

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет природоохоронний
Кафедра екології та охорони довкілля

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: Прогнозування забруднення повітряного басейну міста Одеса
діоксидом азоту

Виконав студент 2 курсу групи МЕБ-20
спеціальності 101–Екологія
Терземан Володимир Вікторович

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

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

Одеса 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет природоохоронний

Кафедра екології та охорони довкілля

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 101 – Екологія

Освітньо-наукова програма Екологічна безпека

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри екології та охорони довкілля

Т.А. Сафранов

“ 14 ” березня 2022 року

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

Терземану Володимирі Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Прогнозування забруднення повітряного басейну міста Одеса діоксидом азоту

керівник роботи Чугай Ангеліна Володимирівна, д.т.н., професор

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 02 ” березня 2022 р. № 27-С

2. Строк подання студентом роботи 10 травня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи матеріали даних регулярних моніторингових спостережень за вмістом діоксиду азоту в атмосферному повітрі м. Одеса у 2013 – 2017 рр.

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

1) Загальні властивості діоксиду азоту, джерела утворення, вплив на стан довкілля і здоров'я людини

2) Огляд існуючих методів прогнозу забруднення атмосферного повітря

3) Актуальність прогнозування забруднення атмосферного повітря м. Одеса з урахуванням метеорологічних факторів

4) Прогнозування забруднення атмосфери м. Одеса діоксидом азоту (порівняльний аналіз застосування двох прогностичних схем, їх ефективність)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
- 1) Динаміка зміни фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у зимовий період 2016 – 2017 рр. (3 рис.).
- 2) Динаміка фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у літній період 2013 р. (3 рис.).
- 3) Динаміка фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у літній період 2017 р. (3 рис.).
- 4) Прогноз забруднення параметра P МРО (зимовий період 2016 – 2017 рр.) (3 рис.).
- 5) Прогноз забруднення параметра P МРО (літній період 2017 р.) (3 рис.).

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 14 березня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Загальна характеристика діоксиду азоту: джерела утворення, вплив на довкілля і здоров'я людини	14.03.22-18.03.22	100	5 (відм.)
2.	Огляд методів короткострокового прогнозу забруднення атмосферного повітря	19.03.22-26.03.22	100	5 (відм.)
3.	Аналіз метеорологічних умов забруднення м. Одеса	27.04.22-03.04.22	100	5 (відм.)
4.	Прогноз забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту за методом УкрНДГМІ	04.04.22-10.04.22		
	Рубіжна атестація	11.04.22-16.04.22	100	5 (відм.)
5.	Прогноз забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту методом розпізнавання образів	17.04.22-28.04.22	100	5 (відм.)
6.	Узагальнення отриманих результатів. Складення висновків, переліку посилань та списку публікацій за темою кваліфікаційної роботи магістра	29.04.22-09.05.22	100	5 (відм.)
7.	Подання роботи керівникові на перевірку. Внесення коректив. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності і відсутності ознак плагіату. Оформлення керівником протоколу та висновку. Підготовка презентаційного матеріалу і доповіді до захисту. Укладення авторського договору	10.05.22-17.05.22	-	-
8.	Подання КРМ на перевірку завідувачу кафедри, в деканат природоохоронного факультету для отримання допуску до захисту. Рецензування роботи	18.05.22-22.05.22	-	-
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		100,0	

Студент

_____ (підпис)

Терзман В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Чугай А.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Терземан В.В. Прогнозування забруднення повітряного басейну міста Одеса діоксидом азоту.

Для Одеси якість атмосферного повітря є критичною важливою складовою, оскільки місто є рекреаційним і курортним центром України. Поряд з цим Одеса – місто мільйонник з великою кількістю автотранспорту, вантажоперевезень через знаходження на території міста морського порту.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є апробація окремих методів короткострокового прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту.

Об'єктом дослідження є забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту, предметом дослідження – прогностичні схеми забруднення з метою вибору оптимального методу.

В якості вихідних даних в роботі використані дані літературних джерел інформації, а матеріали Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні, дані спостережень за забрудненням атмосферного повітря на мережі стаціонарних пунктів спостережень.

Отримані результати прогнозу забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у зимовий період 2016 – 2017 рр. за методом УкрНДГМІ показав, що динаміка зміни фактичних значень показника Q співпадає з прогностичними значеннями даного показника. У літній період 2013 і 2017 рр. фактичне значення Q майже в кожному випадку співпадало зі прогностичними показниками. Справджуваність прогнозу за методом УкрНДГМІ в зимовий період в середньому складала 96,6 %, у літній період – 98,3 %.

За методом розпізнавання образів у зимовий і літній періоди 2016 – 2017 рр. відсоток справджуваності прогнозів склав 67 %.

Метод УкрНДГМІ виявився більш надійнішим, ніж метод розпізнавання образів. Низький відсоток справджуваності в результатах прогнозу за методом

розпізнавання образів може бути пов'язаний з проблемами побудови моделі та малим розкидом класів забруднення в даній вибірці, а також зі спрямованістю методики на визначення класу забруднення, а не рівня забруднення. Недоліком використання методу УкрНДГМІ є неможливість його використання в осінній та весняний періоди.

Робота складається зі вступу, 3 основних розділів, висновку, переліку посилань і додатків. Обсяг роботи складає 84 с., в т.ч. 15 рис., 25 табл. і 40 літературних джерел.

Ключові слова: прогноз забруднення, предиктор, інтегральний показник, справджуваність.

SUMMARY

Terzeman V. Forecasting the Air Pollution in the City of Odessa with Nitrogen Dioxide.

For Odessa, air quality is a critical component, as the city is a recreational and resort center of Ukraine. Along with this, Odessa is a city of millions with a large number of vehicles, freight traffic due to the location of the seaport in the city.

The purpose of the master's qualification work is to test certain methods of short-term forecasting of the atmospheric air level in Odessa with nitrogen dioxide.

The object of the study is the pollution of the air of Odessa with nitrogen dioxide, the subject of the study – prognostic schemes of pollution in order to choose the optimal method.

Data from literature sources were used as initial data, and materials of the National Report on the State of the Environment in Ukraine, data from observations of air pollution at the network of stationary observation points were used.

The obtained results of the forecast of air pollution with nitrogen dioxide in the winter period of 2016-2017 by the method of UkrNIGMI showed that the dynamics of changes in the actual values of the indicator Q coincides with the prognostic values of this indicator. In the summer of 2013 and 2017, the actual value of Q in almost every case coincides with the prognostic indicators. The accuracy of the forecast according to the method of UkrNIGMI in the winter averaged 96,6 %, in the summer – 98,3 %.

According to the method of pattern recognition in the winter and summer periods of 2016 – 2017, the percentage of accuracy of predictions was 67 %.

The UkrNIGMI method proved to be more reliable than the method of pattern recognition. The low percentage of reliability in the method of pattern recognition forecast results may be due to modeling problems and small variance of pollution classes in this sample, as well as the focus of the methodology on determining the

pollution class rather than the level of pollution. The disadvantage of using the method UkrNIGMI is the impossibility of its use in autumn and spring.

The work consists of an introduction, 3 main sections, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of work is 84 pages, including 15 figures, 25 tables and 40 literature sources.

Key words: pollution forecast, predictor, integral indicator, authenticity.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	10
ВСТУП	11
1 ЗАГАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ДІОКСИДУ АЗОТУ, ДЖЕРЕЛА НАДХОДЖЕННЯ ТА ВПЛИВ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ	14
1.1 Вплив діоксиду азоту на людину та довкілля	15
<i>1.1.1 Забруднення довкілля діоксидом азоту</i>	16
<i>1.1.2 Вплив діоксиду азоту на здоров'я людини</i>	17
1.2 Джерела походження та особливості розсіювання	22
1.3 Забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту в Україні	25
2 МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ	28
2.1 Актуальність проблеми забруднення атмосферного повітря м. Одеса	28
2.2 Вплив метеорологічних параметрів на стан атмосферного повітря м. Одеса	29
2.3 Методика короткострокового прогнозування УкрНДГМІ	31
2.4 Метод розпізнавання образів	35
3 ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ДІОКСИДОМ АЗОТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ОДЕСА	43
3.1 Метод УкрНДГМІ	43
3.2 Прогноз методом розпізнавання образів	63
ВИСНОВКИ	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	75
ДОДАТКИ	81

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

ГДК – гранично допустима концентрація

ГМЦ ЧАМ – гідрометеорологічний центр Чорного і Азовського морів

ЗР – забруднююча речовина

ІЗА – індекс забруднення атмосфери

МРО – метод розпізнавання образів

НМЛОС – неметанові леткі органічні сполуки

НМУ – несприятливі метеорологічні умови

ПСЗ – пункт спостережень за забрудненням атмосфери

ТЕЦ – теплоелектроцентраль

УкрНДГМІ – Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут

ВСТУП

Якість атмосферного повітря є основною складовою, яка впливає на стан здоров'я населення. У великих містах з високою концентрацією населення якість атмосферного повітря здебільшого не відповідає вимогам, що можна пояснити великою кількістю автотранспорту, густотою забудови і численними промисловими підприємствами. Для Одеси якість атмосферного повітря є критичною важливою складовою, оскільки місто є рекреаційним і курортним центром України. Поряд з цим Одеса – місто мільйонник з великою кількістю автотранспорту, вантажоперевезень через знаходженням на території міста морського порту.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є апробація окремих методів короткострокового прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту.

В якості вихідних даних в роботі використані дані літературних джерел інформації, а матеріали Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні, дані спостережень за забрудненням атмосферного повітря на мережі стаціонарних пунктів спостережень.

При виконанні роботи були поставлені такі завдання:

- дати загальну характеристику діоксиду азоту як забруднюючої речовини, його впливу на довкілля та здоров'я людини;
- вивчити існуючі прогностичні схеми забруднення атмосферного повітря, визначити їх особливості та можливість застосування для м. Одеса;
- виконати короткостроковий прогноз забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту із застосуванням двох прогностичних схем (метод УкрНДГМІ і розпізнавання образів);
- провести порівняльну оцінку застосування прогностичних схем для м. Одеса.

Об'єктом дослідження є забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту, предметом дослідження – прогностичні схеми забруднення з метою вибору оптимального методу.

Новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше за останні роки виконана спроба розробки прогностичної схеми забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту.

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

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

- Третя і Четверта Міжнародні науково-практичні конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» (Херсон, ХДАУ, жовтень 2020 – 2021 рр.);
- VI Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих учених (Харків, ХНАДУ, жовтень 2020 р.);
- Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції» (Житомир, ДУ «Житомирська політехніка», листопад 2020 – 2021 рр.);
- VII Міжнародна заочна науково-практична конференція «Актуальні питання біологічної науки» (Ніжин, НДУ ім. Миколи Гоголя, 2021 р.);
- щорічна конференція молодих вчених ОДЕКУ (Одеса, ОДЕКУ, травень 2021 – 2022 рр.);
- Міжнародний науковий симпозіум «Тиждень еколога – 2021» (Кам'янське, ДДТУ, жовтень 2021 р.);
- I етап Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт зі спеціальності «Екологія» (Одеса, ОДЕКУ, листопад 2020 – 2021 рр.);
- II етап Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт зі спеціальності «Архітектура та містобудування», секція «Екологічні

аспекти сталого розвитку міст» (Харків, ХНУБА, робота була відправлена для участі в конкурсі);

- II етап Міжнародного конкурсу студентських наукових робіт зі спеціальності «Екологія» (Кременчук, КрНУ ім. М. Остроградського, травень 2022 р.).

За темою роботи опубліковано 10 наукових праць (1 стаття у фаховому виданні, а також матеріали і тези доповідей).

1 ЗАГАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ДІОКСИДУ АЗОТУ, ДЖЕРЕЛА НАДХОДЖЕННЯ ТА ВПЛИВ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

Існує багато хімічних видів оксидів азоту (NO_x), але найбільший інтерес з точки зору шкоди атмосферному повітрю та впливу на здоров'я людини представляє діоксид азоту (NO_2). NO_2 розчиняється у воді, має червонувато-коричневий колір, а також є сильним окислювачем.

Діоксид азоту використовують як компонент для виробництва азотної кислоти. Більшість азотної кислоти використовується у виробництві добрив, а частина використовується у виробництві вибухових речовин як для військових, так і для гірничих потреб [1].

Діоксид азоту є важливим атмосферним газом не тільки через його вплив на здоров'я, але й також тому, що:

- він поглинає видиме сонячне випромінювання та сприяє погіршенню видимості атмосфери;
- як поглинач видимої радіації він потенційно міг би мати пряму роль у глобальній зміні клімату, якщо б його концентрації стали достатньо високими;
- він поряд з оксидом азоту (NO) є головним регулятором окислювальної здатності вільної тропосфери;
- він відіграє важливу роль у визначенні концентрації озону (O_3) в тропосфері, оскільки фотоліз діоксиду азоту є єдиним ключовим ініціатором фотохімічного утворення озону в забрудненій або незабрудненій атмосфері [2, 3].

1.1 Вплив діоксиду азоту на людину та довкілля

Діоксид азоту є одним із групи забруднювачів повітря, що утворюються в процесі горіння. У міському зовнішньому повітрі присутність NO_2 в основному зумовлена рухом транспорту. NO , який виділяється автотранспортом або іншими процесами горіння, з'єднується з киснем в атмосфері, утворюючи NO_2 . Внутрішній NO_2 виробляється в основному не вентиляційними обігрівачами та газовими плитами.

NO_2 та інші оксиди азоту також є джерелом утворення ряду шкідливих вторинних забруднювачів повітря, таких як O_3 і тверді частки, і відіграють значну роль у формуванні кислотних дощів. NO_2 може вплинути на здоров'я незалежно від впливу інших забруднюючих речовин (ЗР). Однак, оскільки його присутність тісно пов'язана з утворенням або наявністю інших забруднювачів повітря, важко встановити вплив на здоров'я, пов'язаний лише з NO_2 [4].

Ймовірно, що найсильніший вплив викидів NO_x полягає в їх внеску в загальне осадження азоту. Однак прямий вплив газоподібних NO_x також може бути важливим, особливо в районах, близьких до джерел (наприклад, узбіччя доріг). Критичний рівень для всіх типів рослинності від впливу NO_x був встановлений на рівні 30 мкг/м^3 . Експериментальні дані свідчать про те, що помірні концентрації NO_x можуть викликати як позитивні, так і негативні реакції росту, причому потенціал синергічних взаємодій з діоксидом сірки (SO_2) є дуже важливим. Існують значні докази того, що вплив NO_2 , швидше за все, буде негативним у присутності еквівалентних концентрацій SO_2 .

Одним із важливих ефектів NO_x може бути його вплив на популяції комах; є докази покращення продуктивності комах-шкідників на рослинах, вирощених у помірних концентраціях NO_2 та SO_2 .

Оксиди азоту також є одними з попередників фотохімічного утворення O_3 [5].

1.1.1 Забруднення довкілля діоксидом азоту

Гази NO_x відіграють важливу роль у формуванні смогу, утворюючи коричневий серпанок, який часто спостерігається над містами, особливо влітку. Під час впливу ультрафіолетових променів у сонячному світлі теплі молекули NO_x взаємодіють з летючими органічними сполуками і утворюють приземний (або тропосферний) O_3 . O_3 на рівні землі є надзвичайно небезпечною ЗР на відміну від захисного озонового шару, що знаходиться набагато вище в стратосфері.

За наявності дощу NO_x утворюють азотну кислоту, що сприяє виникненню проблеми кислотних дощів. Крім того, відкладення NO_x в океанах забезпечує фітопланктон поживними речовинами, погіршуючи проблему червоних припливів та інших шкідливих водоростей [6].

Надмірний вміст NO_x , зокрема NO_2 , може спричинити загибель рослин і коренів і пошкодити листя багатьох сільськогосподарських культур. NO_2 є шкідливим компонентом фотохімічного смогу. Надмірні рівні підвищують кислотність дощу (знижують pH) і, таким чином, знижують pH поверхневих і підземних вод, а також ґрунту. Знижений pH може мати шкідливий вплив, можливо, спричиняти навіть смерть різноманітних біологічних систем [1].

Оксиди азоту є частиною біогеохімічного кругообігу азоту і містяться в повітрі, ґрунті та воді.

В атмосфері оксиди азоту швидко врівноважуються до NO_2 , який зрештою утворює кислотні дощі. У стратосфері оксиди азоту відіграють вирішальну роль у підтримці рівня O_3 . O_3 утворюється в результаті фотохімічної реакції між NO_2 і киснем [1].

Оксиди азоту швидко розщеплюються при взаємодії з іншими речовинами, що містяться в повітрі. NO_2 може утворювати азотну кислоту на сонячному світлі і є основною складовою кислотних дощів, тропосферного O_3 та смогу [1].

1.1.2 Вплив діоксиду азоту на здоров'я людини

Навіть невеликі щоденні коливання вмісту NO_2 можуть викликати зміни у функції легенів [7]. Хронічний вплив NO_2 може викликати респіраторні ефекти, включаючи запалення дихальних шляхів у здорових людей і посилення респіраторних симптомів у людей з астмою. NO_2 створює озон, який викликає подразнення очей і загострює респіраторні захворювання, що призводить до збільшення кількості відвідувань відділень невідкладної допомоги та госпіталізації з приводу респіраторних захворювань, особливо астми [8].

Вплив ЗР всередині приміщень на здоров'я є важливим, оскільки більшість людей у світі проводять у приміщенні понад 80 % свого часу [9]. Кількість часу, проведеного в приміщенні, залежить від кількох факторів, включаючи географічний регіон, діяльність і та ін. Крім того, оскільки теплоізоляція будинку покращується, це може призвести до більшого накопичення ЗР у повітрі (таких як NO_2) в приміщенні. Що стосується географічного регіону, то поширеність астми коливається від 2 до 20 % без чітких вказівок на те, що є причиною різниці. Це може бути результатом «гігієни» або «західного способу життя», що охоплює уявлення про будинки, які добре ізольовані та з меншою кількістю мешканців [9]. Інші дослідження вивчали зв'язок між впливом азоту в побуті та респіраторними симптомами і виявили статистично значуще відношення шансів серед тих, у кого медичний діагноз астма і вплив газової плити [10].

