

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської підготовки
Кафедра екології та охорони довкілля

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: Забрудненість завислими речовинами повітряного басейну міст
Північно-Західного Причорномор'я

Виконав студент 2 курсу групи МЕБ-19
спеціальності 101–Екологія
Оліферчук Богдан Олександрович

Керівник д.т.н., доцент
Чугай Ангеліна Володимирівна

Рецензент к.геогр.н., доцент
Боровська Галина Олександрівна

Одеса 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської підготовки
Кафедра екології та охорони довкілля
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 101 – Екологія
Освітньо-наукова програма Екологічна безпека

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри екології та охорони довкілля

Т.А. Сафранов

“ 15 ” березня 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА СТУДЕНТУ

Оліферчуку Богдану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Забрудненість завислими речовинами повітряного басейну міст Північно-Західного Причорномор'я

керівник роботи Чугай Ангеліна Володимирівна, д.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 23 ” лютого 2021р. № 16-С

2. Строк подання студентом роботи 11 травня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи матеріали даних моніторингових спостережень за якістю атмосферного повітря окремих міст Північно-Західного Причорномор'я

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Загальна характеристика завислих речовин (джерела утворення, вплив на стан довкілля і здоров'я людини)

2) Аналіз методичних підходів щодо оцінки якості атмосферного повітря, в тому числі для цілей сталого розвитку

3) Оцінка забруднення атмосферного повітря окремих міст Північно-Західного Причорномор'я

4) Оцінка рівня забруднення завислими речовинами за даними автоматизованих спостережень та із застосуванням параметрів сталого розвитку

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
- 1) Карта регіонів ПЗП (1 рис.).
- 2) Карта-схема розташування ПСЗ по території м. Одеса (1 рис.).
- 3) Динаміка змін концентрацій пилу і сажі в атмосферному повітрі м. Одеса (2 рис.).
- 4) Схема розташування ПСЗ у м. Миколаїв (1 рис.).
- 5) Динаміка змін концентрацій пилу в атмосферному повітрі м. Миколаїв (1 рис.).
- 6) Динаміка змін концентрацій пилу в атмосферному повітрі м. Херсон (1 рис.).
- 7) Значення ІЗА пилом міст ПЗП (1 рис.).
- 8) Діаграми середньорічного вмісту ЗР в атмосферному повітрі м. Полтава (7 рис.).
- 9) Вміст $ТЧ_{10}$ і $ТЧ_{2,5}$ в атмосферному повітрі м. Одеса (пункт ОДЕКУ) (2 рис.).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	<i>немає</i>		

7. Дата видачі завдання 15 березня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Загальна характеристика завислих речовин (пил, сажа): джерела утворення, вплив на довкілля і здоров'я людини	15.03.21-20.03.21	90	5 (відм.)
2.	Огляд методів оцінки якості атмосферного повітря	21.03.21-31.03.21	80	4 (добре)
3.	Оцінка забруднення атмосферного повітря окремих міст Північно-Західного Причорномор'я	01.04.21-18.04.21	85	4 (добре)
	<i>Рубіжна атестація</i>	19.04.21-24.04.21	85	4 (добре)
4.	Ранжування міст Північно-Західного Причорномор'я за рівнем забруднення пилом, оцінка стані повітряного басейну з позицій сталого розвитку	25.04.21-29.04.21	85	4 (добре)
5.	Узагальнення отриманих результатів. Підготовка електронної версії кваліфікаційної роботи магістра до передачі керівнику на остаточну перевірку і підпис	30.04.21-04.05.21	80	4 (добре)
6	Підготовка заключної версії кваліфікаційної роботи магістра і презентаційного матеріалу до публічного захисту. Передача на процедуру встановлення ступеня оригінальності і відсутності ознак плагіату. Складення керівником протоколу, висновку та авторського договору про розміщення кваліфікаційної роботи магістра в репозитарії	05.05.21-11.05.21	90	5 (відм.)
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		85,0	

Студент

_____ (підпис)

Оліферчук Б.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Чугай А.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Оліферчук Б.О. Забрудненість завислими речовинами повітряного басейну міст Північно-Західного Причорномор'я.

Забрудненість повітряного басейну зваженими речовинами є однією з постійних причин погіршення здоров'я населення.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є оцінка рівня забруднення повітряного басейну окремих міст Північно-Західного Причорномор'я завислими речовинами.

Об'єктом дослідження є забруднення атмосферного повітря окремих міст Північно-Західного Причорномор'я, предметом дослідження – стан повітряного басейну Північно-Західного Причорномор'я.

В якості вихідних даних в роботі використані дані літературних джерел інформації, а також матеріали Регіональних доповідей про стан навколишнього природного середовища, Екологічних паспортів регіонів Північно-Західного Причорномор'я щодо вмісту завислих речовин (пил, сажа) в атмосферному повітрі за 2003 – 2019 рр.

Отримані результати свідчать, що у м. Одеса вміст пилу постійно перевищував значення $ГДК_{сд}$. Вміст сажі суттєво зменшився, хоча також відзначаються постійні перевищення $ГДК_{сд}$. У м. Миколаїв і м. Херсон концентрації пилу не перевищували $ГДК_{сд}$.

Розрахунок $ІЗА$ пилом показав, що максимальні значення $ІЗА$ відзначаються у м. Одеса і суттєво перевищують відповідні для Миколаєва і Херсона. Ранжування міст Північно-Західного Причорномор'я за рівнем забруднення пилом показало, що м. Одеса увійшло до категорії з підвищеним рівнем забруднення, м. Миколаїв і м. Херсон – до категорії з допустимим рівнем. За вмістом сажі рівень забруднення повітряного басейну м. Одеса можна характеризувати як підвищений.

Порівняльний аналіз вмісту пилу з даними спостережень за вмістом

твердих частинок ($ТЧ_{10}$ і $ТЧ_{2,5}$) за результатами моніторингу на автоматизованому пункті ОДЕКУ показав, що за вмістом $ТЧ_{10}$ відзначаються перевищення нормативів ВООЗ. В цілому вміст $ТЧ_{10}$ і $ТЧ_{2,5}$ за даними спостережень на пункті ОДЕКУ суттєво нижче середньорічного вмісту пилу по місту в цілому.

З позицій сталого розвитку за параметром вмісту пилу у повітряному басейні найбільш несприятливі умови відзначаються для м. Одеса, а найбільш сприятливі – для м. Херсон.

Робота складається зі вступу, 3 основних розділів, висновку, переліку посилань і додатків. Обсяг роботи складає 66 с., в т.ч. 11 рис., 9 табл. і 32 літературні джерела.

Ключові слова: індекс забруднення атмосфери, завислі речовини, сталий розвиток.

SUMMARY

Oliferchuk B. Pollution of the Air Basin with Suspended Solids in the Cities in the North-Western Black Sea Region.

Contamination of the air basin with suspended solids is one of the constant causes of poor public health.

The purpose of the master's qualification work is to assess the level of air pollution in some cities of the North-Western Black Sea coast by suspended solids.

The object of the study is air pollution in some cities of the North-Western Black Sea Coast, the subject of the study – the state of the air basin of the North-Western Black Sea Coast.

Data from literature sources, as well as materials of Regional reports on the state of the environment, Ecological passports of the North-Western Black Sea region on the content of suspended solids (dust, soot) in the air for 2003 – 2019 were used as initial data.

The obtained results show that in the city of Odessa the dust content constantly exceeded the *MPC* value. The soot content has significantly decreased, although there are also constant exceedances of the *MPC*. In Mykolaiv and Kherson dust concentrations did not exceed *MPC*.

Calculation of *API* by dust showed that the maximum values of *API* are noted in Odessa and essentially exceed corresponding for Mykolaiv and Kherson. The ranking of the cities of the North-Western Black Sea coast by the level of dust pollution showed that the city of Odessa was included in the category of high pollution, the city of Mykolaiv and Kherson – in the category of permissible level. According to the soot content, the level of air pollution in Odessa can be characterized as increased.

A comparative analysis of the dust content with the data of observations on the content of solid particles (PM_{10} and $PM_{2.5}$) according to the results of monitoring at the automated point of OSENU showed that the content of PM_{10}

exceeds WHO standards. In general, the content of PM_{10} and $PM_{2.5}$ according to the observations at the OSENU point is significantly lower than the average annual dust content in the city as a whole.

From the standpoint of sustainable development in terms of dust content in the air basin, the most unfavorable conditions are observed for the city of Odessa, and the most favorable – for the city of Kherson.

The work consists of an introduction, 3 main sections, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of work is 66 pages, including Fig. 11, 9 tables. and 32 literature sources.

Key words: air pollution index, suspended solids, sustainable development.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	10
ВСТУП	11
1 ЗАВИСЛІ РЕЧОВИНИ У НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ	13
1.1 Пил, види пилу, вплив на здоров'я людини	13
1.2 Сажа та її вплив на здоров'я людини	30
2 МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ОЦІНКИ СТАНУ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ	37
2.1 Методи оцінки забруднення атмосферного повітря на основі ІЗА	37
2.2 Оцінка із застосуванням параметрів сталого розвитку	44
3 ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ МІСТ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я ЗАВИСЛИМИ РЕЧОВИНАМИ	47
ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	60
ДОДАТКИ	64

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я

ГДК – гранично допустима концентрація

ЄС – Європейський союз

ЗР – забруднююча речовина

ІЗА – індекс забруднення атмосфери

КІЗА – комплексний індекс забруднення атмосфери

МВСР – метрика для вимірювання процесів сталого розвитку

ОДЕКУ – Одеський державний екологічний університет

ПЗП – Північно-Західне Причорномор'я

ПСЗ – пункт спостережень за забрудненням атмосфери

ТЧ – тверді частинки

ВСТУП

Забрудненість повітряного басейну зваженими речовинами є однією з постійних причин погіршення здоров'я населення. Згідно «Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря», прийнятого у 2019 р., пил, або тверді частинки, відноситься до переліку пріоритетних забруднюючих речовин (список А), контроль за вмістом яких повинен здійснюватися постійно. Сажа входить до списку Б, тобто контроль за цією домішкою може здійснюватися за рішенням місцевих органів влади.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є оцінка рівня забруднення повітряного басейну окремих міст Північно-Західного Причорномор'я завислими речовинами.

В якості вихідних даних в роботі використані дані літературних джерел інформації, а також матеріали Регіональних доповідей про стан навколишнього природного середовища, Екологічних паспортів регіонів Північно-Західного Причорномор'я щодо вмісту завислих речовин (пил, сажа) в атмосферному повітрі за 2003 – 2019 рр.

При виконанні роботи були поставлені такі завдання:

- дати загальну характеристику джерел утворення завислих речовин, їх впливу на стан довкілля і здоров'я людини;
- проаналізувати мет одичну базу щодо оцінки рівня забруднення атмосферного повітря окремими забруднюючими речовинами з урахуванням зарубіжного досвіду;
- виконати оцінку рівня забруднення повітряного басейну і ранжування окремих міст Північно-Західного Причорномор'я завислими речовинами;
- виконати оцінку стану атмосферного повітря із застосуванням окремих параметрів сталого розвитку.

Об'єктом дослідження є забруднення атмосферного повітря окремих

міст Північно-Західного Причорномор'я, предметом дослідження – стан повітряного басейну Північно-Західного Причорномор'я.

Новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше для регіонів Північно-Західного Причорномор'я виконано оцінку забрудненості атмосферного повітря завислими речовинами за багаторічний період, в т.ч. із застосуванням параметрів сталого розвитку.

Тематика роботи є складовою частиною НДР кафедри екології та охорони довкілля «Техногенне навантаження на складові довкілля регіонів Північно-Західного Причорномор'я».

Робота апробована на декількох конференціях різного рівня, в т.ч.:

- щорічна конференція молодих вчених ОДЕКУ (Одеса, ОДЕКУ, травень 2020 р., квітень 2021 р.);
- Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції» (Житомир, ДУ «Житомирська політехніка», жовтень 2020 р.);
- III Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» (Херсон, ХДАУ, листопад 2020 р.);
- II науково-практична конференція «Інструменти і механізми модернізації наукових та освітніх процесів» (Полтава, грудень 2020 р.);
- I етап Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт зі спеціальності «Екологія» (Одеса, ОДЕКУ, листопад 2020 р.).

За темою роботи опубліковано 5 наукових праць (матеріали і тези доповідей).

1 ЗАВИСЛІ РЕЧОВИНИ У НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ

1.1 Пил, види пилу, вплив на здоров'я людини

Аерозолями називаються двофазні системи, що складаються з газоподібного або повітряного дисперсійного середовища і зважених у ньому досить дрібних твердих або рідких частинок, які називаються дисперсною фазою. Залежно від природи аерозолі поділяють на природні та штучні. Природні аерозолі утворюються під впливом природних сил, наприклад, при вулканічних явищах, поєднанні вітру з ерозією ґрунту, атмосферних явищах. Штучні аерозолі утворюються в результаті господарської діяльності людини. Важливе місце серед них займають промислові аерозолі. Промислові аерозолі утворюються у виробничих процесах і є небажаними відходами виробничої діяльності, що несприятливо впливають на навколишнє середовище і здоров'я населення. Розміри твердих або рідких частинок, зважених у дисперсійному середовищі, можуть перебувати в широкому діапазоні дисперсності від 10^{-7} до 10^{-1} см. Промислові аерозолі можна класифікувати за різними ознаками [1].

Залежно від способу формування аерозолі поділяються на дисперсійні і конденсаційні. Дисперсійні аерозолі утворюються при подрібненні (диспергування) твердих і рідких речовин. Конденсаційні аерозолі утворюються при конденсації насичених парів, а також в результаті газових реакцій [1].

Пил – це дисперсійний аерозоль, що складається з газоподібного або повітряного дисперсійного середовища і твердої дисперсної фази, що представляє собою частинки макроскопічного розміру (від часток мікрона до 0,1 мм), які володіють властивістю знаходитися в зваженому стані більш-менш тривалий час. Залежно від розміру часток пил класифікується на грубий пил з розміром частинок більше 50 мкм і дрібно- або

тонкодисперсний пил (розмір часток менше 5 мкм) [1, 2].

Окремі частки пилу або їх скупчення, від ультрамікроскопічних до видимих неозброєним оком, можуть мати будь-яку форму і склад. У більшості випадків пил утворюється в результаті диспергування твердих тіл і включає частки різних розмірів. Вони можуть нести електричний заряд або бути електронейтральними. Концентрацію пилу (запиленість) виражають числом частинок або їх загальною масою в одиниці об'єму газу (повітря). Пил нестійкий: його частки з'єднуються в процесі броунівського руху або при осіданні (седиментації) [3].

Фахівці поділяють пил на дві основні категорії:

- органічний – включає в себе рослинну, тваринну і штучну органічну категорії;
- неорганічна – включає в себе мінеральну і металеву категорії [4].

Класифікація пилу також може бути за розміром частинок:

- видимий – розмір частинок становить понад 10 мкм;
- мікроскопічний – розмір частинок становить від 0,25 до 10 мкм;
- ультрамікроскопічний - розмір частинок становить менше 0,25 мкм [4].

