

УДК 551.570.04

**Кіптенко Є. М., Козленко Т. В., Надточій Л. М.**

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН  
України, Київ

## **МЕТОДИКА КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУ РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ З УРАХУВАННЯМ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ДЛЯ МІСТА МАРІУПОЛЬ**

Проаналізовано вплив аеросиноптичних та метеорологічних факторів на накопичування та розсіювання антропогенних домішок в атмосфері міста Маріуполь. Встановлено, що найкращий зв'язок прослідковується з характеристиками вітру. 80% випадків високого забруднення в Маріуполі обумовлені вітрами північно-східної чверті горизонту (Пн, ПнС, С), а також швидкістю вище 5м/с. Проведено класифікацію синоптичних умов та виявлено, що високі рівні забруднення атмосферного повітря взимку відмічаються під впливом передньої частини циклону та південно-західної периферії антициклону, а влітку – при стаціонарному антициклоні та його периферіях. Розроблено методику короткострокового прогнозування рівнів забруднення повітря, що базується на використанні методу множинної лінійної регресії з урахуванням нелінійності зв'язків шляхом відповідного перетворення предикторів. Загальна справджуваність методу складає 73–82% залежно від домішки; справджуваність групи високого забруднення – більше 83%.

**Ключові слова:** забруднення атмосферного повітря, викиди, забруднювальні речовини, метеорологічні умови, синоптична ситуація, прогноз забруднення.

**Вступ.** Охорона атмосферного повітря від забруднення у теперішній час має велике значення [14,17,20,21]. Головним завданням залишається підвищення ефективності робіт для поліпшення стану атмосферного повітря міст за рахунок короткотермінового зниження викидів та концентрацій домішок у періоди несприятливих метеорологічних умов (НМУ) на основі їх

короткострокового прогнозу [7].

Забруднення повітря в місті є складним багатофакторним явищем і для прогнозування потребує врахування ряду факторів. Важлива роль у формуванні певного рівня забруднення атмосфери належить метеорологічним величинам [1,5,6,8,10,12,13,15,16,18]. Найбільший внесок справляють термодинамічна стійкість та вітер, від яких залежать ефективність віддалення домішок від джерел забруднення і концентрація небезпечних речовин у граничному шарі атмосфери [15,18,19].

Вертикальне розповсюдження домішок значною мірою залежить від ступеня стійкості повітря, тобто від температурної стратифікації. Кращі умови для розсіювання домішок створюються при сильній нестійкості і добре розвинутому шарі перемішування, що спостерігається в ясні сонячні дні, особливо влітку [7]. Небезпечні умови, при яких у приземному шарі повітря спостерігаються найбільші концентрації шкідливих домішок, пов'язані з наявністю температурної інверсії [2]. Приземні та припідняті інверсії температури, які мають стійку стратифікацію, є затримуючими шарами [4]. Вони перешкоджають розповсюдженню домішок по вертикалі в граничному шарі атмосфери. В умовах міста, при наявності великої кількості низьких джерел викидів, особливо якщо температура викидів нижча, ніж навколишня температура повітря, при приземних і припіднятих інверсіях створюються умови накопичення домішок [10]. Максимум під час шторму найбільш чітко виявляється за наявності приземної інверсії, а коли її немає – під час помірного вітру [7]. Тип синоптичного процесу, характер циркуляції повітряних мас також обумовлюють ступінь забруднення атмосфери [7].

Поряд із метеорологічними умовами потрібно враховувати параметри джерел викидів, серед яких основними є висота (високі та низькі джерела) та температура (гарячі та холодні) викидів [3].

Для складання короткострокових прогнозів пріоритетними методами є статистичні, які дозволяють враховувати локальні та регіональні особливості формування певного рівня забруднення атмосферного повітря, та є оптимальними для порівняно швидкої реалізації і використання [5, 7]. Одним із найбільш поширених статистичних методів є метод множинної лінійної регресії з урахуванням нелінійності зв'язків шляхом відповідного перетворення предикторів [3, 11].

