

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та аспірантської  
підготовки  
Кафедра метеорології та кліматології

**Магістерська кваліфікаційна робота**

на тему: «Вітровий режим м. Одеса та його вплив на рівень забруднення  
атмосферного повітря»

Виконала студентка 2 курсу групи МНЗ-2М  
спеціальності 103 –«Науки про Землю»  
Шевчук Марія Петрівна

Керівник к.геогр.н., доцент  
Агайар Елліна Вікторівна

Рецензент к. ф.-м. н. доцент  
Рубан Ігор Георгійович

Одеса 2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та аспірантської підготовки

Кафедра метеорології та кліматології

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 «Науки про Землю»

(шифр і назва)

Освітня програма Метеорологія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри** Івус Г.П.

« 29 » жовтня 2018 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Шевчук Марії Петрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вітровий режим м. Одеса та його вплив на рівень  
забруднення атмосферного повітря

керівник роботи к.геогр.н., доц. Агайар Елліна Вікторівна

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від №271 "С" від 5.10.2018 р

2. Строк подання студентом роботи 10 грудня 2018 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Дані чотирьохстрокових спостережень за  
основними забруднюючими речовинами та вітром на мережі восьми

стаціонарних постів м. Одеса 2. Синоптичні карти з архіву пакету АРМСин

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд сучасних літературних джерел за темою дослідження.

2. Характеристика рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеси, 2011-  
2015 рр. 3. Аналіз впливу приземного вітру в райони Одеси на

расповсюдження домішок в атмосфері міста. 4. Синоптичні умови  
формування забруднення повітря над Одесою за 2011- 2015 рр.5. Оцінка

прогностичних можливостей методики альтернативного  
короткострокового прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових  
креслень.) Рис. 1.1 – Схематичне зображення розташування постів

спостережень за забрудненням атмосфери в м. Одеса; Рис. 1.2 – Вигляд  
аерозолів різного походження; Рис. 2.1-2.20 – Повторюваність випадків

забруднення ЗР повітря за різних швидкостей і напрямків вітру, 2011-2015  
рр.; Рис. 2.21 –Повторюваність типів синоптичних ситуацій Рис. 2.22-2.23

Синоптичні карти; Рис. 3.1-3.4 – Середньомісячні значення концентрації  
ЗР.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 29 жовтня 2018 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконан ня етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	<i>Вивчення літературних джерел за темою дослідження</i>	29.10.2018	95	відмінно
2.	<i>Збір та попередня обробка вихідної інформації, складання бази даних до дослідження</i>	листопад 2018	95	відмінно
3.	<i>Визначення характеристик рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеси, 2011-2015 рр.</i>	листопад 2018	95	відмінно
4.	<i>Аналіз впливу приземного вітру в районі Одеси на розповсюдження домішок в атмосфері</i>	листопад 2018	95	відмінно
5.	<i>Систематизація синоптичних чинників формування високого рівня забруднення атмосфери</i>	листопад 2018	95	відмінно
6.	<i>Оцінка прогностичних можливостей методики альтернативного короткострокового прогнозу МУЗ</i>	листопад 2018	95	відмінно
7.	Рубіжна атестація	19- 24.11.2018	95	відмінно
8.	<i>Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку.</i>	25.11.2018	95	відмінно
9.	<i>Оформлення магістерської роботи.</i>	30.11.2018	95	відмінно
10.	<i>Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.</i>	05.12.2018	95	відмінно
11.	<i>Попередній захист магістерської роботи.</i>	10.12.2018	95	відмінно
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		<b>95</b>	<b>відмінно</b>

Студент \_\_\_\_\_ Шевчук М.П

( підпис )

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Агайар Е.В

( підпис )

(прізвище та ініціали)

## Анотація

**Тема:** «Вітровий режим м. Одеса та його вплив на рівень забруднення атмосферного повітря»

**Автор:** Шевчук Марія Петрівна

**Актуальність** Атмосферне повітря - найважливіший для всього живого природний ресурс, від якісного стану якого, значною мірою, залежить здоров'я людини. Характеристики вітрового режиму належать до метеорологічних чинників, що найбільше впливають на концентрації забруднюючих домішок в приземному шарі атмосфери.

**Метою даної роботи** є оцінка рівня забруднення атмосферного повітря, синоптичних умов його формування та впливу вітру на розповсюдження домішок в атмосфері м. Одеси, у період з 2011 по 2015 рр., а також оцінка прогностичних можливостей альтернативного методу короткострокового прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над Одесою.

Відповідно до поставленої мети було розв'язано такі **задачі**:

- визначені характеристики приземного вітру в районі Одеси за період та 2011-2015 рр. та його вплив на забруднення атмосфери в центральні місяці сезонів;
- виявлені регіональні типи синоптичних процесів, що сприяють накопиченню шкідливих домішок над Одесою за доступний період спостережень;
- проведена оцінка альтернативного методу короткострокового прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери.

**Об'єкт дослідження** – швидкість та напрямок вітру, концентрація забруднюючих речовин в м. Одеса у центральні місяці сезонів за період з 2011 по 2015 рр.

**Предмет дослідження** – характеристики режиму вітру та його впливу на розповсюдження домішок в атмосфері в районі міста Одеса

**Методи дослідження** –

- Просторово-тимчасове узагальнення даних
- Синоптико-кліматичний аналіз
- Статистичний аналіз

**Наукова новизна отриманих результатів.**

В даній роботі *вперше* для м. Одеса:

- визначений вплив приземного вітру в районі Одеси на забруднення атмосферного повітря міста у період з 2011 по 2015 рр. ;
- виявлені синоптичні умови формування забруднення повітря над Одесою за 2011-2015 рр;
- проведена оцінка альтернативного методу короткострокового прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери на незалежному матеріалі.

**Практичне значення отриманих результатів.** Врахування впливу вітрового режиму на забруднення атмосферного повітря сприятиме вдосконаленню прогнозу метеорологічних умов забруднення повітря над Одесою.

Магістерська робота в обсязі 80 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 36 джерел, трьох додатків, містить 29 рисунки та 8 таблиць.

**Ключові слова:** повторюваність забруднення, атмосферне повітря, напрямок вітру, швидкість вітру, прогноз метеорологічних умов забруднення повітря

## Abstract

**Thesis Topic:** «The Wind Regime in Odessa and its Impact on the Level of Air Pollution»

**Author:** Mariia Shevchuk

**Relevance:** Atmospheric air is the most important for all living natural resources, from the qualitative state of which, depends human health. The characteristics of the wind regime belong to the meteorological factors that most influence the concentration of pollutants in the surface layer of the atmosphere.

**Aim of the Thesis:** Determination of the level of atmospheric air pollution, synoptic conditions of its formation and the impact of wind on the distribution of impurities in the atmosphere of Odessa, in the period from 2011 to 2015. Assessment of prognostic capabilities of the alternative method short-term forecasting meteorological conditions of atmospheric pollution over Odessa.

In accordance with the set objective, the following **tasks** are solved:

- characteristics of the surface wind in the area of Odessa for the period of 2011-2015 and its impact on atmospheric pollution in the central months of the seasons are defined ;
- regional types of synoptic processes that contribute to the accumulation of harmful impurities over Odessa in the available observation period are revealed;
- estimation of alternative method short-term forecasting meteorological conditions of atmospheric pollution are conducted.

**Object of the Study:** the wind speed and direction, the concentration of pollutants in Odessa in the central months of the seasons for the period from 2011 to 2015.

**Subject Matter of the Study:** characteristics of the wind regime and the impact of wind on the distribution of impurities in the atmosphere of Odessa.

**Methods of Research:** space-time generalization of data, synoptic-climatic analysis and statistical analysis

### **Scientific Novelty of the Obtained Results**

In this thesis, for *the first time* for Odessa:

- impact of wind on the distribution of impurities in the atmosphere of Odessa for the period of 2011-2015 is defined;
- synoptic conditions for the formation of air pollution over Odessa for 2011-2015 are revealed;
- estimation of alternative method short-term forecasting meteorological conditions of atmospheric pollution on independent data are conducted.

**Practical Significance of the Obtained Results.** Taking into account the impact of the wind regime on atmospheric air pollution will contribute to improving the forecast of meteorological conditions for air pollution over Odessa.

The Master thesis has the volume of 80 pages, consists of 3 sections, conclusions, a list of references of 36 sources, 3 applications, contains 29 figures and 8 tables.

**Keywords:** pollution repeatability, atmospheric air, wind speed, wind direction, forecast of meteorological conditions of air pollution

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Коротка характеристика досліджуваного регіону .....	10
1.1 Фізико-географічна та кліматологічна характеристика м. Одеси.....	10
1.2 Система спостережень за забрудненням повітря.....	12
1.3 Характеристика забруднення повітряного басейну м. Одеса.....	13
1.4 Основні забруднювальні домішки.....	15
2 Особливості метеорологічних та синоптичних умов забруднення повітря у період з 2011-2015 рр. ....	20
2.1 Приземний вітер та його вплив на забруднення атмосфери в центральні місяці сезонів .....	20
2.2 Аналіз типів синоптичних процесів, що сприяють накопиченню шкідливих домішок над Одесою .....	42
3 Оцінка метода прогнозу метеорологічних умов забруднення повітря над Одесою.....	53
3.1 Вихідна інформація та методика дослідження .....	53
3.2 Концентрації домішок в центральні місяці кліматичних сезонів .....	54
3.3 Апробація альтернативного методу короткострокового прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над Одесою .....	57
Висновки .....	63
Перелік посилань.....	64
Додаток А.....	68
Додаток Б .....	70
Додаток В.....	77

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГДК – гранично - допустима концентрація

КВП – контрольно-вимірювальні пости

ПЗС – пост спостереження за забрудненням

ЗР – забруднюючі речовини

UTC – United Time Centered

## ВСТУП

Рівень забруднення атмосферного повітря великих міст формується під впливом цілої низки чинників, серед яких найважливішими є обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, характеристики джерел надходження домішок, ландшафтні особливості території та метеорологічні умови. З впливом останніх пов'язано розсіювання, вимивання та перетворення шкідливих речовин в атмосферному повітрі, а також значна мінливість їх концентрацій у просторі та часі. Характеристики вітрового режиму ( напрямок та швидкість вітру ) належать до метеорологічних чинників, що найбільше впливають на концентрації забруднюючих домішок в приземному шарі атмосфери [3, 21].

Актуальність проблеми визначається тим що, атмосферне повітря - найважливіший для всього живого природний ресурс, від якісного стану якого, значною мірою, залежить здоров'я людини. Саме тому наукові дослідження щодо оцінки антропогенного навантаження на повітряний басейн великих промислових міст, а також розробка методів його регулювання з урахуванням правових і нормативних аспектів відносяться до актуальних проблем.

Метою магістерської роботи є оцінка рівня забруднення атмосферного повітря, синоптичних умов його формування та впливу вітру на розповсюдження домішок в атмосфері в районі м. Одеси, у період з 2011 по 2015 рр., а також оцінка прогностичних можливостей альтернативного методу короткострокового прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над Одесою.

В якості вихідних даних в роботі використані дані чотирьохстрокових спостережень за основними забруднюючими речовинами на мережі восьми стаціонарних постів за центральні місяці перехідних сезонів у період 2011-2015 рр. Для дослідження синоптичних умов забруднення атмосфери використані приземні карти за відповідні дні і строки.



Об'єкт дослідження – швидкість та напрямок вітру, концентрація забруднюючих речовин в м. Одеса у центральні місяці сезонів за період з 2011 по 2015 рр.

Предмет дослідження – характеристики режиму вітру та його впливу на розповсюдження домішок в атмосфері в районі міста Одеса.

Методи дослідження – просторово-тимчасове узагальнення даних, синоптико-кліматичний аналіз та статистичний аналіз.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків та переліку посилань.

У вступі формулюються мета та завдання роботи.

Перший розділ містить в собі загальну інформацію про регіон дослідження, систему спостережень та характеристику забруднення повітряного басейну м. Одеса.

Другий розділ присвячений аналізу метеорологічних та синоптичних умов забруднення повітря у період 2011-2015 рр. у місті.

Третій розділ складається з апробації та оцінки альтернативного методу короткострокового прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери в м. Одеса.

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 36 літературних джерел.

У додатках наведені допоміжні матеріали.

Кваліфікаційна магістерська робота виконана на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ під керівництвом к.геогр.н., доц. Агайар Е. В. у рамках двох науково-дослідних робіт «Розробка та вдосконалення методів прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над промисловими районами Одеси» (2013-2017 рр., ДР № 0113U0078811) та «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр., ДР № 0115U006532)

## 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОВОГО РЕГІОНУ

### 1.1 Фізико-географічна та кліматологічна характеристика м. Одеси

Одеса розташована на південно-західній околиці Причорноморської низовини, що обривається крутим уступом до берегів Чорного моря. Середня висота степового плато складає близько 45 - 50 м. Місто широкою смугою простягнулося вздовж узбережжя Одеської затоки на відстані 50 км від с. Котовського на півночі до сел. Чорноморка на півдні.

У межах прибережної зони спостерігається невелике зменшення висот плато у напрямку на південь і південний захід. У північно-західному напрямку висота плато підвищується від Одеси до станції Дачній приблизно вдвічі. Таким чином, у напрямку на північний захід висота плато збільшується в середньому на 2 м на кожен кілометр.

Рівнинний характер плато порушується ярами і балками, спрямованими своїми гирлами до моря, до долини Хаджибейського лиману. Глибокі балки, що прорізують плато, відіграють велику роль у регулюванні стоку випадających атмосферних опадів.

До основних факторів, що формують і утворюють рельєф узбережжя м. Одеси, відносяться зсуви і абразія. Ці два фактори у взаємодії викликають швидкий наступ моря на сушу. Море просувається в бік суші в середньому до 1 м в рік, але цей наступ нерівномірний на різних ділянках. Абразія безперервно створює умови поновлення зсувів, порушуючи стійкість берегового укосу.

За ландшафтною класифікацією кліматів Л.С. Берга клімат Одеси відноситься до клімату степів, для якого характерне переважання літніх опадів, досить тепла зима і спекотне літо [10].

На формування клімату головний вплив робить море. Північно-західна частина Чорного моря в районі Одеси значно відрізняється по своїй морфології, гідрології та гідрохімії від інших районів. Це найбільш мілководна і опріснена частина моря, в яку впадають головні річки Чорноморського басейну: Дунай, Дністер, Південний Буг і Дніпро. Приплив

великої кількості прісних вод обумовлює низьку солоність, значну стійкість шарів води і, на відміну від глибоководних районів, розвиток льодових явищ.

Температура води біля берегів Одеси визначається приходом сонячної радіації, конвективним теплообміном поверхневих шарів води з атмосферою, згінно-нагонною циркуляцією, процесами турбулентного перемішування і приходом прісних вод. Річний хід температури води характеризується чітко вираженим мінімумом в лютому, максимумом у серпні. Температура поверхневих шарів води швидко реагує на зміну температурних умов повітря. Як тільки температура повітря опускається нижче нуля, починається швидке вихолоджування, а потім процес льодоутворення [13].

Режим вітру пов'язаний з розподілом тиску і його сезонними змінами. Взимку переважає вітер північного напрямку. У літній період відзначається збільшення південного вітру і різке зменшення східного. Навесні панівним є південний вітер. Восени немає чітко вираженого переважання вітру одного напрямку. Протягом року найбільш часто відзначається вітер швидкістю 4-5 м/с.

В Одесі широко розвинені бризи. Удень у землі ці вітри дмуть з моря на сушу. Вище спостерігається перенесення повітря у зворотному напрямку. Вночі нижня течія направлена з суші на море, а верхня або відсутня, або направлена з моря на сушу. Денні бризи називаються морськими, а нічні – береговими [7].

Характерною рисою термічного режиму Одеси є тимчасова нестійкість, яка визначається одночасним впливом моря і суші. Середньомісячна температура 0°C і нижче в Одесі може спостерігатися з листопада по березень. Найбільш холодними місяцями є січень і лютий. Протягом усього холодного періоду можливі відлиги. Середньомісячна температура 20°C і вище можлива з червня по вересень. Температура 25°C і вище може спостерігатися в усі літні місяці.

Кількість атмосферних опадів помітно змінюються за площею Одеси. На початку теплого періоду опади безперервно зростають і досягають максимуму в червні. З липня спостерігається зменшення місячних сум опадів. Взимку відзначається поступове зменшення опадів від місяця до місяця. На території Одеси рідкі опади випадають круглий рік. З листопада по квітень можливе випадання змішаних і твердих опадів. Для Одеси також помітно переважання порівняно малих кількостей опадів.

## 1.2 Система спостережень за забрудненням повітря

Спостереження за станом атмосферного повітря у м. Одеса проводяться по 8-ми контрольно-вимірювальних постах ( КВП ), які розташовані у різних районах міста Одеси ( рис. 1.1 ) та характеризуються різним рівнем антропогенного навантаження. Слід зазначити, що пост № 8 розташований в узбережній зоні Чорного моря на Французькому бульварі на території Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів на значній відстані від промислових підприємств та автошляхів. Тому значення концентрацій забруднюючих речовин, які вимірюються на цьому пості, можна вважати фоновими [14].

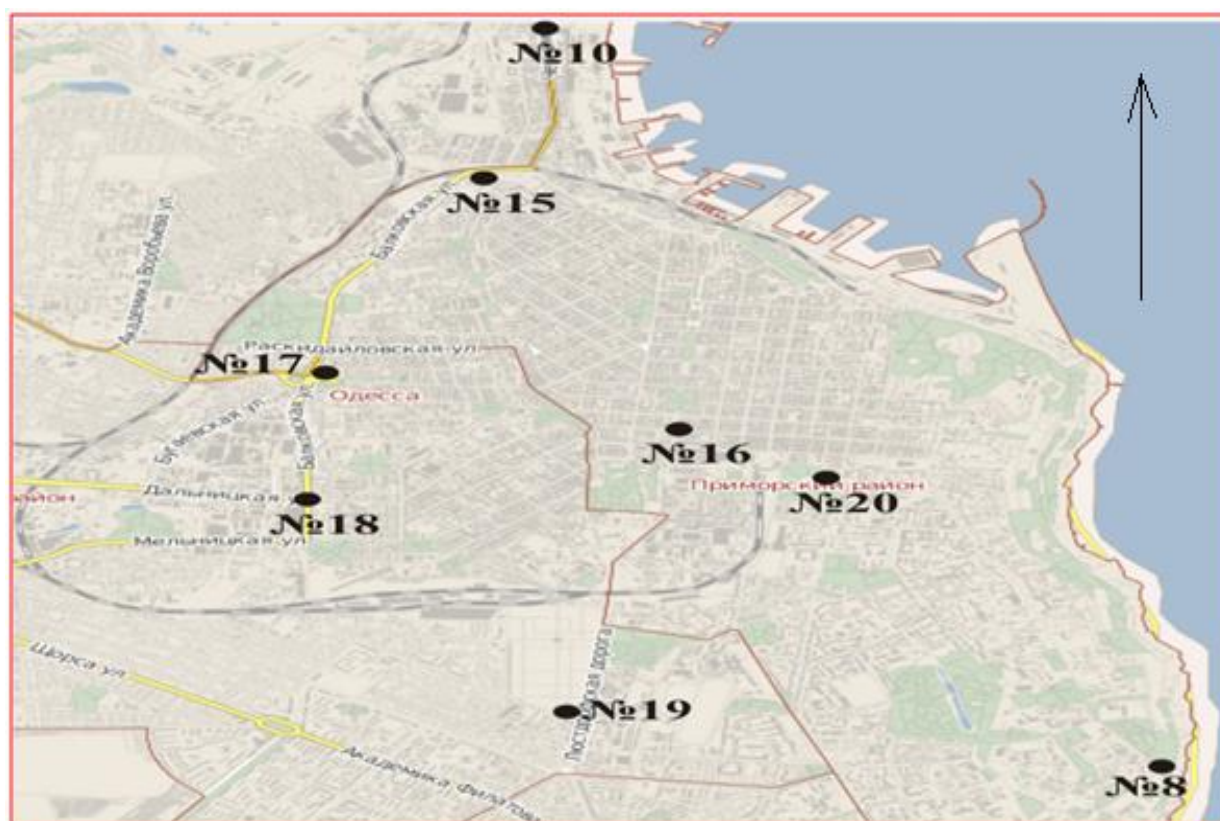


Рис. 1.1. Схематичне зображення розташування постів спостережень за забрудненням атмосфери в м. Одеса

Пости № 10, 15, 17 розташовані у північній та північно-західній частинах міста ( вул. Чорноморського козацтва - № 10, Херсонський сквер -

№ 15, автовокзал - № 17 ), де знаходяться основні джерела викидів небезпечних речовин: нафтопереробний, цементний, лакофарбувальний заводи та інші. Пости №№ 16, 18, 19 розташовані у тих районах міста, де найбільший рух автотранспорту: ріг Олександрійського проспекту та вул. В. Арнаутської - № 16, 1-а ст. Люстдорфської дороги - № 19, вул. Балківська - № 18. Окремо необхідно відзначити місце розташування КВП № 20, який знаходиться на розі Італійського бульвару та вул. Канатної. Це район, де немає промислових підприємств, але на цих вулицях спостерігається великий рух автотранспорту, особливо у час пік. Пост розташований на деякій відстані ( приблизно 30 м ) від автошляхів. Для вирішення поставлених нами завдань були використані дані про вміст в атмосферному повітрі основних забруднюючих домішок та характеристики вітру на чотирьох постах спостереження за забрудненням ( ПЗС ) за 2011-2015 рр. Нами були обрані пости, що розташовані в різних частинах міста і характеризуються різним ступенем забруднення повітря: ПЗС № 8 (узбережна зона Чорного моря на Французькому бульварі на території Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів ); ПЗС №10 (вул. Чорноморського козацтва); ПЗС № 16 (ріг Олександрійського проспекту та вул. В. Арнаутської ); ПЗС № 18 (вул. Балківська).

### 1.3 Характеристика забруднення повітряного басейну м. Одеса

Ступінь забруднення атмосфери залежить від кількості викидів шкідливих речовин та їх хімічного складу, від висот, на яких здійснюються викиди, і від кліматичних умов, що визначають перенесення, розсіювання і перетворення викидаються речовин [1-4].

Джерела забруднення атмосфери розрізняються по потужності викиду (потужні, крупні, невеликі), висоти викиду (низькі, середні висоти та високі), температури виходу газу (нагріті і холодні). До потужних джерел забруднення відносяться виробництво типу металургійних та хімічних заводів, заводів будівельних матеріалів, теплових електростанцій та ін. До невеликих джерел забруднення - невеликі котельні та підприємства місцевої та харчової промисловості, труби печі опалення та ін. Велика кількість

невеликих джерел може значно забруднити повітря. Під низькими джерелами розуміють такі, у яких викид здійснюється нижче 50 м, під високими - викид вище 50 м. Нагрітими умовно називають джерела, у яких температура випускається газоповітряною сумішшю вище 50° С; при більш низькій температурі виброди вважаються холодними.

В викидах підприємств різних галузей промисловості та транспорту міститься велика кількість різних вроджених сумішів. Майже з усіх джерел атмосфери наносять діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), пил, окис вуглецю ( $\text{CO}$ ), оксиди азоту ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ). Багато шкідливих речовин утворюється при спалюванні палива. При спалюванні палива в атмосфері викидаються також у великій кількості окису вуглецю, оксиди азоту та незміщені тверді речовини у вигляді зол і сажі. У менших кількостях при спалюванні як твердого, так і рідкого палива можуть викидати хлорид натрію та магнію, оксиди заліза, ванадій, оксиди нікелю та кальцію, ртуть та ряд інших речовин. При спалюванні газоподібного палива основним викидається окис азоту. Забруднення повітряного басейну є ключовим фактором негативного впливу на стан природного середовища міста. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я від 40 до 50 % захворювань людини у даний час пов'язані з ростом антропогенної напруженості [6, 14, 32].

Найбільші обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря мають підприємства, які виробляють та розподіляють електроенергію, газ та воду (43% від загальних викидів стаціонарними джерелами по області) та підприємства переробної промисловості (29% від загальних викидів стаціонарними джерелами по області). Серед населених пунктів області, як і раніше, найбільшого антропогенного навантаження зазнає атмосфера м. Одеса, м. Южного, Ананьївського, Білгород-Дністровського, Ренійського, Тарутинського районів [14].

Основними забруднювачами атмосферного повітря в регіоні залишаються підприємства нафтопереробної, хімічної промисловості, з виробництва цементу та підприємства, які розподіляють газ, на які припадає майже 70% викидів всіх шкідливих речовин, а саме ВАТ “Одеський припортовий завод”, ВАТ «Лукойл-Одеський нафтопереробний завод», ВАТ “Одесагаз”, ВАТ “Газтранзит”, ВАТ “Одесанафтопродукт”, ВАТ “Цемент”.

Причинами надмірних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря є: робота підприємств в умовах зношеності основних фондів,

недосконалості технологічних процесів базових галузей промисловості, недостатня забезпеченість останніх очисними спорудами для уловлювання та утилізації забруднюючих речовин, введення в дію нових підприємств [19].

Залишається гострою проблема забруднення повітря пересувними джерелами, і особливо, автомобільним транспортом. Надходження шкідливих речовин від автотранспорту домінують над викидами від стаціонарних джерел, і становить 81 % від загальної кількості забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря. Надходження шкідливих речовин від пересувних джерел домінували над викидами від стаціонарних джерел майже в усіх районах та містах області, крім міста Южного, Ананьївського, Березівського, Ренійського, Тарутинського районів. Майже 42% загальної кількості викинутих забруднюючих речовин від транспорту перепадає на місто Одесу. Концентрація забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та на ґрунті перевищує граничнодопустимі рівні у 5-7 разів. Населення міст області зазнає ризику розвитку хвороб, пов'язаних із забрудненням повітря [14].

#### 1.4 Основні забруднювальні домішки

Реальне співвідношення між компонентами хімічного складу атмосфери Землі вперше вдалося встановити англійському вченому Генрі Кавендішу в 1785 р. Ретельні вимірювання дозволили йому зробити висновок, що "повітря складається з однієї частини кисню, змішаного з чотирма частинами азоту" .

Результати численних досліджень хімічного складу атмосферного повітря, які були проведені в різний час і у різних країнах світу, свідчать, що воно складається на 78% з молекулярного азоту, на 21% – з молекулярного кисню і на 0,94% – з інертного газу аргону. Основні забруднювальні речовини надходять в атмосферу внаслідок спалювання викопних видів палива та продуктів їх переробки.