Джерела пилу в атмосфері дуже різноманітні: ґрунти і солі морської води, що потрапляють у повітря, вулканічні викиди, пожежі. Основними антропогенними джерелами є промисловість і транспорт [5].

Атмосферні аерозолі бувають різного хімічного складу. Це сполуки кремнію, берилію, алюмінію, кадмію та інших металів, продукти зносу дорожнього покриття і неповного згоряння палива (вугільні частинки і сажі аерозоль), спори мікроорганізмів і пилок рослин, інші частинки органічного походження. Окремо виділяють вторинні неорганічні сполуки (сульфати, нітрати, амоній), що утворюються в результаті хімічних реакцій в атмосфері і утворюють аерозолі [5].

Розподіл в атмосфері частинок різного хімічного походження має свої географічні особливості. Так, якщо у Східній Європі основний внесок у забруднення повітря вносять продукти опалення та автотранспорту, то в

Західній Європі серед пилових частинок переважають вторинні неорганічні аерозолі. У промислово розвинених районах Північної Європи і поблизу великих європейських міст загальний вміст пилових частинок визначається в основному антропогенними джерелами, а в країнах Південної і Південно-Східної Європи – вивітрюванням ґрунту (так званий ерозійний пил) [5].

Для утворення ерозійного пилу необхідні дві умови: сухість і вітер. Сухий поверхневий шар землі легко кришиться, частинки ґрунту в сухому стані слабо утримуються одна з одною і можуть бути підняті в повітря вітром. При нестачі рослинності ці процеси істотно посилюються: зелена «одежинка» охороняє ґрунтовий шар як від пересихання, так і від занадто сильного вітру, який втрачає швидкість у рослинному покриві і не здатний «дістатися» до поверхні ґрунту. Саме тому, наприклад, пилові бурі виникають в основному в пустельних і напівпустельних регіонах, рідше – у степових, а в лісостепових і лісових – у виняткових випадках (як правило, при сильному засуху). Для боротьби з пиловими бурями використовуються посадки все тих же рослин – від трави до полезахисних лісових смуг. Чим вище рослинний покрив, тим менше залишається можливостей для появи ерозійного пилу [5].

Рослини також дають притулок і корм грантовій фауні, життєдіяльність якої сприяє підтримці ґрунту у непиловому стані. З цієї причини, зокрема, в останні роки істотним джерелом пилу в багатьох великих містах стають незадерновані поверхні, що утворюються в результаті непомірного скошування трави [5].

Характер поширення пилових частинок в атмосфері залежить від їх розміру. Великі частинки і частина середніх (розміром більше 1 мкм) осідають протягом декількох годин або небагатьох діб і тому, як правило, переносяться на відносно невеликі відстані (хоча в деяких випадках вони можуть долати і сотні кілометрів, якщо пил виявився на значній висоті). Більш дрібні частинки (високодисперсна фракція) можуть утримуватися в атмосфері до 10 – 20 діб і поширюватися за цей час по всій півкулі (обмін

між півкулями через екваторіальну зону утруднений) [5].

В результаті забруднення атмосфери пилом визначається не тільки місцевими джерелами. Так, для більшості країн Європи присутність у повітрі дрібнодисперсної фракції зважених часток (розміром менше 2,5 мкм) обумовлено в основному транскордонним перенесенням пилу. У половині європейських країн 3/4 всього дрібнодисперсного атмосферного пилу принесено від сусідів. Лише в Росії, Туреччині та Іспанії внесок власних викидів в загальне забруднення мелкодисперсними зваженими частинками перевершує внесок пилу, принесеної ззовні [5].

Здатність утворювати з повітрям вибухонебезпечну суміш і здатність до займання є найважливішими негативними властивостями багатьох видів пилу, оскільки саме ці властивості здатні викликати (провокувати) на підприємствах нещасні випадки з людьми, руйнування та пошкодження обладнання, будівельних конструкцій і т.д. Найбільшою мірою відмінність фізико-хімічних властивостей пилу і твердих речовин, з яких вона утворена, проявляється в її пожежо- та вибухонебезпечності. Такі речовини, як зерно і цукор хоча і здатні згоряти при певних умовах, не є вибухонебезпечними речовинами. Будучи ж наведеними в пиловидний стан, вони стають не тільки пожежо-, а й вибухонебезпечними. Пил, що знаходиться у зваженому стані в повітрі приміщень, вибухонебезпечний. Пил (гель), що осів, пожежонебезпечний [1].

Повітря всіх виробничих приміщень в тій чи іншій мірі забруднене пилом; навіть в тих приміщеннях, які зазвичай прийнято вважати чистими, не запиленими, в невеликих кількостях пил все ж є (іноді він навіть видний неозброєним оком в поточному сонячному промінні). Однак у багатьох виробництвах через особливості технологічного процесу, застосовуваних способів виробництва, характеру сировинних матеріалів, проміжних і готових продуктів і багатьох інших причин відбувається інтенсивне утворення пилу, що забруднює повітря цих приміщень у значній мірі. Це може становити певну небезпеку для працюючих. У подібних випадках пил,

що знаходиться в повітрі, стає одним з факторів виробничого середовища, що визначають умови праці працюючих. Він отримав назву промислового пилу [6].

Виділяють такі види промислового пилу:

1. механічний пил – це промисловий пил, що утворюється в результаті подрібнення продукту в ході технологічного процесу;
2. возгони – промисловий пил, що утворюється в результаті об'ємної конденсації парів речовин при охолодженні газу, що пропускається через технологічний апарат, установку або агрегат;
3. летюча зола – промисловий пил у вигляді неспалюваного залишку палива, який утворюється з його мінеральних домішок при горінні, що міститься в димовому газі у зваженому стані;
4. промислова сажа – дисперсний вуглецевий продукт неповного згоряння або термічного розкладання вуглеводнів, що складається із сферичних частинок чорного кольору. Середній розмір часток сажі – 100 – 3500. Частинки сажі утворені з шарів вуглецевих атомів, подібних шарам у графіті. Ці шари складаються з шестикутників, в вершинах яких знаходяться атоми вуглецю, але, на відміну від графіту, шари в сажі не плоскі, а вигнуті, що обумовлює сферичну поверхню частинок. Щільність часток сажі близько 2 г/см³. Поверхня частинок в сажі може бути шорсткою або гладкою [3].

Пил утворюються внаслідок дроблення або стирання (аерозоль дезінтеграції), випаровування з подальшою конденсацією в тверді частинки, (аерозоль конденсації), згоряння з утворенням у повітрі твердих частинок – продуктів горіння (дими), ряду хімічних реакцій і т.д. [6].

У виробничих умовах з утворенням пилу найчастіше пов'язані процеси дроблення, розмелювання, просівання, обточування, розпилювання, пересипання та інших переміщень сипучих матеріалів, згоряння, плавлення та ін. [6].

Залежно від походження пилу він може бути розчинним і нерозчинним

у воді і в інших рідинах, включаючи і біосередовище (кров, лімфу, шлунковий сік і т.д.). Від походження пилу залежить також його хімічний склад, питома вага і ряд інших властивостей. Механізм утворення пилу визначає в основному його дисперсний склад, тобто розмірність пилинок. Структура пилу, тобто форма пилинок, залежить і від походження, і від механізму утворення пилу. За структурою пил може бути аморфним (порошинки округлої форми), кристалічним (порошинки з гострими гранями), волокнистим (порошинки подовженої форми), пластинчастим (порошинки у вигляді шаруватих пластинок) та ін. [6].

При подрібненні твердої речовини порошинки, що утворюються, отримують ту чи іншу кількість електричної енергії внаслідок часткового переходу механічної енергії в електричну. Крім того, пилинки отримують електричний заряд, адсорбуючи на собі іони з повітряного середовища. Таким чином, пил, що знаходиться в повітрі, в тій чи іншій мірі несе на собі електричний заряд. Ступінь електрзарядженості робить істотний вплив на поведінку пилу в повітрі. Електрзаряджені пилинки з протилежним знаком з'єднуються між собою, утворюючи більші частки, за рахунок чого швидше осідають; пилинки з однаковим зарядом, навпаки, відштовхуються друг від одного, що підсилює їх рух у повітрі і уповільнює осадження. Дослідження показують, що високодисперсний пил більшою мірою схильний до електричного заряду. Електрзарядженості сприяє також нагрівання пилу. Підвищена вологість повітря або самого пилу знижує його електрзарядженість [6].

Високодисперсний пил внаслідок електрзарядженості володіє активною поверхнею, тому на ньому сорбуються гази та інші дрібні частинки, що знаходяться в повітрі. Чим менше пилові частинки, тим більше їх активність. Гази, огортаючи пилову частку, сприяють тривалішому знаходженню його в повітрі, тобто сорбування на пилових частинках газів уповільнює осадження пилу [6].

При значній запиленості повітря високодисперсним пилом електричні

заряди пилових частинок можуть сумуватися і, досягнувши певного потенціалу, утворювати електричні розряди – вибухи [6].

Дисперсійний склад пилу визначає швидкість осадження частинок пилу в повітрі і відповідний механізм уловлювання пилу. Швидкість осадження залежить від питомої ваги пилоутворювального матеріалу і форми частинок пилу (табл. 1.1) [7].

Таблиця 1.1 – Швидкість осадження частинок пилу [7]

Група пилу	Швидкість осадження, см/с	
	частинки 2,5 мкм	частинки 10 мкм
Пил органічних матеріалів	0,025 – 0,05	0,39 – 0,5
Зола від спалювання вугілля	0,03 – 0,05	0,7 – 0,9
Пил, який містить оксиди заліза	0,06 – 0,07	0,9 – 1,17

Практично це означає, що частинки розміром 2,5 мкм за годину долають в нерухомому повітрі 1 – 2,5 м, тобто продовжують витати, а частинки розміром 10 мкм проходять дистанцію більш 25 м і осідають на поверхнях, що підстилають [7].

Визначення розмірів частинок має значення для визначення ефективності пиловловлювання. Ще в 30-х роках минулого століття встановлено, що частинки розміром до 1 мкм уловлюються силами інерції, менше 1 мкм – електростатичними силами і силами міжмолекулярної впливу. Середній розмір частинок пилу варіюється від 180 до 0,65 мкм. Причому пилу зі 100 % вмістом частинок більше 10 мкм всього 9 найменувань. Це зола вугілля, вугільний пил, пил формувальної землі до випалу, пил зачистки чавунного лиття і заточувальних верстатів, пил під час помелу вапняку, при пересипанню зерна, крохмалю, порошкових миючих засобів. Такий пил повністю (100 %) затримується тканинними фільтрами, а також циклонами і електричними фільтрами. Ефективність уловлювання інших видів пилу варіюється від 84 до 99,8 % [7].

У повітрі містяться частинки пилу, що утворюється в результаті вивітрювання гірських порід, вулканічних вивержень, пожеж, вітрової ерозії орних земель, виробничої діяльності людини. Пил, як і інші види аерозолів, підсилює розсіяння і поглинання світла атмосферою, впливає на її тепловий режим [3].

Основними джерелами штучних аерозольних забруднень повітря є ТЕС, які споживають вугілля високої зольності, збагачувальні фабрики, металургійні, цементні, магнезитові і сажеві заводи. Аерозольні частинки від цих джерел відрізняються більшою різноманітністю хімічного складу. Найчастіше в їхньому складі виявляються сполуки кремнію, кальцію і вуглецю, рідше – оксиди металів: заліза, магнію, марганцю, цинку, міді, нікелю, свинцю, сурми, вісмуту, селену, миш'яку, берилію, кадмію, хрому, кобальту, молібдену, а також азбест. Вони містяться в викидах підприємств теплоенергетики, чорної і кольорової металургії, будматеріалів, а також автомобільного транспорту. Пил, що осаджується в індустріальних районах, містить до 20 % оксиду заліза, 15 % силікатів і 5 % сажі, а також домішки різних металів (свинець, ванадій, молібден, миш'як, сурма і т.д.) [3].

Ще більша різноманітність властива органічному пилу, що включає аліфатичні і ароматичні вуглеводні, солі кислот. Вона утворюється при спалюванні залишкових нафтопродуктів, у процесі піролізу на нафтопереробних, нафтохімічних і інших подібних підприємствах. Постійними джерелами аерозольного забруднення є промислові відвали – штучні насипи з перевідкладеного матеріалу, переважно розкритих порід, утворених при видобутку корисних копалин або ж з відходів підприємств переробної промисловості, ТЕС [3].

Джерелом пилу й отруйних газів служать масові вибухові роботи. Так, в результаті одного середнього по масі вибуху (250 – 300 т вибухових речовин) в атмосферу викидається близько 2 тис. м³ умовного оксиду вуглецю і більше 150 т пилу [3].

Виробництво цементу та інших будівельних матеріалів також є

джерелом забруднення атмосфери пилом. Основні технологічні процеси цих виробництв – подрібнення і хімічна обробка шихт, напівфабрикатів і одержуваних продуктів у потоках гарячих газів завжди супроводжується викидами пилу й інших шкідливих речовин в атмосферу [3].

Концентрація аерозолів змінюється в досить широких межах: від 10 мг/м^3 у чистій атмосфері до $2,1 \text{ мг/м}^3$ в індустріальних районах. Концентрація аерозолів в індустріальних районах і великих містах з інтенсивним автомобільним рухом в сотні разів вище, ніж у сільській місцевості. Серед аерозолів антропогенного походження особливу небезпеку для біосфери представляє свинець, концентрація якого змінюється від $0,000001 \text{ мг/м}^3$ для незаселених районів до $0,0001 \text{ мг/м}^3$ для призначених для забудови територій. У містах концентрація свинцю значно вище – від $0,001$ до $0,03 \text{ мг/м}^3$ [3].

Біологічна активність частинок пилу в організмі людини залежить від їх хімічного складу. Є два основних види пилу за даним критерієм – дратівливий і токсичний. Перший не завдасть особливої шкоди людині, а ось другий може запустити в організмі, взаємодіючи з кров'ю і тканинною рідиною, хімічні реакції, які утворюють отруйні речовини в організмі людини [4].

Окремі види пилу, як дратівливі, так і токсичні, можуть розчинятися в крові людини. Для першого виду це позитивна якість, що дозволяє їй швидше йти з організму. Для другого це негативна якість, токсичні елементи, розчиняючись в крові, призводять до негайних реакцій всередині організму, які можуть завдати сильної шкоди людині [4].

Вплив на здоров'я людини спричиняють зважені в повітрі як тверді, так і рідкі частинки, потрапляючи в організм через органи дихання. Ступінь впливу частинок на людину істотно залежить від їх розміру, внаслідок чого було виділено два класи РМ (Particulate Matter – зважені частинки) розміром до $2,5 \text{ мкм}$ і розміром від $2,5$ до 10 мкм . Ці класи позначаються відповідно $\text{PM}_{2.5}$ і PM_{10} , при цьому в діапазон розмірів $\text{PM}_{2.5}$ входять, в тому числі,

ультратонкі частинки до 0,1 мкм [2].