Основне джерело впливу NO_x в приміщеннях – використання газових плит для приготування їжі або опалення в будинках. Рівень впливу NO_x в приміщеннях в середньому щонайменше втричі вище в будинках з газовими плитами порівняно з електричними плитами у багатоквартирних будинках. Вплив NO_2 особливо шкідливий для дітей з астмою. Дослідження показали, що діти з астмою, які живуть у будинках з газовими плитами, мають більший ризик респіраторних симптомів, таких як хрипи, кашель і відчуття стиснення в грудях [8, 10]. Крім того, використання газової плити було пов'язано зі

зниженою функцією легенів у дівчат з астмою, хоча ця асоціація не була виявлена у хлопчиків [8]. Використання вентиляції під час роботи газових плит може знизити ризик респіраторних симптомів у дітей з астмою.

У дослідженні з дітьми м. Балтімор, які проживають у міській меншині, визначалось, чи є зв'язок між вмістом NO_2 і астмою для дітей віком від 2 до 6 років з наявним медичним діагнозом астми та одним відвідуванням, пов'язаним з астмою. Сім'ї з нижчим соціально-економічним статусом частіше мали газові плити в своїх будинках. Так встановили, що більш високий рівень NO_2 у будинку був причиною більшого рівня респіраторних симптомів серед досліджуваної популяції. Це додатково ілюструє, що токсичність NO_2 небезпечна для дітей [11].

Отруєння NO_2 – це захворювання, що виникає внаслідок його токсичної дії. Зазвичай це відбувається після вдихання газу за межі порогового значення. NO_2 має червонувато-коричневий колір з дуже різким запахом при високих концентраціях, при менших концентраціях він безбарвний, але все ще може мати різкий запах. Отруєння NO_2 залежить від тривалості, частоти та інтенсивності впливу.

Діоксид азоту є подразником слизової оболонки, пов'язаним з іншою ЗР, що спричиняє такі легеневі захворювання, як обструктивна хвороба легенів, астма, хронічна обструктивна хвороба легень, а в окремих випадках – смерть [8]. Його погана розчинність у воді покращує його проходження і здатність проходити через вологу слизову оболонку ротової порожнини дихальних шляхів.

Як і більшість токсичних газів, вдихувана доза визначає токсичність для дихальних шляхів. Професійне отруєння становить найвищий ризик токсичності, а побутове отруєння зустрічається рідко. Тривалий вплив низької концентрації газу може мати летальні наслідки, як і короткочасний вплив високих концентрацій, наприклад отруєння газоподібним хлором. Це одна з основних ЗР повітря, здатних спричинити серйозні небезпеки для здоров'я, такі як ішемічна хвороба серця, а також інсульт [8]. NO_2 часто виділяється в

навколишнє середовище як побічний продукт згоряння палива, але рідко виділяється при самозайманні. Відомі джерела отруєння NO_2 включають автомобільні вихлопні гази та електростанції. Токсичність також може виникнути з негорючих джерел, таких як джерело, що виділяється в результаті анаеробної ферментації харчових зерен і анаеробного розщеплення відходів, що піддаються біологічному розкладанню.

Отруєння NO_2 шкідливе для всіх форм життя, як і отруєння газом хлору та чадним газом. Він легко всмоктується через легені, і його вдихання може призвести до серцевої недостатності, а іноді і до смерті у важких випадках. В залежності від особи вплив може відрізнятися за рівнем толерантності до NO_2 , рівень індивідуальної толерантності до газу може змінюватися через декілька факторів, таких як швидкість обміну речовин, барометричний тиск і гематологічні розлади, але значний вплив може призвести до смертельних станів, які можуть призвести до скорочення тривалості життя через серцеву недостатність [12].

Вплив високого рівня NO_2 може призвести до запалення слизової оболонки та нижніх і верхніх дихальних шляхів [13]. Симптоми гострого отруєння NO_2 неспецифічні і мають схожість з отруєнням аміаком, хлором і чадним газом. Симптоми також нагадують пневмонію або вірусну інфекцію та інші інгаляційні травми, але загальні симптоми включають риніти, хрипи або кашель, кон'юнктивіт, головний біль, подразнення горла і задишку, які можуть прогресувати до носових тріщин, виразок або перфорації [14]. Пацієнт зазвичай погано виглядає і має гіпоксемію в поєднанні з поверхневим прискореним диханням. Терапія є підтримуючою та включає усунення від подальшого впливу NO_2 . Системні симптоми включають лихоманку та анорексію. Електрокардіографія та рентгенографія грудної клітки можуть допомогти у виявленні дифузних двосторонніх альвеолярних інфільтратів.

Рентгенографія грудної клітки може бути використана для діагностики, а вихідний рівень може бути встановлений за допомогою тесту функції легень [15, 16]. Специфічного лабораторного діагностичного тесту для гострого

отруєння NO_2 не існує, але аналіз рівня газів в артеріальній крові, рівня метгемоглобіну, загального аналізу крові, глюкози, вимірювання лактатного порогу та мазка периферичної крові може бути корисним у діагностиці отруєння [17].

Тривалий вплив дуже високого рівня NO_2 в діапазоні мікрометрових розмірів може мати запальний ефект, який в основному спрямований на дихальні шляхи, що призводить до хронічного отруєння, яке може виникнути протягом днів або тижнів після досягнення граничного значення.

Цей стан викликає лихоманку, прискорене дихання в поєднанні з прискореним серцебиттям, затрудненим диханням і сильною задишкою. Інші ефекти включають потовиділення, біль у грудях і постійний сухий кашель, що може призвести до втрати ваги, анорексії, а також може призвести у запущених випадках до збільшення правого боку серця і серцевих захворювань. Тривалий вплив відносно низьких рівнів NO_2 може викликати постійні головні болі та нудоту [18]. Подібно до отруєння газоподібним хлором, симптоми зазвичай зникають після подальшого впливу NO_2 , якщо не було епізоду тяжкого гострого отруєння. Лікування та реабілітація залежать від симптомів. Пацієнти часто спостерігаються щодо гіпоксемії протягом щонайменше 12 год. Якщо немає початкових симптомів і якщо пацієнт має гіпоксемію, можна ввести кисень, але пацієнтам із легневими проявами рекомендуються високі дози стероїдів. Пацієнти також можуть бути госпіталізовані на 12 – 24 год. або довше для спостереження, якщо порушений газообмін. У разі порушення газообміну може знадобитися штучна вентиляція легень та інтубація, а якщо облітеруючий бронхіоліт розвивається протягом 2 – 6 тижнів після впливу NO_2 , може знадобитися кортикостероїдна терапія або антихолінергічні препарати протягом 6 – 12 місяців, щоб знизити надмірну реакцію організму на газоподібний діоксид азоту [19].

Деякі випадки отруєння NO_2 проходять без видимих симптомів, і пацієнт може бути визначений за допомогою тесту легеневої функції [20]. Якщо хронічний вплив викликає пошкодження легенів, може знадобитися кілька

днів або місяців для покращення легеневої функції. Між тим, постійна легка дисфункція може бути результатом облітеруючого бронхіоліту і може проявлятися як аномальний потік на 50 – 70 % життєвої ємності. Це також може проявлятися у вигляді легкого гіперзапалення, обструкції дихальних шляхів, і в цьому випадку пацієнт може бути підданий стероїдному лікуванню для лікування декондиціонування [21]. Ускладнення від тривалого впливу включають облітеруючий бронхіоліт та інші вторинні інфекції, такі як пневмонія через пошкодження слизової оболонки від набряку легенів і пригнічення імунної системи NO_2 . Вдихання NO_2 може призвести до короткострокової та тривалої захворюваності або смерті залежно від ступеня опромінення та вдихнутої концентрації, а також часом впливу. Захворювання, спричинене гострим впливом, зазвичай не є смертельним, хоча деяке опромінення може викликати облітеруючий бронхіоліт, набряк легенів, а також швидку асфіксію [22]. Якщо концентрація впливу надмірно висока, газ може витіснити кисень, що призведе до смертельної асфіксії.

Як правило, медичний персонал повинен навчати пацієнтів і працівників, як визначити ознаки та симптоми отруєння NO_2 . Фермери та інші працівники ферм повинні бути навчені правильному способу зберігання продовольчого зерна, щоб запобігти хворобі наповнювача силосів.

NO_2 помірно розчиняється у воді і при вдиханні дифундує в легені і повільно гідролізується до азотної та азотної кислоти, що викликає набряк легенів і пневмоніт, що призводить до запалення бронхіол і легеневих альвеол внаслідок перекисного окислення ліпідів і окисного стресу. Насамперед уражається слизова оболонка разом із пневмоцитами I типу та епітелієм дихальних шляхів. Утворення вільних радикалів в результаті перекисного окислення ліпідів призводить до подразнення бронхіол і альвеол, що викликає швидке руйнування епітеліальних клітин дихальних шляхів. Загальна реакція призводить до виділення рідини, що викликає набряк легенів [23].

Отруєння NO_2 може змінити активність макрофагів та імунну функцію, що призводить до сприйнятливості організму до широкого спектру інфекцій,

а надмірний вплив газу також може призвести до метгемоглобінемії, розладу, що характеризується вищим за нормальний рівень метгемоглобіну у крові. Метгемоглобінемія перешкоджає зв'язуванню кисню з гемоглобіном, що викликає виснаження кисню і може призвести до тяжкої гіпоксії [24].

Якщо отруєння NO_2 не лікувати, фіброзна грануляційна тканина може розвиватися в альвеолярних протоках, крихітних протоках, які з'єднують дихальні бронхіоли з альвеолярними мішками, кожна з яких містить сукупність альвеол (невеликих вистелених слизом мішечків зі сплющених епітеліальних клітин). Загальна реакція може викликати обструктивне захворювання легенів. Між тим, проліферативний бронхіоліт є вторинним ефектом отруєння NO_2 [25].

1.2 Джерела походження та особливості розсіювання

Оксиди азоту утворюються в процесі горіння, частково із сполук азоту в паливі, але в основному шляхом прямого поєднання кисню повітря і азоту в полум'ї. NO_x утворюються природним шляхом блискавки, а також, незначною мірою, мікробними процесами в ґрунтах [5].

NO_2 надходить у навколишнє середовище природними шляхами, включаючи потрапляння зі стратосфери, дихання бактерій, вулкани і блискавки. Ці джерела роблять NO_2 слідовим газом в атмосфері Землі, де він відіграє роль у поглинанні сонячного світла і регулюванні хімічного складу тропосфери, особливо у визначенні концентрації O_3 .

Для широкої громадськості найвідомішими джерелами NO_2 є двигуни внутрішнього згорання, що працюють на викопному паливі [8]. На відкритому повітрі NO_2 може бути результатом руху автотранспорту. У приміщенні отруєння NO_2 виникає від сигаретного диму, а також від обігрівачів і печей з бутаном і гасом.

Працівники в галузях, де використовується NO_2 , піддаються впливу та ризику професійних захворювань легенів [26]. Сільськогосподарські працівники можуть зазнати впливу NO_2 , що виникає в результаті розкладання зерна в силосах. Хронічний вплив може призвести до пошкодження легенів у стані, який називається «хвороба силос-наповнювача» [27, 28].

Промисловими джерелами NO_x є електропостачання, видобуток, видобуток нафти і газу, обробна і нафтова промисловість.

Різноманітність сільськогосподарського (як вирощування, так і годівля тварин) і лісового господарства (як «випалювання», так і вирубка) збільшують швидкість природних процесів, що утворюють NO_x . Споживання палива, наприклад, для опалення та куріння сигарет, також є дифузними джерелами NO_x .

Біологічний кругообіг азоту включає процеси, які виробляють оксид азоту та окис азоту як проміжні продукти.

Теплові процеси в атмосфері (під час блискавки або лісових пожеж) утворюють NO_x .

Оксиди азоту присутні у вихлопних газах усіх транспортних засобів, включаючи автотранспорт, газонокосарки, судноплавство/човни, літаки і залізниці.

Техногенні викиди NO_x є переважними у загальних викидах у Європі. Так, Великобританія викидає близько 2,2 млн. т NO_2 щороку. З них близько чверті – від електростанцій, половина – від автотранспорту, решта – від інших промислових і побутових процесів горіння. На відміну від викидів двоокису сірки, викиди NO_x у Великобританії знижуються повільно, оскільки стратегії контролю викидів для стаціонарних і мобільних джерел компенсуються збільшенням кількості дорожнього транспорту.

Викиди NO_x від виробництва електроенергії були досить постійними з 1970 р. до 1990 р. На початку 1990-х рр. збільшення використання газу у виробництві електроенергії витіснило вугілля та нафту. Чисте паливо і більш сучасні електростанції призвели до значного скорочення викидів NO_x у секторі

до 2000 р. З 2000 р. абсолютний рівень газу, що використовується для виробництва електроенергії, залишався досить постійним, а збільшення попиту задовольняли вугільні електростанції. З 2006 р. використання вугілля (і загальна кількість палива, що використовується для виробництва електроенергії) суттєво зменшилося.

Сектор автомобільного транспорту зробив значний внесок у тенденцію до зниження викидів. Перші бензинові автомобілі з трикомпонентними каталізаторами були представлені в 1992 р., і це призвело до значного зниження викидів NO_x . Обмеження викидів для дизельних автомобілів і легких вантажних транспортних засобів набули чинності в 1993/94 рр. Обмеження на викиди від важких вантажних транспортних засобів вперше набули чинності в 1988 р., що призвело до поступового зниження рівня викидів з надходженням нових важких вантажних транспортних засобів у парк. Запровадження цих стандартів мало значний вплив на викиди NO_x у секторі автомобільного транспорту порівняно з 1990-ми рр. [5]

Основним забруднювачем, який безпосередньо викидається, NO разом із невеликою часткою NO_2 . NO окислюється озоном в атмосфері протягом десятків хвилин, утворюючи NO_2 . У сільському повітрі, подалі від джерел NO , більшість NO_x в атмосфері знаходиться у формі NO_2 . NO_2 розщеплюється ультрафіолетовим світлом з утворенням NO та атома кисню, який з'єднується з молекулярним киснем, щоб утворити O_3 . Отже, протягом доби NO , NO_2 і O_3 перебувають у квазірівні, який залежить від кількості сонячного світла. Згодом NO_2 окислюється до азотної кислоти, яка поглинається безпосередньо на землі, перетворюється на частинки, що містять нітрати, або розчиняється в крапельках хмари. Вночі різні процеси окислення перетворюють NO_2 на нітрати.

Хоча азотна кислота швидко поглинається при контакті з поверхнями (крапельками хмари, ґрунтом або рослинністю), інші NO_x видаляються досить повільно і можуть пройти багато сотень кілометрів, перш ніж остаточно перетвориться на азотну кислоту або нітрати. Отже, викиди в одній країні

будуть осідати в інших. Великобританія експортує близько трьох чвертей своїх викидів NO_x [5].

1.3 Забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту в Україні

Загальний рівень забруднення атмосферного повітря в Україні за індексом забруднення атмосфери (*ІЗА*) становив у 2020 р. згідно Національної доповіді про стан довкілля України 7,0 і оцінювався як високий. Порівняно з 2019 р. він знизився (було – 8,2) за рахунок деякого зниження середньорічного вмісту формальдегіду, фенолу і фтористого водню.

У табл. 1.1 наведені значення *ІЗА* у 2020 р. для усіх міст України, де проводять спостереження на мережі пунктів спостережень за забрудненням (ПСЗ). Згідно з класифікацією рівень забруднення атмосфери при $ІЗА < 5,0$ вважається низьким; при $ІЗА$ від 5,0 до 7,0 – підвищеним; при $ІЗА$ від 7,1 до 14,0 – високим; при $ІЗА > 14,0$ – дуже високим [29].

Найбільшим джерелом забруднення атмосфери NO_2 є в основному автотранспорт, тому нижче наведено таблицю викидів окремих ЗР в атмосферне повітря на території України від пересувних джерел за 2020 р. (табл. 1.2). Так, за відсотковим співвідношенням обсяг викидів NO_2 від пересувних джерел забруднення атмосферного повітря в Україні становить 10,6 % (близько 190 тис. т) за 2020 р. [29].

Згідно з табл. 1.3 можна сказати, що на території України у 2020 р. перевищення нормативів за вмістом по NO_2 в атмосферному повітрі спостерігалось практично в кожному великому місті (від 1,5 *ГДК* до 4 – 5 *ГДК*) [29].

Таблиця 1.1 – Індекс забруднення атмосфери в містах України за 2020 р. [29]

Місто	ІЗА	Місто	ІЗА	Місто	ІЗА
Маріуполь	15,7	Львів	6,9	Житомир	4,1
Кам'янське	14,8	Луцьк	6,8	Біла Церква	4,0
Дніпро	14,1	Рубіжне	6,2	Обухів	3,9
Кривий Ріг	13,8	Суми	6,1	Чернівці	3,8
Одеса	12,7	Рівне	5,7	Чернігів	3,8
Київ	9,6	Сєверодонецьк	5,5	Українка	3,6
Миколаїв	9,2	Лисичанськ	5,5	Олександрія	3,6
Херсон	8,2	Ужгород	5,2	Івано-Франківськ	3,6
Запоріжжя	8,0	Слов'янськ	4,8	Бровари	3,4
Краматорськ	7,5	Полтава	4,7	Харків	3,0
Черкаси	7,3	Хмельницький	4,6	Світловодськ	2,8
Вінниця	7,2	Кропивницький	4,3	Ізмаїл	2,8
Кременчук	6,9	Тернопіль	4,2	Горішні Плавні	1,9

Таблиця 1.2 – Викиди ЗР в атмосферне повітря від пересувних джерел забруднення (автомобільного транспорту) у 2020 р. [29]

ЗР	Обсяги викидів	
	тис. т	розподіл, %
Метан	5,5	0,3
НМЛОС	175,3	9,8
Сажа	27,7	1,5
Діоксид азоту	189,9	10,6
Оксид азоту	0,8	0,04
Діоксид сірки	20,8	1,1
Оксид вуглецю	1358,4	76,3
Аміак	0,006	0,0

Таблиця 1.3 – Перевищення концентрацій NO_2 у великих містах України за 2020 р. [29]

За середньорічним вмістом (від <i>ГДКсд</i>)		За максимально разовим вмістом (від <i>ГДКмр</i>)	
Херсон	3,5	Київ	4,6
Київ	3,0	Краматорськ	4,5
Вінниця	3,0	Вінниця	2,6
Житомир	2,5	Херсон	2,2
Дніпро	2,5	Кривий Ріг	2,0
Біла Церква	2,3	Кременчук	1,9
Обухів	2,3	Обухів	1,8
Чернігів	2,3	Житомир	1,8
Українка	2,0	Бровари	1,7
Бровари	2,0	Кам'янське	1,7
Кам'янське	2,0	Дніпро	1,7

2 МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

2.1 Актуальність проблеми забруднення атмосферного повітря м. Одеса

Місто Одеса є великим мегаполісом, населення якого зростає з кожним роком. Також збільшуються кількість джерел забруднення атмосферного повітря (переважно пересувних), що знижує якість повітря і, як наслідок, призводить до погіршення здоров'я мешканців міста. Також варто відзначити, що перебування на території міста морського порту також впливає на кількість транспорту для перевезення вантажу з порту в інші міста. Одеса є рекреаційним містом, тому якість атмосферного повітря дуже сильно впливає на рекреаційну цінність та потребує уваги дослідників і науковців.

