

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра екологічного права і
контролю

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Стан забруднення атмосферного повітря
м. Одеса діоксидом азоту»

Виконав магістрант 2 курсу
групи МЕК – 2
Спеціальності 101 «Екологія»
Спеціалізація «Екологічний
контроль та аудит»
Камінський Леонід Леонідович

Керівник - асистент
Снісаренко Вікторія Вікторівна

Консультант - д.геогр. н., проф.
Лоева Інеса Дмитрівна

Рецензент к.геогр.н., доц.
Полетаєва Лариса Миколаївна

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на тему «Стан забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту», автор – магістрант Камінський Леонід Леонідович.

Метою магістерської роботи є виявлення особливостей забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту шляхом проведення статистичного аналізу.

Для оцінки стану забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту, розраховані та проаналізовані статистичні характеристики часових рядів концентрацій забруднюючої домішки, проаналізовані поля осереднених значень та середніх квадратичних відхилів концентрацій діоксиду азоту.

Досліджено приховані періодичності, які притаманні часовим рядам концентрацій діоксиду азоту. Виконаний аналіз детермінованої складової часових рядів концентрації діоксиду азоту в атмосферному повітрі міста Одеса.

Магістерська кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, та переліку використаної літератури (16 найменувань) Загальний обсяг роботи складає 64 сторінки.

Ключові слова: діоксид азоту, статистичний аналіз, забруднення повітря, м. Одеса, часовий ряд.

SUMMARY

Master's degree work on a theme the « The State of Atmospheric Air Pollution with Nitrogen Dioxide in Odessa », author, – magistrate of Kaminsky Leonid Leonidovich.

The aim of the master's thesis is to determine the characteristics of atmospheric air pollution in Odesa with nitrogen dioxide by conducting statistical analysis.

To determine the state of pollution of atmospheric air with nitrogen dioxide, the statistical characteristics of the time series of concentrations of the contaminating impurity were calculated and analyzed.

In the master's thesis fields of averaged values and average quadratic deviation of nitrogen dioxide concentrations were constructed and analyzed.

Investigated latent periodicity of time series of nitrogen dioxide concentrations. The frequencies, amplitudes and initial phases of periodic components that are inherent to the time series of the impurity are obtained. A deterministic component of time series of concentration of nitrogen dioxide in the atmospheric air of Odessa city is characterized.

The master's qualification work consists of an abstract, an introduction, four chapters, conclusions, and a list of literature (16 titles). The total volume of work is 64 pages.

Key words: nitrogen dioxide, statistical analysis, air pollution, amplitude-frequency characteristics, deterministic series.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 ДІОКСИД АЗОТУ ЯК НЕБЕЗПЕЧНИЙ ПОЛЮТАНТ	12
1.1 Хімічні властивості	12
1.2 Джерела діоксиду азоту	14
1.3 Вплив на людину та навколишнє природне середовище.....	14
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	20
2.1 Перевірка однорідності членів статистичної сукупності.....	20
2.2 Розрахунок основних статистичних характеристик та побудова згрупованого ряду	21
2.3 Кореляційний аналіз фізичних полів	24
2.4 Статистичний аналіз екологічної інформації.....	28
3 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	38
3.1 Система моніторингу забруднення атмосфери м. Одеса.....	38
3.2 Характеристика вихідних даних.....	39
4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	41
4.1 Статистична характеристика часових рядів концентрацій діоксиду азоту.....	41
4.2 Аналіз полів забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту.....	48
4.3 Характеристика детермінованої складової часових рядів концентрації діоксиду азоту.....	58
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	66

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ВАТ – відкрите акціонерне товариство;
ГДК – гранична допустима концентрація;
ГМЦ ЧАМ - Гідрометцентр Чорного та Азовського морів;
ДП – державне підприємство;
ЗАТ – закрите акціонерне товариство;
КВП – контрольно-вимірний пост;
ПАТ – публічне акціонерне товариство;
ТЗА – таблиця спостережень за забрудненням повітря.

ВСТУП

Забруднення атмосферного повітря мегаполісів викликає все більше занепокоєння в останній час. З одного боку, у великих містах, постійного негативного впливу від забруднення зазнає величезна кількість людей. З іншого боку – в структурі основних забруднювачів міст зростає частка пересувних джерел, зниження викидів від яких у міському середовищі пов'язано з низкою труднощів.

Проблема перевищення нормативів вмісту двоокису азоту в атмосферному повітрі характерна для багатьох великих міст світу, в тому числі і для міст України. Як свідчать дані моніторингу Гідрометслужби, в останні роки більш ніж у половині міст України, у яких здійснюється моніторинг двоокису азоту в повітрі, середньорічні концентрації даного забруднювача перевищують ГДК [1]. Особлива небезпека високого вмісту цієї речовини у повітрі пов'язана з тим, що вона може здійснювати не лише безпосередній негативний вплив на здоров'я людини, а також за сприятливих умов брати участь у фотохімічних реакціях та призводити до формування смогу. Саме тому в усьому світі активно досліджують джерела надходження двоокису азоту в повітря, особливості його просторово-часового розподілу у великих містах, перебіг фотохімічних перетворень за його участю [2-7] та намагаються знайти шляхи вирішення цієї серйозної проблеми.

Метою магістерської роботи є просторово-часовий аналіз забруднення атмосферного повітря міста Одеса діоксидом азоту за даними 2006 – 2016 рр.

Для досягнення поставленої мети ставляться такі завдання:

– дослідити динаміку викидів діоксиду азоту в атмосферне повітря за п'ятирічні періоди та тенденції зміни стану якості атмосферного повітря у м. Одеса;

- розрахувати параметри статистичного розподілу концентрацій діоксиду азоту за обрані розрахункові періоди для усіх постів моніторингу;
- виконати дослідження просторового розподілу діоксиду азоту по території міста;
- виявити основні особливості статистичної структури полів середніх значень вмісту діоксиду азоту в атмосферному повітрі м. Одеса під час вітрів північних напрямків;
- оцінити детерміновану компоненту часових рядів концентрації діоксиду азоту в атмосферному повітрі міста Одеса.

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом є атмосферне повітря м. Одеса. Предметом дослідження є закономірності просторово-часового розподілу двоокису азоту в атмосферному повітрі міста Одеса.

Методи дослідження. Дослідження виконані із застосуванням класичних методів математичної статистики (розрахунок статистичних параметрів розподілу). Розрахунки та графічні побудови виконані за допомогою пакету прикладних програм статистичної обробки даних “STATISTICA 6.0”, «Surfer.11» та програми „Microsoft Excel”.

Магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури (16 найменувань), 4 таблиць, 20 рисунків.

Перший розділ присвячено дослідженню хімічних особливостей двоокису азоту, характеристиці джерел утворення цієї домішки, а також впливу на людину та навколишнє природне середовище.

В другому розділі викладено методику дослідження, у тому числі особливості побудови згрупованого ряду, розрахунок основних статистичних оцінок параметрів розподілу, кореляційний та спектральний аналізи екологічної інформації.

В третьому розділі розглянуто сучасну систему моніторингу забруднення атмосферного повітря міста Одеса та наведено характеристику вихідної інформації.

В четвертому розділі викладено та проаналізовано основні результати дослідження.

1 ДІОКСИД АЗОТУ ЯК НЕБЕЗПЕЧНИЙ ПОЛЮТАНТ

Діоксид азоту за класифікацією забруднювальних речовин належить до групи основних – це речовини, що входять до складу викидів більшості стаціонарних джерел шкідливих домішок. Діоксид азоту є одним з пріоритетних забруднювачів повітря великих міст, належить до речовин третього класу небезпеки. Тривалість його максимального перебування в атмосфері становить близько 3 діб. Його характерне рудувато-коричневе забарвлення можна часто побачити над трубами підприємств, за що його називають «лисячий хвіст».

1.1 Хімічні властивості

Діоксид азоту - неорганічне з'єднання складу NO_2 . В умовах низьких температур стає безбарвним. Важчий за повітря. При нормальних умовах NO_2 змішаний (приблизно 1:1) з безбарвною речовиною (своїм димером) N_2O_4 [8].

При температурі понад 150°C оксид азоту(IV) починає розкладатися



При взаємодії з водою гідролізується, в результаті утворюються дві кислоти (азотиста і азотна):



У реакціях з лугами утворюються солі цих же двох кислот:



Він є сильним окислювачем. Так він легко окислює сульфітний ангідрид SO_2 у сульфатний ангідрид SO_3 .



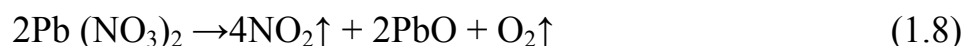
Діоксид азоту зазвичай утворюється в результаті окислення оксиду азоту киснем повітря:



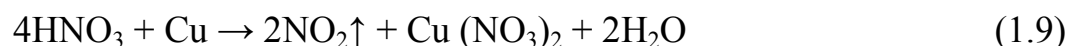
У лабораторії NO_2 отримують в два етапи: дегідратацією азотної кислоти до пентаоксиду діазоту, який потім розкладають термічним шляхом:



В результаті термічного розкладання нітратів деяких металів також можна отримати NO_2 :



Окисел може утворюватися при взаємодії азотної кислоти (концентрованої) з металами (наприклад, міддю):



При впливі азотної кислоти (концентрованої) на олово, крім діоксиду азоту, утворюється олов'яна кислота в якості побічного продукту:



1.2 Джерела діоксиду азоту

Усі джерела надходження діоксиду азоту в атмосферне повітря за різними ознаками можна поділити на кілька груп. Перш за все, виділяють антропогенні та природні джерела.

Природними джерелами цього забруднювача є лісові, торфові та вугільні пожежі, вулканічна діяльність, мікроорганізми. Незначна кількість цього газу надходить в атмосферне повітря також від розрядів блискавок. Такий процес називають атмосферною фіксацією азоту.

Усі антропогенні джерела надходження даної домішки в повітря можуть бути розподілені на стаціонарні та пересувні. Крім того, двоокис азоту може не лише надходити в атмосферу безпосередньо від джерел викидів, він також може утворюватися в самій атмосфері з речовин-попередників. Одним із основних джерел безпосереднього надходження NO_2 в атмосферу є спалювання органічного палива за температур, що не перевищують 600°C (за вищих температур відбувається руйнування двоокису азоту). Це може відбуватися в двигунах внутрішнього згорання, при спалюванні органічного палива на ТЕЦ та в різноманітних промислових процесах. Ці ж процеси є також і джерелами надходження речовин-попередників – сполук азоту, основним серед яких є оксид азоту. Надходження в атмосферне повітря оксиду чи діоксиду азоту залежатиме, перш за все, від температури в камері згорання, а концентрація оксидів азоту у викидах – ще й від вмісту в ній вільного кисню [9].

1.3 Вплив на людину та навколишнє природне середовище

Серед усіх окислів групи NO_x найнебезпечнішим для навколишнього середовища і людини є саме двоокис азоту. Клас небезпеки - другий. Це означає, що NO_2 відноситься до високонебезпечних речовин. Гранично допустима максимально-разова концентрація (ГДК) діоксиду азоту в повітрі населених пунктів дорівнює $0,2 \text{ мг/м}^3$, середньодобова - $0,04$.

Для повітря робочої зони встановлено інші нормативні значення. Так, значення гранично допустимої концентрації (ГДК_{мр}) становить 2 мг/м^3 сполуки (діоксид азоту). Клас небезпеки - третій. Тобто NO_2 віднесений до небезпечних речовин.

Речовина характеризується високою токсичністю. Діоксид азоту в повітрі, навіть перебуваючи у відносно невеликих концентраціях, здатний приводити до істотних змін в організмі людини. Є гострим подразником, а також характеризується загальнотоксичною дією. Впливає в основному на органи дихальної системи. В залежності від концентрацій спостерігаються різні наслідки - від слабого подразнення слизових оболонок очей і носа до набряку легенів. Також може призводити до змін складу крові, в Зокрема, сприяє зменшенню вмісту гемоглобіну.

Навіть якщо концентрація двоокису азоту буде невисокою, люди здатні відчувати його специфічний запах. Пороговим значенням фіксації газу в повітрі для людини вважається $0,23 \text{ мг}$ на куб. метр. Але при вдиханні діоксиду азоту протягом 10 хвилин втрачається здатність відчувати його аромат, що говорить про негативний вплив на нюх, що виражається в його ослабленні. При цьому спостерігаються неприємна сухість в горлі і роздратування слизової, які проходять при концентрації, що перевищує порогове значення виявлення в 15 разів. Однак на зміну приходять інші, більш серйозні симптоми, які означають негативний вплив двоокису азоту на органи дихання.

Одним з наслідків комплексного впливу на слизові оболонки є погіршення здатності людини бачити в сутінках. Втрачається можливість пристосування до відсутності світла. Порогова концентрація по зміні

світлової чутливості ока становить 0,14 мг на куб. метр. Враховуючи те, що значення нюхового сприйняття майже в два рази вище, можна говорити про здатність газу негативно впливати і при цьому залишатися непоміченим.

При відносно невисоких концентраціях діоксид азоту в атмосфері здатний порушувати дихання. Так, вже при вмісті його в повітрі 0,056 мг на куб. метр у здорової людини спостерігається підвищення опору дихальних шляхів. Згідно з інформацією Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я, у людей, які страждають хронічними захворюваннями дихальної системи, дані симптоми спостерігаються вже при вмісті NO_2 в повітрі, рівному 0,04 мг на куб. метр.

Результатом впливу великих концентрацій оксидів азоту можливо набряк легенів. Це пояснюється наступним. При попаданні в організм і взаємодії з вологою діоксид та оксид азоту утворюють азотисту і азотну кислоти, що роз'їдають стінки альвеол легенів. Вони, як і кровоносні капіляри, стають легко проникними. В результаті сироватка крові потрапляє в порожнину легенів. При вдиханні повітря з рідиною утворюють піну, яка порушує нормальний газообмін, що призводить до виникнення набряку легенів.

При тривалому впливі оксидів азоту людина стає більш сприйнятливим до патогенів, які викликають хвороби дихальних шляхів. Погіршується опірність легень до бактеріям, що розширюються альвеоли, клітини у корінцях бронхів, частіше спостерігаються бронхіти, запалення легенів та ін.

