

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

Факультет гідрометеорології і
екології
Кафедра екологічного права і
контролю

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ
КОНЦЕНТРАЦІЙ ДІОКСИДУ СІРКИ В ПОВІТРІ МІСТА
ОДЕСА
FEATURES OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF SULFUR
DIOXIDE CONCENTRATIONS IN THE AIR OF ODESSA**

Виконав: здобувач денної форми навчання
спеціальності 101 «Екологія»
Освітньо-професійна програма Екологія, охорона
навколишнього середовища та збалансоване
природокористування

Бровков Олексій Анатолійович
(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник к.геогр.н., доцент Владимирова О.Г.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент к.геогр.н., доцент Колісник А.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
екологічного права і контролю
№ 9 від 8 червня 2026 р.

Завідувач кафедри
Олексій БУРГАЗ
(підпис) (прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК № 1
протокол № від . . .2026 р.

Оцінка / /
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)
Голова ЕК
 Олена НІКІПЕЛОВА
(підпис) (прізвище, ім'я)

Одеса 2026

АНОТАЦІЯ

Бровков Олексій Анатолійович

Особливості просторового розподілу концентрацій діоксиду сірки в повітрі міста Одеса

Кваліфікаційна робота присвячена оцінці просторово-часової динаміки забруднення атмосферного повітря міста Одеса діоксидом сірки. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю контролю якості атмосферного повітря в умовах значного антропогенного навантаження на міське середовище.

Метою роботи є комплексна оцінка просторово-часової динаміки вмісту SO_2 в атмосферному повітрі Одеси та аналіз чинників, що впливають на формування рівнів забруднення. Об'єктом дослідження є процес забруднення атмосферного повітря діоксидом сірки, предметом – особливості просторового розподілу та часової мінливості його концентрацій.

У роботі використано статистичні методи обробки даних моніторингу, критерій Стюдента для перевірки однорідності вибірок, методи порівняльного аналізу та картографування.

Наукова новизна полягає у комплексній оцінці сучасного стану забруднення атмосферного повітря Одеси діоксидом сірки за даними спостережень 2017-2021 рр. Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для вдосконалення системи моніторингу та планування природоохоронних заходів.

У результаті дослідження встановлено, що середні концентрації SO_2 не перевищують нормативних значень, однак на більшості постів спостереження наближаються до рівня ГДК. Виявлено просторові відмінності забруднення та сезонні особливості розподілу концентрацій діоксиду сірки в атмосферному повітрі міста.

Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури. Загальний обсяг роботи становить 61 сторінка друкованого тексту. Робота містить 5 рисунків та 5 таблиць, список використаних джерел з 27 найменувань.

Ключові слова: діоксид сірки, атмосферне повітря, забруднення атмосфери, моніторинг, просторово-часова динаміка, статистичний аналіз, екологічний стан, Одеса.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	4
ВСТУП.....	5
1 СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТА ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ МІСТА ОДЕСА.....	8
1.1 Фізико-хімічні властивості діоксиду сірки.....	8
1.2 Джерела діоксиду сірки.....	10
1.3 Вплив на людину та навколишнє природне середовище.....	12
1.4 Адміністративно-територіальний устрій та планувальна структура міста Одеса.....	14
1.5 Джерела забруднення атмосферного басейну міста.....	23
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	30
2.1 Перевірка однорідності вихідних даних.....	30
2.2 Побудова та графічне представлення згрупованого ряду.....	31
2.3 Розрахунок статистичних оцінок параметрів розподілу.....	33
2.4 Система моніторингу атмосферного повітря міста Одеса...	36
3 ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА ОДЕСА ДІОКСИДОМ СІРКИ	40
3.1 Особливості забруднення атмосферного повітря міста діоксидом сірки у 2008-2017 роках.....	40
3.2 Сучасний стан забруднення атмосферного повітря Одеси діоксидом сірки.....	46
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	59

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

TEU	—	від twenty-foot equivalent unit, умовна одиниця вимірювання місткості вантажних транспортних засобів, яка дорівнює об'єму одного стандартного 20-футового (6,1 м) контейнера;
АТ	—	акціонерне товариство;
АЧХ	—	амплітудно-частотна характеристика
ВАТ	—	відкрите акціонерне товариство;
ГДК _{сд}	—	середньодобова гранично допустима концентрація;
ДВЗ	—	двигуни внутрішнього згоряння;
ЖКГ	—	житлово-комунальне господарство;
ЗАТ	—	закрите акціонерне товариство;
ІЗА	—	індекс забруднення атмосфери;
КП	—	комунальне підприємство;
ЛОС	—	леткі органічні сполуки;
ПАТ	—	публічне акціонерне товариство;
ПСЗ	—	пункт спостережень за забрудненням атмосферного повітря;
ТЕЦ	—	теплоелектроцентрально;

ВСТУП

Актуальність теми зумовлена специфікою міста Одеса як унікального поліфункціонального центру, що поєднує потужний портово-промисловий комплекс із функціями важливого курортно-рекреаційного регіону. Таке поєднання створює об'єктивну суперечність між високим техногенним навантаженням та суворими санітарно-гігієнічними вимогами до якості довкілля. Діоксид сірки (SO_2) є одним із найбільш небезпечних забруднювачів, що належить до третього класу небезпеки та суттєво впливає на здоров'я людини, спричиняючи захворювання дихальної системи, а також провокує деградацію екосистем через утворення кислотних дощів. Враховуючи, що Одеса стабільно входить до переліку найбільш забруднених міст України, викиди від автотранспорту становлять близько 81% від загального обсягу, дослідження динаміки вмісту SO_2 у міському повітрі є критично важливим для забезпечення екологічної безпеки населення.

Метою кваліфікаційної роботи є комплексна оцінка просторово-часової динаміки забруднення атмосферного повітря міста Одеса діоксидом сірки та аналіз впливу техногенних і природних факторів на формування екологічного стану міського середовища.

Для досягнення мети було поставлено наступні *завдання*:

1. Вивчити фізико-хімічні властивості, джерела надходження та токсикологічний вплив діоксиду сірки на людину та довкілля.
2. Проаналізувати соціально-економічний потенціал, адміністративно-територіальний устрій та структуру промисловості Одеси як чинників техногенного навантаження.
3. Охарактеризувати діючу систему моніторингу атмосферного повітря в місті.
4. Обґрунтувати методику статистичної обробки даних моніторингу, включаючи перевірку їхньої однорідності.

5. Дослідити особливості забруднення повітря SO_2 у ретроспективі (2008-2017 рр.) та на сучасному етапі (2017–2021 рр.).

6. Побудувати поля просторового розподілу концентрацій домішки для різних сезонів.

Об'єкт дослідження – атмосферний басейн міста Одеса та процеси його забруднення діоксидом сірки під впливом антропогенної діяльності.

Предмет дослідження – статистичні закономірності, просторова диференціація та часові тренди вмісту діоксиду сірки в атмосферному повітрі Одеси за даними мережі державного моніторингу.

Методи дослідження

У роботі використано комплекс методів наукового аналізу:

- Математико-статистичні методи: перевірка однорідності вихідних даних за критерієм Стюдента, розрахунок статистичних моментів розподілу (середнє значення, дисперсія, коефіцієнти асиметрії та ексцесу).
- Метод групування та графічної візуалізації: побудова згрупованих статистичних рядів, гістограм розподілу та полігонів частот.
- Картографічний метод: побудова полів розподілу середньомісячних концентрацій для аналізу просторової структури забруднення. Обробка даних здійснювалася із застосуванням програмного комплексу STATISTICA.

Наукова новизна полягає у:

- виявленні прихованих квазірічних періодичностей у часових рядах концентрацій SO_2 для всіх пунктів спостереження в Одесі;
- встановленні математично підтвердженої стійкості високого рівня забруднення у районах транспортних магістралей;
- ідентифікації різкого екологічного регресу (зниження) викидів у другій половині 2021 року.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для:

- вдосконалення системи оперативного моніторингу та прогнозування екологічного стану міста;
- прийняття управлінських рішень у сфері містобудування та функціонального зонування територій з урахуванням аераційного потенціалу прибережної зони;
- розробки рекомендацій щодо мінімізації впливу SO_2 на здоров'я населення в районах з критичним рівнем навантаження.

1 СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТА ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ МІСТА ОДЕСА

1.1 Фізико-хімічні властивості діоксиду сірки

Діоксид сірки, або сірчаний ангідрид (SO_2) утворюється під час згорання сірки, сірководню, а також під час нагрівання різних сульфідів у потоці повітря або кисню. У звичайних умовах SO_2 є безбарвним газом з різким запахом горючої сірки. Оксид чотиривалентної сірки при звичайних показниках навколишнього середовища зберігає газоподібний агрегатний стан. Відносна молекулярна і молярна маси складають $M_r(SO_2) = 64,066$, $M = 64,066$ г/моль. Діоксид сірки майже в 2,3 рази важчий за повітря, горить і не підтримує горіння.

Діоксид володіє різким специфічним запахом палаючої сірки, який важко переплутати з яким-небудь іншим. Діоксид сірки добре розчиняється у воді, має антисептичні властивості. В одному об'ємі води розчиняється 40 об'ємів SO_2 [1].

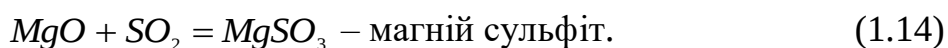
Сірчистий газ має молекулярну будову, аналогічну озону. Атом сірки, що знаходиться в центрі молекули, пов'язаний з двома атомами кисню. Цей газоподібний продукт окислення сірки не має кольору, видає різкий запах, при зміні умов легко конденсується в прозору рідину.

Під тиском при кімнатній температурі газоподібний сірчистий ангідрид скраплюється. При низьких температурах речовина знаходиться в твердому стані, плавиться при $-72 \dots -75,5^\circ\text{C}$. При подальшому підвищенні температури з'являється рідина, а при $-10,1^\circ\text{C}$ знову утворюється газ. Молекули SO_2 є термічно стійкими, розкладання на атомарну сірку і молекулярний кисень відбувається при дуже високих температурах (близько 2800°C) [1].

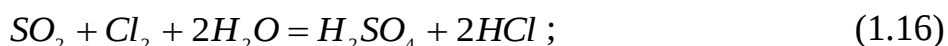
Сірчистий газ – це типовий кислотний оксид, якому відповідає сульфідна кислота. Це активна сполука в хімічному плані. В окисно-відновних

процесах вона частіше виступає в якості відновника. Сірчистий газ поглинається в ультрафіолетовому діапазоні спектра.

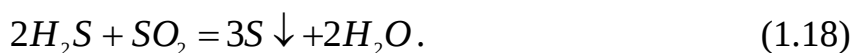
Діоксид сірки виявляє загальні властивості кислотних оксидів. Він взаємодіє з водою, утворюючи сульфітну кислоту, з основними та амфотерними оксидами, з основами, утворюючи два типи солей: кислі (гідрогенсульфіти) та середні (сульфіти) [1]:



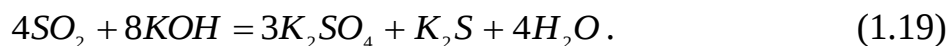
Діоксид сірки виявляє властивості як окисника, так і відновника. Ступінь окиснення сульфуру в SO_2 є проміжним (+4), а тому сульфур (IV) оксид може бути і відновником, і окисником, а також може диспропорціонувати. Реагуючи із сильнішими окисниками, SO_2 виявляє відновні властивості:



Реагуючи із сильним відновником, SO_2 стає окисником:



Сірчистий газ диспропорціонує, якщо його пропустити крізь гарячий концентрований розчин лугу:



Газоподібний діоксид краще взаємодіє з прохолодною водою, його розчинність знижується з підвищенням температури. При звичайних умовах може розчинитися в 1 об'ємі води до 40 обсягів газу. Сірчаний ангідрид розчиняється в етанолі і сірчаній кислоті.

Діоксид сірки в атмосфері здатний окислюватися до триоксиду. Найбільш сприятливі умови протікання цих реакцій існують у межах озонового шару атмосфери, де в процесі розпаду молекул озону на O_2^- і O_2 генерується атомарний кисень. В результаті у стратосфері на висоті порядку 18 км присутній шар з високою концентрацією SO_3 .

В вологому повітрі SO_3 може перетворюватися у сірчану кислоту. Цій реакції сприяє сонячне світло, різні каталізатори, а також озон. Навіть при дуже малих концентраціях діоксиду сірки в атмосфері може знаходитись невелика кількість парів або аерозолів сірчаної кислоти, що посилюють забруднення [1].

1.2 Джерела діоксиду сірки

Значні обсяги діоксиду сірки виділяються з вулканічними газами і лавою під час вивержень. Багато видів антропогенної діяльності теж призводять до підвищення концентрації SO_2 в атмосфері.

Сірчистий ангідрид поставляють в повітря металургійні комбінати, де не уловлюються гази при випалюванні руди. Багато видів паливних копалин містять сірку, в результаті значні обсяги діоксиду сірки виділяється в атмосферне повітря при спалюванні вугілля, нафти, газу, отриманого з них пального.

Поява SO_2 в атмосфері пов'язана, головним чином, із процесами опалення і промисловим виробництвом. Частина сполук сірки виділяється при горінні органічних залишків у гірничорудних відвалах. На частку діоксиду

сірки доводиться до 95 % загального об'єму сірчистих сполук, що надходять до атмосфери від антропогенних джерел. Тому міста з розвинутою промисловістю найбільше піддаються такому забрудненню.

Викиди окремих галузей промисловості SO_2 в атмосферу різні [2]:

- теплові електростанції – 50,5 %,
- автотранспорт – 20 %,
- кольорова металургія – 18,4 %,
- чорна металургія – 7,4 %,
- нафтопереробна промисловість – 2,3 %,
- хімічна промисловість – 1,2 %,
- будівельна індустрія – 0,4 %.

Сірчистий газ використовують для добування кальцій гідрогенсульфіту, який застосовують при переробці деревини на целюлозу.

Діоксид сірки (IV) використовують в харчовій промисловості, зокрема він присутній в слабоалкогольних напоях як консервант.