Рівень забруднення приземного шару атмосфери м. Одеса на даний час є небезпечним для життя та здоров'я мешканців міста [29]. Тому проблема забруднення повітря у місті зараз дуже важлива та актуальна.

З метою покращення стану атмосферного повітря важливим є прогнозування, що дозволяє визначати зміни рівня забруднення певною ЗР в атмосферному басейні міста при стабільно незмінних викидах комплексу речовин. Прогноз є одним з основних способів вирішення проблем якості атмосферного повітря мегаполісу. Розробка прогностичної схеми забруднення атмосферного басейну міста може дозволити превентивно реагувати на погіршення якості атмосферного повітря.

Небезпека викиду ЗР збільшується при несприятливих метеорологічних умовах (НМУ), тому найефективніший спосіб поліпшення якості атмосферного повітря – це проведення повітряноохоронних заходів при НМУ. Основним інструментом для практично всіх повітряноохоронних заходів при НМУ є точний прогноз рівня забруднення атмосферного басейну.

2.2 Вплив метеорологічних параметрів на стан атмосферного повітря м. Одеса

Забруднення атмосферного басейну в мегаполісі є складним явищем, на який впливають дуже багато різних факторів, таких як характер і потужність викидів із джерела забруднення, його розміщення, режим роботи, геологічні умови, гідрологічні умови, розташування поряд з морем, розташування та щільність міської забудови, площа озеленення і метеорологічні умови [30].

Сучасні мегаполіси, такі як Одеса, займають величезну територію (близько десяти – сотень квадратних кілометрів). Тому концентрації ЗР в атмосфері можуть змінюватися під впливом різних мезо- і макромасштабних процесів, що проходять в атмосферному повітрі [31]. Саме тому велика увага приділяється розгляду метеорологічних параметрів, які впливають на перенесення шкідливих домішок, і умов стійкості атмосфери під час процесів відповідних масштабів.

Одним із найважливіших факторів, що впливає на розсіювання та переміщення ЗР в атмосферному басейні, є вітровий режим. Характер поширення ЗР залежить від швидкості вітру. Крім того, швидкість вітру впливає на розсіювання домішки по-різному, залежно від різних типів джерел забруднення. Тобто при викидах ЗР від підприємств із високими трубами найбільші концентрації домішки у приземному шарі спостерігаються при небезпечній швидкості вітру [31]. Це пов'язано з тим, що гази, які викидаються з труби, мають деяку швидкість, і якщо ці гази мають температуру вище температури навколишнього середовища, то вони мають певну плавучість. Внаслідок цього поруч із джерелом забруднення створюється поле вертикальних швидкостей, що сприяє поширенню ЗР вгору. При малих швидкостях вітру збільшується ефективний підйом факела, що призводить до зниження концентрації ЗР в приземному шарі. Мінімальна концентрація у

приземному шарі ЗР спостерігається також за дуже сильних вітрів за рахунок швидкого перенесення домішок.

Дуже важливим фактором також є температура повітря. Цей фактор має дуже важливе значення для створення фотохімічних забруднень [31]. При високій температурі швидкість фотохімічної реакції зростає в рази. У той же час при зниженні температури повітря посилюється ефект «острова тепла». Також при зниженні температури повітря збільшується різниця температур між викидами і навколишнім середовищем, що призводить до збільшення вертикального підйому ЗР із джерела забруднення і в результаті – до зниження їх концентрації в приземному шарі.

На зміну рівня забруднення певною домішкою впливають і умови температурної стратифікації в приземному шарі. Термічна стійкість стратифікації атмосфери впливає по-різному на рівень забруднення в залежності від характеру викидів. Концентрація ЗР в приземному шарі збільшується від високих джерел посилення турбулентного обміну при нестійкій стратифікації [31].

У м. Одеса протягом доби суттєво змінюється стійкість приземного шару атмосфери. Протягом року на формування рівня забруднення атмосферного басейну впливають приземні та підняті інверсії температури. Повторюваність приземних інверсій максимальна влітку в нічні години (до 78 %), у січні на протязі дня є підвищеною повторюваність низьких піднятих інверсій (до 45 %). Під ними накопичується забруднене повітря, і місто опиняється закритим для надходження чистого повітря.

При такій НМУ, як туман, посилюється затримування і накопичення ЗР в атмосфері, що обумовлене слабкими вітрами у значних розмірах товщі атмосфери та інверсіями (піднятими або приземними). Також тумани можуть містити в собі частинки диму і ЗР. Такі тумани отримали назву смоги, з ними пов'язують періоди особливо небезпечного рівня забруднення повітря, що зазвичай збільшує кількість захворюваності та смертності у жителів міста.

Також дуже важливу роль у формуванні рівня забруднення атмосфери відіграє інтенсивність сонячної радіації. Наприклад, при високій інтенсивності в атмосфері відбуваються фотохімічні реакції, які, в свою чергу, обумовлюють формування вторинних продуктів, що у більшості випадків мають більш токсичні властивості, ніж первинні ЗР, які безпосередньо викидаються із джерела забруднення.

2.3 Методика короткострокового прогнозування УкрНДГМІ

Існуючі в даний час схеми статистичного прогнозу забруднення приземного шару атмосфери базуються на дослідженнях зв'язків між забрудненням повітря в містах і метеорологічними умовами. Забруднення повітря в місті є складним багатофакторним явищем.

Методологічною основою при розробці прогностичної схеми були результати досліджень статистичної структури показників забруднення при різних метеорологічних умовах і виявлення закономірностей формування високого забруднення в місті.

Аналіз випадків високого забруднення атмосфери за трирічний період дозволив встановити деякі закономірності впливу метеорологічних умов на концентрації шкідливих домішок. Метеорологічні фактори на формування поля забруднення і його стійкість впливають в тій мірі, в якій вони визначають загальний характер перенесення повітряних мас та їх турбулентне перемішування.

Найбільший внесок у ці процеси вносить термодинамічна стійкість приземного шару повітря і вітер, від яких залежить ефективність видалення домішок від джерел забруднення і концентрація шкідливих речовин в приземному шарі повітря. Як зазначено вище, у м. Одеса стійкість приземного шару атмосфери протягом доби зазнає суттєвих змін.

Формування приземних концентрацій ЗР в атмосфері в значній мірі залежить від швидкості і напрямку вітру. Вітер обумовлює перенесення шкідливих речовин від джерела і поширення їх по території міста. В м. Одеса переважаючими є вітри з північною складовою, тобто з боку промислової зони. Їх повторюваність складає майже 50 % [30]. У місті характерним є формування режиму вітру. Влітку на добовий хід вітру накладається вплив бризу, який днем приносить менш запилене повітря, а вночі навпаки забирає у бік моря запилене повітря. Взимку високе забруднення повітряного басейну формується при вітрах північного, північно-західного, західного, південно-західного напрямків. Швидкість вітру при цьому може бути різною: в цілому забруднення зменшується з посиленням швидкості вітру. В основному забруднення в місті формується при швидкості вітру 1 – 5 м/с, а максимальна повторюваність високого забруднення – при 2 – 3 м/с. Для ТЕЦ небезпечна швидкість вітру 5 – 7 м/с, для металургійних підприємств – 2 – 4 м/с, для хімічних виробництв – 1 – 2 м/с [30]. Влітку найбільш характерні риси впливу метеорологічних факторів на забруднення зберігаються, проте в цей час вони проявляються слабше. Північні, північно-західні і західні вітри формують більше половини випадків високого забруднення. Швидкість вітру при цьому становить 1 – 3 м/с [30]. Напрямок та швидкість вітру, в свою чергу, залежать від типу баричного утворення, розташованого в регіоні. Урахування впливу синоптичної ситуації на забруднення атмосфери підвищує ефективність прогнозу. В цілому забруднення атмосфери зменшується при переході від антициклонального баричного поля до циклонічних. В області центральної частини стаціонарного антициклону або гребня високого тиску на теплій західній периферії антициклону, в яких тривалий час зберігаються малоградієнтні поля, в теплом секторі циклону при невеликому градієнті тиску, при тумані відзначається підвищена повторюваність високого рівня забруднення. В умовах активної циклонічної діяльності при швидкому зміщенні баричних утворень домішки розсіюються в атмосфері та відзначається зниження їх приземних концентрацій. Антициклонний характер

баричного поля створює особливо несприятливе поєднання слабого вітру, стійкої стратифікації, відсутність опадів. Ця ситуація застою повітря створює можливість формування високого забруднення атмосфери в місті. Температура повітря непрямо впливає на забруднення атмосфери, оскільки характеризує умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела і подальшого її поширення в атмосфері. Залежно від температури змінюється витрата палива на обігрів приміщень, режим роботи ТЕЦ і котелень. Дані спостережень свідчать про те, що в літній сезон вплив температури слабкіше. У зимовий період роль температури в формуванні забруднення більш помітна. Повторюваність випадків високого забруднення збільшується зі зниженням температури [30].

Застосований прогностичний розрахунок базується на використанні методу множинної регресії з урахуванням нелінійності зв'язків шляхом відповідного перетворення предикторів. Прогнозується середня за добу і по місту нормована концентрація кожної домішки Q . Вона являє собою відношення абсолютної концентрації до середньосезонної концентрації домішки. Основною вимогою використання даного методу є наявність достатнього лінійного зв'язку між характеристиками забруднення повітря та певними предикторами.

Схема прогнозу забруднення повітря була розроблена для зимового (грудень, січень, лютий) і літнього (червень, липень, серпень) сезонів, однак нею можна користуватися і в інші місяці.

У прогностичну схему включені такі показники:

- температура повітря (t) для зимового та літнього періодів в приземному шарі в 03:00 і 15:00 год.;
- різниця між температурою повітря в суміжні дні;
- напрямок (D) та швидкість вітру (V) у строки 03:00 і 15:00 год.;
- тип синоптичного процесу (C) в 03:00 год.;
- середня за добу і по місту нормована концентрація ЗР за попередню добу (Q').

Кількісним виразом кожного з обраних предикторів є не сама величина метеорологічного параметра, а середнє значення Q , розраховане для різних градацій цього метеорологічного фактору. Кожне значення метеорологічного параметру по таблицям замінюється на відповідне йому середнє значення Q , яке включається у рівняння розрахунку множинної регресії.

Прогноз забруднення атмосфери складається тоді, коли є всі необхідні для цього дані: прогностичні значення метеорологічних факторів і значення концентрацій домішок за поточну добу.

При прогнозі забруднення необхідно, крім розрахункової схеми, керуватися деякими прогностичними ознаками. Для Одеси вони такі [30]:

- 1) якщо величина Q у попередній з прогнозом день більше 1,2, при цьому швидкість вітру очікується менше 3 м/с, то ймовірність високого забруднення зростає.
- 2) високе забруднення може відзначатися при вітрах з північною складовою, а також при стаціонаванні антициклону або гребня високого тиску у нічні та ранкові години при підвищеному значенні Q , а також при слабкій швидкості вітру в поєднанні з туманом, коли місто знаходиться під впливом теплого сектору циклону.
- 3) в умовах застою повітря (при наявності приземної інверсії, коли градієнти температури в пограничному шарі негативні, в поєднанні зі штилем або слабкою швидкістю вітру) ймовірність високого рівня забруднення зростає. Низькі підняті інверсії (300 м і менше) при слабкій швидкості вітру також сприяють накопиченню домішок в атмосфері.
- 4) випадання опадів у вигляді дощу і снігу не сприяє високому забрудненню, як і великі швидкості вітру.

Оцінка справджуваності проводиться відповідно до груп забруднення, як це запропоновано в «Методичних вказівках щодо прогнозу забруднення повітря в містах». Градації цих груп представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Оцінка справджуваності прогнозу

№ групи	Ступінь забруднення атмосфери	Градація	Допустима градація, при якій прогноз вважається справжуваним
1.	Понижене	$\leq 0,7$	$\leq 0,9$
2.	Помірне	0,8 – 1,3	0,6 – 1,5
3.	Високе	$\geq 1,4$	$\geq 1,2$

При оцінці справджуваності встановлена величина допуску, в межах якої прогноз вважається справжуваним. При прогнозі за запропонованими рівнями величина допуску становить 0,2 [22].

Виконання короткострокового прогнозу УкрНДГМІ можливо тільки при наявності значень всіх предикторів регресійних рівнянь.

2.4 Метод розпізнавання образів

Для вивчення впливу метеорологічних умов забруднення повітря можна застосовувати метод розпізнавання образів. Завдання ідентифікації джерел забруднення повітря може розглядатися як типове завдання розпізнавання образів.

Розпізнавання образів – це віднесення вихідних до певного класу за допомогою виділення існуючих ознак або властивостей, що характеризують ці дані, із загальної сукупності ознак.

Предмет розпізнавання поєднує низку наукових дисциплін; їх пов'язує пошук вирішення спільного завдання – виділити елементи, що належать конкретному класу, серед безлічі різних елементів, що відносяться до кількох класів.

Під класом образів розуміється деяка категорія, що визначається комплексом властивостей, притаманних для всіх її елементів. Образ – це опис будь-якого елемента як представника відповідного класу.

Для розпізнавання образів використовують методи: евристичні, математичні (детерміністський та статистичний підходи), лінгвістичні (синтаксичні).

Евристичні методи – методи, що засновані на інтуїтивних факторах або правилах, що узагальнюють науково-технічні знання і практичний досвід фахівців у цій предметній галузі.

Автоматизовані системи розпізнавання образів, побудовані на основі евристичних методів, включають набір специфічних процедур, розроблених стосовно конкретних завдань розпізнавання.

Математичні методи побудовані на основі формалізації правил класифікації образів. Математичні методи для створення систем розпізнавання використовують два підходи – детерміністський і статистичний. Детерміністський підхід базується на математичному апараті, використовує в явному вигляді статистичні властивості класів, що вивчаються об'єкт [33].

Статистичний підхід ґрунтується на математичних правилах, класифікація яких формується і виводиться у термінах математичної статистики.

Лінгвістичні методи для побудови автоматичних систем розпізнавання ґрунтуються на використанні теорії формальних граматики.

Формальна граматика – ключове поняття у синтаксичному підході до розпізнавання образів. Мовою формальної граматики оперують наступними поняттями: алфавіт – будь-яке кінцеве безліч символів; пропозиція в деякому алфавіті – довільний ланцюжок кінцевої довжини, що складається із символів цього алфавіту; мова – довільна множина (не обов'язково кінцеве) пропозицій у деякому алфавіті.

Граматикою називається наступна сукупність множин, яка представлена формулою 2.1 [33]:

$$G = (V_N, V_T, P, S), \quad (2.1)$$

де V_N – безліч нетермінальних символів (змінних);

V_T – безліч термінальних символів (констант);

P – безліч граматичних правил чи правил підстановки;

S – початковий, або кореневий символ.

За типом правил підстановки розрізняють такі типи граматики:

- необмежена (узагальнена) граматика;
- граматика безпосередньо складових (граматика контекстна);
- безконтекстна (контекстно-вільна) граматика;
- регулярна (автоматна) граматика – граматика з кінцевим числом станів.

Граматика образів містить кінцеві множини елементів, які називаються змінними, непохідними елементами і правилами підстановки. Характер правил встановлення визначає тип граматики.

Такий підхід застосовують при роботі з образами, які не можуть бути описані числовими вимірами. Залежно від ступеня однотипності інформації та системи розпізнавання образів можуть бути поділені на прості та складні.

У простих системах на відміну від складних для опису розпізнаваних об'єктів використовується однотипна інформація, тобто ознаки, мовою яких зроблено опис класів, мають єдину фізичну природу.

Особливість складних (великих) систем розпізнавання полягає в тому, що в загальному випадку вони складаються не тільки із сукупності технічних засобів отримання та переробки інформації, але також із груп висококваліфікованих фахівців, призначених як для аналізу проміжних рішень, так і для вивчення вихідних рішень системи розпізнавання.

Якщо як принцип класифікації систем використовувати спосіб отримання апостеріорної інформації, то складні системи можуть бути підрозділені на однорівневі та багаторівневі.

В однорівневих системах розпізнавання апостеріорна інформація про ознаки, мовою яких описані класи об'єктів чи явищ, формується шляхом

прямих вимірювань, безпосередньо на основі обробки даних експериментів. У багаторівневих системах апостеріорна інформація про ознаки утворюється на основі непрямих вимірювань як результат функціонування допоміжних розпізнаючих пристроїв.

Як інший можливий принцип класифікації систем розпізнавання може бути використаний характер інформації про ознаки розпізнаваних об'єктів. Залежно від того, мовою яких ознак проводиться опис об'єктів, що розпізнаються, або явищ – детермінованих, логічних, стохастичних, структурних, системи розпізнавання поділяються на детерміновані, логічні, імовірнісні, структурні та комбіновані [34].

У детермінованих системах розпізнавання для побудови алгоритмів розпізнавання використовуються «геометричні» міри близькості тобто. відстані між об'єктом, що розпізнається, і класами (евклідова відстань, відстань по Хеммінгу, зважені відстані тощо).