У людей, страждають серцево-судинними захворюваннями і хронічними хворобами дихальних доріг, легше розвиваються ускладнення у разі виникнення короткочасних респіраторних інфекцій, оскільки у них більше розвинена чутливість до прямих впливів такого з'єднання, як діоксид азоту.

Азотиста кислота, що утворюється при взаємодії із вологою в дихальних шляхах, вступає в реакцію з лужними компонентами тканин, перетворюючись в результаті в нітрити та нітрати. Вплив цих речовин

викликає ряд негативних наслідків. Так, нітрити, всмоктуючись у кров, призводять до пригнічення центральної нервової системи, утворення метгемоглобіну, гемолізу, білірубинемії, розширюють кровоносні судини, знижують артеріальний тиск і ін. Нітрати ж при знаходженні в кишечнику здатні трансформуватися в канцерогенні речовини - нітрозаміни.

Згідно ряду літературних джерел, вплив двоокису азоту на організм людини знижує його опірність до захворювань, приводить до кисневого голодування тканин. Особливо гостро це проявляється у дітей. Також діоксид азоту сприяє підвищенню дії канцерогенних речовин і виникнення в результаті цього злякисних новоутворень.

Деякі з дослідників пов'язують підвищену смертність від ракових і серцево-судинних захворювань в певних районах з високим вмістом NO_2 в повітряному середовищі.

Тривала робота в умовах присутності діоксиду азоту в повітрі призводить до розвитку хронічних захворювань, найбільш поширеними серед яких є: трахеїт, бронхіт, перфорація носової перегородки, пневмосклероз та ін.

У людей, які працювали протягом 3-5 років при вмісті NO_2 в повітрі робочої зони 0,8-5 мг на куб. метр, спостерігалися хронічні бронхіти, запальні зміни слизової оболонки ясен, ускладнений астмоїдними нападами пневмосклероз, бронхоектазів. Крім того, відзначалися підвищення максимальної осмотичної резистентності еритроцитів, прискорення згортання крові, тенденція до гіпотонії, гранулоцитоз, зниження активності каталази, вмісту цукру і рівня глобулінів і альбумінів у крові.

У дітей, які проживають на територіях, де діоксид азоту був присутній в концентраціях 0,117-0,205 мг на куб. метр, виявлені зміни обсягу форсованого видиху, підвищення захворюваності. Крім того, в мазках крові спостерігалися зміни в конфігурації лімфоцитів і моноцитів, збільшення резистентності еритроцитів [10].

Оксиди азоту NO_x можуть впливати на рослини трьома шляхами: прямим контактом з рослинами; через що утворюються в повітрі кислотні опади; побічно – шляхом фотохімічного утворення таких окислювачів.

Прямий вплив NO_x на рослини визначається візуально за пожовтіння або побуріння листя і голок, що відбувається в результаті окислення хлорофілу. Окислення жирних кислот в рослинах, що відбувається одночасно з окисненням хлорофілу, крім того, призводить до руйнування мембран і некрозу. Утворюється при цьому в клітинах азотиста кислота має мутагенну дію. Негативний біологічний вплив NO_x на рослини проявляється в знебарвленні листя, в'яненні квіток, припинення плодоношення і росту. Така дія пояснюється утворенням кислот при розчиненні оксидів азоту в міжклітинної та внутрішньоклітинної рідини.

Ботаніки вважають, що початкові симптоми пошкодження рослин оксидами азоту проявляються в безладному поширенні обесцвечиваючих плям сіро-зеленого відтінку. Ці плями поступово грубіють, висихають і стають білими. Оксиди азоту токсичні при концентрації 3 млн⁻¹. Для порівняння: сірчистий газ, що викликає ураження рослин при більшій концентрації (5 млн⁻¹).

Порушення росту рослин під дією NO₂ спостерігаються при концентраціях 0,35 мг/м³ і вище. Це значення є граничною концентрацією. небезпека пошкодження рослинності діоксидом азоту існує тільки у великих містах і промислових районах, де середня концентрація NO₂ становить 0,2 – 0,3 мг/м³.

Рослини більш стійкі порівняно з людиною) до впливу чистого діоксиду азоту. Це пояснюється особливостями засвоєння NO₂, який відновлюється в хлоропластах і як NH₂ - групи входить в амінокислоти. При концентрації 0,17 – 0,18 мг/м³ оксиди азоту використовуються рослинами в якості добрив. Ця здатність до метаболізованню NO_x людині не властива.

Руйнівна дія NO_2 на рослини посилюється в присутності діоксиду сірки. Це підтверджено на дослідях, проведених з наступними породами дерев: тополя чорна, береза плакуча, вільха біла, липа дрібнолиста. Ці гази мають синергізмом, і в атмосфері часто присутні разом. У той час як дія діоксиду азоту багато рослин переносять у концентрації до $0,35 \text{ мг/м}^3$, в присутності діоксиду сірки таку ж кількість NO_2 може завдати їм шкоди [10].

Отже, діоксид азоту в атмосферному повітрі може вкрай негативно позначатися на організмі людини та довкіллю. На жаль, перевищення допустимих концентрацій цієї речовини в повітрі - не рідкість. Тому досить актуальними на сьогоднішній день є питання, що стосуються розробки заходів, спрямованих на зниження викидів діоксиду азоту в атмосферу які мають як екологічне, так і санітарно-гігієнічне значення.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Перевірка однорідності членів статистичної сукупності

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 [11, 12].

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 вилучити 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 [11,12].

2.2 Розрахунок основних статистичних характеристик та побудова згрупованого ряду

Статистичний ряд (вибірка) - обмежена кількість випадкових величин, здобутих випадковим чином із генеральної сукупності. Тому статистичні ряди називають вибірками з генеральної сукупності. Вибірки випадкові та число їх безмежне. Задача дослідника полягає у тому, щоб за допомогою вибірки розрахувати деякі оцінки параметрів, котрі б вірогідно характеризували особливості генеральної сукупності.

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.

Згрупований ряд може зображатися за допомогою діаграм: гістограм.

Гістограма - це система прямокутників, основи яких дорівнюють довжині часткового інтервалу, а висоти - відповідним інтервальним частотам (або частостям).

Основні властивості випадкових величин характеризуються початковими (ν), центральними (μ) та основними (r) моментами розподілу різних порядків [11-13].

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

$$\tilde{\nu}_1 = \tilde{m}_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i m_i, \quad (2.2)$$

де:

n - об'єм ряду;

\tilde{x}_i - середнє значення випадкової величини на частковому інтервалі;

m_i - інтервальні емпіричні частоти;

k - кількість часткових інтервалів (градацій), знаходиться за формулою:

$$k = 5 \lg n; \quad (2.3)$$

Довжина часткового інтервалу (c), знаходиться за формулою:

$$c = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}; \quad (2.4)$$

\bar{X}_i - значення випадкової величини X на середині кожного часткового інтервалу, знаходиться за формулою:

$$X_i = \frac{\tilde{x}_{i-1} + \tilde{x}_{i+1}}{2} \quad (i=\bar{1}, k). \quad (2.5)$$

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

$$\mu_2 = \hat{\delta}_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i, \quad (2.6)$$

де: \bar{x} - середнє значення часового ряду.

Центральні моменти розподілу оцінюються, починаючи з другого моменту, тому, що перший центральний момент завжди дорівнює нулю, як і його оцінка. Центральний момент другого порядку має сенс дисперсії випадкової величини: $\mu_2 = \hat{\delta}_x^2$.

Статистична оцінка другого центрального моменту розподілу, що розраховується за формулою (2.6), є зсуненою оцінкою дисперсії.

Незсунену, ефективну та умотивовану оцінку дисперсії випадкової величини X позначають S_x^2 і розраховують за формулою (2.7):

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i. \quad (2.7)$$

Статистична оцінка середнього квадратичного відхилу розраховується за формулою:

$$S_x = \sqrt{S_x^2}. \quad (2.8)$$

Оцінка третього основного моменту характеризує асиметрію кривої розподілу інтервальних частот (або частот) і називається коефіцієнтом асиметрії: (As),

$$As = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \frac{(\tilde{x}_i - \bar{x})^3 m_i}{S_x^3}. \quad (2.9)$$

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

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

$$E = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \frac{(\tilde{x}_i - \bar{x})^4 m_i}{S_x^4} \right) - 3. \quad (2.10)$$

2.3 Кореляційний аналіз фізичних полів

Розв'язок чисельних задач сучасної екології потребує знань про статистичну структуру фізичних полів, таких як, наприклад, поля температури, розподілу забруднюючих речовин, швидкості вітру тощо. Сукупність m фізичних полів, що відносяться до визначених термінів спостереження, можна зображати матрицею порядку $n \times m$ вигляду

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{im} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nj} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

Матриця (2.11) утримує великий об'єм інформації. Її стовпці є відповідними фізичними об'єктами. У матриці (2.11) концентрується інформація про m таких об'єктів. Рядки матриці являють собою, як вже зазначалося, часові ряди відповідної фізичної величини.

$$\Delta x_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_i \quad (2.15)$$

Операція, що проведена над матрицею (2.11), називається операцією центрування. Тоді матриця коваріацій K_X визначається таким матричним рівнянням:

$$K_X = \frac{1}{m-1} \Delta X' \Delta X \quad (2.16)$$

В матричному вигляді:

$$K_X = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & K_{12} & \dots & K_{1j} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & \sigma_2^2 & \dots & K_{2j} & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{i1} & K_{i2} & \dots & K_{ij} & \dots & K_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nj} & \dots & \sigma_n^2 \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

Елементи матриці (2.17) розраховуються по формулах:

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{S=1}^m \Delta x_{iS}^2 \quad (2.18)$$

$$K_{ij} = \frac{1}{m-1} \sum_{S=1}^m \Delta x_{iS} \Delta x_{jS} \quad (2.19)$$

Отже, як випливає з формули (2.18) і (2.19), на головній діагоналі матриці (2.17) розташовуються дисперсії фізичної величини. Порядковий

номер дисперсії на діагоналі відповідає номеру станції моніторингу, інші елементи матриці (2.17) - відповідні коваріації.

Матриця коваріацій має такі властивості:

- 1) її елементи є дійсними числами;
- 2) вона є симетричною;
- 3) матриця коваріацій є додатньо визначеною.

Маючи матрицю коваріацій, можна легко сформувати діагональну матрицю σ середніх квадратичних відхилів. Вона має вид:

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_n \end{pmatrix} \quad (2.20)$$

Обернена матриця від діагональної матриці знаходиться дуже просто

$$\sigma^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\sigma_n} \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

Якщо помножити ліворуч та праворуч матрицю коваріацій K_X на матрицю (2.21), то будемо мати матрицю кореляцій R_X

$$R_X = \sigma^{-1} K_X \sigma^{-1} \quad (2.22)$$

Матриця кореляцій має властивості, аналогічні властивостям матриці коваріацій, тобто вона дійсна, симетрична і додатньо визначена.

Матриці коваріацій і кореляцій утримують важливу інформацію про особливості статистичної структури фізичних об'єктів. Дійсно, елемент цієї матриці r_{ij} характеризує лінійний кореляційний зв'язок між фізичною величиною на i -тій та j -тій станціях. Інші елементи матриці кореляцій характеризують аналогічні кореляційні зв'язки з іншими станціями, тобто рядок чи відповідний стовпець матриці R_X складає поле кореляцій. Полюсом цього поля буде та i -та станція, елемент кореляційної матриці для якої розташовується на перетину i -того рядку і j -того стовпця матриці. Очевидно, він дорівнює одиниці. На карті відповідного масштабу проводять ізокореляти - лінії, що з'єднують точки з однаковими значеннями кореляцій. Система ізокорелят дає змогу проаналізувати характер поля кореляцій [11-13].

2.4 Статистичний аналіз екологічної інформації

Поле концентрації забруднюючої речовини в повітряному басейні міста у деякий момент часу формується багатьма факторами, насамперед такими як кількість, характер, режим роботи і розміщення джерел викидів шкідливих речовин, серед яких основними на території міста є промислові підприємства і транспорт.

Оскільки джерела домішок розташовуються в межах граничного шару атмосфери, процеси, що протікають у ньому, впливають на формування полів концентрацій інгредієнтів. Основними механізмами, що приводять до поширення домішки є перенос упорядкованими рухами повітря, а також турбулентними потоками. Особливості структури вертикального профілю швидкості вітру в межах граничного шару атмосфери, інтенсивність

турбулентності залежать у значній мірі від термічної стратифікації повітря. В нестійкому граничному шарі виникають мезомасштабні конвективні рухи, які підсилюються турбулентністю. У стійкому граничному шарі турбулентні вихори мають менший масштаб, але з іншого боку, розвиваються хвильові рухи.

Різний стан граничного шару атмосфери створює певні умови для накопичення або розсіювання домішок в атмосфері. Відбувається еволюторне детерміноване збільшення або зменшення за часом концентрації домішки, що прийнято називати тенденцією, або трендом. На тренди накладаються періодичні коливання, обумовлені добовим, сезонним або річним ходом метеорологічних величин у граничному шарі атмосфери, а також іншими періодичними процесами, що відбуваються в ньому.

Поряд із стійкою еволюторною складовою, процеси формування полів концентрацій домішок містять і випадковий компонент, що виникає внаслідок впливу турбулентності атмосфери і нестационарності роботи джерел. Таким чином, зміна концентрації домішки $q(t)$ у атмосферному повітрі у деякій точці території міста є нестационарним випадковим процесом[14], тобто

$$q(t) = \bar{q}(t) + q_3(t) \quad (2.23)$$

де $\bar{q}(t)$ - детермінована складова, що включає тренд і довгоперіодні коливання;

$q_3(t)$ – квазістационарна випадкова складова процесу.

Детермінована складова $\bar{q}(t)$ дає можливість оцінювати дієвість екологічної політики країни. Погіршення екологічного стану атмосферного повітря свідчить про збільшення антропогенного навантаження, тобто про розвиток промисловості і збільшення кількості автотранспорту. При цьому

природоохоронні заходи не відповідають тенденції зазначеного розвитку соціально-економічної сфери.