Діоксид сірки знаходить широке застосування не тільки в хімічній промисловості, а й в інших галузях економіки. Текстильні комбінати використовують цю речовину і продукти його хімічної взаємодії для відбілювання шовкових і вовняних тканин. Це один з видів безхлорного відбілювання, при якому волокна не руйнуються.

Діоксид сірки володіє відмінними дезинфікуючими властивостями, що знаходить застосування в боротьбі з грибками і бактеріями. Сірчистим ангідридом обкурюють сховища сільськогосподарської продукції, винні бочки і підвали. використовується SO_2 в харчовій промисловості як консервуючи та антибактеріальну речовину. Додають його в сиропи, вимочують у ньому свіжі плоди. Сульфітізація соку цукрових буряків знебарвлює і знезаражує сировину. Консервовані овочеві пюре і соки теж містять діоксид сірки в якості антиокислювального і консервує агента [3].

1.3 Вплив на людину та навколишнє природне середовище

Діоксид сірки – дуже токсична речовина, це один з найбільш небезпечних забруднювачів навколишнього середовища, належить до третього класу небезпеки для людського здоров'я. На території України встановлені такі санітарно-гігієнічні нормативи гранично допустимих концентрацій SO_2 у повітрі:

- середньодобова – $0,05 \text{ мг/м}^3$;
- максимальна разова – $0,5 \text{ мг/м}^3$;
- робочої зони – 1 мг/м^3 .

Діоксид сірки шкідливо діє на здоров'я людей. Атоми кисню, що входять до складу молекул цього газу, мають високу реактивну здатність. Вони надають їм властивість легко вступати в хімічні реакції з молекулами, що утворюють структури клітин шкіри, і призводять, таким чином, до серйозних порушень у біохімічній рівновазі шкірного покриву.

Сірчистий газ володіє сильними токсичними властивостями. Симптоми отруєння – це кашель, нежить, охриплість голосу, своєрідний присмак у роті, сильне першіння в горлі. При вдиханні діоксиду сірки у високих концентраціях виникає утруднення ковтання і задуха, розлад мови, нудота і блювота, можливий розвиток гострого набряку легенів.

Токсична дія може виявлятися вже в малих концентраціях ($20\text{-}30 \text{ мг/м}^3$) і створює неприємний смак у роті, дратує слизові оболонки очей і дихальних шляхів. Знижує опірність до респіраторних захворювань. Постійна дія сірчистого газу може викликати захворювання дихальної системи, що нагадує бронхіт. Сам по собі цей газ не завдає істотного збитку здоров'ю населення, але в атмосфері реагує з водяною парою з утворенням вторинного забруднювача – сірчаної кислоти (H_2SO_4).

Краплі кислоти переносяться на значні відстані і, потрапляючи в легені, сильно їх руйнують. Найбільш небезпечна форма забруднення повітря спостерігається при реакції сірчистого ангідриду із зваженими частками, що

супроводжується утворенням солей сірчаної кислоти, які при диханні проникають в легені і там осідають [4].

Чутливість до діоксиду сірки у окремих людей, рослин і тварин різна. Наприклад, серед дерев найбільш стійкі дуб і береза, а найменш – ялина і сосна. Сірчистий газ призводить до хлорозу (пожовтінню або знебарвленню листя) і карликовості. Особливо небезпечний вплив SO_2 на тварин.

Кислотні дощі негативно впливають також на врожай, споруди та ін. Ці дощі мають шкідливу дію на фактори навколишнього середовища [4]:

- врожайність багатьох сільськогосподарських культур знижується на 3 - 8 % внаслідок ушкодження листя кислотами;
- кислотні опади спричиняють вимивання з ґрунтів кальцію, калію та магнію, що веде до деградації флори і фауни;
- деградує і гине ліс;
- отруєється вода озер і ставків, у яких гине риба і численні види комах;
- зникнення комах у водоймах призводить до щезання птахів і тварин, які ними живляться;
- зникнення лісів у гірських районах зумовлює збільшення кількості гірських зсувів і селей;
- різко прискорюється руйнування пам'ятників архітектури, житлових будинків;

Виявлено зв'язок між інтенсивністю корозії металевих конструкцій та концентрацією в атмосфері діоксиду сірки.

Кислотні дощі також ушкоджують будівельні розчини й камінь, реагуючи з кальцієм і магнієм, що входять до складу цих матеріалів. Особливого ризику піддаються скульптури, що становлять культурне надбання людства. Будівельні конструкції із заліза й інших металів також дуже сприйнятливі до корозії, викликуваної кислотними дощами.

Учені поки що не виявили прямого впливу кислотних дощів на здоров'я людей, але можливість цього, безсумнівно, існує. Ця можливість пов'язана з підвищеною здатністю підкисленої води розчиняти або якимсь іншим шляхом

діяти на різні мінерали. Ртуть, що утримується в природних водоймах, може під впливом кислого середовища перетворитися в отруйну монометилкову ртуть. Риби будуть накопичувати ці сполуки ртуті у своїх тканинах. Як відомо, ртуть – сильна отрута для людини, і отруєння рибою, зараженою ртуттю вже відбувалися [4].

1.4 Адміністративно-територіальний устрій та планувальна структура міста Одеса

Функціональне зонування території міста Одеса відзначається переважанням сільбищних земель, на які припадає 53 % від загального земельного фонду. Цей кластер акумулює житлові квартали, об'єкти соціальної інфраструктури, елементи вулично-дорожньої мережі та зелені насадження загального користування. У структурі сільбищної території частка житлової забудови становить 35 %, причому понад її половину (більше 20 % від загальної площі міста) займає приватний сектор (садибна забудова) [5].

Виробничий сектор, що об'єднує промислові підприємства, комунально-складські об'єкти, будівельні організації, транспортні потужності та спеціальні території, охоплює понад 19 % міських земель. На об'єкти зовнішнього транспорту, включаючи залізничну інфраструктуру, аеропорт та морський торговельний порт, припадає 7 % території [5, 6].

Ландшафтно-рекреаційні зони займають понад 5 % площі міста. До їхнього складу входять санаторно-курортні та оздоровчі установи, пляжні комплекси, території колективних садів і дачних кооперативів, а також екологічні зони берегових схилів на відрізок від парку ім. Т. Г. Шевченка до мікрорайону Чорноморка.

Загалом за цільовим функціональним призначенням освоєно 91,5 % міських земель, тоді як частка резервних (вільних від забудови) територій становить 8,5 %. Серед останніх 5,6 % площі (територія колишніх полів

фільтрації) потребують проведення комплексу попередніх інженерно-технічних та меліоративних заходів для подальшого господарського використання [5, 6].

Сучасний адміністративно-територіальний устрій міста включає чотири райони, серед яких найважливіші просторово-демографічні характеристики має Київський район:

- Київський район: площа становить 47,7 км², чисельність населення – 256,58 тис. осіб, середня щільність населення – 5379 осіб/км². Просторові межі району детерміновані береговою лінією Чорного моря і проходять по пров. Ванному, Фонтанській дорозі, просп. Адміральському, вулицях Космонавтів, Терешкової (Святослава Ріхтера), Варненській, Генерала Петрова, Космонавта Комарова, Інглезі, Іцхака Рабіна, Генерала Петрова та Радісній. Далі лінія розмежування пролягає вздовж меж аеродрому «Шкільний» та КП «Міжнародний аеропорт «Одеса», міської межі, просп. Небесної Сотні, вулиць Академіка Вільямса, Ільфа і Петрова та Відважних до південних адміністративних кордонів міста [6].

- Хаджибейський (до перейменування – Малиновський) район: загальна площа території становить 89,7 км², чисельність населення – 242,9 тис. осіб, середня щільність населення – 2707,9 осіб/км². Адміністративно-територіальні межі району проходять від Київського шосе по вулицях Михайла Грушевського, Пестеля та Радісній (Зоринській), далі вздовж залізничного полотна та знову по вул. Михайла Грушевського. Потім лінія розмежування пролягає по вулицях Балківській, Розкидайлівській, Старопортофранківській, Мечникова, провулку Високому, вулицях Водопровідній, Артилерійській, Середньофонтанській, Фонтанській дорозі, проспекту Адміральському, вулицях Космонавтів та Героїв Крут. Фінальний відрізок межі проходить по вулицях Варненській, Генерала Петрова, Космонавта Комарова, Інглезі, Іцхака Рабіна, Генерала Петрова та Радісній, охоплюючи суміжні території аеродрому «Шкільний», КП «Міжнародний аеропорт «Одеса» та зовнішні адміністративні кордони міста [6].

- Приморський район: територіальний масив площею 24,2 км² із чисельністю населення 259,0 тис. осіб та найвищою середньою щільністю – 10702,4 осіб/км². Сухопутні та водні межі району детерміновані береговою лінією Чорного моря, 1-м Солончаковим провулком, вулицями Чорноморського Козацтва та Одарія, залізничним полотном, а також вулицями Михайла Грушевського, Балківською, Розкидайлівською, Старопортофранківською та Мечникова. Продовженням межі слугують провулок Високий, вулиці Водопровідна, Артилерійська, Середньофонтанська, Фонтанська дорога та провулок Ванний [5].

- Пересипський (до перейменування – Суворовський) район: площа адміністративної одиниці дорівнює 25,3 км², чисельність населення – 263,0 тис. осіб, середня щільність населення – 10395,2 осіб/км². Межі району пролягають від 1-го Солончакового провулку через вулиці Чорноморського Козацтва та Одарія вздовж залізничної колії, вулиць Радісної (Зоринської), Пестеля, Михайла Грушевського та Київського шосе до офіційної міської межі. Далі лінія кордону проходить по вулиці Паустовського, території Куліндорівського промислового вузла, повторно по вул. Паустовського, Семена Палія (Дніпропетровській дорозі), вулиці Генерала Бочарова, зовнішній межі міста, вулиці Марсельській, Семена Палія та замикається вздовж узбережжя Чорного моря [5].

За функціонально-цільовим призначенням та характером господарського використання земельний фонд міста класифікується на три базові категорії: сельбищну, ландшафтно-рекреаційну та виробничу (із виокремленням інфраструктури зовнішнього транспорту) [5, 6].

Сельбищна територія просторово диференційована на чотири ключові планувальні зони, що загалом збігаються з адміністративними межами районів міста:

- Центральна зона (в межах Приморського району);
- Північна зона (в межах Пересипського району);
- Західна зона (в межах Хаджибейського району);

- Південна зона (в межах Київського району) [5, 6].

Морфологічна структура міської житлової забудови представлена двома основними типами:

- **Території багатоквартирної забудови:** сформовані переважно спальними районами багатоповерхового типу другої половини ХХ століття. Вони характеризуються високим ступенем однорідності просторової організації та функціонують як житлові мікрорайони з інтегрованою мережею об'єктів повсякденного обслуговування (зокрема, житлові масиви Таїрова, Південний, Черемушки та Пересипський (ім. Котовського)) [5].

- **Території одноквартирної (садибної) забудови:** відповідно до нормативно-правових регламентів (рішення виконавчого комітету Одеської міської ради № 188 від 20.03.2008 р.), історично сформовані райони приватного сектору (Великий Фонтан, Чубаївка, Дмитрівка, селище Таїрова, мікрорайон вулиці Світанку, Ближні Млини тощо), які за попередніми проєктними планами підлягали реконструкції, наразі збережені у поточному стані. Аналогічно у межах мікрорайону Чорноморка проведення масштабних реконструктивних заходів не передбачається, що забезпечує повне збереження малоповерхового садибного фонду [5].

Загальне співвідношення у структурі нового та перспективного житлового будівництва за обсягами введення в експлуатацію розподіляється таким чином:

- багатоквартирний житловий фонд – 93,6 %;
- одноквартирна (садибна) забудова – 6,4 %.

Загальний обсяг наявного житлового фонду міста становить 1,05 млн м² загальної площі (що еквівалентно 17,7 тис. квартир). У його структурі виокремлюються такі ключові категорії:

- Застарілий житловий фонд: об'єкти із рівнем фізичного зносу 60 % і більше, сукупна площа яких досягає 0,7 млн м²;
- Будинки перших масових серій (панельні та цегляні споруди типу «хрущівка»): зосереджені переважно у межах житлових масивів Черемушки,

Лузанівка, а також у кварталах уздовж вулиці Сегедської та Фонтанської дороги; їхній сумарний обсяг становить 0,15 млн м²;

- Житловий фонд у межах промислових зон: специфічний сегмент житлової забудови загальною площею 0,03 млн м², розташований безпосередньо на територіях виробничих районів [5, 6].

Окрему морфологічну та містобудівну цінність становлять такі просторові категорії:

Території житлово-громадської забудови історичного ареалу охоплюють Центральний планувальний район та історичне ядро міста (включно з частиною історичного передмістя Молдаванка). Ця зона акумулює об'єкти культурної спадщини, що регламентуються діючим Історико-архітектурним опорним планом [5, 6].

Території змішаної житлової забудови: для просторової структури Одеси характерна наявність поліморфних кварталів, де поєднуються багатоквартирні будинки та одноквартирний житловий фонд (садибний та блокований типи). Згідно з проєктними рішеннями Генерального плану, такий тип забудови зберігається на розрахунковий етап розвитку міста (зокрема, у кварталах по вулицях Віце-адмірала Азарова, Педагогічній та вздовж Фонтанської дороги).

Зона громадської забудови представлена мережею ділових та багатофункціональних центрів обслуговування, а також автономними об'єктами соціальної інфраструктури (зкладами освіти, охорони здоров'я, соціального забезпечення, спорту, адміністративними установами, об'єктами культури, мистецтва та торгівлі). На сучасному етапі розвитку міського середовища спостерігається дефіцит інфраструктурного забезпечення за низкою напрямків, зокрема відзначається недостатня потужність мережі спортивних споруд, установ соціального захисту, дошкільних навчальних закладів та підприємств побутового обслуговування населення [5, 6].