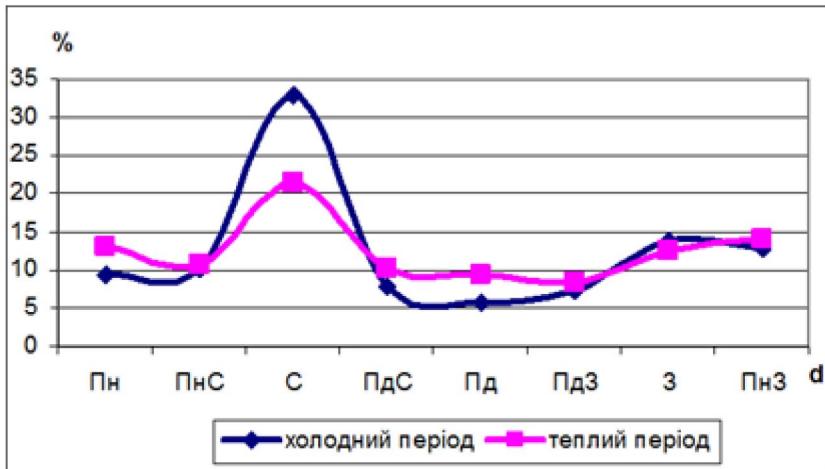
**Постановка проблеми.** Розробка методики короткострокового прогнозування передбачає вирішення ряду завдань: виявлення закономірностей просторово-часового розподілу забруднювальних речовин у зв'язку з роботою основних джерел забруднення повітряного басейну міст; аналізу фізико-географічних, метеорологічних і синоптичних умов формування рівня забруднення атмосферного повітря; розробки класифікації синоптичних ситуацій, які визначають процеси накопичування або розсіювання концентрацій забруднювальних речовин; виявлення взаємозв'язку між значеннями концентрацій домішок та метеорологічними характеристиками; розробки прогностичних схем щодо прогнозування концентрацій в різні сезони року; формуванні методичних рекомендацій по оцінці та прогнозуванню рівня забруднення атмосфери досліджуваного міста. До якісних предикторів відбирають показники, що дозволяють максимально враховувати фізичні закономірності розповсюдження домішок в атмосфері. Головним принципом є відбирання їх за матеріалами спостережень у конкретному місті з урахуванням реальності й щільності зв'язку між метеорологічними чинниками і концентраціями домішок у повітрі. Під час розроблювання прогностичної схеми предиктори заздалегідь не задаються з усіх можливих вибирають кілька найбільш значущих.

**Метою** роботи є аналіз впливу аеросиноптичних та метеорологічних факторів на накопичування та розсіювання антропогенних домішок в атмосфері і розроблення методик короткострокового прогнозування рівнів забруднення повітря на прикладі міста Маріуполь.

Для розроблювання прогностичних схем використано щоденні значення концентрацій забруднювальних домішок і метеорологічних величин за період 2012–2015рр.: напрям ( $d_{03}$ ,  $d_{15}$ ) та швидкість вітру ( $v_{03}$ ,  $v_{15}$ ), температура повітря ( $t_{15}$ ) за 15 годину, синоптична ситуація (С), а також враховано наявність опадів та туманів.

**Виклад основного матеріалу. Зв'язок рівнів забруднення з метеорологічними умовами.** Аналіз випадків високого рівня забруднення повітря у Маріуполі дозволив встановити деякі закономірності впливу метеорологічних умов на концентрації шкідливих домішок. Найкращий зв'язок знайдено з характеристиками вітру та синоптичними умовами.

У місті в холодний і теплий сезони переважає східний вітер (рис. 1).



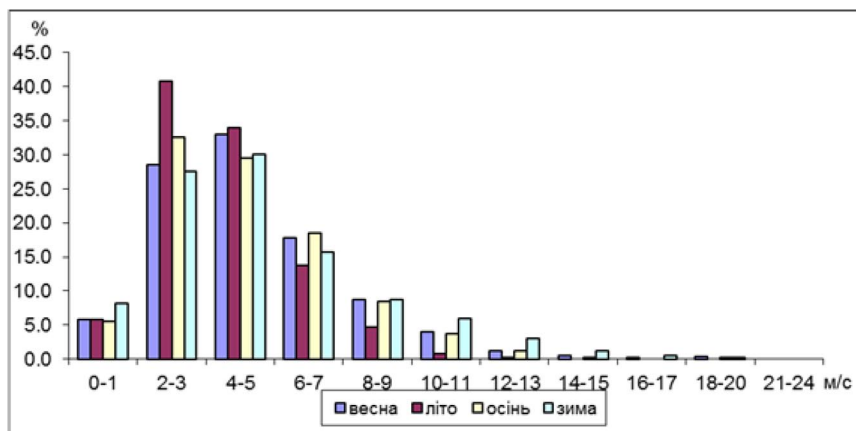
**Рис. 1. Повторюваність напрямку вітру в Маріуполі (%)**

В періоди переважаючого східного напрямку інтенсивність забруднення значно посилюється. Взимку високе забруднення формується при вітрах північного, північно-східного та східного напрямках (завислі речовини, діоксид сірки). Влітку найбільш характерні риси впливу напрямку вітру зберігаються, однак цей вплив проявляється слабше. Вітри північно-східної чверті горизонту (Пн, ПнС, С) обумовлюють близько 80% випадків високого забруднення атмосфери.