У логічних системах розпізнавання для побудови алгоритмів розпізнавання використовуються логічні методи, засновані на дискретному аналізі та базуються на обчисленні висловлювань. У загальному випадку застосування логічного методу розпізнавання передбачає наявність логічних зв'язків, виражених через систему нулевих рівнянь, у якій змінними є логічні ознаки розпізнаваних об'єктів або явищ, а в ролі невідомих величин виступають класи, до яких ці об'єкти відносяться.

У ймовірнісних системах розпізнавання для побудови алгоритмів розпізнавання використовуються ймовірні методи, засновані на теорії статистичних рішень. У випадку застосування цих методів передбачається наявність ймовірнісних залежностей між ознаками розпізнаваних об'єктів і класами, до яких ці об'єкти належать.

У комбінованих системах розпізнавання для побудови алгоритмів розпізнавання використовують методи, засновані на обчисленні оцінок. Застосування цих методів передбачає наявність інформації щодо ознак

(загалом – логічних, імовірнісних, детермінованих, структурних) деяких груп об'єктів із зазначенням класів, до яких вони відносяться [34].

При використанні методу розпізнавання образів (МРО) результати спостережень за ступенем забруднення повітря і метеорологічні показники розбиваються на групи, що відповідають різним рівням забруднення повітря. З цією метою величини показників окремого комплексу (ситуації) розглядаються як координати точки в N -мірному просторі. Дані про концентрацію домішки та пов'язані з ним ситуації групуються так, щоб, наприклад, виділити 3 групи значень концентрацій: великих, середніх і малих. Для кожної групи, що складається з кінцевої кількості ситуацій, визначається центр тяжкості кожної характеристики та її середня дисперсія.

Потім конкретний комплекс характеристик, що розглядається як набір предикторів, використовується визначення групи, до якої можна віднести прогнозовану ситуацію. Для кожної конкретної ситуації характеристика надається у фазовому просторі точкою із заданими координатами, визначається відстань до центру тяжкості групи, що відповідає великим, середнім чи малим значенням концентрацій домішки. Досліджувана ситуація відноситься до тієї групи, відстань до якої є мінімальною [34].

Як відомо, існує 2 групи прогностичних моделей, на яких базуються чисельні та синоптико-статистичні методи прогнозу забруднення атмосферного повітря. Чисельні методи, які базуються на інтегруванні рівняння турбулентної дифузії, дозволяють обчислити концентрацію ЗР у районі окремого джерела або групи джерел, а синоптико-статистичні методи дають можливість оцінити і спрогнозувати забруднення атмосфери по місту в цілому.

Одним із варіантів синоптико-статистичних моделей прогнозу і є схема забруднення повітря МРО. Він полягає у визначенні подібності конкретної ситуації з ситуацією, характерною для будь-якої групи рівня забруднення, наприклад, підвищеного, середнього або зниженого. Для розбиття на групи всі значення параметра фонового показника забруднення P розташовуються в

порядку зменшення. Зазвичай виділяють 3 групи рівнів забруднення: I група – $P > 0,35$, II група – $0,35 \geq P > 0,20$, III група – $P \leq 0,20$ [34].

Подібність ситуацій тут встановлюється за «відстанню» між ними. У цьому під ситуацією розуміють набір показників, які відповідають рівню забруднення повітря у певний фіксований час. Такими характеристиками є значення метеорологічних параметрів і параметра P у місті у попередні моменти часу.

Формально можна розглядати ситуацію з деякими характеристиками X_1, X_2, \dots, X_N як точку в N -мірному просторі (фазовому просторі ситуацій). Якщо значення рівня забруднення повітря розділити на декілька груп, то ситуації у фазовому просторі також поділяються на групи – група ситуацій I, що відповідає великому вмісту домішок у повітрі, група II – середньому та група III – малому. Всередині групи I відстані між точками x і y визначаються за допомогою співвідношення:

$$p_I^2(x, y) = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - y_i)^2}{(\sigma_i^I)^2}, \quad (2.2)$$

де $(\sigma_i^I)^2$ – дисперсія у групі I вздовж i -ої осі.

Аналогічні співвідношення використовуються для визначення відстаней у групах II і III.

Під «відстанню» від довільної точки f до групи I приймається відстань f до центру тяжкості цієї групи, тобто до точки з координатами

$$\bar{X}_i^I = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M X_{ij}, \quad (2.3)$$

де підсумовування проводиться за всіма M точками, що входять до групи I. Іншими словами, це середнє значення i -ої характеристики (предиктора) у цій

групі. Тоді «відстань» від точки f до центру тяжкості групи I визначається за такою формулою:

$$\rho_I^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(X_i - \bar{X}_i^I)^2}{(\sigma_i^I)^2}, \quad (2.4)$$

де

$$(\sigma_i^I)^2 = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (X_{ij}^I - \bar{X}_i^I)^2. \quad (2.5)$$

Аналогічно визначається відстань від f до груп II та III. Приймається, що точка f у фазовому просторі ситуацій належить до тієї групи, відстань до якої є мінімальною.

Розробка прогностичної схеми зводиться до визначення середніх значень і дисперсій предикторів даної групи концентрацій (високих, середніх або низьких концентрацій). При складанні прогнозу обчислюються «відстань» від передбачуваної ситуації до отриманих груп, і ця ситуація відноситься до групи, до якої мінімальна відстань [34].

У цій схемі прогностична значимість предикторів визначається відмінністю як середніх значень, так і дисперсій. Використання даних про дисперсії предикторів при прогнозі дозволяє додатково враховувати реальний характер залежностей між забрудненням повітря і метеорологічними умовами. З формули (2.4) видно, що зі збільшенням σ зростає внесок відповідного предиктора у створенні рівня концентрацій. Предиктори з малими значеннями збільшують загальне розсіювання. Важлива відмінність дисперсій за групами. При рівних значеннях ненормованих різниць точка відноситься до тієї групи, де σ більше. Іншими словами, точка у фазовому просторі відноситься до групи

з малою дисперсією предикторів, якщо геометрична відстань цієї точки до центру тяжкості цієї групи невелика.

Використання даної схеми показали її певну ефективність як на використаному, і незалежному матеріалам. За використаними даними справджуваність прогнозів для різних міст виявилася приблизно однаковою – 73 – 75 %. З використанням схеми на незалежному матеріалі справджуваність складала 70 – 76 %.

Перевагою даного методу є кращий, ніж, наприклад, у методі лінійної регресії, облік реального виду зв'язків між показниками забруднення повітря і метеорологічними факторами. У той самий час при складних зв'язках (за наявності двох максимумів забруднення залежно від метеорологічного чинника) у одну групу потрапляють значно різні значення предикторів. Тому при використанні даного методу краще обирати такі предиктори, з якими зв'язок забруднення повітря є більш менш монотонним [34].

3 ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ДІОКСИДОМ АЗОТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ОДЕСА

3.1 Метод УкрНДГМІ

В якості вихідних даних для прогностичної моделі використовувалися значення концентрацій діоксиду азоту за літній та зимовий періоди 2013 і 2017 рр., а також синхронізовані з ними метеорологічні параметри. Вихідні дані були надані лабораторією спостережень за забрудненням атмосферного ГМЦ ЧАМ.

Оскільки прогностична модель заснована на спостереженнях 1999 р., використані дані перерахунку значень метеопараметрів в середнє значення нормованої концентрації діоксиду азоту за літній період (табл. 3.1 – 3.4) [30].

Таблиця 3.1 – Середні значення нормованої концентрації діоксиду азоту при різних градаціях швидкості вітру за 03 год. (літо)

<i>V03</i>	0	1	2	3	4	5	6	7
<i>Q</i>	1.08	1.02	1.00	0.96	0.95	1.02	1.06	1.02

Таблиця 3.2 – Середні значення нормованої концентрації діоксиду азоту при різних градаціях температури за 15 год. (літо)

<i>T15</i>	5.1-10.0	10.1-15.0	15.1-20.0	20.1-25.0	25.1-30.0
<i>Q</i>	1.00	0.99	0.99	1.01	0.97

Таблиця 3.3 – Середні значення нормованої концентрації діоксиду азоту при різних градаціях синоптичної ситуації (літо)

<i>C</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Q</i>	0.88	0.97	0.96	1.06	0.98	0.97	0.85	0.88

Таблиця 3.4 – Середні значення нормованої концентрації діоксиду азоту при різних градаціях нормованої концентрації діоксиду азоту за попередню добу (літо)

Q'	0.0-0.3	0.4-0.7	0.8-1.1	1.2-1.5	1.6-1.9	2.0-2.3
Q	0,55	0.79	0,99	1.25	1.36	-

Градації для зимового періоду представлені в табл. 3.5 – 3.9.

Таблиця 3.5 – Середні значення нормованої концентрації діоксиду азоту при різних градаціях температури за 03 год. (зима)

$T03$	-15.1 – -20.0	-10.1 – -15.0	-5.1 – -15.0	-0.1 – -5.0	0 – 4.9	5.0 – 9.9	10.0 – 14.9
Q	0.65	0.82	0.87	0.94	1.05	1.15	1.48

Таблиця 3.6 – Середні значення нормованої концентрації діоксиду азоту при різному напрямку вітру за 15 год. (зима)

$D15$	Штиль	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх
Q	1.06	0.95	1.00	1.08	1.05	1.06	1.04	0.97	0.98

Таблиця 3.7 – Середні значення нормованої концентрації діоксиду азоту при різній швидкості вітру за 15 год. (зима)

$V15$	0	1	2	3	4	5	6	7
Q	1.06	0.95	1.00	0.99	1.00	1.03	0.98	1.06
$V15$	8	9	10	11	12	13	14	
Q	0.91	1.18	1.10	1.11	1.13	1.17	1.22	

Кожне значення метеорологічного параметру по цих таблицях замінюється на відповідне йому середнє значення Q , яке включається в розрахункове рівняння множинної регресії.

Таблиця 3.8 – Середні значення нормованої концентрації діоксиду азоту при різних градаціях синоптичної ситуації (зима)

<i>C</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Q</i>	1.10	1.03	0.95	1.01	0.99	1.03	1.01	0.88

Таблиця 3.9 – Середні значення нормованої концентрації діоксиду азоту при різних градаціях нормованої концентрації діоксиду азоту за попередню добу (зима)

<i>Q'</i>	0.0 – 0.3	0.4 – 0.7	0.8 – 1.1	1.2 – 1.5	1.6 – 1.9
<i>Q</i>	–	0.79	1.00	1.20	1.31

Рівняння множинної регресії побудовано на основі перетворених параметрів рівняння регресії, які наведені в табл. 3.10 [30]

Таблиця 3.10 – Параметри рівняння регресії для діоксиду азоту за літній та зимовий період

Сезон	Перетворені предиктори									Вільний член
	<i>T03</i>	$\blacktriangle T03$	<i>D03</i>	<i>V03</i>	<i>T15</i>	<i>D15</i>	<i>V15</i>	<i>C</i>	<i>Q'</i>	
Літо	–	–	–	0.70	0.50	–	–	0.70	0.97	-1.87
Зима	0.52	–	–	–	–	0.43	0.44	0.40	0.80	-1.60

Виходячи з табл. 3.10, рівняння множинної регресії для діоксиду азоту в літній період має вигляд:

$$\bar{Q}_{NO_2} = 0.70Q(V_{03}) + 0.50Q(t_{15}) + 0.70Q(C) + 0.97Q(Q') - 1.87. \quad (3.1)$$

Рівняння множинної регресії для діоксиду азоту в зимовий період має вигляд:

$$Q_{NO_2} = 0.52Q(t_{03}) + 0.43Q(d_{15}) + 0.44Q(V_{15}) + 0.40Q(C) + 0.80Q(Q') - 1.60. \quad (3.2)$$

Розрахувавши за допомогою цих рівнянь прогнозовані значення концентрації діоксиду азоту за грудень, січень, лютий та за червень, липень, серпень було побудовано динаміку фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту. Динаміка забруднення за зимовий період 2016 – 2017 рр. наведена на рис. 3.1 – 3.3).

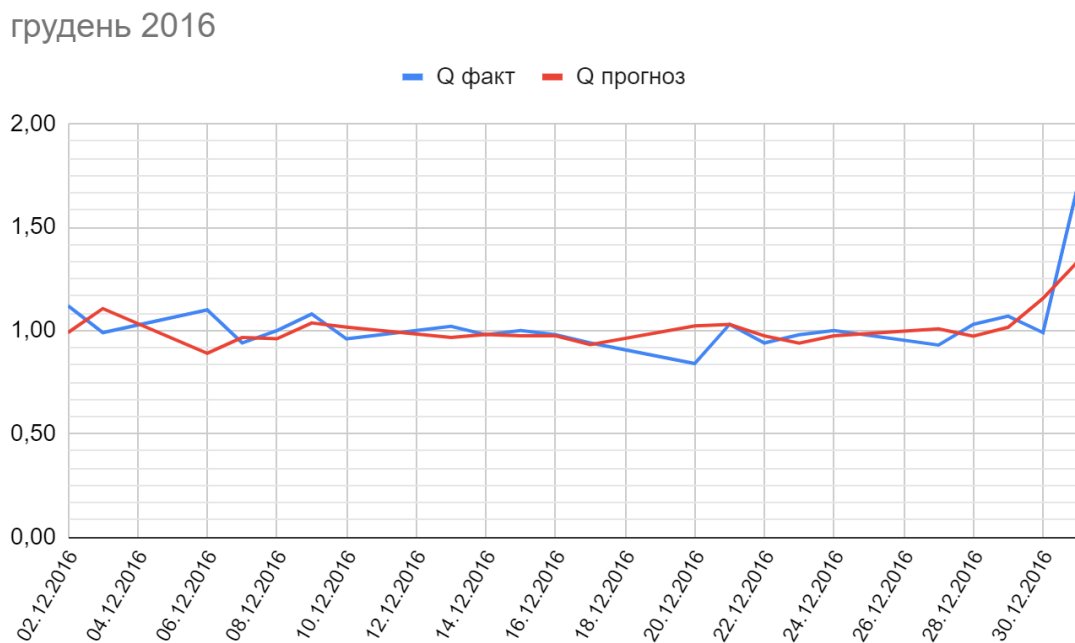


Рисунок 3.1 – Динаміка зміни фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у грудні 2016 р.

Аналіз рис. 3.1 – 3.3 показав, що динаміка зміни фактичних значень показника Q в м. Одеса у зимовий період 2016 – 2017 рр. співпадає з прогностичними значеннями даного показника.

Графіки динаміки зміни фактичних і прогностичних значень рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту в м. Одеса за літній період 2013 і 2017 рр. представлені на рис. 3.4 – 3.6.

січень 2017

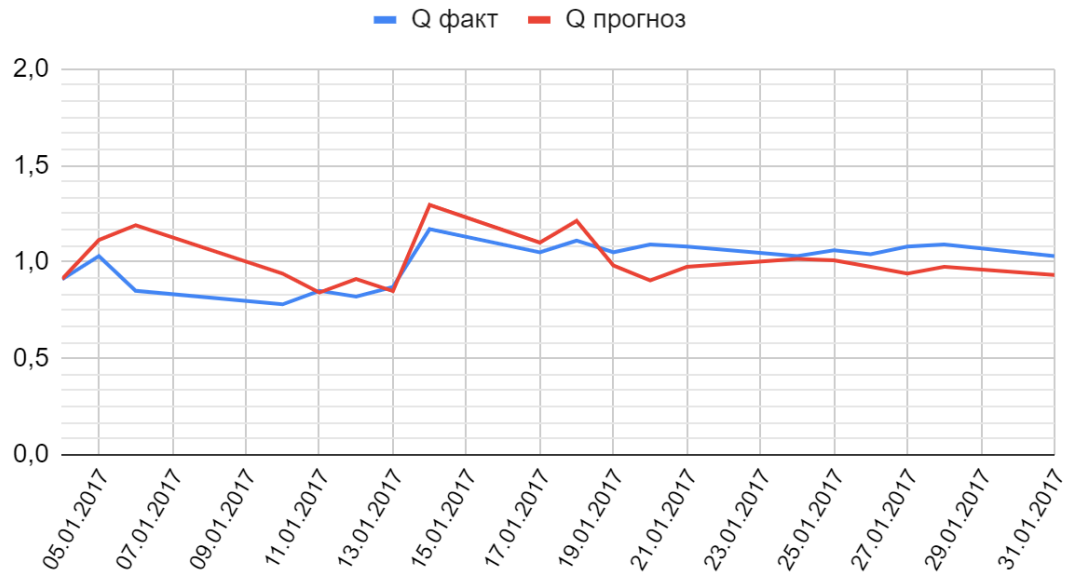


Рисунок 3.2 – Динаміка зміни фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у січні 2017 р.

лютий 2017

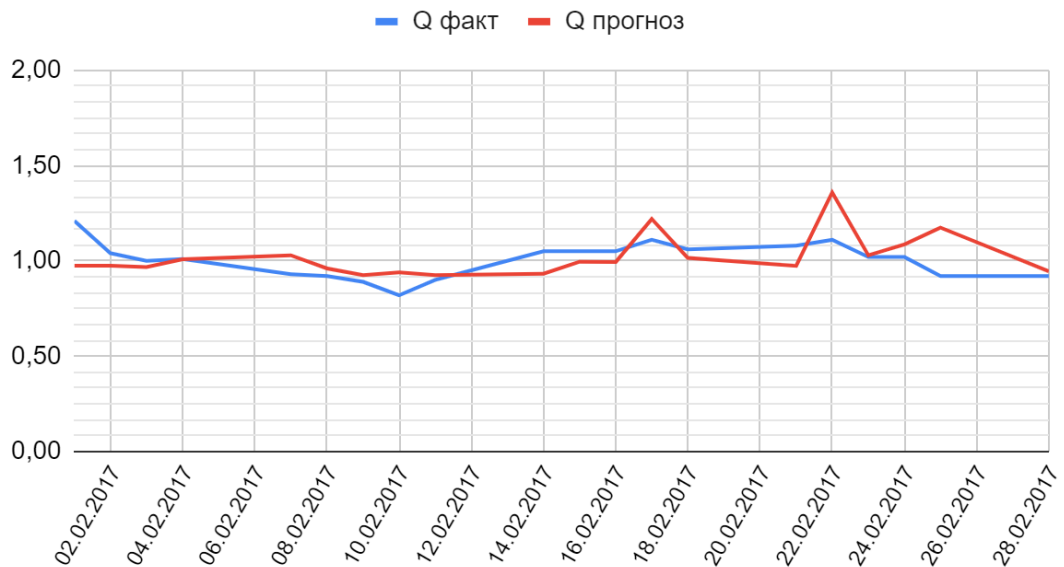


Рисунок 3.3 – Динаміка зміни фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у лютому 2017 р.