Зелені насадження загального користування, локалізовані в межах сельбищних територій, інтегруються до складу ландшафтно-рекреаційної

зони. Остання розглядається як єдина розгалужена екомережа, що охоплює всі функціональні елементи міського простору. Ландшафтно-рекреаційна зона Одеси формується поліструктурною системою, яка об'єднує відкриті природні простори (озеленені території загального користування, водні об'єкти, пляжні комплекси) та зони стаціонарного оздоровчо-рекреаційного призначення (санаторно-курортні установи, пансіонати, об'єкти організованого відпочинку та дачну забудову) [5, 6].

Сучасний каркас озелених територій загального користування представлений мережею міських парків і скверів, значна частина яких має офіційний статус пам'яток садово-паркового мистецтва. За звітними даними КП «Міськзелентрест», сумарна площа функціонуючої системи зелених насаджень загального користування в межах міста становить 742 га.

Ключовим просторово-екологічним та рекреаційним компонентом зазначеної зони виступає масив прибережних схилів, що тягнеться від парку ім. Т. Г. Шевченка до мікрорайону Чорноморка.

На територіях цільового оздоровчо-рекреаційного призначення зосереджено інфраструктуру стаціонарної рекреації (санаторії, пансіонати, будинки відпочинку, дитячі оздоровчі комплекси та табори санаторного типу), а також масиви дачно-будівельних кооперативів. За експертними оцінками ДУ «Національний науково-дослідний інститут медичної реабілітації та курортології МОЗ України», у межах Одеського курортного регіону функціонують 20 санаторно-курортних закладів [5, 6].

Виробнича зона. Просторово-планувальна структура промислового комплексу міста передбачає функціонування чотирьох базових виробничих районів:

- «7-й км Овідіопольського шосе»;
- «Застава» (у складі чотирьох локальних виробничих кластерів по вулицях Дальницькій, Стовповій, Промисловій та масиву підприємств «Новодеповська»);
- «Пересип»;

- «Куліндорово» [6].

У межах приміської зони Одеси відбувається формування інтегрованого виробничо-складського вузла «Усатове». Паралельно з основними промисловими районами розвиваються автономні групи підприємств («Південна», «Овідіопольська дуга», «Західна» та «Шкодова гора»), а також транспортно-перевальний комплекс Одеського морського торговельного порту.

Зона зовнішнього транспорту. Інфраструктурний каркас зовнішнього транспорту консолідує землі смуги відведення залізниці, акваторію та територію Одеського морського торговельного порту, потужності Міжнародного аеропорту «Одеса», а також мережу автовокзалів, автостанцій та профільних автотранспортних підприємств [5, 6].

Економічний потенціал та структура промисловості. Місто Одеса функціонує як один із провідних багатовекторних економічних центрів України, що інтегрує промисловий, морегосподарський, логістичний, курортно-рекреаційний та фінансово-соціальний комплекси. Промисловий сектор посідає вагомe місце в загальній структурі міської економіки та об'єднує понад 650 підприємств різних форм власності, що забезпечують робочими місцями більш ніж 30 тис. штатних працівників.

Сучасний стан промислового комплексу відзначається структурною та економічною неоднорідністю. Поряд із високотехнологічними, експортоорієнтованими виробництвами функціонує низка підприємств, які наразі мають дефіцит завантаження виробничих потужностей та потребують стабілізації операційної діяльності. Диспропорції в економічному стані окремих галузей обумовлені макроекономічними чинниками, специфікою ринкової кон'юнктури та динамікою попиту на цільових ринках збуту [5, 6].

До структури пріоритетних галузей промислового виробництва міста належать:

- харчова промисловість та переробка сільськогосподарської продукції;

- машинобудування, металообробка та металургійне виробництво;
- хімічна промисловість, випуск гумових і пластмасових виробів;
- деревообробна, целюлозно-паперова та поліграфічна діяльність;
- життєзабезпечувальний сектор (генерація та постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря, а також централізоване водопостачання та водовідведення) [5, 6] .

Геопросторове положення та транспортний каркас. Місто Одеса займає стратегічно вигідне географічне та геоекономічне розташування у масштабах як України, так і Євразійського континенту, функціонуючи як один із провідних полімагістральних транспортних вузлів. Місто інтегроване у систему міжнародних транспортних коридорів на перетині глобальних торгово-логістичних шляхів сполучення між Європою та Азією. Транспортна система Одеси представлена збалансованим розвитком морського, авіаційного, залізничного та автомобільного секторів [5, 6].

Морегосподарський комплекс. Одеський морський торговельний порт є одним із найбільших глибоководних портів Чорноморсько-Азовського басейну. Він локалізований у північно-західній частині акваторії Чорного моря на перехресті історичних транзитних векторів Сходу та Заходу. Традиційно порт посідає лідируючі позиції в Україні за обсягами перевалки вантажів і функціонує як найбільший пасажирський хаб на Чорному морі. Наявний сучасний пасажирський термінал, просторово пов'язаний з історичним центром міста, має проєктну пропускну спроможність обслуговування до 4,0 млн туристів щорічно [5, 6].

Технічний потенціал та інфраструктурна потужність торговельного порту забезпечують щорічну переробку понад 25,0 млн тонн сухих та 25,0 млн тонн наливних вантажів. Причальний фронт порту консолідує 55 причалів сукупною протяжністю понад 10,2 км, що дозволяє приймати великотоннажні судна з максимальною осадкою до 14,0 м. Пріоритетним вектором модернізації гавані є її контейнеризація: наявні контейнерні термінали розраховані на сумарний річний обіг понад 900 тис. TEU [5, 6].

Авіаційний транспортний сектор. Міжнародний аеропорт «Одеса», розташований у південно-західній частині міської межі, належить до категорії найбільших авіаційних хабів України і забезпечує повітряне сполучення з багатьма адміністративними, діловими та курортними центрами Європи, Азії та Африки. Авіаційне підприємство займає територію площею 570,3 га. У докризовий період базової експлуатації інфраструктура аеропорту забезпечувала обслуговування близько 220 регулярних рейсів на тиждень із річним пасажиропотоком понад 800 тис. пасажирів, а первинний пасажирський термінал мав пропускну здатність 400 пас./год [5, 6].

У 2021 році на території аеропорту було завершено масштабну модернізацію інфраструктури, яка включала введення в експлуатацію нової штучної злітно-посадкової смуги та сучасного термінального комплексу. Загальна площа нового терміналу становить 28,0 тис. м², що дозволило суттєво наростити сумарну пропускну спроможність комплексу до нормативного рівня 2,0–2,5 млн пасажирів на рік [5, 6].

Залізничний транспортний комплекс. Регіональна філія «Одеська залізниця» функціонує як ключовий транспортно-логістичний павутиння південного регіону України та займає стратегічне місце у загальнодержавній системі залізничного сполучення. Операційна зона залізничної мережі охоплює територію шести адміністративних областей: Одеської, Миколаївської, Херсонської, Черкаської, Кіровоградської та Вінницької. На цей сектор припадає близько 20 % загальнонаціонального вантажообігу та понад 16 % пасажирообігу залізничного транспорту країни.

Головною геостратегічною особливістю Одеської залізниці є її приморське та прикордонне положення. Просторова інтеграція магістралі з великими морськими та річковими портами Азово-Чорноморського та Дунайського басейнів забезпечує реалізацію зовнішніх транспортно-економічних зв'язків України з більш ніж 70 державами світу [5, 6].

Міська інфраструктура та пасажирський транспорт. Муніципальна система пасажирського обслуговування Одеси представлена розгалуженою

мережею міського електричного та автомобільного транспорту загального користування. Маршрутна мережа консолідує 24 трамвайні та 12 тролейбусних ліній, а також 84 автобусні маршрути (включаючи 7 маршрутів сезонного/літнього призначення) [5, 6].

Вулично-дорожня мережа міста інтегрована у єдину державну транспортну систему, забезпечуючи функціонування виробничого, логістичного та соціально-інфраструктурного комплексів. Оскільки переважна більшість міських автошляхів була спроектована та побудована у ХХ столітті, їх поточний транспортно-експлуатаційний стан у багатьох аспектах не відповідає сучасним нормативним вимогам і потребує комплексної модернізації з урахуванням зростаючих соціально-економічних та логістичних навантажень [5, 6].

Загальна протяжність магістральних доріг міста становить 891,4 км. За типом дорожнього одягу та покриття вони розподіляються таким чином:

- автошляхи з твердим (капітальним) покриттям – 820,2 км;
- автошляхи з перехідним типом покриття – 54,2 км;
- дороги з нижчим (грунтовим або аналогічним) типом покриття – 17,0 км [5, 6].

1.5 Джерела забруднення атмосферного басейну міста

Одеса є унікальним містом, що поєднує функції найбільшого портово-промислового комплексу України та важливого курортно-рекреаційного центру [7, 8]. Таке поєднання створює суперечність між високим техногенним навантаженням на повітряний басейн та високими санітарно-гігієнічними вимогами до якості довкілля [7, 9]. Стан атмосферного повітря в Одесі характеризується як високий рівень забруднення, причому місто стабільно входить до пріоритетного списку найбільш забруднених міст України [10, 11].

За даними численних звітів та досліджень, саме автотранспорт є головним забруднювачем повітря в Одесі.

Викиди від пересувних джерел домінують над стаціонарними та становлять близько 81% від загального обсягу забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу міста [9, 12-14].

Структура транспортних викидів наступна:

- 87% припадає на автомобільний транспорт.
- 8% – залізничний транспорт.
- 2% – морський та річковий транспорт.
- Близько 1% – повітряний транспорт (включаючи Одеський аеропорт та аеродром «Шкільний») [7].

Серед ключових факторів негативного впливу можна виділити стрімке зростання кількості приватних автомобілів [7, 15], незадовільний технічний стан автопарку через його значний вік [7, 13], низька якість пального та відсутність дієвого контролю за ним [13, 14, 15]. При цьому саме транспорт є головним джерелом викидів оксиду вуглецю (CO), діоксиду азоту (NO_2), вуглеводнів, сажі та сполук свинцю [7, 17-20].

Кількість автотранспорту трималася на рівні ~ 100000 одиниць, що вказує на постійний високий рівень загазованості від вихлопних газів. Наявність 1 аеропорту та 1 морського порту створює постійне, але прогнозоване локальне навантаження на довкілля (табл. 1.1).

Стаціонарні джерела забезпечують близько 19-20% загальних викидів по місту, проте їхній локальний вплив у промислових зонах є критичним.

До основних галузей-забруднювачів можна віднести:

1. Теплоенергетика та ЖКГ: Забезпечують понад 71% викидів від стаціонарних джерел (станом на 2020 рік) [16]. Сюди належать Одеська ТЕЦ-1, котельні КП «Теплопостачання міста Одеси» (зокрема 7 вугільних котелень) [7, 15, 16].

2. Нафтохімічна та хімічна промисловість: Одеський нафтопереробний завод (АТ «Лукойл»), Одеський припортовий завод (ОПЗ), ПАТ «Одесагаз» [7, 13, 15, 16].

3. Виробництво будматеріалів: ЗАТ «Одесацемент» (основний внесок у забруднення пилом) [7, 15].

4. Харчова промисловість: Підприємства з переробки олії, жирів та іншої продукції [7, 16].

Таблиця 1.1 – Інформація щодо об'єктів інфраструктури, які впливають на стан забруднення м. Одеса.

		2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік
1	Загальна кількість підприємств, що здійснюють викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря, од	177	171	166	136	113
2	Кількість зареєстрованих транспортних засобів, од	Близько 100000 одиниць	Близько 100000 одиниць.	Близько 100000 одиниць.	Близько 100000 одиниць.	Близько 100000 одиниць
3	Кількість аеропортів	1	1	1	1	1
4	Кількість морських/річкових портів	1	1	1	1	1
5	Кількість об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів, місць видалення відходів	14	14	14	14	14

Аналізуючи таблицю, бачимо що кількість промислових підприємств-забруднювачів в Одесі стабільно зменшувалася протягом 2017-2021 років, тоді як транспортні та логістичні фактори залишалися незмінними (табл. 1.1). Кількість підприємств, що здійснюють викиди, зменшилась на 36% (зі 177 до 113). Це свідчить про закриття деяких виробництв, їх модернізацію або перехід на екологічніші стандарти. Кількість об'єктів поводження з відходами (14 одиниць) не змінювалася, що свідчить про відсутність відкриття нових сучасних сміттєпереробних комплексів у цей період.

В таблиці 1.2 наведені дані щодо викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря м. Одеса стаціонарними джерелами забруднення.

Таблиця 1.2 – Інформація щодо викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря м. Одеса стаціонарними джерелами забруднення (2016 - 2020 рр.)

	2016 рік	2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік
Викиди забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення (тон) у тому числі	11947,2	12047,3	18314,3	20120,9	25381,8
свинець та його сполуки	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
ртуть та її сполуки	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
нікель та його сполуки	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
діоксид сірки	287,3	287,3	256,6	206,8	157,9
діоксид азоту	667,3	681,7	688,2	601,4	551,6
оксид азоту	5,1	4,8	7,3	8,8	8,9
оксид вуглецю	1500,4	1629,9	1906,8	1533,1	1540,6
речовини у вигляді суспендованих твердих частинок	503,1	551,7	461,7	485,0	393,7

Як бачимо з таблиці, Загальний обсяг викидів забруднювальних речовин від стаціонарних джерел в Одесі за період 2016–2020 років зріс у 2,1 рази (на 112,4%) – з 11,9 тис. тон до 25,4 тис. тон.

Сумарні викиди по місту стрімко збільшувалися (особливо у 2018-2020 роках). Зважаючи на попередні дані про зменшення кількості підприємств, це означає, що кілька окремих великих об'єктів (наприклад, Одеська ТЕЦ чи портові термінали) критично наростили потужності або спалювали менш якісне паливо.

Якщо скласти всі розписані в таблиці компоненти, їхня сума не дорівнює рядку «у тому числі». Наприклад, у 2020 році сума названих речовин становить лише ~2653 тони з 25381,8 тон загальних викидів. Це свідчить про те, що майже 90% усіх викидів у 2020 році складали інші речовини, які не увійшли до цього списку (найімовірніше, метан, неметанові леткі органічні сполуки або вуглекислий газ).