За слабким вітром, коли турбулентний обмін понижений, від високих та середніх джерел у приземний шар атмосфери забруднювальні домішки практично не надходять. При викидах із низьких джерел найбільше забруднення атмосферного повітря спостерігається за швидкістю вітру 0-1 м/с. Зі збільшенням швидкості вітру та підсиленням турбулентного обміну концентрації забруднювальних домішок у граничному шарі атмосфери від високих джерел викидів зростають.

У Маріуполі відмічається незначна повторюваність як штилів, так і великих швидкостей вітру. В усі сезони найбільша повторюваність припадає на швидкість вітру 2-5 м/с. (рис. 2) У Маріуполі підвищене забруднення атмосферного повітря

спостерігається за швидкістю вітру 5–9 м/с. Найбільша повторюваність високого забруднення формується за швидкості вітру 9 – 12 м/с.



**Рис. 2. Повторюваність (%) швидкості вітру за сезонами. Маріуполь**

Аналіз умов формування підвищеного рівня забруднення атмосфери в Маріуполі показав, що серед багатьох метеорологічних чинників, що впливають на забруднення атмосферного повітря, особливо важлива роль належить синоптичному фактору. Синоптична ситуація є складною комплексною характеристикою, яка відображає основні риси метеорологічних та аерологічних умов у граничному шарі атмосфери, тому синоптичний фактор відіграє досить важливу роль при складанні прогнозу забруднення.

Тип синоптичної ситуації поданий у вигляді індексів для зими від 1 до 10 та літа – від 1 до 9. Виділені типи синоптичних ситуацій надані в табл. 1.

У Маріуполі високі рівні забруднення атмосферного повітря взимку відмічаються, коли місто знаходиться під впливом передньої частини циклону з умовами туману, мряки, південно-західної периферії антициклону, а влітку – при стаціонарному антициклоні та його периферіях (рис. 3).

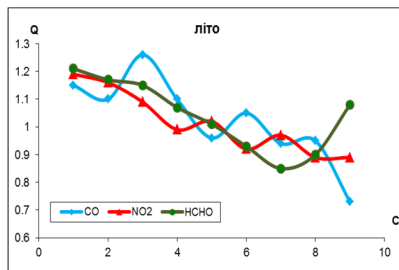
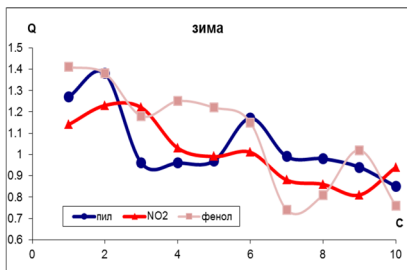
До 30% випадків спостерігаються синоптичні ситуації, які зв'язані з впливом антициклонів, що в значній мірі сприяє накопиченню домішок в атмосферному повітрі (рис. 4).