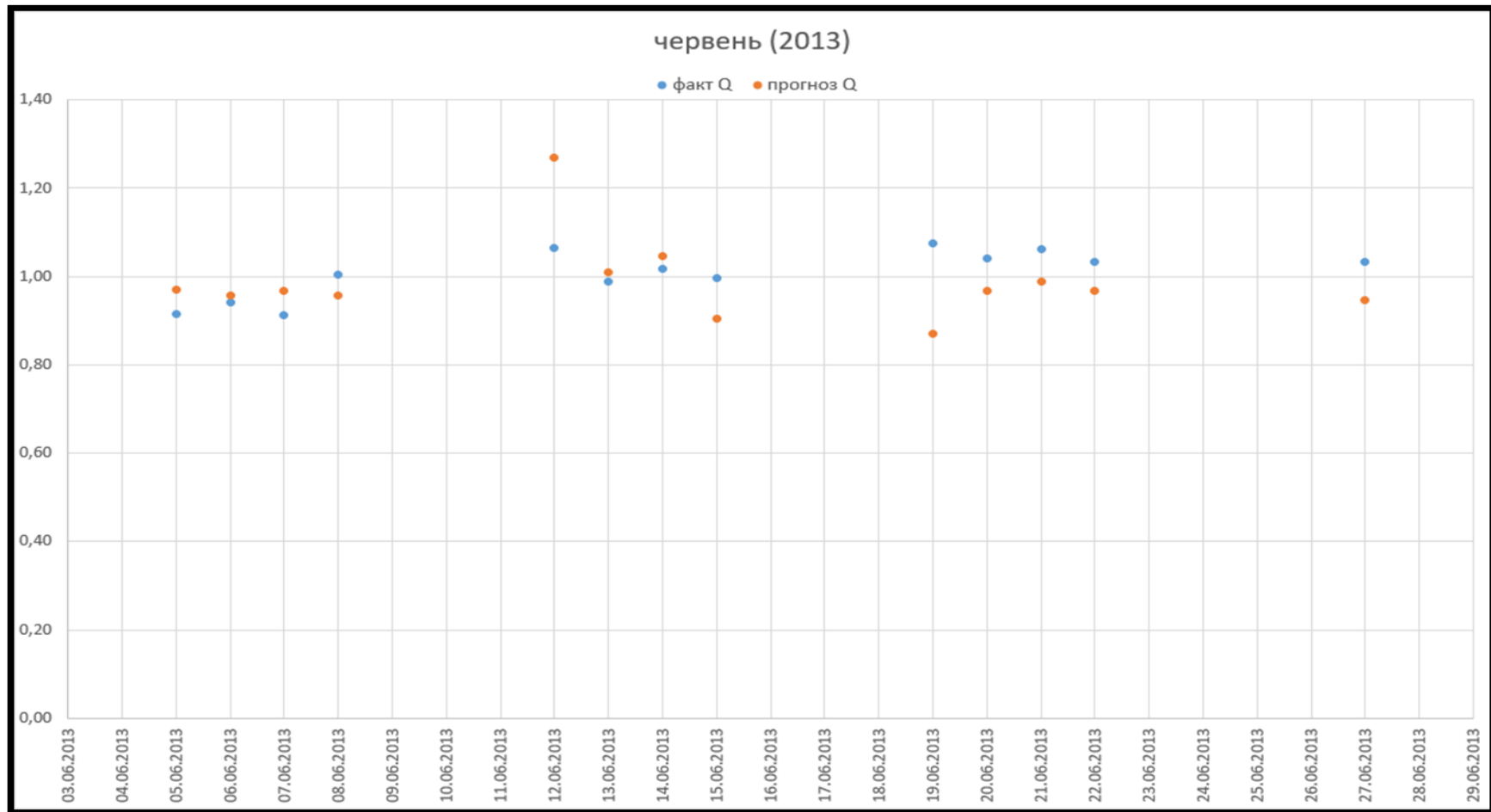


Рисунок 3.4 – Динаміка фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у червні 2013 р.

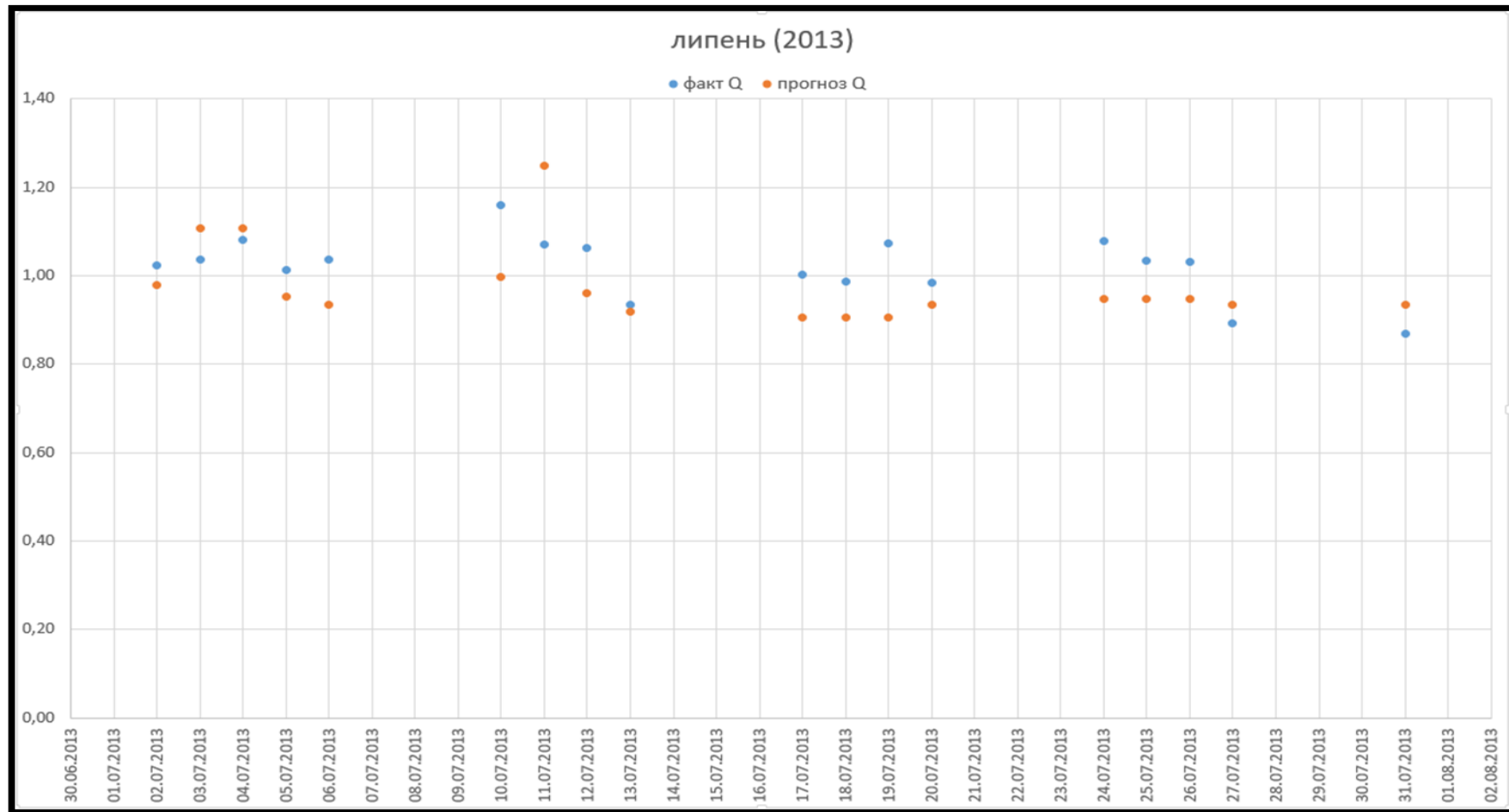


Рисунок 3.5 – Динаміка фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у липні 2013 р.

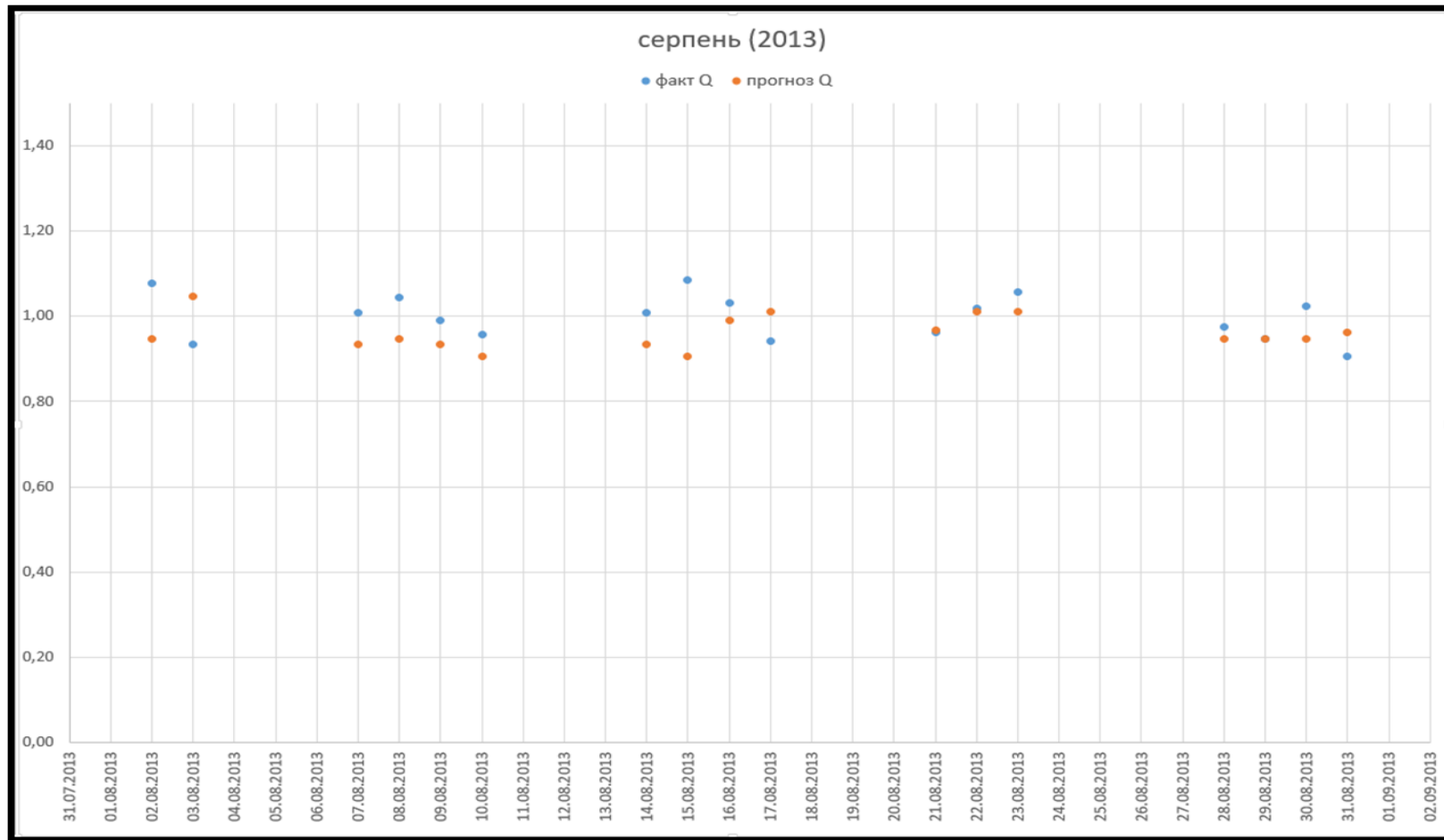


Рисунок 3.6 – Динаміка фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у серпні 2013 р.

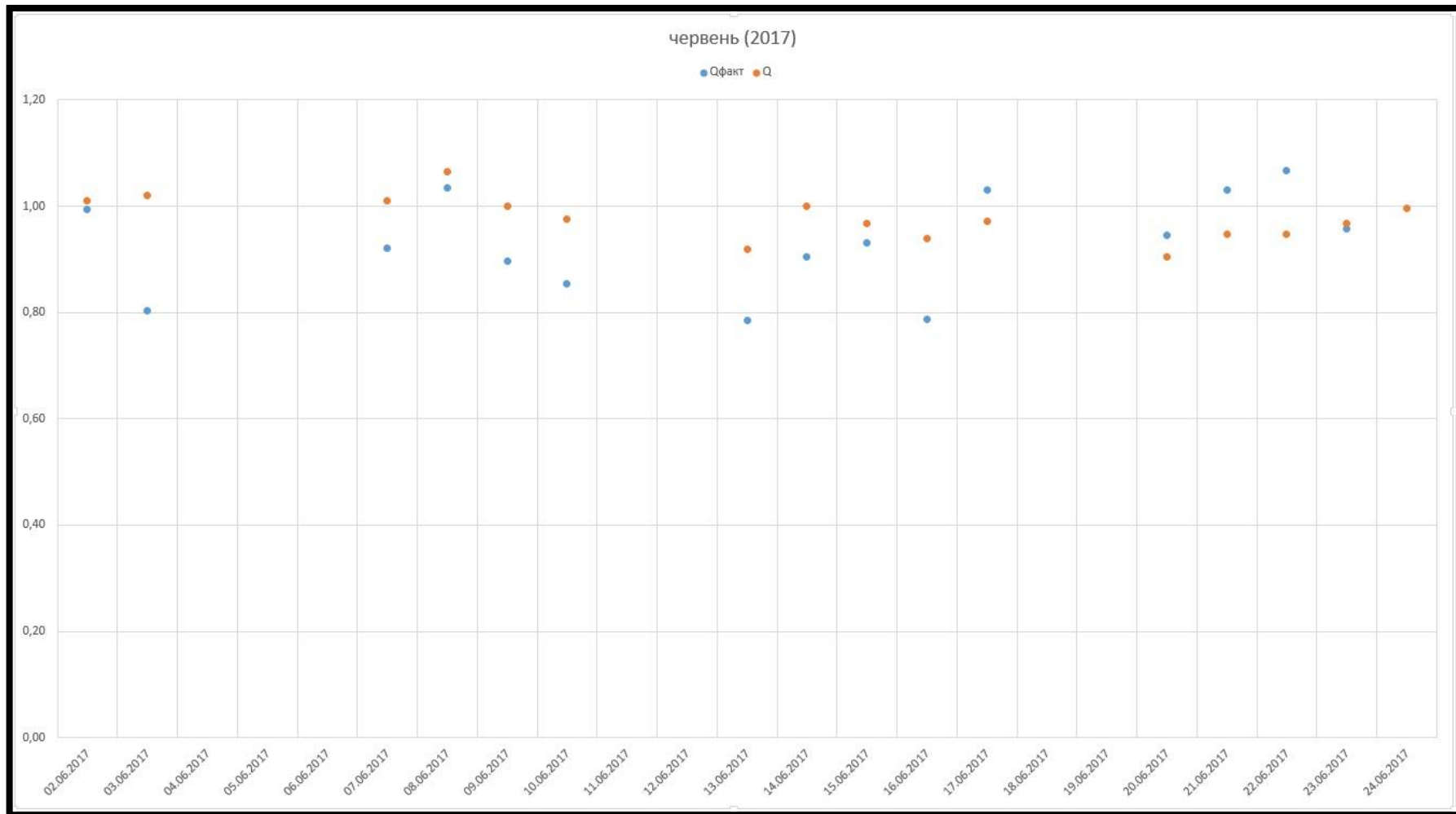


Рисунок 3.7 – Динаміка фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у червні 2017 р.

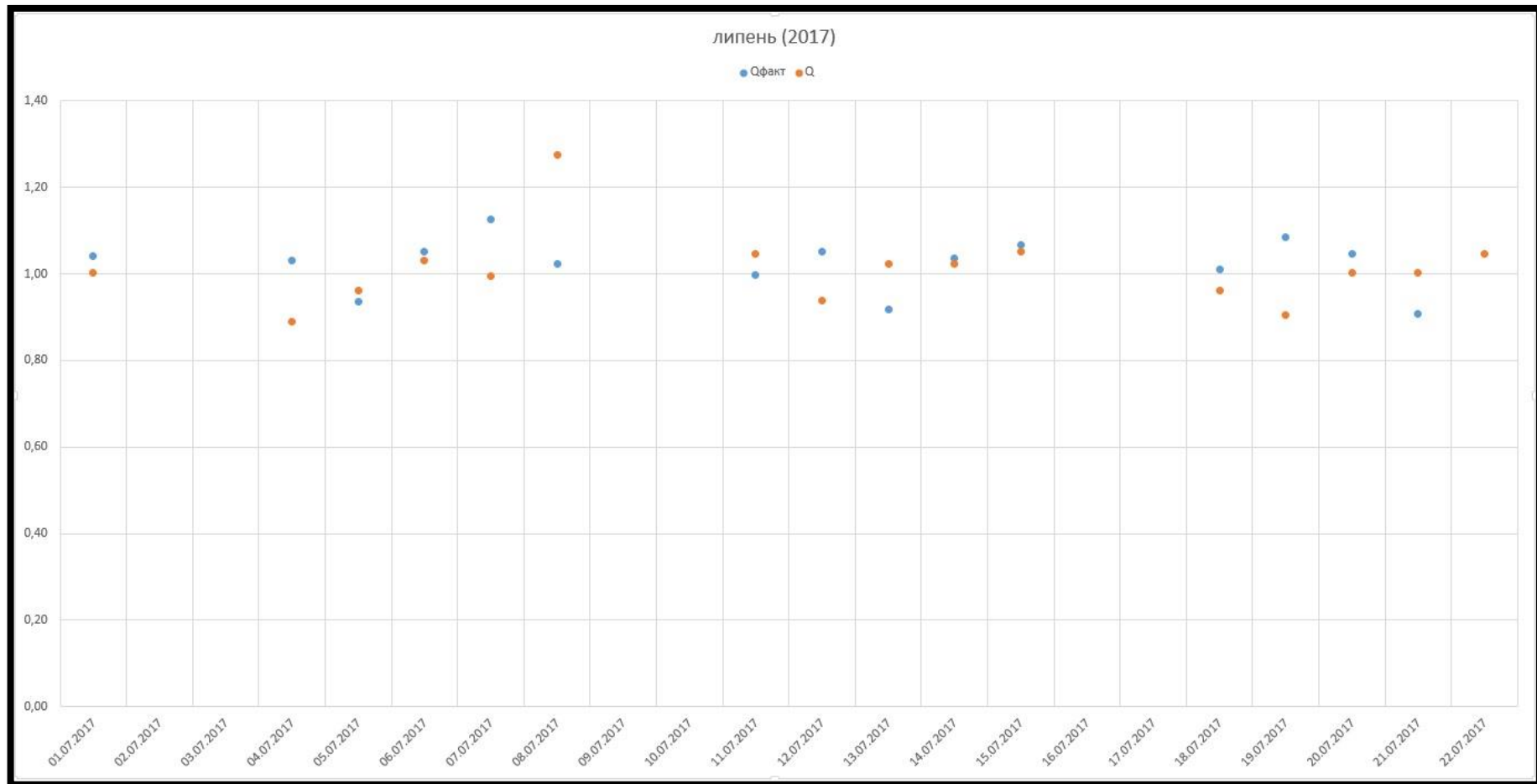


Рисунок 3.8 – Динаміка фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у липні 2017 р.