Випадкова компонента процесу $q_3(t)$ також має важливе значення для оцінки забруднення атмосфери. Характеристики випадкової компоненти дають уявлення про часові масштаби флуктуацій концентрацій інгредієнтів у тій або іншій точці міста, про величини мінливості концентрацій інгредієнтів тощо. Усі ці характеристики можна визначити за допомогою кореляційного і спектрального аналізу, який може бути застосований для квазістаціонарної випадкової складової процесу $q_3(t)$.

Таким чином, виникає задача відділення детермінованої складової від стаціонарної випадкової складової, яка в теорії випадкових процесів визначається задачею фільтрації. Отже, однією з основних задач статистичного аналізу часових рядів концентрацій інгредієнтів, що являють собою нестаціонарні випадкові послідовності, є виділення детермінованих основ процесів і їхній аналіз.

Як буде показано нижче, фільтрація, або згладжування, часових рядів повинна проводитися з урахуванням періодичностей, властивих досліджуваному процесу. Очевидно, що періодичні компоненти часових рядів викликають і самостійний інтерес [14].

Характеристики статистичної структури рядів концентрацій домішки мають велике значення при побудові статистичних моделей, які розробляються для вирішення різних, у тому числі, прикладних задач. До них відноситься задача оцінки вірогідності вимірюваних концентрацій шкідливих домішок у атмосфері, у тому числі і автоматизованими системами контролю. Ще однією важливою задачею є задача розробки статистичних моделей прогнозу рівня забруднення атмосфери з різною завчасністю.

Статистичний аналіз концентрацій, вимірюваних на мережі КВП, дає можливість одержати дані про фонові характеристики забруднення атмосфери, досліджувати просторові кореляційні залежності між

концентраціями інгредієнтів за різних синоптичних умов. Кореляційні зв'язки є основою для побудови статистичних моделей прогнозу рівня забруднення атмосфери міста в цілому, моделей регулювання потужності викиду джерела забруднення з метою досягнення заданих полів концентрацій інгредієнтів при несприятливих метеорологічних умовах, а також оцінки дольової участі джерел викидів у формуванні полів концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі промислового міста[14].

Означене коло задач може бути вирішено на основі глибоко та всебічного статистичного аналізу інформації про існуючий стан повітряного басейну міста, отриманої шляхом вимірів на мережі КВП. Однак, вимірювана інформація повинна задовольняти визначеним вимогам, до яких варто віднести вірогідність, систематичність і достатній обсяг, що дозволить сформувати представницькі статистичні сукупності. Крім того, сама вимірювальна мережа повинна бути побудована раціонально, тобто кількість КВП повинна відповідати визначеним вимогам, а місця їх розміщення повинні вибиратися таким чином, щоб вони надавали достатньо повну картину стану забруднення повітряного басейну міста при будь-яких напрямках повітряного переносу.

Визначеним вимогам повинні відповідати і статистичні методи аналізу рядів і полів концентрацій інгредієнтів. Їхня реалізація, по-перше, має надати найбільш повну інформацію про ефективність природоохоронних заходів, проведених як окремими підприємствами, так і в місті в цілому, що дозволить спланувати подальшу природоохоронну роботу. По-друге, вони повинні бути основою для математичних моделей, розроблювальних з метою розв'язання прикладних задач.

Методика дослідження статистичної структури часових рядів концентрації інгредієнтів складається з декількох етапів. Перший з них полягає у виявленні прихованих періодичностей у рядах концентрації інгредієнту, а другий у згладжуванні часових рядів[14].

За даними численних досліджень, часові ряди концентрацій шкідливих домішок у приземному шарі атмосфери, містять періодичні компоненти, обумовлені хвильовою природою атмосферних процесів.

Існує ряд методів дослідження прихованих періодичностей.

На погляд низки дослідників, найбільш зручним для реалізації є метод, заснований на інтегральному перетворенні Фур'є. Він дозволяє без яких-небудь додаткових досліджень, визначити частоти, амплітуди і початкові фази періодичних компонентів, що містяться в часовому ряді.

Часовий ряд $q(t)$ концентрації інгредієнта, заданий на відріжку часу $t \in [-\tau, \tau]$ є кусково-гладкою функцією часу, яку можна представити суперпозицією гармонік [14]:

$$q(t) = \sum_{k=1}^N A_k \sin(\omega_k t + \varphi_k), \quad (2.24)$$

де A_k – амплітуда k -тої гармоніки;

ω_k – частота k -тої гармоніки;

φ_k – початкова фаза k -тої гармоніки.

Рівняння (2.24) може бути представлене у вигляді:

$$q(t) = \sum_{k=1}^N [a_k \cos \omega_k t + b_k \sin \omega_k t], \quad (2.25)$$

де

$$a_k = A_k \sin \varphi_k, \quad (2.26)$$

$$b_k = A_k \cos \varphi_k. \quad (2.27)$$

З рівнянь (2.26) і (2.27) випливає, зокрема, що

$$\varphi_k = \operatorname{arctg} \frac{a_k}{b_k}. \quad (2.28)$$

Для кусково-гладкої функції $q(t)$, заданої на інтервалі $[-\tau, \tau]$, справедливе перетворення Фур'є:

$$F_\tau(j\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} q(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (2.29)$$

Якщо застосувати формулу Ейлера, то рівняння (2.29) розділяються на дійову та умовну частини [14]:

$$F_\tau(j\omega) = u(\omega) - i v(\omega), \quad (2.30)$$

де $i = \sqrt{-1}$ - умовна одиниця, а

$$u(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} q(t) \cos \omega t dt, \quad (2.31)$$

$$v(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} q(t) \sin \omega t dt. \quad (2.32)$$

Якщо частоти гармонійних компонентів не дуже близькі, функції $u(\omega)$ і $v(\omega)$ являють собою криві з різко вираженими піками в точках $\omega = \omega_k$. Висота піків приблизно дорівнює амплітудам парної a_k і непарної b_k складових періодичного коливання з частотою ω_k . Пік амплітуди $A_k = A(\omega_k)$ дорівнює:

$$A(\omega_k) = [u^2(\omega_k) + v^2(\omega_k)]^{1/2}. \quad (2.33)$$

Селективні перетворення (2.33), (2.34) збільшаться, якщо ввести множник Гіббса:

$$u(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} \frac{\sin \frac{\pi t}{\tau}}{2t} q(t) \cos \omega t dt, \quad (2.34)$$

$$v(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} \frac{\sin \frac{\pi t}{\tau}}{2t} q(t) \sin \omega t dt. \quad (2.35)$$

Інтеграли (2.36) і (2.37) можна обчислити методом парабол.

Через обмеженість інтервалу $[-\tau, \tau]$ і кінцевого числа точок завдання функції, наявної інформації може бути недостатньо для визначення параметрів гармонік з періодом $T > 2\tau$ і $T < \frac{\tau}{m}$. Мінімально і максимально

можливі гармоніки мають частоти, розташовані в інтервалі $(\omega_{\min}, \omega_{\max})$ де

$$\omega_{\min} = \frac{\pi}{\tau}, \omega_{\max} = \frac{m\pi}{\tau}.$$

Інтервал дискретності $\Delta\omega$ при чисельному інтегруванні необхідно вибирати з урахуванням властивостей множників Гіббса [14], тобто

$$\Delta\omega = \frac{4,5}{\tau}. \quad (2.36)$$

В цьому випадку вплив амплітуд сусідніх за частотою гармонік не перевершує 0,05 від амплітуди. Для малозабезпечених піків може бути застосований відомий фільтр Тьюкі [14]:

$$\tilde{A}(\omega_i) = 0,25A(\omega_{i-1}) + 0,5A(\omega_i) + 0,25A(\omega_{i+1}). \quad (2.37)$$

Визначення періодичностей у часовому ряді, здійснюється з урахуванням піків амплітуд, що виходять за довірчу границю. Для побудови довірчої границі приймається гіпотеза про те, що множина піків амплітуд $A(\omega_k)$ на частотах ω_k , підпорядковується нормальному закону розподілу. Тоді з ймовірністю 0,68 довірча границя дорівнює $\bar{A} + \sigma_A$, а з ймовірністю 0,95 вона має значення $\bar{A} + 2\sigma_A$. Початкова фаза кожної з них знаходиться за формулою:

$$\varphi_k = \operatorname{arctg} \frac{u_k}{v_k}. \quad (2.38)$$

По початковій фазі можна знайти точку h_k на осі часу, що є початком коливання. Для цього використовується формула:

$$h_k = \begin{cases} \frac{(\pi + \varphi_k)T_k}{2\pi}, & \text{при } \varphi_k \leq 0, \\ \frac{\varphi_k T_k}{2\pi}, & \text{при } \varphi_k > 0. \end{cases} \quad (2.39)$$

Часовий ряд концентрацій інгредієнтів являє собою реалізацію нестационарного випадкового процесу $q(t)$. Такий випадковий процес, як зазначено вище, може розглядатися як сума детермінованої і випадкової компоненти (2.26). У свою чергу, детермінована компонента $\hat{q}(t)$ складається з трендів $q_1(t)$ і періодичних складових $q_2(t)$, що характеризує в залежності від інтервалу дискретності часового ряду віковий, річний або добовий хід досліджуваного процесу.

Детермінована основа процесу виділяється шляхом фільтрації, або згладжування вихідного часового ряду.

Фільтрація у більшості випадків здійснюється за допомогою операції експоненціального згладжування, що у загальному вигляді визначається формулою

$$q_1(t) = (1 - \alpha)^{t_0} q_0 + \alpha \sum_{k=0}^{t_0-1} (1 - \alpha)^k q(t_0 - k), \quad (2.40)$$

де α - стала згладжування.

Оскільки $0 \leq \alpha \leq 1$, поточна оцінка згладжуючої функції в момент t_0 дорівнює лінійній комбінації значень у всіх точках заданого ряду від 0 до t_0 з вагами згладжування, експоненціально зменшеними від середини відрізка.

Одним з видів експонентного згладжування є ковзне осереднення, яке можна представити як:

$$q_1(t_k) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=k-n/2}^{k+n/2} \alpha_i q(t)_i, \quad (2.41)$$

де α_i – ваговий множник;

n – кількість точок, по яких робиться згладжування;

$K = 1 + n/2, 2 + n/2, \dots, m + n/2, \dots, N' + n/2$; $N' = N + (n-1)$;

N – кількість членів досліджуваного ряду.

Якщо в рівнянні (2.43) $\alpha_i = 1 \quad \forall i = \overline{1, n}$, то оператор згладжування визначає просте ковзне осереднення.

Просте ковзне осереднення, однак, не може бути віднесене до експоненціального згладжування. У експоненціальному згладжуванні за допомогою ковзного осереднення задовольняючи результати можуть надати фільтри з тригонометричними або експоненціальними ваговими множниками. Тригонометричний фільтр визначається рівнянням

$$\alpha_i = 1 + \cos \frac{2\pi(k-i)}{n}, \quad (2.42)$$

де k - центр відрізка згладжування.

Як випливає з роботи [14], кількість точок, які використані при згладжуванні випадкового процесу, повинна бути досить великою: $6 < n < 200$, оскільки, чим менше n , тим швидшою є реакція фільтра, але тим гірше його фільтруючі якості, і навпаки. Отже, завдання полягає в правильному виборі періоду осереднення. Однак, обґрунтованих рекомендацій з вибору довжини відрізка згладжування не існує.

При занадто великому періоді згладжування з детермінованої складової $\hat{q}(t)$ відфільтровується певна частина періодичних компонент, що переходять у випадкову компоненту. Навпаки, якщо період осереднення малий, то частина випадкової компоненти переходить у складову $\hat{q}(t)$, а випадкова компонента $q_3(t)$ здобуває властивості “білого шуму”.

Для виділення з вихідного ряду детермінованої складової необхідно в залежності від сутності досліджуваного процесу, вибрати довжину відрізка згладжування, що відповідала би періоду гармонійного коливання, властивому цьому процесу. Вибір періодичності з тих, які є у наявності у досліджуваному процесі визначається дослідником в залежності від того, які періодичності коливання необхідно відфільтрувати [14].

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

3.1 Система моніторингу забруднення атмосфери м. Одеса

Сучасна система КВП м. Одеса, яка належить Державній гідрометеорологічній служб в особі Гідрометцентра Чорного та Азовського моря (ГМЦ ЧАМ) наведена на рис.3.1. Всі пости спостережень, за виключенням КВП №8, розташовані біля головних автошляхів міста.

КВП № 8 розташований в прибережній зоні Чорного моря по вулиці Французькій бульвар на території Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів. Це прибережна курортна територія міста, де, практично, відсутні промислові джерела забруднення атмосферного повітря.

КВП №№ 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, ЗАТ «Одесцемент», ВАТ «Одесагаз», ДП Одеський морський порт, ТЕЦ -1, Одеський морський торгівельний порт, лакофарбовий завод ПАТ «Елакс», ЧАО Ексімнефтепродукт, центральний автовокзал та ін.

КВП №№ 16 ,18, 19, 20 знаходяться в районах міста, де сконцентрований головний рух автотранспорту – перехрестя Олександрівського проспекту та вул. Б. Арнаутської (16); крупна автодорожня розв'язка в районі 1-й станції Чорноморській дороги (19) та крупна автомагістраль по вул. Балківській (18). КВП 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; ПАТ Одеський

консервний завод дитячого харчування; ПАТ Стальканат; автовокзали у районі Центрального залізничного вокзалу та Привозу.

Слід відмітити, що відсутні КВП в крупних житлових масивах міста – Котовського і Таїрова.

На кожному КВП щодня, крім неділі та святкових вихідних, чотири рази на добу (1,7,13,19 годин) проводяться відбори проб атмосферного повітря згідно відповідних Програм. Здійснюється хімічний аналіз відібраних проб і визначаються концентрації забруднюючих речовин, а саме: оксиду вуглецю, діоксиду сірки, діоксиду азоту, фенолу, формальдегіду, фтористого водню, сірководню та неорганічного пилу і сажі. Дані спостережень зберігаються у таблицях ТЗА-1 і використовуються для аналізу і прогнозу екологічного стану атмосферного повітря.

