненко С. А. Сучасні технології захисту атмосфери : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів екологічного профілю. Кропивницький : ЦНТУ, 2019. 155 с.
32. Гладишев В. І. Технологія захисту атмосферного повітря від пилу деревообробних підприємств : кваліфікаційна робота. Сумський державний університет, 2021. 59 с.
33. Склярєнко А. В., Бессонова В. П. Видовий склад та стан зелених насаджень санітарно-захисної зони запорізького металургійного комбінату «Запоріжсталь». *Питання біоіндикації та екології*. 2015. Вип. 20. № 2. С. 86-104.
34. Міндовкілля: Війна росії проти України пришвидшує зміну клімату та спричиняє збільшення викидів парникових газів. *Урядовий портал* : веб-сайт. URL: <https://www.kmu.gov.ua> (дата звернення: 06.11.2022)