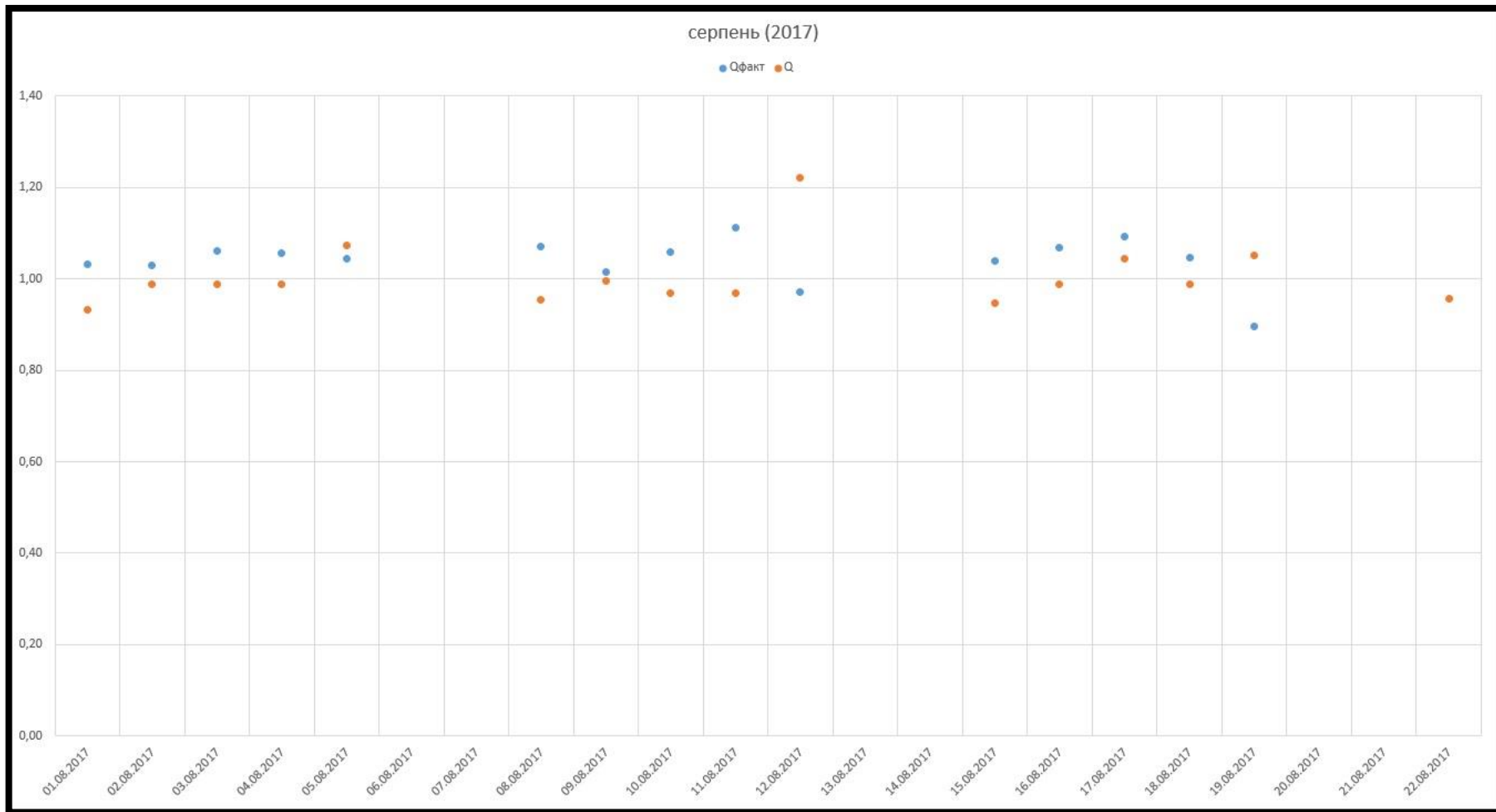


Рисунок 3.9 – Динаміка фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у серпні 2017 р.

Аналізуючи рис. 3.4 – 3.9 можна зробити висновок, що фактичне значення середньої нормованої концентрації діоксиду азоту майже в кожному випадку співпадає зі значеннями прогнозованої середньої нормованої концентрації, за виключенням декількох випадків.

Для більш точної оцінки адекватності прогностичної моделі було складено таблиці для оцінки справджуваності прогнозів. Оцінка справджуваності для зимового періоду 2016 – 2017 рр. представлена в табл. 3.11 – 3.13, для літнього періоду 2013 і 2017 рр. – в табл. 3.14 – 3.19.

Для прогнозу забруднення атмосферного повітря м. Одеси діоксидом азоту у грудні 2016 р. (табл. 3.11) за методом УкрНДГМІ були взяті дані спостережень за 27 діб, з яких було відкинуто 5, що не відповідали вимогам використання даного методу. Було спрогнозовано 22 випадки забруднення, з яких 21 випадок відповідав 2 класу забруднення і 1 випадок – 3 класу. При оцінці справджуваності відсоток прогнозів, які потрапили в той самий клас, що й фактичне значення, склав 100 %.

При складенні прогнозу за даними січня 2017 р. (табл. 3.12) були використані дані спостережень за 24 доби, з яких було відкинуто 5, що не відповідали вимогам використання даного методу. Було спрогнозовано 19 випадків. Всі випадки відповідали 2 класу забруднення. При оцінці справджуваності відсоток прогнозів, які потрапили в той самий клас, що й фактичне значення, склав 94,7 %.

При складенні прогнозу у лютому 2017 р. (табл. 3.13) були використані дані спостережень за 24 доби, з яких було відкинуто 4, що не відповідали вимогам використання даного методу. Було спрогнозовано 20 випадків. Всі випадки відповідали 2 класу забруднення. При оцінці справджуваності відсоток прогнозів, які потрапили в той самий клас, що й фактичне значення, склав 95 %.

У червні 2013 р. було складено 13 прогнозів (табл. 3.14). Справджуваність прогнозів склала 100 % (13 прогнозів з 13 справдилися). З них 0 – високе забруднення, 13 – помірне, 0 – низьке.

Таблиця 3.11 – Оцінка справджуваності прогнозу (грудень 2016 р.)

Q	Клас Q	Q'	Клас Q'	Справджуваність
1,12	2	0,99	2	+
0,99	2	1,11	2	+
1,10	2	0,89	2	+
0,94	2	0,97	2	+
1,00	2	0,96	2	+
1,08	2	1,04	2	+
0,96	2	1,02	2	+
1,02	2	0,97	2	+
0,98	2	0,98	2	+
1,00	2	0,97	2	+
0,98	2	0,97	2	+
0,94	2	0,93	2	+
0,84	2	1,02	2	+
1,03	2	1,03	2	+
0,94	2	0,97	2	+
0,98	2	0,94	2	+
1,00	2	0,97	2	+
0,93	2	1,01	2	+
1,03	2	0,97	2	+
1,07	2	1,02	2	+
0,99	2	1,16	2	+
1,70	3	1,33	3	+

Таблиця 3.12 – Оцінка справджуваності прогнозу (січень 2017 р.)

Q	Клас Q	Q'	Клас Q'	Справджуваність
0,91	2	0,91	2	+
1,03	2	1,11	2	+
0,85	2	1,19	2	+
0,78	1	0,94	2	-
0,85	2	0,84	2	+
0,82	2	0,91	2	+
0,87	2	0,85	2	+
1,17	2	1,30	2	+
1,05	2	1,10	2	+
1,11	2	1,21	2	+
1,05	2	0,98	2	+
1,09	2	0,90	2	+
1,08	2	0,97	2	+
1,03	2	1,02	2	+
1,06	2	1,01	2	+
1,04	2	0,97	2	+
1,08	2	0,94	2	+
1,09	2	0,97	2	+
1,03	2	0,93	2	+

Таблиця 3.13 – Оцінка справджуваності прогнозу (лютий 2017 р.)

Q факт	Клас	Q прогн	Клас	справдж.
1,21	2	0,97	2	+
1,04	2	0,97	2	+
1,00	2	0,97	2	+
1,01	2	1,01	2	+
0,93	2	1,03	2	+
0,92	2	0,96	2	+
0,89	2	0,93	2	+
0,82	2	0,94	2	+
0,9	2	0,93	2	+
1,05	2	0,93	2	+
1,05	2	1,00	2	+
1,05	2	0,99	2	+
1,11	2	1,22	2	+
1,06	2	1,02	2	+
1,08	2	0,97	2	+
1,11	2	1,36	3	-
1,02	2	1,03	2	+
1,02	2	1,09	2	+
0,92	2	1,17	2	+
0,92	2	0,95	2	+

Таблиця 3.14 – Оцінка справджуваності прогнозу (червень 2013 р.)

Q	Клас Q	Q'	Клас Q'	Справджуваність
0,92	2	0,97	2	+
0,94	2	0,96	2	+
0,91	2	0,97	2	+
1,00	2	0,96	2	+
1,07	2	1,27	2	+
0,99	2	1,01	2	+
1,02	2	1,05	2	+
1,00	2	0,91	2	+
1,07	2	0,87	2	+
1,04	2	0,97	2	+
1,06	2	0,99	2	+
1,03	2	0,97	2	+
1,03	2	0,95	2	+

У липні 2013 р. складено 18 прогнозів (табл. 3.15). Справджуваність прогнозів склала 100 % (18 прогнозів з 18 справдилися). З цих прогнозів 0 – високе забруднення, 18 – помірне, 0 – низьке.

У серпні 2013 р. складено 17 прогнозів (табл. 3.16). Справджуваність прогнозів склала 100 % (17 прогнозів з 17 справдилися). З цих прогнозів 0 – високе забруднення, 17 – помірне, 0 – низьке.

В цілому за літній період 2013 р. складено 48 прогнозів. Загальна справджуваність прогнозів склала 100 %. При цьому прогнозувалось 0 випадків високого забруднення, 48 – помірною та 0 – низькою. Фактично спостерігалось 0 випадків високого забруднення, 48 – помірною та 0 – низькою.

Таблиця 3.15 – Оцінка справджуваності прогнозів (липень 2013 р.)

Q	Клас Q	Q'	Клас Q'	Справджуваність
1,02	2	0,98	2	+
1,04	2	1,11	2	+
1,08	2	1,11	2	+
1,01	2	0,95	2	+
1,04	2	0,93	2	+
1,16	2	1,00	2	+
1,07	2	1,25	2	+
1,06	2	0,96	2	+
0,93	2	0,92	2	+
1,00	2	0,91	2	+
0,99	2	0,91	2	+
1,07	2	0,91	2	+
0,99	2	0,93	2	+
1,08	2	0,95	2	+
1,03	2	0,95	2	+
1,03	2	0,95	2	+
0,89	2	0,93	2	+
0,87	2	0,93	2	+

У червні 2017 р. складено 18 прогнозів (табл. 3.17). Справджуваність прогнозів склала 88,89 % (16 прогнозів з 18 справилися). З цих прогнозів 0 – високе забруднення, 16 – помірне, 2 – низьке.

У липні 2017 р. складено 21 прогноз (табл. 3.18). Справджуваність прогнозів склала 100 % (21 прогнозів з 21 справилися). З цих прогнозів 0 – високе забруднення, 21 – помірне, 0 – низьке.

Таблиця 3.16 – Оцінка справджуваності прогнозів (серпень 2013 р.)

Q	Клас Q	Q'	Клас Q'	Справджуваність
1,08	2	0,95	2	+
0,94	2	1,05	2	+
1,01	2	0,93	2	+
1,04	2	0,95	2	+
0,99	2	0,93	2	+
0,96	2	0,91	2	+
1,01	2	0,93	2	+
1,08	2	0,91	2	+
1,03	2	0,99	2	+
0,94	2	1,01	2	+
0,96	2	0,97	2	+
1,02	2	1,01	2	+
1,06	2	1,01	2	+
0,98	2	0,95	2	+
0,95	2	0,95	2	+
1,02	2	0,95	2	+
0,91	2	0,96	2	+

У серпні 2017 р. складено 21 прогноз (табл. 3.19). Справджуваність прогнозів склала 100 % (21 прогнозів з 21 справдилися). З цих прогнозів 0 – високе забруднення, 21 – помірне, 0 – низьке.

В цілому за літній період 2017 р. було складено 60 прогнозів. Справджуваність прогнозів склала 96.67 % (58 прогнозів з 60 справдилися). З цих прогнозів 0 – високе забруднення, 58 – помірне, 2 – низьке.

Справджуваність всіх прогнозів оцінювалась для груп забруднення при допустимих градаціях, при яких прогноз вважався справджуваним (табл. 2.1) [30].

Таблиця 3.17 – Оцінка справджуваності прогнозів (червень 2017 р.)

Q	Клас Q	Q'	Клас Q'	Справджуваність
1,01	2	0,99	2	+
1,02	2	0,99	2	+
1,01	2	0,80	2	+
1,07	2	0,92	2	+
1,00	2	1,03	2	+
0,98	2	0,90	2	+
0,92	2	0,85	2	+
1,00	2	0,79	1	-
0,97	2	0,90	2	+
0,94	2	0,93	2	+
0,97	2	0,79	1	-
0,91	2	1,03	2	+
0,95	2	0,95	2	+
0,95	2	1,03	2	+
0,97	2	1,07	2	+
1,00	2	0,96	2	+
0,97	2	1,01	2	+
0,91	2	1,03	2	+

Таблиця 3.18 – Оцінка справджуваності прогнозів (липень 2017 р.)

Q	Клас Q	Q'	Клас Q'	Справджуваність
1,00	2	1,04	2	+
0,89	2	1,04	2	+
0,96	2	1,03	2	+
1,03	2	0,94	2	+
1,00	2	1,05	2	+
1,28	2	1,13	2	+

Продовження табл. 3.18

Q	Клас Q	Q'	Клас Q'	Справджуваність
1,05	2	1,02	2	+
0,94	2	1,00	2	+
1,02	2	1,05	2	+
1,02	2	0,92	2	+
1,05	2	1,04	2	+
0,96	2	1,07	2	+
0,91	2	1,01	2	+
1,00	2	1,09	2	+
1,00	2	1,05	2	+
1,05	2	0,91	2	+
1,05	2	1,04	2	+
1,20	2	1,11	2	+
1,23	2	1,11	2	+
0,98	2	1,02	2	+
0,96	2	1,05	2	+

Таблиця 3.19 – Оцінка справджуваності прогнозів (серпень 2017 р.)

Q	Клас Q	Q'	Клас Q'	Справджуваність
0,93	2	1,00	2	+
0,99	2	1,03	2	+
0,99	2	1,03	2	+
0,99	2	1,06	2	+
1,07	2	1,06	2	+
0,95	2	1,04	2	+
1,00	2	1,07	2	+
0,97	2	1,01	2	+
0,97	2	1,06	2	+

Продовження табл. 3.19

Q	Клас Q	Q'	Клас Q'	Справджуваність
1,22	2	1,11	2	+
0,95	2	0,97	2	+
0,99	2	1,04	2	+
1,05	2	1,07	2	+
0,99	2	1,09	2	+
1,05	2	1,05	2	+
0,96	2	0,90	2	+
0,93	2	0,88	2	+
1,01	2	0,92	2	+
0,97	2	0,95	2	+
1,06	2	0,96	2	+
0,94	2	0,95	2	+

Основні результати дослідження за даним розділом представлені у роботах [35 – 42].

3.2 Прогноз методом розпізнавання образів

Для порівняння була застосована інша прогностична схема, а саме прогнозування МРО. Метод був застосований для прогнозу забруднення за літній і зимовий періоди 2016 – 2017 рр.

На рис. 3.10 – 3.12 і у табл. 3.20 – 3.22 наведені результати прогнозування забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту у зимовий період 2016 – 2017 рр.