Розмір 10 мкм визначений фізіологічними особливостями людини. Частинки більше 10 мкм при диханні через ніс в основному затримуються у верхніх дихальних шляхах, частинки розміром менше 5 – 10 мкм проникають в легені. Дослідження виявили особливу небезпеку для здоров'я частинок розміром до 2,5 мкм, оскільки вони здатні брати участь в газообміні легневих альвеол, а частки менше 0,1 мкм (100 нм) проникають через осередки мембран і по кровотоку досягають інших органів тіла. Частинки діаметром від 0,1 до 1,0 мкм можуть перебувати в повітрі у зваженому стані протягом 10 – 20 діб, тому добре поширюються вітром. Час осадження частинок зменшується з ростом їх розміру. За статистичними даними для більшості регіонів Європи в середовищі перебування людини співвідношення між показниками таке: $PM_{2.5}$ становить 50 – 70 % від PM_{10} [2].

Види пилу та його характерні розміри (PM) наведені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Характерні розміри PM [2]

Найменування	Розмір частинок, мкм
Автомобільні викиди	1 – 150
Віруси	0,005 – 0,3
Дим від дров'яного опалення	$\leq 2,5$
Дим від натуральних речовин	0,01 – 0,1
Дим від синтетичних речовин	1 – 50
Дим тютюновий	0,01 – 4,0
Мікроб (Bacteria)	0,3 – 60
Пилок квітковий	10 – 1000
Сажа (кіптява)	0,01 – 0,1
Сажа вугільна	0,2 – 10
Спори цвілі	10 – 30

Добре доведено вплив навіть короткочасного впливу PM_{10} на стан органів дихання. Але довготривалий вплив $PM_{2,5}$ значно небезпечніше. За існуючими оцінками ВООЗ статистична смертність населення збільшується на 0,2 – 0,6 % на кожні 10 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ PM_{10} . При цьому на таку ж концентрацію $PM_{2,5}$ приходиться 6 – 13 % статистичної смертності від серцево-легеневих захворювань. Постійне перебування частинок пилу в легенях викликає запальні процеси, які в свою чергу призводять до серцево-судинних захворювань. Пил провокує напади у хворих на астму. Дослідження не виявили рівня абсолютно нешкідливою концентрації PM , однак прийняття норм по допустимому рівню PM дозволяє отримати орієнтир для роботи по боротьбі з джерелами забруднень [2].

Пил, що знаходиться в повітрі робочих приміщень, осідає на поверхні шкірного покриву працюючих, потрапляє на слизові оболонки порожнини рота, очей, верхніх дихальних шляхів, зі слиною заковтується в травний тракт, вдихається в більш глибокі ділянки органів дихання (включаючи легені). Перебуваючи в запыленій атмосфері, робочий піддається як зовнішньому, так і внутрішньому впливу пилу. Зовнішній вплив пилу не становить серйозної небезпеки для працюючих, так як з зовнішніх поверхонь (шкірного покриву, слизових) вона відносно легко змивається, а інколи просто струшується, і, отже, безпосередній контакт з нею припиняється після закінчення робочої зміни або після виходу з запыленої атмосфери. Крім того, шкірний покрив не пропускає більшості видів пилу і не піддається сам їх впливу [6].

Заковтування пилу в травний тракт практично настільки незначний, що також не представляє великої небезпеки. Набагато небезпечніше вдихання пилу, при якому значна його кількість потрапляє в організм і лише деяка частина видихається назад. Створюються умови для тривалого контакту відносно великих мас пилу зі слизовою поверхнею дихальних шляхів, найбільш вразливою до його дії [6].

Умови праці поділяються на чотири класи: оптимальні, допустимі,

шкідливі і небезпечні [7].

Оптимальні умови – це умови, за яких несприятливі фактори (в нашому випадку пил) відсутні або концентрації не перевищують гранично допустимих концентрацій (*ГДК*), встановлених для атмосферного повітря населених місць. Оптимальні умови праці зберігають здоров'я працюючих і створюють передумови для підтримання високого рівня працездатності [7].

Допустимі умови праці – це умови, коли концентрації пилу в зоні дихання працюючого не перевищують встановлених *ГДК* шкідливих речовин робочої зони. Ці умови «не повинні надавати несприятливої дії на організм працюючого та/або його потомство». Організм людини повинен відновлюватися під час регламентованого відпочинку або до початку наступної зміни. По відношенню до *ГДК* перехід з допустимих на шкідливі умови праці першого класу відбувається досить легко при перевищенні *ГДК* шкідливих речовин всього лише на 10 % [7].

Межа між допустимими і шкідливими умовами праці становить всього 10 %. Тому все пилові роботи можна віднести до шкідливих [7].

Ступінь небезпеки несприятливої дії пилу на організм визначається в основному концентрацією пилу в повітрі і її дисперсністю. Певну роль відіграють фізико-хімічні властивості пилу, тому їх також слід враховувати при гігієнічній оцінці пилової забрудненості повітря – запиленості. Чим вище концентрація пилу в повітрі, тим більша її кількість за той же період осідає на шкірний покрив працюючих, потрапляє на слизові оболонки і, найголовніше, проникає в організм через органи дихання [6].

Дисперсність пилу виражається в процентному вмісті окремих фракцій пилу по відношенню до всієї кількості пилинок. Для гігієнічної оцінки дисперсності пилу умовно прийнято ділити його на такі фракції: менше 2 мкм, 2 – 4 мкм, 4 – 6 мкм, 6 – 8 мкм, 8 – 10 мкм і більше 10 мкм. Іноді для дослідницьких цілей його поділяють на більш дрібні фракції з виділенням пилинок менше 1 мкм; в деяких же випадках (зазвичай для грубої оцінки) виділяють менше число фракцій з інтервалом в 3 – 4 мкм (менше 2 мкм, 2 –

5 мкм, 5 – 10 мкм і більше 10 мкм) [6].

Розміри порошинок мають велике гігієнічне значення, тому що чим дрібніше пил, тим глибше він проникає в дихальну систему. Якщо відносно великі порошинки при вдиханні більшою мірою затримуються у верхніх дихальних шляхах і поступово віддаляються звідти зі слизом (відхаркувальні), то дрібний пил, як правило, проходить в легені і осідає там на тривалий термін, викликаючи ураження легеневої тканини. Крім того, дрібний пил при тій же масі має велику поверхню зіткнення з легеневою тканиною, тому він більш активний. Високодисперсний пил представляє велику небезпеку, ніж великий (низькодисперсний), оскільки він довше знаходиться в повітрі у зваженому стані [6].

У різних виробництвах зустрічається найрізноманітніший пил за своєю дисперсністю. Наприклад, при дробленні твердих матеріалів у пилу, що утворюється, переважають фракції 5 – 10 мкм і більше, при тонкому подрібненні утворюється пил з переважним вмістом пилинок від 2 до 5 мкм; найбільш дрібним пилом є дими і аерозолі конденсації, в яких більшу частину становлять пилинки менш 1 – 2 мкм. Гігієнічне значення питомої ваги пилу зводиться в основному до швидкості її осадження: чим вище питома вага пилу, тим швидше він осідає і тим швидше відбувається самоочищення повітря [6].

Хімічний склад пилу визначає біологічну дію його на організм. За хімічним складом пил поділяють на дві основні групи: токсичний і нетоксичний. Перший при попаданні в організм викликає гостре або хронічне отруєння, другий не викликає отруєння організму навіть при великих концентраціях і при необмеженому терміні дії [6].

Біологічна дія токсичного пилу знаходиться в тісному зв'язку з його розчинністю. Добре розчинний пил, потрапивши в організм, розчиняється в слизовій і в інших біологічних середовищах (крові, лімфі) і в розчиненому вигляді швидко і в більшій мірі всмоктуються і поширюються по всьому організму, надаючи токсичну дію. Малорозчинний і тим більше нерозчинний

пил при попаданні в організм в основному при вдиханні тривалий час залишається на місці його осідання в органах дихання і надає в основному місцеву дію [6].

Структура пилу, тобто форма пилинок, також має певне гігієнічне значення, оскільки від цього залежить характер його місцевого впливу і проникаюча здатність. Порошинки з гострими гранями, особливо голчастої форми (кристалічний пил, пластинчастий і т.п.), мають більшу подразнюючу дію в місці зіткнення (на слизових оболонках очей, верхніх дихальних шляхах, а іноді і на шкірному покриві). Порошинки скловолонна, наприклад, можуть проникати в пори шкірного покриву, в поверхню слизових оболонок, викликаючи значне їх механічне подразнення. Аморфний і волокнистий пил у меншій мірі викликає місцеве подразнення. Волокнистий м'який пил (вовняний, бавовняний та ін.) в основному затримуються у верхніх дихальних шляхах, не проникаючи в легені [6].

Електрозарядженість пилу сприяє більшому його затриманні в організмі, оскільки осівши на поверхні дихальних шляхів він більшою мірою з ними зв'язується і менше видихається назад. Крім того, здатність електрозарядженого пилу утримувати на своїй поверхні газові частинки призводить до потрапляння останніх в організм і їх сукупному (комбінованому) впливу [6].

Дія пилу на шкірний покрив зводиться в основному до механічного подразнення. Внаслідок такого роздратування виникає невелике свербіння, несприятливе сприйняття, може з'явитися почервоніння і деяка припухлість шкірного покриву, що свідчить про запальний процес [6].

Пилінки можуть проникати в пори потових і сальних залоз, закупорюючи їх і тим самим ускладнюючи їх функції. Це призводить до сухості шкірного покриву, іноді з'являються тріщини, висипи. Потрапивши разом з пилом, мікроби в закупорених протоках сальних залоз можуть розвиватися, викликаючи шкірні захворювання. Закупорка потових залоз пилом в умовах гарячого цеху сприяє зменшенню потовиділення і тим самим

ускладнює терморегуляцію [6].

Деякі види токсичного пилу при попаданні на шкірний покрив викликають його хімічне подразнення, що виражається в появі свербіння, почервоніння, припухлості, а іноді і виразок. Найчастіше такими властивостями володіє пил хімічних речовин (хромові солі, вапно, сода, миш'як, карбід кальцію та ін.) [6].

При попаданні пилу на слизові оболонки очей і верхніх дихальних шляхів його подразнююча дія, як механічна, так і хімічна, проявляється найбільш яскраво. Слизові оболонки в порівнянні зі шкірним покривом більш тонкі й ніжні, їх дратують всі види пилу, не тільки хімічних речовин або з гострими гранями, а й аморфні, волокнисті і ін. [6].

Пил, що потрапив в очі, викликає запальний процес їх слизових оболонок – кон'юнктивіт, який виражається в почервонінні, слезотечі, іноді припухлості і нагноєнні [6].

Такі види пилу, як пекові, надають фотосенсибілізуючу дію на шкірні покриви, і особливо на очі, тобто підвищують їх чутливість до сонячного світла. На яскравому сонячному світлі швидко розвиваються виражені симптоми запалення: свербіж, почервоніння і припухлість відкритих частин шкірного покриву, слизових очей, слезотеча, світлобоязнь. У хмарну погоду, коли немає прямого сонячного світла, ці явища виражені слабше, а при штучному освітленні взагалі відсутні; пов'язано це з тим, що пековий пил призводить до зростання чутливість тільки до ультрафіолетових променів, які у великій кількості входять до складу сонячного спектра і відсутні в звичайному штучному освітленні [6].

На органи травлення можуть впливати лише деякий токсичний пил, який, потрапивши туди навіть у відносно невеликій кількості, всмоктується і викликає інтоксикацію (отруєння). Нетоксичний пил помітно не впливає несприятливо на органи травлення [6].

Дія пилу на верхні дихальні шляхи зводиться до їх подразнення, а при тривалому впливі – до запалення. У початкових стадіях воно проявляється у

вигляді першіння в горлі, кашлю, відхаркування брудною мокротою. Потім з'являється сухість слизових, скорочення відділення мокроти, сухий кашель, хрипота; в деяких випадках при впливі пилу хімічних речовин можуть з'явитися виразки слизової оболонки носа [6].

Найбільшу небезпеку становлять токсичний пил при попаданні його у більш глибокі ділянки органів дихання, тобто в легені, де, затримуючись на тривалий період і маючи розгалужену поверхню зіткнення з тканиною легені (в бронхіолах і альвеолах), вони можуть швидко всмоктуватися у великій кількості і надавати дратівливу і загальнотоксичну дію, викликаючи інтоксикацію організму [6].

Нетоксичний пил, затримуючись в легенях тривалий час, поступово викликає розростання навколо кожної пилинки сполучної тканини, яка не здатна сприймати кисень із вдихуваного повітря, насичувати їм кров і виділяти при видиху вуглекислоту, як це робить нормальна легенева тканина. Процес розростання сполучної тканини протікає повільно, як правило, роками. Однак при тривалому стажі роботи в умовах високої запиленості сполучна тканина поступово заміщає легеневу, знижуючи, таким чином, основну функцію легень – засвоєння кисню і віддачу вуглекислоти. Тривала недостатність кисню призводить до задишки при швидкій ходьбі або роботі, ослаблення організму, зниження працездатності, зниження опірності організму інфекційним та іншим захворюванням, змін функціонального стану інших органів і систем. Внаслідок впливу нетоксичного пилу на органи дихання розвиваються специфічні захворювання, так звані пневмоконіози [6].

За інформацією ВООЗ, приблизно 3 % смертей від кардіопульмонарної патології і 5 % від раку легенів пов'язані з високим вмістом у повітрі зважених частинок. Зростання вмісту пилових частинок в повітрі всього на 10 мкг/м³ може бути причиною зростання кількості летальних випадків на 0,5 % (а для людей старше 75 років – вдвічі більше) [5].

Всесвітньою організацією охорони здоров'я зважені частинки, особливо дрібні частинки розміром менше 10 мкм (PM₁₀), віднесені до

пріоритетних забруднюючих речовин (ЗР), що надходять в атмосферне повітря, за рівнем впливу на здоров'я населення [5].

У 2019 р. в Україні Постановою Кабінету Міністрів України було затверджено новий «Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» [8]. Імплементация цієї Постанови на даний час ще триває. Згідно із затвердженим Порядком до Списку А, тобто переліку ЗР, які необхідно визначати обов'язково, віднесені тверді частки (пил) $ТЧ_{10}$ і $ТЧ_{2.5}$. Але діюча зараз мережа стаціонарних пунктів спостережень в Україні не визначає пил з різними розмірами частинок. Хоча певні системи з визначення пилу у двох розмірах частинок почали працювати в Одесі і в Одеській області (перетворювач якості повітря AQT420 фірми Vaisala Oyj в ОДЕКУ, визначення окремих показників якості повітря у нових Білярах Одеської області).