## Типи синоптичних ситуацій

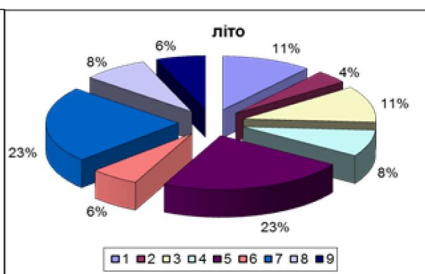
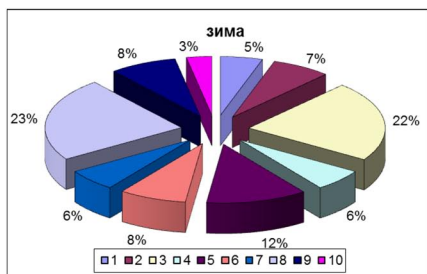
Індекс	Синоптична ситуація
<b>Зима</b>	
1	Передня частина циклону з умовами туману, мряки.
2	Південно-західна периферія антициклону.
3	Північно-східна, південно-східна, західна, північно-західна периферії антициклону. Теплий сектор циклону з умовами туману, мряки.
4	Антициклон, Сідловина.
5	Поле підвищеного тиску.
6	Фронт оклюзії.
7	Південна, східна периферії антициклону.
8	Теплий фронт, теплий сектор циклону (без умов туману та мряки). Поле зниженого тиску.
9	Тил циклону.
10	Холодний фронт.
<b>Літо</b>	
1	Антициклон. Північно-східна, східна, південно-східна периферії антициклону.
2	Південна, південно-західна, західна, північна периферії антициклону.
3	Передня частина циклону, теплий сектор циклону (адвекція тепла з півдня).
4	Сідловина.
5	Поле підвищеного тиску.
6	Фронт оклюзії.
7	Поле зниженого тиску.
8	Тил циклону.
9	Активні фронтальні розділи.

В умовах активної циклонічної діяльності, при баричних утвореннях, які швидко переміщуються, домішки розсіюються в атмосфері і відмічається зменшення їх приземної концентрації. Очищенню повітря сприяє також випадання опадів, за винятком, як уже відмічалось, теплого сектору циклону, при наявності мряки або туману. Кількість днів з опадами наведено у табл. 2.

Акумуляція забруднювальних домішок в атмосфері, яка спостерігається при слабких вітрах і інверсіях, підсилюється



**Рис. 3. Значення нормованих концентрацій за різними синоптичними ситуаціями (2013 – 2015 рр.)**



**Рис. 4 Повторюваність синоптичних ситуацій у Маріуполі (%)**

*Таблиця 2*

**Кількість днів з опадами**

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
<b>2013</b>	23	17	19	5	8	9	7	7	16	14	5	14	144
<b>2014</b>	18	11	8	13	12	10	6	2	6	6	8	15	115
<b>2015</b>	18	12	23	15	11	12	7	2	3	6	16	17	142

туманами, що сприяють підвищенню забруднення атмосферного повітря, погіршенню його санітарно-гігієнічних норм. Найбільша тривалість туманів спостерігається в холодний період, найменша – в теплий. В останні роки повторюваність туманів значно зменшилась і в літні місяці навіть не спостерігалась (табл. 3).

До факторів, від яких також залежить рівень забруднення атмосферного повітря, відноситься тривалість існування в повітрі забруднювальних речовин. При тривалому існуванні певного рівня концентрацій домішки за відсутністю опадів відмічається висока кореляція між характеристиками забруднення між суміжними

## Повторюваність (%) туманів за період 2013-2015 рр.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
<b>2013</b>	19	14	8	1	0	0	0	0	0	5	2	6	2
<b>2014</b>	5	21	5	2	0	0	0	0	0	16	13	24	8
<b>2015</b>	18	4	3	1	1	0	0	0	0	3	4	0	3

днями (множинний коефіцієнт кореляції складає 0,66-0,88). Тому важлива роль у формуванні рівня забруднення повітря належить інерційному фактору (попередньому забрудненню повітря)  $Q'$ , якщо синоптична ситуація не змінюється.

У просторовому розподілі забруднюючих домішок підвищений рівень забруднення атмосферного повітря завислими речовинами (пилем) спостерігається при східному та північно-східному напрямках вітру в районі постів №1, №25, які розташовані в зоні впливу металургійного комбінату ім. Ілліча. Найбільші концентрації оксиду вуглецю та діоксиду азоту відмічались на посту №2 (в зоні впливу коксохімічного виробництва «МК Азовсталь») при східних та південно-східних напрямках вітру. Підвищений вміст формальдегіду відмічено на посту №25 (в зоні впливу МК ім. Ілліча) при східному напрямку вітру (рис. 5).

**Методика короткострокового прогнозу рівня забруднення атмосфери.** Для Маріуполя розроблено п'ять прогностичних схем, які відносяться до п'яти домішок: завислих речовин, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, діоксиду азоту та формальдегіду.