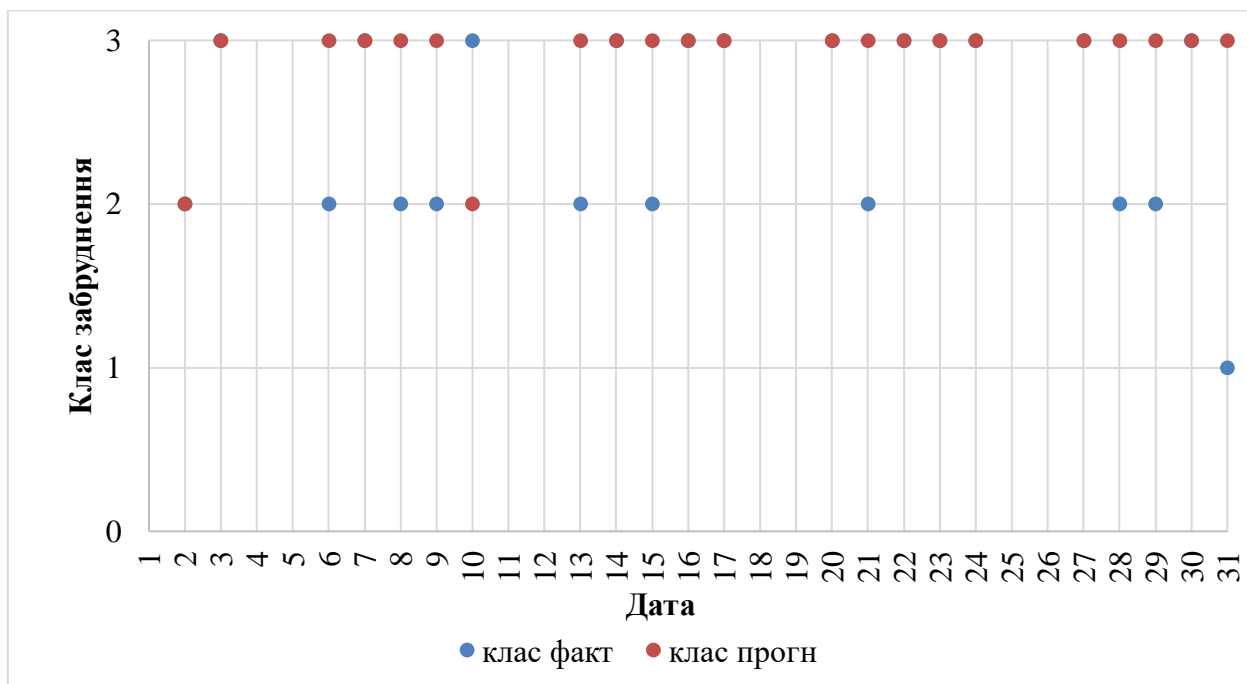


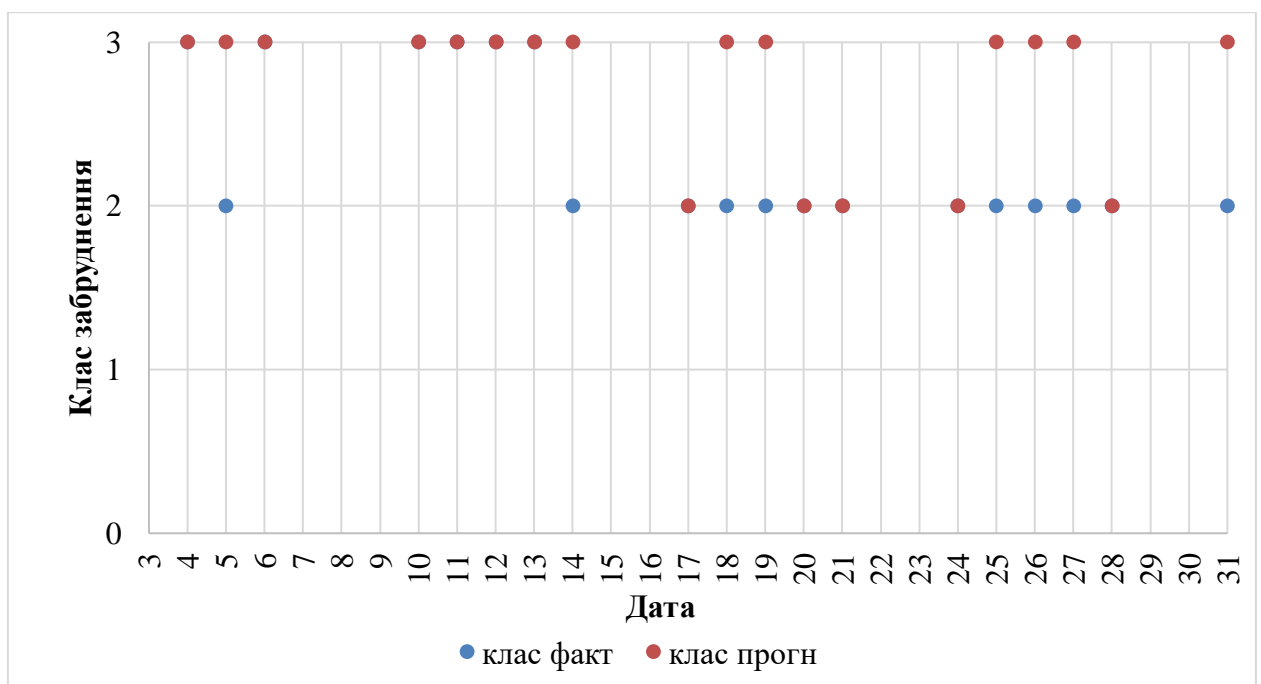
Рисунок 3.10 – Прогноз забруднення параметра *P* МРО (грудень 2016 р.)

Таблиця 3.20 – Оцінка справджуваності прогнозу МРО (грудень 2016 р.)

Дата	Клас фактичний	Клас прогностичний	Справджуваність
02	2	2	+
03	3	3	+
06	2	3	-
07	3	3	+
08	2	3	-
09	2	3	-
10	3	2	-
13	2	3	-
14	3	3	+
15	2	3	-
16	3	3	+
17	3	3	+
20	3	3	+
21	2	3	-
22	3	3	+
23	3	3	+

Продовження табл. 3.20

Дата	Клас фактичний	Клас прогностичний	Справджуваність
24	3	3	+
27	3	3	+
28	2	3	-
29	2	3	-
30	3	3	+
31	1	3	-

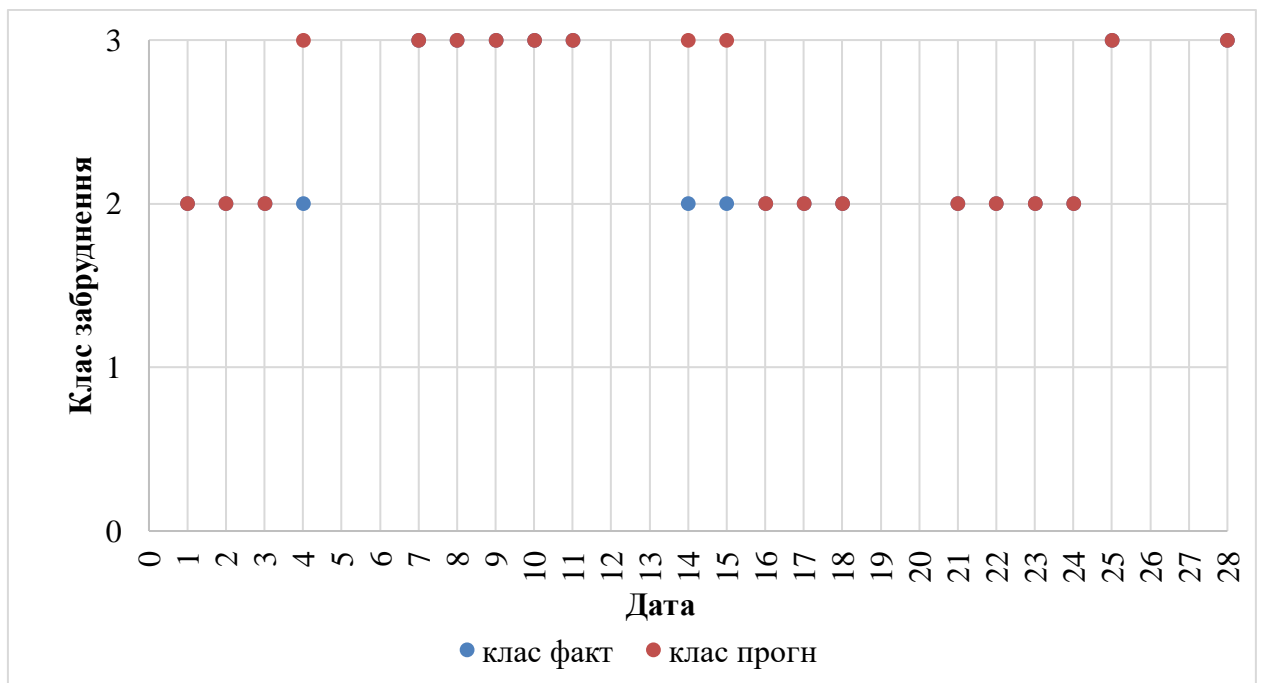
Рисунок 3.11 – Прогноз забруднення параметра *P* МРО (січень 2017 р.)

Таблиця 3.21 – Оцінка справджуваності прогнозу МРО (січень 2017 р.)

Дата	Клас фактичний	Клас прогностичний	Справджуваність
04	3	3	+
05	2	3	-
06	3	3	+
10	3	3	+
11	3	3	+
12	3	3	+

Продовження табл. 3.21

Дата	Клас фактичний	Клас прогностичний	Справджуваність
13	3	3	+
14	2	3	-
17	2	2	+
18	2	3	-
19	2	3	-
20	2	2	+
21	2	2	+
24	2	2	+
25	2	3	-
26	2	3	-
27	2	3	-
28	2	2	+
31	2	3	-

Рисунок 3.12 – Прогноз забруднення параметра *P* МРО (лютий 2017 р.)

Таблиця 3.22 – Оцінка справджуваності прогнозу МРО (лютий 2017 р.)

Дата	Клас фактичний	Клас прогностичний	Справджуваність
01	2	2	+
02	2	2	+
03	2	2	+
04	2	3	-
07	3	3	+
08	3	3	+
09	3	3	+
10	3	3	+
11	3	3	+
14	2	3	-
15	2	3	-
16	2	2	+
17	2	2	+
18	2	2	+
21	2	2	+
22	2	2	+
23	2	2	+
24	2	2	+
25	3	3	+
28	3	3	+

На рис. 3.13 – 3.15 і у табл. 3.23 – 3.25 наведені результати прогнозування забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту у літній період 2017 р.

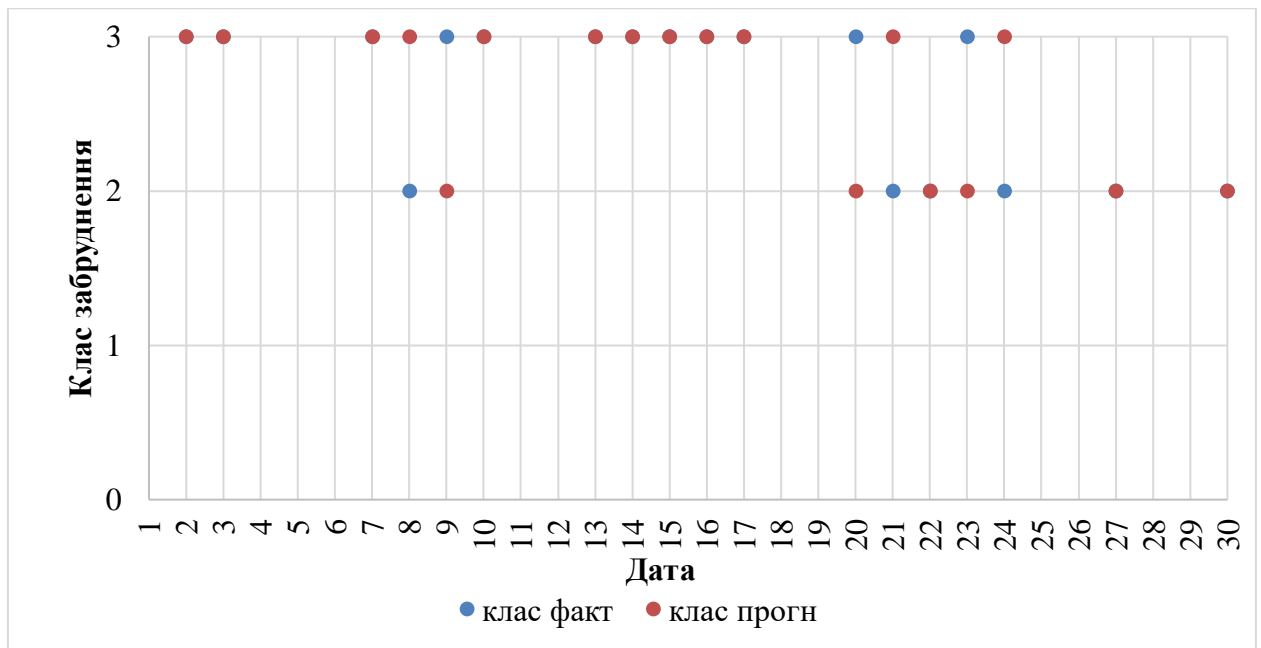


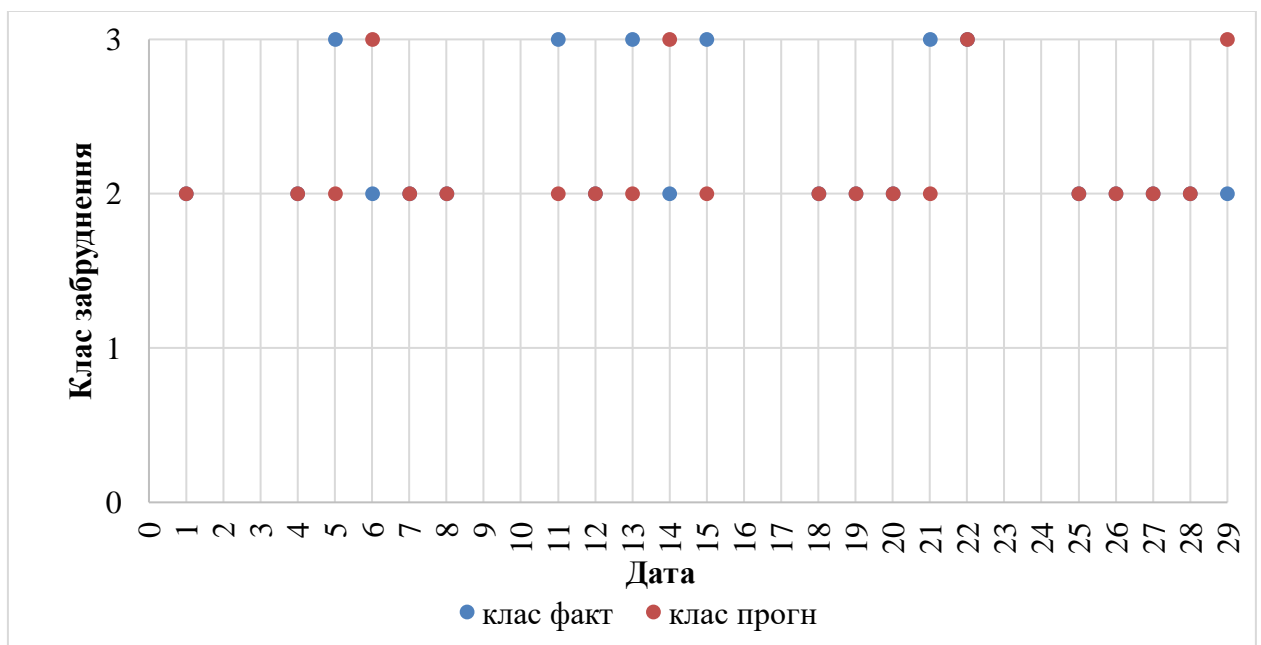
Рисунок 3.13 – Прогноз забруднення параметра *P* МРО (червень 2017 р.)

Таблиця 3.23 – Оцінка справджуваності прогнозу МРО (червень 2017 р.)

Дата	Клас фактичний	Клас прогностичний	Справджуваність
02	3	3	+
03	3	3	+
07	3	3	+
08	2	3	-
09	3	2	-
10	3	3	+
13	3	3	+
14	3	3	+
15	3	3	+
16	3	3	+
17	3	3	+
20	3	2	-
21	2	3	-

Продовження табл. 3.23

Дата	Клас фактичний	Клас прогностичний	Справджуваність
22	2	2	+
23	3	2	-
24	2	3	-
27	2	2	+
30	2	2	+

Рисунок 3.14 – Прогноз забруднення параметра P МРО (липень 2017 р.)

Таблиця 3.24 – Оцінка справджуваності прогнозу МРО (липень 2017 р.)

Дата	Клас фактичний	Клас прогностичний	Справджуваність
01	2	2	+
04	2	2	+
05	3	2	-
06	2	3	-
07	2	2	+
08	2	2	+
11	3	2	-

Продовження табл. 3.24

Дата	Клас фактичний	Клас прогностичний	Справджуваність
12	2	2	+
13	3	2	-
14	2	3	-
15	3	2	-
18	2	2	+
19	2	2	+
20	2	2	+
21	3	2	-
22	3	3	+
25	2	2	+
26	2	2	+
27	2	2	+
28	2	2	+
29	2	3	-

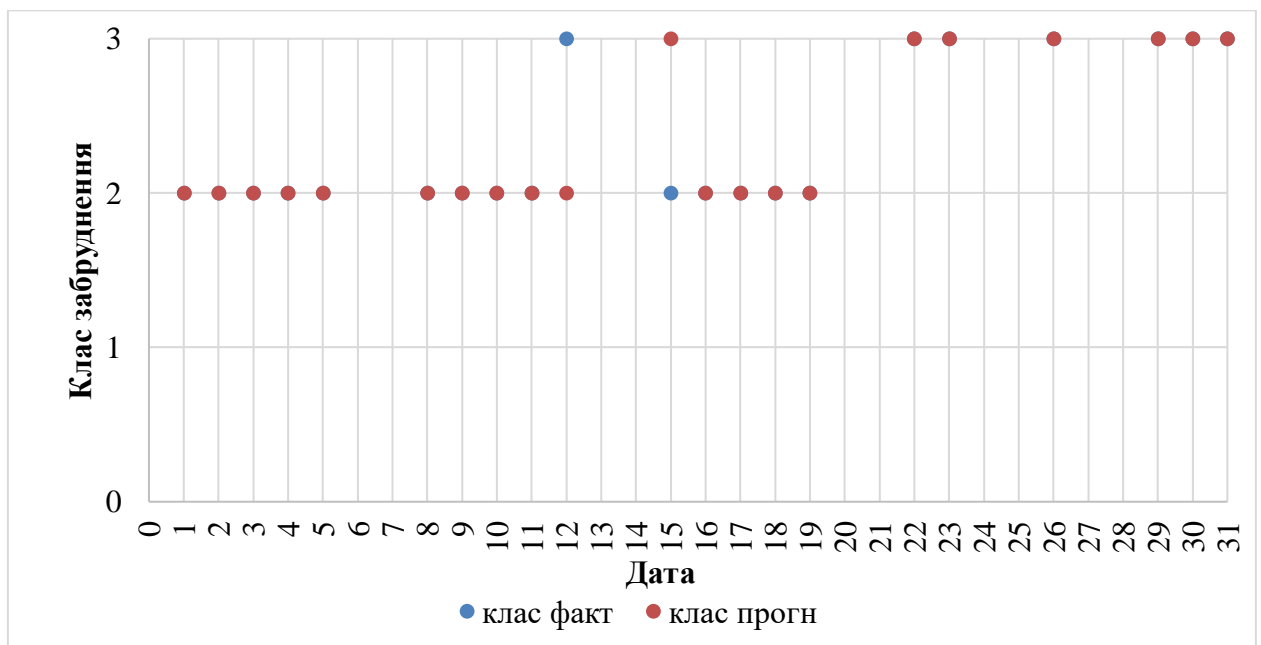


Рисунок 3.15 – Прогноз забруднення параметра P MPO (серпень 2017 р.)