При цьому дані таблиці свідчать про скорочення викидів певних газів та суспендованих твердих частинок (пил, сажа). Викиди SO_2 зменшилися на 45% (з 287,3 т до 157,9 т). Це суттєвий плюс, який зменшує ризик виникнення кислотних дощів. Викиди діоксиду азоту знизились на 17,3% (з 667,3 т до 551,6

т), що зменшує утворення токсичного смогу в місті. Викиди суспендованих твердих частинок зменшилися на 21,7% (з 503,1 т до 393,7 т), що вказує на покращення роботи пиловловлювальних фільтрів.

Оксид вуглецю (чадний газ) залишається найбільшим розписаним забруднювачем серед газів (1540,6 т у 2020 році). Його обсяги коливалися з піком у 2018 році (1906,8 т)

Викиди оксиду азоту зросли на 74,5% (з 5,1 т до 8,9 т), що свідчить про зміну технологічних процесів високотемпературного горіння на підприємствах.

Викиди ртуті та нікелю мізерні й стабільні. Проте подвоєння викидів свинцю у 2020 році (з 0,1 т до 0,2 т або з 100 кг до 200 кг) є негативним сигналом через його здатність накопичуватися в організмі.

Попри успішне зменшення викидів класичних маркерів промислового забруднення (сірки, азоту та пилу), загальна екологічна ситуація в Одесі погіршилася через появу колосальних обсягів інших газоподібних речовин. На тлі незмінних 100 тисяч автомобілів, стаціонарні джерела стали значно сильніше тиснути на атмосферу міста.

На превеликий жаль з отриманих даних неможливо оцінити внесок транспорту оскільки починаючи з 2016 р. інформація розраховується у розрізі Україна/регіон в цілому, без визначення міст.

Ігнорування розрахунків викидів від пересувних джерел в Одесі гальмує вирішення екологічних проблем та загрожує здоров'ю населення агломерації через погіршення стану повітря. Критична ситуація зумовлена такими факторами:

- стрімке збільшення кількості автомобілів;
- застарілий автопарк та його незадовільний технічний стан;
- низькі якісні показники пального;
- неефективна дорожня інфраструктура й транзитні потоки через міську зону;
- висока концентрація автозаправних станцій у регіоні.

До 20 найбільших промислових підприємств – забруднювачів повітряного басейну міста Одеса у 2021 році відносяться:

- акціонерне товариство «Одесагаз»
- філія «Інфоксводоканал»
- комунальне підприємство «Теплопостачання міста Одеси»
- товариство з обмеженою відповідальністю «Айсал»
- публічне акціонерне товариство «Одеський кабельний завод «Одескабель»
- акціонерне товариство «Одеська ТЕЦ»
- товариство з обмеженою відповідальністю «Цемент»
- акціонерне товариство «Ексімнафтопродукт»
- приватне акціонерне товариство «Виробниче об'єднання «Стальканат-сілур»
- товариство з обмеженою відповідальністю «Одеська паляниця»
- товариство з обмеженою відповідальністю «Одеса-хліб»
- товариство з обмеженою відповідальністю «Укрлоудсистем»
- мале приватне підприємство «Агрек»
- державний заклад «Дитячий спеціалізований (спеціальний) клінічний санаторій «Хаджибей» Міністерства охорони здоров'я України
- спільне підприємство «Вітмарк-Україна» в формі товариства з обмеженою відповідальністю
- пасажирське вагонне депо станції Одеса-головна філії «Одеська Залізниця»
- товариство з обмеженою відповідальністю «Велес-агро ЛТД.»
- приватне підприємство «Аргумент»
- державне підприємство «Одеський авіаційний завод»
- товариство з обмеженою відповідальністю «Бруклін-Київ»

Величин викидів за окремими забруднюючими речовинами чи сумарних викидів від даних підприємств, в рамках даного дослідження нам отримати не вдалось.

Забруднення в Одесі суттєво підсилюється метеорологічними факторами:

- Бризова циркуляція сприяє переносу та перерозподілу шкідливих домішок між суходолом і морем [7, 14, 16].
- Температурні інверсії: частота приземних та піднятих інверсій (особливо взимку та влітку) створює ефект «шапки», під якою накопичуються викиди, перешкоджаючи самоочищенню атмосфери [14, 16].
- Розташування промислових зон у пониженнях рельєфу (північ та північний захід міста) сприяє застою забрудненого повітря [14, 16].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Перевірка однорідності вихідних даних

Оскільки до часових рядів забруднюючої домішки застосовуються статистичні методи обробки та аналізу, ці ряди повинні задовольняти вимогам, що впливають із умов, покладених в основу цих методів. Перш за все, кожний ряд повинний бути однорідним. Це означає, що всі члени ряду з визначеною імовірністю повинні належати до однієї генеральної сукупності, тобто підпорядковуватися визначеному закону розподілу. Значення фізичних параметрів, що відрізняються від їх середнього рівня (норми) отримали назву «викидів». «Викиди» спричиняють похибки при статистичному оцінюванні моментів розподілу випадкових величин і їх треба вилучити з вибірки, але тільки після перевірки статистичної гіпотези. Висувається дві гіпотези – основна H_0 та альтернативна H_1 [21].

Гіпотеза H_0 – максимальні і мінімальні значення членів вибірки $x_{екстр}$ належать до тієї ж генеральної сукупності, що і всі інші її члени. Тобто, якщо екстремальні значення статистичного ряду є однорідними, то й інші члени цієї вибірки також будуть підпорядковуватися одному закону розподілу.

Гіпотеза H_0 перевіряється на заданому рівні значущості α .

Для перевірки гіпотези використовують критерій Стьюдента t :

$$t = \frac{|x_{екстр} - \bar{x}|}{S_x}, \quad (2.1)$$

Отримане за формулою (2.1) значення критерію (t) порівнюється з його критичним значенням – $t_{кр}(\alpha, \nu)$, де ν - число степенів вільності, яке розраховується: $\nu = n - 1$, n – об'єм вибірки. $t_{кр}(\alpha, \nu)$ отримують по

встановленим табличним даним.

Якщо $t < t_{кр}(\alpha, \nu)$, то приймається гіпотеза H_0 . Тобто, екстремальний член сукупності є однорідним і залишається у вибірці.

Навпаки, якщо $t > t_{кр}(\alpha, \nu)$, то гіпотеза H_0 відхиляється й приймається альтернативна гіпотеза H_1 , про те, що $x_{екстр}$ на рівні значущості α не належить до тієї ж генеральної сукупності, що й інші члени вибірки, тобто є «викидом». У такому разі, його слід вилючити з ряду значень перед розрахунками статистичних оцінок моментів розподілу випадкової величини. Перевірку гіпотези H_0 треба повторювати до тих пір, поки на заданому рівні значущості члени статистичного ряду, що складають вибірку, будуть однорідними [21].

2.2 Побудова та графічне представлення згрупованого ряду

Ряди вихідних даних характеризуються статистичними оцінками параметрів.

Значення параметра генеральної сукупності, яке розраховують на основі вибірки, називають статистичною оцінкою ($\hat{\theta}$) цього параметра θ і позначають символом " $\wedge$ ".

Первинною формою зображення екологічної інформації є простий статистичний ряд, значення якого розташовуються в хронологічній послідовності.

Вихідні дані подаються у вигляді простого статистичного ряду головним чином у тих випадках, коли задача дослідження полягає у вивченні особливостей їх часової мінливості. Якщо така задача не ставиться, то ряди випадкових величин можуть зображатися у більш компактній формі – у вигляді згрупованого ряду [21].

Побудова згрупованого ряду на основі простого статистичного ряду проводиться наступним чином [21]:

- 1) визначають область значень величини X $[x_{min}; x_{max}]$, де x_{min} – мінімальне, x_{max} – максимальне значення із вихідного ряду даних;
- 2) всі члени вихідного ряду ранжуються – розташовуються в напрямку їх збільшення (або зменшення);
- 3) знаходять k – кількість часткових інтервалів (градацій), на які треба поділити область значень. Для цього використовується формула:

$$k = 5 \lg n, \quad (2.4)$$

де n – об'єм ряду.

У випадку коли k не є цілим числом, його округлюють до цілого.

- 4) знаходиться довжина часткового інтервалу c за формулою:

$$c = \frac{x_{max} - x_{min}}{k}; \quad (2.5)$$

визначається значення випадкової величини X на межах часткових інтервалів. Для i -того часткового інтервалу, значення величини X на лівій межі є $[x_{min} + (i - 1)c]$, а на правій – $[x_{min} + ic]$. Можна позначати ліву межу часткового інтервалу як x_{i-1} , а праву – x_{i+1} ($i = \overline{1, k}$).

Кінець попередньої і початок наступної градацій будуть повторюватися. Тому треба визначити закриті й відкриті межі градацій, тобто встановити, яку з величин враховувати в даній градації, щоб виключити повторення одних і тих же значень випадкової величини X , які дорівнюють значенню на межі градації [21];

- 1) підраховують кількість членів ряду, що потрапляють до кожного i -того часткового інтервалу – m_i ($i = 1, 2, \dots, k$). Величини m_i називають інтервальними емпіричними частотами. Сума частот по всіх часткових інтервалах дорівнює об'єму вибірки X ,

2) розраховують інтервальні частоти p_i (відносні інтервальні частоти) за формулою:

$$p_i = \frac{m_i}{n}. \quad (2.6)$$

3) знаходять $\tilde{x}_i$ – значення випадкової величини X на середині кожного часткового інтервалу за формулою:

$$\tilde{x}_i = \frac{x_{i-1} + x_{i+1}}{2} \quad (i = \overline{1, k}). \quad (2.7)$$

Згрупованим називають такий ранжований статистичний ряд, який представляють сукупністю значень випадкової величини X на серединах часткових інтервалів $\tilde{x}_i$ і відповідних інтервальних частот m_i , або частотей p_i [21]:

$$X : \begin{cases} \tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3, \dots, \tilde{x}_i, \dots, \tilde{x}_k \\ m_1, m_2, m_3, \dots, m_i, \dots, m_k \end{cases} \quad (i = \overline{1, k}). \quad (2.8)$$

Згрупований ряд, може зображатися за допомогою діаграм: гістограми чи полігону.

Гістограма – це система прямокутників, основи яких дорівнюють довжині часткового інтервалу, а висоти – відповідним інтервальним частотам (або частотям). Якщо точки з координатами $(\tilde{x}_i; m_i)$ або $(\tilde{x}_i; \hat{p}_i)$ з'єднати відрізками прямої, то отриману таким чином діаграму називають полігоном [21].

2.3 Розрахунок статистичних оцінок параметрів розподілу

Основні властивості випадкових величин характеризуються початковими (ν), центральними (μ) та основними (r) моментами розподілу різних порядків (l). В дослідженнях, як правило, використовуються перелічені

моменти перших чотирьох порядків ($l = \overline{1,4}$) [21].

Оцінка першого початкового моменту розподілу ($\hat{\nu}_1$) є оцінкою математичного сподівання ($\hat{m}_x$) і дорівнює середньому значенню ($\bar{x}$) випадкової величини X :

$$\hat{\nu}_1 = \hat{m}_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i m_i \quad (2.9)$$

Центральні моменти розподілу оцінюються, починаючи з другого моменту ($l=2$), тому, що перший центральний момент завжди дорівнює нулю, як і його оцінка. Центральний момент другого порядку має сенс дисперсії випадкової величини: $\mu_2 = \sigma_x^2$ [21].

Статистичної оцінка центрального моменту розподілу другого порядку на основі згрупованого ряду розраховується за формулою:

$$\hat{\mu}_2 = \hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i, \quad (2.10)$$

Статистична оцінка другого центрального моменту розподілу, що розраховується за формулою (2.10), є зсуненою оцінкою дисперсії [21].

Незсунену, ефективну та умотивовану оцінку дисперсії випадкової величини X позначають S_x^2 і розраховують за формулою (2.11):

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i. \quad (2.11)$$

Статистична оцінка середнього квадратичного відхилу цієї величини розраховується за формулою:

$$S_x = \sqrt{S_x^2}. \quad (2.12)$$

Оцінка третього основного моменту характеризує асиметрію кривої

розподілу інтервальних частостей (або частот) і називається коефіцієнтом асиметрії: $\hat{r}_3 = As$.

$$As = \hat{r}_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \frac{(\tilde{x}_i - \bar{x})^3 m_i}{S_x^3} \quad (2.13)$$

Крива розподілу має правосторонню асиметрію за умови $As > 0$, і лівосторонню – за умови $As < 0$. Вона є симетричною відносно центру розподілу, якщо $As = 0$ [21].

Крім асиметрії, крива розподілу, порівняно з кривою нормального розподілу, може бути витягнутою або сплюснутою. Мірою цього є коефіцієнт ексцесу E :

$$E = r_4 - 3 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \frac{(\tilde{x}_i - \bar{x})^4 m_i}{S_x^4} \right) - 3. \quad (2.14)$$

Інколи при статистичних дослідженнях рядів екологічної інформації необхідно визначити модальне значення Mo та медіану Me [21].

Мода – значення випадкової величини, що зустрічається частіше усього, тобто має максимальну ймовірність для дискретної величини або максимум функції щільності ймовірності в даній точці для безперервної випадкової величини.

Якщо ряд є згрупованим та ранжування проводилося в бік зростання значень випадкової величини, то моду визначають за формулою:

$$M_0 = x_0 + c \frac{(m_i - m_{i-1})}{(2m_i - m_{i-1} - m_{i+1})}, \quad (2.15)$$

де x_0 , c , m_i – відповідно початок, довжина та емпірична частота модального інтервалу;

m_{i-1} , m_{i+1} – частоти попереднього і наступного за модальним часткових

інтервалів [21].

2.4 Система моніторингу атмосферного повітря міста Одеса

Згідно ст. 32 закону України «Про охорону атмосферного повітря» моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря проводиться з метою отримання, збирання, оброблення, збереження та аналізу інформації про рівень забруднення атмосферного повітря, оцінки та прогнозування його змін і ступеня небезпечності та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі охорони атмосферного повітря [22].