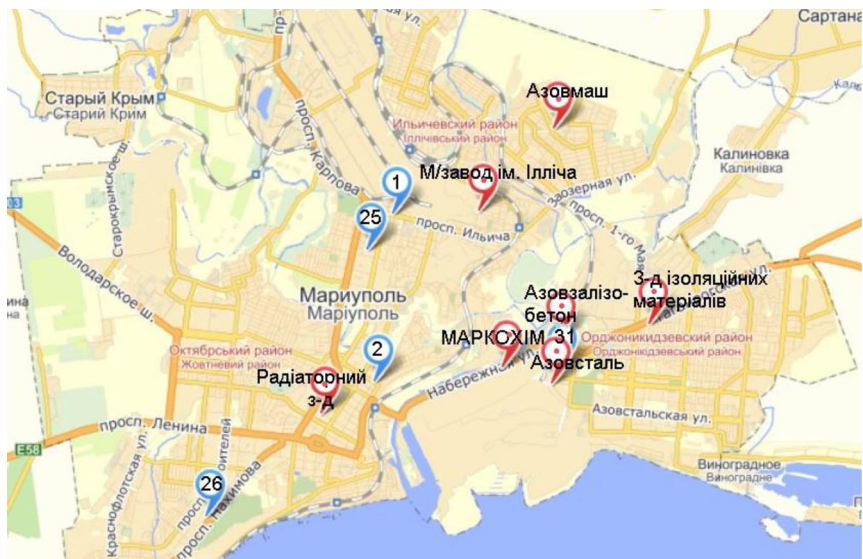
Нормована середня концентрація  $\bar{Q}$ , яка використовується у даній методиці, визначається за формулою (1):

$$\bar{Q} = \frac{\bar{q}}{q_{\text{середнє}}} \quad (1)$$

де  $\bar{Q}$  – нормована середня концентрація домішки в місті;  
 $q_{\text{середнє}}$  – середня за сезон концентрація домішки ( $\text{мг/м}^3$ );  
 $q$  – середня по місту концентрація домішки за даний день ( $\text{мг/м}^3$ ).

Розраховані таким чином значення  $\bar{Q}$  використовуються для розробок прогностичних схем. При оперативному прогнозуванні рівнів забруднення повітря неможливо знати середнє сезонне





**Рис. 5. Карта-схема розташування пунктів спостережень за забрудненням повітря в місті Маріуполь**

значення концентрації домішок до закінчення сезону. Для щоденного оперативного розрахунку параметра  $\bar{Q}$  рекомендується враховувати середній рівень забруднення атмосферного повітря впродовж відповідного тримісячного періоду попереднього року, де прогнозуючий місяць займає середину, та місяця, що передує даному місяцю поточного року.

У прогностичну схему включені такі фактори: температура повітря ( $t_{15}$ ), напрям та швидкість вітру ( $d_{03}$ ,  $d_{15}$ ,  $v_{03}$ ,  $v_{15}$ ) в строки 03 і 15год, тип синоптичного процесу С, а також нормована концентрація домішки за попередню добу  $Q$ , яка дозволяє врахувати інерційність процесу забруднення.

Прогнозуються середні добові нормовані концентрації кожної домішки. Кількісним значенням кожного з відібраних предикторів є не сама величина метеорологічної характеристики, а середнє значення  $Q$ , яке розраховано для різних градацій цього метеорологічного фактору. Параметри прогностичних рівнянь множинної регресії наведені в табл. 4. Прогноз  $Q$  складається за цими рівняннями.

Всі метеорологічні фактори завбачаються існуючими способами. Прогноз забруднення атмосфери складається тоді,

## Параметри рівнянь регресії

Домішка	Перетворені предиктори							Вільний член
	$d_{03}$	$V_{03}$	$t_{15}$	$d_{15}$	$v_{15}$	C	Q'	
<b>Літо</b>								
CO	0,53		0,62			0,76	0,71	-1,63
NO2				0,71	0,47	0,77	0,85	-1,83
НСНО		0,52		0,42		0,65	0,80	-1,40
<b>Зима</b>								
<b>Завислі речовини</b>					0,64	0,48	0,78	-0,92
SO2	0,51				0,42	0,47	0,79	-0,80

коли є всі необхідні для цього дані: прогностичні значення метеорологічних величин та значення концентрації домішок за попередні прогнозу строки спостережень.

При прогнозі забруднення необхідно, крім розрахункової схеми, керуватися деякими прогностичними ознаками. Для міста Маріуполя визначено такі:

1. Якщо значення Q' у попередній прогнозу день більше 1,2, при цьому очікується підсилення стійкості нижнього шару атмосфери при слабкому вітрі, вірогідність високого забруднення повітря зростає (за рахунок вкладу низьких викидів).