У тропосфері завдяки оптимальним значенням температури та тиску повітря створюються сприятливі умови для швидкого перебігу основних типів хімічних реакцій. Ці процеси визначають час перебування забруднювальних речовин у атмосфері. Під часом перебування хімічної

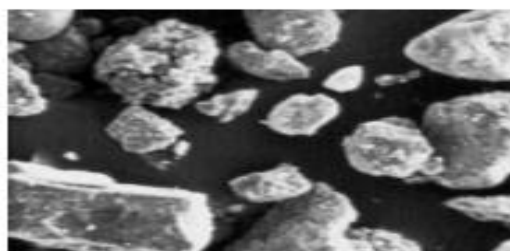
речовини у повітряному середовищі прийнято вважати середній період її перебування між моментом надходження і моментом виведення з цього середовища.

В залежності від часу перебування тих чи інших забруднювальних речовин у атмосфері залежить і відстань, на яку вони можуть переноситися повітряними потоками. З точки зору забруднення можна говорити не про відстань, а про формування зони забруднення навколо джерела викидів. Щоб зв'язати між собою ці два аспекти поширення забруднювальних речовин у атмосфері – час перебування і зону поширення, було побудовано спеціальний графік, який дуже вдало візуалізує просторово-часові характеристики забруднення атмосфери [1, 4].

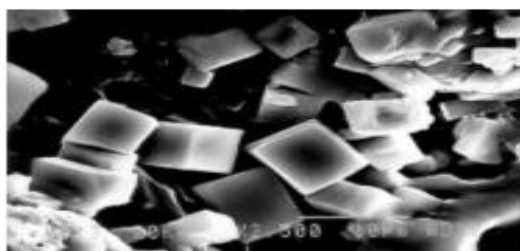
Атмосферні аерозолі (завислі речовини) – це динамічна суміш (хімічний комплекс) дрібних твердих часток та крапель рідини, яка у вигляді суспензії знаходиться у завислому стані в атмосферному повітрі. Незважаючи на незначні розміри, аерозолі негативно впливають на здоров'я населення, завдають шкоди архітектурним спорудам, погіршують видимість. Вони вважаються потужним глобальним чинником формування клімату. В залежності від розмірів частинок та ролі, яку вони виконують в метеорологічних процесах, аерозолі поділяються на кілька груп [12].

Тонко дисперсний аерозоль суттєво впливає на поглинання сонячної радіації і, відповідно, на зміну термічного режиму атмосфери. В утворенні тонко дисперсного аерозолю з газів природного і антропогенного походження, які надходять до атмосфери (діоксид азоту, діоксид сірки, терпени, продукти горіння і гниття), беруть участь сонячна радіація й інші випромінювання, а також водяна пара (рис. 1.2). Надходження аерозолів в атмосферу може спричинятися як природними, так і антропогенними чинниками.





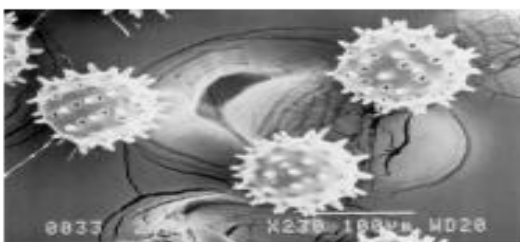
Природні мінеральні частинки



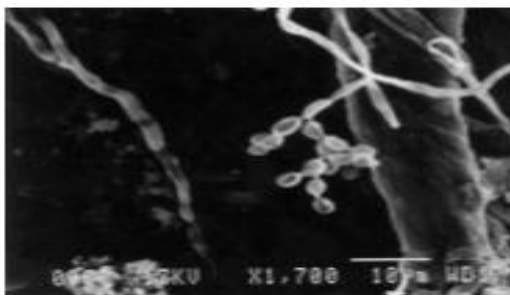
Природна кристалізація (кристали кухонної солі (NaCl) морського походження)



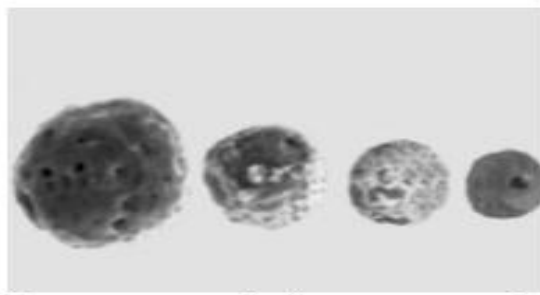
Частинки рослинного пилку



Частинки рослинного пилку



Аерозолі біологічного походження



Частинки сажі різного розміру

Рис. 1.2. Вигляд аерозолів різного походження під мікроскопом [36]

Аерозолі природного походження виникають у процесі вулканічної діяльності, згорання метеоритної речовини в атмосфері, в результаті пилових і піщаних бур і утворення гігантських пилових хмар, що переміщуються на великі відстані, лісових пожеж, а також за рахунок діяльності рослинного і тваринного світу.

Антропогенні аерозолі виникають внаслідок промислової і господарської діяльності людини. Це перш за все процеси горіння, які здійснюються на ТЕЦ, сміттєспалювальних заводах, в побутових печах, двигунах внутрішнього згорання, печах для обпалювання цементу. Важливе джерело антропогенних аерозолів – виробництво будівельних матеріалів (дроблення порід у кар'єрах, виготовлення цементу тощо). Заводи з

виготовлення сталі викидають у повітря великі об'єми червоного диму з великим вмістом дрібних часток оксиду заліза.

За умовами формування виділяють первинні і вторинні аерозолі. Первинні аерозолі потрапляють в атмосферу завдяки диспергуванню матеріалу на поверхні Землі (вітрова ерозія, спалювання різних видів палива у промислових регіонах, пожежі у тропічних лісах, винесення морських аерозолів з поверхні морів і океанів, космічний пил). Завислі частинки первинного походження характеризуються надзвичайно малими розмірами (менше 2,5 мкм і часто навіть менше 1 мкм).

Аерозолі можуть утворюватися також із азотних сполук. Аміак ( $\text{NH}_3$ ) утворює разом із сірчаною кислотою сульфат амонію, або нітрат амонію з азотною кислотою, якщо концентрація сірчаної кислоти незначна.

У повітрі міст є також вторинні органічні аерозолі, які утворюються на основі ЛОС, джерелами яких є спалювання різних видів палива та виділення рослинами в атмосферу. Завдяки антропогенній емісії ЛОС вміст органічних аерозолів збільшився у порівнянні з доіндустріальним періодом у 3 – 4 рази.

У аерозолях міської атмосфери можуть міститися солі, окиси, сполуки азоту, сірки, різноманітні метали та радіонукліди. Їх вміст залежить від концентрації продуктів згорання палива в атмосфері та режиму їх концентрацій, географічного розподілу рослинності й режиму її життєдіяльності, впливу метеорологічних умов.

Часто присутні також невеликі кількості міді, свинцю, титану та цинку, і ще нижчі концентрації сурми, берилію, вісмуту, хрому, кобальту, цезію, літію, магнію, нікелю, рубідію, селену, стронцію та ванадію.

Надходять в атмосферу в результаті вулканічної діяльності, а також завдяки різноманітним промисловим процесам. Оскільки вугілля та нафтопродукти часто містять сполуки сірки, то при їх згорянні відбувається генерування її оксидів, передусім діоксиду сірки. Це є одним з основних негативних наслідків використання вугілля і нафти в якості джерел енергії.

Двоокис (діоксид) сірки ( $\text{SO}_2$ ) (сірчистий ангідрид, сірчистий газ) – друга за масою забруднювальна речовина атмосфери. Діоксид сірки – безбарвний і негорючий газ, запах якого відчувається при концентрації в повітрі 0.3–1.0 часток на  $\text{млн}^{-1}$ . Двоокис сірки є основним продуктом окислення сірки та сірковмісних сполук, а відповідно, основною сірковмісною антропогенною забруднювальною домішкою. Згідно з

оцінками, у тропосфері щорічно викидається близько 145 Мт діоксиду сірки: 70% цих викидів утворюється при згоранні вугілля і 16% – рідкого палива (зокрема, мазуту). Руйнування діоксиду сірки в атмосфері відбувається в результаті впливу ультрафіолетової радіації, яка сприяє утворенню сірчаного ангідриду  $\text{SO}_3$ .

Утворюються при високотемпературних процесах горіння. Усього є шість оксидів азоту.

Монооксид азоту ( $\text{NO}_x$ , нітрогену (II) оксид). Безбарвний газ, що легко реагує з киснем повітря з утворенням ( $\text{NO}_x$  цей процес є зворотним, проте хімічна рівновага за нормальних умов зміщена в сторону діоксиду).

Діоксид азоту  $\text{NO}_2$  (нітрогену (IV) оксид). Загальна маса діоксиду азоту, який щорічно надходить в атмосферу при антропогенних процесах у становить понад 15–20 Мт. Це приблизно 0,1 маси цього газу, котрий утворюється природним шляхом (вулкани, грозова діяльність, мікроорганізми). Діоксид азоту зберігається в атмосфері в середньому близько 3 діб. При взаємодії з водяною парою він перетворюється на азотну кислоту та інші нітрати. Останні повертаються в ґрунт з опадами, чим добре пояснюється відома якість снігу – здобрювати ґрунт.

Діоксид азоту є високотоксичним газом з характерним гострим, їдким запахом. Його характерне рудувато-коричневе забарвлення можна часто побачити над трубами підприємств.

Двоокис вуглецю (вуглекислий газ,  $\text{CO}_2$ ) – стійка хімічна сполука, поширена в природі. Являє собою безбарвний газ, має кислуватий смак і запах, є кінцевим продуктом окиснення вуглецю, не горить, не підтримує горіння і дихання. Двоокис вуглецю є природною складовою атмосфери. Він надходить до її складу в результаті спалювання викопного палива, діяльності живих організмів, вулканічної та інших видів геологічної діяльності (гейзери, природні мінеральні води, тощо). Характеризується парниковими властивостями (сприяє утриманню тепла на поверхні Землі і вносить основний вклад у глобальне потепління).

Двоокис вуглецю широко застосовується в хімічній промисловості при виробництві соди, а також в харчовій – у виробництві цукру, вина, пива, для виготовлення газованих напоїв [12].

## 2 ОСОБЛИВОСТІ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ТА СИНОПТИЧНИХ УМОВ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ У ПЕРІОД З 2011-2015 РР.

Вплив метеорологічних факторів на забруднення повітря має складний характер. Зв'язки поміж рівнями концентрацій і метеорологічними факторами в ряді міст схожі. Це пояснюється тим, що спостерігається деяка схожість у структурі викидів і використанням при виконанні розробок характеристик узагальненої міської складової забруднення повітря. Але, при нестандартній структурі викидів, особливо у тих випадках, коли головні джерела викидів розташовані в одній частині міста або за його межами, характер зв'язку між концентраціями і метеорологічними чинниками має свої особливості [8, 16].

### 2.1 Приземний вітер та його вплив на забруднення атмосфери в центральні місяці сезонів

Сучасні міста займають великі території і тому зміни концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі визначаються мезо- та макромасштабними процесами і пов'язаними з ними метеорологічними умовами.

Дослідження показують, що в розповсюдженні домішок в атмосфері велику роль відіграє вітер. Найчіткіше зв'язок між напрямком вітру та концентраціями забруднювальних домішок в повітрі спостерігається в тих містах, де легко простежується зонування території за видами її використання [2, 16, 20, 23].

Виявлення небезпечних напрямків вітру для міста ускладнюється також за рахунок надходження значної кількості забруднювальних домішок в повітря від пересувних джерел, утворення місцевих циркуляцій, наявності великих водойм [28].

В умовах міста, де розташовані високі і низькі джерела викидів, спостерігається наявність двох максимумів забруднення повітря в залежності

від швидкості вітру на рівні флюгера: при штилі і слабких вітрах (0-2 м/с) та при швидкості вітру біля 4-6 м/с. В окремих містах відмічається ще один максимум забруднення повітря при швидкості вітру 8-9 м/с (при наявності піднесеної інверсії).

Характер зв'язку між забрудненням приземних шарів повітря міста і швидкістю вітру значною мірою відповідає закономірностям, що встановлені для джерел різного типу. Вплив цього чинника на концентрацію домішок в міському повітрі проявляється неоднозначно. З одного боку, посилення вітру сприяє розсіюванню домішок в атмосфері і визначає винесення всієї маси забруднення повітря за межі міста та очищення повітряного басейну. Водночас посилення вітру сприяє перемішуванню шарів повітря, в результаті якого забруднювальні домішки, що надійшли від високих джерел, опускаються в нижні шари повітря, відбувається зростання їхніх концентрацій біля земної поверхні [4].

Тому ми зробили спробу виявити залежність концентрацій домішок від напрямку та швидкості вітру [25, 26]. Проаналізувавши дані спостережень (Дод. Б., табл. Б.1-Б.8) було розраховано середню повторюваність випадків забруднення повітря за різних швидкостей вітру для основних ЗР за період 2011-2015 рр. [20, 26].

Дані графіків показують, що найбільша повторюваність концентрації забруднюючих речовин спостерігається при слабких швидкостях вітру 2-3 м/с, на всіх постах і у всі сезони. Проте, є деякі відмінності в розподілі концентрації домішок, з урахуванням швидкості вітру на окремих постах.

Так наприклад у січні на всіх постах повторюваність підвищеної концентрації  $\text{CO}_2$  на постах № 8 та № 16, 41 % та 51 % відповідно спостерігається при швидкості вітру 2-3 м/с, проте на ПЗС № 10 найбільша, відмічається при швидкості 1 м/с (38 %), а на посту № 18 при штилі повторюваність сягає 50 %. Слід зазначити що повторюваність забруднення при швидкості 6 м/с і більше на постах № 10,16,18 спостерігалися вкрай рідко, лише на ПЗС № 8 значення сягає 11 % (рис. 2.1).

У квітні на всіх постах максимальна концентрація забруднюючих речовин спостерігається при швидкості 2-3 м/с, значення коливаються від 42 % на ПЗС № 18 до 57 % на ПЗС № 8. На ПЗС № 8 та 10 при швидкості 1 м/с повторюваність складає 19 та 25 %, відповідно. Слід зазначити що на посту

№ 18 підвищена концентрація  $\text{CO}_2$  в 40 % випадків, спостерігається при штилі.

У липні, як і в інші місяці максимальна повторюваність спостерігається при швидкостях 2-3 м/с, а на посту № 18 при штилі. Проте на посту № 8 порівняно з квітнем, повторюваність підвищеної концентрації ЗР при швидкості 1м/с зросла майже вдвічі, а при швидкості 4-5 м/с навпаки, зменшилась майже втричі.

Аналізуючи гістограми за жовтень перш за все відмічається збільшення випадків забруднення при швидкості 6 м/с і більше на ПЗС № 8 – 12 % порівняно в квітнем та липнем. На посту № 18 середнє значення повторюваності за 5 років сягає максимального значення і складає 66 % при штилі, на інших постах в різні місяці ця величина коливалася в межах 40-50%.

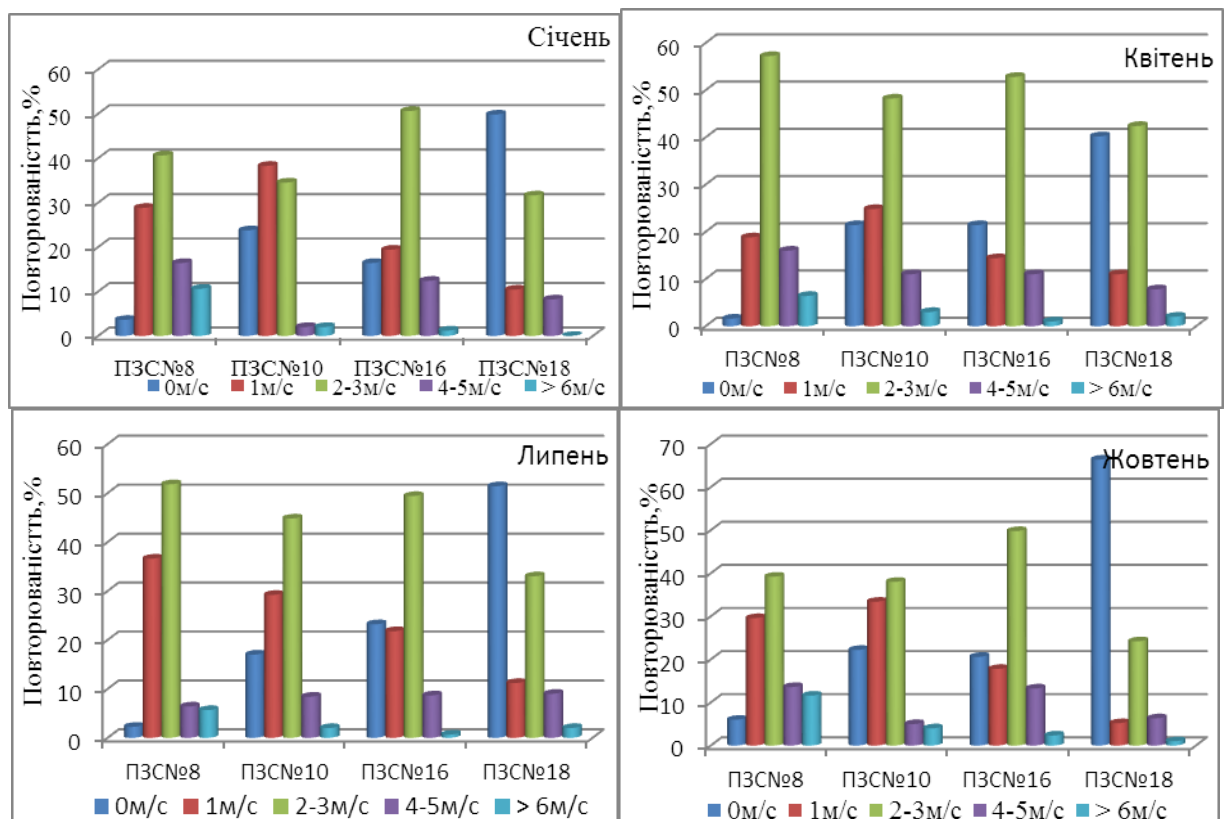


Рис. 2.1. Повторюваність випадків забруднення повітря  $\text{CO}_2$  (%) за різних швидкостей вітру у період 2011-2015 рр.

Важливою характеристикою вітру є його напрямок, тому за даними табл.Б.1-Б.8 додаток Б, було побудовано рози вітрів для кожного ПЗС для центральних місяців сезонів.

На ПЗС № 8 у січні максимальна повторюваність (20 %) спостерігається при північному напрямку, мінімальна відмічається при вітрах східної складової (7-10%), в решті випадків значення не перевищують 11-13 %, лише при західному – 18 %. Для ПЗС № 10 максимальна повторюваність (25 %) відмічається також при північних вітрах. Вітри південно-західної чверті мають повторюваність 5-9 %, при північно-східному, південно-східному та південно-західному напрямках повторюваність складає 17 %, 13 % та 15 %, відповідно (рис. 2.2).

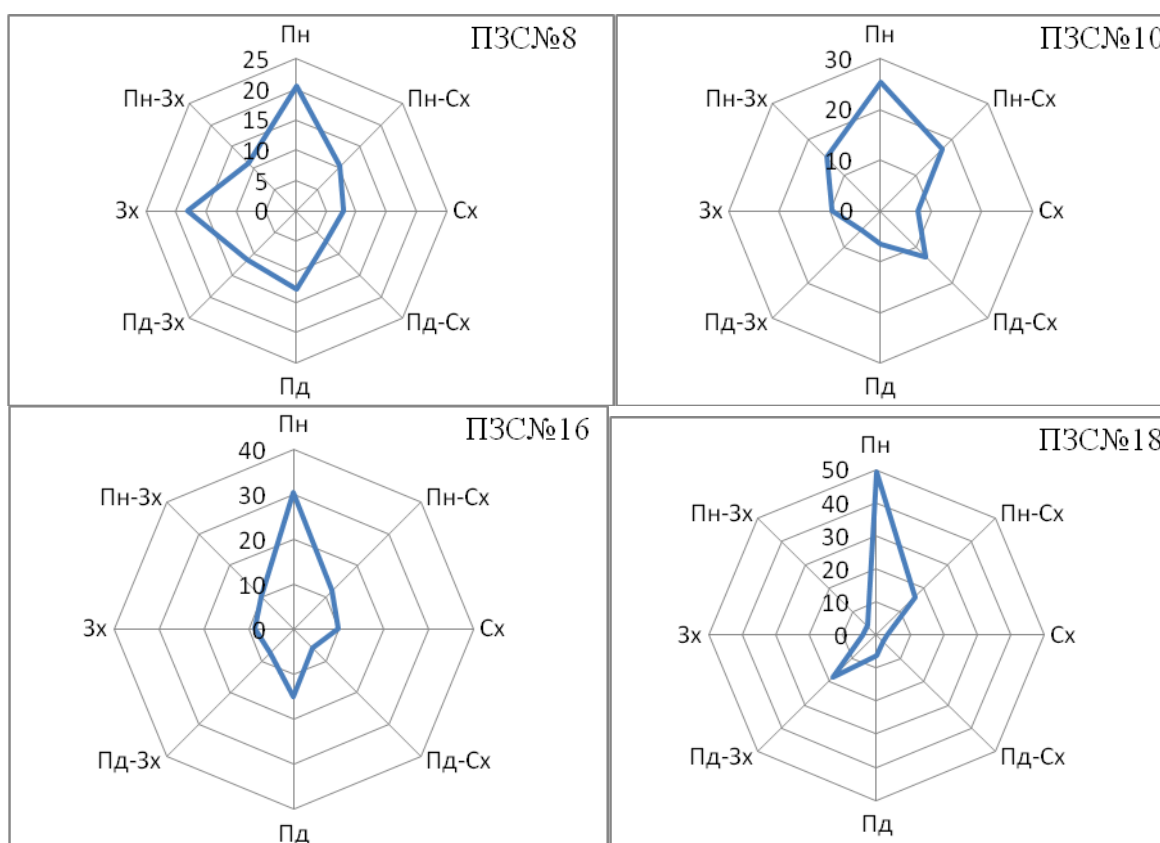


Рис. 2.2. Повторюваність випадків забруднення ( $\text{CO}_2$ ) повітря за різних напрямків вітру січень 2011-2015 рр.

Пост № 16 підвищена концентрація  $\text{CO}_2$ , також відмічається максимальною повторюваністю при північному напрямку вітру (30 %), вдвічі менші значення спостерігаються при південному напрямку (15 %), в решті випадків значення коливаються в межах 6-12 %. На ПЗС № 18 з повторюваністю 49 % переважає забруднення при північному напрямку вітру, майже втричі менше випадків забруднення при північно-східному та

південно-західному напрямках – 16 % та 18 %, відповідно. В решті випадках значення повторюваності не перевищує 6 %.

У квітні (рис. 2.3) на ПЗС № 8 найбільша повторюваність випадків забруднення спостерігається при південному напрямку вітру (23 %), а найменша при східному (6 %), за інших напрямків даний показник коливається в межах 10-14 %. Для поста № 10 в даний місяць характерно майже рівномірний розподіл (10-14 %) підвищеної концентрації  $\text{CO}_2$  за напрямками вітру з переважанням південно-східного румбу. Повторюваність забруднення на ПЗС № 16 має два максимуми, при північному та південному напрямках 23 % та 22 % відповідно. За інших напрямків дана характеристика не перевищує 14 %. Для ПЗС № 18 найбільш часто забруднення при вітрах

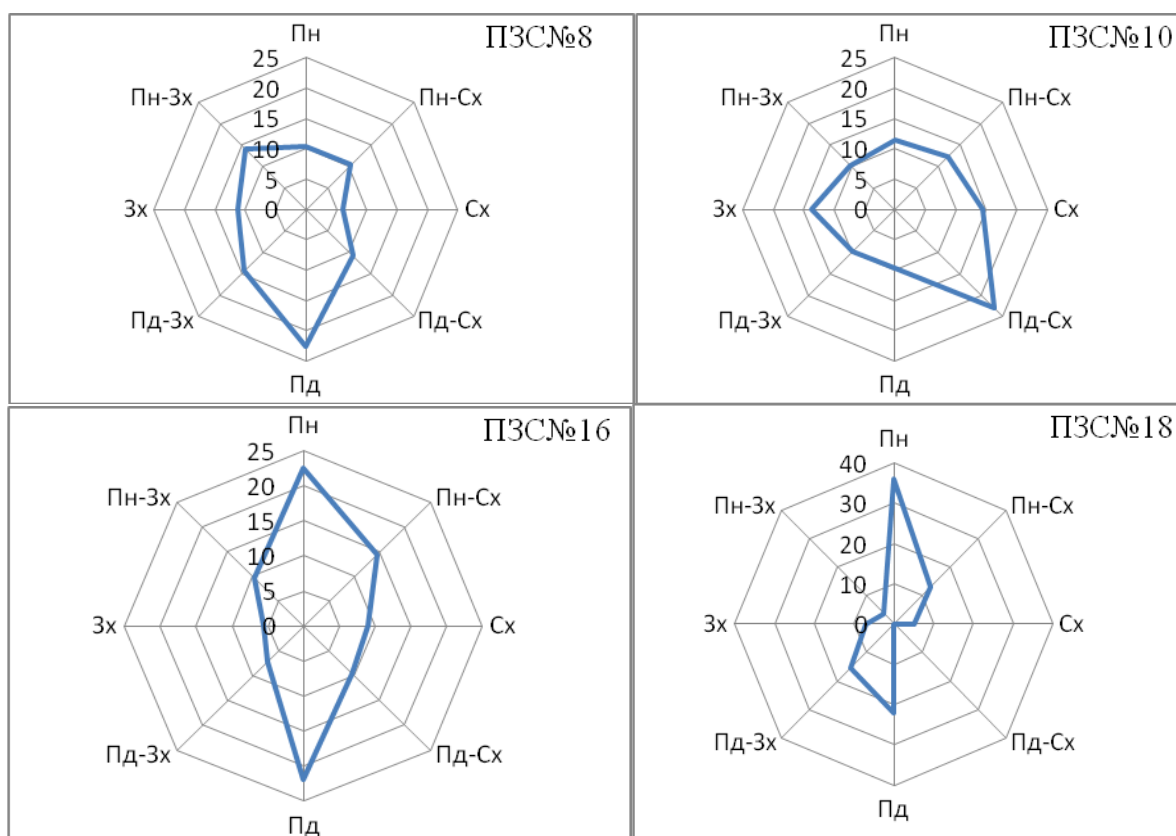


Рис. 2.3. Повторюваність випадків забруднення ( $\text{CO}_2$ ) повітря за різних напрямків вітру, квітень 2011-2015 рр.