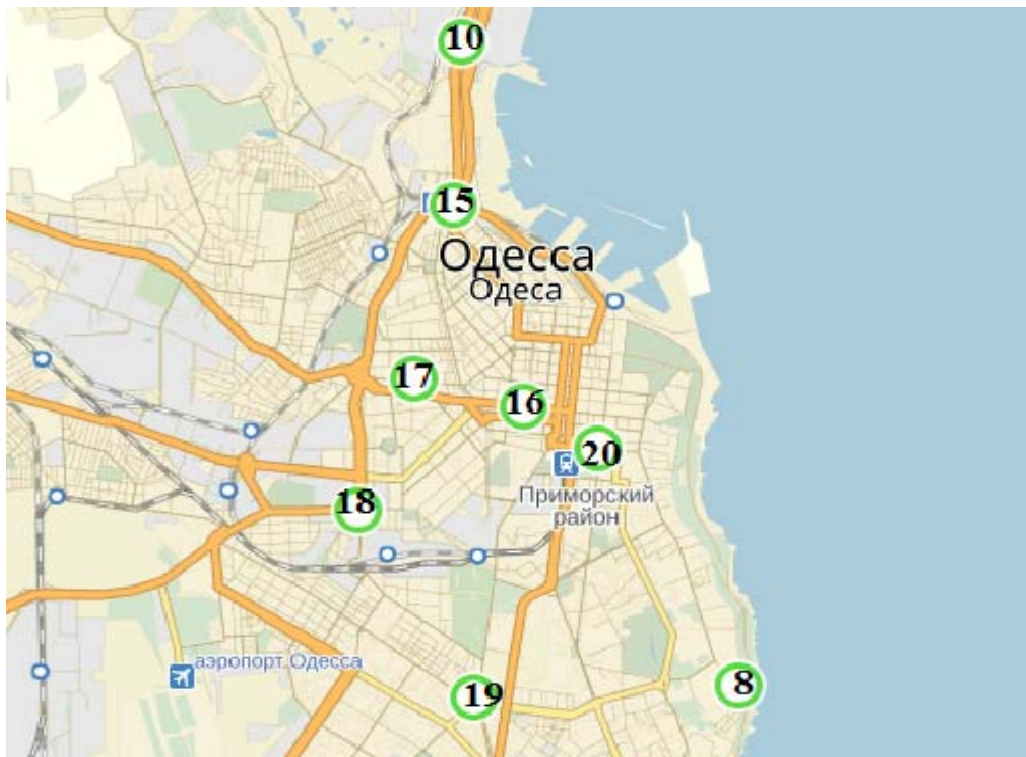


Рис.3.1 - Схема розташування контрольно-вимірних постів м.Одеса.

3.2 Характеристика вихідних даних

Для оцінки стану забруднення атмосферного повітря міста Одеса відібрана інформація за період з 1 січня 2006 року по 31 грудня 2016 року за даними спостережень на 8-ми контрольно-вимірювальних постах. Забруднююча речовина – діоксид азоту.

Система підготовки вихідної інформації для дослідження екологічного стану атмосферного повітря міста передбачала:

- оцінку статистичної однорідності вимірних значень концентрації відповідного інгредієнта;
- розрахунок середньодобових концентрацій;
- розрахунок середньомісячних значень концентрації.

Підхід до підготовки вихідної інформації для подальших досліджень відпрацьований на часових рядах діоксиду азоту. Для кожної вибірки діоксиду азоту виконана оцінка однорідності членів статистичної сукупності за допомогою критерію Стьюдента [11-13]. Однорідні часові ряди разових концентрацій дозволили отримати вибірки середньодобових значень у районах розташування КВП.

У випадках коли були відсутні спостереження на протязі доби середньодобова концентрація за цей день розраховувалась як середнє арифметичне середньодобових концентрацій за попередню і наступну добу. Виконана оцінка помилки зазначеного підходу відновлення відсутніх даних. По реальним даним часового ряду середньодобових концентрацій за триденний період розраховувалась середньодобова і визначалось її відхилення від реальної величини, тобто розрахованої за даними вимірів.

Таких розрахунків було проведено 110 варіантів. Середнє відхилення від середньодобової, яка отримана безпосередньо по даним вимірів, склала 24,7%. Допустима помилка вимірів діоксиду азоту відповідно до нормативних документів складає 25%.

Таким чином, використаний метод відновлювання відсутніх даних середньодобових концентрацій є припустимим.

4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Статистична характеристика часових рядів концентрацій діоксиду азоту

При дослідженні використані статистичні методи аналізу часових рядів. Вони наведені у розділі 2.

Для проведення дослідження відібрана інформація за період з 1 січня 2007 року по 31 грудня 2016 року за даними спостережень на 8-ми контрольно-вимірювальних постах. Отриману вихідну інформацію було поділено на два рівні п'ятирічні проміжки часу: 1-ий період - з 1 січня 2007 року по 31 грудня 2011 року; 2-ий період з 1 січня 2012 року по 31 грудня 2016 року. Таким чином були отримані дві статистичні часові вибірки разових концентрацій діоксиду азоту (мг/м^3). Разові концентрації домішки дозволили отримати середньодобові значення концентрацій.

За даними середньодобової концентрації NO_2 були розраховані статистичні параметри, а саме: \bar{X} , S_x , M_o , M_e , A_s , E , а також максимальні та мінімальні значення величини. Як вже було зазначено вище, розрахунки виконані для 2 періодів дослідження: 2007-2011 рр. та 2012-2016 рр. Результати наведені у таблицях 4.1 та 4.2.

Проаналізувавши мінімальні значення середньодобових концентрацій забруднюючої домішки на протязі 2007-2011 років, можна помітити, вони не перевищують ГДКсд на всіх КВП. Максимальні значення концентрацій забруднюючої домішки коливаються в межах від $0,05 \text{ мг/м}^3$ до $0,105 \text{ мг/м}^3$.

Таблиця 4.1 - Статистичні моменти розподілу середньодобової концентрації діоксиду азоту(мг/м³) на КВП м. Одеса (2007-2011 рр.)

КВП	n	x_{min}	x_{max}	\bar{x}	S_x	M_o	M_e	As	E
8	1512	0,010	0,050	0,030	0,008	0,03	0,030	0,17	-0,20
10	1512	0,04	0,100	0,068	0,013	0,07	0,07	-0,03	-0,49
15	1512	0,030	0,105	0,070	0,015	0,06	0,07	-0,06	-0,64
16	1512	0,03	0,090	0,057	0,012	0,05	0,057	-0,02	-0,63
17	1512	0,030	0,090	0,059	0,012	0,055	0,058	0,03	-0,59
18	1512	0,03	0,100	0,062	0,015	0,06	0,06	0,05	-0,54
19	1512	0,020	0,080	0,052	0,012	0,05	0,053	-0,14	-0,49
20	993	0,03	0,090	0,057	0,012	0,055	0,058	-0,03	-0,33

Середні значення в цей період дослідження вказують на те, що найбільш забрудненою шкідливою домішкою (діоксидом азоту) є райони навколо КВП №10,15,18. Така тенденція пов'язана скоріш за все з тим, що ці місця є розв'язкою автомобільних потоків. Крім того, вони розташовані неподалік від підприємств, що є основними промисловими джерелами двооксиду азоту. Найменш забрудненим є район розташування КВП № 8, який знаходиться в прибережній зоні.

Таблиця 4.2 - Статистичні моменти розподілу середньодобової концентрації діоксиду азоту(мг/м³) на КВП м. Одеса (2012-2016 рр.)

КВП	n	x_{min}	x_{max}	\bar{x}	S_x	M_o	M_e	As	E
8	1514	0,010	0,060	0,035	0,008	0,037	0,035	-0,22	-0,20
10	1514	0,02	0,110	0,065	0,013	0,065	0,065	-0,17	-0,03
15	1514	0,030	0,110	0,066	0,009	0,065	0,065	-0,10	0,44
16	1514	0,03	0,097	0,064	0,0105	0,067	0,063	-0,30	-0,04
17	1514	0,035	0,093	0,063	0,009	0,063	0,063	-0,22	0,06
18	1514	0,03	0,100	0,068	0,014	0,075	0,07	-0,28	-0,28
19	1514	0,023	0,093	0,059	0,011	0,06	0,06	-0,27	0,058

20	1275	0,038	0,087	0,063	0,008	0,065	0,063	-0,16	-0,03
----	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Середні квадратичні відхилення є мірою розкиду значень концентрації інгредієнта від середнього значення. Вони мають такий порядок, як і середні значення. Це свідчить про відносну сталість середніх добових концентрацій протягом 2007-2011 років, тобто стабільність антропогенних джерел навантаження. Виключенням є район навколо КВП №8, де немає суттєвих антропогенних джерел забруднення. Тут мінливість вища у зв'язку з метеорологічними процесами, що обумовлені близькістю моря.

Як свідчать дані 2012-2016 років, максимальні значення середньодобових концентрацій NO₂ складають 1,5 – 2,75 ГДК_{сд}. Найбільш забрудненим є район навколо КВП №18 (вул. Балківська). На інших постах середні значення середньодобових концентрацій відрізняються незначно і складають 0,059-0,066 мг/м³. Найменш забрудненим залишається КВП №8, де $\bar{x} = 0,035$ мг/м³. Значення середніх квадратичних відхилень вказують на те, що відносно сталими є концентрації NO₂ навколо КВП №10,16,18,19.

За допомогою методики, що наведена у розділі 2.2, розраховані статистичні дані згрупованого ряду середньодобової концентрації діоксиду азоту для двох періодів дослідження, а саме інтервальні частоти p_i та \tilde{x}_i – значення середньодобової концентрації NO₂ на середині кожного часткового інтервалу. Такі розрахунки дозволили побудувати гістограми розподілу середньодобової концентрації NO₂.

Аналізуючи гістограми розподілу середньодобової концентрації NO₂ за 2007-2011 роки (рис.4.1), можна відмітити, що криві розподілу майже симетричні, але не підкорюються нормальному закону розподілу, на що вказують коефіцієнти асиметрії та ексцесу, які відхиляються від нульового значення. На КВП № 8,17,18 коефіцієнти асиметрії більші за 0, це відповідає правосторонній асиметрії розподілу середнього значення випадкової величини. При правосторонній асиметрії розподілу середнє значення випадкової величини перевищує модальне. На інших КВП спостерігається

лівостороння асиметрія. Коефіцієнти ексцесу на всіх КВП мають від'ємне значення, що говорить про зменшення вірогідності модальних та середніх значень досліджуваної домішки.

На рис.4.2 наведено гістограми розподілу середньодобової концентрації NO_2 за 2012-2016 роки. Звертає увагу той факт, що коефіцієнти асиметрії на всіх постах мають від'ємне значення, тобто збільшена вірогідність невеликих значень концентрації діоксиду азоту. Коефіцієнти ексцесу також мають від'ємне значення для більшості постів. Виключенням є КВП № 15, 17, 19.

На протязі двох періодів дослідження, на всіх постах спостережень міста, максимальні імовірності, що становлять 20-25 %, щільно концентруються біля величин $0,055 - 0,085 \text{ мг/м}^3$. Це означає, що такі концентрації спостерігаються дуже часто і перевищують $\text{ГДК}_{\text{сд}}$.

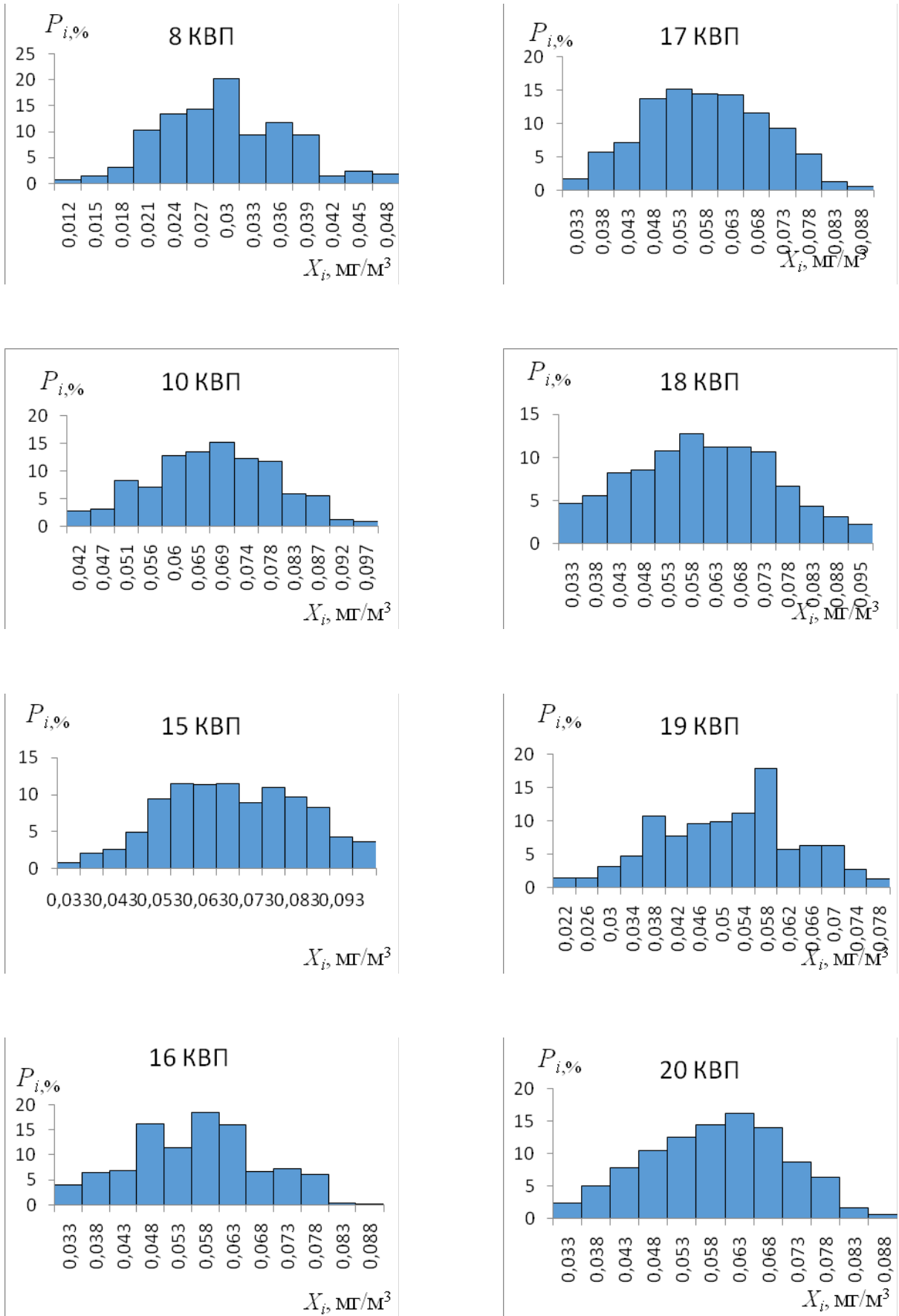


Рис. 4.1- Гістограми розподілу середньодобової концентрації діоксиду азоту (mg/m^3) на KBП м. Одеса (2007-2011 рр.).