2. Високе забруднення формується при вітрах північного, північно-східного та східного напрямках (завислі речовини, діоксид сірки). Найбільші концентрації діоксиду азоту спостерігаються при південно-східному, південному та південно-західному напрямках. Влітку найбільш характерні риси впливу напряму вітру зберігаються.

3. Високі рівні забруднення атмосферного повітря можуть відмічатися взимку, коли місто знаходиться під впливом передньої частини циклону з умовами туману, мряки, південно-західної периферії антициклону; північно-східній, південно-східній периферії антициклону, а також при наявності теплового сектору циклону з умовами туману, мряки. Влітку – при стаціонарному антициклоні, північно-східній, східній, південно-східній, південній, південно-західній, західній, північній периферіях антициклону, передній частині циклону, теплому секторі циклону (адвекції тепла з півдня).

4. Випадання опадів у вигляді дощу та снігу сприяють посиленню природного самоочищення і, отже, зменшенню забруднення повітря.

У просторовому розподілі забруднювальних домішок підвищений рівень забруднення атмосферного повітря спостерігається в промисловій частині міста з прилеглими до неї житловими масивами у районах розташування пунктів спостережень №1, №2, №25, №31. Менш забруднена територія на південно-західному узбережжі міста (пост № 26).

**Оцінка результатів випробування методики прогнозу забруднення повітря.**

Оцінка справджуваності прогнозів здійснюється у відповідності з групами забруднення повітря [7,9]. Градації цих груп наведені в табл. 5. При цьому встановлена величина допуску, у межах якого прогноз вважається справдженим. При прогнозі за рівняннями, які запропоновані, величина допуску кожної градації складає 0,2.

Таблиця 5

**Оцінка справджуваності прогнозів**

Групи забруднення	Ступінь забруднення повітря	Градації	Допустима градація, при якій прогноз вважається справджуваним
I	Відносно високе	$\geq 1,4$	$\geq 1,2$
II	Підвищене	1,0 - 1,3	0,8 - 1,5
III	Низьке	$\leq 0,9$	$\leq 1,1$

**Примітка:** в теплий період для оксиду вуглецю. – I група –  $\geq 1,3$ , II група – 0,8 – 1,2, III група –  $\leq 0,7$ ; допустима градація – I група –  $\geq 1,1$ , II група – 0,6 – 1,4, III група –  $\leq 0,9$ .

З часом цей статистичний розподіл Q може відрізнятись від того, що надається в табл. 8, межі між групами можуть бути іншими. Головне полягає у тому, щоб зберігалось приблизне дотримання повторюваності: 10% для I групи, 40% для II та 50% для III групи

Для практики найбільш важливими показниками є загальна справджуваність і справджуваність прогнозів групи відносно високого забруднення. Якщо надавалось штормове попередження щодо високого рівня забруднення повітря і відмічалось його зниження, оцінюється справджуваність метеорологічних умов,

які зумовлюють високий рівень забруднення повітря. Також при прогнозі та його оцінюванні слід враховувати випадання опадів у вигляді дощу та снігу, які не сприяють високому рівню забруднення атмосфери.

Прогноз першої групи забруднення атмосферного повітря є основою для складання попередження I-го ступеня небезпеки. Попередження II-го ступеню складається, якщо очікується  $Q \geq 2,0$ . Повторюваність цієї групи складає 2%. Одночасно фактичні концентрації однієї або кількох домішок перевищують 3 ГДК.

Для одержання більш повної характеристики успішності методу прогнозу використовують критерій надійності М.О.Багрова. Авторське випробування на незалежному матеріалі показало, що метод, який використовується для прогнозування повітря, має загальну справджуваність (U) без допуску від 73 до 82%, справджуваність групи високого забруднення ( $U_1$ ) від 83 до 100%, критерій ефективності Багрова ( $H^*_{\text{загальне}}$ ) змінюється від 0,27 до 0,61, а для високого ( $H^*_1$ ) від 0,82 до 1,00 (табл. 6).