північного напрямку – 36 %. При південному напрямку значення сягають 22 %. Мінімальна повторюваність – 4 % при вітрах північно-західного



напрямку. Слід зазначити, що при південно-східному напрямку випадків підвищеної концентрації  $\text{CO}_2$  не спостерігалось.

За період 2011-2015 рр. у липні на ПЗС № 8 максимальна повторюваність забруднення атмосферного повітря  $\text{CO}_2$  спостерігалася при північно-західному напрямку – 22 % (рис. 2.4). Також досить великих значень дана на характеристика набувала при північному, південному та західному напрямках 17 %, 18 %, відповідно. Лише в 5 % випадків при вітрах східного напрямку. Для посту № 10 характерно більш згладжений вид рози вітрів, значення коливаються від 10 % при північно-західному напрямку до 20 % - при південному. На ПЗС № 16 чітко відмічається переважання вітрів північної складової. Так при північному напрямку повторюваність сягає 38 %, в той час як при східному, південно-східному, південно-західному та

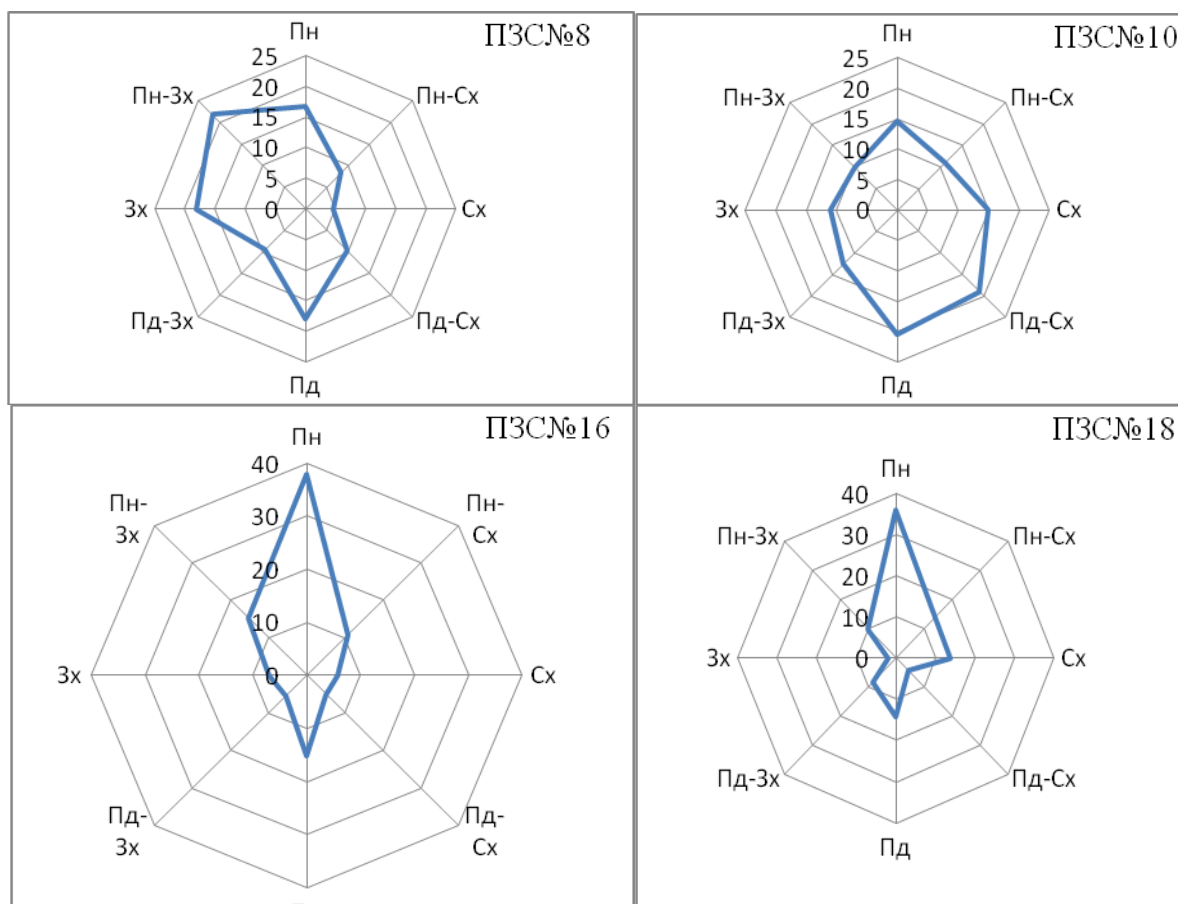


Рис. 2.4. Повторюваність випадків забруднення ( $\text{CO}_2$ ) повітря за різних напрямків вітру, липень 2011-2015 рр.

західному – 5-7 %. Для ПЗС № 18 ситуація майже ідентична що і для № 16, максимум при північному напрямку – 36 %, мінімум при західному – 2 %.

Лише при східному напрямку спостерігається збільшення повторюваності від 6 % до 14 %.

Для жовтня місяця (рис. 2.5) при дослідженні напрямків вітру, за яких спостерігалися підвищеної значення концентрації  $\text{CO}_2$  отримано: для ПЗС № 8 максимальна повторюваність 21 % при північно-західному напрямку, мінімальна при південно-східному – 6 %. На посту № 10 найбільших значень даний критерій набуває при вітрах північно-східної четверті – 16-22 %, при південних та західних напрямках повторюваність складає лише 9-7 %. При напрямках північної складової на посту № 16 як і на інших постах повторюваність випадків забруднення атмосферного повітря  $\text{CO}_2$  сягає свого максимального значення 23-37 %. При західних значення сягають лише 4-7 %.

Для ПЗС № 18 характерне переважання лише одного напрямку –

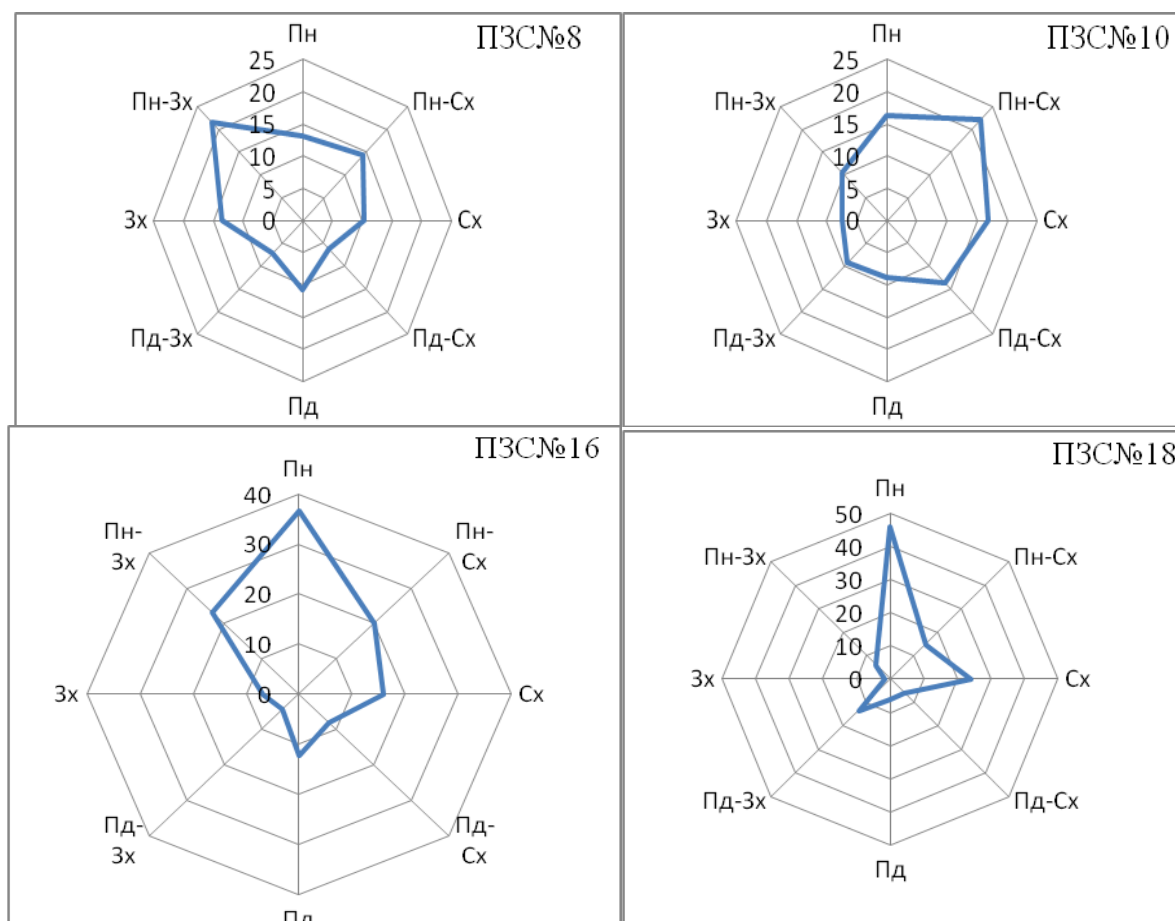


Рис. 2.5. Повторюваність випадків забруднення ( $\text{CO}_2$ ) повітря за різних напрямків вітру, жовтень 2011-2015 рр.

північного, при якому повторюваність складає 46 %. Мінімальне значення при західному напрямку – 2 %.

Аналізуючи дані отримані в січні для  $\text{NO}_2$  (рис. 2.6), видно, що найчастіше концентрації ЗР спостерігалися при швидкості 2-3 м/с на всіх постах окрім № 18, де максимальне накопичення відмічаються при штилі. На посту № 8 забруднення при швидкості 6м/с і більше спостерігалось в 11 % випадків, в той час як на інших постах при таких швидкостях концентрації  $\text{NO}_2$  не було виявлено, або це значення не перевищувало 1 %.

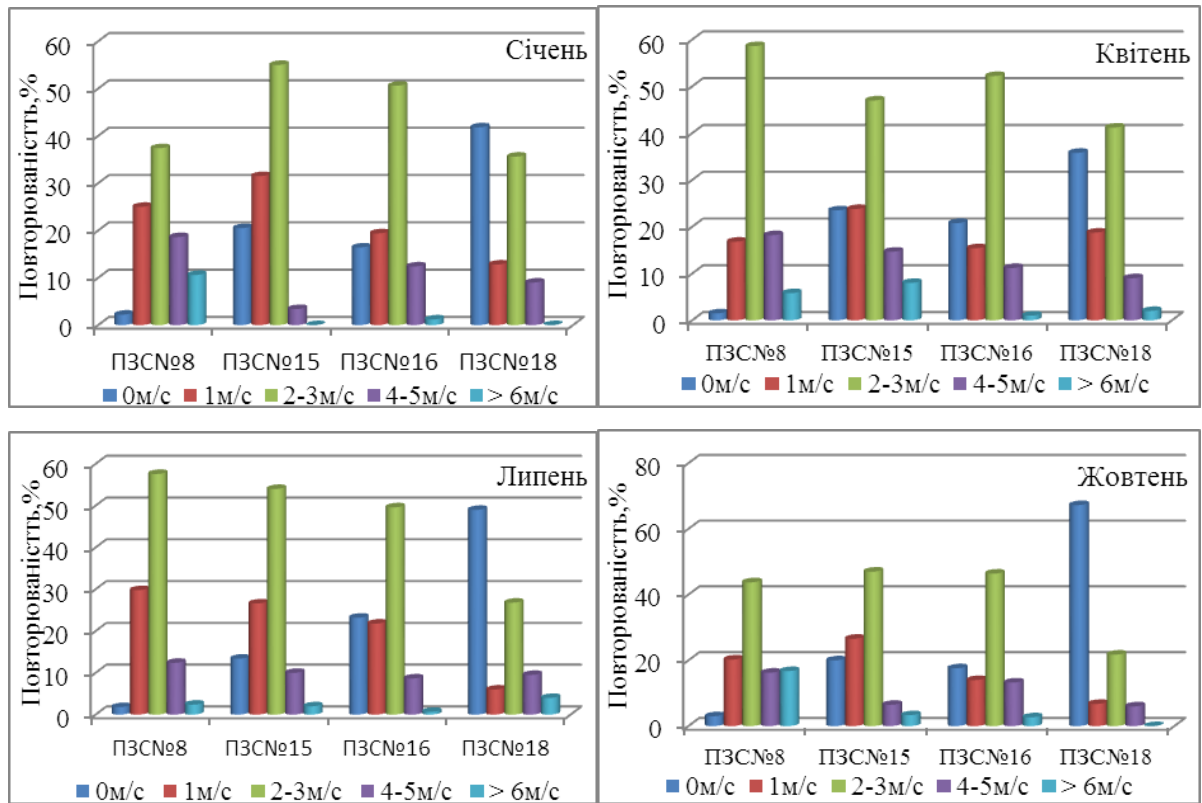


Рис. 2.6. Повторюваність випадків забруднення повітря  $\text{NO}_2$  (%) за різних швидкостей вітру в період 2011-2015 рр.

В квітні ситуація майже не змінюється, найчастіше (47-59 %) забруднення атмосферного повітря виявляється при швидкості 2-3м/с, що особливо помітно на ПЗС № 8. На ПЗС № 18 при штилі в 36 % випадків забруднення відмічається при штилі, при швидкості 6 м/с і більше – лише 2 %.

В липні спостерігається зростання повторюваності концентрації ЗР при швидкості 1м/с (22-30 %), лише на ПЗС № 18 – 6 %. Як завжди перевищення ГДК відмічаються при слабких вітрах 2-3 м/с – 50-28 %, а на посту № 18 при штилі.

Жовтень як і січень для ПЗС №8 характеризується збільшенням випадків забруднення при швидкостях 6м/с і більше – 17 %, найбільших значень набувають швидкості 2-3 м/с – 44 %. Для ПЗС № 15, № 16 підвищені концентрації ЗР в даний період відмічаються при слабких вітрах, з максимумом 47 % та 46 % при швидкості 2-3 м/с. На посту № 18 ситуація порівняно з іншими місяцями дещо відрізняється. Максимальні значення як і завжди при штилі – 67 %, проте при швидкості 1 м/с лише 7 %, тоді як в січні та квітні це значення сягало 13 % та 19 %.

Отримані дані для січня (рис.2.7) за напрямками вітру при яких спостерігається перевищення ГДК  $\text{NO}_2$  за період 2011-2015 рр. свідчать, що для ПЗС № 8 переважним є північний та західний напрямок, де повторюваність складає 18 % та 19 %, в інших випадках значення коливаються від 7 % при східних вітрах до 14 % при вітрах західної складової. На посту № 15 помітно переважання вітрів північної складової.

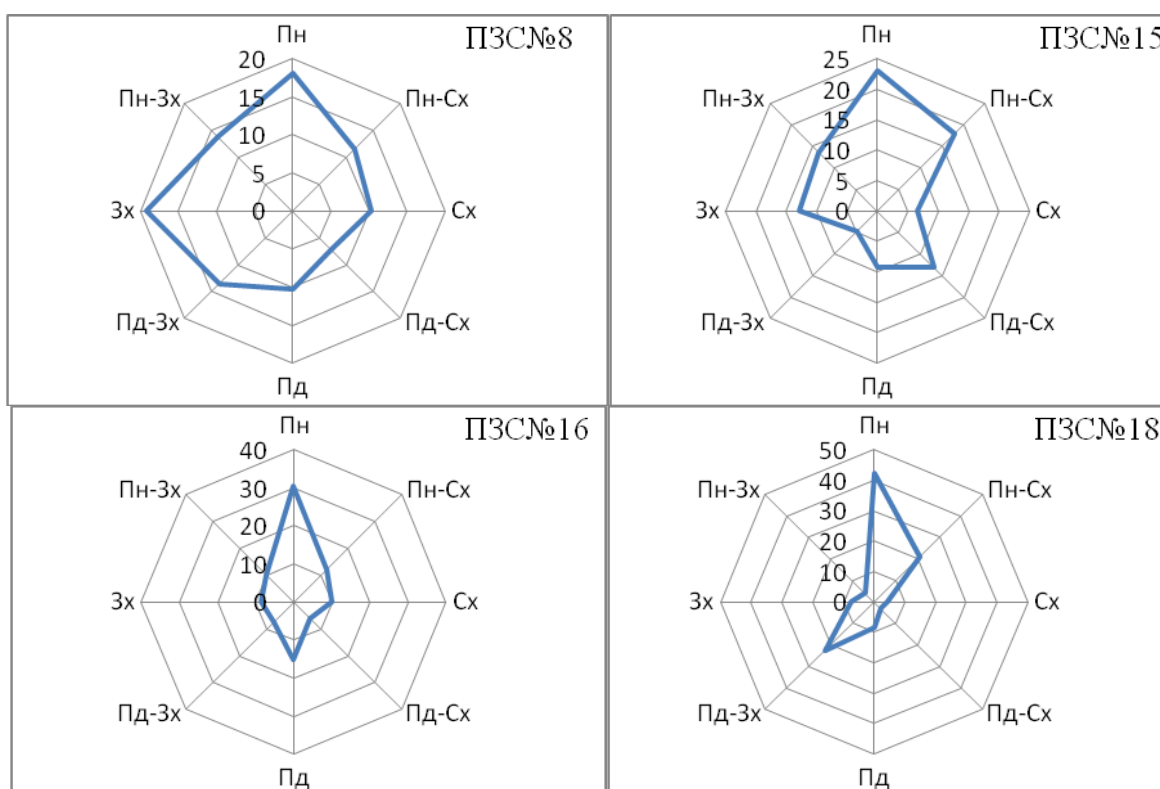


Рис. 2.7. Повторюваність випадків забруднення ( $\text{NO}_2$ ) повітря за різних напрямків вітру січень 2011-2015 рр.

Мінімальні значення відмічаються при південно-західних вітрах – 5 %. На посту № 16 найчастіше спостерігається перевищення ГДК  $\text{NO}_2$  при

переважанні вітру північного напрямку – 30 %. Для ПЗС № 18 при забрудненні панівним є північний вітер – 42 %. Однак при північно-східному та південно-західному повторюваність сягає понад 20 %.

У квітні (рис. 2.8) ситуація дещо змінюється, на посту № 8 забруднення спостерігається переважно при вітрах південно-західного напрямку – 28 %, при південному – 20 %, а найрідше при східних вітрах – 8 %. Слід зазначити що якщо у січні при північному напрямку повторюваність складала 18 %, то у квітні – лише 9 %, а при південному напрямку навпаки від 10 % значення зросло до 20 %. На ПЗС № 15 помітно переважання вітрів східної складової, значення коливаються від 16 % до 19 %. Найменшу повторюваність мають вітри північного напрямку, лише 5 % випадків. Отримані дані свідчать, що на посту № 16 найчастіше забруднення спостерігалось при південних румбах

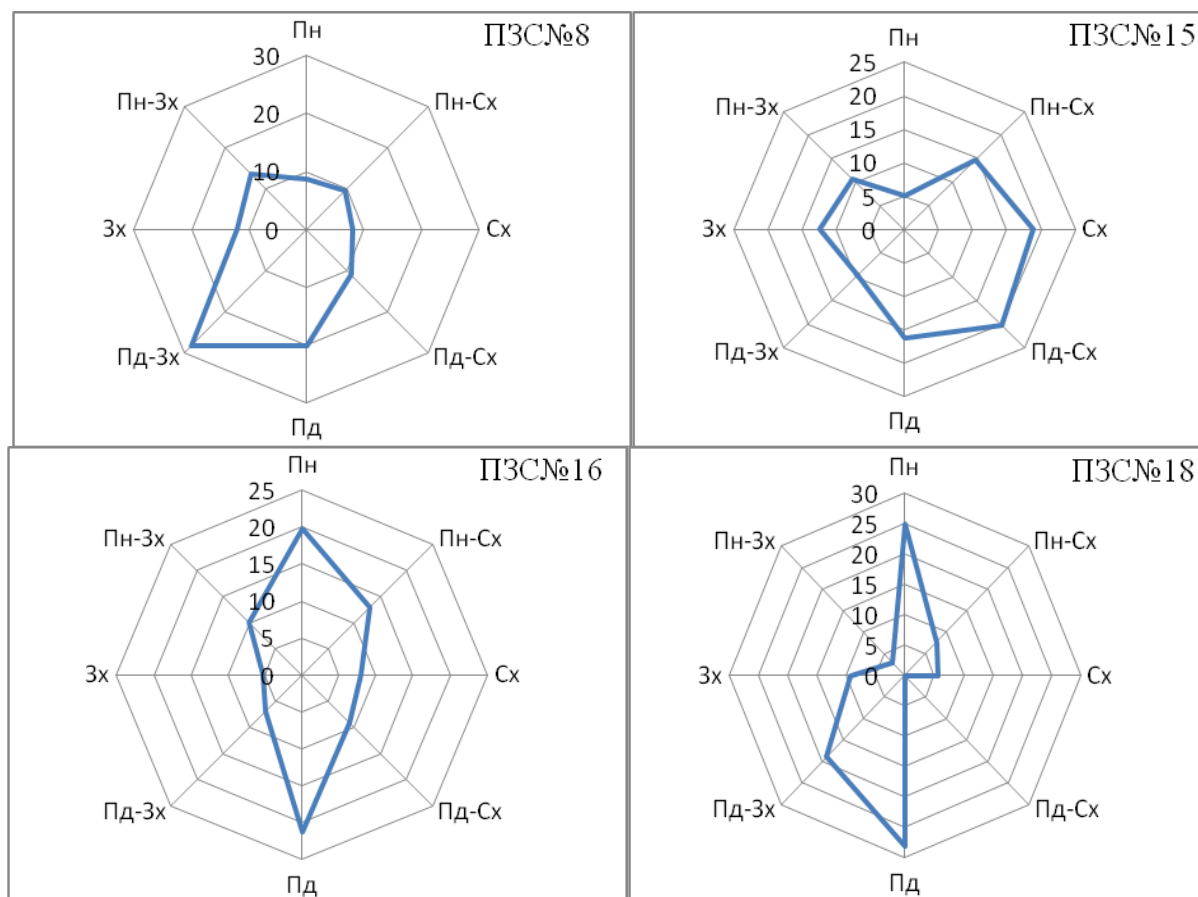


Рис. 2.8. Повторюваність випадків забруднення ( $\text{NO}_2$ ) повітря за різних напрямків вітру, квітень 2011-2015 рр.

– 21 %, проте при північних відмічалась повторюваність 20 %. В решті випадків значення повторюваності не перевищувало 13 %. Для ПЗС № 18

також відзначимо два максимуми, один при північному напрямку – 25 %, інший при південному – 28 %. При південно-західному напрямку повторюваність також сягало досить високих позначок, а саме 19 %. І лише в 3 % випадків забруднення спостерігалось при північно-західних напрямках.

Для липня місяця при дослідженні напрямків вітру (рис. 2.9), за яких спостерігалися підвищені значення концентрації  $\text{NO}_2$  отримано: для ПЗС № 8 максимальна повторюваність 19 % при північно-західному напрямку, мінімальна при південно-східному – 7 %. На посту № 15 найбільших значень даний критерій набуває при вітрах південно-східної четверті – 14-18 %, при північних та західних напрямках повторюваність складає 11-13 %. При напрямках північної складової на посту № 16 повторюваність випадків забруднення атмосферного повітря  $\text{NO}_2$  сягає свого максимального значення 38 %. При східних та західних значення сягають лише 5-6 %. Для ПЗС № 18 характерне переважання лише одного напрямку – північного, при якому

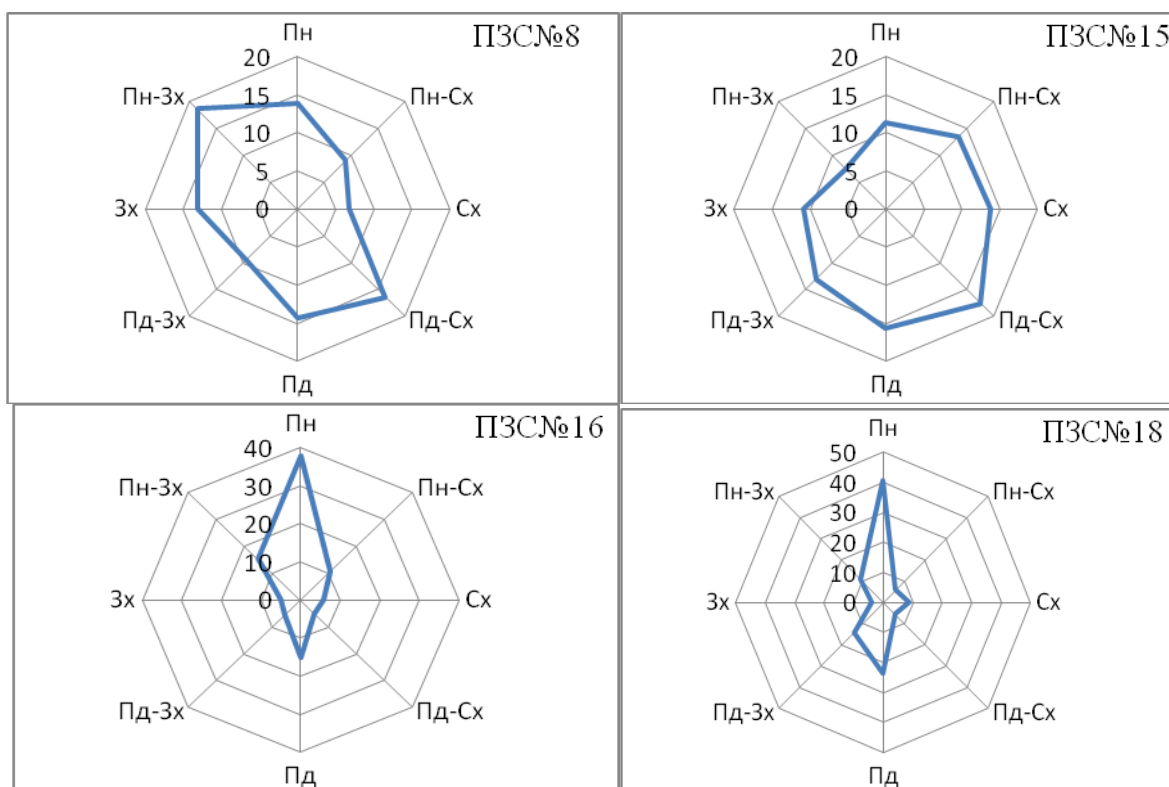


Рис. 2.9. Повторюваність випадків забруднення ( $\text{NO}_2$ ) повітря за різних напрямків вітру, липень 2011-2015 рр.