Певну проблему представляє визначення нормативів якості атмосферного повітря для частинок різного розміру. Керівними принципами ВООЗ рекомендовані такі рівні: для $ТЧ_{2.5}$ – середньорічний рівень 10 мкг/м^3 , середньодобовий рівень – 25 мкг/м^3 ; для $ТЧ_{10}$ – середньорічний рівень 20 мкг/м^3 , середньодобовий рівень – 50 мкг/м^3 [9]. У країнах Євросоюзу, як зазначено у роботі [10], діють такі нормативи: для $ТЧ_{2.5}$ – середньорічний рівень $2,5 \text{ мкг/м}^3$; для $ТЧ_{10}$ – середньорічний рівень 40 мкг/м^3 , середньодобовий рівень – 50 мкг/м^3 . Крім того, Постановою встановлюються цільові показники для $ТЧ_{2.5}$ і $ТЧ_{10}$, які повинні бути досягнуті за певний проміжок часу. Тобто поряд з імплементациєю Постанови необхідно суттєво змінювати діючу нормативну і методичну базу України для оцінки якості атмосферного повітря, в тому числі при забрудненні зваженими речовинами.

1.2 Сажа та її вплив на здоров'я людини

Сажа (технічний вуглець) відома як надійний індикатор забруднення повітря продуктами горіння. Однак лише нещодавно було з'ясовано, що сажа також є одним з короткоживучих факторів впливу на клімат, вносячи свій внесок в розігрівання земної атмосфери. Епідеміологічні дослідження дають достатні докази статистичного зв'язку серцево-судинної захворюваності і смертності з впливом сажі. З результатів токсикологічних робіт видно, що сажа може виступати в якості універсального переносника найрізноманітніших хімічних агентів різного ступеня токсичності в організм людини. Хоча сажа, мабуть, не є основним, безпосередньо токсичним компонентом дрібнодисперсних зважених часток, скорочення рівнів впливу зважених часток, що містять сажу, має знизити їх негативний вплив на здоров'я, а також буде сприяти пом'якшенню процесів зміни клімату [11].

Сажа – продукт неповного згоряння або термічного розкладання вуглеводнів (природних або промислових газів, рідких продуктів нафтового або кам'яновугільного походження) складається із сферичних частинок чорного кольору. Сировиною для виробництва сажі служать природний газ, ацетилен, рідкі вуглеводні, а також залишки від перегонки нафти і кам'яновугільні смоли, що містять велику кількість конденсованих ароматичних сполук. Сажа, що утворюється при горінні в промислових і побутових печах, а також при роботі двигунів внутрішнього згоряння (дизелях), викидається разом з продуктами горіння в атмосферу у вигляді шкідливих димів. Сажеві частки не взаємодіють з киснем повітря і тому видаляються тільки за рахунок коагуляції (збільшення, згущення) і осадження на землю, що триває дуже повільно. Сажа відносяться до 3 класу небезпеки. Входить в категорію частинок, небезпечних для легенів, оскільки частинки менше 5 мкм в діаметрі фільтруються в верхніх дихальних шляхах [11].

Завдяки останнім дослідженням стало відомо, що звичайна сажа дуже небезпечна для людини і навколишнього середовища. Відмічено, що люди, які проживають неподалік від автомобільних магістралей, частіше за інших страждають захворюваннями легенів. Сьогодні до цих захворювань додалися ще й серцево-судинні. Як виявилось, однією з причин цього сажа, що викидається в атмосферу [11].

На думку вчених, згубний вплив сажі пояснюється наступним. Хвороби серцево-судинної системи виникають внаслідок вдихання частинок, що містяться у вихлопних газах, що пов'язано з наявністю особливих радикалів в двигуні. Розмір небезпечних частинок незначний – менше 1 мкм. У зв'язку з цим при вдиханні вони легко потрапляють у кровоток і можуть надавати прямий вплив на судини. На жаль, людство ще не придумало, як можна повністю позбутися від негативного впливу вихлопних газів і продуктів згоряння. Власники транспортних засобів з дизельними двигунами можуть надати посильну допомогу в зниженні рівня забруднення навколишнього середовища. Для цього, наприклад, можна купувати дизельне паливо оптом, що відрізняється високою якістю [11].

Вчені виявили, що чорний вуглець (сажа), який утворюється при неповному згоранні дизельного палива, вугілля та інших видів палива, може досягти плаценти людини і проникнути через неї. Вони показали, що чим більше забруднення повітря, тим більше частинка може виявлятися в плаценті. Автори опублікували свою роботу у виданні «Nature Communications» і вважають, що їх висновки допомагають зрозуміти механізм впливу забруднення повітря на розвиток плоду та здоров'я людини в цілому. Згідно з даними ВООЗ, у 2016 р. забруднення повітря стало причиною смерті приблизно 4,2 млн. людей. При цьому в регіонах, якість повітря в яких не відповідає стандартам, рекомендованим ВООЗ, проживає близько 91 % населення планети [12].

Кількість часток сажі в плаценті матерів корелювало з тим, наскільки сильним було забруднення повітря в районі їх проживання. Вчені встановили

це на прикладі 10 жінок, що піддавалися високому рівню забруднення повітря ($2,42 \text{ мкг/м}^3$), і 10 жінок, які проживали в місцях з низькою забрудненістю ($0,63 \text{ мкг/м}^3$). Збільшення кількості сажі в повітрі на кожні $0,5 \text{ мкг/м}^3$ було пов'язано зі збільшенням кількості її частинок в плаценті на $0,45 \times 10^4$ часток/мм³, а в цілому навантаження на плаценту зростало на 38 %. Розмір скупчень частинок сажі, що виявлено в плаценті, коливався переважно між 1 і 9,78 мкм [12].

У висновках дослідження зазначено, що отримані результати є наочним доказом того, що частинки сажі забрудненого повітря можуть потрапляти до легень вагітної жінки і в плаценту. Це може виявитися частиною пояснення відомих негативних ефектів забрудненого повітря на розвиток плода [12].

Сажа також негативно впливає на розвиток маленьких дітей. Американські вчені з Гарвардського університету на чолі з керівником дослідницької групи Шакірою Франко Сулья визначили вплив забрудненості атмосфери на коефіцієнт інтелекту. Діти, що живуть в містах з інтенсивним автомобільним рухом, тобто з високим рівнем забруднення повітря, мають IQ нижче, ніж у дітей, що живуть в більш екологічно чистих населених пунктах. Як заявила Ш.Ф. Сулья, незадовільний стан атмосферного повітря шкодить інтелекту підлітка також, як якщо б його мати викурювала під час вагітності по 10 сигарет щодня. У дослідженні взяли участь більше 200 дітей Бостона у віці 8 – 11 років. Вчені встановили співвідношення між пізнавальною функцією дитини і ступенем забруднення атмосфери сажею, що потрапляє в повітря з автомобільними вихлопами. Чим більше сажі вдихає дитина, тим гірше результати його інтелектуальних тестів. За результатами дослідження, значний вміст сажі в повітрі знижує IQ в середньому на 3 – 4 пункти. Раніше вчені виявили, що у Великій Британії діти з розумовою відсталістю частіше живуть в районах з високим рівнем забрудненості повітря [11].

В цілому проблема забруднення повітря міст світу зваженими частинками діаметром менше 10 мкм визнана однією з найважливіших і знаходиться на постійному контролі ВООЗ. Дим від дизельних двигунів, що

складається в основному з сажі, вважається особливо небезпечним через те, що його частки призводять до раку. Історично відома так звана хвороба сажотрусів – рак шкіри. Це пояснюється тим, що такий компонент сажі як 3,4-бенз(а)пірен є сильним канцерогеном. Сажа утворюється в результаті роботи двигунів автомобілів і вантажівок, повітряних суден, залізничних потягів, лісових і торф'яних пожеж, а також печей, в яких спалюють деревину чи вугілля. Величезна кількість сажі утворюється при спалюванні сміття, до складу якого входять залишки будівельних матеріалів, шини автомобілів, пластмаса і безліч інших неорганічних компонентів. Сажа є потужним канцерогеном, і як дисперсійна пил розноситься вітрами на тисячі кілометрів, володіючи у багато разів більше потужним негативним фактором, ніж вуглекислий газ. При вдиханні сажі її частинки викликають негативні зміни в системі дихальних органів людини, погіршують перебіг хронічних захворювань, особливо захворювань легенів, наприклад, хронічного бронхіту. З'являються ознаки ішемії (порушення кровопостачання серця) при фізичному навантаженні у людей із захворюваннями серця. Сажа при потраплянні в організм людини викликає негативні наслідки в дихальних органах. Якщо відносно великі частки сажі розміром 2 – 10 мкм легко виводяться з організму, то дрібні розміром 0,5 – 2 мкм затримуються в легенях, дихальних шляхах, викликають алергію. Як будь-який аерозоль, сажа забруднює повітря, погіршує видимість на дорогах, але, найголовніше, на ній адсорбуються важкі ароматичні вуглеводні, в тому числі бенз(а)пірен [11].

У табл. 1.3 наведено обсяги викидів забруднюючих речовин (ЗР) при спалюванні основних видів палива [11].

Сажа широко застосовується в багатьох галузях виробництва. Більше 90 % всієї виробленої сажі споживають гумова і шинна промисловість (введення сажі в гуму значно підвищує її опір розриву і стирання). У великих масштабах сажа використовується у виробництві чорних лаків і емалей та чорних друкарських фарб для поліграфії. Сажа широко вживається також як

Таблиця 1.3 – Обсяги викидів забруднюючих речовин при спалюванні основних видів палива

Викиди	Бензин неетилований на 1 т	Дизельне паливо (зі вмістом сірки 0,2 %) на 1 т	Зріджений газ на 1 т	Стиснутий газ на 1000 м³	Дизельне паливо (зі вмістом сірки 0,035 %) на 1 т	Дизельне паливо (зі вмістом сірки 0,005 %) на 1 т
Оксид вуглецю	0,440	0,125	0,440	0,220	0,125	0,125
Вуглеводні	0,080	0,055	0,080	0,050	0,055	0,055
Діоксид азоту	0,025	0,035	0,025	0,025	0,035	0,035
Сажа	0,0006	0,015	–	–	0,015	0,015
Сірчастий газ	0,002	0,004	–	–	0,0007	0,0001

наповнювач для отримання різних виробів із пластмас, для виготовлення копіювального паперу, стрічок для друкарських машин, крему для взуття, гриму, косметичних фарб тощо. У виробництві сухих електричних елементів застосовується так звана ацетиленова сажа (отримується при термічному або вибуховому розкладанні ацетилену). Вона відрізняється найбільш розвиненою вторинною структурою і високою електропровідністю. В техніці для нагріву багатьох печей, зокрема мартенівських, приймаються спеціальні заходи для підвищення концентрації сажі в полум'ї, оскільки теплове і світлове випромінювання полум'я обумовлене саме наявністю в ньому сажі [11].

На думку вчених, сажа є суттєвим фактором змін клімату. На який на даний час звертається небагато уваги. Вона існує в атмосфері порівняно недовго, від декількох днів до кількох тижнів, оскільки добре вимивається опадами. При цьому вплив на клімат є значним тому, що чорні частки не лише поглинають сонячне випромінювання і «забруднюють» хмари, але й, опадаючи на сніг та кригу, зменшують їхню властивість відбивати промені і посилюють танення льодовиків [13].

Коли частинки сажі піднімаються в повітря і з'єднуються з озоном або сірчаною кислотою, їх фізичні та хімічні властивості змінюються. Зістарені озоном частки утворюють ядра конденсації в нижніх шарах атмосфери, і це призводить до утворення хмар. В більш високих шарах атмосфери частинки сажі діють як ядра льоду і створюють перисті хмари.

За даними сучасних досліджень вплив сажі на потепління може вдвічі перевищувати попередні оцінки. В цілому він може складати близько $1,1 \text{ Вт/м}^2$, або $2/3$ від аналогічного показника CO_2 .

На думку Девіда Фейхі, одного з керівників дослідження Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США, нові дані «підтверджують і посилюють попередні висновки про те, що сажа за своїм впливом на клімат випереджає метан». При цьому, вчені наголошують на тому, що вплив сажі на клімат – це комплексний процес, в якому є й різноспрямовані ефекти. Окрім «підігріву», чорний вуглець може сприяти й охолодженню атмосфери через формування хмар. До того ж, часто разом з чорним вуглецем із тих самих джерел в атмосферу потрапляють «охолоджувальні» частки і сполуки. Так, вчені дійшли висновку, що передусім боротись варто з викидами сажі від дизельних двигунів і спалювання вугілля в домашніх печах. Такі дії не лише зумовлять швидке зниження антропогенного впливу на клімат, але й покращать якість повітря і сприятливо вплинуть на здоров'я людей. За даними ООН зменшення викидів сажі і метану може до 2030 р. вдвічі зменшити прогнозоване зростання температури на планеті і дасть можливість щорічно

рятувати від смерті 2,4 млн. людей, а також зберегти до 30 млн. т сільськогосподарської продукції [13].

2 МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ОЦІНКИ СТАНУ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ

2.1 Методи оцінки забруднення атмосферного повітря на основі ІЗА

Зазвичай оцінка якості і рівня забруднення атмосферного повітря здійснюється із застосуванням двох основних підходів [14]:

1) метод порівняння, який полягає у порівнянні визначеної або розрахованої величини будь-якого показника (параметра) з нормативним значенням – метод гранично допустимої концентрації (*ГДК*);

2) метод інтегральної оцінки, який дозволяє надати оцінку якості повітряного басейну окремого регіону в цілому за певними забруднюючими речовинами (*ЗР*) на основі розрахунку комплексних показників.

Метод *ГДК* на даний час є найбільш поширеним для оцінки стану атмосферного повітря. Але Постановою Кабінету Міністрів України № 827 від 14.08.2019 р. прийнята нова редакція «Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» [15], в якому запропоновано нові нормативні показники якості атмосферного повітря. І на даний час триває імплементація цього нормативно-законодавчого документу.

В Україні та інших країнах найбільш часто застосовуються індекси забруднення (якості) атмосфери (повітря), визначення яких розрізняється за методичним підходом. Проведено короткий аналіз існуючих методик розрахунку зазначених показників.

Найбільш часто в нашій країні застосовується методика розрахунку індексу забруднення атмосфери (*ІЗА*) за результатами нормування концентрацій домішок на величину *ГДК*, отриманих на мережі пунктів спостережень за забрудненням атмосфери (*ПСЗ*). Такі *ІЗА (I)* розраховують за формулою:

$$I = \left(\frac{q_p}{ГДК_{mp}} \right)^{C_i}, \quad (2.1)$$

$$\text{або } I = \left(\frac{\bar{q}}{ГДК_{cd}} \right)^{C_i}, \quad (2.2)$$

де q_p та \bar{q} – відповідно максимальна та середня концентрації ЗР в атмосферному повітрі, мг/м³;

C_i – константа, що має значення 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 відповідно для 1; 2; 3; 4-го класу небезпеки ЗР і дозволяє привести ступінь шкідливості i -ої ЗР до ступеня шкідливості SO_2 [16].

Згідно з методикою, при $IЗА \leq 1$ якість повітряного басейну за вмістом окремої ЗР відповідає санітарно-гігієнічним вимогам [16].