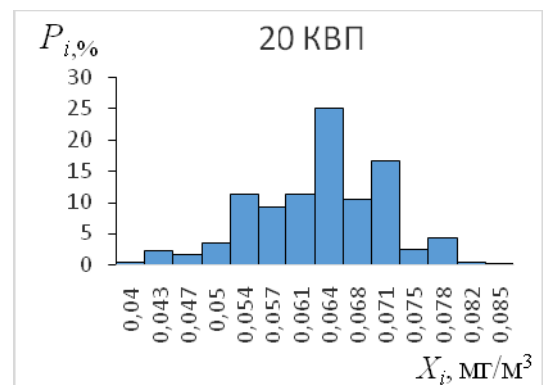
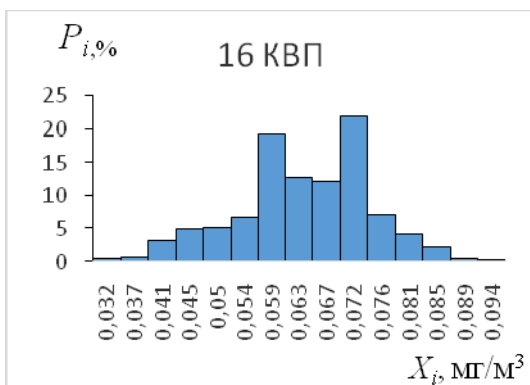
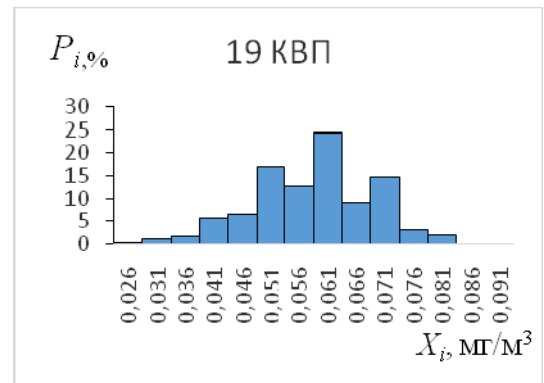
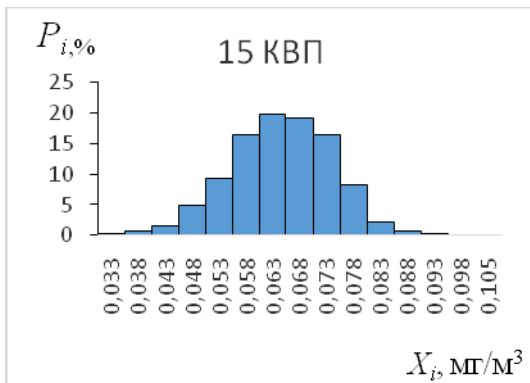
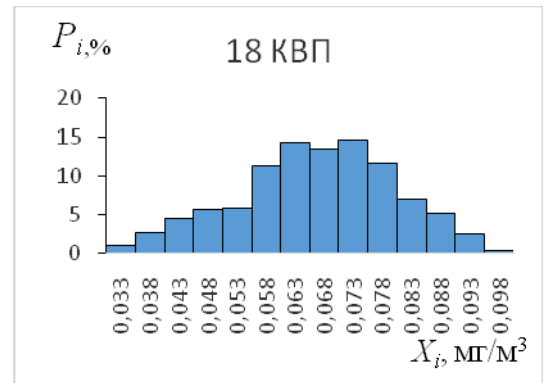
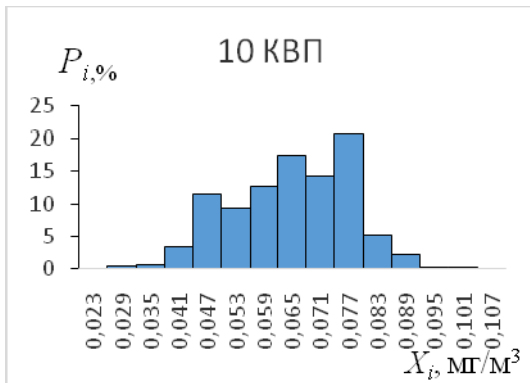
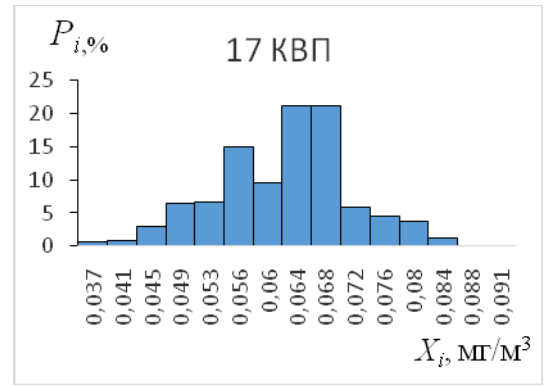
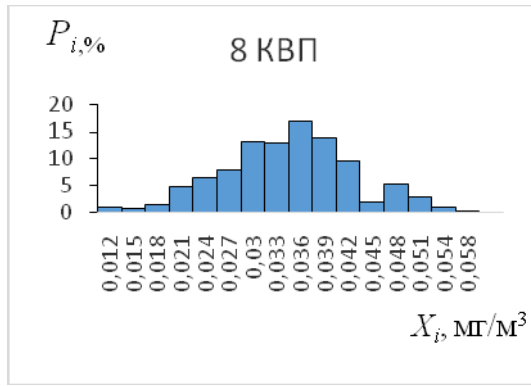


Рис. 4.2- Гістограми розподілу середньодобової концентрації діоксиду азоту (мг/м^3) на КВП м. Одеса (2012-2016 рр.)

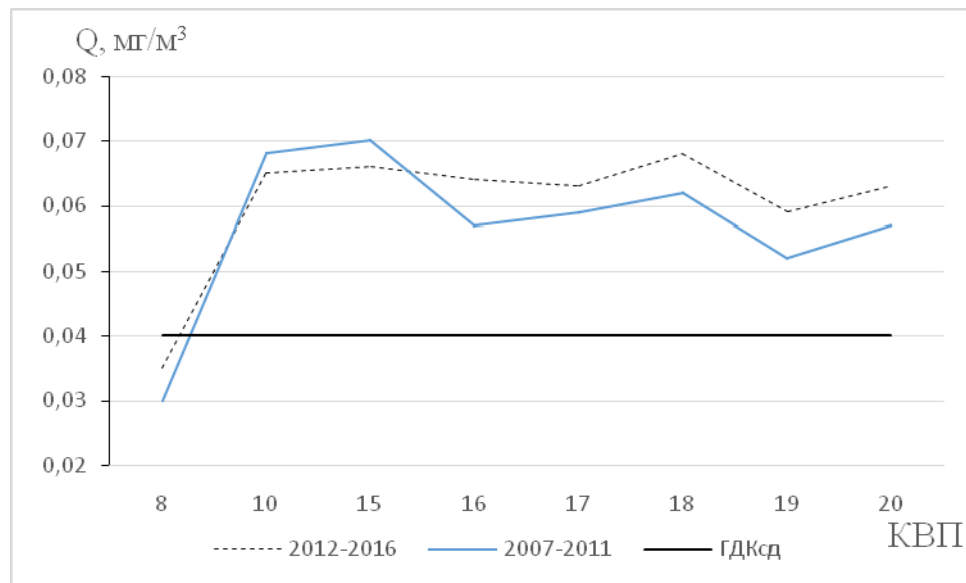


Рис. 4.3- Динаміка розподілу середньодобової концентрації діоксиду азоту (мг/м³) на КВП м. Одеса за досліджувані періоди.

Порівнюючи середньодобові значення концентрації діоксиду азоту за досліджувані періоди, слід відмітити, що майже на всіх КВП м. Одеса відбулося підвищення концентрацій домішки в останні роки (рис 4.3). Це можна пояснити значним збільшенням автотранспорту в місті. Виключенням стали КВП №10 та №15 (вул. Чорноморського козацтва - №10, Херсонський сквер - №15). Тут значення середньодобових концентрацій NO₂, навпаки, знизилися. Це пов'язано з тим, що основні стаціонарні джерела забруднення повітря NO₂ в цьому районі (нафтопереробний, цементний, лакофарбувальний заводи та інші), зменшили потужність виробництва або зовсім перестали функціонувати[15].

4.2 Аналіз полів забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту

Для проведення дослідження було сформовано вихідну вибірку концентрацій забруднюючої домішки за п'ятирічний період (2012-2016 рр.). Враховуючи те, що для міста Одеса характерна перевага вітрів північних

напрямоків, було відібрано значення концентрацій забруднюючої домішки, що спостерігались тоді, коли переважали саме ці напрямки вітру. Отримані дані було осереднено помісячно.

За даними середньодобових концентрацій NO_2 розраховані і побудовані поля середньомісячних концентрацій для центральних місяців сезонів.

На рис. 4.4 наведено поле середньомісячних значень концентрацій NO_2 у січні.

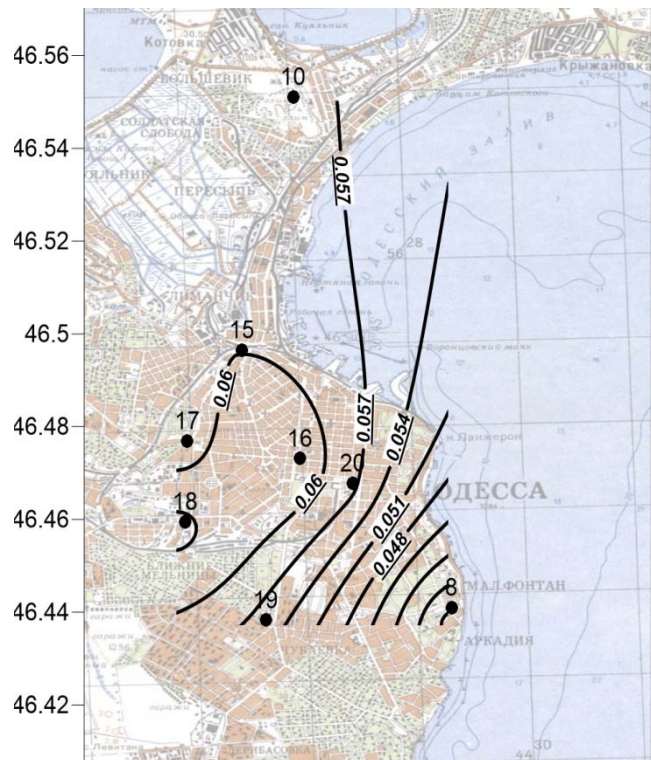


Рис.4.4 – Поле середньомісячних значень концентрацій NO_2 (січень, 2012-2016 р.)

У січні найбільше забруднення спостерігається навколо КВП №16 та №18 (Олександрівський проспект, вул. Балківська). Середні значення NO_2 складають 0,063 та 0,064 мг/м^3 відповідно. Концентрації забруднюючої домішки поступово зменшуються з північного заходу на південний схід і в районі 8 КВП складають 0,035 мг/м^3 .

На рис. 4.5 зображене поле середньомісячних значень концентрацій NO_2 у квітні. Структура поля має той самий вигляд, що і в січні, але концентрації домішки підвищились. Максимальні значення спостерігаються в районі КВП №18 ($0,074 \text{ мг/м}^3$). На всій території міста концентрації діоксиду азоту складають $1,5\text{-}1,85 \text{ ГДК}_{\text{сд}}$, що є вкрай небезпечним для здоров'я людини. Тільки в районі Аркадії забруднення атмосферного повітря залишається на тому ж самому рівні ($0,036 \text{ мг/м}^3$).

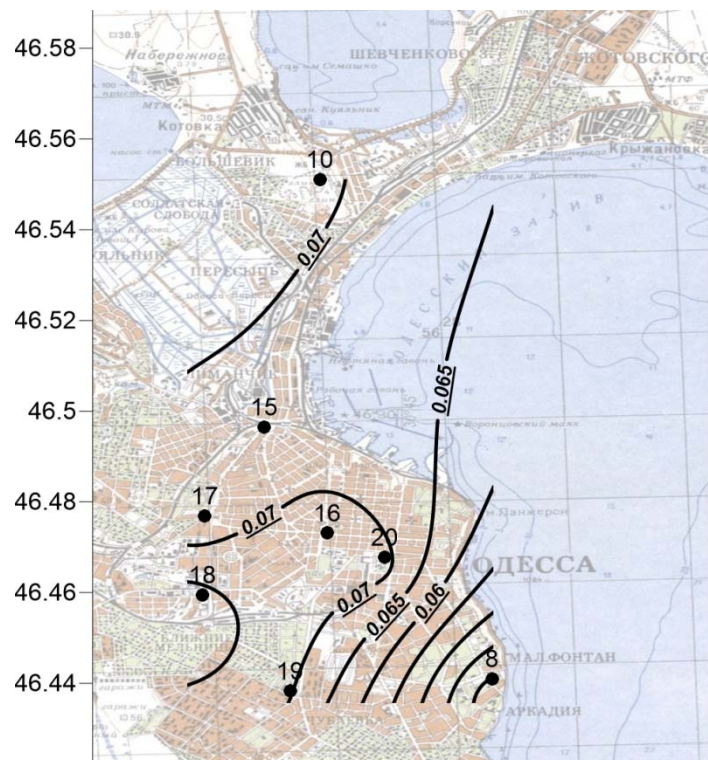


Рис.4.5– Поле середньомісячних значень концентрацій NO_2 (квітень, 2012-2016 р.)