повторюваність складає 41 %. Вдвічі меншу повторюваність, проте також досить великих значень набувають вітри південного напрямку – 24 %. Мінімальне значення при західному напрямку – 4 %.

На ПЗС № 8 у жовтні (рис. 2.10) максимальна повторюваність (20 %) спостерігається при північно-західному напрямку, мінімальна відмічається при вітрах південно-східного сектору – 7 %. В решті випадків значення не перевищують 11-14 %, лише при північно-східному – 18 %. Для ПЗС № 15 максимальна повторюваність (25 %) відмічається при північно-східних вітрах. Вітри південно-західної чверті мають повторюваність 7-8 %, при північному, південно-східному та південно-західному напрямках повторюваність не перевищує 13 %.

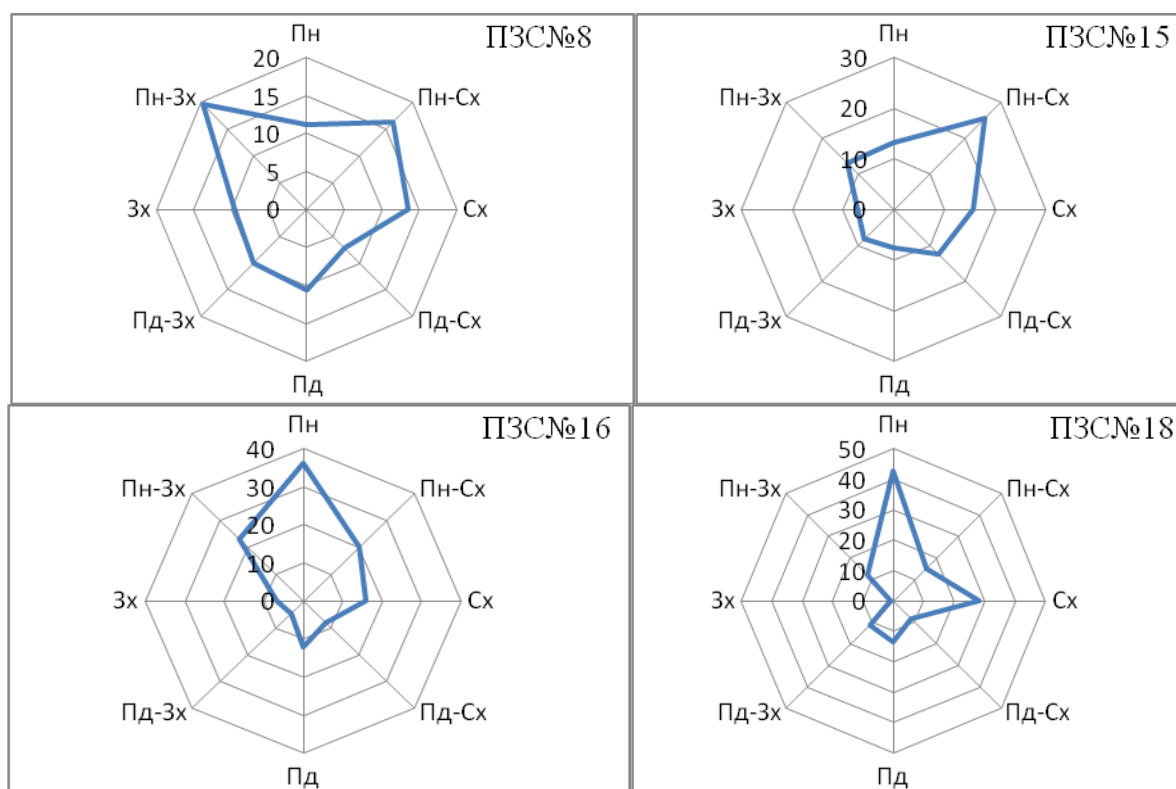


Рис. 2.10 Повторюваність випадків забруднення ( $\text{NO}_2$ ) повітря за різних напрямків вітру, жовтень 2011-2015 рр.

Пост № 16 характеризується підвищеною концентрацією  $\text{NO}_2$ , при північному напрямку вітру (36 %), втричі менші значення спостерігаються при південному напрямку (12 %), значну повторюваність (20 %) мають вітри північно-східного напрямку. На ПЗС № 18 з повторюваністю 43 % переважає

забруднення при північному напрямку вітру, майже втричі менше випадків забруднення при північно-східному – 15 %. При вітрах східного напрямку повторюваність сягає 28 %, а найменше значення в 1 % відмічається при західних вітрах.

Розглядаючи гістограми отримані для повторюваності випадків забруднення повітря пилом (%) за різних швидкостей вітру (рис. 2.11) у січні на постах № 8, № 10 та № 16, 41 %, 43 % та 51 %, відповідно, спостерігається при швидкості вітру 2-3 м/с, а на посту № 18 при штилі повторюваність сягає 50 %. Слід зазначити що повторюваність забруднення при швидкості 6 м/с і більше на постах № 10,16,18 спостерігалися вкрай рідко, лише на ПЗС № 8 значення сягає 11 %. У квітні на всіх постах максимальна концентрація забруднюючих речовин спостерігається при швидкості 2-3 м/с, значення коливаються від 42 % на ПЗС № 18 до 57 % на ПЗС № 8. На ПЗС №8 та 10 при швидкості 1 м/с повторюваність складає 19 та 25 %, відповідно.

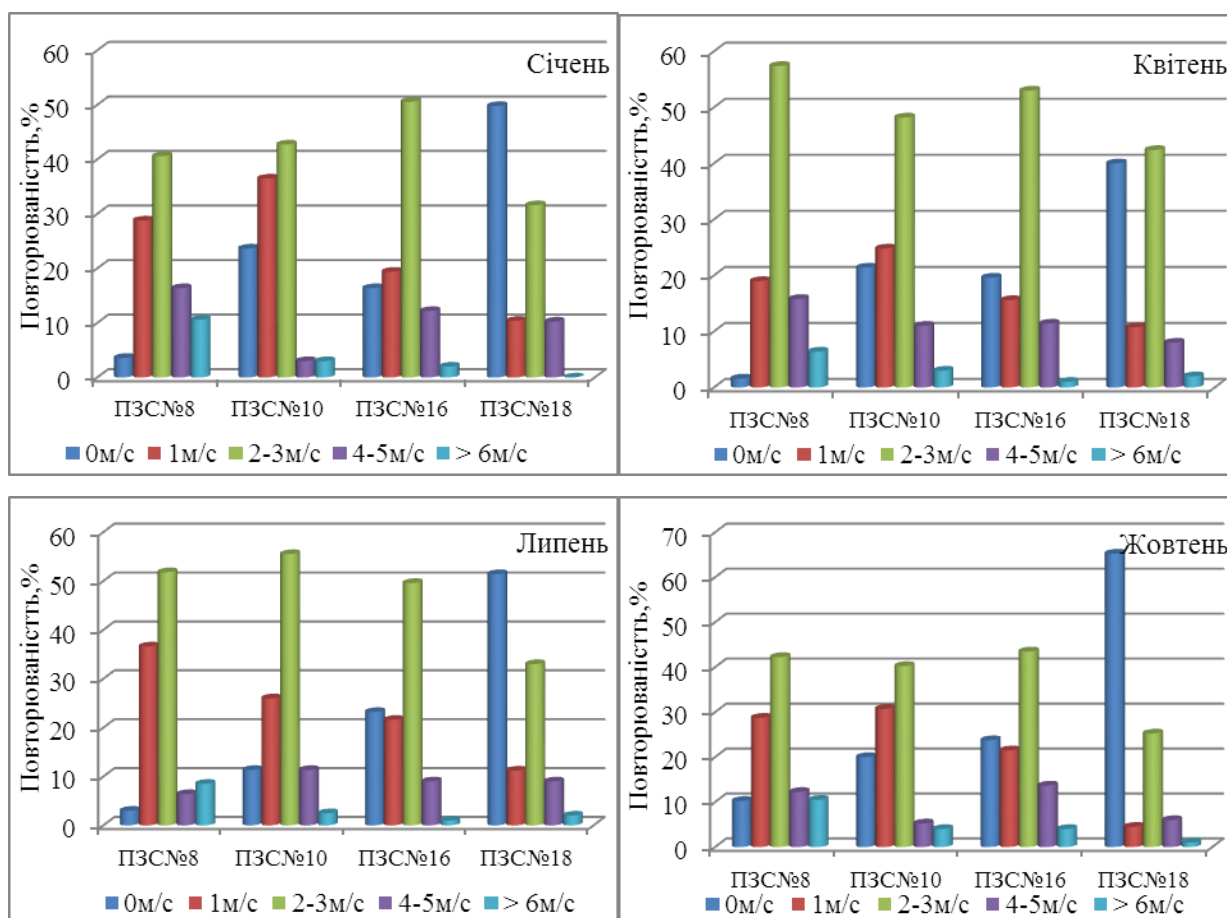


Рис. 2.11. Повторюваність випадків забруднення повітря пилом (%) за різних швидкостей вітру за період 2011-2015 рр.



Слід зазначити що на посту № 18 підвищена концентрація пилу в 40 % випадків, спостерігається при штилі, на посту № 10 та № 16 вона складає 21 % та 20 %, відповідно.

У липні , як і в інші місяці максимальна повторюваність спостерігається при швидкостях 2-3 м/с, а на посту № 18 при штилі. Проте на посту № 8 порівняно з квітнем, повторюваність підвищеної концентрації ЗР при швидкості 1 м/с зросла майже вдвічі, а при швидкості 4-5 м/с, навпаки, зменшилась майже втричі.

Аналізуючи гістограми за жовтень перш за все відмічається збільшення випадків забруднення при швидкості 6м/с і більше на ПЗС № 8 – 11 % порівняно в квітнем та липнем. На посту № 18 середнє значення повторюваності за 5 років сягає максимального значення і складає 65 % при штилі, на інших постах в різні місяці ця величина коливалася в межах 40-51 %. Загалом на постах № 8, № 10 та № 16 найчастіше забруднення атмосферного повітря пилом спостерігалось при швидкостях 2-3 м/с – 40-44 %.

У січні (рис. 2.12) на ПЗС № 8 максимальна повторюваність (21 %) спостерігається при північному напрямку, мінімальна відмічається при вітрах.

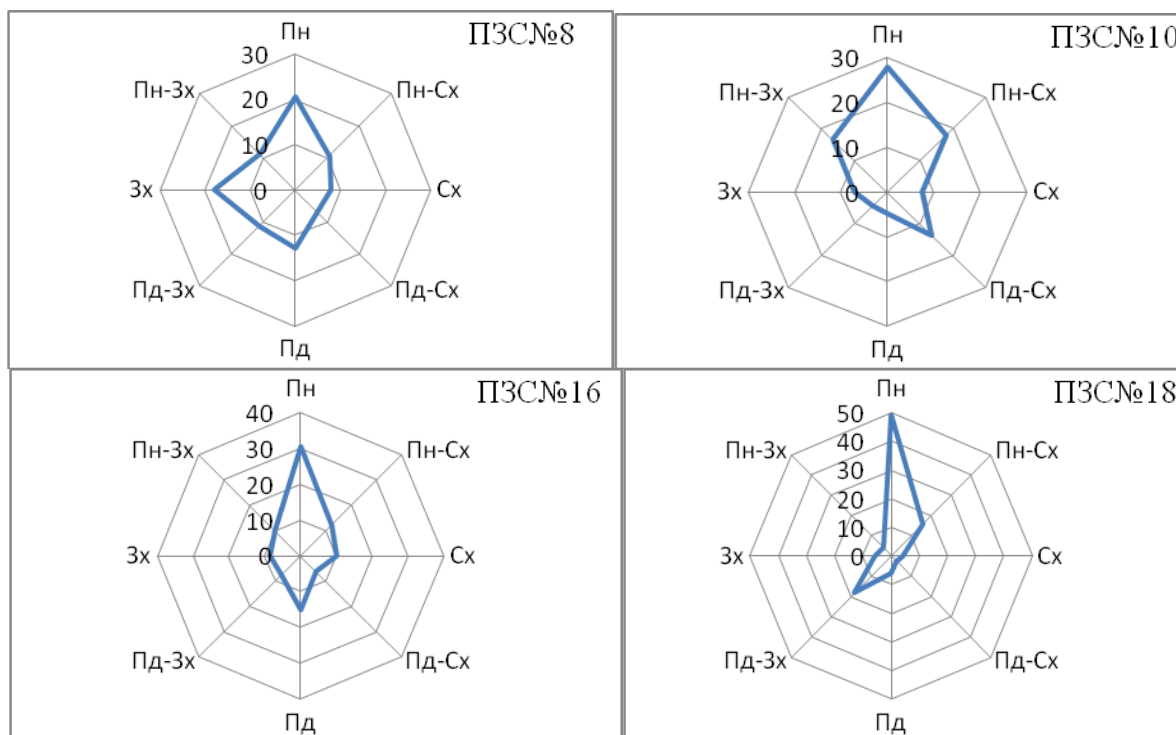


Рис. 2.12. Повторюваність (%) випадків забруднення пилом повітря за різних напрямків вітру, січень 2011-2015 рр.

східної складової (7-11 %), в решті випадків значення не перевищують 11-13 %, лише при західному румбі – 18 %. Для ПЗС № 10 максимальна повторюваність (28 %) відмічається також при північних вітрах. Вітри південно-західної чверті мають повторюваність 5-7 %, при північно-східному, південно-східному та північно-західному напрямках повторюваність складає 18 %, 14 % та 17 %, відповідно.

Підвищена концентрація пилу, на посту № 16 також відмічається максимальною повторюваністю при північному напрямку вітру (30 %), вдвічі менші значення спостерігаються при південному напрямку (15 %), в решті випадків значення коливаються в межах 6-12 %. На ПЗС № 18 з повторюваністю 49 % переважає забруднення при північному напрямку вітру, втричі менше випадків забруднення при північно-східному та південно-західному напрямках – 16 % та 18 %, відповідно. В решті випадках значення повторюваності не перевищує 7 %.

У квітні на ПЗС № 8 найбільша повторюваність випадків забруднення спостерігається при південному напрямку вітру (22 %), а найменша при східному (8 %), за інших напрямків даний показник коливається в межах 11-15 %. Для поста № 10 в даний місяць характерно майже рівномірний розподіл (10-14 %) підвищеної концентрації пилу за напрямками вітру, з переважанням південно-східного румбу (23 %). Повторюваність забруднення на ПЗС № 16 має два максимуми, при північному та південному напрямках 23 % та 22 %, відповідно. За інших напрямків дана характеристика не перевищує 15 %. Для ПЗС № 18 найбільш часто характерно забруднення при вітрах північного напрямку – 36 %. При південному напрямку значення сягають 22 %. Мінімальна повторюваність – 5 % при вітрах північно-західного напрямку. При південно-східному напрямку випадків підвищеної концентрації пилу не спостерігалось (рис 2.13).

Для липня місяця при дослідженні напрямків вітру (рис.2.14), за яких спостерігалися підвищеної значення концентрації пилу отримано: для ПЗС № 8 максимальна повторюваність 23 % при південному напрямку, мінімальна при східному – 5 %. На посту № 10 найбільших значень даний критерій набуває знову при вітрах північного напрямку – 26 %, при південному напрямку – 20 %, в інших випадках повторюваність складає 11-16 %. При напрямках північної складової на посту № 16 повторюваність

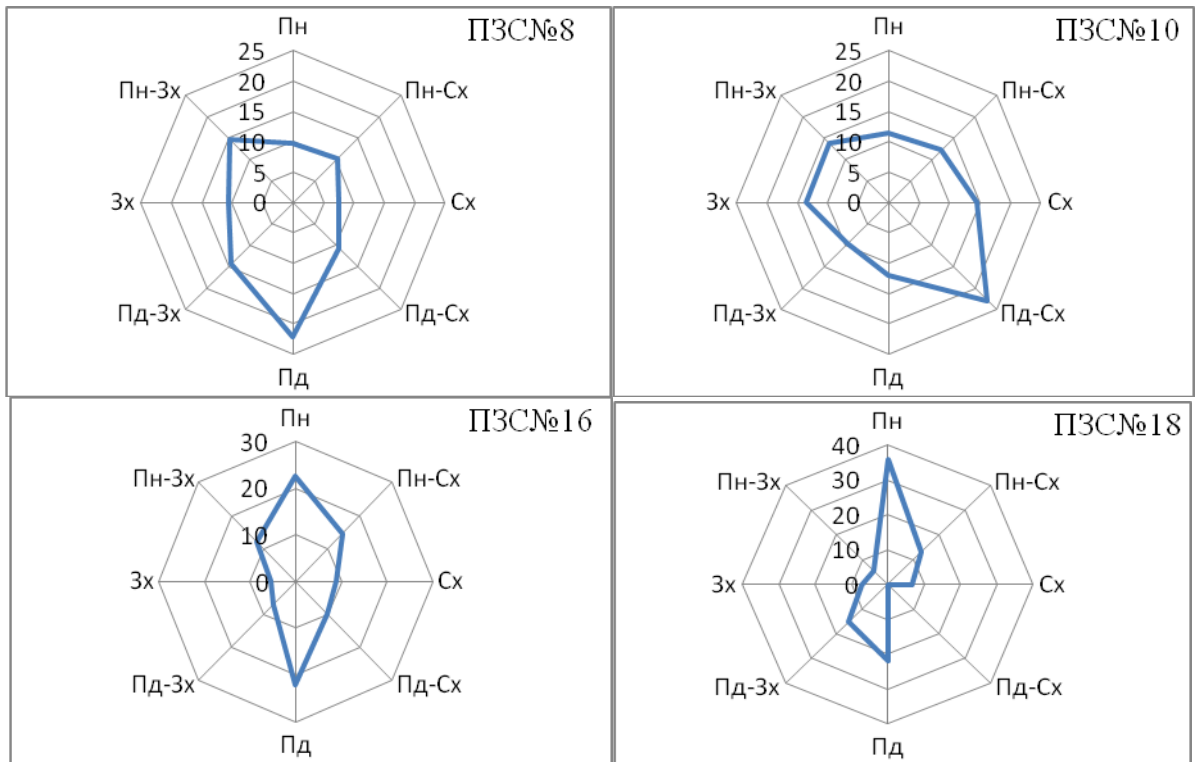


Рис. 2.13. Повторюваність випадків забруднення пилом повітря за різних напрямків вітру, квітень 2011-2015 рр.

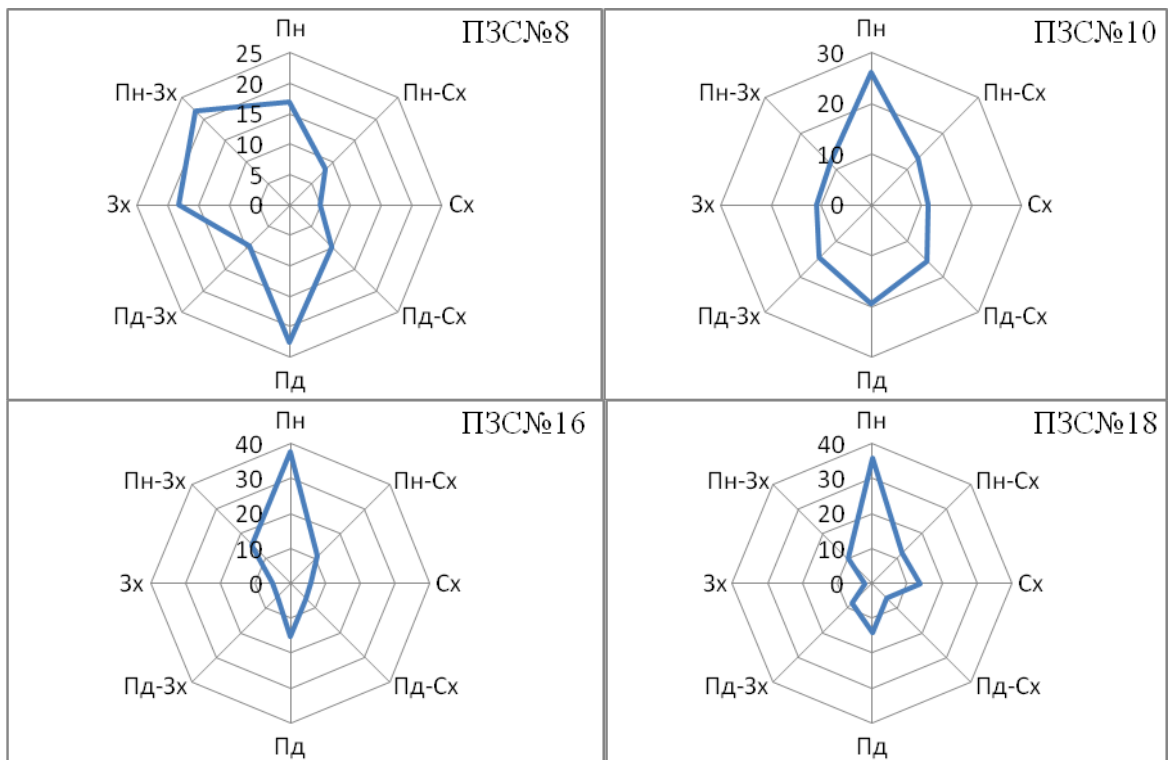


Рис. 2.14. Повторюваність випадків забруднення пилом повітря за різних напрямків вітру, липень 2011-2015 рр.

випадків забруднення атмосферного повітря пилом сягає свого максимального значення 38 %. При східних та західних значення сягають лише 5-6 %. Для ПЗС № 18 характерне переважання лише одного напрямку – північного, при якому повторюваність складає 36 %. Втричі меншу повторюваність, проте також досить великих значень набувають вітри східної складової 12-14 % Мінімальне значення при західному напрямку – 2 %.

В жовтні (рис. 2.15) аналіз повторюваність випадків забруднення пилом повітря за різних напрямків вітру дав наступні результати. На посту № 8 з максимальним значенням в 23 % переважають вітри північно-західного напрямку, при північних, північно-східних, південних та західних дана величина сягає 12-15 %, за інших напрямків 6-8 %. Досить згладжений вигляд має роза вітрів для ПЗС № 10, найменше значення 9 % для південно-західного напрямку, найбільше для північного та північно-східного – 18 % та 19 %. Пости № 16 та 18 % характеризуються помітним переважанням

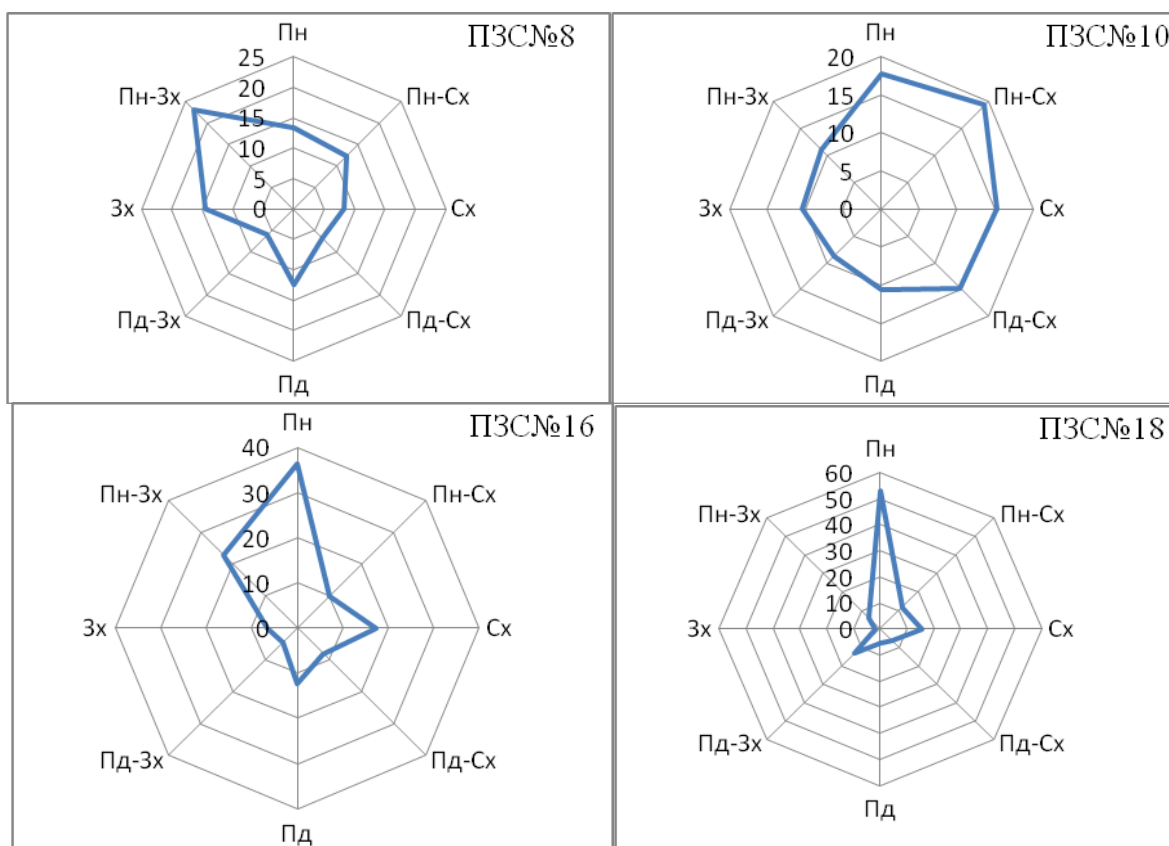


Рис. 2.15. Повторюваність випадків забруднення пилом повітря за різних напрямків вітру, жовтень 2011-2015 рр.

забруднення при північному напрямку – 36 % та 53 %. Мінімальні значення повторюваності відмічаються при вітрах західної складової – 2-7 %. Проте на ПЗС № 16 при північно-західному вітрі забруднення пилом спостерігається в 23 % випадків.