Також розраховують комплексні індекси забруднення атмосфери ($KIЗА$). $KIЗА$ – це кількісна характеристика рівня забруднення атмосфери, утвореного n речовинами, наявним в атмосфері міста. Розраховуються за формулою:

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{\bar{q}}{ГДК_{cd}} \right)^{C_i} \right)_i. \quad (2.3)$$

$KIЗА$ може розраховуватись по одному або декількох ПСЗ міста як сума всіх $IЗА$ [16].

Як комплексний індекс також використовується індекс I_5 , який враховує значення одиничних $IЗА$ п'яти ЗР, для яких ці значення є максимальними:

$$I_5 = \sum_{i=1}^5 I_i. \quad (2.4)$$

Згідно з методикою, за значенням I_5 виділяють такі класи забруднення атмосферного повітря: $I_5 < 2,5$ – чисте атмосферне повітря; $I_5 = 2,5 - 7,5$ – слабо забруднене; $I_5 = 7,6 - 12,5$ – забруднене; $I_5 = 12,6 - 22,5$ – сильно забруднене; $I_5 = 22,6 - 52,5$ – високо забруднене; $I_5 > 52,5$ – екстремально забруднене атмосферне повітря [16].

Певним аналогом I_3A є «індекс небезпеки забруднення», запропонований А.В. Приймаком [16]:

$$I_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n k_i^2}, \quad (2.5)$$

де k_i – перевищення $ГДК$ розглянутої домішки [16].

Також аналогічний показник – сумарний показник забруднення атмосферного повітря – запропонований білоруськими вченими:

$$P = \sqrt{\sum_{i=1}^n K_i^2}, \quad (2.6)$$

де K_i – концентрації ЗР 1; 2; 4-го класів небезпеки в частках $ГДК$, приведені до біологічно еквівалентного 3-го класу небезпеки за коефіцієнтами ізоефективності (для 1 класу – 2,0; 2 класу – 1,5; 3 класу – 1,0; 4 класу – 0,8) [17].

Формули (2.5 – 2.6) мають однаковий математичний запис і фактично однакову фізичну сутність. Обидва показника можна віднести до групи комплексних показників, тобто можливе порівняння з KI_3A , а не з I_3A .

У США Агентством з охорони навколишнього середовища визначається індекс якості атмосферного повітря (*Air Quality Index – AQI*), який розраховується на підставі значень концентрацій таких ЗР: озон, завислі речовини, оксид вуглецю, діоксид сірки і діоксид азоту. Виділено декілька

інтервалів значень AQI у залежності від ступеня впливу різних концентрацій вказаних ЗР на здоров'я людини, а також систему колірних позначень кожного ступеня забруднення. Індекс розраховують за формулою:

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (Cp - BP_{Lo}) + I_{lo}, \quad (2.7)$$

де Cp – осереднена концентрація ЗР;

BP_{Hi} – межа інтервалу значень, яка більше або що дорівнює Cp ;

BP_{Lo} – межа інтервалу значень, менше Cp ;

I_{Hi} – значення AQI , що відповідає BP_{Hi} ;

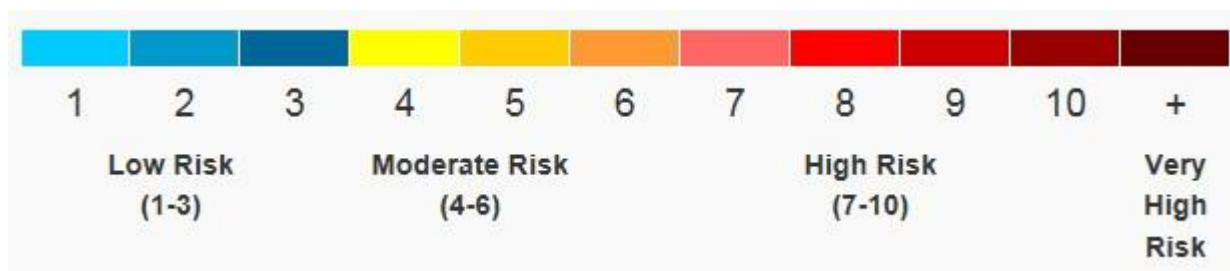
I_{lo} – значення AQI , що відповідає BP_{Lo} [8].

Шкала індексів AQI має характеристики, наведені у табл. 1.1.

Таблиця 2.1 – Шкала індексів AQI [18]

Рівень впливу на здоров'я	Добрий	Помірний	Шкідливий для чутливих груп	Шкідливий	Дуже шкідливий	Небезпечний
Числове значення	0 – 50	51 – 100	101 – 150	151 – 200	201 – 300	301 – 500

Фактично аналогічний підхід запропоновано у Канаді. В якості комплексного показника використовується індекс здоров'я за якістю атмосферного повітря (*The Air Quality Health Index – AQHI*) [19]. Показник розраховується за даними про вміст 3 ЗР: озон, завислі речовини, діоксид азоту. Він може приймати значення від 1 до 10, яким відповідає розроблена шкала кольорів (рис. 2.1). При $AQHI = 1 – 3$ ризик для здоров'я низький, $AQHI = 4 – 6$ – помірний, $AQHI = 7 – 10$ високий, $AQHI > 10$ – дуже високий.

Рисунок 2.1 – Шкала ранжування за значенням *AQHI* [19]

У Франції для оцінки забруднення атмосферного повітря використовують індекс *ATMO*. Він розраховується за вмістом чотирьох ЗР: діоксид сірки, діоксид азоту, озон і завислі речовини. Спочатку для кожної із ЗР розраховується первинний індекс, потім розраховується комплексний *ІЗА* за день шляхом сумування максимальних первинних індексів. У табл. 2.2 представлена шкала розрахунку індексу *ATMO* [17].

Таблиця 2.2 – Шкала індексу забруднення атмосфери *ATMO* (Франція) [17]

Індекс <i>ATMO</i>	Діапазон середніх із максимальних годинних концентрацій, мкг/м ³			Діапазон середніх денних концентрацій (ТЧ ₁₀ , мкг/м ³)
	<i>SO</i> ₂	<i>O</i> ₃	<i>NO</i> ₂	
Дуже добрий	0 – 39	0 – 29	0 – 29	0 – 9
Дуже добрий	40 – 79	30 – 54	30 – 54	10 – 19
Добрий	80 – 119	55 – 79	55 – 84	20 – 29
Добрий	120 – 159	80 – 104	85 – 109	30 – 39
Середній	160 – 199	105 – 129	110 – 134	40 – 49
Посередній	200 – 249	130 – 149	135 – 164	50 – 64
Посередній	250 – 299	150 – 179	165 – 199	65 – 79
Поганий	300 – 399	180 – 209	200 – 274	80 – 99
Поганий	400 – 499	210 – 239	275 – 399	100 – 124
Поганий	≥ 500	≤ 240	≥ 400	≥ 125

У Великобританії рівень забруднення повітря характеризується індексом, який приймає значення від 1 до 10 і відповідним йому рівнем забруднення (1 – 3 – низький, 4 – 6 – помірний, 7 – 9 – високий, 10 – дуже високий). Ці рівні встановлені на основі впливу кожної ЗР на здоров'я. При розрахунку індексу враховують концентрації озону, діоксиду азоту, діоксиду сірки і завислих речовин [17]. Даний індекс майже аналогічний показнику *AQHI*, який використовується в Канаді.

У Бельгії для оцінки якості атмосферного повітря використовується індекс якості *BELATMO*, методика розрахунку якого подібна до методики розрахунку *AQI* (США). Він розраховується за даними про вміст озону, діоксиду азоту, діоксиду сірки і завислих речовин. В залежності від концентрації ЗР значення індексу змінюється в межах від 1 (відмінна якість повітря) до 10 (дуже погана) [17].

У Китаї застосовують індекс забруднення повітря *API*. При розрахунку даного показника враховують концентрації діоксиду сірки, діоксид азоту і ТЧ₁₀. Значення *API* за рівнем забруднення повітря певною ЗР розраховують за формулою [17]:

$$API = \max (I_1, I_2, \dots, I_n). \quad (2.8)$$

За значеннями *API* виділяють такі категорії якості атмосферного повітря: *API* = 0 – 50 – відмінна якість; *API* = 51 – 100 – добра; *API* = 101 – 150 – незначно забруднене повітря; *API* = 151 – 200 – слабо забруднене; *API* = 201 – 250 – середньо забруднене; *API* = 251 – 300 – середньо-сильно забруднене; *API* > 300 – сильно забруднене повітря [17].

В Австралії також використовується індекс якості повітря *AQI*. Аналізується вміст 5 ЗР, а саме озону, діоксиду азоту, діоксиду сірки, оксиду вуглецю і завислих речовин. Розрахунок *AQI* проводиться за формулою:

$$I_P = (C_P / C_{Ps}) \cdot 100 \%, \quad (2.9)$$

де I_p – індекс забруднення;

C_p – концентрація ЗР;

C_{ps} – стандартна концентрація ЗР [20].

Класифікація якості атмосферного повітря здійснюється згідно з табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Категорії якості повітря за значенням AQI (Австралія) [20]

Категорія	Діапазон AQI
Дуже добра (VG) якість повітря	0 – 33
Добра (G) якість повітря	34 – 66
Нормальна (F) якість повітря	67 – 99
Погана (P) якість повітря	100 – 149
Дуже погана (VP) якість повітря	≥ 150

Так, аналіз показав, що розглянуті вище показники оцінки якості повітряного басейну, які застосовуються у країнах ЄС, США, Канаді, Китаї тощо, зазвичай враховують обмежену кількість речовин, особливо $AQNI$ (Канада) і API (Китай). В деяких показниках не враховується клас небезпеки ЗР. Хоча такий підхід сьогодні в Україні з прийняттям нового «Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» не є достатньо правомірним. Проте розробка нової методичної бази щодо оцінки якості атмосферного повітря потребує часу, і на даний час немає будь-яких проектів і рекомендацій щодо оцінки стану і якості атмосферного повітря з урахуванням вище згаданого нормативно-законодавчого документа.

2.2 Оцінка із застосуванням параметрів сталого розвитку

Перш за все нагадаємо, що сталий розвиток – це такий розвиток, який дозволяє задовольнити потреби сучасного покоління без шкоди для майбутніх поколінь. В Україні в останні роки прийнято окремі законодавчі документи з питань сталого розвитку, а саме проект Закону України «Про Стратегію сталого розвитку України до 2030 року» (2018 р.) [21], згідно з яким сталий розвиток орієнтований на поліпшення якості життя людини у сприятливому соціально-економічному і, в т.ч., екологічному середовищі. Також у 2019 р. вийшов Указ Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» [22].

Розроблено певний перелік параметрів і індикаторів, які застосовуються для оцінки сталого розвитку. Всі ці показники узагальнені як оціночні параметри у метриці для вимірювання процесів сталого розвитку (МВСП) [23]. У МВСП зазначено, що оцінку сталого розвитку необхідно виконувати з позицій економічного, екологічного і соціального-інституціонального характеру. Екологічна складова визначається через індекс екологічного виміру (I_e) з урахуванням трьох категорій екологічної політики: 1) екологічні системи (I_{SYS}); 2) екологічне навантаження (I_{STR}); 3) регіональне екологічне керування (I_{REG}). Ці категорії містять 13 індикаторів і 44 параметри (табл. 2.4) [23].

Таблиця 2.4 – Категорії політики, індикатори та параметри I_e [23]

Категорія політики	Індикатор	Параметр
Екологічні системи I_{SYS}	Повітря I_{AIR}	Середні концентрації діоксиду азоту I_{NO_2} , діоксиду сірки I_{SO_2} і пилу I_{TCP} в атмосферному повітрі міст
	Біорізноманіття I_{BIO}	Види фауни I_{PFA} і флори I_{PFL} під загрозою
		Об'єкти ПЗФ I_{PZF}
	Земля I_{LAN}	Техногенне навантаження на природне середовище I_{ANT}
		Поширення екзогенних геологічних процесів I_{EGP}
		Забруднені ділянки I_{WLN}
		Порушені, відпрацьовані та рекультивовані землі I_{EXH}
	Якість води I_{WQL}	Середньорічні концентрації завислих речовин I_{SS} і нітратів I_{NIT} , середньорічна мінералізація I_{MIN}
	Кількість води I_{WQN}	Забір води з природних I_{WAV} і підземних I_{GAV} джерел у розрахунку на 1 особу
	Радіаційна і екологічна небезпека I_{RAD}	Радіаційна забрудненість території I_{RTR}
		Потенційна радіаційна небезпека I_{RHZ}
		Радіоактивно забруднені землі I_{RLN}
		Екологічно небезпечні підприємства I_{IHZ}
Зберігання і використання небезпечних хімічних речовин I_{HZW}		
Екологічне навантаження I_{STR}	Викиди в атмосферне повітря I_{EMS}	Викиди оксидів азоту I_{NOX} , діоксиду сірки I_{SOT} і летких органічних сполук I_{VOC}
		Викиди від автомобільного транспорту I_{CAR}
		Викиди від стаціонарних і пересувних джерел у розрахунку на 1 км ² I_{EKM} і на 1 особу I_{EPC}

Продовження табл. 2.4

Категорія політики	Індикатор	Параметр
Екологічне навантаження I_{STR}	Навантаження на екосистеми I_{ECO}	Зміна відношення площі зрубаних і загиблих лісових насаджень до площі створених лісових насаджень за останні 3 роки I_{FRS}
		Рілля I_{EF1}
		Сіножаті та пасовища I_{EF2}
		Ліси та інші лісовкриті площі I_{EF3}
		Забудовані землі I_{EF4}
		Використання свіжої води у розрахунку на 1 особу I_{EF5}
	Утворення і використання відходів I_{WST}	Використання I_{REC} і накопичення I_{ACC} відходів
		Утворення відходів I – III класів небезпеки у розрахунку на 1 км ² I_{WKM} і на 1 особу I_{WPC}
		Площі під ТПВ I_{WAR}
Водне навантаження I_{WAT}	Скидання ЗР I_{CNT} і зворотних вод I_{REW} у поверхневі водні об'єкти	
Регіональне екологічне керування I_{REG}	Участь в екологічних проектах I_{COL}	Громадські екологічні організації на території області I_{ORG}
		Обсяг фактичних коштів з державного і обласного фондів на природоохоронні заходи I_{FND}
	Викиди парникових газів I_{GHG}	Викиди до ВРП I_{GDP} і на душу населення I_{GPC}
	Трансграничний екологічний тиск I_{GPC}	Відходи I – III класу небезпеки, передані іншим підприємствам, іншим країнам тощо I_{EXP}

3 ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ МІСТ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я ЗАВИСЛИМИ РЕЧОВИНАМИ

Міста Північно-Західного Причорномор'я (ПЗП), територія якого включає Одеську, Миколаївську і Херсонську області (рис. 3.1), в останні роки входять до переліку найбільш забруднених міст України. Так, у 2016 р. за даними Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського [25] Одеса посідала 3 місце, Херсон – 6, Миколаїв – 8; у 2017 р. – Одеса і Миколаїв 4 і 6 місце відповідно, у I півріччі 2019 р. – Одеса – 3 місце, Миколаїв – 4 і Херсон – 7.