Найбільші концентрації діоксиду азоту в атмосфері спостерігаються влітку. Як помітно з графічного зображення поля забруднення повітря у липні, на території всього міста відбувається перевищення $\text{ГДК}_{\text{сд}}$. Це стосується і прибережних районів: осереднені місячні концентрації NO_2 навіть на 8КВП складають $0,044 \text{ мг/м}^3$. Найгірші показники концентрації

домішки спостерігаються навколо 10 та 18 КВП – вони складають 1,88ГДК_{сд} та 1,98ГДК_{сд} відповідно (рис.4.6).

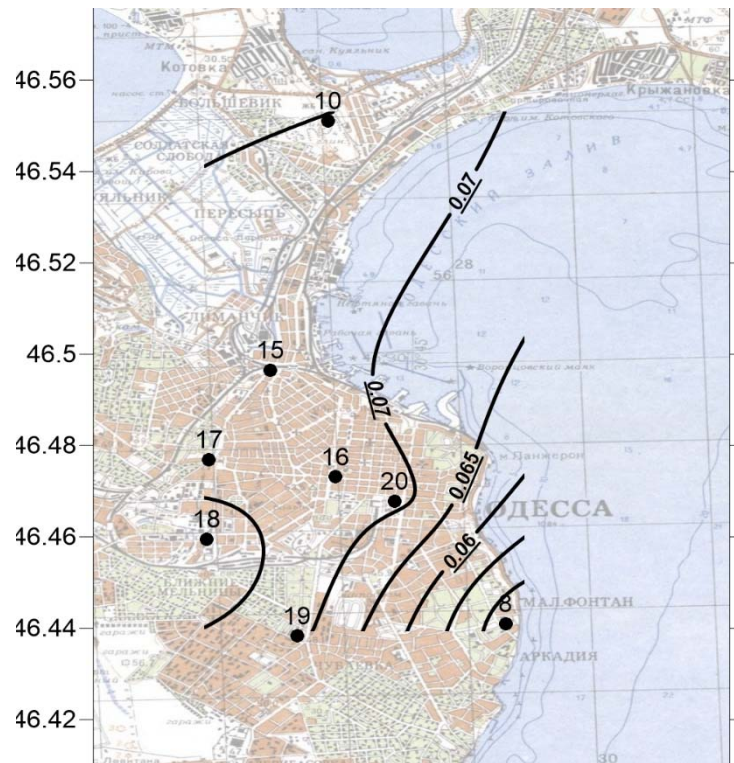


Рис.4.6– Поле середньомісячних значень концентрацій NO₂ (липень, 2012-2016 р.)

На рис. 4.7 зображене поле середньомісячних значень концентрацій NO₂ у жовтні. Восени ситуація дещо покращується. Структура поля залишається такою самою, як і в попередні сезони, однак середні значення концентрацій діоксиду азоту дещо знижуються. Найбільше забруднення відбувається в районах КВП №10 та №18. Рівень забруднення навколо 8КВП знижується і вже не перевищує ГДК_{сд} (0,035мг/м³).

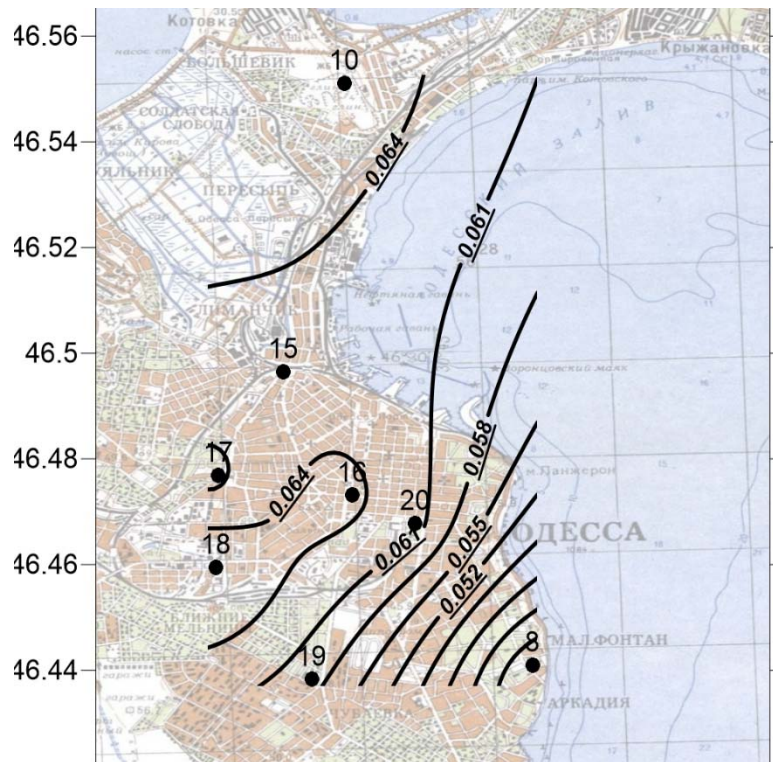


Рис.4.7– Поле середньомісячних значень концентрацій NO_2 (жовтень, 2012-2016 р.)

Для регіону дослідження були отримані матриці середніх квадратичних відхилень (СКВ), що являються мірою мінливості фізичної величини. Матриці СКВ побудовані для центральних місяців сезонів.

На рисунку 4.8 представлено поле середніх квадратичних відхилень середньодобових концентрацій NO_2 у січні. Як видно з рисунку, значення СКВ поступово зменшуються у південно-західному напрямку. Найбільша мінливість середньодобових концентрацій NO_2 спостерігається на КВП №10 та №18 і складають $0,014 \text{ мг/м}^3$ та $0,015 \text{ мг/м}^3$ відповідно. Середньодобові значення концентрацій в районі Аркадії мало змінюються в січні, їх значення в цій частині міста дорівнюють $0,006 \text{ мг/м}^3$. Це свідчить про відносну сталість середніх добових концентрацій протягом місяця.

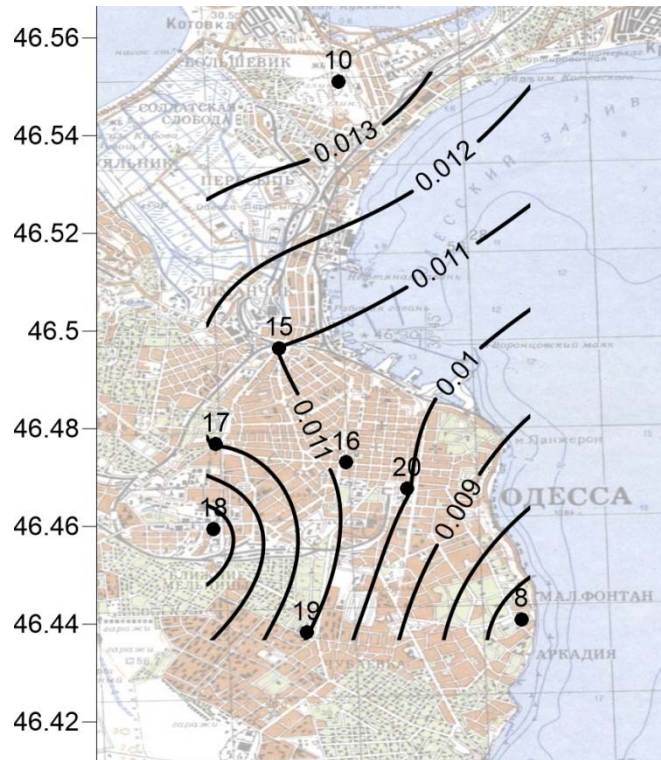


Рис. 4.8 - Поле середніх квадратичних відхилень середньодобових концентрацій NO_2 (січень, 2012-2016 рр.)

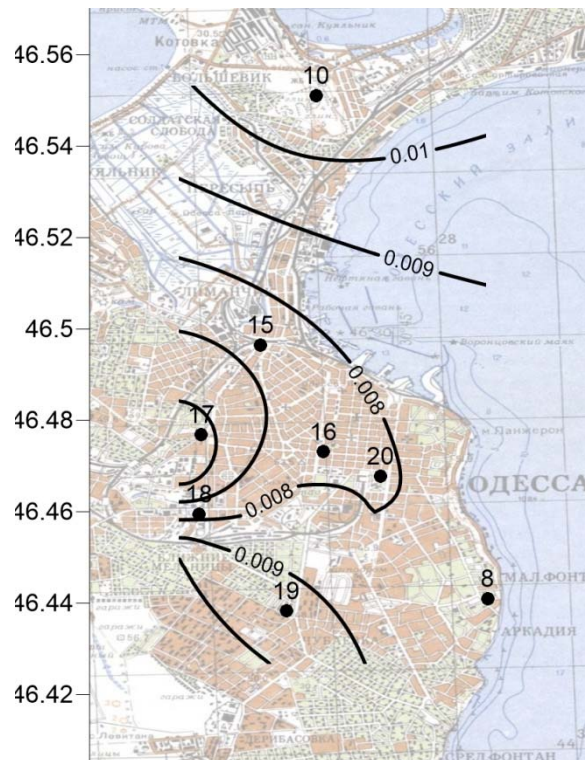


Рис. 4.9 - Поле середніх квадратичних відхилень середньодобових концентрацій NO_2 (квітень, 2012-2016 рр.)

У квітні характер поля змінюється (рис.4.9). Значення СКВ поступово зменшуються у північному напрямку. Взагалі мінливість зменшується порівняно з січнем. В центральній частині міста значення СКВ дорівнюють 0,008 - 0,009 мг/м^3 . Найнижчі значення СКВ спостерігаються біля Автовокзалу.

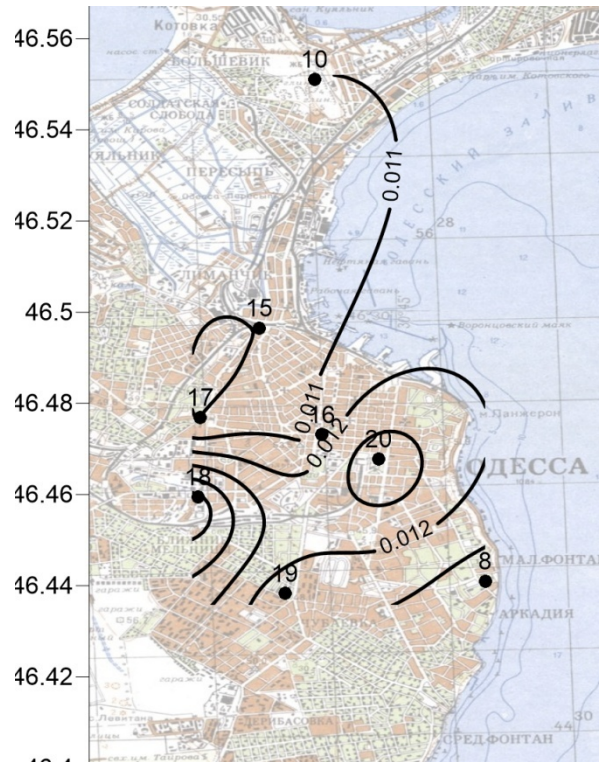


Рис. 4.10 - Поле середніх квадратичних відхилень середньодобових концентрацій NO_2 (липень, 2012-2016 рр.)

На рис 4.10 зображено поле середніх квадратичних відхилень середньодобових концентрацій NO_2 у липні. В районі Італійського бульвару формується зона підвищеної мінливості. Однак, область максимальної мінливості знаходиться на КВП №18. Там значення СКВ досягають 0,016 мг/м^3 . На всіх інших КВП значення СКВ складають 0,010-0,011 мг/м^3 .

У жовтні середньодобові значення концентрацій найменше змінюються в центральній частині міста та дорівнюють 0,008-0,009 мг/м^3 . Мінливість збільшується з центру міста в північних, південних та східних напрямках (рис. 4.11). Найбільша мінливість спостерігається на КВП №18.

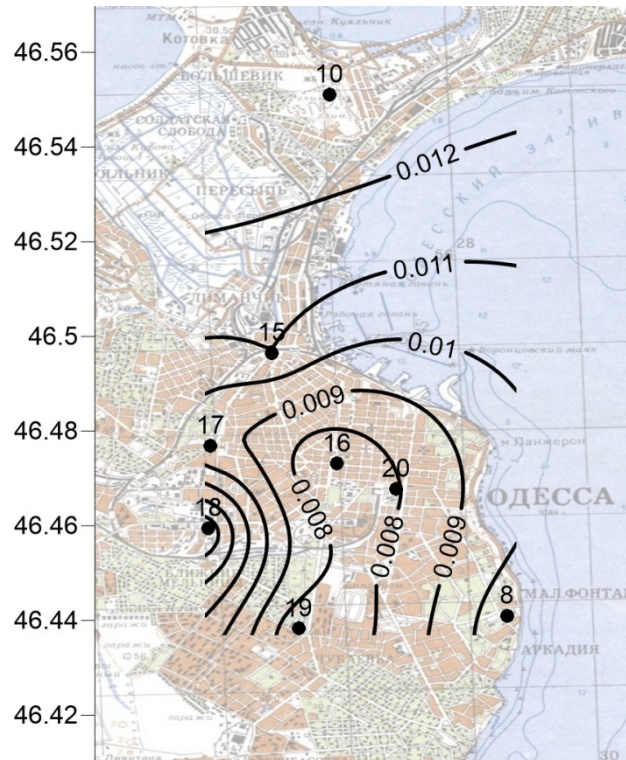


Рис. 4.11 - Поле середніх квадратичних відхилень середньодобових концентрацій NO_2 (жовтень, 2012-2016 рр.)

За методикою, що наведена в підрозділі 2.3, були отримані матриці кореляцій середньодобових концентрацій NO_2 для всього періоду дослідження (2012-2016 рр.) для КВП №8, №15, №17, №18.

При розгляді полів кореляції для КВП №8, можна помітити, що кореляційний зв'язок зменшується в північно-східному напрямку (рис. 4.12). Значення коефіцієнтів кореляції приймають значення від 0,09 до 0,28. Це говорить про дуже слабку кореляцію КВП №8 з іншими постами під час вітрів північних напрямків.