З метою упорядкування робіт, пов'язаних з проведенням моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, Постановою Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 р. № 827 затверджений, «Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» [23], яким визначено що до об'єктів моніторингу атмосферного повітря належать: атмосферне повітря, у тому числі атмосферні опади; викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Моніторинг атмосферного повітря проводиться в рамках Програми проведення в Україні моніторингу атмосферного повітря та відповідних регіональних (місцевих) програм.

У результаті проведення моніторингу атмосферного повітря одержуються:

- первинні дані контролю за викидами та спостережень за станом забруднення;
- узагальнені дані про рівень забруднення на певній території за певний проміжок часу;
- узагальнені дані про склад та обсяги викидів забруднюючих речовин;
- оцінка рівнів та ступеня небезпечності забруднення для довкілля та життєдіяльності населення;
- оцінка складу та обсягів викидів забруднюючих речовин.

Згідно [23], на теперішній час в Одесі функціонує державна мережа

пунктів спостережень за забрудненням атмосферного повітря (ПСЗ) Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів, яка дозволяє вимірювати рівні забруднення атмосферного повітря шкідливими домішками.

Ця мережа складається з 8 ПСЗ, 7 з яких розташовані в найбільш забруднених районах міста (промислові зони і транспортні розв'язки), 1 – в курортній зоні (Французький бульвар) (рис. 2.1) [24].

Пост №8 розташований на Французькому бульварі на території Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів в прибережній зоні моря на значній відстані від промислових підприємств і автошляхів. Тому значення концентрацій забруднюючих речовин, які вимірюються на цьому пості, можна вважати фоновими [24].

ПСЗ №№ 10, 15, 17 розташовані в північній і північно-західній частинах міста (10 – вул. Чорноморського козацтва, 15 – Херсонський сквер, 17 – автовокзал), де знаходяться основні джерела викидів забруднюючих атмосферне повітря речовин – Одеський нафтопереробний завод, ВАТ «Одесагаз», ЗАТ «Одесцемент», ЧАО «Ексимнефтепродукт», ТЕЦ-1, Одеський морський торговельний порт, ДП Одеський морський порт, лакофарбовий завод ПАТ «Елакс», центральний автовокзал та ін [24].

ПСЗ №№ 16, 18, 19, 20 знаходяться в районах міста, де сконцентрований головний рух автотранспорту – перехрестя Олександрівського проспекту та вул. В. Арнаутської (16); крупна автодорожня розв'язка в районі 1-й станції Чорноморської дороги (19) та крупна автомагістраль по вул. Балківській (18). ПСЗ 20 знаходиться в районі інтенсивного руху автотранспорту і житлових кварталів на перехресті Італійського бульвару та вул. Канатній. У південно-західному напрямку від нього розташовані: Центральний залізничний вокзал; ПАО Одеський консервний завод дитячого харчування; ПАО Стальканат; автовокзали у районі Центрального залізничного вокзалу та Привозу [24].

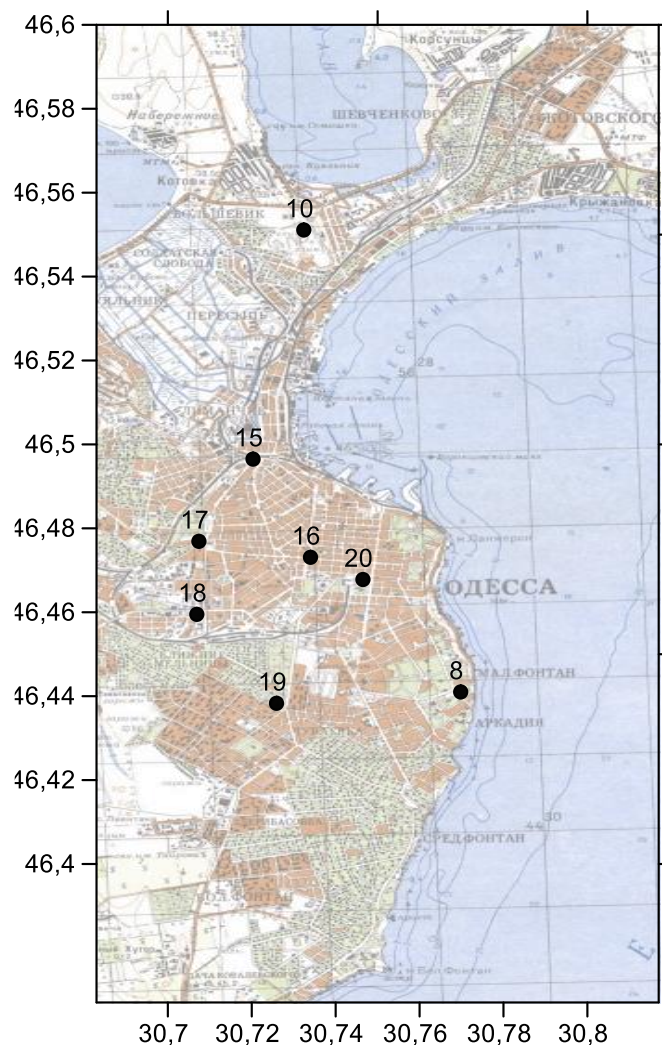


Рис. 2.1 – Схема розташування пунктів спостережень за забрудненням атмосферного повітря м. Одеса [24].

На зазначених ПСЗ проводиться вимірювання за встановленими вимогами Порядку про здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря [19]. Так обов'язково проводяться відбори проб атмосферного повітря згідно відповідних Програм щодня, крім неділі та святкових вихідних, чотири раз на добу (1,7,13,19 годин) найпоширеніших шкідливих речовин Списку А Додатка 1 до Порядку організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, а саме: оксиду вуглецю, двоокису сірки, сажі, окису та двоокису азоту, формальдегіду та пилу неорганічного.

В даній роботі використовувалась інформація відібрана на ПСЗ міста Одеса за період з 2017 по 2021 роки. За описаною в пункті 2.1. методикою,

ряди строкових спостережень за вмістом забруднюючих речовин (ЗР) пройшли перевірку на однорідність. На основі однорідних даних були сформовані середньомісячні ряди концентрацій ЗР, на основі яких і робилися висновки щодо стану забруднення атмосферного повітря.

Слід зауважити, що на деяких ПСЗ міста, у зв'язку з технічними причинами (плановим обслуговуванням та ремонтом обладнання) існують періоди відсутності вимірювань вмісту домішок. Такі періоди можуть тривати по кілька місяців.

Для розрахунку статистичних оцінок моментів розподілу рядів використовувався програмний комплекс STATISTICA.

3 ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА ОДЕСА ДІОКСИДОМ СІРКИ

3.1 Особливості забруднення атмосферного повітря міста діоксидом сірки у 2008-2017 роках

Для комплексного розуміння ситуації із забрудненням атмосферного повітря діоксидом сірки (SO_2) звернемось до робіт [25-27]. В цих роботах автори детально описують особливості вмісту SO_2 в атмосферному повітрі Одеси за десятирічний період 2008-2017 років.

Автори [25-27] використовують дані спостережень на усіх 8 пунктах спостереження за забрудненням атмосферного повітря (ПСЗ) державного моніторингу міста Одеса.

Вихідні дані опрацьовувались за допомогою математичного апарату, що описаний в пункті 2.1 даної роботи.

В табл. 3.1 наведені статистичні характеристики розподілу середньомісячних концентрацій SO_2 на ПСЗ м. Одеса (2008 – 2017 рр.)

Таблиця 3.1 – Статистичні характеристики розподілу середньомісячних концентрацій SO_2 (мкг/м³) на ПСЗ м. Одеса (2008 – 2017 рр.) [25, 26]

№ПСЗ	n	x_{min}	x_{max}	$\bar{x}$	Sx	As	E	Mo
8	120	13,16	41,98	22,64	4,68	0,52	0,86	22,98
10	118	30,72	62,29	44,63	6,06	0,27	0,04	42,31
15	109	32,48	63,55	44,33	6,52	0,89	0,7	41,19
16	117	25,09	52,06	40,29	6,34	-0,33	-0,73	40,39
17	118	26,98	52,79	41,32	6,15	-0,22	-0,86	46,31
18	120	30,26	55,43	44,06	6,14	-0,29	-0,71	43,03
19	119	22,86	50,25	37,33	6,09	-0,38	-0,64	37,39
20	92	27,09	53,26	41,42	5,27	-0,42	-0,22	43

Аналізуючи наведену таблицю ми бачимо, що результати статистичного аналізу свідчать про виражену просторову неоднорідність забруднення

атмосферного повітря діоксидом сірки SO_2 у місті Одеса, де прибережна зона (ПСЗ №8) є умовно чистою, тоді як райони транспортних магістралей та промислових зон перебувають під постійним антропогенним тиском із регулярними перевищеннями нормативів.

Згідно наведених даних робимо висновок, що представлені масиви даних (обсяг вибірок ($n = 92...120$)) свідчать про високу статистичну репрезентативність та однорідність результатів моніторингу діоксиду сірки в атмосферному повітрі м. Одеса.

Спостерігається чітка просторова диференціація. На посту ПСЗ 8, розташованому в прибережній зоні, сформувався мінімальний рівень середнього забруднення (середнє значення концентрацій дорівнює $22,64 \text{ мкг/м}^3$). Для решти постів (ПСЗ 10–20), що зазнають антропогенного впливу від магістралей та підприємств, характерні стабільно високі середні значення у діапазоні від $37,33$ до $44,63 \text{ мкг/м}^3$. Збіг або близькість показників середніх та модальних значень для більшості постів підтверджує математичну збалансованість часових рядів.

Абсолютні значення середнього квадратичного відхилення утримуються в межах $4,68...6,52 \text{ мкг/м}^3$. Це вказує на помірну абсолютну мінливість концентрацій домішок. Проте, на ПСЗ 8 коливання є найбільш вираженими (з варіативністю близько 21%). На урбанізованих постах варіативність знижується до ($12,7...16,3\%$). Це свідчить про монотонне й хронічне надходження газу в повітря біля автомагістралей та промзон, тоді як прибережна зона сильніше залежить від нестабільних природних чинників (зокрема, бризової циркуляції).

На постах ПСЗ 8, 10 та 15 зафіксовано додатні значення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу, що описує правосторонню асиметрію та гостровершинність. У цих локаціях переважають помірні концентрації, але існують різкі аномальні стрибки викидів. Натомість для ПСЗ 16–20 притаманні від’ємні значення цих коефіцієнтів. Лівостороння плосковершинна модель розподілу вказує на те, що в районах транспортних

вузлів високі концентрації SO_2 утримуються стабільно довго, утворюючи стійкий негативний екологічний фон без тенденції до швидкого самоочищення атмосфери.

Відповідно до чинних екологічних нормативів, гранично допустима середньодобова концентрація ($ГДК_{сд}$) для діоксиду сірки становить 50 мкг/м^3 . Співставлення фактичних статистичних параметрів із цим еталоном дозволяє оцінити ступінь токсикологічної напруги:

- ПСЗ 8 (Прибережна рекреаційна зона): Демонструє повну відповідність нормативним вимогам. Середнє значення ($\bar{x} = 22,64 \text{ мкг/м}^3$) перебуває в межах безпечної зони (близько $0,45 ГДК_{сд}$). Навіть абсолютний зафіксований максимум ($x_{max} = 41,98 \text{ мкг/м}^3$) не досягає критичної межі, що підтверджує ефективний аераційний потенціал морського узбережжя.

- ПСЗ 16, 17, 18, 19, 20 (Зони впливу транспортних магістралей): Характеризуються незадовільним станом повітряного басейну. Середні значення перебувають на рівні $37,33 \dots 41,42 \text{ мкг/м}^3$, що становить 75-83% від ліміту $ГДК_{сд}$ і свідчить про високе фонове навантаження. При цьому максимальні разові концентрації на всіх зазначених постах стабільно долають безпечний поріг, сягаючи від $50,25 \text{ мкг/м}^3$ на ПСЗ 19 до $55,43 \text{ мкг/м}^3$ в районі ПСЗ 18, що фіксує регулярні факти понаднормативного забруднення під впливом транспортних потоків.

- ПСЗ 10, 15 (Зони впливу промислових підприємств та великих розв'язок): Визначені, як найбільш критичні екологічні локації. Середні показники тут максимально наближені до граничної межі – $44,63$ та $44,33 \text{ мкг/м}^3$ відповідно (до 89% від $ГДК_{сд}$). Екстремальні максимуми на ПСЗ 10 ($62,29 \text{ мкг/м}^3$) та ПСЗ 15 ($63,55 \text{ мкг/м}^3$) перевищують $ГДК_{сд}$ на 24,5% та 27,1% відповідно. На ПСЗ 10 модальне значення вказує на те, що концентрації, близькі до порушення нормативу, є найчастішим і типовим станом атмосфери у цьому районі.

В роботі [26], представлені гістограми розподілу середньомісячних концентрацій SO_2 , які свідчать, що максимальний ризик понаднормативного

забруднення атмосферного повітря характерний для району спостереження ПСЗ № 18, де цей показник становить 17 %. Натомість мінімальну ймовірність виходу за межі нормативу зафіксовано в зоні моніторингу ПСЗ № 19.

У роботах [25, 26], авторами проведено визначення детермінованої складової часових рядів концентрацій діоксиду сірки. Для всіх ПСЗ розраховані амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) процесу їх зміни

Результати розрахунків наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Амплітудно-частотні характеристики максимальної періодичності в часових рядах середньомісячних концентрацій SO_2 , м.Одеса (2008–2017 рр.) [25, 26].

№ КВП	A, мкг/м ³	T, міс
8	1,502	12,299
10	3,171	12,090
15	2,659	11,257
16	2,667	12,090
17	2,681	12,090
18	3,412	12,299
19	2,033	12,299
20	3,019	11,027

Як свідчать дані табл. 3.2, найбільша періодичність становить біля 12 місяців (річна) і вона притаманна часовим рядам середньомісячних концентрацій SO_2 всіх ПСЗ міста.