Аналізуючи дані отримані для січня (рис. 2.16), видно, що в період 2011-2015 рр. найчастіше (43 %) концентрації ЗР спостерігалися при швидкості 2-3 м/с на всіх постах окрім № 18, де максимальне накопичення відмічаються при штилі і сягають 45%. На посту № 8 забруднення при швидкості 6 м/с і більше спостерігалось в 11 % випадків, в той час як на інших постах при таких швидкостях концентрації  $SO_2$  не було виявлено, або це значення не перевищувало 2 %.

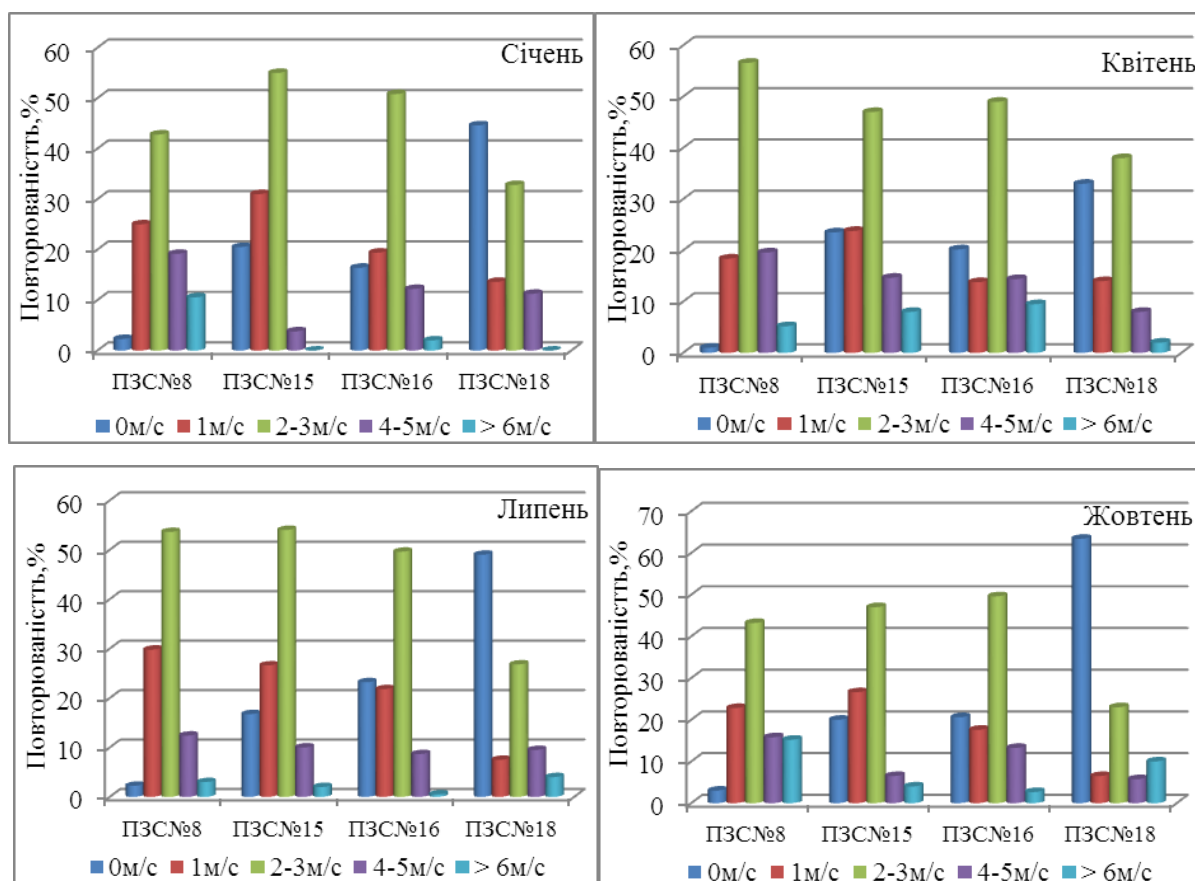


Рис. 2.16 Повторюваність випадків забруднення повітря  $SO_2$  (%) за різних швидкостей вітру для основних ЗР 2011-2015 рр.

В квітні ситуація майже не змінюється, найчастіше (38-57 %) забруднення атмосферного повітря на постах № 8, № 15 та № 16 виявляється

при швидкості 2-3 м/с На ПЗС № 18 в 33 % випадків забруднення відмічається при штилі. При швидкості 6 м/с і більше на ПЗС № 16 повторюваність сягає 10 %, а на посту № 15 - 8 %

В липні спостерігається зростання повторюваності концентрації ЗР при швидкості 1 м/с (22-30 %), лише на ПЗС № 18 - 8 %. Як завжди перевищення ГДК відмічаються при слабких вітрах 2-3 м/с – 50-54 %, а на посту № 18 при штилі – 49 %. Також відмітимо що на ПЗС № 16 при швидкості 6 м/с і більше повторюваність складає всього 1%, тоді як в квітні – 10 %.

Жовтень як і січень для ПЗС № 8 характеризується збільшенням випадків забруднення при швидкостях 6 м/с і більше – 15 %, найбільших значень в 43 % випадках. набувають швидкості 2-3 м/с. Для ПЗС № 15, № 16 підвищені концентрації ЗР в даний період відмічаються при слабких вітрах, з максимумом 47 % та 50 % при швидкості 2-3 м/с. На посту № 18 ситуація порівняно з іншими місяцями дещо відрізняється. Максимальні значення як і завжди при штилі – 63 %, проте при швидкості 6 м/с і більше повторюваність сягає 10 %.

Отримані дані для січня за напрямками вітру при яких спостерігається перевищення ГДК SO<sub>2</sub> за період 2011-2015 рр. свідчать, що для ПЗС № 8 переважним є північний та західний напрямки, де повторюваність складає 17 %, в інших випадках значення коливаються від 7 % при південно-східних вітрах до 13 % при вітрах західної складової. На посту № 15 помітно переважання вітрів північної складової (25 %). Мінімальні значення відмічаються при південно-західних вітрах – 5 %. На посту № 16 найчастіше спостерігається перевищення ГДК SO<sub>2</sub> при переважанні вітру північного напрямку – 30 %. Для ПЗС № 18 при забрудненні панівним є північний вітер – 45 %. Однак при північно-східному та південно-західному повторюваність сягає 18-19 % (рис. 2.17).

У квітні ( рис. 2.18) ситуація дещо змінюється, на посту № 8 забруднення спостерігається переважно при вітрах південного напрямку – 19 %, при північно-західному – 17 %, а найрідше при східних вітрах – 6 %. На ПЗС № 15 помітно переважання вітрів східної складової, значення коливаються від 15 % до 20 %. Найменшу повторюваність мають вітри північного напрямку, лише 5 % випадків. Отримані дані свідчать що на посту № 16 найчастіше забруднення спостерігалось при південних напрямках

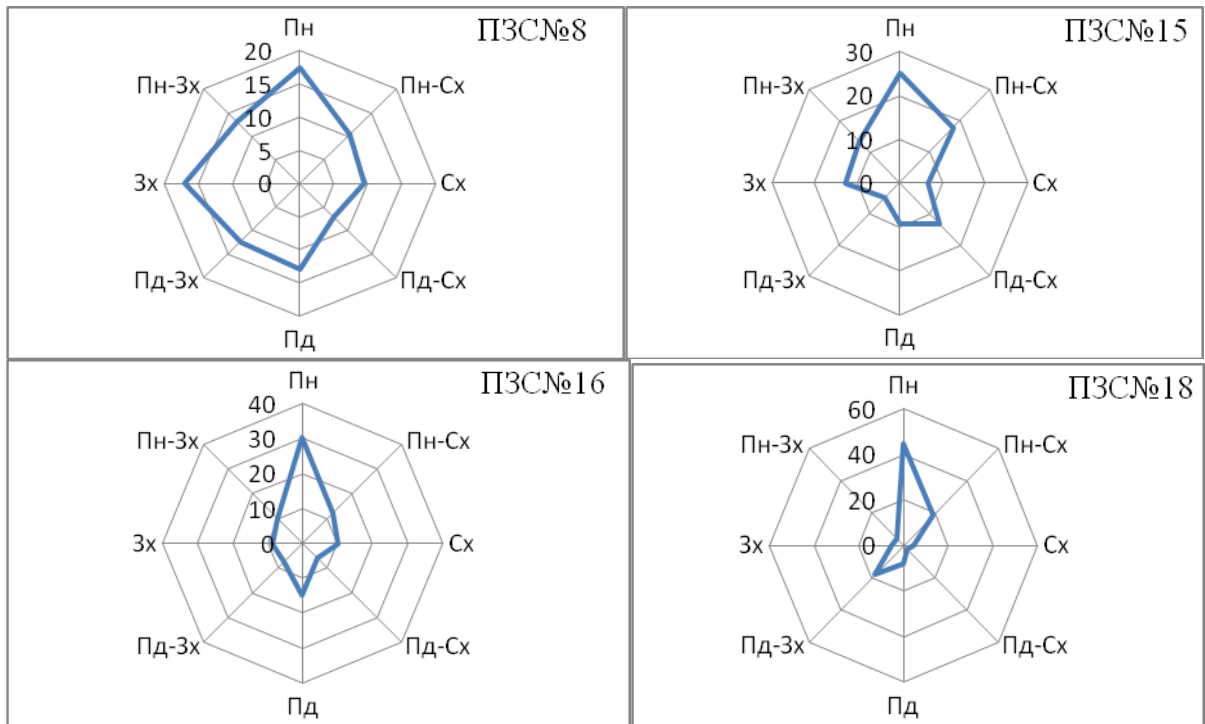


Рис. 2.17. Повторюваність випадків забруднення ( $\text{SO}_2$ ) повітря за різних напрямків вітру, січень 2011-2015 рр.

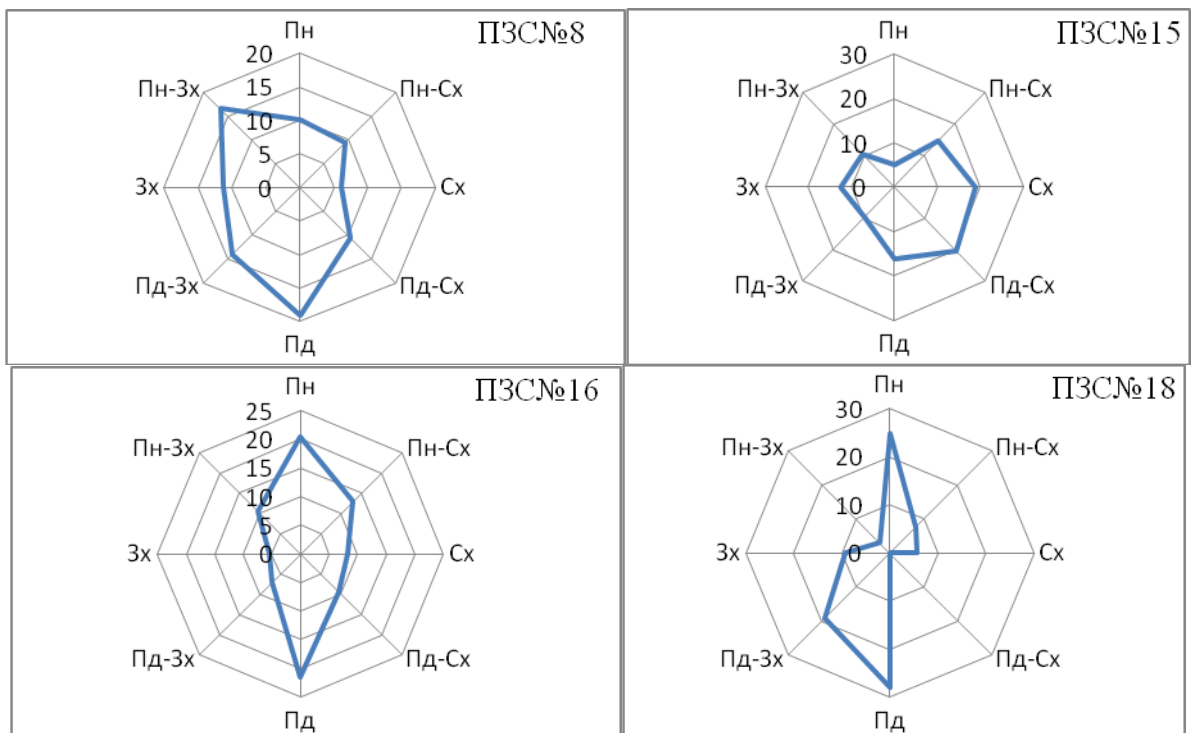


Рис. 2.18. Повторюваність випадків забруднення ( $\text{SO}_2$ ) повітря за різних напрямків вітру, квітень 2011-2015 рр.

вітру – 21 %, проте при північних відмічалась повторюваність 20 %. В решті випадків значення повторюваності не перевищувало 13 %. Для ПЗС № 18 також відзначимо два максимуми, один при північному напрямку – 25 %, інший при південному – 28 %. При південно-західному напрямку повторюваність також сягало досить високих позначок, а саме 19 %. І лише в 3 % випадків забруднення спостерігалось при північно-західних напрямках. Слід зазначити що перевищення ГДК  $\text{SO}_2$  при південно-східному напрямку не зазначалось.

Для липня місяця при дослідженні напрямків вітру (рис.2.19), за яких спостерігалися підвищеної значення концентрації  $\text{SO}_2$  отримано: для ПЗС № 8 максимальна повторюваність 19 % при північно-західному напрямку, мінімальна при південно-східному – 7 %. На посту № 15 найбільших значень даний критерій набуває при вітрах південно-східної четверті – 12-18 %, при північних та західних напрямках повторюваність складає 11-13 %. При напрямках північної складової на посту № 16 повторюваність випадків

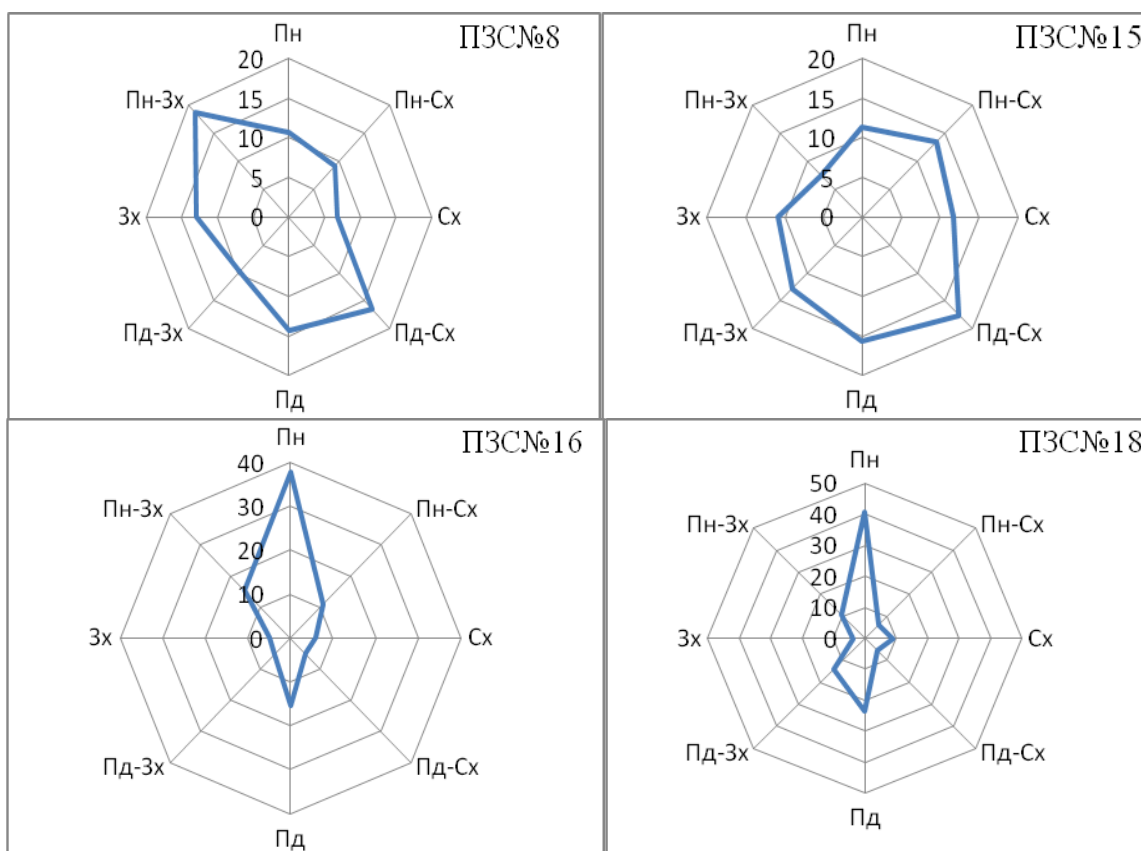


Рис. 2.19. Повторюваність випадків забруднення ( $\text{SO}_2$ ) повітря за різних напрямків вітру липень, 2011-2015 рр.



забруднення атмосферного повітря  $\text{SO}_2$  сягає свого максимального значення 38 %. При східних та західних значення сягають лише 5-6 %. Для ПЗС № 18 характерне переважання лише одного напрямку – північного, при якому повторюваність складає 41 %. Вдвічі меншу повторюваність, проте також досить великих значень набувають вітри південного напрямку – 23 %. Мінімальне значення при західному напрямку – 4 %.

На ПЗС № 8 у жовтні (рис.2.20) максимальна повторюваність (20 %) спостерігається при північно-західному напрямку, мінімальна відмічається при вітрах південно-східного сектору – 7 %. В решті випадків значення не перевищують 14 %, лише при північно-східному – 16%. Для ПЗС № 15 максимальна повторюваність (25 %) відмічається при північно-східних вітрах. Вітри південно-західної чверті мають повторюваність 7-8 %, при північному, південно-східному та південно-західному напрямках повторюваність не перевищує 13 %.

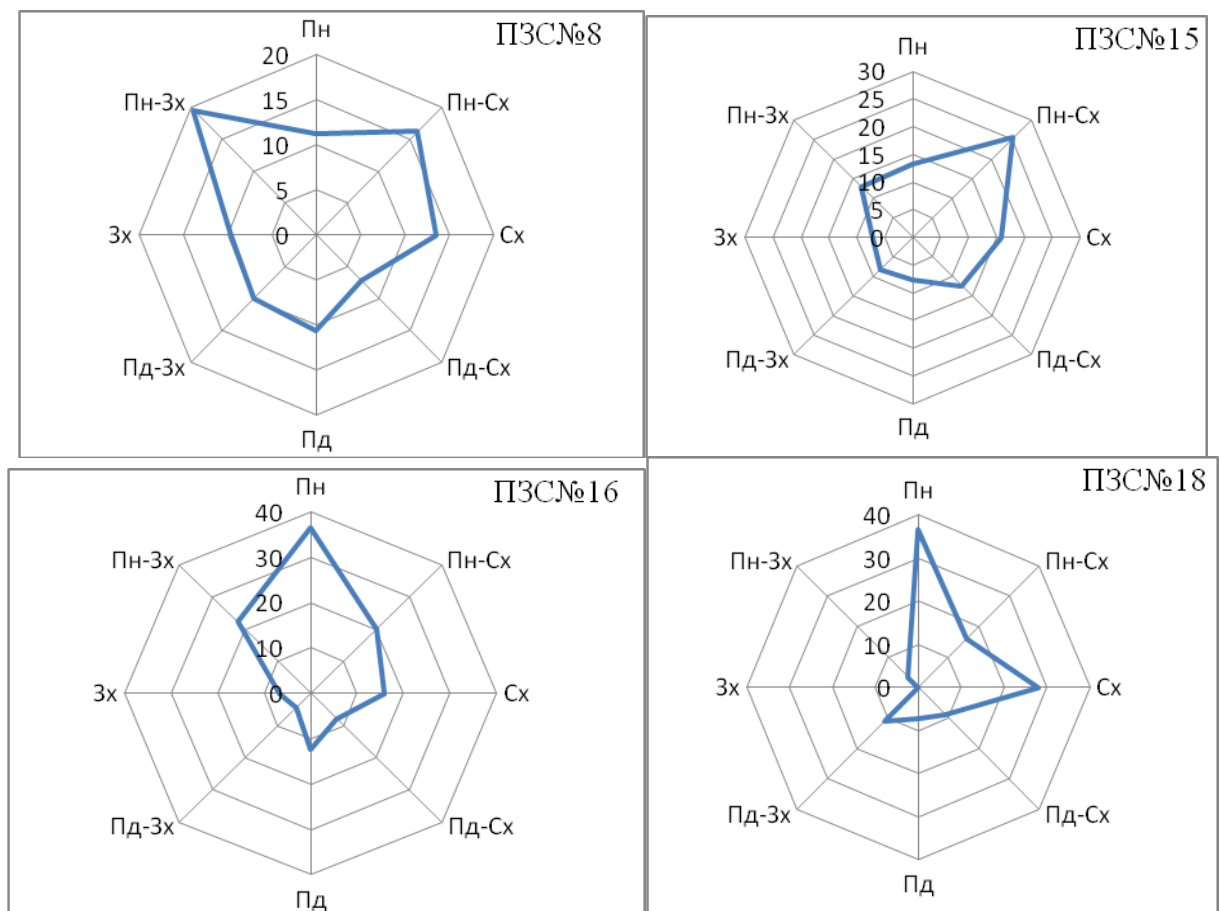


Рис. 2.20. Повторюваність випадків забруднення ( $\text{SO}_2$ ) повітря за різних напрямків вітру, жовтень 2011-2015 рр.

Пост № 16 характеризується підвищеною концентрацією  $SO_2$ , при північному напрямку вітру (36 %), втричі менші значення спостерігаються при південному напрямку (12 %), значну повторюваність (20 %) мають вітри північно-східного напрямку. На ПЗС № 18 з повторюваністю 37 % переважає забруднення при північному напрямку вітру, вдвічі менше випадків забруднення при північно-східному – 16 %. При вітрах східного напрямку повторюваність сягає 28 %, а найменше значення в 4 % відмічається при північно-західних вітрах. При вітрах західного напрямку накопичення  $SO_2$  не постерігалось.

Отже, особливості розташування Одеси на географічній карті, близькість морського узбережжя та щільної міської забудови створює умови для зміни швидкості і напрямку вітру, а також стає причиною утворення місцевих циркуляцій, які в свою чергу суттєво впливають на забруднення міського повітря.

## 2.2 Аналіз типів синоптичних процесів, що сприяють накопиченню шкідливих домішок над Одесою

Синоптична ситуація являє собою складну комплексну характеристику, яка відображає основні риси метеорологічних та аерологічних умов в усьому граничному шарі атмосфери [11]. Загальна закономірність полягає у наступному: підвищене забруднення атмосфери спостерігається при антициклонічному баричному полі, при тривалому стаціонуванні блокуючих антициклонів [35] і в теплих секторах циклонів.

Загальні властивості атмосферної циркуляції часто описують за допомогою різноманітних індексів, серед яких найбільш відомі індекси циркуляції К.-Г. Россбі [34] та О.М. Блінової [5]. Дещо пізніше О.Л. Кац [9] розробив типізацію, а також індекси зональної та меридіональної циркуляції. М.А. Петросянц та Д.Ю. Гущина [18] запропонували новий видозмінений індекс циркуляції, який дуже близький до індексу О.М. Блінової. Також в даний час запропоновано декілька класифікацій атмосферних процесів [7, 33].

Для дослідження циркуляції атмосфери над Північно-Західним Причорномор'ям, та аналізу типів синоптичних процесів, що сприяють накопиченню шкідливих домішок застосовувалась типізація синоптичних процесів, яка була розроблена на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ [7, 29, 30].

За даними архівної вибірки розрахована повторюваність представлених типів (підтипів) синоптичних ситуацій за 5 років (2011-2015 рр.) для центральних місяців кліматичних сезонів. Дані, наведені в табл. 2.1 свідчать, що протягом усього року, незважаючи на зниження повторюваності синоптичних процесів, що відносяться до типів 1-4 і відповідають за формування слабкого вітру над Україною [7], їх частота залишається досить високою. Отже умови для збереження застійних явищ, особливо в промислових зонах, необхідно враховувати. .

За даними табл. 2.1 побудовано діаграми повторюваності синоптичних процесів (рис. 2.21). Найчастіше стали формуватися баричні поля з фронтами і великими баричними градієнтами (тип 6) – 27 % в січні, 18 % в квітні, 10 % в липні та 14 % в жовтні. Зросла кількість периферійних процесів з фронтами - тип 5 (з 11 % в січне до 25 % в жовтні). Найчастіше в жовтні спостерігаються синоптичні процесі при яких між далеко розташованими один від одного блокуючими антициклонами знаходиться область зниженого тиску над Західною Європою і прилеглими морями, яка підтримується циклонічною діяльністю на арктичному фронті і циклонами з Атлантики і Середземного моря, що проходять через Західну Європу на північний схід європейської території Росії, захоплюючи із заходу Україну. Також в жовтні спостерігалась досить часто антициклонічна циркуляція, повторюваність якої досягла 20 % (тип 3). На решту підтипів (1.2, 1.3, 1.4 2.1, 2.2,4.1, 4.2) припадало лише 4 % від загальної кількості випадків.

Таким чином, аналіз динаміки синоптичних ситуацій над територією півдня України за досліджуваний період дозволяє виявити найбільш імовірні атмосферні процеси, що формують погодні умови в цьому районі в останні роки; визначити, що у порівнянні з попередніми періодами [7] зменшилася повторюваність периферійних процесів в усі сезони в районі Північно-Західного Причорномор'я, в той час як частота циркуляційних процесів з великими баричними градієнтами збільшилася в 3-5 разів [28].