Якщо за період дослідження центром кореляції обрати КВП №15 (рис.4.13), значення коефіцієнтів підвищується. Найбільший кореляційний зв'язок спостерігається з КВП №17 і дорівнює 0,62.

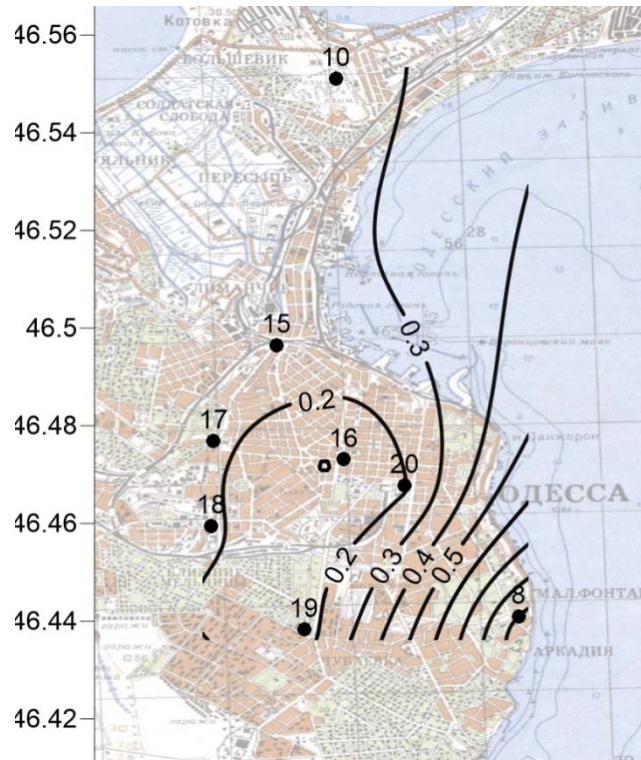


Рис. 4.12 - Поле кореляції середньодобових концентрацій NO₂ (2012-2016 рр., полюс кореляції –КВП №8)

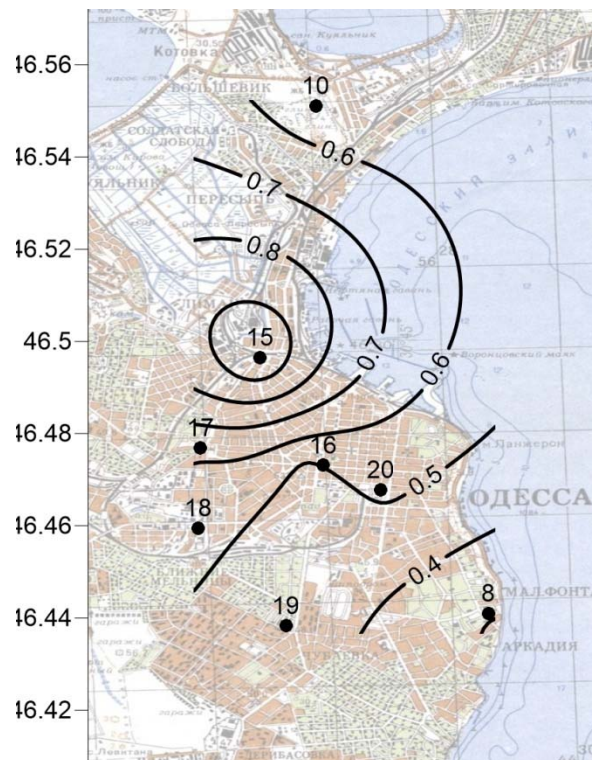


Рис. 4.13 - Поле кореляції середньодобових концентрацій NO₂ (2012-2016 рр., полюс кореляції –КВП №15)

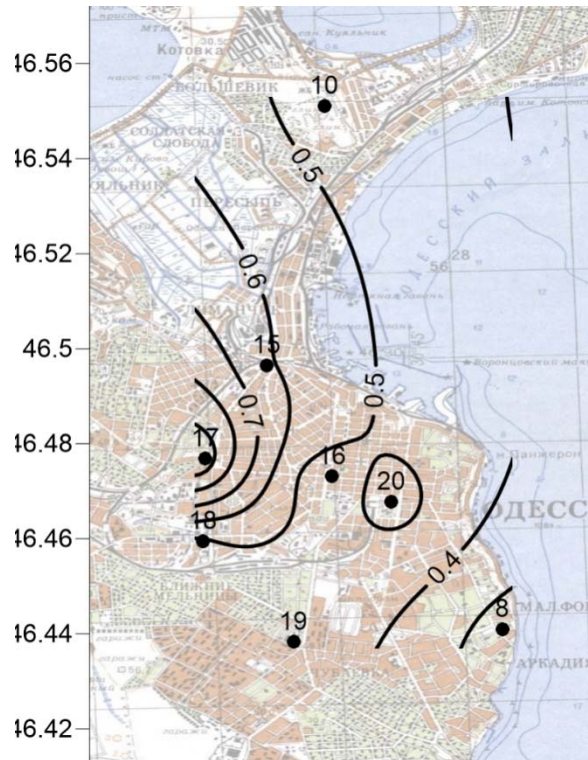


Рис. 4.14 - Поле кореляції середньодобових концентрацій NO₂ (2012-2016 рр., полюс кореляції –КВП №17)

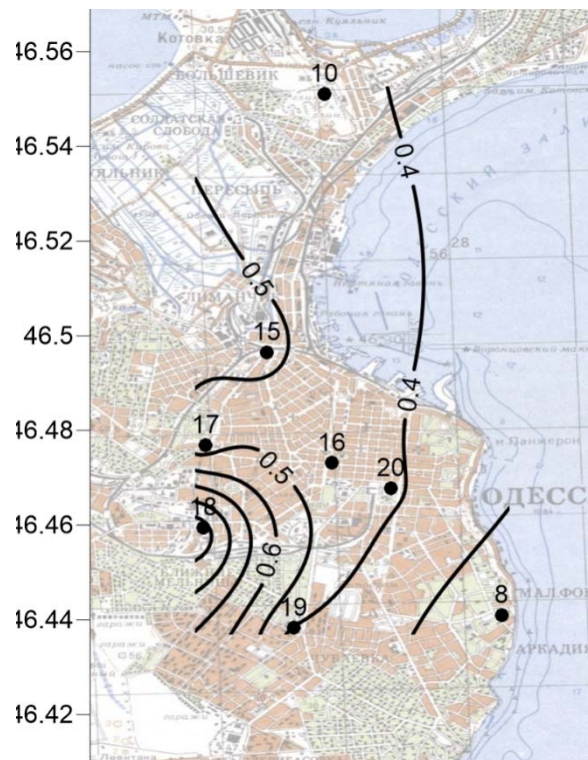


Рис. 4.15 - Поле кореляції середньодобових концентрацій NO₂ (2012-2016 рр., полюс кореляції –КВП №18)

При виборі центром кореляції КВП №18, коефіцієнти набувають значень від 0,22 до 0,52. Найбільший кореляційний зв'язок під час вітрів північних напрямків спостерігається з КВП №15, найменший з КВП №8.

4.3 Характеристика детермінованої складової часових рядів концентрації діоксиду азоту

В якості вихідної інформації для дослідження особливостей забруднення атмосферного повітря м. Одеса були використані середньодобові концентрації діоксиду азоту за період 2014-2015 рр. і середньомісячні концентрації домішки за період 2006 – 2015рр., які були розраховані за даними спостережень на кожному КВП.

Для часових рядів середньодобових концентрацій NO_2 всіх КВП розраховані амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) процесу зміни концентрації домішки. Приклад наведено на рис.4.16.

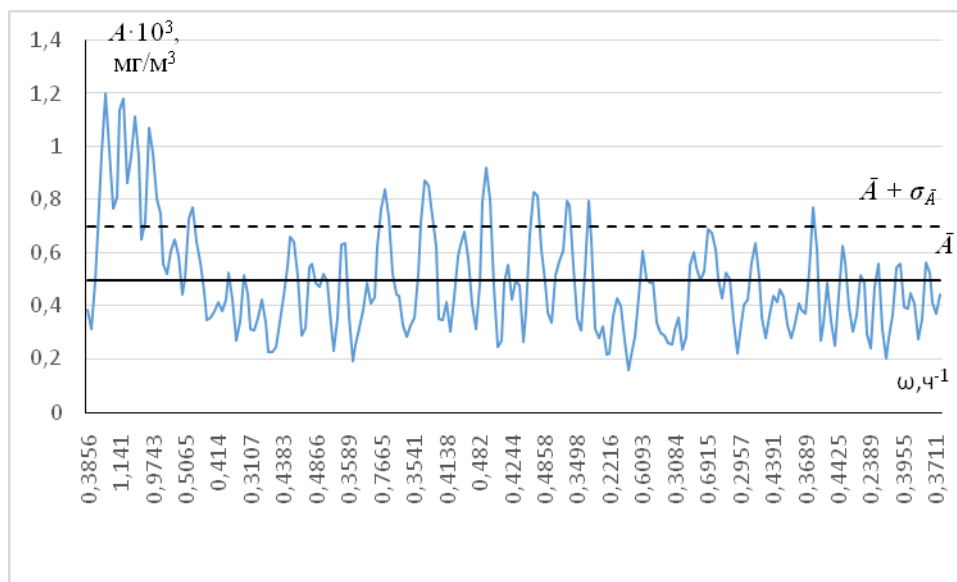


Рис.4.16. - Амплітудно-частотна характеристика часового ряду середньодобової концентрації NO_2 на КВП №8 м. Одеса (2014 – 2015 рр.).

Графіки дають змогу з'ясувати максимальні періодичності процесу, за якими здійснюється згладжування статистичного ряду. Розраховані амплітудно-частотні характеристики, які притаманні максимальній періодичності, наведені у табл. 4.3. Як свідчать данні табл. 4.3, найбільші періодичності, які притаманні часовому ряду середньодобової концентрації NO₂, спостерігаються у районі КВП № 10 і 18, які розташовані біля найбільш навантажених транспортних артерій.

Таблиця 4.3. - Амплітудно-частотні показники максимальної періодичності у часових рядах середньодобових концентрацій NO₂, м. Одеса (2014-2015 рр.)

№ КВП	$A \cdot 10^3, \text{мг/м}^3$	$\omega, \text{ч}^{-1}$	T, діб.	φ_k	h_k
8	1.20	0.200	31	0.193	0.968
10	1.18	0.078	80	1.556	19.902
15	0.99	0,091	69	-0.328	30.987
16	1.22	0.106	59	-1.447	15.994
17	1.03	0.093	67	-0.182	31.711
18	1.71	0.078	80	0.854	10.888
19	1.50	0.092	68	-0.482	28.852

На рис.4.17 наведено графіки детермінованої складової часових рядів концентрації домішки, які побудовано з урахуванням максимальної періодичності процесу.

Необхідно відмітити, що в районах всіх контрольно-вимірювальних постах міста Одеса на протязі 2014-2015 років рівень забруднення відносно стабільний, чіткої тенденції збільшення або зменшення середньодобових значень концентрацій діоксиду азоту немає.

На графіках чітко прослідковується збільшення середньодобових концентрацій діоксиду азоту у літній період та зменшення у зимовий. Крім того, концентрації діоксиду азоту у повітрі значно перевищують ГДК_{сд}. Найбільш забруднений район міста навколо КВП №18, який розташований біля автовокзалу.

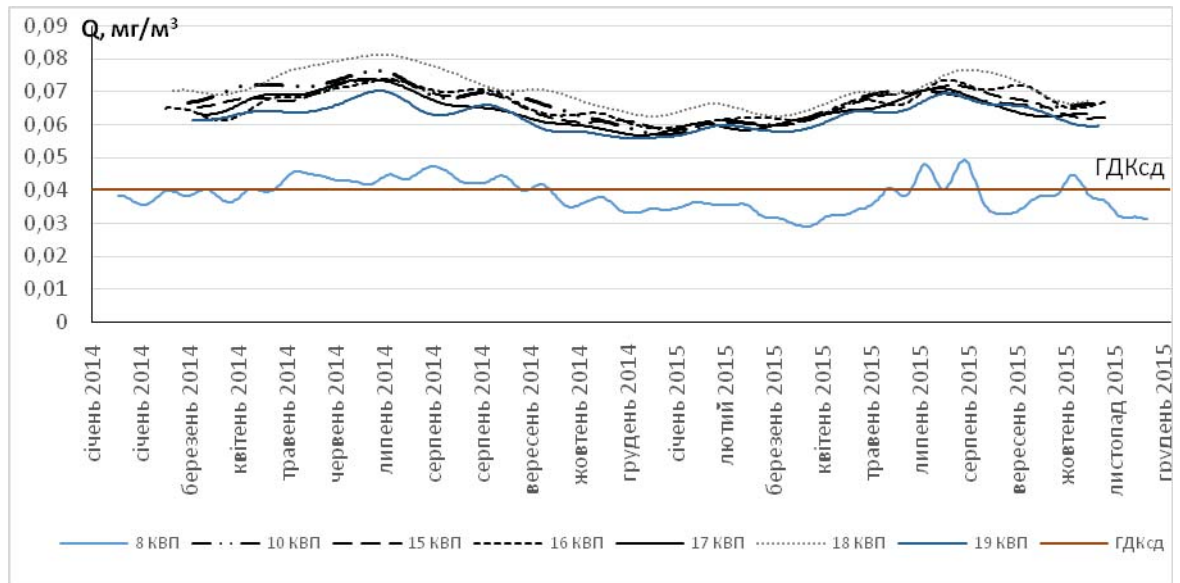


Рис.4.17 - Згладжені ряди середньодобової концентрації NO_2 на КВП м. Одеса, 2014-2015 рр.

В прибережній частині міста (КВП №8) спостерігаються значно нижчі середньодобові концентрації діоксиду азоту. Однак в літній період також відбувається перевищення $\text{ГДК}_{\text{сд}}$.

На рис. 4.18 зображені амплітудно-частотні характеристики часових рядів середньомісячних концентрацій діоксиду азоту.

У якості прикладу наведено АЧХ рядів концентрацій домішки в районі КВП №10, 15, 16,19. Графіки свідчать, що такому осередненню вихідної інформації відповідає один максимум амплітуди, який перевищує довірчий інтервал.