Таблиця 6

**Показники успішності прогнозу забруднення в м. Маріуполь на незалежному матеріалі (без допуску)**

Домішка	n/n <sub>1</sub>	U	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>0</sub>	H* <sub>загальне</sub>	H* <sub>1</sub>
Зима								
<b>Завислі речовини</b>	123/14	0,73	0,93	0,42	1,00	0,56	0,39	0,92
<b>SO<sub>2</sub></b>	144/14	0,82	1,00	0,80	0,83	0,54	0,61	1,00
Літо								
<b>CO</b>	166/13	0,74	0,83	0,73	1,00	0,64	0,27	0,82
<b>NO<sub>2</sub></b>	169/12	0,78	0,86	0,78	0,73	0,59	0,46	0,85
<b>НСНО</b>	168/11	0,80	0,85	0,77	1,00	0,57	0,53	0,84

Примітка: n - загальна кількість прогнозів ; n<sub>1</sub> – кількість прогнозів групи високого забруднення.

**Висновки.** Проаналізовано вплив аеросиноптичних та метеорологічних факторів на накопичування та розсіювання антропогенних домішок в атмосфері міста Маріуполь. Встановлено найкращий зв'язок рівнів забруднення з характеристиками вітру та синоптичною ситуацією. Виявлено, що 80% випадків високого забруднення атмосфери формується при вітрах північного,

північно-східного та східного напрямках, проте влітку цей вплив проявляється слабше, ніж взимку. Підвищене забруднення спостерігається за перевищення швидкостей вітру більше 5 м/с. Проведено класифікацію синоптичних умов та встановлено, що у Маріуполі високі рівні забруднення взимку відмічаються під час впливу передньої частини циклону та південно-західної периферії антициклону, а влітку – при стаціонарному антициклоні та його периферіях.

Розроблено методику короткострокового прогнозу рівня забруднення атмосфери міста Маріуполь, що складається з п'яти прогностичних схем для п'яти домішок. Методика базується на використанні методу множинної лінійної регресії з урахуванням нелінійності зв'язків шляхом відповідного перетворення предикторів. Загальна справджуваність короткострокового прогнозу залежно від домішки складає 73-82%; справджуваність групи високого забруднення від 83 до 100%.

**Рецензент – кандидат географічних наук, старший науковий співробітник О. А. Кривобок.**

#### **Література:**

1. Баштаннік М.П., Жемера Н.С., Кіптенко Є.М., Козленко Т.В. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України/ Наукові праці УкрНДГМІ. 2014. №266. с. 70-93
2. Березовська Л.В. Рациональне природористування та охорона довкілля. Нормування антропогенного навантаження на природне середовище (повітряне середовище). Конспект лекцій. Одеса, 2018. 47 с.
3. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. 272 с.
4. Івус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б., Зубкович С.О. Статистичні характеристики швидкості вітру над сходом України у січні в епоху кліматичних змін. Фізична географія та геоморфологія, 2009. Вип. 57. С. 23-28
5. Кіптенко Є.М., Козленко Т.В. Вплив метеорологічних умов на забруднення повітря у промислових містах України /Зб. «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія»/ Т. 13. К., 2007. С. 208-215.
6. Клімат Києва /За ред. В.І. Осадчого, О.О. Косовця, В.М. Бабіченко. – К.: Ніка-центр, 2010. 320 с.

7. Кіптенко Є.М., Козленко Т.В., Загорна А.І., Щербуха Л.С. Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України / Державна гідрометеорологічна служба. К., 2010. 77 с.
8. Лоева І. Д., Владимірова О.Г., Верлан В. А. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря великого міста: методи аналізу, прогнозу, регулювання. Монографія. Одеса: Екологія, 2010. 224 с.
9. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди. КД 52.4.3.01-03 / Державна гідрометеорологічна служба. К., 2003. 36 с.
10. Сніжко С. І., Шевченко О. Г. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста: Монографія. К.: Видавництво географічної літератури «Обрії», 2011. 297 с.
11. Сонькин Л.Р. и др. Прогнозирование высоких уровней загрязнения воздуха в городах и промышленных регионах. Современные исследования Главной Геофизической обсерватории. Санкт-Петербург. Гидрометеоиздат, 2001. С.195–204.
12. Hou, P. and Wu, S. Long-term Changes in Extreme Air Pollution Meteorology and the Implications for Air Quality. *Sci. Rep.* 6, 2016. 23792; doi: 10.1038/srep23792
13. Jacobson M. Atmospheric pollution. History, science and regulation. New York: Cambridge University Press, 2002.412 p.
14. Joel Schwartz. Particulate air pollution and daily mortality in detroit. *Environmental Research*.Volume 56, Issue 2, December 1991, P.204-213.
15. Lazaridis M. First Principles of Meteorology and Air Pollution. Springer Science + Business Media P.V. 2011. 373 p.
16. Moller D. Chemistry of the Climate System. Walter de Gruyter GmbH & Co, Berlin. 2010. 741 p.
17. Kampa M., Castanas E. Human health effects of air pollution. *Environ Pollut.* 2008 Jan;151(2), P. 362-367.
18. Scorer R.S. Air pollution meteorology. Woodhend Publishing., 2002.153 p.
19. Shouquan Cheng, Kin-Che Lama. An analysis of winds affecting air pollution concentrations in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, V. 32, Issues 14., 1998, P. 2559-2567.
20. WHO. Ambient air pollution: Health impacts. URL: <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/> (Last accessed: 17.02.2019).