Таблиця 2.1 - Повторюваність (к\в, %) типів (підтипів) синоптичних

## процесів на ст. Одеса - ГМО, 2011 -2015 рр.

Типи синоптичних процесів	Підтипи синоптичних процесів	Місяці року							
		січень		квітень		липень		жовтень	
		к\в	%	к\в	%	к\в	%	к\в	%
1 Периферійні процеси	1								
	1.1	2	2	-	-	-	-	<b>3</b>	2
	1.2	1	1	3	2	-	-	-	-
	1.3	-	-	1	1	-	-	-	-
	1.4	-	-	5	3	-	-	-	-
2 Циклонічна діяльність	2								
	2.1	-	-	-	-	1	1	-	-
	2.2	-	-	-	-	2	1	-	-
3 Антициклонічна діяльність	3								
	3.1	-	-	6	4	5	3	-	-
	3.2	-	-	4	3	-	-	6	4
	3.3	14	10	10	6	15	11	28	<b>20</b>
4 Малоградієнтні баричні поля	4								
	4.1	1	1	-	-	13	8	-	-
	4.2	3	2	-	-	16	10	1	1
5 Периферійні процеси з проходженням фронтів	5								
	5.1	13	11	30	<b>20</b>	28	<b>18</b>	39	<b>25</b>
	5.2	26	21	23	16	25	16	30	19
6 Циклонічна циркуляція з великими баричними градієнтами	6								
	6.1	16	13	25	18	15	10	13	8
	6.2	33	<b>27</b>	23	15	17	11	22	14
	6.3	12	10	16	10	16	10	9	7
	6.4	6	2	3	2	2	1	5	3

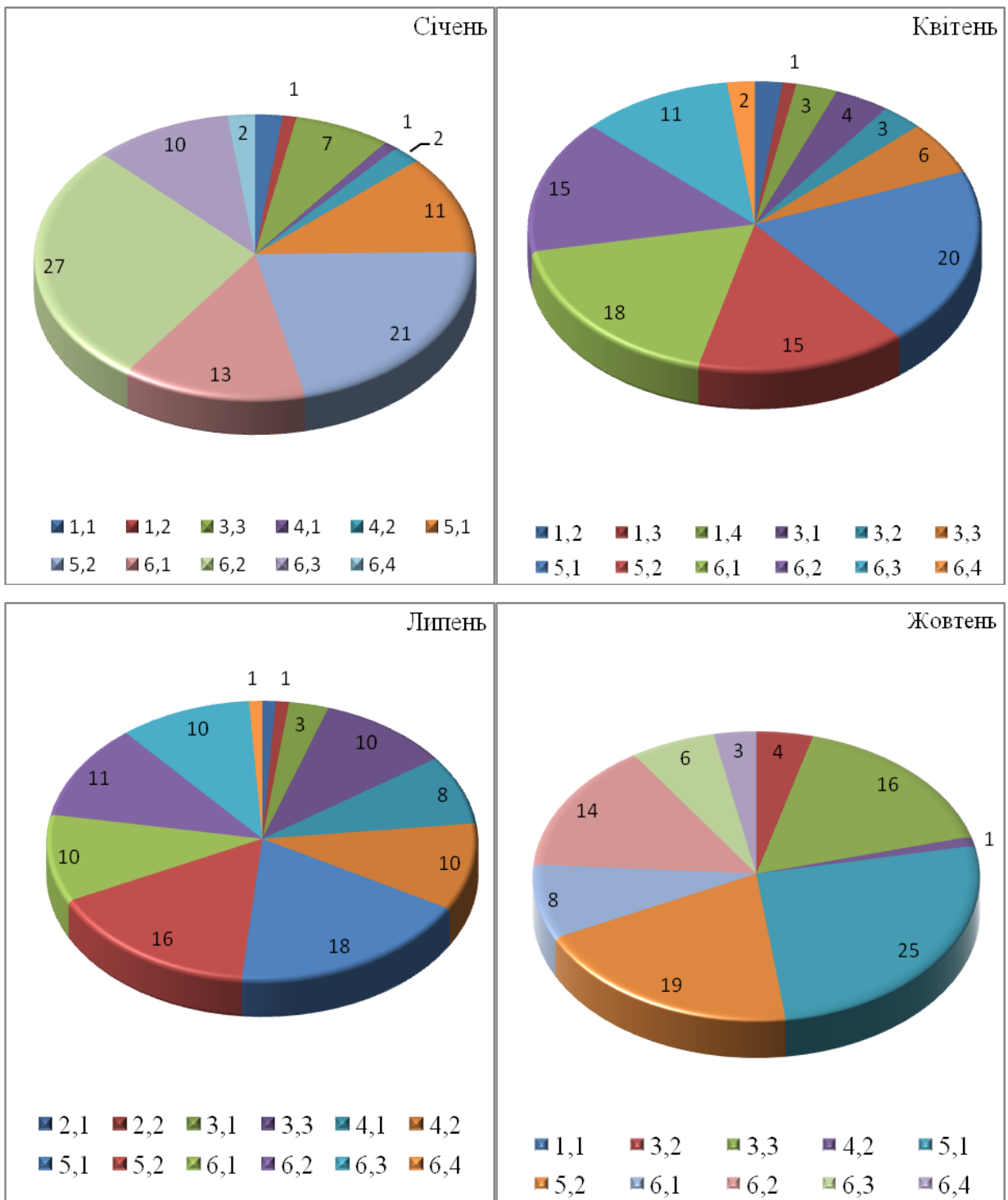


Рис. 2.21. Повторюваність типів синоптичних ситуацій (%), 2011-2015 рр.

Для аналізу синоптичних умов, які сприяють забрудненню атмосферного повітря в м. Одеса розраховані таблиці 2.2-2.6. Очевидно, що в січні за весь період спостереження найчастіше спостерігалася ситуація типу 5.1 (20 випадків), тобто східний та північно-східний перенос по східній-південно-східній периферії антициклону, підтип 6.3 (улоговина з фронтами)

та 6.2 - тил циклону, що переміщається зі швидкістю  $\geq 40$  км/год, по 15 випадків. Саме такі напрямки вітру були переважними для січня місяця на всіх ПЗС для різних ЗР. Максимальна перевищення ГДК для пилу та  $\text{SO}_2$  – 0,60 та 0,078  $\text{мг/м}^3$ , відповідно, зафіксовані на ПЗС № 16 та №18 при синоптичної ситуації 3.3 малоградієнтне поле підвищеного тиску, яке також мало досить часту повторюваність (10 випадків).

Граничні концентрації діоксиду азоту 0,090  $\text{мг/м}^3$  відзначені в січні при циркуляційних умовах, відповідних підтипу 5.2 і 6.2, східний та південно-східний перенос, який відбувається по південній - південній - західній периферії антициклону. Штили і слабкий вітер (1-4 м\с), в основному, відзначалися при підтипі 3.3. Перевищення середньодобового значення концентрації діоксиду вуглецю склало від 5  $\text{мг/м}^3$  при синоптичної ситуації відповідної підтипу 3.3 на ПЗС №10.

Для квітня характерне переважання типу 5.2 з повторюваністю в 26 випадків, це східний та південно-східний перенос. Для цього типу характерні вітри північної чверті. В 15 випадках у квітні спостерігаються ситуації типу 6.2, к даному типу відносяться вітри південних напрямків. Концентрації  $\text{CO}_2$  на посту № 10 складала 4  $\text{мг/м}^3$ , що є перевищенням середньодобової ГДК, також фіксувалось перевищення вмісту пилу в атмосферному повітрі.

У липні максимальна кількість днів з перевищенням ГДК на всіх постах, спостерігалось при малоградієнтним полі підвищеного тиску (підтип 3.3) - 20 випадків, внаслідок чого рівень забруднення атмосферного повітря пилом в місті збільшувався більш ніж в два рази на всіх постах, окрім прибережного (№ 8). Так значення,  $\text{CO}_2$  на станції № 10 в 2011 р. склало 6,5  $\text{мг / м}^3$ , що є перевищенням середньодобової норми в 2 рази. Слід зазначити що в липні 2012-2015 років на ПЗС № 10 середньомісячна концентрація  $\text{NO}_2$  була втричі більша норми, тобто складала 0,110  $\text{мг/м}^3$ .

В рівній кількості відзначені синоптичні ситуації, що визначаються як периферійні процеси з великими баричними градієнтами, а саме 5.1 і 5.2 - 13 і 14 випадків, відповідно.

В жовтні у 20 випадків спостерігаються ситуації типу 5.1, які відповідають східній та південно-східній периферії антициклону, тобто переважають вітри північно-західного та північно-східного напрямку.

Таблиця 2.2 – Типи синоптичних процесів при підвищеній концентрації ЗР на ПЗС м. Одеси, 2011 р.

ПЗС	CO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			Пил, мг/м <sup>3</sup>		
	q, мг/ м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит
Січень												
№8	2,5	11,13	3.2,1.2	0,03	14	6.3	0,04	14	6.3	0,20	6	3.3
№10	<b>5,0</b>	6	3.3	0,04	15	4.2	<b>0,075</b>	11,13	3.2,6.3	0,15	3-31	3.2 -3.3
№16	4,0	25	4.2	<b>0,048</b>	31	1.4	0,063	17	2.2	0,15	1-19	1.2,2.2
№18	3,5	8	3.2	0,044	29,31	3.1,1.4	0,065	28	5.2	0,20	5	3.3
Квітень												
№8	2,5	30	5.2	0,030	12	6.2	0,050	28	3.2	0,20	4	5.2
№10	4,5	26	3.1	0,058	28	3.2	0,075	28	3.2	0,20	16,26	5.1.3.1
№16	4,0	19	1.4	0,055	28	3.2	0,080	28	3.2	0,20	6,20	6.3,1.4
№18	<b>5,0</b>	23	3.3	<b>0,067</b>	28	3.2	<b>0,095</b>	28	2.2	0,20	9,30	6.2,5.2
Липень												
№8	2,0	9,17	6.2,5.1	0,038	17	5.1	0,057	18	5.2	0,15	6,24	2.1,6.2
№10	<b>4,5</b>	20,29	5.2,6.2	<b>0,071</b>	27	6.2	0,090	25	6.2	0,25	22	6.3
№16	4,0	7,20	2.2,5.2	0,052	17	5.1	0,083	21	6.3	0,25	16	4.2
№18	3,0	7,20	2.2,5.2	0,068	7	2.2	<b>0,095</b>	24	6.2	0,25	11,18	6.2,5.2,
Жовтень												
№8	4,0	18	6.4	0,031	6	6.2	0,060	7	1.1	0,20	20	6.1
№10	<b>6,5</b>	21	5.1	0,055	7	1.1	0,085	7 14	1.1,6.2	0,20	5,7	6.2,1.1
№16	4,0	6,8	6.2.6.3	0,049	6	6.2	0,077	4,11	6.3,6.3	0,25	6,11	6.2,6.3
№18	3,5	7,8	1.1.6.3	<b>0,061</b>	13	6.2	<b>0,105</b>	12	6.3	0,20	5,7	6.2,1.1

Таблиця 2.3 – Типи синоптичних процесів при підвищеній концентрації ЗР на ПЗС м. Одеси, 2012 р.

ПЗС	CO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			Пил, мг/м <sup>3</sup>		
	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. Сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит
Січень												
№8	2,0	6,24	6.4,6.3	0,021	6,13	5.1,1.1	0,043	3	5.1	<b>0,40</b>	20	1.2
№10	4,0	4	5.1	0,037	3,13	5.1,1.1	0,065	3,12	5.1,6.3	0,15	3,11	5.1,6.2
№16	4,0	24	6.3	0,041	28	5.2	0,083	20	1.2	0,025	5,27	6.3,5.2
№18	3,0	13,24	1.1,6.3	<b>0,057</b>	13	1.1	<b>0,095</b>	13	1.1	0,035	3	5.1
Квітень												
№8	2,0	4,18	6.2,6.3	0,024	13	6.4	0,043	18	6.3	0,25	4,6	6.2
№10	<b>4,5</b>	18,25	6.3,5.2	0,053	28	5.2	<b>0,100</b>	26	6.2	0,25	5	5.2
№16	4,0	3	5.2	0,048	27	5.2	0,077	28	5.2	0,20	7,17	6.3,6.4
№18	4,0	23	6.3	<b>0,057</b>	6	6.2	0,085	27	5.2	0,30	2,4	6.3,6.2
Липень												
№8	2,0	2,13	6.3,4.2	0,027	5	5.2	0,04	10	6.2	0,15	5,11	5.2,4.2
№10	<b>4,5</b>	2,5	6.3,5.2	0,053	5,17	5.2,6.3	<b>0,110</b>	21	6.1	0,20	3,13	6.2,4.2
№16	4,0	25	5.2	<b>0,055</b>	14	6.2	0,097	21	6.1	0,25	7	6.2
№18	3,0	5,21	5.2,6.1	0,053	21	6.1	0,100	6,14	5.1,6.2	0,25	16,28	6.3,6.1
Жовтень												
№8	2,0	8,20	6.3,5.1	0,027	10	6.2	0,040	5	5.2	0,25	8	6.3
№10	3,5	2	5.2	<b>0,067</b>	13	6.2	0,085	8	6.3	0,25	17,20	6.1,5.1
№16	3,5	18	6.2	0,056	31	6.3	0,090	20	5.1	0,20	22,27	3.3,6.1
№18	3,0	8,21	6.3,3.3	0,053	22	3.3	<b>0,095</b>	10,20	6.2,5.1	0,25	9	6.3



Таблиця 2.4 – Типи синоптичних процесів при підвищеній концентрації ЗР на ПЗС м. Одеси, 2013 р.

ПЗС	CO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			Пил, мг/м <sup>3</sup>		
	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	Тип син. сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	Тип син. Сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит
Січень												
№8	2,5	26	6.1	0,033	15	5.1	0,047	5	6.2	0,15	8,24	6.2,6.1
№10	3,0	17,24	6.4,6.1	0,048	21	6.1	<b>0,085</b>	29	5.1	0,20	15,21	5.1,6.1
№16	3,0	15,24	5.1,6.1	0,043	3	3.3	0,077	28	6.1	0,20	5,29	6.2,5.1
№18	3,0	24.29	6.1,5.1	<b>0,056</b>	24	6.1	0,085	12,24	6.4,6.1	0,20	8,18	6.2,6.4
Квітень												
№8	2,5	11	5.2	0,028	16	5.2	0,050	13	5.2	0,20	8	5.1
№10	3,5	10	5.2	0,050	13	5.2	0,080	6	6.1	0,25	1,2	6.4,6.1
№16	3,5	1,17	6.4,3.3	0,051	27	3.3	0,087	3	6.1	0,25	1,2	6.4,6.1
№18	3,5	29	3.3	<b>0,067</b>	3	6.1	<b>0,105</b>	3,19	6.1,3.3	0,20	3,15	3.1,3.3
Липень												
№8	2,5	9	3.1	0,033	13	3.1	0,050	11,13	3.3,3.1	0,10	9,11	3.1,3.3
№10	<b>5,5</b>	29	3.3	0,053	4,10	1.3,1.4	<b>0,110</b>	12	1.4	0,25	12.15	1.4,3.1
№16	3,0	9	3.1	0,050	2	1.4	0,087	1,11	1.4,3.3	0,25	4,18	1.3,3.1
№18	3,0	4.15	1.3,3.1	<b>0,061</b>	10	1.4	0,105	4	1.3	0,20	4,10	1.3
Жовтень												
№8	3,5	4	5.1	0,031	4	5.1	0,050	2,16	1.4,3.1	0,15	9,19	3.3,6.3
№10	<b>4,5</b>	9	3.3	<b>0,056</b>	29	1.1	0,095	24	5.1	<b>0,30</b>	16	5.1
№16	3,5	12	5.1	0,042	11	5.2	0,090	9	3.1	0,25	10	3.2
№18	3,5	29	1.1	0,048	28	5.1	0,095	18	3.1	0,25	1,10	5.1,3.2

Таблиця 2.5 – Типи синоптичних процесів при підвищеній концентрації ЗР на ПЗС м. Одеси, 2014 р.

ПЗС	CO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			Пил, мг/м <sup>3</sup>		
	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	Тип син. Сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	Тип син. Сит
Січень												
№8	4,0	2,14	3.3,6.2	0,043	28	5.2	0,070	8,16	3.3,6.2	0,20	8,18	3.3,6.1
№10	4,0	2,17	3.3,6.2	0,052	11	6.2	0,080	10,17	6.2	0,20	8,15	3.3,5.2
№16	4,0	4	5.2	0,044	4	5.2	0,080	15,27	5.2	<b>0,30</b>	4,14	5.2,6.2
№18	3,0	17,28	6.2,5.2	<b>0,054</b>	16	6.2	<b>0,090</b>	17	6.2	0,03	8,28	3.3.5.2
Квітень												
№8	3,0	4,11	5.2	0,031	26	5.2	0,050	4,9	5.2,5.1	0,20	4,26	5.2
№10	4,0	24	5.2	0,050	11	5.2	<b>0,100</b>	14	6.3	0,30	11,26	5.2
№16	3,0	10,15	5.2,6.3	0,047	29	4.1	0,080	10,28	5.2,4.1	<b>0,40</b>	1,7	6.2.4.1
№18	4,0	10,12	5.2	<b>0,056</b>	30	4.1	0,090	9,28	5.1,4.1	<b>0,50</b>	1,5	6.2,5.2
Липень												
№8	3,0	3,11	5.1,6.1	0,037	5,11	3.3,6.1	0,060	4,8	5.1,3.3	0,20	4,8	5.2,3.3
№10	4,0	31	3.2	0,063	9	1.3	<b>0,110</b>	5	3.3	-	-	-
№16	3,0	8,15	3.3	0,056	1,15	5.2,3.3	0,090	3,8	5.1,3.3	<b>0,50</b>	8,9	3.3,1.3
№18	4,0	16,21	3.3,1.3	<b>0,069</b>	9	1.3	0,110	7	3.3	0,40	4,8	5.2.3.3
Жовтень												
№8	3,0	2,11	6.2.3.2	0,035	25	5.2	0,060	9	5.2	-	-	-
№10	3,0	12,18	3.3,6.2	0,056	9	5.2	0,090	2,9	6.2,5.2	-	-	-
№16	4,0	14	1.4	0,051	9	5.2	<b>0,100</b>	7	5.2	-	-	-
№18	4,0	17,18	6.2	<b>0,062</b>	2,9	6.2,5.2	<b>0,100</b>	11	3.2	-	-	-

Таблиця 2.6 – Типи синоптичних процесів при підвищеній концентрації ЗР на ПЗС м. Одеси, 2015 р.

ПЗС	CO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>			Пил, мг/м <sup>3</sup>		
	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	тип син. сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	Тип син. Сит	q, мг/м <sup>3</sup>	дата	Тип син. Сит
Січень												
№8	3,0	13,30	6.2,6.3	0,040	17	5.1	0,040	2,23	5.1.5.2	0,10	17,30	5.1,6.3
№10	3,0	4,20	6.2	0,054	29	4.2	0,070	13,18	6.2,5.1	-	--	--
№16	3,0	17,31	5.1,6.3	<b>0,058</b>	25	5.1	0,080	22	5.2	<b>0,40</b>	30	6.3
№18	4,0	30	6.3	<b>0,058</b>	10	6.3	<b>0,090</b>	17,27	5.1,5.2	0,30	30	6.3
Квітень												
№8	4,0	7	5.1	0,029	22	6.2	0,040	22,26	6.2,5.1	0,20	2,23	6.3,5.1
№10	3,0	2,15,	6.3,6.2	0,054	29	6.4	<b>0,090</b>	17	6.2	0,30	2	6.3
№16	3,0	11,23	3.3,5.1	0,054	23	5.1	0,070	26,29	5.1,6.4	<b>0,60</b>	29	6.4
№18	4,0	5,7	5.1,6.2	<b>0,078</b>	11	3.3	<b>0,090</b>	17	6.2	0,50	9,23	5.1
Липень												
№8	3,0	4,16	3.3.5.1	0,057	7	5.1	0,070	5,11,	3.3,6.2	0,30	16	5.1
№10	3,0	12,24	5.1,4.2	0,063	14	4.1	0,090	24	4.2	0,30	23,24	5.1,4.2
№16	3,0	14,31	4.1,5.2	0,060	31	5.2	<b>0,100</b>	4	3.3	<b>0,40</b>	7,9	5.1.3.3
№18	4,0	8,24	3.3,4.2	<b>0,070</b>	29	6.3	<b>0,100</b>	24	4.2	<b>0,40</b>	12,24	5.1,4.2
Жовтень												
№8	3,0	17,23	5.1,4.2	0,047	24	5.1	0,060	21-23	6.1,4.2	0,20	20,28	5.2,6.2
№10	3,0	4,23	3.3,4.2	0,063	6	5.1	<b>0,090</b>	17	5.1	0,20	6,23	5.1,4.2
№16	3,0	23,28	4.2,6.2	0,060	17	5.1	0,080	2,12	5.1,6.1	<b>0,40</b>	9	5.1
№18	4,0	16,20	5.2	<b>0,670</b>	8	5.2	<b>0,090</b>	13,16	5.2	0,30	1,23	5.1,4.2

В 11 випадках – підтип 5.2 (рис. 2.22), що відповідає східній та південно-східній периферії антициклону, Також досить часто в жовтні фіксується повторюваність 6 типу циркуляції, підтип 6.2 – 19 випадків, таке баричне поле сприяє накопиченню домішок в приземному шарі атмосфери над Одесою, а саме відзначалося збільшення середньодобового значення ГДК  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  та пили  $0,40 \text{ мг/м}^3$  на ПЗС № 16 - 9 жовтня 2015 р.

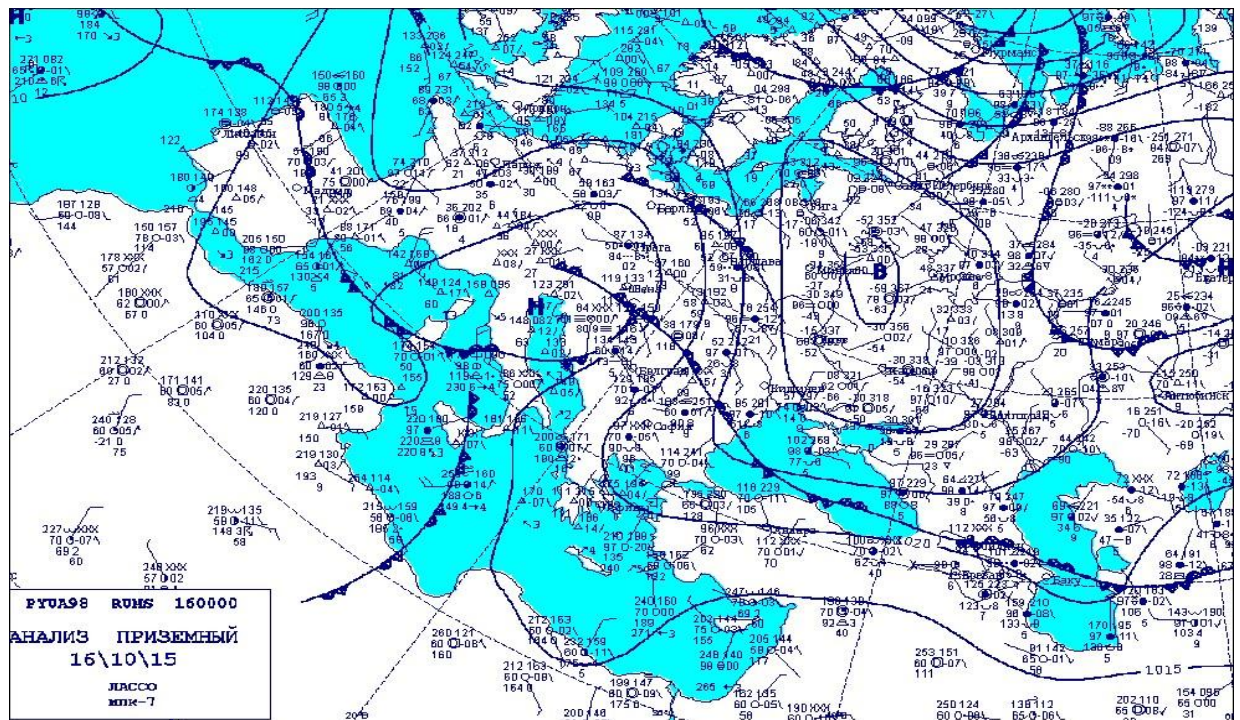


Рис. 2.22. Приземна карта за 16.10.15 р. Підтип 5.2

Результати сумісного аналізу синоптичних карт і даних про концентрацію вказаних речовин за всі сезони показують, що для більшості забруднюючих речовин, перевищення ГДК спостерігається при синоптичній ситуації типу 5 (підтипі 5.1-5.2) це периферійні атмосферні процеси з атмосферними фронтами, та типу 3 (підтипі 3.1-3.3) (рис.2.23), тобто в баричних утвореннях, що спостерігаються 1,5 доби і більше при швидкості вітру менше 4 м/с. Для зимового періоду (січень) в 10 % випадків відповідно, для літнього періоду в у липні - 11 % випадків від загальної кількості спостережень. Цей результат пов'язаний зокрема з тим, що для території України характерна велика повторюваність малоградієнтних полів підвищеного тиску. Концентрації всіх видів домішок на території міста збільшуються з віддаленням від берегової смуги в глибину суші, як у

зимовий, так і в літній періоді також у передніх частинах циклонів та в малорухомих і невеликих за площею циклонах з однією і тією ж повітряною масою.

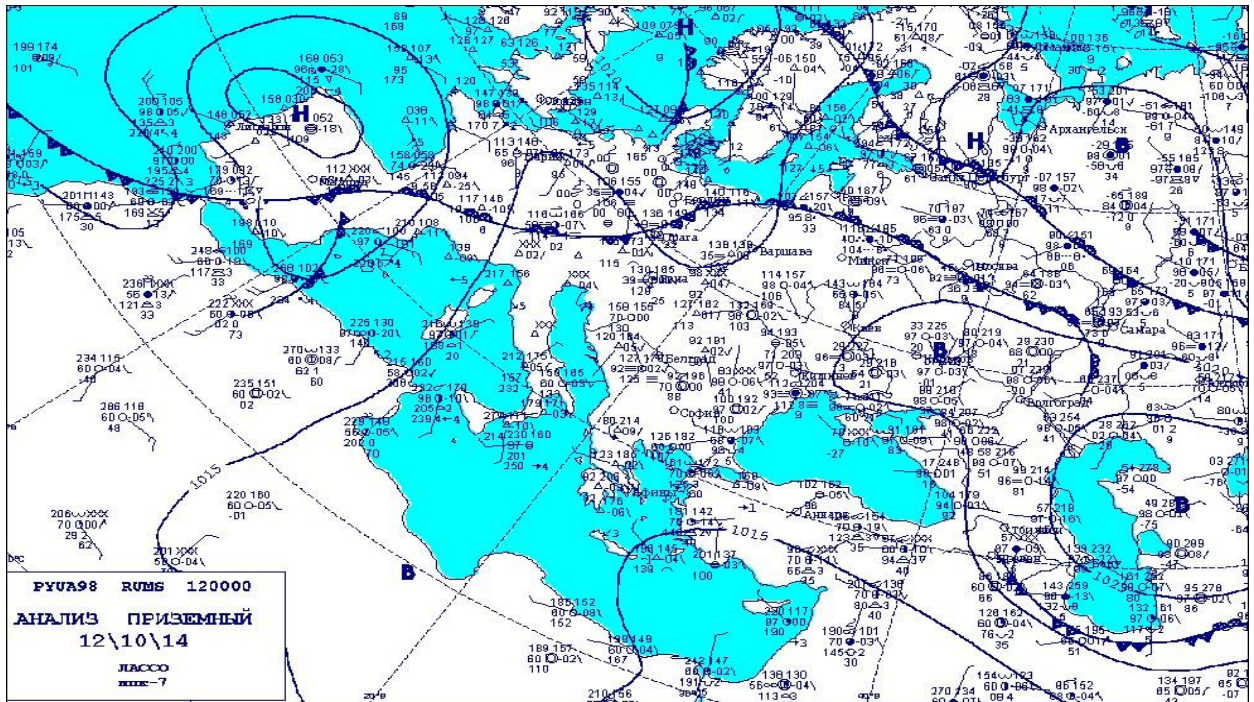


Рис. 2.23. Приземна карта за 12.10.14 р. Підтип 3.3

Оцінка повторюваності типів синоптичних процесів на території півдня України свідчить про збільшення в центральні місяці сезонів кількості типів циркуляції з великими баричними градієнтами, а саме підтипів 5.1, 5.2, 6.2. У той же час, повторюваність синоптичних ситуацій, відповідних малоградієнтним полям підвищеного тиску, а також периферійним процесам, які формують стійке забруднення атмосфери, також досить велика.