Таблиця 3.25 – Оцінка справджуваності прогнозу МРО (серпень 2017 р.)

Дата	Клас фактичний	Клас прогностичний	Справджуваність
01	2	2	+
02	2	2	+
03	2	2	+
04	2	2	+
05	2	2	+
08	2	2	+
09	2	2	+
10	2	2	+
11	2	2	+
12	3	2	-
15	2	3	-
16	2	2	+
17	2	2	+
18	2	2	+
19	2	2	+
22	3	3	+
23	3	3	+
26	3	3	+
29	3	3	+
30	3	3	+
31	3	3	+

При прогнозуванні забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту у літній і зимовий періоди 2016 – 2017 рр. МРО були

використані дані спостережень за 151 добу, з яких було відкинута 28 днів через невідповідність вимог до використання даних для МРО. З розрахунку моделі з вибірки лише одне значення потрапило до 1 класу забруднення, тому для цього класу неможливо розрахувати середнє значення і дисперсію. Після розрахунків для оцінки справджуваності були відкинуті ще значення, які неможливо перевірити, оскільки немає значень забруднення атмосфери діоксидом азоту за наступну добу. Із залишившихся 91 випадків справилися прогнози у 61 випадку, відсоток справджуваності за літній і зимовий періоди 2016 – 2017 рр. склав 67 %.

Окремі результати щодо прогнозування забруднення атмосферного повітря МРО представлені у роботі [39, 40, 43].

Так, можливо зробити висновок стосовно ефективності використання обох прогностичних схем для даної вибірки. Метод УкрНДГМІ виявився більш надійнішим, ніж МРО (98 % справджуваності проти 67 %). Можливо, що низький відсоток справджуваності в результатах прогнозу за МРО пов'язаний з проблемами побудови моделі та малим розкидом класів забруднення в даній вибірці. Також однією з причин низького відсотка справджуваності може бути спрямованість методики на визначення класу забруднення, а не рівня забруднення.

Слід відмітити також недоліки використання методу УкрНДГМІ, головним з яких є неможливість використання даного методу в осінній та весняний періоди, хоча відсоток справджуваності був значним. Проте даний метод був розроблений для м. Одеси з урахуванням фізико-географічних та метеорологічних особливостей міста, тому можливо припустити, що використання даного методу є недоцільним для інших міст або територій, але це є предметом іншого дослідження.

ВИСНОВКИ

Метою виконаної кваліфікаційної роботи магістра була апробація окремих методів короткострокового прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту. Вихідними даними в роботі слугували матеріали Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні, а також дані регулярних спостережень за забрудненням атмосферного повітря на мережі стаціонарних пунктів у м. Одеса.

В результаті виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Рівень забруднення атмосферного повітря м. Одеса на даний час є небезпечним для життя та здоров'я мешканців міста. З метою покращення його важливим є прогнозування, що дозволяє визначати зміни рівня забруднення певною ЗР при незмінних викидах комплексу речовин.
2. Концентрації ЗР в атмосфері можуть змінюватися під впливом метеорологічних параметрів, які впливають на перенесення шкідливих домішок, і умов стійкості атмосфери.
3. Існуючі в даний час схеми статистичного прогнозу забруднення приземного шару атмосфери базуються на дослідженнях зв'язків між забрудненням і метеорологічними умовами.
4. Прогноз забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у зимовий період 2016 – 2017 рр. за методом УкрНІГМІ показав, що динаміка зміни фактичних значень показника Q співпадає з прогностичними значеннями даного показника.
5. У літній період 2013 і 2017 рр. фактичне значення Q майже в кожному випадку співпадало зі прогностичними показниками (метод УкрНІГМІ).
6. Справджуваність прогнозу за методом УкрНІГМІ в зимовий період в середньому складала 96,6 %, у літній період – 98,3 %.

7. За МРО у зимовий і літній періоди 2016 – 2017 рр. відсоток справджуваності прогнозів склав 67 %.
8. Так, метод УкрНДГМІ виявився більш надійнішим, ніж МРО. Низький відсоток справджуваності в результатах прогнозу за МРО може бути пов'язаний з проблемами побудови моделі та малим розкидом класів забруднення в даній вибірці, а також зі спрямованістю методики на визначення класу забруднення, а не рівня забруднення.
9. Недоліком використання методу УкрНДГМІ є неможливість його використання в осінній та весняний періоди. Також даний метод був розроблений для м. Одеси з урахуванням фізико-географічних та метеорологічних особливостей міста, тому можливо, що використання даного методу є недоцільним для інших міст або територій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Oxides of Nitrogen. URL: <http://www.npi.gov.au/resource/oxides-nitrogen-0> (дата звернення: 29.03.2022).
2. Air quality criteria for oxides of nitrogen. Research Triangle Park, NC, US Environmental Protection Agency. 1993 (EPA Report No. EPA/600/8-91/049aF-cF.3v).
3. Air quality criteria for ozone and related photochemical oxidants. Research Triangle Park, NC, US Environment Protection Agency. 1995 (EPA Report No. EPA/600/P-93/004aF-cF.3v).
4. Air Pollution Nitrogen Dioxide. URL: <https://www.greenfacts.org/en/nitrogen-dioxide-no2/level-2/01-presentation.htm#0> (дата звернення: 26.03.2022).
5. Air Pollution Information System. Nitrogen Oxides (NO_x). URL: http://www.apis.ac.uk/overview/pollutants/overview_nox.htm (дата звернення: 28.03.2022).
6. How Does Nitrogen Oxide Pollution Affect the Environment? URL: <https://www.treehugger.com/what-is-nitrogen-oxide-pollution-1204135> (дата звернення: 01.04.2022).
7. Panis L.I., Provost E.B., Cox B., Louwies T., Laeremans M., Standaert A., Dons E., Holmstock L., Nawrot T., De Boever P. Short-term air pollution exposure decreases lung function: a repeated measures study in healthy adults. *Environmental Health*. 2017. № 16. URL: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-017-0271-z> (дата звернення: 23.04.2022).
8. Nitrogen Dioxide (NO_2) Pollution. URL: <https://www.epa.gov/no2-pollution> (дата звернення: 04.04.2022).
9. Heinrich J. Influence of indoor factors in dwellings on the development of childhood asthma. *International Journal of Hygiene and Environmental*

- Health*. 2011. № 214. URL: http://www.njgasp.org/wp-content/uploads/2014/05/Int_J_Hyg_Env_Health_asthma_triggers_8-2010.pdf (дата звернення: 23.04.2022).
10. Garrett M.H., Hooper M.A., Hooper B.M., Abramson M.J. Respiratory Symptoms in Children and Indoor Exposure to Nitrogen Dioxide and Gas Stoves. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 1998. Vol. 158. Issue 3. URL: <https://www.atsjournals.org/doi/full/10.1164/ajrccm.158.3.9701084?ck=nck> (дата звернення: 23.04.2022).
 11. Hansel N.N., Breysse P.N., McCormack M.C., Matsui E.C., Curtin-Brosnan J., Williams D'A.L., Moore J.L., Cuhran J.L., Diette G.B. A Longitudinal Study of Indoor Nitrogen Dioxide Levels and Respiratory Symptoms in Inner-City Children with Asthma. *Environmental Health Perspectives*. 2008. № 116. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2569107/> (дата звернення: 23.04.2022).
 12. Arashidani K., Yoshikawa M., Kawamoto T., Matsuno K., Kayama F., Kodama Y. Indoor pollution from heating. *Industrial Health*. 1996. № 34 (3). URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/indhealth1963/34/3/34_3_205/_article/-char/ja (дата звернення: 23.04.2022).
 13. Levy J.I., Lee K., Yanagisawa Y., Hutchinson P., Spengler J.D. Determinants of nitrogen dioxide concentrations in indoor ice skating rinks. *American Journal of Public Health*. 1988. Vol. 88. Num. 12. P. 1781 – 1786.
 14. Glorennec P., Bonvallot N., Mandin C., Goupil G., Pernelet-Joly V., Millet M., Filleul L., Le Moullec Y., Alary R. Is a quantitative risk assessment of air quality in underground parking garages possible?. *Indoor Air*. 2008. Vol. 18. Issue 4. P. 283 – 292.
 15. Leung R., Lam C.W., Chan A. et al. Indoor environment of residential homes in Hong Kong – relevance to asthma and allergic disease. *Clin Exp Allergy*. 1998. Vol. 28. Issue 5. P. 585 – 590.
 16. Hagenbjork-Gustafsson A., Forsberg B., Hestvik G., Karlsson D., Wahlberg S., Sandstrom T. Measurements of indoor and outdoor nitrogen

- dioxide concentrations using a diffusive sampler. *Analyst*. 1996. Vol. 12. Issue 9. P. 1261 – 1264.
17. Levy J.I. Impact of residential nitrogen dioxide exposure on personal exposure: an international study. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 1998. № 48. P. 553 – 560.
18. García-Algar O., Zapater M., Figueroa C., Vall O., Basagaña X., Sunyer J., Freixa A., Guardino X., Pichini S. Sources and concentrations of indoor nitrogen dioxide in Barcelona, Spain. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2003. № 53. P. 1312 – 1317.
19. Nakai S., Nitta H., Maeda K. Respiratory health associated with exposure to automobile exhaust. II. Personal NO_2 exposure levels according to distance from the roadside. *Journal Expo Anal Environ Epidemiol*. 1995. № 5. P. 125 – 136.
20. Garrett M.H., Hooper M.A., Hooper B.M. Nitrogen dioxide in Australian homes: levels and sources. *Journal of the Air & Waste Management Association*. № 49. P. 76 – 81.
21. Zota A., Adamkiewicz G., Levy J.I., Spengler J.D. Ventilation in public housing: implications for indoor nitrogen dioxide concentrations. *Indoor Air*. № 15. P. 393 – 401.
22. Lee K., Xue J., Geyh A.S., Ozkaynak H., Leaderer B.P., Weschler C.J., Spengler J.D. Nitrous acid, nitrogen dioxide, and ozone concentrations in residential environments. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 110. Num. 2. P. 145 – 150.
23. Weschler C.J. et al. Workgroup report: indoor chemistry and health. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 11. Num. 3. P. 442 – 446.
24. Kattan M. et al. Health effects of indoor nitrogen dioxide and passive smoking on urban asthmatic children. *Journal Allergy Clin Immunol*. 2007. Vol. 120. Num. 3. P. 618 – 624.
25. Baxter L.K., Clougherty J.E., Laden F., Levy J.I. Predictors of concentrations of nitrogen dioxide, fine particulate matter, and particle constituents inside of

- lower socioeconomic status urban homes. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. 2007. Vol. 17. P. 433 – 444
26. Nitrogen dioxide. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0454.html> (дата звернення: 06.04.2022).
27. Chan-Yeung M., Ashley M.J., Grzybowski S. Grain dust and the lungs. *Canadian Medical Association Journal*. 1978. Vol. 118. Num. 10. P. 1271 – 1274.
28. Gurney J.W., Unger J.M., Dorby C.A., Mitby J.K., von Essen S.G. Agricultural disorders of the lung. *Radiographics*. 1991. Vol. 11. Num. 4. P. 625 – 634.
29. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2020 р. Київ, 2021. 421 с.
30. Методика краткосрочного прогноза уровня загрязнения атмосферы в г. Одессе. Киев: УкрНИГМИ, 1999.
31. Безуглая Э.Ю., Сонькин Л.Р. Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы). Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. С. 241 – 252.
32. Методические указания по прогнозу загрязнения воздуха в городах. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979.
33. Гуляев В.М., Дранишников Л.В. Мониторинг окружающей среды. Днепропетровск: ДГТУ, 2005. 354 с.
34. Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. 224 с.
35. Терземан В.В., Полетаєва Л.М. Аналіз прогностичних схем забруднення повітряного басейну м. Одеси. *Збірник матеріалів Третьої Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»*. Херсон: «ОЛДІ-ПЛЮС», 2020. С. 502 – 505.

36. Терзема́н В.В., Полетає́ва Л.М. Короткострокове прогнозування забруднення атмосферного повітря міста Одеса. *VI Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих учених*. Харків: ХНАДУ, 2020. С. 236 – 238.
37. Терзема́н В.В., Полетає́ва Л.М. Короткостроковий прогноз забруднення атмосферного повітря міста Одеси діоксидом азоту за літній період за методом УкрНДГМІ. *Збірник статей VII Міжнародної заочної науково-практичної конференції «Актуальні питання біологічної науки»*. Ніжин: НДУ ім. Миколи Гоголя, 2021. С. 178-180.
38. Терзема́н В.В. Прогноз забруднення повітряного басейну міста Одеси діоксидом азоту. *Матеріали XX наукової конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету*. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 97 – 98.
39. Терзема́н В.В., Полетає́ва Л.М. Порівняння двох прогностичних методів забруднення атмосферного повітря міста Одеси діоксидом азоту у літній період. *Четверта Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»: збірник матеріалів*. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 279 – 282.
40. Полетає́ва Л.М., Терзема́н В.В. Короткостроковий прогноз забруднення атмосферного басейну міста Одеси діоксидом азоту в літній період двома методами. Тези доповідей Міжнародного наукового симпозіума «Тиждень еколога – 2021». Кам'янське: ДДТУ, 2021. С. 26 – 29.
41. Полетає́ва Л.М., Терзема́н В.В. Короткостроковий прогноз забруднення атмосферного повітря міста Одеси діоксидом азоту у літній період 2013 та 2017 років. *Тези Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції»*. Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2021. С. 58 – 59.

42. Чугай А., Полетаєва Л., Терземан В. Короткостроковий прогноз забруднення атмосферного повітря міста Одеса діоксидом азоту. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. № 1. С. 88 – 93.
43. Терземан В.В. Прогноз забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту методом розпізнавання образів. *Матеріали XXI наукової конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету*. Одеса: ОДЕКУ, 2022. (у друку).

ДОДАТКИ

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

1. Терземан В.В., Полетаєва Л.М. Аналіз прогностичних схем забруднення повітряного басейну м. Одеси. *Збірник матеріалів Третьої Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»*. Херсон: «ОЛДІ-ПЛЮС», 2020. С. 502 – 505.
2. Терземан В.В., Полетаєва Л.М. Короткострокове прогнозування забруднення атмосферного повітря міста Одеса. *VI Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих учених*. Харків: ХНАДУ, 2020. С. 236 – 238.
3. Терземан В.В., Полетаєва Л.М. Прогностичний метод забруднення атмосферного повітря міста Одеса. *Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції»*. Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2020. С. 46.
4. Терземан В.В., Полетаєва Л.М. Короткостроковий прогноз забруднення атмосферного повітря міста Одеси діоксидом азоту за літній період за методом УкрНДГМІ. *Збірник статей VII Міжнародної заочної науково-практичної конференції «Актуальні питання біологічної науки»*. Ніжин: НДУ ім. Миколи Гоголя, 2021. С. 178-180.
5. Терземан В.В. Прогноз забруднення повітряного басейну міста Одеси діоксидом азоту. *Матеріали XX наукової конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету*. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 97 – 98.

6. Терзема́н В.В., Полетає́ва Л.М. Порівня́ння дво́х прогностичних мето́дів забрудне́ння атмосфе́рного пові́тря мі́ста Оде́си діокси́дом азо́ту у літній пе́ріод. *Четверта Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»*: збірник матеріалів. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 279 – 282.
7. Полетає́ва Л.М., Терзема́н В.В. Короткостроковий прогноз забрудне́ння атмосфе́рного басейну мі́ста Оде́си діокси́дом азо́ту в літній пе́ріод двома мето́дами. Тези доповідей Міжнародного наукового симпози́ума «Тиждень еколо́га – 2021». Кам'я́нське: ДДТУ, 2021. С. 26 – 29.
8. Полетає́ва Л.М., Терзема́н В.В. Короткостроковий прогноз забрудне́ння атмосфе́рного пові́тря мі́ста Оде́си діокси́дом азо́ту у літній пе́ріод 2013 та 2017 ро́ків. *Тези Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції»*. Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2021. С. 58 – 59.
9. Чуга́й А., Полетає́ва Л., Терзема́н В. Короткостроковий прогноз забрудне́ння атмосфе́рного пові́тря мі́ста Оде́са діокси́дом азо́ту. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. № 1. С. 88 – 93.
10. Терзема́н В.В. Прогноз забрудне́ння атмосфе́рного пові́тря м. Оде́са діокси́дом азо́ту мето́дом розпізна́вання обра́зів. *Матеріали XXI наукової конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету*. Оде́са: ОДЕКУ, 2022. (у друку).

ДОВІДКА**щодо участі Терземана В.В. у НДР кафедри екології та охорони довкілля**

Даною довідкою підтверджую, що окремі результати кваліфікаційної роботи магістра Терземана Володимира Вікторовича на тему «Прогнозування забруднення повітряного басейну міста Одеса діоксидом азоту» увійшли до проміжного звіту кафедри екології та охорони довкілля з НДР «Техногенне навантаження на складові довкілля регіонів Північно-Західного Причорномор'я» у 2021 р. (№ ДР 0120U105060).

Зав. каф. екології та
охорони довкілля

Т.А. Сафранов