Рисунок 3.1 – Карта регіонів ПЗП [24]

У даному розділі виконано аналіз рівня забруднення атмосферного

повітря міст ПЗП завислими речовинами (пил і сажа) за багаторічний період, а також їх ранжування.

У м. Одеса спостереження за вмістом ЗР в атмосферному повітрі проводяться на мережі 8 стаціонарних ПСЗ. Вміст пилу визначається на усіх ПСЗ, сажі – на 6 ПСЗ. Схема розташування ПСЗ у м. Одеса наведена на рис. 3.2.

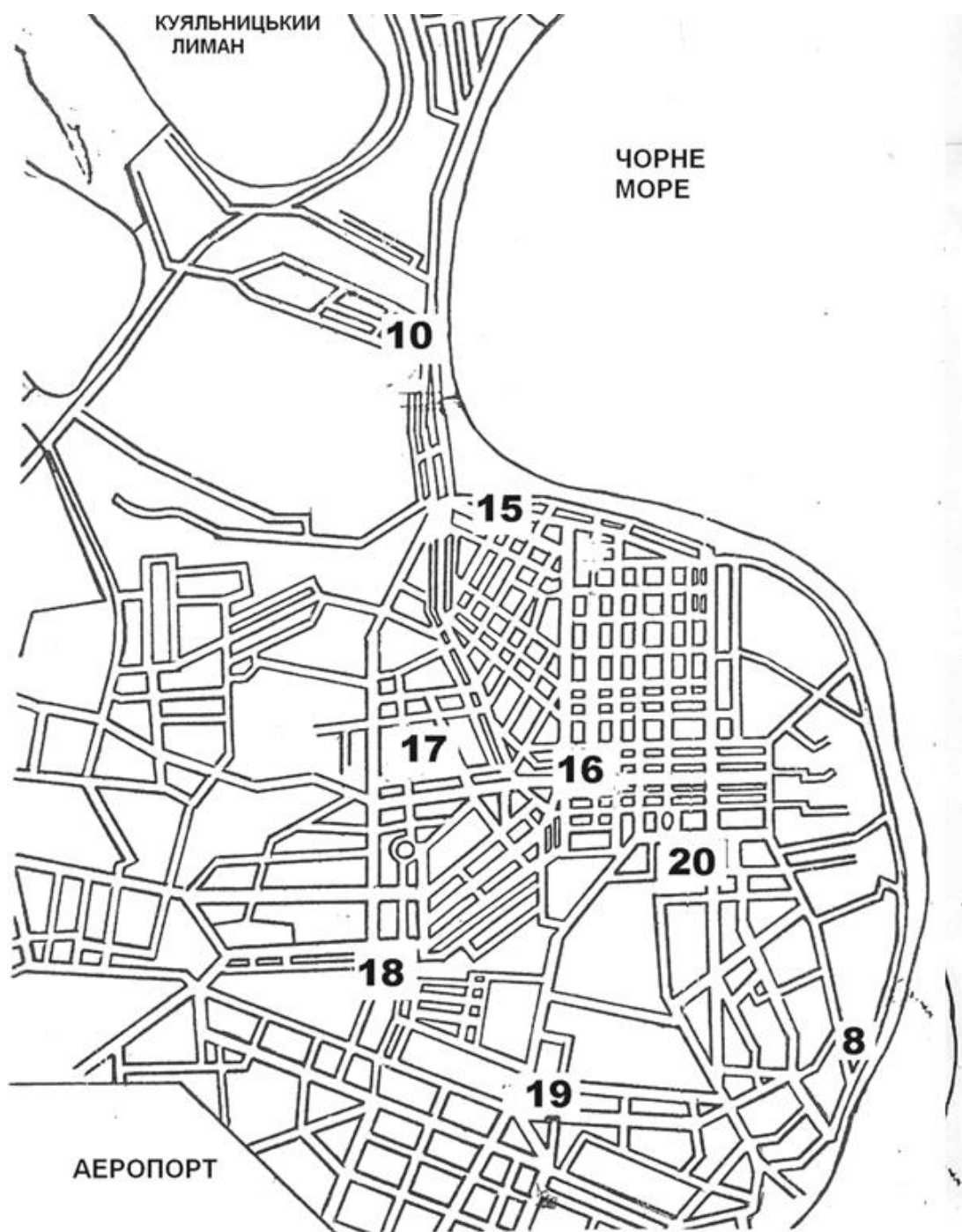


Рисунок 3.2 – Карта-схема розташування ПСЗ по території м. Одеса [26]

Аналіз та оцінка забруднення атмосферного повітря міст ПЗП зваженими речовинами виконано на основі даних моніторингових спостережень за 2003 – 2019 рр.

На рис. 3.3 наведено динаміку зміни концентрацій пилу у м. Одеса у 2003 – 2019 рр. Як видно, за весь період спостереження вміст пилу майже постійно перевищував значення $ГДК_{сд}$. З 2003 по 2011 р. відзначалось зменшення концентрацій пилу, потім незначне збільшення до рівня 2010 р. ($1,5 ГДК_{сд}$).

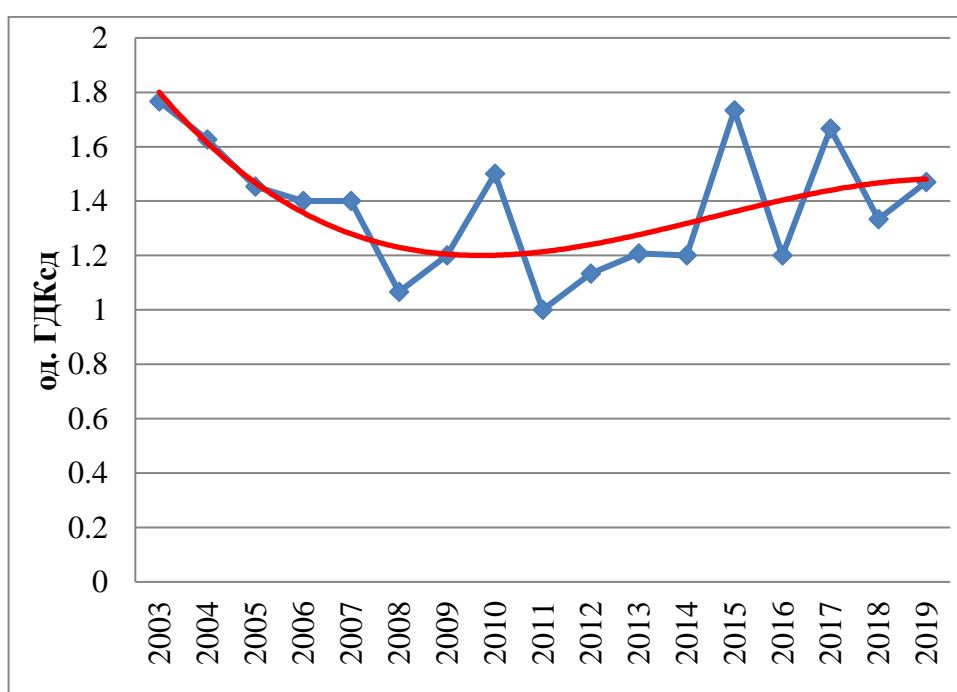


Рисунок 3.3 – Динаміка змін концентрацій пилу в атмосферному повітрі м. Одеса

На рис. 3.4 наведено динаміку зміни концентрацій сажі в атмосферному повітрі м. Одеса. Як видно, з 2003 р. рівень забруднення порівняно з останніми роками дещо зменшився. Проте вміст даної домішки у повітряному басейні міста, як і вміст пилу, також постійно перевищує $ГДК_{сд}$.

Слід відзначити, що показники вмісту пилу і сажі у повітряному басейні м. Одеса постійно входять до переліку 5 забруднюючих речовин з максимальними $ІЗА$.

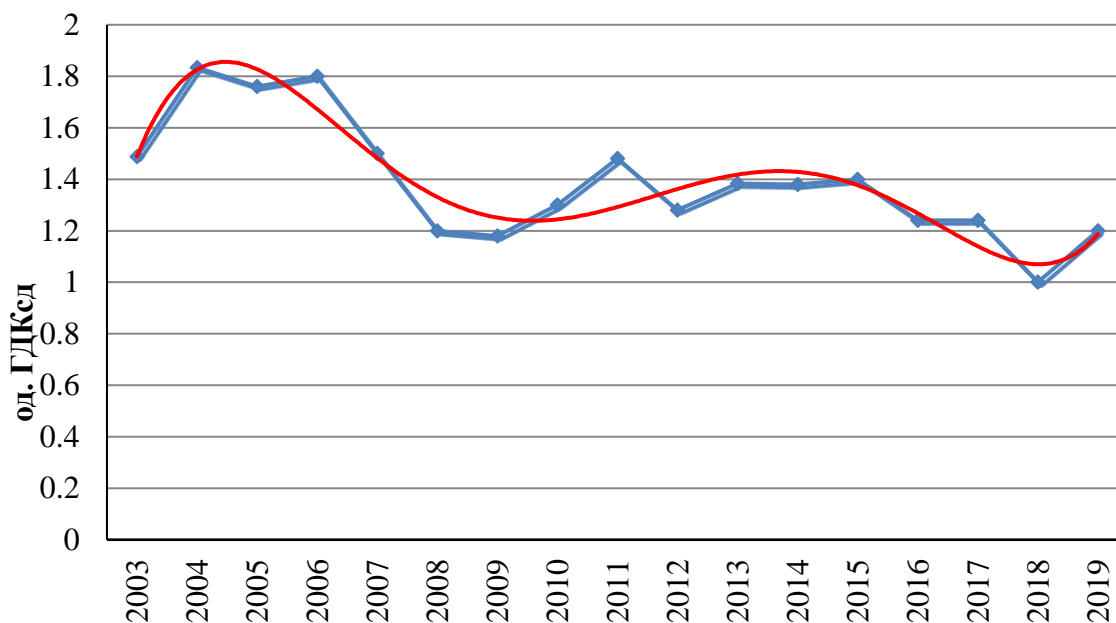


Рисунок 3.4 – Динаміка зміни концентрацій сажі в атмосферному повітрі м. Одеса

У мм. Миколаїв і Херсон спостереження проводяться лише за вмістом пилу.

У м. Миколаїв функціонує 4 ПСЗ за якістю атмосферного повітря (рис. 3.5). ПСЗ № 1 розташований у Заводському районі, ПСЗ № 2 і 3 – у Ленінському, ПСЗ № 4 – у Центральному районі. Тобто спостереженнями не охоплено Корабельний район, хоча тут і функціонує декілька крупних підприємств.

На рис. 3.6 наведено динаміку зміни вмісту пилу в атмосферному повітрі м. Миколаїв у 2003 – 2019 рр. Аналіз наведеного рисунка показує, що на відміну від м. Одеса у м. Миколаїв концентрації пилу не перевищують $ГДК_{сд}$. Мінімальні концентрації відзначались у 2004 – 2006 рр., максимальні на рівні $0,67 ГДК_{сд}$ – у переважній більшості періоду спостережень, в т.ч. в останні роки, починаючи з 2011 р.

У м. Херсон спостереження за станом атмосферного повітря постійно проводяться Херсонським обласним центром з гідрометеорології також на 4 ПСЗ: ПСЗ № 2 – район залізничного вокзалу, ПСЗ № 5 – вул. Лавреньова,

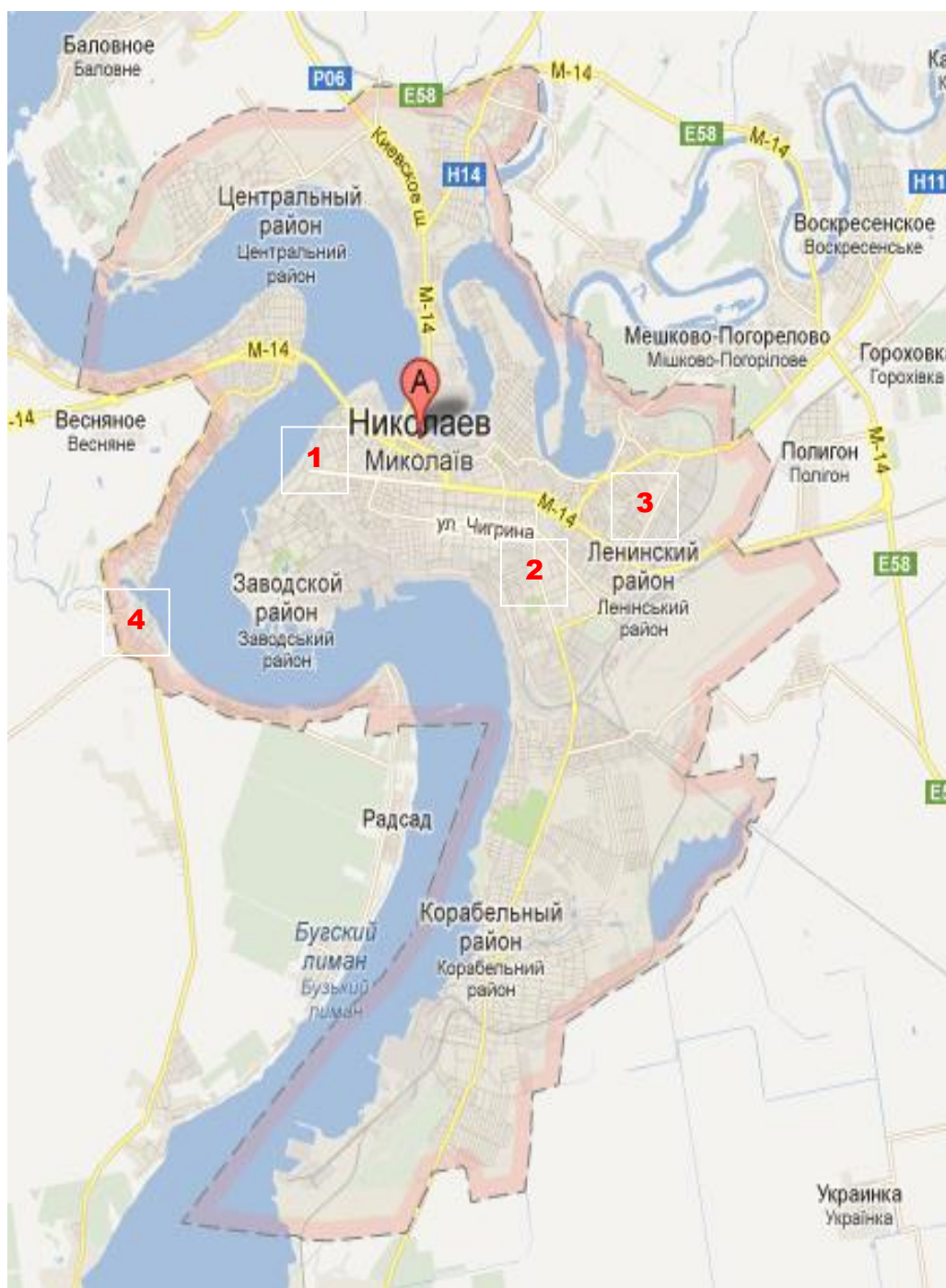


Рисунок 3.5 – Схема розташування ПСЗ у м. Миколаїв

ПСЗ № 6 – пл. Перемоги і ПСЗ №7 – вул. Перекопська [27].