Виявлені приховані квазірічні періодичності дали змогу авторам [25, 26] побудувати згладжені ряди середньомісячних концентрацій інгредієнту з використанням зазначених максимальних періодичностей (рис. 3.1).

Представлені графіки відображають багаторічний тренд згладжених рядів концентрації діоксиду сірки SO_2 у період з 2008 по 2017 роки.

За характером кривих чітко виділяються дві принципово різні зони моніторингу:

Зона низького антропогенного навантаження (ПСЗ №8) демонструє відокремлену криву зі значно нижчими рівнями забруднення (у межах 15-

29 мкг/м³). Це свідчить про розташування поста у відносно чистій зоні із низькою щільністю руху та відсутністю промисловості.

Зона високого антропогенного навантаження (ПСЗ №№ 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20) утворюють щільний кластер кривих, що рухаються синфазно (однонаправлено). Це вказує на дію спільних для всього міста потужних чинників – загальноміського транспортного колапсу, транзитного автотранспорту та флуктуацій метеорологічних умов (інверсії температур, штилі).

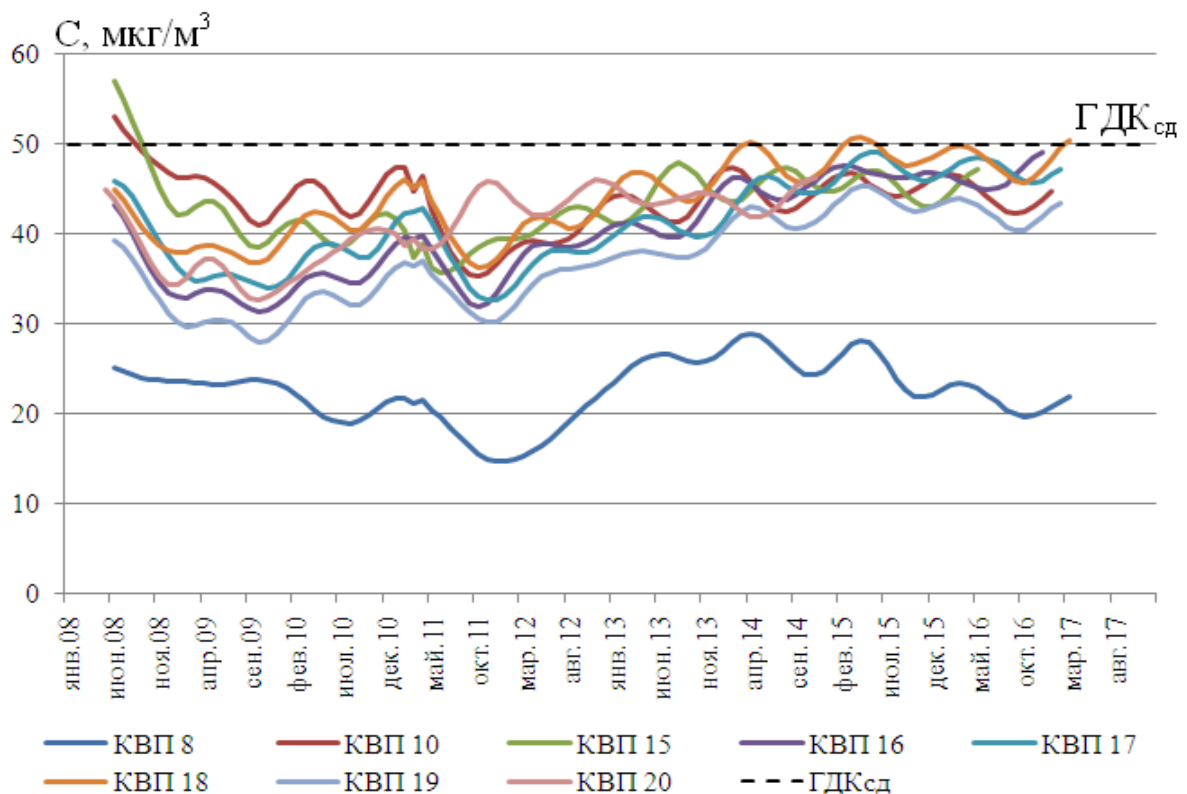


Рисунок 3.1 – Згладжені ряди середньомісячної концентрації SO_2 на ПСЗ м. Одеса, 2008–2017 рр [25, 26].

При цьому графіки свідчать про наявність двох виокремлених періодів змін концентрацій діоксиду сірки в атмосферному повітрі Одеси.

Перший період 2008-2011 роки – період стабілізації та спаду. Початок періоду (червень 2008) характеризується найвищими стартовими значеннями для більшості постів. На ПС315 зафіксовано абсолютний максимум, що перевищив нормативні ліміти. Тенденція зміни концентрацій полягає у їх

поступовому зменшенні до кінця 2009 року з подальшими сезонними коливаннями у 2010 році. Жовтень 2011 є унікальною точкою для всього досліджуваного 10-річного періоду. В жовтні 2011 року зафіксовано найнижчі рівні забруднення на всіх без винятку постах (на ПСЗ №8 спад досяг 15 мкг/м^3 , на інших постах – близько $30\text{-}35 \text{ мкг/м}^3$). Це може бути пов'язано з особливими сприятливими кліматичними умовами (активна циклональна діяльність, сильні вітри, що очищували приземний шар атмосфери) або тимчасовим зниженням промислової активності.

Другий період – це період стабільного висхідного тренду 2011-2017 років. Починаючи з весни 2012 року, розпочинається стійкий, довгостроковий тренд до зростання концентрацій SO_2 на всіх постах спостереження. Графіки набувають вираженої хвилеподібної структури з амплітудними піками. Наприклад, чітко простежуються підйоми в холодні періоди (опалювальні сезони кінця 2013, початку 2014, початку 2015 та 2016 років), що обумовлено спалюванням палива ТЕЦ та приватним сектором. У березні 2017 забруднення досягає свого апогею за останні 8 років дослідження. Група постів високого навантаження практично повністю консолідується біля верхньої межі норми.

Загальна картина рівнів забруднення виглядає наступним чином:

В районі ПСЗ №8 рівні забруднення атмосферного повітря SO_2 протягом усього 10-річного періоду є абсолютно безпечними. Максимальні значення не перевищують 29 мкг/м^3 , що становить лише 58% від рівня ГДК_{сд}. Ризик для здоров'я населення в зоні цього поста мінімальний.

Кластер брудних постів (ПСЗ №10, 15-20) знаходиться у хронічній зоні підвищеного екологічного ризику. Протягом більшої частини дослідження концентрації коливаються у межах $35\text{--}48 \text{ мкг/м}^3$ (70-96% від ГДК_{сд}). Навіть без формального юридичного перевищення, таке тривале перебування концентрацій біля межі норми свідчить про високе хронічне токсичне навантаження на населення міста.

У червні 2008 року значення концентрацій SO_2 в районі ПСЗ №15 чітко перетинає лінію ГДК_{сд}, сягаючи близько 57 мкг/м^3 ($1,14 \text{ ГДК}_{\text{сд}}$). Також на межі фолу ($50\text{--}52 \text{ мкг/м}^3$) знаходилися концентрації інгредієнту в районі ПСЗ №18.

У 2014 -2017 роки величину ГДК_{сд} періодично перетинають або фіксуються чітко на ній ПСЗ №18 (весна 2014, літо 2015) та ПСЗ №10 і 15 (весна 2017). Будь-яке несприятливе розсіювання домішок у ці моменти призводило до формування локальних екологічних криз.

3.2 Сучасний стан забруднення атмосферного повітря Одеси діоксидом сірки

Діоксид сірки, або сірчаний ангідрид (SO_2), потрапляє до атмосферного повітря різноманітними шляхами, як природними так і антропогенними. До антропогенних джерел відносяться підприємства металургії, енергетичної галузі, автотранспорт, нафтопереробна промисловість.

На рисунку 3.2 представлені ряди середньомісячних концентрацій діоксиду сірки на ПСЗ м. Одеса.

Як видно з рисунку, у загальносистемному масштабі за п'ятирічний період спостерігається закономірна тенденція до стабілізації рівнів забруднення з різким екологічним покращенням (спадом) у другій половині 2021 року.

Як і в попередні роки, чітко простежується просторова неоднорідність міського екологічного простору:

Атмосферне повітря в районі фонового рекреаційного контрольного поста (ПСЗ №8) залишається найбільш чистим. Концентрації SO_2 стабільно тримаються в діапазоні 0,014-0,035 мг/м³. Лише один аномальний сплеск зафіксовано в серпні 2019 року (0,0423 мг/м³).

Урбанізоване ядро (ПСЗ № 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20) формує стійку зону високої концентрації, де середні значення протягом 2017-2020 років регулярно варіюють у межах 0,035-0,049 мг/м³, балансуючи на межі нормативного екологічного ліміту.

Графіки концентрації діоксиду сірки дають змоги виділити два різних за характером забруднення повітря домішкою періоди (рис. 3.2).

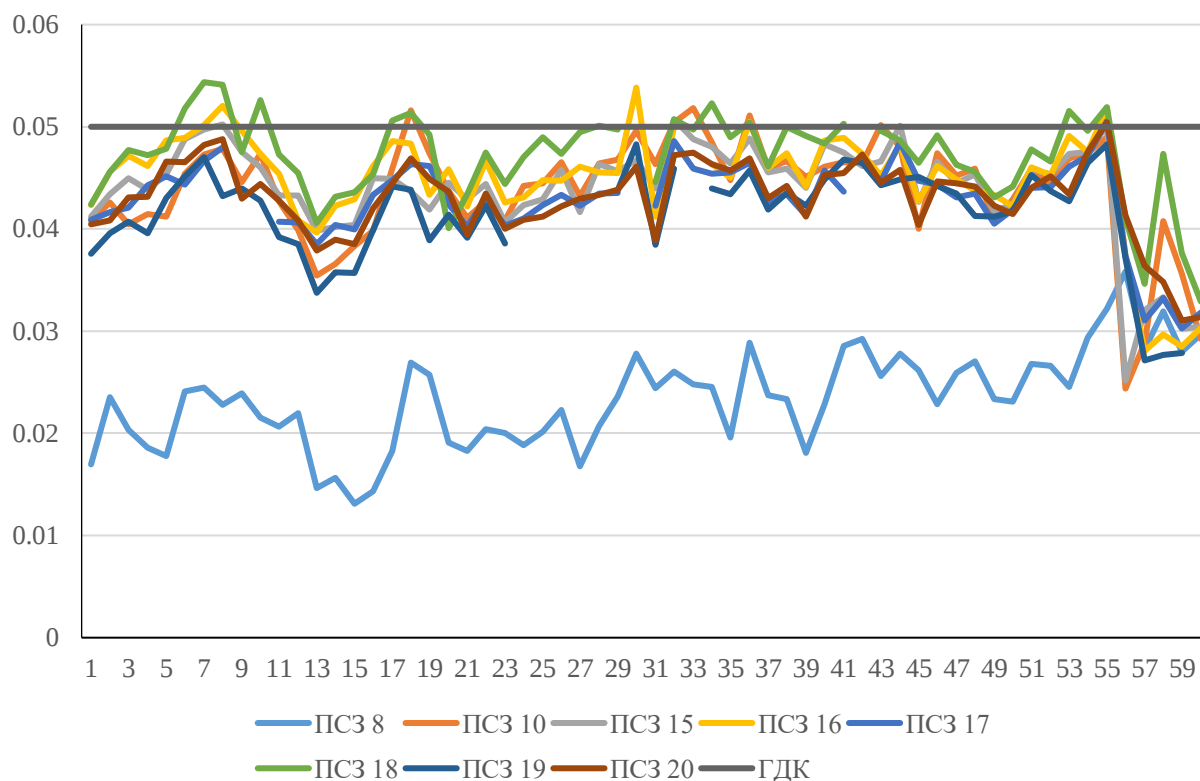


Рисунок 3.2 – Ряди середньомісячних концентрацій діоксиду сірки (мг/м^3) на ПСЗ м. Одеса. 2017 – 2021 рр.

Період I: 2017-2020 роки – період хронічного стабільно високого навантаження та сезонних флуктуацій. Цей 4-річний цикл відрізняється стійким «хронічним» характером забруднення міського середовища.

З рисунку чітко помітно, що максимальні концентрації формуються переважно в холодні місяці (січень-березень) та під час літнього температурного максимуму (червень-серпень). Зимові піки обумовлені додатковими викидами ТЕЦ та тепломереж, а літні – низьким ступенем розсіювання повітря через температурні інверсії над Одеською затокою. Протягом усього періоду значна частина середньомісячних значень на ПСЗ № 15, 16 та 18 упевнено перевищує позначку $0,045 \text{ мг/м}^3$, що становить понад 90% від величини ГДК.

Період II: друга половина 2021 року – період різкого екологічного регресу викидів.

Починаючи з вересня 2021 року, у таблиці фіксується унікальний довгостроковий злам тренду – синхронне та кардинальне зниження концентрацій діоксиду сірки на абсолютно всіх постах спостереження.

У вересні 2021 року значення на більшості постів раптово падають до 0,027-0,036 мг/м³. У жовтні-грудні 2021 року падіння продовжується, досягаючи рекордного мінімуму для «брудних» постів – у межах 0,028-0,032 мг/м³.

Такий різкий спад у холодний період (опалювальний сезон 2021 року) може свідчити про комбінацію факторів: перехід великих промислових джерел або котелень міста на альтернативні/більш чисті види палива (наприклад, суворіший контроль якості газу чи тимчасове зупинення окремих енергоблоків), або ж про тривалий період активного циклонального очищення атмосфери масами морського повітря.