Як відомо [15], перевищення гранично-допустимих норм викидів забруднюючих речовин відзначається не тільки при слабкому вітрі (1-4 м \ с) і штилі, але і при градації швидкості вітру 8-9 м \ с. І якщо в минулі десятиліття для Одеси було характерно формування стійкого забруднення повітряного басейну міста при вітрі 1-4 м \ с, то аналіз даних за період з 2011 по 2015 рр показав, що такі максимуми забруднення відзначаються по місту і при швидкостях вітру більше 5 м \ с, особливо при наявності піднесеної інверсії.

### 3 ОЦІНКА МЕТОДА ПРОГНОЗУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ НАД ОДЕСОЮ

#### 3.1 Вихідна інформація та методика дослідження

Як відомо [2-4], рівень забруднення приземних шарів повітря характеризується значною мінливістю у просторі і часі. Ці зміни пов'язані з розташуванням, характером і потужністю джерел домішки, режимом їхньої діяльності та метеорологічними умовами, які можуть призводити до вимивання, розсіювання чи накопичення домішок в атмосферному повітрі .

Для оцінки забрудненості атмосферного повітря м. Одеси були використані дані чотирьох строкових спостережень на мережі стаціонарних постів міста ( пост № 8, 10, 16 та 18 ) за центральні літні та зимові місяці 2011-2015 рр. за основними забруднюючими речовинами: пил, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>. Карта-схема розташування пунктів спостережень наведена на рис. 1.1.

Нами були обрані пости, що розташовані в різних частинах міста і характеризуються різним ступенем забруднення повітря: ПЗС № 8 (узбережна зона Чорного моря на Французькому бульварі на території Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів ); ПЗС № 16 (ріг Олександрійського проспекту та вул. Великої Арнаутської ).

Слід зазначити, що пост № 8 розташований в узбережній зоні Чорного моря на Французькому бульварі на території Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів на значній відстані від промислових підприємств та автошляхів.

Дослідження результатів забруднення атмосферного повітря для центральних місяців кліматичних сезонів є доцільним з точки зору виявлення змін концентрації шкідливих домішок на протязі року від одного сезону до другого. Для такого аналізу були використані дані строкових спостережень на вказаних постах. В таблиці 3.1 представлені значення граничних допустимих концентрацій ( ГДК ) мг/м<sup>3</sup> для домішок, які досліджуються в даній роботі. Тут вказані ГДК для середньодобових концентрацій і для максимальних разових. Із таблиці видно, що концентрації, які є допустимими

для максимальних разових її значень суттєво перевищують ГДК для середньодобових концентрацій.

### 3.2 Концентрації домішок в центральні місяці кліматичних сезонів

Дослідження результатів забруднення атмосферного повітря для центральних місяців кліматичних сезонів є доцільним з точки зору виявлення змін концентрації шкідливих домішок на протязі року від одного сезону до другого. Для такого аналізу були використані дані строкових спостережень на вказаних постах. В таблиці 3.1 представлені значення граничних допустимих концентрацій ( ГДК )  $\text{мг/м}^3$  для домішок, які досліджуються в даній роботі. Тут вказані ГДК для середньодобових концентрацій і для максимальних разових. Із таблиці видно, що концентрації, які є допустимими для максимальних разових її значень суттєво перевищують ГДК для середньодобових концентрацій [12].

Таблиця 3.1 - Значення ГДК  $\text{мг/м}^3$

Домішки	Шифр	Клас небезпеки	Середньодобова	Максимальна разова
1	2	3	4	5
Пил	01	3	0,15	0,5
Діоксид сірки	02	3	0,050	0,500
Окис вуглецю	04	4	3	5
Діоксид азоту	05	2	0,04	0,085
Оксид азоту	06	3	0,06	0,40
Фенол	10	2	0,003	0,010
Сажа	11	3	0,05	0,15

Для того, щоб оцінити ступінь забруднення повітря в районі постів, нами були розраховані середньомісячні концентрації домішок (Дод. В, табл. Б.1-Б.4).

За даними середньомісячного значення концентрації забруднюючих речовин за період 2011-2015 рр. для центральних місяців сезонів побудовані гістограми (рис. 3.1-3.4).

Середньомісячні концентрації  $\text{CO}_2$  за 5 років не перевищують значення середньодобової ГДК, що складає  $3 \text{ мг/м}^3$ , а на ПЗС № 8 взагалі сягає лише  $2 \text{ мг/м}^3$  (рис 3.1). Але якщо розглядати середньомісячні значення за окремі роки, то в квітні 2011, липні 2011-12 рр. та жовтні 2011 на посту № 10 концентрація складала  $4 \text{ мг/м}^3$ .

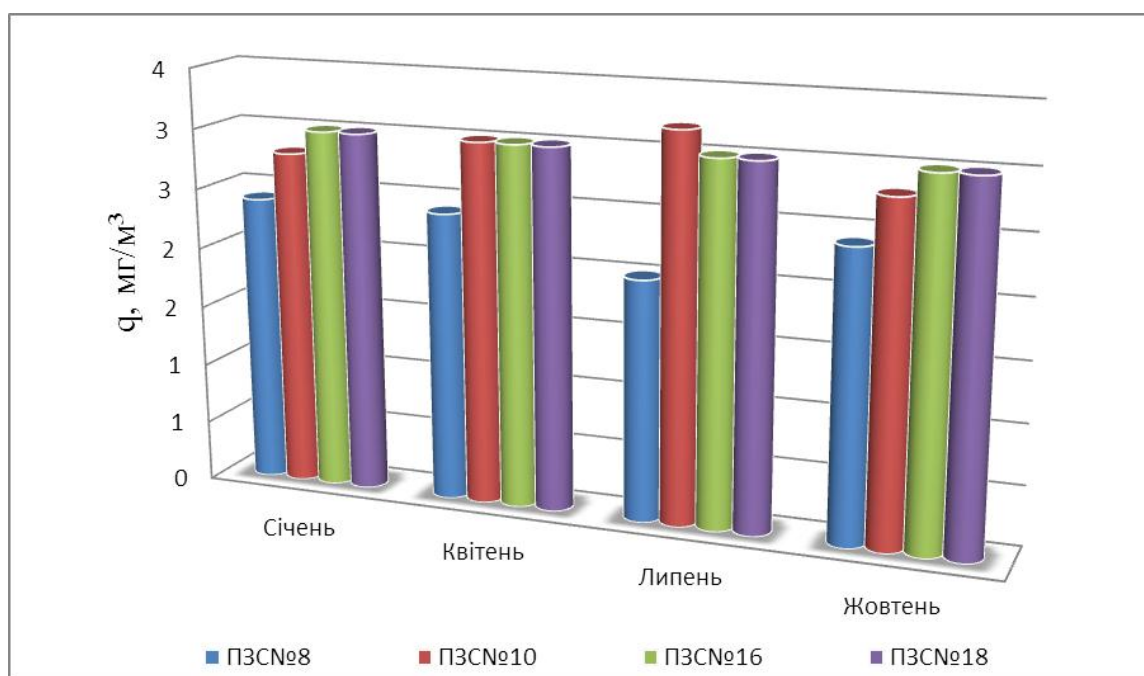


Рис. 3.1. Середньомісячні значення концентрації  $\text{CO}_2 \text{ мг/м}^3$ , 2011-2015 рр.

Аналізуючи гістограму середньомісячних концентрацій  $\text{NO}_2$  за період 2011-2015 рр. видно, що на ПЗС №8 перевищень концентрації  $\text{NO}_2$  не спостерігається, так як середньодобова складає  $0,04 \text{ мг/м}^3$ . На посту № 10, № 16 та № 18 середні значення сягають  $0,07 \text{ мг/м}^3$ , що майже вдвічі більше норми, проте в січні це значення складає лише  $0,05 \text{ мг/м}^3$ . Якщо розглядати значення ГДК за кожен рік, слід зазначити що в липні 2012-2014 років на



ПЗС № 10 та № 18 середньомісячна концентрація було вдвічі більша норми, тобто складала  $0,08 \text{ мг/м}^3$ .

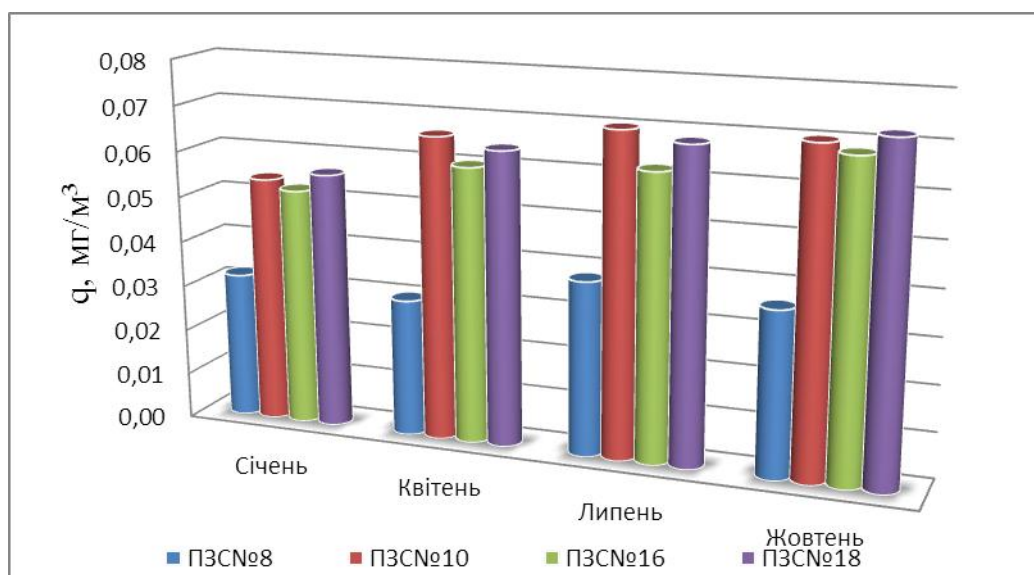


Рис. 3.2. Середньомісячні значення концентрації  $\text{NO}_2$   $\text{мг/м}^3$ , 2011-2015 рр.

Розглядаючи отримані дані для двоокису сірки за період з 2011 по 2015 рр., також помітно, що всі значення дещо менші ніж середнє –  $0,050 \text{ мг/м}^3$ , лише в липні максимальне  $0,051 \text{ мг/м}^3$  на посту № 18. На ПЗС № 8 в усі місяці відмічаються низькі концентрації забруднюючих речовин, це може пояснюватись віддаленістю даного посту від джерел забруднення.

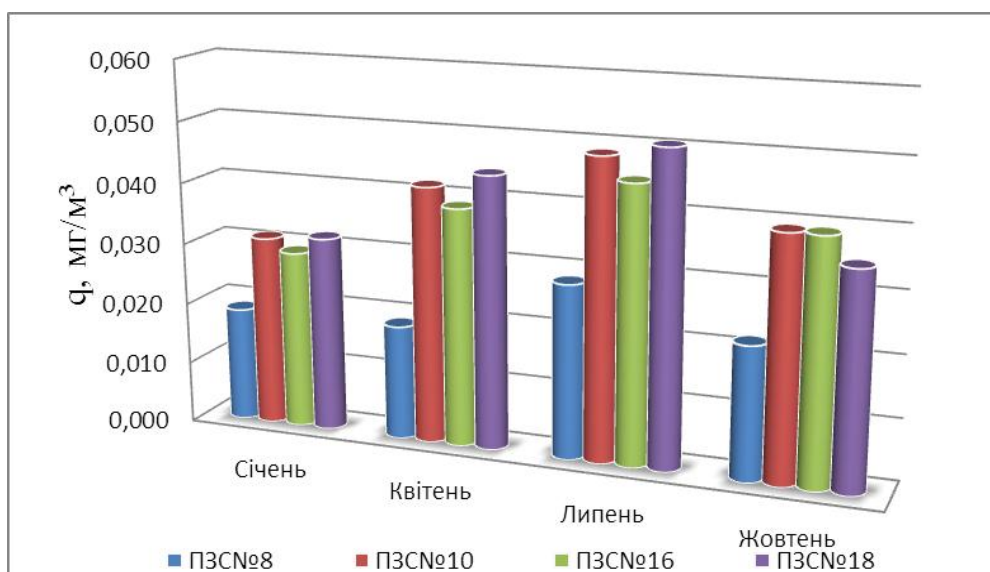


Рис. 3.3. Середньомісячні значення концентрації  $\text{SO}_2$   $\text{мг/м}^3$ , 2011-2015 рр.

Гранично допустима концентрація пилу (ГДК) становить  $0,15 \text{ мг/м}^3$ . На всіх постах окрім № 8 спостерігаються значення вище даного критерію (рис. 3.4).

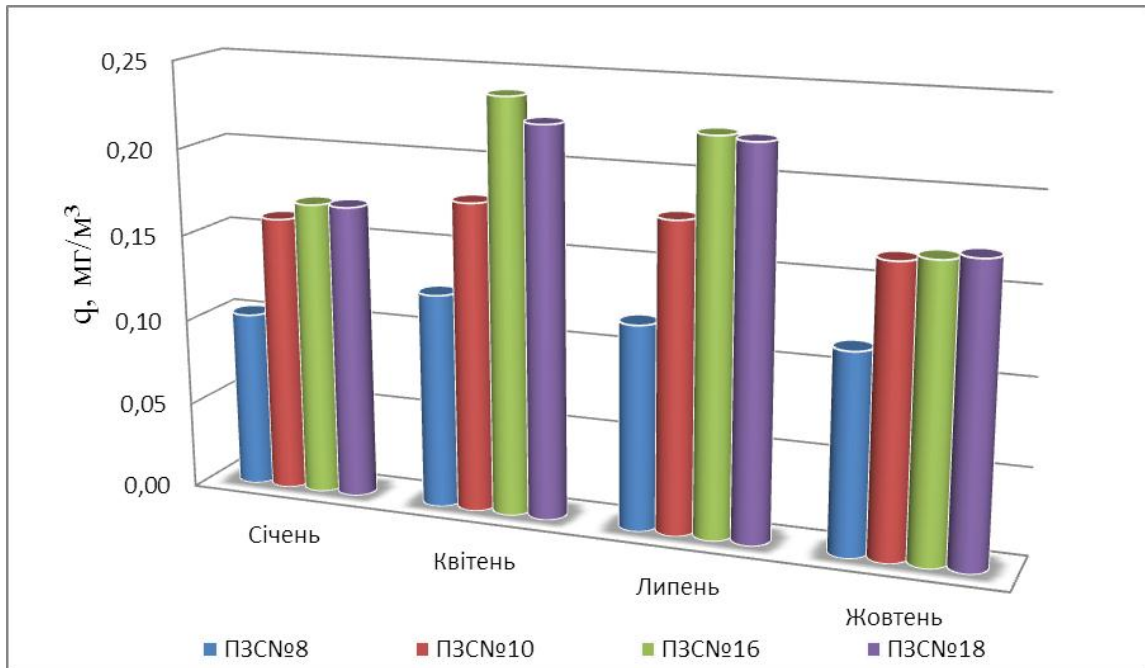


Рис. 3.4. Середньомісячні значення концентрації пилу  $\text{мг/м}^3$ , 2011-2015 рр.

Максимального значення концентрація пилу набуває в квітні на посту № 16. Мінімальні значення на посту № 8 –  $0,10\text{-}0,12 \text{ мг/м}^3$ . В решті випадків значення коливаються від  $0,16 \text{ мг/м}^3$  у січні до  $0,18 \text{ мг/м}^3$  у квітні та липні на посту № 10. В такі роки як квітень та липень 2014-2015 рр. на постах № 16 та № 18 значення середньомісячної концентрації пилу сягали  $0,4 \text{ мг/м}^3$ .

### 3.3 Апробація альтернативного методу короткострокового прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над Одесою

Існує кілька різних методів прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря: спектральний метод [22], метод математичного моделювання забруднення в місті [27,31], а також синоптико- статистичні методи [15, 7].

Альтернативний метод короткострокового прогнозу метеорологічних умов забруднення температури над Одесою, розроблений в ході виконання науково-дослідної теми «Розробка та вдосконалення методів прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над промисловими районами Одеси» на кафедрі метеорології і кліматології, має перевагу відносно гідродинамічних методів через можливість при його застосуванні враховувати більшу кількість предикторів, в тому числі таких, які можна описати лише якісно. Він дозволяє також об'єктивним шляхом оцінити сутність впливу окремих факторів та їх комплексу на досліджуване явище, тобто у даному випадку виявлена емпірико-статистична залежність між наявністю інверсії та різними предикторами методом дискримінантного аналізу. За результатами розрахунків дискримінантних функцій та виходячи з фізичних міркувань, сформовано перелік 8 потенційних предикторів, які впливають на утворення застоїв повітря над містом:

1.  $\Delta P_0$  – лапласіан тиску біля поверхні землі (гПа) для визначення характеру приземного баричного поля ( $\Delta P_0 > 0$  – циклонічний,  $\Delta P_0 < 0$  – антициклонічний) та для врахування знаку вертикальних рухів;
2.  $p'$  – значення концентрації ( $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$ ) забруднюючих речовин у попередню добу;
3.  $V_0$  і  $V_{925}$  – швидкість вітру ( $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ ) біля поверхні землі і на рівні 925 гПа;
4.  $dd_0$  і  $dd_{925}$  – напрямок вітру (град) біля поверхні землі і на рівні 925 гПа;
5.  $dd_0 - dd_{925}$  – різниця між напрямками вітру (град) біля поверхні землі і на рівні 925 гПа;
6.  $\Delta V$  - різниця швидкості вітру ( $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ ) на рівні 925 гПа та біля поверхні землі;
7.  $\Delta T$  - різниця температури повітря ( $^{\circ}\text{C}$ ) біля поверхні землі та на рівні 925 гПа.
8.  $\bar{\gamma}$  – середній вертикальний градієнт температури в шарі 0-500 м ( $^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$ );

Предиктор  $\Delta P_0$  розраховується за прогностичними картами з завчасністю 24 год., предиктори  $\bar{\gamma}$ ,  $V_{925}$ ,  $dd_{925}$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta T$  - за даними радіозондування над Одесою у строк 00 UTC, а предиктори  $V_0$ ,  $dd_0$  та  $p'$  – за даними поста спостереження №15, який розташований у Херсонському сквері, тобто у районі основних джерел викидів шкідливих речовин.

Сукупність предикторів повинна повніше описувати вихідний стан атмосфери, тому необхідно обрати тільки основні, найбільш фізично

обґрунтовані і достатньо сильно пов'язані з предиктантом, оскільки збільшення числа предикторів може зменшувати прогностичну ефективність методу [17].

Перед побудовою дискримінантних функцій проведено вибір найбільш інформативних предикторів за параметром Махаланобіса ( $\Delta^2$ ). Таким чином до кінцевого списку увійшли 14 предикторів, які використовувалися при побудові всіх дискримінантних функцій незалежно від типу інверсій, сезону, синоптичної ситуації і завчасності прогнозу.

$$\Delta^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij} \sum_k^g n_k (\bar{x}_{ik} - \bar{x}_i)(\bar{x}_{jk} - \bar{x}_j) - \text{відстань Махаланобіса,}$$

$\bar{x}_{ik}$  – середнє значення  $i$ -го предиктора в  $k$ -ій групі.

Тут  $m$  - число змінних;  $n_k$  – обсяг  $k$ -ої вибірки;  $d_{ij}$  – елемент зворотної коваріаційної матриці  $\|k\|$ , якій розраховується наступним чином:

$$K = \frac{\sum_{k=1}^g S_k}{\sum_{k=1}^g n_{k-g}},$$

де  $S_k = \{S_{jl}^k\} = \sum (x_{ijk} - \bar{x}_{ik}) \cdot (x_{ilk} - \bar{x}_{jk})$  ( $j=L=1, m; k$  - номер групи).

Далі знаходять коефіцієнти регресії  $b_i$  та вільний член  $a$ :

$$b_i = \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot \bar{x}_{jk}; \quad a = -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m d_{jl} \cdot \bar{x}_{jk} \cdot \bar{x}_{ik}$$

і будують дискримінантну функцію в заключному вигляді:

$$F_k = \sum_{j=1}^m b_j x_{ijk} + a \quad (k = 1, 2).$$

Дискримінантні функції (3.1) – (3.4), які отримані для прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери (перевищення рівня ГДК на посту № 15) над промисловою зоною Одеси із завчасністю 24 год в залежності від сезону, мають вигляд:

Січень:

$$F = 3,6 \cdot 10^{-4} p^{\epsilon} - 1,8 \cdot 10^{-4} V_0 - 1,1 \cdot 10^{-5} \bar{\gamma} + 4,8 \cdot 10^{-5}; \quad (3.1)$$

Квітень:

$$F = 5,2 \cdot 10^{-4} p^{\epsilon} - 2,5 \cdot 10^{-4} V_0 + 2,3 \cdot 10^{-5} \Delta V + 3,2 \cdot 10^{-5}; \quad (3.2)$$

Липень:

$$F = 3,5 \cdot 10^{-4} p^{\epsilon} - 3,3 \cdot 10^{-4} V_0 - 8,7 \cdot 10^{-5} \Delta P_0 - 5,1 \cdot 10^{-5}; \quad (3.3)$$

Жовтень:

$$F = 4,1 \cdot 10^{-4} p^{\epsilon} - 2,9 \cdot 10^{-4} V_0 - 3,8 \cdot 10^{-5} \Delta P_0 + 4,3 \cdot 10^{-5}; \quad (3.4)$$

де, якщо  $F > 0$ , то очікується накопичення домішок, а якщо  $F < 0$ , очікується їх розсіювання.

З метою вдосконалення прогностичних можливостей альтернативного методу отримані дискримінантні рівняння (3.5) і (3.6) з урахуванням типу синоптичного процесу, при якому накопичуються домішки. Так, для прогнозу умов забруднення повітря в липні при антициклонічному полі (тип 3) і при наявності периферійних процесів (тип 1) використовують формули:

$$F = 5,2 \cdot 10^{-4} p^{\epsilon} - 4,3 \cdot 10^{-4} \Delta P_0 + 2,9 \cdot 10^{-5}; \quad (3.5)$$

$$F = 6,1 \cdot 10^{-4} p^{\epsilon} - 7,1 \cdot 10^{-4} V + 4,1 \cdot 10^{-5}; \quad (3.6)$$

де, якщо  $F > 0$ , то прогнозується накопичення домішок, а якщо  $F < 0$ , то розсіювання.

Ефективність альтернативного методу прогнозу метеорологічних умов забруднення випробувана на залежному (липень 2011-2015 рр.) та незалежному (липень 2009 р.) матеріалі. Одержані результати свідчать про те, що ефективність пропонованого методу знаходиться на рівні сучасних регіональних прогнозів [15].

Наведемо загальні рекомендації щодо застосування цього методу:

1. Запропонований метод можна використовувати при прогнозі метеорологічних умов забруднення на 24 години протягом всіх сезонів.
2. При альтернативному прогнозі можна застосовувати дані про концентрацію забруднюючих речовини у попередню добу не тільки на посту № 15.

3. Процедурі прогнозу інверсій за цим методом повинна передувати оцінка макросиноптичної ситуації, тому що у випадку різко виражених активних фронтів і значних баричних градієнтів (більше 2-3 гПа/100 км) розрахунок за дискримінантними функціями не виконується.

Для оцінки якості альтернативного прогнозу метеорологічних умов забруднення над Одесою на сучасному метеорологічному та синоптичному матеріалі розраховані основні критерії для січня, квітня, липня та жовтня 2011-2015 рр. Всі відомості про успішність методу прогнозів представлені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Критерії якості альтернативного прогнозу метеорологічних умов забруднення над Одесою (2011-2015 рр.)

Прогноз	Спостерігалось		Сума	U	U + П
	явище	без явища			
<b>Січень</b>					
Явище	72	10	82	88	177
Без явища	9	60	69	87	173
Сума	81	70	151		
П	89	86			
			T=0,75	H=0,77	
<b>квітень</b>					
Явище	69	9	78	88	176
Без явища	10	62	72	86	173
Сума	79	71	150		
П	87	87			
			T=0,75	H=0,78	
<b>Липень</b>					
Явище	75	5	80	94	184
Без явища	8	67	75	89	182
Сума	83	72	155		
П	90	93			
			T=0,83	H=0,88	
<b>Жовтень</b>					
Явище	65	12	77	84	170
Без явища	11	67	78	86	171
Сума	76	79	155		
П	86	85			
			T=0,70	H=0,71	

У цілому загальна справджуваність ( $U$ , %) альтернативного методу прогнозу метеорологічних умов забруднення над Одесою була високою та становила 87 % у січні та квітні – 80 %, липні – 92 % та жовтні – 85 %, тобто прогностична методика працює добре на незалежному матеріалі протягом останнього десятиріччя.