На рис. 3.7 наведено динаміку зміни концентрацій пилу в атмосферному повітрі м. Херсон у 2003 – 2019 рр. З рисунку видно, що перевищення $ГДК_{co}$ не відзначається на протязі всього періоду спостережень. Також, на відміну від інших міст ПЗП, спостерігається чітка тенденція суттєвого зменшення концентрацій пилу (більше ніж у 2 рази).

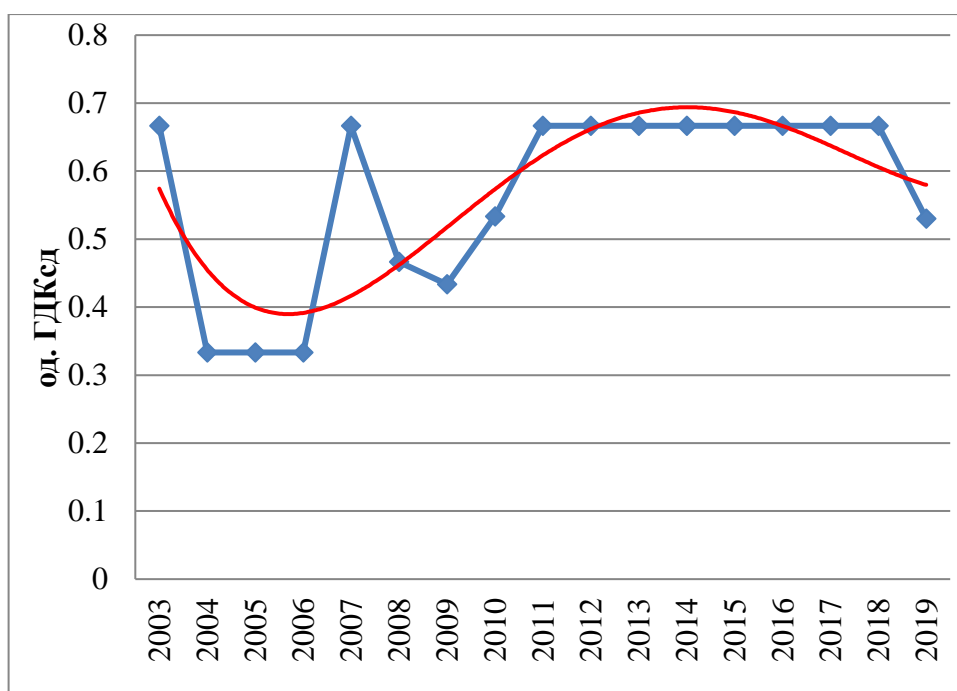


Рисунок 3.6 – Динаміка змін концентрацій пилу в атмосферному повітрі м. Миколаїв

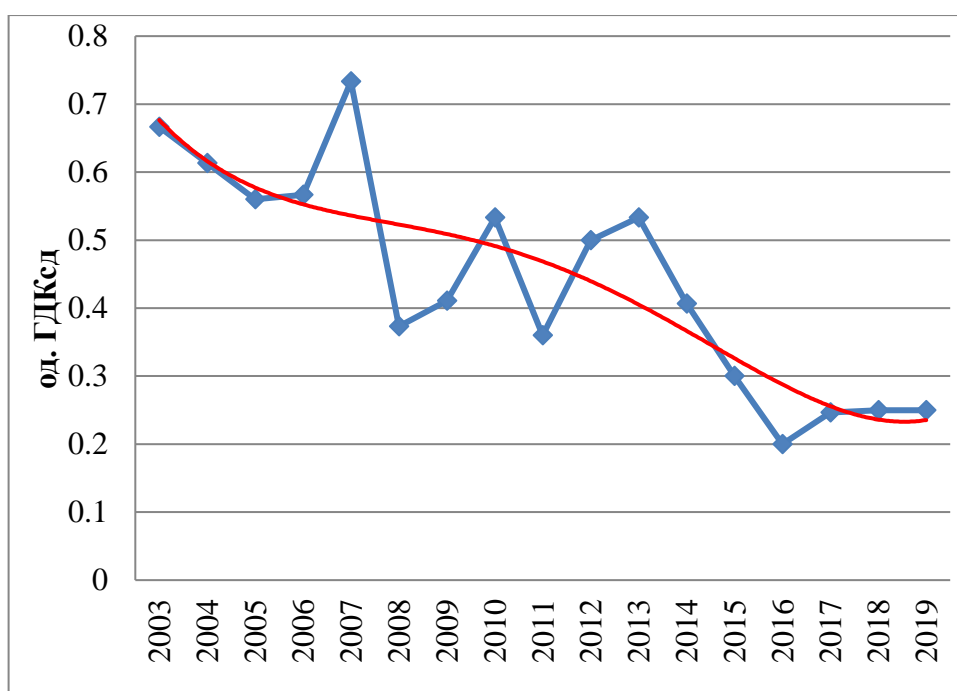


Рисунок 3.7 – Динаміка змін концентрацій пилу в атмосферному повітрі м. Херсон

Згідно з формулою (2.2), наведеною у п. 2.1, були розраховані *ІЗА* пилом. Результати розрахунку наведено на рис. 3.8. Як видно з

представленого рисунку, за весь період максимальні значення *IЗА* пилом відзначаються у м. Одеса. При чому їх значення суттєво (в 2 – 3 рази) перевищують відповідні для Миколаєва і Херсона. В останні 5 років відзначені характерні максимуми у м. Одеса (2015 і 2017 рр.).

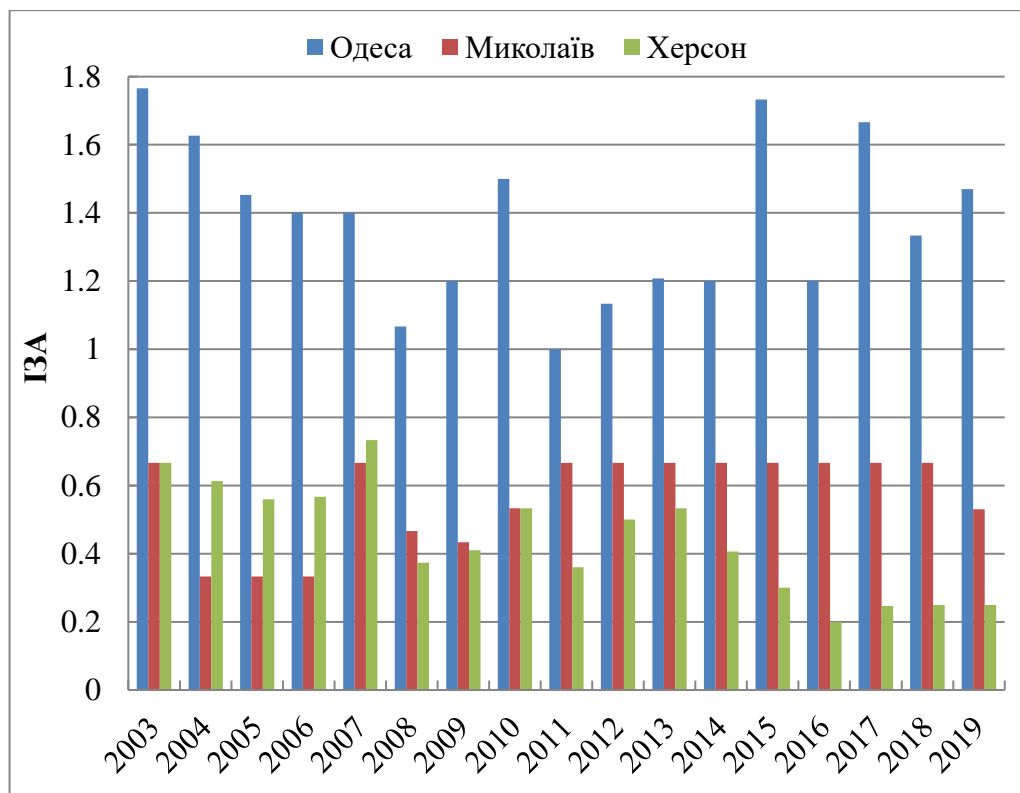


Рисунок 3.8 – Значення *IЗА* пилом міст ПЗП

У роботі [28] запропоновано класифікацію міст України за рівнем забруднення атмосфери з урахуванням перевищення *ГДКсд*. Запропоновано такі критерії забруднення: допустимий рівень (< 1 *ГДКсд*); підвищений рівень (1 – 2 *ГДКсд*); високий рівень (2 – 3 *ГДКсд*); екстремально високий рівень (3 – 6 *ГДКсд*).

Згідно із запропонованими критеріями нами виконано ранжування міст ПЗП за рівнем забруднення пилом (табл. 3.1). Як видно, за весь період дослідження м. Одеса увійшло до категорії з підвищеним рівнем забруднення, м. Миколаїв і м. Херсон – до категорії з допустимим рівнем.

Таблиця 3.1 – Ранжування міст ПЗП за рівнем забруднення пилом
(2003 – 2019 рр.)

Рівень забруднення	Одеса	Миколаїв	Херсон
Допустимий рівень ($< 1 ГДК_{сд}$)		+	+
Підвищений рівень ($1 - 2 ГДК_{сд}$)	+		

За вмістом сажі згідно з даною класифікацією рівень забруднення повітряного басейну м. Одеса можна характеризувати як підвищений ($1 - 2 ГДК_{сд}$).

Було цікавим також проведення порівняльного аналізу вмісту пилу з даними спостережень за вмістом твердих частинок ($ТЧ_{10}$ і $ТЧ_{2,5}$) за результатами моніторингу на автоматизованому пункті ОДЕКУ. Даний пункт функціонує з травня 2019 р. Крім концентрацій $ТЧ_{10}$ і $ТЧ_{2,5}$ також визначаються концентрації оксиду вуглецю, діоксиду сірки, діоксиду азоту і озону.

На рис. 3.9 – 3.10 наведено середньомісячні концентрації у літньо-осінній період 2019 р. $ТЧ_{10}$ і $ТЧ_{2,5}$ та їх порівняння із середньорічним вмістом пилу в атмосферному повітрі м. Одеса, а також з нормативами ВООЗ і ЄС. Аналіз показує, що за вмістом $ТЧ_{10}$ постійно відзначається перевищення нормативів ВООЗ. Також вміст $ТЧ_{10}$ порівнюється з нормативами вмісту пилу. В даному випадку на пункті ОДЕКУ перевищень $ГДК_{сд}$ не відзначається. Хоча по місту в цілому концентрації суттєво перевищують даний норматив. В цілому вміст $ТЧ_{10}$ і $ТЧ_{2,5}$ за даними спостережень на пункті ОДЕКУ суттєво нижче даних про середньорічний вміст пилу по місту в цілому. Можливо це можна пояснити розташуванням пункту спостережень у віддаленій від транспортних магістралей курортній зоні, що не сприяє формуванню підвищених концентрацій пилу. Також, на результати суттєво може впливати застосування на пункті ОДЕКУ новітнього обладнання, яке на

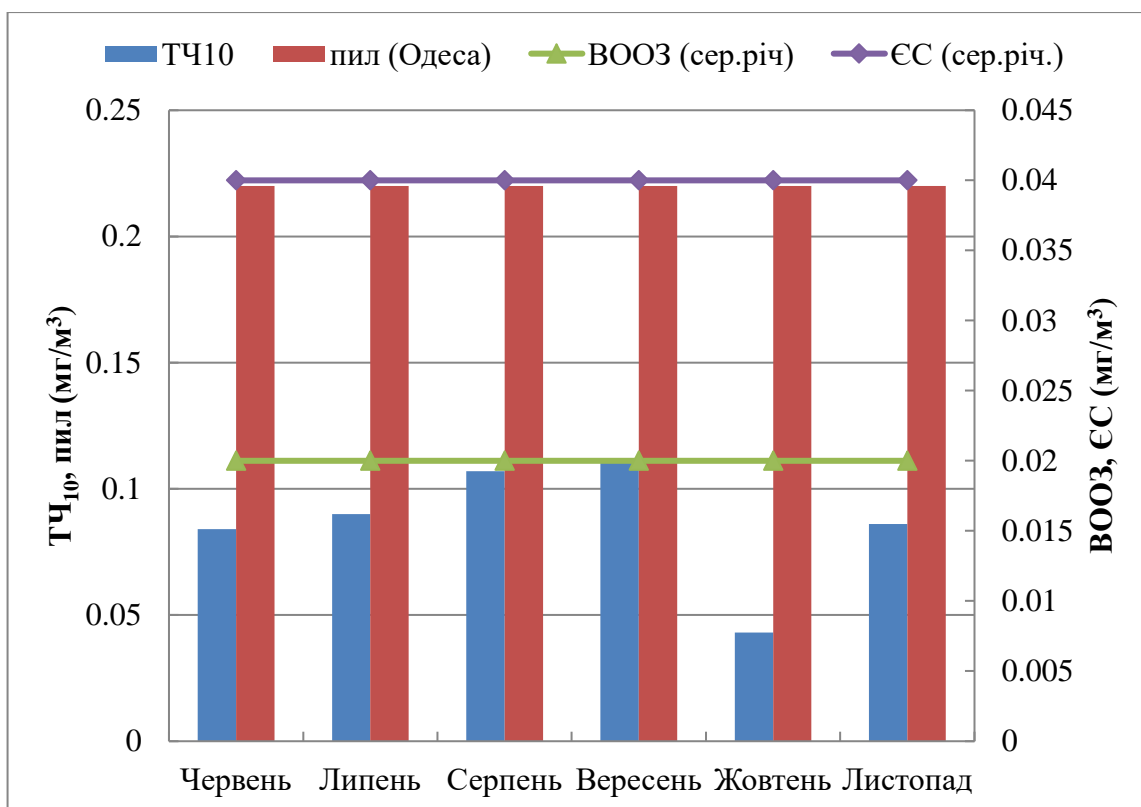


Рисунок 3.9 – Вміст ТЧ₁₀ в атмосферному повітрі м. Одеса (пункт ОДЕКУ)