Порівняння середньомісячних величин із середньодобовою екологічною нормою ($\text{ГДК}_{\text{сд}}=0,05 \text{ мг/м}^3$) виявило випадки локального перевищення ліміту:

1. 2017 рік: на екологічному екваторі року спостерігається системна криза.
 - Липень 2017: На ПСЗ № 16 зафіксовано перевищення норми – 0,050192 мг/м³ (1,004ГДК_{сд}), на ПСЗ № 18 – 0,054365 мг/м³ (1,09 ГДК_{сд}).
 - Серпень 2017: ПСЗ № 15 фіксує 0,05024 мг/м³, ПСЗ № 16 – 0,052064 мг/м³, ПСЗ № 18 – 0,054118 мг/м³ (1,08 ГДК).
 - Жовтень 2017: ПСЗ № 18 фіксує повторний сплеск – 0,05258 мг/м³ (1,05 ГДК_{сд}).
2. Червень 2018: в районі ПСЗ № 10 зафіксовано пік на рівні 0,051619 мг/м³ (1,03 ГДК_{сд}), а в районі ПСЗ № 18 – 0,051358 мг/м³.
3. Грудень 2019: аномально високий грудневий показник зафіксовано на ПСЗ № 10 – 0,05109 мг/м³, та на ПСЗ № 16 – 0,050501 мг/м³.

4. Серпень 2020: ПСЗ № 15 виходить на межу – 0,0501 мг/м³, а ПСЗ № 18 досягає максимуму року – 0,05029 мг/м³.

5. Липень 2021: зафіксовано фінальні акорди перевищень перед загальним спадом. ПСЗ № 15 – 0,050082 мг/м³, ПСЗ № 16 – 0,051846 мг/м³, ПСЗ № 18 – 0,051894 мг/м³.

Необхідно зробити важливе зауваження, що оскільки графіки побудовані на основі *середньомісячних* значень, будь-яке їх наближення до норми (наприклад 0,048 мг/м³) або незначне перевищення (0,051 мг/м³) математично означає, що всередині цих місяців у конкретні дні (під час безвітря або туману) фіксувалися потужні середньодобові та максимально разові перевищення ГДК у 1,5-3 рази. Це свідчить про серйозні ризики хронічного впливу газу на дихальну систему мешканців центральних та промислових районів Одеси протягом 2017-2020 років.

Згідно математичного апарату описаного в розділі 2, нами були визначені статистичні характеристики рядів середньомісячних концентрацій діоксиду сірки на ПСЗ Одеси за період 2017-2021 років. Результати розрахунків представлені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Статистичні моменти розподілу середньомісячної концентрації діоксиду сірки (мг/м³) на ПСЗ м. Одеса (2017-2021 рр.)

ПСЗ	<i>n</i>	<i>x_{min}</i>	<i>x_{max}</i>	$\bar{x}$	<i>S_x</i>	Mo	<i>As</i>	<i>E</i>
ПСЗ 8	60	0,013105	0,035821	0,023369	0,004703	-	0,04	-0,1
ПСЗ 10	60	0,024377	0,051829	0,043811	0,005346	-	-1,48	3,06
ПСЗ 15	60	0,025152	0,050731	0,043979	0,005016	-	-1,8	3,95
ПСЗ 16	59	0,028059	0,053833	0,044778	0,005271	-	-1,65	3,44
ПСЗ 17	56	0,030279	0,050560	0,042741	0,004053	-	-1,28	2,45
ПСЗ 18	58	0,032900	0,054365	0,047074	0,004302	-	-1,16	1,92
ПСЗ 19	53	0,027133	0,048272	0,041533	0,004742	-	-1,44	2,38
ПСЗ 20	60	0,031040	0,050443	0,043029	0,003801	-	-1,03	1,8

Аналіз вихідних статистичних параметрів дозволяє виділити дві принципово різні екологічні зони за характером навантаження та структурою розподілу концентрацій.

ПСЗ 8 суттєво відрізняється від інших постів мінімальним рівнем

техногенного пресингу. Середня концентрація становить $0,023369 \text{ мг/м}^3$. Водночас цей пост має найвищий відносний рівень мінливості – коефіцієнт варіації становить 20,1%, що вказує на помірну мінливість і високу залежність від сезонних або динамічних чинників.

Група постів ПСЗ 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20 характеризується високим та однорідним рівнем забруднення із середніми значеннями в діапазоні $0,041533 - 0,047074 \text{ мг/м}^3$. Максимальний фоновий рівень фіксується на ПСЗ 18 ($0,047074 \text{ мг/м}^3$). Значення середнього квадратичного відхилення для всієї групи коливаються в межах $0,003801 - 0,005346 \text{ мг/м}^3$, що свідчить про стабільно високе антропогенне навантаження протягом року.

Відповідно розрахунковим коефіцієнтам асиметрії (**As**) на ПСЗ 8 спостерігається майже симетричний розподіл близький до нормального ($As=0,04$). Натомість для всіх інших семи постів властива виражена негативна (лівостороння) асиметрія (від -1,03 на ПСЗ 20, до -1,8 на ПСЗ 15). Це вказує на тривале зміщення розподілу в бік високих концентрацій домішки – тобто більшість зареєстрованих середньомісячних значень є стабільно високими.

Коефіцієнт ексцесу в районі ПСЗ 8 є слабко-негативним ($E=-0,1$), що свідчить про плосковершинність розподілу. На ПСЗ 10-20 спостерігається значний позитивний ексцес (від 1,80 до 3,95). Найвищий показник гостровершинності зафіксовано на ПСЗ 15 ($E=3,95$) та ПСЗ 16 ($E=3,44$). Це математично підтверджує екологічну стабільність високого забруднення: дані групуються навколо одного високого модального значення, а випадкові спади концентрацій є аномалією.

Порівнюючі дані таблиці з встановленим гігієнічним нормативом для діоксиду сірки бачимо, що на жодному з постів середні багаторічні значення не перевищили ГДК_{сд}. Проте на 7 постах з 8 середні до 94,1 від величини ГДК. Найгірший фоновий показник демонструє ПСЗ 18, де середній рівень зафіксовано на позначці $0,047074 \text{ мг/м}^3$.

На 6 постах із 8 (ПСЗ 10, 15, 16, 17, 18, 20) максимальні середньомісячні значення перевищили законодавчо встановлений норматив ГДК_{сд}. Найбільш

критичні пікові концентрації діоксиду сірки зареєстровані на ПСЗ 18 (0,054365 мг/м³, або 1,09 ГДК_{сд}) та ПСЗ 16 (0,053833 мг/м³, або 1,08 ГДК_{сд}).

Мінімальні зареєстровані концентрації на найбільш забруднених постах (наприклад 0,0329 мг/м³ на ПСЗ 18) складають понад 65% від ГДК. Це свідчить про відсутність періодів повного очищення повітряного басейну міста.

За результатами розрахунків статистичних оцінок моментів рядів середньомісячних концентрацій діоксиду сірки були побудовані гістограми розподілу середньомісячних концентрацій, що представлені на рис. 3.3.

Судячи з гістограм розподілу середньомісячних концентрацій діоксиду сірки, на ПСЗ м. Одеса, найбільш ймовірними є концентрації домішки, що близькі за значенням до ГДК_{сд}. На долю таких концентрацій припадає від 60 до 85% повторюваності.

За даними середньодобових концентрацій SO₂ розраховані і побудовані поля середньомісячних концентрацій для центральних місяців сезонів що зображені на рисунку 3.4.

Аналізуючи просторовий розподіл забруднюючої речовини в атмосферному повітрі м. Одеса ми бачимо, що у січні спостерігаються найнижчі рівні забруднення серед усіх досліджуваних місяців для більшості постів. Просторовий розподіл демонструє мінімальне навантаження на ПСЗ 8 (0,0198 мг/м³). На інших постах концентрації розподілені відносно рівномірно в діапазоні 0,0386-0,0442 мг/м³. Максимальний рівень зафіксовано на ПСЗ 18 (0,0442 мг/м³), мінімальний серед промислово-транспортних зон – на ПСЗ 19 (0,0386 мг/м³)

Перевищень нормативу не зафіксовано на жодному пункті. На ПСЗ 18 концентрація досягає максимального для цього місяця значення – (88,4%) від рівня ГДК_{сд}. На ПСЗ 8 цей показник становить лише (39,6%) від ГДК_{сд}.

У квітні фіксується тенденція до зростання концентрацій (SO₂) на всіх без винятку постах спостереження порівняно із зимовим періодом. Локальний мінімум незмінно утримується на ПСЗ 8 (0,0206 мг/м³).

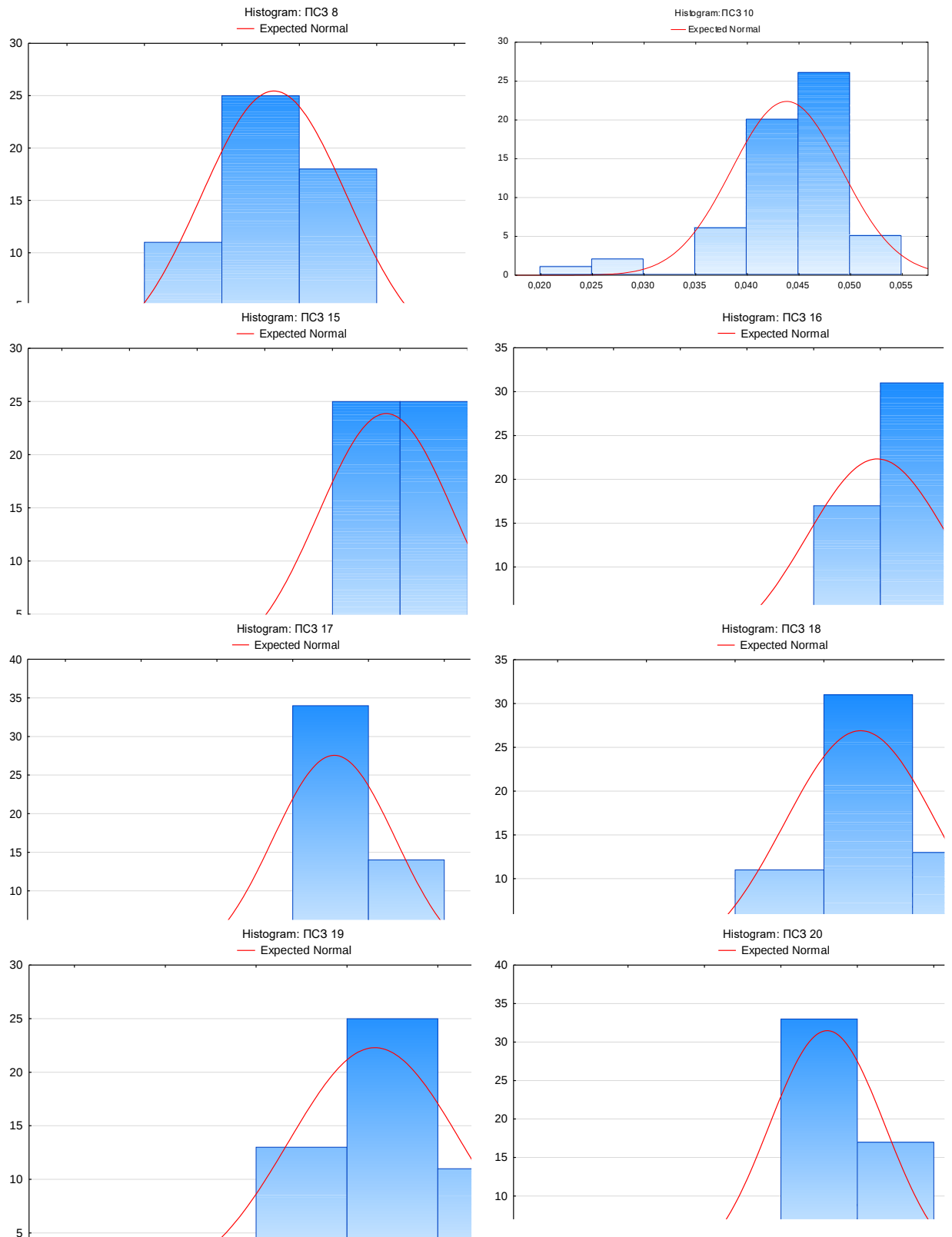


Рисунок 3.3 – Гістограми розподілу середньомісячних концентрацій діоксиду сірки (мг/м^3), на ПС3 м. Одеса, 2017-2021 рр.

Серед решти постів виокремлюється ядро підвищеного забруднення, яке охоплює ПСЗ 18 (0,0475 мг/м³), ПСЗ 16 (0,0463 мг/м³) та ПСЗ 15 (0,0458 мг/м³). Найнижчі рівні в цій групі характерні для ПСЗ 19 (0,0420 мг/м³).

Середньомісячні значення на всіх постах залишаються в межах допустимої норми. Проте на ПСЗ 18 концентрація стає критичною і досягає (95,0%) від максимально дозволеного ліміту.