21. WHO. Air pollution. URL: <https://www.who.int/airpollution/en/> (Last accessed: 17.02.2019)

22. WHO air quality guidelines for particular matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Summary of risk assessment. URL: [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf);

Киптенко Е. Н., Козленко Т. В., Надточий Л.М.

## **МЕТОДИКА КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С УЧЕТОМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ГОРОДА МАРИУПОЛЬ**

Проанализировано влияние аэросиноптических и метеорологических факторов на накопление и рассеивание антропогенных примесей в атмосфере города Мариуполь. Установлено, что лучшая связь прослеживается с характеристиками ветра. 80% случаев высокого загрязнения в Мариуполе обусловлены ветрами северо-восточной четверти горизонта (С, СВ, В), а также скоростью выше 5м/с. Проведена классификация синоптических условий и выявлено, что высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха зимой отмечаются под влиянием передней части циклона и юго-западной периферии антициклона, а летом – при стационарном антициклоне и его периферии. Разработана методика краткосрочного прогнозирования уровней загрязнения воздуха, базирующаяся на использовании метода множественной линейной регрессии с учетом нелинейности связей путем соответствующего преобразования предикторов. Общая оправдываемость метода составляет 73-82% в зависимости от примеси; оправдываемость группы высокого загрязнения – более 83%.

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферного воздуха, выбросы, загрязняющие вещества, метеорологические условия, синоптическая ситуация, прогноз загрязнения



E. Kiptenko, T. Kozlenko, L.Nadtochii

## **THE METHOD OF SHORT-TERM AIR POLLUTION FORECAST BASED ON METEOROLOGICAL CONDITIONS FOR MARIUPOL CITY**

Analysis of synoptic and meteorological conditions was carried out for Mariupol city, which allowed defining favorable conditions for pollutants accumulation and dispersion. It was found that the closest relation is with wind characteristics and synoptic situation. The study showed that 80% of elevated pollution cases caused by north, northeastern and eastern winds. However, this relation is much stronger during winter season and weaker in summer. Elevated pollution levels are observed in case of wind speed exceed 5m/s, and become the most extreme with the wind speed of 8-9 m/s. The synoptic conditions were classified in this research depend on season. In winter, the highest pollution levels are observed in case of front part of the cyclone and southwestern anticyclone periphery. In summer stationary of anticyclone and its peripheries cause the highest pollution levels. The spatial analysis showed the most polluted areas located close to the industrial zones and cover nearest residential areas.

Elevated pollution levels also influenced by the duration of high concentrations existence. High correlation between neighboring days was found during the long period with stable pollutants' concentrations and precipitation absence. Therefore, inertia play huge role if the synoptic conditions do not change.

The method of short-term pollution level forecast for Mariupol city there was developed. The method consists of five prediction schemes for five pollutants: dust, sulfur dioxide, carbon monoxide, nitrogen dioxide and formaldehyde. The method of forecast based on multiply nonlinear regression relation. Nonlinearity was taking into account using predictors transformation. In addition to prediction schemes there are a number of prediction features, which must be integrated to the forecast.

For regular daily usage during the operational forecast phase, it is highly recommended to consider the average atmospheric pollution level during the three- monthly- period of previous year. The month within which the forecast made must be the middle of three monthly period.

The general accuracy of the short-term forecast is 73–82% depending on the pollutant. During the elevated pollution levels, accuracy of prediction is higher and vary from 83 to 100%.

**Key words:** air pollution, emissions, contaminants, meteorological conditions, synoptic situation, pollution forecast.

Надійшла до редакції 11 липня 2019 р.