У таблиці 4.4 наведено результати розрахунків параметрів, які відповідають максимальній періодичності процесу. Чітко прослідковується річна періодичність часових рядів середньомісячних концентрацій діоксиду азоту.

Використаний метод дослідження статистичної структури часових рядів концентрації забруднюючих атмосферне повітря речовин свідчить про те, що детерміновані основи часових рядів містять добре виражені тренди на

які накладаються коливання[16]. Періоди цих коливань залежать від інтервалу осереднення величин процесу, який досліджується.

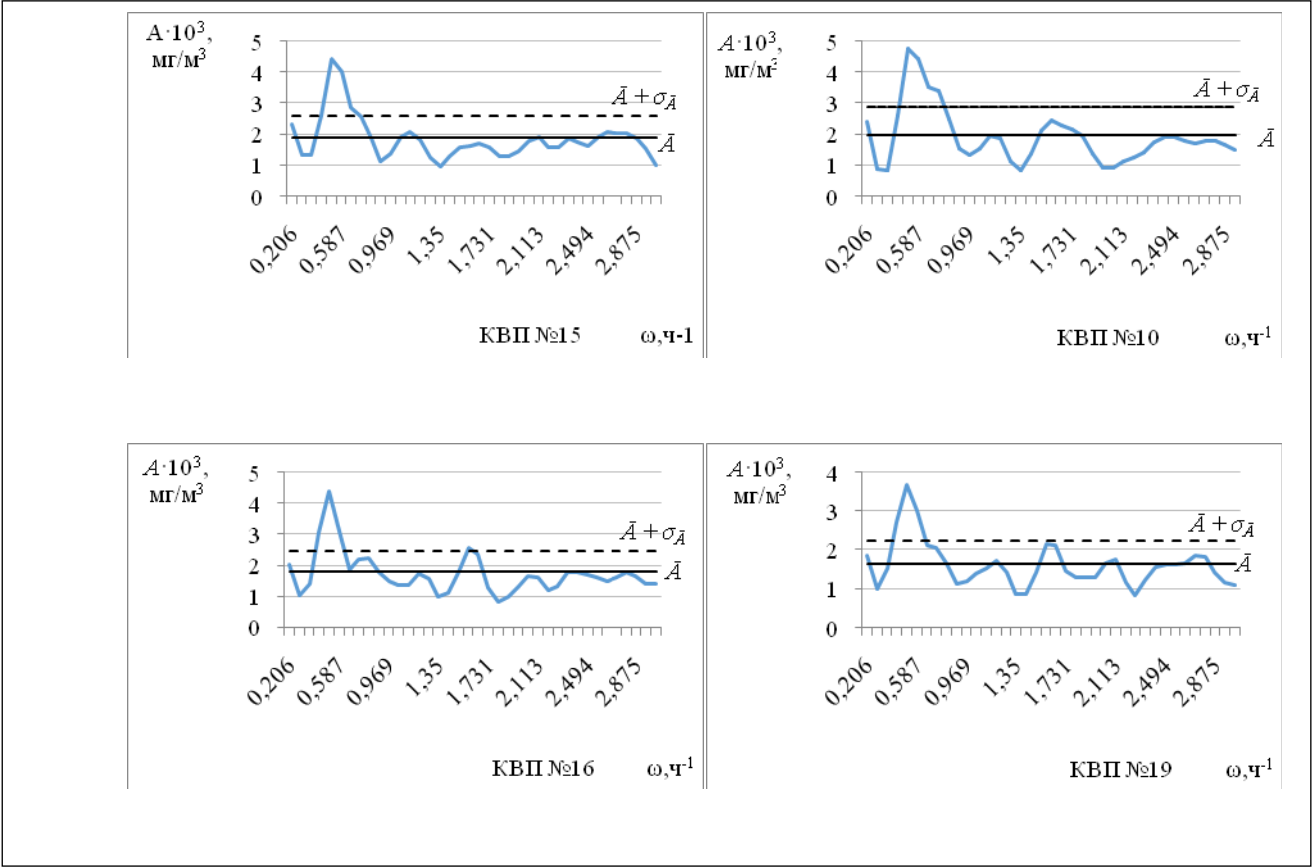


Рис.4.18- Амплітудно-частотні характеристики часових рядів середньомісячної концентрації NO₂ на КВП м. Одеса (2006 – 2015 рр.).

Таблиця 4.4 - Амплітудно-частотні показники максимальної періодичності у часових рядах середньомісячних концентрацій NO₂ м. Одеса (2006-2015 рр.)

№ КВП	$A \cdot 10^3, \text{мг/м}^3$	$\omega, \text{ч}^{-1}$	T, міс.	φ_k	h_k
8	1,84	0,435	14,5	1.325	3.048
10	4,77	0,511	12,3	1.074	2.102
15	4,42	0,511	12,3	0.988	1.933
16	4,38	0,511	12,3	0.984	1.926
17	4,57	0,511	12,3	1.026	2.008
18	5,56	0,511	12,3	1.166	2.283
19	3,69	0,511	12,3	1.095	2.143

Згладжені ряди концентрації інгредієнту з використанням зазначених максимальних періодичностей наведені на рис. 4.19. Вони свідчать про те, що тільки у прибережній частині міста (КВП № 8) на протязі усього періоду дослідження середньомісячні концентрації діоксиду азоту не перевищують ГДК_{сд}. На всій іншій території міста рівень забруднення перевищує ГДК_{сд}. Це говорить про те, що екологічний стан атмосферного повітря не відповідає санітарним нормам.

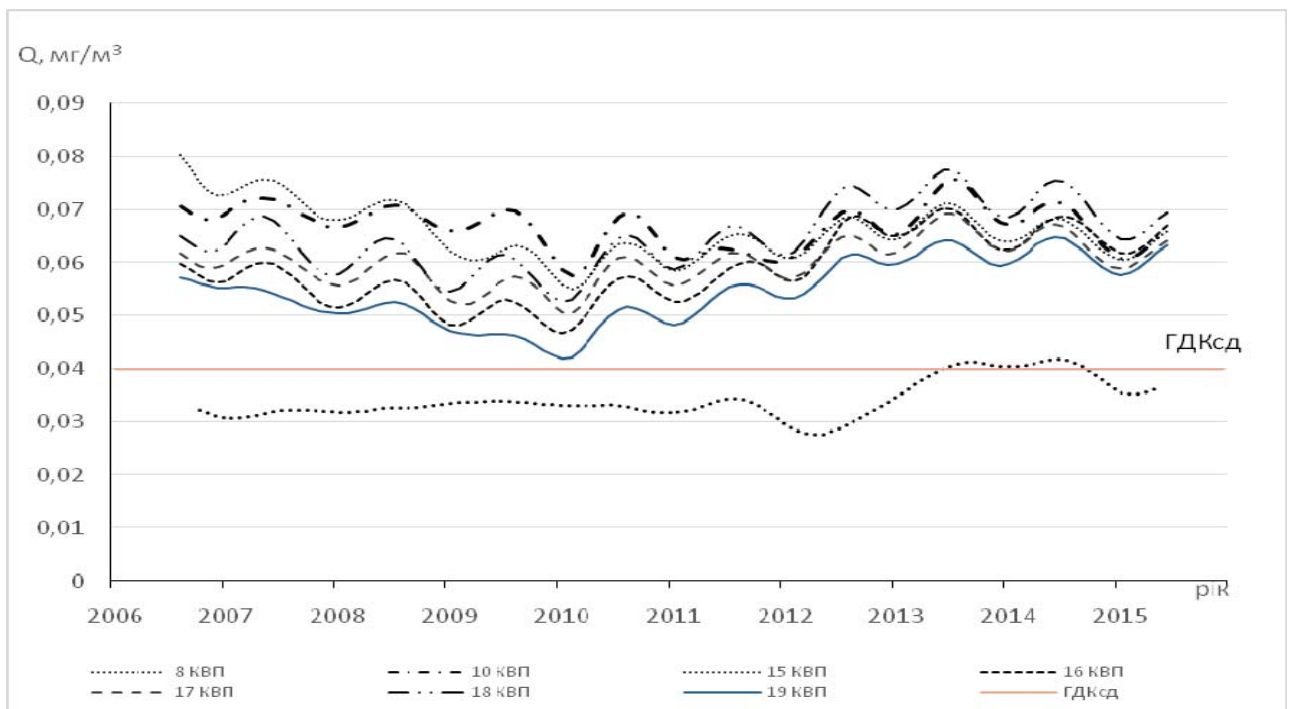


Рис. 4.19 - Згладжені ряди середньомісячної концентрації NO₂ на КВП м. Одеса, 2006-2015 рр.

ВИСНОВКИ

За результатами оцінки та аналізу динаміки забруднення повітряного басейну м. Одеса виявлено підвищений вміст в атмосферному повітрі діоксиду азоту на протязі досліджуваних періодів. Аналіз середньодобових концентрацій та нормування їх на ГДК_{сд} показав, що на більшості КВП концентрації діоксиду азоту майже щодня перевищують даний гігієнічний норматив.

Статистичні показники свідчать про те, що майже на всіх КВП м. Одеса відбулося підвищення концентрацій домішки. Це можна пояснити значним збільшенням автотранспорту в місті. Виключенням стали КВП №10 та №15 (вул. Чорноморського козацтва - №10, Херсонський сквер - №15). Тут значення середньодобових концентрацій NO₂, навпаки, знизилися. Це пов'язано з тим, що основні стаціонарні джерела забруднення повітря NO₂ в цьому районі (нафтопереробний, цементний, лакофарбувальний заводи та інші), зменшили потужність виробництва або зовсім перестали функціонувати.

Найгірші показники концентрацій домішки протягом року спостерігаються в районах КВП №10, №18, №16, їх осереднені концентрації майже досягають 2ГДК_{сд}. Ці пости розташовані в районах міста, де сконцентрований головний рух автотранспорту.

В районі КВП №8, концентрації якого прийнято вважати за фонові, влітку спостерігається перевищення ГДК_{сд}, що пов'язано з переносом забруднюючих речовин з півночі на південь в сторону моря. Враховуючи курортне значення міста, такий стан атмосферного повітря є неприпустимим.

Побудовані поля СКВ свідчать про те, що найменш мінливими є середньодобові концентрації діоксиду азоту на 8 КВП (район Аркадії). Максимальна мінливість спостерігається на КВП №18 і складає 35-40 % від ГДК_{сд}.

При вітрах північних напрямків найбільший кореляційний зв'язок прослідковується між КВП №15 та №17. При обраному центром кореляції КВП №8, коефіцієнти приймають значення від 0,09 до 0,28. Це говорить про дуже слабку кореляцію між середньодобовими концентраціями діоксиду азоту, що спостерігаються на КВП №8 та значеннями концентрацій домішки на інших постах спостережень.

Отже, враховуючи рівень забруднення атмосферного повітря, одним з напрямів забезпечення екологічної безпеки міста має бути захист атмосферного повітря від забруднення шкідливими домішками, в тому числі і двоокису азоту. Для поліпшення ситуації необхідно терміново вжити заходів, які, з одного боку, були б спрямовані на зменшення викидів цієї небезпечної домішки підприємствами та автотранспортом, а з іншого – на збільшення кількості багаторічних зелених рослин, які сприяють очищенню атмосфери.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 році. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОП Грінь Д.С. – 2016. – 350 с.
2. Лоева И.Д. Прогноз поля загрязнения воздушного бассейна города двуокисью азота / И.Д. Лоева, Салим Рубайя Санд // Метеорология, климатология и гидрология. – 1995. – Вып. 32. – С. 107–113.
3. Маренко А.Н. Окислы азота в приземном слое воздуха на автомагистралях Киева / А.Н. Маренко, А.Н. Гриценко // Труды УкрНИИ Госкомгидромета. – 1986. – Вып. 216. – С. 46–53.
4. Чугай А.В. Аналіз забрудненості атмосферного повітря м. Одеса / А. В. Чугай, Ю.О.Котельнікова. //Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні. Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК ім. адм. Макарова, 2011. – С. 286 – 291.
5. Шинкевич Н.Г., Шурда К.Э. Вопросы загрязнения воздушного бассейна г. Одессы. – Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2006. – Вип. 3. – С. 5-10.
6. Шевченко О.Г., Сніжко С.І., Данілова Н.О. Забруднення атмосферного повітря міста Києва двоокисом азоту // Український гідрометеорологічний журнал- 2015.- №16 С. 6 – 16.
7. Кіптенко Є.М. Аналіз забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту та його прогнозування в промислових містах України. / Є.М. Кіптенко, М.П. Баштаннік, Т.В. Козленко, Н.С. Жемера, Л.М. Онос, Н.О. Трачук // Актуальні проблеми дослідження довкілля. Міжнародна науково-практична конференція. – Т. 2.– Суми, 2015. – С. 50-54.

8. Суркова Г.В. Химия атмосферы / Г.В. Суркова. – М.: Изд-во Московского университета, 2002. – 210 с.
9. Васюкова Г. Т., Грошева О. І. Екологія: підруч. – К.: Кондор, 2009. – 524 с.
10. Окислы азотов: Дата оновлення 10.11.2016. URL: <http://www.ecologyside.ru>
11. Школьный Є.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації. – Одеса, 1999. – 623 с.
12. Гончарова Л. Д., Школьный Є. П. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач і вправ): Навчальний посібник. – Одеса: Екологія, 2007. – 464 с.
13. Школьный Є. П., Гончарова Л. Д., Миротворська Н. К. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач і вправ): Навчальний посібник. – Одеса, 2000. – 420 с.
14. Лоева І. Д. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря великого міста: методи аналізу, прогнозу, регулювання. Монографія./ І. Д. Лоева, О. Г. Владимірова, В. А. Верлан. – Одеса: Екологія, 2010. – 224 с.
15. Лоева І.Д. Стан забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту / І.Д. Лоева, В.В. Снісаренко // Матеріали XXXI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»: Зб. наук. праць. - Переяслав-Хмельницький, 2017. - Вип. 31. - С. 44-47
16. Лоева І.Д. Часові зміни концентрації діоксиду азоту в атмосферному повітрі м. Одеса /І.Д.Лоева, В.В.Снісаренко// Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Географічні науки. – 2017.– № 7. – С.173–178.