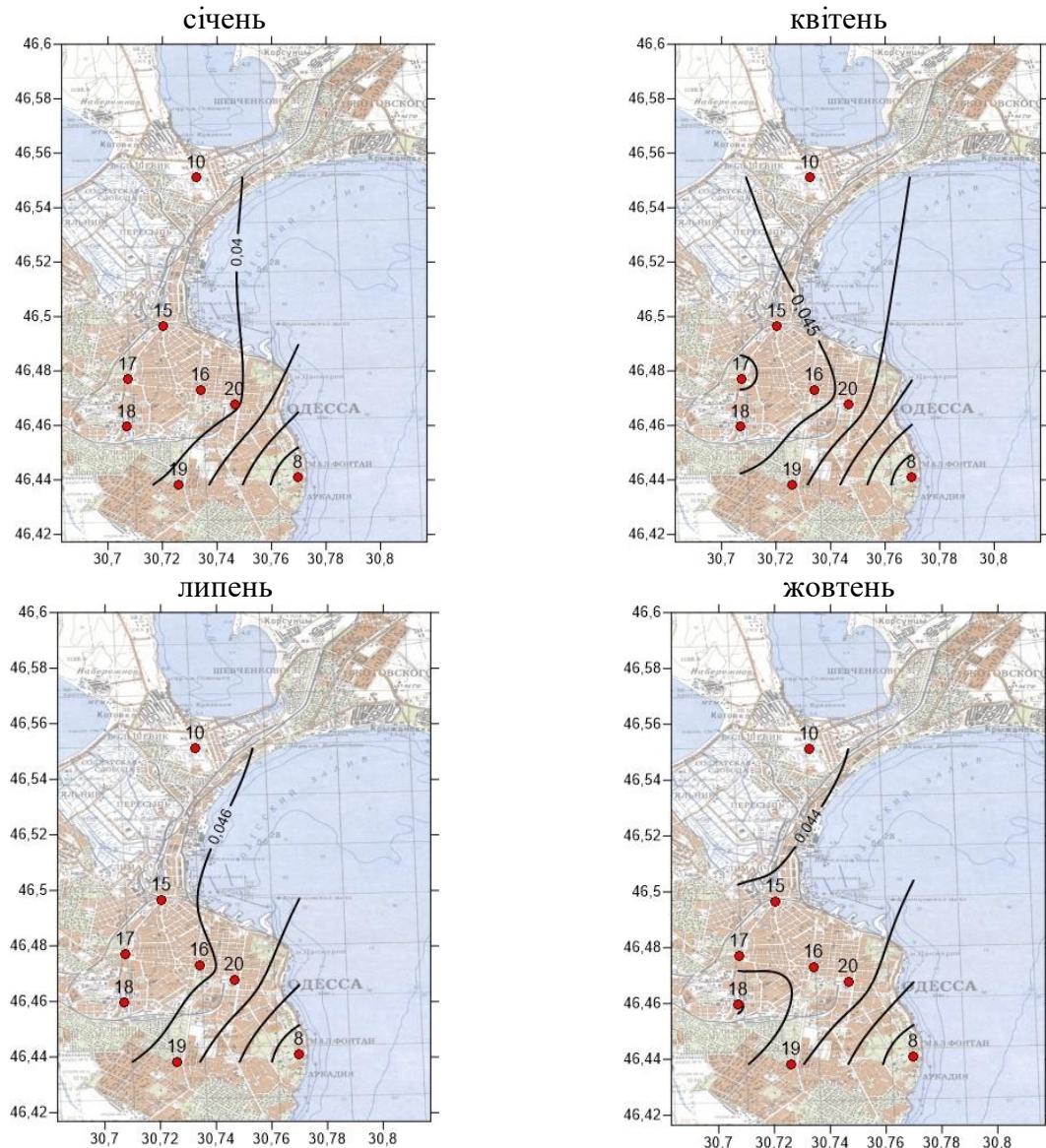


Рисунок 3.4 – Поля розподілу середньомісячних концентрацій SO_2 (мг/м³) для центральних місяців сезонів, 2017 – 2021 рр.

Липень характеризується абсолютним сезонним максимумом концентрацій діоксиду сірки на всіх ПСЗ міста. Просторова диференціація

показує, що на ПСЗ 8 концентрація зростає до (0,0265 мг/м³). Найвища концентрація фіксується на ПСЗ 18 (0,0499 мг/м³), до нього впритул наближається ПСЗ 10 (0,0480 мг/м³). На постах 15, 16 та 17 спостерігається висока просторова однорідність забруднення (0,0461-0,0465 мг/м³).

Жоден із постів формально не перевищує ліміт (0,05 мг/м³). Однак екологічна ситуація на ПСЗ 18 перебуває в делікатній рівновазі на межі порушення нормативу, складаючи (99,8%) від ГДК_{сд}. На ПСЗ 10 рівень навантаження досягає (96,0%) від ГДК_{сд}.

В осінній період спостерігається загальне зниження вмісту діоксиду сірки порівняно з літом на більшості постів, за винятком ПСЗ 18, де концентрація залишається майже незмінною (0,0498 мг/м³). Між іншими постами зберігається звична диференціація: мінімум на ПСЗ 8 (0,0242 мг/м³), помірні рівні на ПСЗ 19 (0,0402 мг/м³) та ПСЗ 17 (0,0415 мг/м³), і стабільно високі показники на ПСЗ 10 (0,0453 мг/м³).

Перевищення ліміту відсутні. На ПСЗ 18 екологічний пресинг продовжує фіксуватися на критичному рівні – 99,6% від ГДК_{сд}.

Аналіз часової та просторової структури даних свідчить, що екологічний стан атмосферного повітря міста Одеса за вмістом діоксиду сірки у 2017–2021 роках характеризується як стабільно напружений, але контрольований (прямих перевищень середньомісячних нормативів ГДК_{сд} не виявлено).

Найбільш чистим є район розташування ПСЗ 8 (концентрації не перевищують 53,0% ГДК). Натомість епіцентром постійного антропогенного навантаження є ПСЗ 18, де у квітні, липні та жовтні середні концентрації перебувають у зоні екстремального ризику, сягаючи 95,0-99,8% від межі токсичності. Сезонний максимум забруднення для всього міста чітко припадає на липень, що може бути пов'язано з фотохімічними процесами в атмосфері та специфікою літньої циркуляції повітряних мас у прибережній зоні.

В цілому можна вважати, що рівні забруднення атмосфери міста Одеса діоксидом сірки викликають занепокоєння, але не створюють суттєвої загрози для мешканців міста. Однак слід пам'ятати, що у повітрі великих міст присутні

речовини, що володіють ефектом сумачії шкідливої дії. Тому у присутності інших забруднюючих речовин, спостережувані концентрації діоксиду сірки все ж можуть створювати певну небезпеку.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження просторово-часової динаміки вмісту діоксиду сірки в атмосферному повітрі міста Одеса та проаналізовано вплив природних і техногенних чинників на формування рівнів забруднення. На основі проведених досліджень отримано такі результати.

1. Опрацьовано наукові джерела щодо фізико-хімічних властивостей діоксиду сірки, його основних джерел надходження в атмосферне повітря та впливу на здоров'я населення і довкілля. Встановлено, що SO_2 належить до пріоритетних атмосферних забруднювачів, бере участь у процесах утворення кислотних опадів та негативно впливає на функціонування природних екосистем і організм людини.

2. Проаналізовано природні, соціально-економічні та господарські особливості міста Одеса. Визначено, що формування якості атмосферного повітря відбувається під впливом значного транспортного навантаження, діяльності промислових підприємств, об'єктів теплоенергетики та особливостей метеорологічного режиму. Встановлено, що основним джерелом викидів у місті залишаються пересувні джерела забруднення, на які припадає понад 80 % загального обсягу викидів.

3. Охарактеризовано систему державного моніторингу атмосферного повітря міста Одеса та мережу стаціонарних постів спостереження. Встановлено, що існуюча мережа забезпечує можливість оцінювання просторової неоднорідності забруднення та виявлення територій із підвищеним антропогенним навантаженням.

4. Обґрунтовано та застосовано методику статистичної обробки результатів моніторингових спостережень. Проведено перевірку вихідних

рядів даних на однорідність із використанням критерію Стюдента та виконано відсів статистичних викидів. Це дозволило сформулювати достовірні вибірки даних для подальшого аналізу концентрацій діоксиду сірки.

5. Виконано аналіз сучасного стану забруднення атмосферного повітря діоксидом сірки за період 2017-2021 рр. Встановлено, що середні багаторічні концентрації SO_2 на всіх постах спостережень не перевищували середньодобову гранично допустиму концентрацію. Разом із тим на більшості постів середні значення досягали 80-94 % від нормативного рівня, що свідчить про значний ступінь антропогенного навантаження та необхідність подальшого контролю за станом атмосферного повітря.

6. За результатами статистичного аналізу встановлено, що для більшості постів характерна лівостороння асиметрія розподілу концентрацій і позитивні значення ексцесу, що свідчить про високу повторюваність підвищених концентрацій діоксиду сірки та відносно стабільний характер забруднення атмосферного повітря.

7. Проведено порівняння сучасного стану забруднення атмосферного повітря з ретроспективними даними попередніх років. Встановлено, що, незважаючи на скорочення викидів окремих промислових джерел, проблема забруднення атмосферного повітря залишається актуальною через збереження високого транспортного навантаження та складні умови розсіювання домішок у межах міської агломерації.

8. Побудовано та проаналізовано поля просторового розподілу концентрацій діоксиду сірки для різних сезонів року. Виявлено території з підвищеним рівнем забруднення, які тяжіють до районів інтенсивного транспортного руху та промислової діяльності. Встановлено наявність сезонних особливостей просторового розподілу SO_2 , обумовлених змінами метеорологічних умов і режиму роботи джерел викидів.

Отримані результати свідчать про досягнення поставленої мети кваліфікаційної роботи – проведення комплексної оцінки просторово-

часової динаміки забруднення атмосферного повітря міста Одеса діоксидом сірки та аналізу впливу природних і техногенних факторів на формування екологічного стану міського середовища. Усі завдання, визначені у вступі роботи, виконані в повному обсязі.

Практичне значення результатів полягає у можливості їх використання підрозділами екологічного контролю, органами місцевого самоврядування, установами моніторингу довкілля та науковими організаціями для оцінки екологічного стану атмосферного повітря, удосконалення системи спостережень і розроблення природоохоронних заходів щодо зниження рівнів атмосферного забруднення.

Перспективи подальших досліджень доцільно пов'язати з розширенням часових рядів спостережень, аналізом впливу окремих метеорологічних факторів на формування концентрацій діоксиду сірки, використанням геоінформаційних технологій для моделювання просторового поширення забруднення та проведенням комплексної оцінки ризиків для здоров'я населення в умовах багатокomпонентного забруднення атмосферного повітря.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Криштоф В.О. Удосконалення технології отримання діоксиду сірки. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр. Національний університет харчових технологій. Київ. 2021. 102 с. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/fa12cc74-a12d-4470-b0bd-a897b756daf9/content>.
2. Клименко В.Г. Цигічко О.Ю. Забруднення атмосферного повітря: Методична розробка для студентів-географів. Харків. ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2010. 26 с.
3. Колесніков М.О. Хімія атмосфери: Курс лекцій. Мелітополь, 2009. 112 с.
4. Федишин Б.М., Борисюк Б.В., Вовк М.В. Хімія та екологія атмосфери: навчальний посібник. Київ, 2003. 272 с.
5. Генеральний план м. Одеси, 2015 р. URL: <https://omr.gov.ua/ua/city/departments/uag/generalniy-plan-g-odessi> (дата звернення: 10.11.2025)
6. План зонування території міста Одеса. Пояснювальна записка. URL: <https://www.omr.gov.ua/ua/acts/council/89148> (дата звернення: 12.11.2025)
7. Про концепцію охорони атмосферного повітря у місті Одесі на період до 2010 року: Рішення Одеської міської ради № 323-V від 29.09.2006. Офіційний сайт міста Одеса. URL: <https://omr.gov.ua/ua/acts/council/3872/> (дата звернення: 18.11.2025).
8. Чугай А.В., Донцов М.Ю., Лавров Т.В., Шапочка М.О. Методичні аспекти оцінки техногенного впливу на повітряний басейн (на прикладі Одеської промислово-міської агломерації). *Український гідрометеорологічний журнал*. 2025. № 34-35. С. 76-82.

9. Владимірова О.Г., Бургаз О.А., Тимошук М.О. Особливості забруднення атмосферного повітря м. Одеси діоксидом сірки й оксидом вуглецю. *Екологічні науки*. 2021. № 7 (34). С. 44-50.

10. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році. Київ: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2019. 431 с.

11. Оцінка вразливості та заходи з адаптації до зміни клімату. м. Одеса / Національний екологічний центр України. Київ: НЕЦУ, 2014. 63 с.

12. Звіт про стратегічну екологічну оцінку документа державного планування детального плану території розміщення об'єкта транспортної інфраструктури... / розроб. ТОВ «Екосвіт Компані». Одеса, 2019. 74 с.

13. Забруднення атмосферного повітря. Одеська обласна рада: офіційний вебсайт. URL: <https://oblrada.od.gov.ua/> (дата звернення: 22.11.2026).

14. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2019 році / Департамент екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації. Одеса, 2020. 192 с.

15. Стратегія економічного та соціального розвитку м. Одеси до 2022 року (актуалізована): затвердж. рішенням Одеської міської ради № 3306-VI від 16.04.2013. Одеса, 2013. 62 с.

16. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2020 році / Департамент екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації. Одеса, 2021. 210 с.

17. Автомобіль. Екологія. Здоров'я людини: навч. посібник. Житомир : Електронна бібліотека Житомирського державного університету ім. І. Франка. 145 с.

18. Чугай А.В., Терземан В.В. Прогнозування забруднення атмосферного повітря міста Одеса діоксидом азоту. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2022. № 29. С. 88-93.

19. Чугай А. В., Гусєва К. Д., Кукуй Д. В. Забрудненість атмосферного повітря м. Одеса. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012. № 1-2. С. 93-98.
20. Колісник А.В., Ничипорук О.І., Чугай А.В. Аналіз забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту: доповідь. Одеса: ОДЕКУ. 5 с.
21. Лоева І.Д., Бургаз О.А. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Аналіз екологічної інформації». Одеса: ОДЕКУ, 2020. 65 с.
22. Про охорону атмосферного повітря: Закон України від 16 жовтня 1992 року N 2707-XII. URL:<http://zakon.rada.gov.ua/go/2707-12> (дата звернення: 10.01.2026)
23. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Постанова КМУ N 827 від 14.08.2019р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/827-2019-%D0%BF> (дата звернення: 15.01.2026).
24. Дослідження відповідності значення ІЗА екологічному стану атмосферного повітря міста. Звіт про науково-дослідну роботу (проміжний). Одеса. ОДЕКУ. 2023 р. 56 с.
25. Просторово-часова оцінка і діагноз стану забруднення атмосферного повітря м. Одеса. Звіт про НДР. Но держреєстрації 0117U002426. Одеса. ОДЕКУ. 2020 р. 115 с.
26. Владимірова О.Г., Бургаз О.А., Тимошук М.О. Особливості забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом сірки та оксидом вуглецю. *Екологічні науки*. 2021. № 7(34). С. 44-50 DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.7-34.8>
27. Бургаз О.А., Самойленко В.О. Щодо питань здійснення державного екологічного моніторингу атмосферного повітря міста Одеса. *Матеріали Третьої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євроінтеграція екологічної політики України»*. Одеса, ОДЕКУ. 2021. С. 101-104.