Як видно з табл. 3.2, справджуваність прогнозу наявності умов забруднення ( $U_{я}$ , %) вище ніж загальна та досягала 88-94 %. Справджуваність прогнозу відсутності метеорологічних умов забруднення ( $U_{б.я}$ , %) у липні та жовтні практично дорівнювала  $U_{я}$ , але вона була нижче у липні на 5 %.

Попередженість наявності ( $\Pi_{я}$ , %) метеорологічних умов забруднення протягом всіх періодів дослідження перевищувала 80 %. Відсутність умов накопичення домішок ( $\Pi_{б.я}$ , %) попереджалася найкраще у липні (93 %).

Розрахунки критерію надійності М.О.Багрова показали, що він приймав мінімальне значення (0,71) у жовтні, а у решті місяці він становив від 0,77 до 0,88, тобто прогностична методика надійна.

Застосування для оцінки якості прогнозу метеорологічних умов забруднення над Одеси критерію якості прогнозів Пірсі-Обухова ( $T$ ) виявило, що він приймав лише додатні значення (від 0,70 до 0,83), тобто попередженість явища ( $\Pi_{я}$ ) перевищувала відношення помилкових прогнозів явища до фактичного числа днів без явищ.

## ВИСНОВКИ

В процесі виконання магістерської роботи одержані такі результати:

1. В центральні місяці кліматичних сезонів у період з 2011 по 2015 р.р. вміст пилу і діоксиду сірки в атмосфері міста збільшився, на 20-30 %, не залежно від сезону. На всіх постах спостерігається перевищення ГДК діоксиду сірки, а найбільшого значення воно набуває на ПЗС № 18 у липні 2014 р. ( $0,055 \text{ мг/м}^3$ ). Також спостерігається тенденція до зростання середньомісячного показника концентрації пилу. В липні 2014-2015 рр. значення ГДК пилу збільшилися майже вдвічі порівняно з даними 2012-2013 рр., а показники перевищення середньодобового значення  $\text{CO}_2$  знизилися з 5-6,5  $\text{мг/м}^3$  до 3,0-4,0  $\text{мг/м}^3$ .

2. Відсутність промислових підприємств і метеорологічні умови сприяють низькому рівню забруднення повітря навколо поста № 8. На постах № 10 та 18 спостерігається перевищення ГДК для більшості домішок, що розглядаються при північних напрямках в січні; в липні при південних, північно-західних та північно-східних румбах. На посту №16 виявити певну залежність не вдалось, що можна пояснити розміщенням поста в центральній частині міста з інтенсивним рухом транспорту на перехресті доріг.

3. Отримано, що значна концентрація забруднюючих речовин у повітряному басейні м. Одеса спостерігається як при слабких швидкостях вітру 1-3 м/с та штилі, на всіх постах і у всі сезони так і при швидкостях вітру більше 5 м/с, особливо при наявності піднесеної інверсії.

4. Оцінка повторюваності типів синоптичних процесів на території півдня України свідчить про збільшення в центральні місяці сезонів кількості типів циркуляції з великими баричними градієнтами, а саме підтипів 5.1, 5.2, 6.2. У той же час, повторюваність синоптичних ситуацій, відповідних малоградієнтним полям підвищеного тиску, які формують стійке забруднення атмосфери, також досить велика.

5. При оцінці якості нового альтернативного методу прогнозу метеорологічних умов забруднення над Одесою встановлена доцільність його використання у теперішній час, та можливість рекомендувати його для вдосконалення прогнозування роботи оперативних прогностичних підрозділів Північно-Західного Причорномор'я.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / перевод с англ. под ред. Яглома А. М. Л.:Гидрометеиздат. 1985. 360 с.
2. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.:Гидрометеиздат. 1975. 448 с.
3. Безуглая Е. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. Л.:Гидрометеиздат. 1980. 184 с.
4. Берлянд М.Е., Оникул Р.И., Гернихович Е.Л. и др. О загрязнении атмосферы промышленными выбросами при аномальных условиях стратификации // Метеорология и гидрология. 1963. № 8.
5. Блинова Е. Н. Гидродинамическая теория волн давления, температурных волн и центров действия атмосферы. Докл. АН СССР. 1943. Т. 39. № 7. С. 284-287.
6. РІШЕННЯ ОДЕСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ Програма «Чисте повітря м. Одеса». – URL: <http://omr.gov.ua/popup923.htm>
7. Ивус Г. П., Агайар Э.В. Фізико-статистичний аналіз і прогноз слабкого вітру та інверсій температури над територією Північно-Західного Причорномор'я. Одеса: ТЕС. 2018. 201 с.
8. Ивус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б., Хоменко Г. В. Характеристика впливу температурно-вітрового режиму нижньої тропосфери на процеси розповсюдження шкідливих домішок над Одесою. Сборник научных трудов по материалам конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований - 2010». Одеса: Черноморье. 2010. С. 7-8.
9. Кац А. Л. Индекс циркуляции как показатель зональных и меридиональных синоптических процессов. Метеорология и гидрология. 1959. № 5. С. 3-8.
10. Климат Одессы / под ред. Л.К. Смекаловой, Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеиздат. 1986. 174 с.
11. Клімат України за редакцією В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Видавництво Раєвського. Київ. 2003. 343 с.

12. Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха в городах с учетом метеорологических условий. РД 52.04.78-86. М.: Гидрометеиздат, 1993. 103 с.
13. Міщенко З.А., Ляшенко Г.В. Мікрокліматологія: навчальний посібник. К.: КНТ. 2007. 336 с.
14. Охрана атмосферного воздуха в Одессе / Одесский вестник. №10. 20.10.2006.
15. Кіптенко Є. М., Козленко Т. В. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря у містах України. Наук. ПраціУкр. НДГМІ. 2002. Вип. 250.
16. Кіптенко Є. М., Козленко Т. В. Вплив метеорологічних умов забруднення повітря у промислових містах України. Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія. 2007. № 13. С. 208-216.
17. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеиздат. 1978. 296 с.  
Кононова Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзерdzeевскому. М.:Воентехиниздат, 2009. 372с.
18. Петросянц М. А., Гущина Д. Ю. Крупномасштабное воздействие глобальной циркуляции атмосферы с температурой поверхности экваториальной части Тихого океана. Метеорология и гідрологія. 1998. № 5. С. 5-24.
19. Список промышленных предприятий г. Одессы на 1 января 2016 г. URL:<http://omr.gov.ua/ru/enterprises/> (дата звернення 10.12.2017 р.)
20. Сонькин Л. Р. Синоптико – статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. Л.:Гидрометеиздат. 1991. 428 с.
21. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста / Сніжко С.І., Шевченко О.Г. К.: Видавництво географічної літератури «Обрії». 2011. 297 с.
22. Шевченко О.Г., Сніжко С.І. Оперативне прогнозування забруднення атмосферного повітря у м. Києві// Людина та довкілля. Проблеми неоекології 2010. № 1 (14). С. 64-69.
23. Шевченко О. Г., Сніжко С. І. Вплив напрямку та швидкості вітру на рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва // Український метеорологічний журнал. 2008. № 3. с. 33 – 38.

24. Шевчук М.П. (наук. кер. к.г.н. Агайар Е. В.) Вплив вітру на забруднення повітряного басейну в районі м. Одеси // Тези доповідей третьої міжнародної наукової конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: Актуальні проблеми та шляхи їх вирішення»\ ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2018. С. 213-214.

25. Шевчук М.П. (наук. кер. к.г.н. Агайар Е. В.) Вплив вітру на забруднення повітряного басейну в районі м. Одеси. 2011-2015 р.р Збірник статей за матеріалами наукової конференції молодих вчених. Одеса: ТЕС, 2018. С. 209-210.

26. Школьний Є. П., Лоева І. Д., Гончарова Л. Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.]. – Одеса. 1999. 600 с.

27. Glushkov A V, Khetselius O Yu, E V Agayar, V V Buyadzhi, A V Romanova V F Mansarliysky. Modelling dynamics of atmosphere ventilation and industrial city's air pollution analysis: New approach // IOP publishing IOP conf. series: earth and environmental science (2017).Vol.92,conference 1, 012014, 5 p.

28. Ivus G. P., Kovalkov I. A., Semergei-Chumachenko A. B., Popova L. O. Change in wind speed over the Odessa region. in SWorld Journal, Issue №12 (Scientific world, Ivanovo, 2017) – URL: <http://www.sworldjournal.com/e-journal/j12.pdf> (date:03/04/2017) - page 36-41- Article CID Number: j12-057, DOI: 10.21893/2227-6920.2017-12.057 (дата звернення 30.11.2017 р.)

29. Ivus G. P., Zubkovych S. A., Agayar E. V., Gurskaya L. M. To the question about typification of synoptic processes over the territory of Ukraine. International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences, 2015. Vol. 3. No. 01. P.21-27.

30. Ivus G. P., Ahayar E. V., Hurska L. M., Semergey-Chumachenko A. B., Zubkovich S. O. The classification of macrocirculation processes of the Northwest Black Sea region, which contribute to surface wind strengthening. Bull. J. Meteo&Hydro, 2016. 21. P. 1-2.

31. Kovács, A., Mészáros, R., Leelőssy, Á., Lagzi, I., 2016: Air pollution modeling in urban environment using WRF-Chem model. Proceedings of the 17th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes.

32. Landsberg H.E. *The Urban Climate // International Geophysics Series*. NewYork. 1981. Vol. 28. Pp. 769–779.
33. Philipp, A., Bartholy, J., Beck, C., Erpicum, M., Esteban, P., Fettweis, X., Huth, R., James, P., Jourdain, S., Kreienkamp, F., Krennert, T., Lykoudis, S., Michalides, S. C., Pianko-Kluczynska, K., Post, P., Alvarez, D. R., Schiemann, R., Spekat, A., Tymvios, F. S., 2010: Cost733cat: a database of weather and circulation type classifications. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35(9–12): 360– 373.
34. Rossby C. G. et al. Relations between variations in the intensity on the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semlpermanent centers of action. *J. Mar. Res.*, 1939. Vol. 2. P. 38-55.
35. Semenova, I. G., 2013: Regional atmospheric blocking in the drought periods in Ukraine. *Journal of Earth Science and Engineering*. V.3(5): 341–348.
36. Umbria A., Galan M., Munoz M., Martin R. Characterisation of atmospheric particles: analysis of particles in the campo de Gibraltar// *Atmosfera*. - 2004. -Vol.33.-P. 191-206.

## Додаток А

кафедри метеорології та кліматології  
на магістерську роботу студентки гр. МНЗ-2М  
факультету магістерської та аспірантської підготовки ОДЕКУ

Шевчук Марії Петрівні

Тема магістерської роботи

«Вітровий режим м. Одеса та його вплив на рівень забруднення  
атмосферного повітря»

Кваліфікаційна магістерська робота виконана в у рамках науково-дослідних робіт «Розробка та вдосконалення методів прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над промисловими районами Одеси» (2013-2017 рр.), № держреєстрації 0113U007881. та «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр.) ДР № 0115U006532).

Завідуючий кафедрою  
метеорології та кліматології

проф. Івус Г.П.

Таблиця А.1 – Список конференцій та публікацій

<b>Вид наукової роботи (теми наукових робіт, автор, керівник роботи)</b>	<b>Кількість кредитів</b>
<b>Наукові статті</b>	
1. Шевчук М.П., Агайар Е. В. Вплив вітру на забруднення повітряного басейну в районі м. Одеси. 2011-2015 р.р Збірник статей за матеріалами наукової конференції молодих вчених. Одеса: ТЕС, 2018. С. 209-210.	0,25
<b>Університетські конференції, семінари, гуртки</b>	
1. III міжнародна наукова конференція молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» 21-23.03.18 р. Тема доповіді: Вплив вітру на забруднення повітряного басейну в районі м. Одеси	0,75
2. Конференція молодих вчених ОДЕКУ 2-8 травня 2018 р. Тема доповіді: Вплив вітру на забруднення повітряного басейну в районі м. Одеси. 2011-2015 р.р	0,25
3. Наукові гуртки та семінари 2017 р., 2018 р.	0,25
<b>Опубліковані тези конференцій:</b>	
1. Шевчук М.П. (наук. кер. к.г.н. Агайар Е. В.) Вплив вітру на забруднення повітряного басейну в районі м. Одеси // Тези доповідей третьої міжнародної наукової конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: Актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2018. С. 213-214.	0,75
<b>Участь у виконанні НДР</b>	
«Розробка та вдосконалення методів прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над промисловими районами Одеси» (2013-2017 рр.), № держреєстрації 0113U007881. <b>2017</b> рр.	0,20
«Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр.) ДР № 0115U006532 - <b>2018</b> р.	0,20
<b>Конкурсні роботи:</b>	
Конкурс наукових робіт серед студентів ОДЕКУ за напрямком географічні науки (гідрометеорологія) у жовтні-листопаді 2017 рр., ОДЕКУ, м. Одеса: - Оцінка впливу вітру на забруднення атмосфери (2017)	0,25
<b>ВСЬОГО</b>	<b>2,9</b>

### Додаток Б

Таблиця Б.1 - Повторюваність випадків забруднення CO<sub>2</sub> за різних швидкостей вітру за період 2011-2015 рр.

№ поста/градації швидкості вітру, м/с	0	1	2-3	4-5	> 6
<b>Січень</b>					
ПЗС№8	4	29	41	16	11
ПЗС№10	24	38	35	2	2
ПЗС№16	16	19	51	12	1
ПЗС№18	50	10	32	8	0
<b>Квітень</b>					
ПЗС№8	2	19	57	16	6
ПЗС№10	21	25	48	11	3
ПЗС№16	21	14	53	11	1
ПЗС№18	40	11	42	8	2
<b>Липень</b>					
ПЗС№8	2	37	52	6	6
ПЗС№10	17	29	45	8	2
ПЗС№16	23	22	49	9	1
ПЗС№18	51	11	33	9	2
<b>Жовтень</b>					
ПЗС№8	6	30	39	14	12
ПЗС№10	22	33	38	5	4
ПЗС№16	21	18	50	13	2
ПЗС№18	66	5	24	6	1

Таблиця Б.2 - Повторюваність випадків забруднення CO<sub>2</sub> за різних напрямків вітру в період 2011-2015 рр.

	Напрямок вітру							
	Січень							
	Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
ПЗС№8	20	10	8	7	13	11	18	11
ПЗС№10	25	17	7	13	7	5	9	15
ПЗС№16	30	12	10	6	15	8	9	10
ПЗС№18	49	16	3	3	6	18	4	4
Квітень								
ПЗС№8	10	10	6	11	23	14	11	14
ПЗС№10	12	12	14	23	10	10	14	10
ПЗС№16	23	14	9	10	22	7	6	10
ПЗС№18	36	13	5	0	22	15	7	4
Липень								
ПЗС№8	17	8	5	10	18	9	18	22
ПЗС№10	15	11	15	19	20	13	11	10
ПЗС№16	38	11	6	5	15	5	7	15
ПЗС№18	36	14	14	4	14	8	2	10
Жовтень								
ПЗС№8	13	14	10	6	11	7	14	21
ПЗС№10	16	22	17	14	9	9	7	10
ПЗС№16	37	20	16	8	12	4	7	23
ПЗС№18	46	15	24	6	6	13	2	6

Таблиця Б.3 - Повторюваність випадків забруднення NO<sub>2</sub> за різних



## швидкостей вітру за період 2011-2015 рр.

№ поста/градації швидкості вітру, м/с	0	1	2-3	4-5	> 6
Січень					
ПЗС№8	2	25	37	19	11
ПЗС№15	21	32	55	3	0
ПЗС№16	16	19	51	12	1
ПЗС№18	42	13	36	9	0
Квітень					
ПЗС№8	2	17	59	18	6
ПЗС№15	24	24	47	15	8
ПЗС№16	21	15	52	11	1
ПЗС№18	36	19	41	9	2
Липень					
ПЗС№8	2	30	58	12	2
ПЗС№15	13	27	54	10	2
ПЗС№16	23	22	50	9	1
ПЗС№18	49	6	27	10	4
Жовтень					
ПЗС№8	3	20	44	16	17
ПЗС№15	20	27	47	7	3
ПЗС№16	18	14	46	13	3
ПЗС№18	3	20	44	16	17

Таблиця Б.4 - Повторюваність випадків забруднення NO<sub>2</sub> за різних напрямків вітру в період 2011-2015 рр.

	Напрямок вітру							
Січень								
	Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
ПЗС№8	18	11	10	7	10	14	19	14
ПЗС№15	23	18	7	13	9	5	13	14
ПЗС№16	30	12	10	6	15	8	9	10
ПЗС№18	42	21	5	3	9	23	8	4
Квітень								
ПЗС№8	9	10	8	11	20	28	12	14
ПЗС№15	5	15	19	20	16	10	12	11
ПЗС№16	20	13	8	9	21	7	5	10
ПЗС№18	25	8	6	0	28	19	9	3
Липень								
ПЗС№8	14	9	7	16	14	10	13	19
ПЗС№15	11	13	14	18	16	13	11	7
ПЗС№16	38	11	6	5	15	6	5	15
ПЗС№18	41	6	9	6	24	14	4	11
Жовтень								
ПЗС№8	11	16	14	7	11	10	10	20
ПЗС№15	13	25	16	12	8	8	7	13
ПЗС№16	36	20	16	8	12	5	7	23
ПЗС№18	43	15	28	8	13	11	1	12

Таблиця Б.5 - Повторюваність випадків забруднення SO<sub>2</sub> за різних швидкостей вітру за період 2011-2015 рр.

№ поста/градації швидкості вітру, м/с	0	1	2-3	4-5	> 6
Січень					
ПЗС№8	2	25	43	19	11
ПЗС№15	21	31	55	4	0
ПЗС№16	16	19	51	12	2
ПЗС№18	45	14	33	11	0
Квітень					
ПЗС№8	1	18	57	20	5
ПЗС№15	24	24	47	15	8
ПЗС№16	20	14	49	14	10
ПЗС№18	33	14	38	8	2
Липень					
ПЗС№8	2	30	54	12	3
ПЗС№15	17	27	54	10	2
ПЗС№16	23	22	50	9	1
ПЗС№18	49	8	27	10	4
Жовтень					
ПЗС№8	3	23	43	16	15
ПЗС№15	20	27	47	7	4
ПЗС№16	21	18	50	13	3
ПЗС№18	63	7	23	6	10

Таблиця Б.6 - Повторюваність випадків забруднення NO<sub>2</sub> за різних напрямків вітру в період 2011-2015 рр.

	Напрямок вітру
--	----------------

Січень								
	Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
ПЗС№8	17	10	9	7	13	12	17	13
ПЗС№15	25	18	7	13	9	5	13	14
ПЗС№16	30	12	10	6	15	8	9	10
ПЗС№18	45	19	4	3	8	18	5	4
Квітень								
ПЗС№8	10	9	6	11	19	14	11	17
ПЗС№15	5	15	19	20	16	10	12	11
ПЗС№16	20	13	8	9	21	7	5	11
ПЗС№18	25	8	6	0	28	19	9	3
Липень								
ПЗС№8	11	9	7	16	14	10	13	19
ПЗС№15	11	13	12	18	16	13	11	7
ПЗС№16	38	11	6	5	15	5	5	15
ПЗС№18	41	6	9	6	23	14	4	11
Жовтень								
ПЗС№8	11	16	14	7	11	10	10	20
ПЗС№10	13	25	16	12	8	8	7	13
ПЗС№16	36	20	16	8	12	5	7	22
ПЗС№18	37	16	28	9	7	11	0	4

Таблиця Б.7- Повторюваність випадків забруднення пилом за різних швидкостей вітру за період 2011-2015 рр.

№ поста/градації швидкості вітру, м/с	0	1	2-3	4-5	> 6
Січень					
ПЗС№8	4	29	41	16	11
ПЗС№10	24	37	43	3	3
ПЗС№16	16	19	51	12	2
ПЗС№18	50	10	32	10	0
Квітень					
ПЗС№8	2	19	57	16	6
ПЗС№10	21	25	48	11	3
ПЗС№16	20	16	53	11	1
ПЗС№18	40	11	42	8	2
Липень					
ПЗС№8	3	37	52	6	9
ПЗС№10	11	26	56	11	3
ПЗС№16	23	22	50	9	1
ПЗС№18	51	11	33	9	2
Жовтень					
ПЗС№8	10	29	42	12	11
ПЗС№10	20	31	40	5	4
ПЗС№16	24	22	44	14	4
ПЗС№18	65	5	25	6	1

Таблиця Б.8 - Повторюваність випадків забруднення пилом за різних напрямків вітру в період 2011-2015 рр.

	Напрямок вітру
--	----------------

Січень								
	Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
ПЗС№8	21	11	8	7	13	11	18	11
ПЗС№10	28	18	8	14	5	5	7	17
ПЗС№16	30	12	10	6	15	8	9	10
ПЗС№18	49	16	4	3	6	18	6	4
Квітень								
ПЗС№8	10	10	8	11	22	14	11	15
ПЗС№10	12	12	14	23	12	10	14	14
ПЗС№16	23	15	9	10	22	7	6	12
ПЗС№18	36	13	7	0	22	15	7	5
Липень								
ПЗС№8	17	8	5	10	23	9	18	22
ПЗС№10	26	13	11	16	20	15	11	12
ПЗС№16	38	11	6	6	15	5	5	15
ПЗС№18	36	12	14	6	14	8	2	10
Жовтень								
ПЗС№8	13	12	8	7	13	6	15	23
ПЗС№10	18	19	15	15	11	9	10	11
ПЗС№16	36	10	18	8	12	5	7	23
ПЗС№18	53	12	15	6	5	13	2	6

**Додаток В**

Таблиця В.1- Середньомісячні значення концентрації NO<sub>2</sub> мг/м<sup>3</sup>  
2011-2015 рр.

Місяць	№8	№10	№16	№18
січень 2011	0,02	0,04	0,03	0,03
січень 2012	0,02	0,06	0,06	0,06
січень 2013	0,03	0,06	0,06	0,06
січень 2014	0,06	0,06	0,06	0,07
січень 2015	0,03	0,05	0,05	0,06
квітень 2011	0,02	0,06	0,06	0,06
квітень 2012	0,02	0,06	0,04	0,05
квітень 2013	0,04	0,07	0,07	0,07
квітень 2014	0,04	0,08	0,07	0,08
квітень 2015	0,03	0,06	0,06	0,06
липень 2011	0,02	0,04	0,03	0,03
липень 2012	0,03	0,08	0,07	0,08
липень 2013	0,04	0,08	0,07	0,08
липень 2014	0,05	0,08	0,07	0,08
липень 2015	0,05	0,07	0,07	0,07
жовтень 2011	0,03	0,08	0,07	0,08
жовтень 2012	0,03	0,07	0,06	0,07
жовтень 2013	0,04	0,07	0,07	0,07
жовтень 2014	0,04	0,07	0,07	0,07
жовтень 2015	0,04	0,06	0,07	0,07

Таблиця В. 2 - Середньомісячні значення концентрації SO<sub>2</sub> мг/м<sup>3</sup>  
2011-2015 рр.

Місяць	№8	№10	№16	№18
січень 2011	0,015	0,032	0,029	0,033
січень 2012	0,014	0,032	0,031	0,035
січень 2013	0,002	0,004	0,004	0,004
січень 2014	0,036	0,04	0,038	0,042
січень 2015	0,026	0,047	0,043	0,045
квітень 2011	0,010	0,044	0,040	0,045
квітень 2012	0,015	0,039	0,026	0,037
квітень 2013	0,024	0,042	0,041	0,047
квітень 2014	0,024	0,042	0,041	0,045
квітень 2015	0,02	0,041	0,045	0,047
липень 2011	0,17	0,044	0,041	0,047
липень 2012	0,01	0,044	0,04	0,045
липень 2013	0,003	0,005	0,004	0,005
липень 2014	0,031	0,051	0,05	0,055
липень 2015	0,042	0,049	0,049	0,052
жовтень 2011	0,013	0,033	0,031	0,035
жовтень 2012	0,016	0,038	0,039	0,0039
жовтень 2013	0,026	0,042	0,039	0,043
жовтень 2014	0,025	0,040	0,043	0,047
жовтень 2015	0,028	0,043	0,044	0,045

Таблиця В.3 - Середньомісячні значення концентрації пилу мг/м<sup>3</sup>  
2011-2015 рр.

Місяць	№8	№10	№16	№18
січень 2011	0,1	0,14	0,14	0,14
січень 2012	0,11	0,13	0,15	0,15
січень 2013	0,1	0,17	0,16	0,16
січень 2014	0,1	0,2	0,2	0,2
січень 2015	0,1	-	0,2	0,2
квітень 2011	0,15	0,18	0,16	0,18
квітень 2012	0,14	0,15	0,16	0,18
квітень 2013	0,13	0,16	0,17	0,16
квітень 2014	0,1	0,2	0,3	0,3
квітень 2015	0,1	0,2	0,4	0,3
липень 2011	0,14	0,16	0,16	0,17
липень 2012	0,15	0,15	0,16	0,18
липень 2013	0,1	0,2	0,2	0,16
липень 2014	0,1	-	0,3	0,3
липень 2015	0,1	0,2	0,3	0,3
жовтень 2011	0,1	0,13	0,15	0,15
жовтень 2012	0,13	0,16	0,15	0,16
жовтень 2013	0,13	0,17	0,17	0,17
жовтень 2014	-	-	-	-
жовтень 2015	0,1	0,2	0,2	0,2

Таблиця В.4 - Середнє значення концентрації ЗР (мг/м<sup>3</sup>) за період 2011-2015рр.

Місяць	ПЗС№8	ПЗС№10	ПЗС№16	ПЗС№18
CO <sub>2</sub>				
Січень	2	3	3	3
Квітень	2	3	3	3
Липень	2	3	3	3
Жовтень	2	3	3	3
NO <sub>2</sub>				
Січень	0,03	0,05	0,05	0,06
Квітень	0,03	0,07	0,06	0,06
Липень	0,04	0,07	0,06	0,07
Жовтень	0,04	0,07	0,07	0,07
SO <sub>2</sub>				
Січень	0,019	0,031	0,029	0,032
Квітень	0,019	0,042	0,039	0,044
Липень	0,022	0,037	0,036	0,039
Жовтень	0,022	0,039	0,039	0,035
Пил				
Січень	0,10	0,16	0,17	0,17
Квітень	0,12	0,18	0,24	0,22
Липень	0,12	0,18	0,22	0,22
Жовтень	0,12	0,17	0,17	0,17