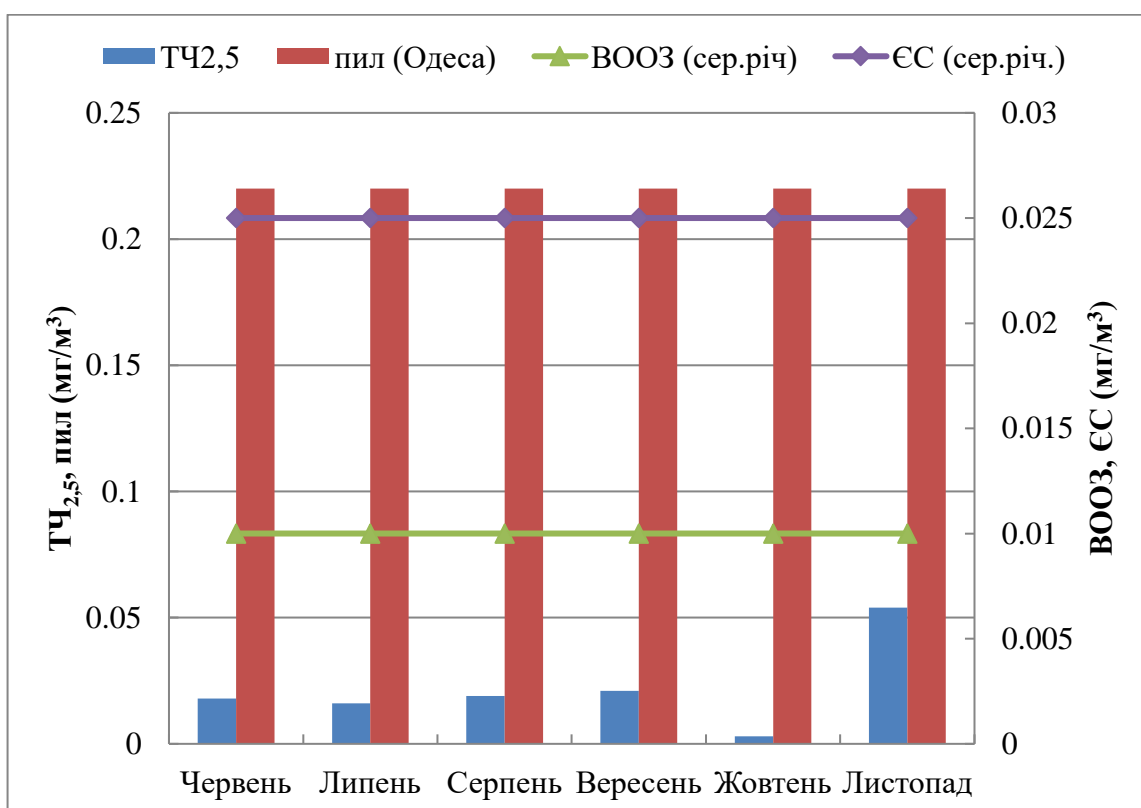


Рисунок 3.10 – Вміст ТЧ_{2,5} в атмосферному повітрі м. Одеса (пункт ОДЕКУ)

даний час за методами визначення концентрацій суттєво відрізняється від діючого на мережі ПСЗ м. Одеса.

Окремі результати оцінки рівня забруднення атмосферного повітря міст ПЗП зваженими речовинами наведені у публікаціях [29 – 31].

Нами також виконано оцінку стану повітряного басейну міст ПЗП із застосуванням окремих параметрів сталого розвитку.

Як зазначено у п.2.2, у категорії «Екологічні системи» міститься 6 індикаторів, в тому числі індикатор повітря I_{AIR} з такими параметрами: середні концентрації діоксиду азоту (I_{NO_2}), діоксиду сірки (I_{SO_2}) і пилу (I_{TCP}) в атмосферному повітрі міст. Таким чином, вміст пилу в атмосферному повітрі є одним з параметрів сталого розвитку з позицій екологічної складової. Нами було виконано розрахунок відповідного параметру I_{TCP} для регіонів ПЗП за даними моніторингових спостережень за 2014 – 2019 рр. Для аналізу вихідні дані були нормовані так, щоб усі параметри приймали значення від 0 до 1 із застосуванням принципу лінійного нормування:

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}. \quad (3.1)$$

Аналіз отриманих нормованих значень показав, що мінімальні показники у переважній більшості характеризують найкращі умови, а максимальні – найгірші. Тобто найкращі умови показників сталого розвитку характеризуються показниками, наближеними до 0.

Результати розрахунку наведені у табл. 3.2. Так, з позицій сталого розвитку за параметром вмісту пилу у повітряному басейні найбільш несприятливі умови відзначаються для м. Одеса, а найбільш сприятливі – для м. Херсон.

Окремі результати дослідження за даною частиною роботи представлені у публікації [32].

Таблиця 3.2 – Значення параметра I_{TSP} для територій
Північно-Західного Причорномор'я (2014 – 2019 рр.)

Параметр	М. Одеса	М. Миколаїв	М. Херсон
I_{TSP}	1	0,33	0

ВИСНОВКИ

Метою виконаної кваліфікаційної роботи були оцінка і аналіз рівня забруднення атмосферного повітря окремих міст ПЗП завислими речовинами, а також оцінка стану повітряного басейну з урахуванням окремих параметрів сталого розвитку. Для оцінки були використані дані літературних джерел і матеріали моніторингових спостережень за вмістом в атмосферному повітрі пилу і сажі у містах ПЗП за 2003 – 2019 рр.

Отримані результати розрахунків та їх аналіз дозволяють зробити такі висновки:

1. Аналіз існуючих методів оцінки якості атмосферного повітря в Україні та інших країнах показав, що показники, які застосовуються у країнах ЄС, США, Канаді, Китаї тощо, зазвичай враховують обмежену кількість речовин. В деяких показниках не враховується клас небезпеки ЗР.
2. З прийняттям нового «Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» необхідним є розробка нової методичної бази щодо оцінки якості атмосферного повітря. З урахуванням вище викладеного для оцінки якості атмосферного повітря було застосовано *ІЗА*.
3. У м. Одеса спостереження за вмістом пилу проводяться на 8 стаціонарних ПСЗ, сажі – на 6. Вміст пилу за період дослідження постійно перевищував значення $ГДК_{cd}$. Вміст сажі суттєво зменшився, хоча також відзначаються постійні перевищення $ГДК_{cd}$. Показники вмісту пилу і сажі у повітряному басейні м. Одеса входять до переліку 5 забруднюючих речовин з максимальними *ІЗА*.
4. У м. Миколаїв функціонує 4 ПСЗ, на яких визначається вміст пилу. Його концентрації пилу не перевищували $ГДК_{cd}$. Максимальні

концентрації на рівні $0,67 \text{ ГДК}_{\text{сд}}$ відзначались у переважній більшості періоду спостережень.

5. У м. Херсон також функціонує 4 ПСЗ, на яких визначається вміст пилу. Перевищення $\text{ГДК}_{\text{сд}}$ не було зафіксовано відзначається на протязі всього періоду спостережень. Спостерігається тенденція суттєвого зменшення концентрацій пилу.
6. Розрахунок ІЗА пилом показав, що за весь період максимальні значення ІЗА пилом відзначаються у м. Одеса. Їх значення суттєво перевищують відповідні для Миколаєва і Херсона. В останні 5 років відзначені характерні максимуми у м. Одеса (2015 і 2017 рр.).
7. Ранжування міст ПЗП за рівнем забруднення пилом показало, що м. Одеса увійшло до категорії з підвищеним рівнем забруднення, м. Миколаїв і м. Херсон – до категорії з допустимим рівнем.
8. За вмістом сажі рівень забруднення повітряного басейну м. Одеса можна характеризувати як підвищений ($1 - 2 \text{ ГДК}_{\text{сд}}$).
9. Порівняльний аналіз вмісту пилу з даними спостережень за вмістом твердих частинок (ТЧ_{10} і $\text{ТЧ}_{2,5}$) за результатами моніторингу на автоматизованому пункті ОДЕКУ показав, що за вмістом ТЧ_{10} відзначаються перевищення нормативів ВООЗ. В цілому вміст ТЧ_{10} і $\text{ТЧ}_{2,5}$ за даними спостережень на пункті ОДЕКУ суттєво нижче середньорічного вмісту пилу по місту в цілому.
- 10.3 позицій сталого розвитку за параметром вмісту пилу у повітряному басейні найбільш несприятливі умови відзначаються для м. Одеса, а найбільш сприятливі – для м. Херсон.

Отримані результати оцінки і аналізу рівня забруднення атмосферного повітря окремих міст ПЗП завислими речовинами є основою для впровадження у регіональні і місцеві програми щодо поліпшення стану атмосферного повітря відповідних Департаментів і відділів екології та екологічної безпеки регіону, в першу чергу в Одеській області.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Горбатенко Ю.А. Аэрозоли и их основные физико-химические свойства. Электронный ресурс: URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/42047928.pdf> (дата звернення: 1.12.2020).
2. Электронный ресурс: URL: <http://xn-----8kcflbdya3adoew5cyd7hcd.xn--p1ai/filtratsiya/pyl-v-atmosfernom-vozdrukhe> (дата звернення: 1.12.2020).
3. Электронный ресурс: URL: <http://www.chelpogoda.ru/pages/609.php> (дата звернення: 1.12.2020).
4. Электронный ресурс: URL: <https://iceoom.com.ua/blog/pyl-v-vozdueh-rabochey-zonu/> (дата звернення: 2.12.2020).
5. Электронный ресурс: URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/24621/> (дата звернення: 2.12.2020).
6. Электронный ресурс: URL: <http://www.beztrud.narod.ru/statya/pyl.html> (дата звернення: 2.12.2020).
7. Электронный ресурс: URL: <https://sovplym.ru/blogs/8785/> (дата звернення: 1.12.2020).
8. Электронный ресурс: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення: 2.12.2020).
9. Электронный ресурс: URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата звернення: 2.12.2020).
10. Звягинцева А.В. Оценка опасности загрязнения атмосферного воздуха промышленных городов Украины. *Геотехнічна механіка*. 2013. № 109. С. 233 – 243.
11. Электронный ресурс: URL: <https://cyberlesson.ru/dejstvie-sazhi-na-organizm-cheloveka/#opasnost-i-vred-sazi-dla-celoveka> (дата звернення 17.03.21).

- 12.Електронний ресурс: URL: <https://nplus1.ru/news/2019/09/17/black-carbon-placenta> (дата звернення 28.03.21).
- 13.Електронний ресурс: URL: <http://www.climateinfo.org.ua/content/sazhandedootsinenii-faktor-zmin-klimatu> (дата звернення 20.04.21).
- 14.Сафранов Т.А., Адаменко Я.О., Приходько В.Ю., Шаніна Т.П., Чугай А.В., Колісник А.В. Системний аналіз якості навколишнього середовища. Підручник. Одеса: Екологія, 2015. 244 с.
- 15.Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Електронний ресурс: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF> (дата звернення: 20.03.2020).
- 16.Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1986. 116 с.
- 17.Какарека С.В. Оценка суммарного загрязнения атмосферного воздуха. *Институт Природопользования НАН Беларуси*. 2012. С. 14 – 20.
- 18.Електронний ресурс: URL: https://www3.epa.gov/airnow/40cfrpt58_aqi-reporting.pdf (дата звернення: 21.03.2020).
- 19.About the Air Quality Health Index. Електронний ресурс: URL: https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-quality-health-index/about.html#What_is_AQHI (дата звернення: 21.03.2020).
- 20.Електронний ресурс: URL: <https://ref.epa.vic.gov.au/your-environment/air/air-pollution/air-quality-index/calculating-a-station-air-quality-index> (дата звернення: 21.03.2020).
- 21.Електронний ресурс. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/JH6YF00A.html (дата звернення: 25.07.2020).
- 22.Електронний ресурс. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/7222019-29825> (дата звернення: 25.07.2020).
- 23.Сталий розвиток регіонів України. Електронний ресурс. URL: http://nung.edu.ua/files/attachments/stalyy_rozvytok_regioniv_ukrayiny.pdf (дата звернення: 07.06.2020).

- 24.Електронний ресурс. URL: http://odessa.asinfo.com.ua/map/prichornomorie_map_b.jpg (дата звернення: 25.03.2020).
- 25.Електронний ресурс. URL: http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine (дата звернення: 29.03.2020).
- 26.Комплексна оцінка якості довкілля урбанізованих територій Одеської області та прилеглих регіонів. Звіт про НДР (№ ДР 0109U003245). Одеса: ОДЕКУ, 2011. 254 с.
- 27.Електронний ресурс. URL: <http://www.city.kherson.ua/articles/atmosferne-povitrua> (дата звернення: 11.03.2021).
- 28.Яценко Ю., Шевченко О., Сніжко С. Класифікація міст України за рівнем забруднення атмосферного повітря. *Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка. Серія: Географія*. 2017. № 3 (68) / 4 (69). С. 25 – 30.
- 29.Оліферчук Б.О., Чугай А.В. Аналіз забруднення повітряного басейну м. Одеса сажею. *Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції»*. Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2020. С. 55.
- 30.Оліферчук Б.О., Чугай А.В. Ранжування міст Північно-Західного Причорномор'я за рівнем забруднення пилом. *Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»*. Херсон: «ОЛДІ-ПЛЮС», 2020. С. 475 – 477.
- 31.Оліферчук Б.О., Лавров Т.В., Чугай А.В. Оцінка забруднення повітряного басейну міст Північно-Західного Причорномор'я зваженими речовинами. *Матеріали XX конференції молодих вчених ОДЕКУ*. Одеса: ОДЕКУ, 2021.
- 32.Оліферчук Б.О. Вміст пилу в атмосферному повітрі як індикатор сталого розвитку. *Матеріали II науково-практичної конференції*

«Інструменти і механізми модернізації наукових та освітніх процесів».

Полтава. 2020. С. 20 – 22.

ДОДАТКИ

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА**

1. Оліферчук Б.О., Полетаєва Л.М. Запиленість повітряного басейну міст Північно-Західного Причорномор'я. *Матеріали XIX конференції молодих вчених ОДЕКУ*. Одеса: ОДЕКУ, 2020. С. 151.
2. Оліферчук Б.О., Чугай А.В. Аналіз забруднення повітряного басейну м. Одеса сажею. *Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції»*. Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2020. С. 55.
3. Оліферчук Б.О., Чугай А.В. Ранжування міст Північно-Західного Причорномор'я за рівнем забруднення пилом. *Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»*. Херсон: «ОЛДІ-ПЛЮС», 2020. С. 475 – 477.
4. Оліферчук Б.О. Вміст пилу в атмосферному повітрі як індикатор сталого розвитку. *Матеріали II науково-практичної конференції «Інструменти і механізми модернізації наукових та освітніх процесів»*. Полтава. 2020. С. 20 – 22.
5. Оліферчук Б.О., Лавров Т.В., Чугай А.В. Оцінка забруднення повітряного басейну міст Північно-Західного Причорномор'я зваженими речовинами. *Матеріали XX конференції молодих вчених ОДЕКУ*. Одеса: ОДЕКУ, 2021.

ДОВІДКА
щодо участі Оліферчука Б.О. у НДР кафедри екології та охорони
довкілля

Даною довідкою підтверджую, що окремі результати кваліфікаційної роботи магістра Оліферчука Богдана Олександровича на тему «Забрудненість завислими речовинами повітряного басейну міст Північно-Західного Причорномор'я» увійшли до проміжного звіту кафедри екології та охорони довкілля з НДР «Техногенне навантаження на складові довкілля регіонів Північно-Західного Причорномор'я» у 2020 р. (№ ДР 0120U105060).

Зав. каф. екології та
охорони довкілля

Т.А. Сафранов