

УДК 551.570.04

Є.М. Кіптенко, Т.В. Козленко

МЕТОДИКА КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДЛЯ МІСТА КИЄВА

Досліджено загальні закономірності змін характеристик забруднення атмосферного повітря м. Києва. Отримано оцінки характеристик статистичної структури полів концентрацій забруднювальних домішок. Показано, що основні риси добового та річного ходу пов'язані з метеорологічними умовами. Проведено типізацію синоптичних ситуацій, які сприяють високому рівню забруднення атмосферного повітря. Розроблено рівняння множинної регресії для короткострокового прогнозу забруднення атмосферного повітря за окремими домішками.

Ключові слова: забруднення атмосферного повітря, викиди, концентрації, забруднювальні речовини, прогноз забруднення.

Вступ

Охорона чистоти атмосферного повітря, яка є важливою проблемою, ставить необхідність рішення низки практичних та наукових завдань, серед яких найважливіше – прогнозування та зменшення забруднення атмосферного повітря в містах. Поліпшенню якості атмосферного повітря в більшості промислових міст значною мірою слугує своєчасний і обґрунтований прогноз ситуацій із значним забрудненням повітря. Високий рівень справджуваності прогнозів за вже розробленими методиками для окремих міст України підтверджує достовірність методологічних засад, покладених в основу розрахунків, та необхідність подальшої розробки методик для решти великих міст. Наявні в теперішній час схеми статистичного прогнозу забруднення приземного шару атмосфери базуються на дослідженнях зв'язків між забрудненням повітря й метеорологічними величинами в містах [1-6]. Прогнозування забруднення повітря здійснюється на основі аналізу фактичних і прогностичних даних погодних умов як біля поверхні землі, так і на рівні 750 м (ізобаричної поверхні 925 гПа). Аналіз фактичного стану погоди дозволяє оцінити ймовірність попереднього накопичування забруднювальних домішок у приземному шарі повітря міста. Прогноз метеорологічних умов показує можливість накопичення або розсіювання шкідливих домішок у найближчу добу. Наявність даних моніторингу забруднення дозволяє скласти прогноз рівня забруднення повітря, який дає можливість передбачити зміни рівня забруднення атмосферного повітря й дати час для прийняття мір щодо запобігання несприятливих наслідків.

Прогноз високого рівня забруднення атмосферного повітря й попередження підприємств про необхідність скорочення викидів поліпшать стан атмосферного повітря в періоди несприятливих метеорологічних умов (НМУ), зменшать збитки від забруднення повітря, сприятимуть оздоровленню екологічного стану в місті. Короткочасне зниження викидів під час НМУ є ефективним і порівняно недорогим заходом для покращення стану повітряного басейну. Для промислових підприємств прогнозування несприятливих метеорологічних умов складається за методом окремого джерела, який враховує індивідуальний вплив цього підприємства. Для міста загалом визначається сукупність НМУ з урахуванням сумарного накладання викидів.

У роботі розроблено спосіб прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря, який дозволяє визначити значення концентрацій забруднювальних речовин залежно від сезонів року, аеросиноптичних та метеорологічних умов, попереднього забруднення повітря. Схему прогнозу рівня забруднення атмосферного повітря розраховано для зимового та літнього сезонів за даними концентрацій домішок, які в найбільшому ступеню забруднюють атмосферне повітря міста. Схему можна використовувати також для весняного та осіннього періодів.

Матеріали та метод дослідження

Як вихідні дані використано щоденні матеріали спостережень стаціонарних постів (ПСЗА) за забрудненням атмосферного повітря, дані метеорологічної станції: напрям та швидкість вітру, температура повітря о 03 і 15 год, різниця тем-

ператури повітря між попередньою та прогностичною о 03 год, синоптична ситуація. Ці дані отримано в Центральній геофізичній обсерваторії (ЦГО). Додатково розглянуто параметри затримувальних шарів (інверсії – приземні та піднесені, застої повітря), опади, наявність туманів, а також сонячну радіацію. Основний метод дослідження – статистичний. Для розроблювання прогностичних схем використано метод множинної регресії. За допомогою кореляційного аналізу встановлено статистично значущі чинники, що формують рівень забруднення атмосферного повітря в місті. Прогностичний розрахунок базується на використанні методу множинної лінійної регресії з урахуванням нелінійності зв'язків шляхом відповідного перетворення предикторів. На незалежному матеріалі проведено випробування отриманих прогностичних схем щодо прогнозу рівнів забруднення атмосферного повітря.

Виклад основного матеріалу

Сучасні екологічні умови характеризуються масштабністю забруднення навколишнього середовища. В атмосферу промислових міст надходять тисячі тонн забруднювальних речовин, які наносять непоправну шкоду здоров'ю людини, чинять негативний вплив на живі організми й рослинність, прискорюють руйнування металічних конструкцій та споруд. Атмосфера міста – це єдине ціле, вона не розділяється на окремі ізольовані райони. Домішка, яка потрапляє в атмосферу в тій або іншій концентрації, міститься в будь-якій частині міста. Рівень забруднення атмосферного повітря утворюється внаслідок надходження в повітря шкідливих речовин від усіх джерел викидів у місті та впливу атмосферних процесів на перенесення й розсіювання їх. Дослідження показують, що навіть за постійними об'ємами і складом промислових та транспортних викидів у результаті впливу метеорологічних умов рівні забруднення повітря в місті можуть відрізнятись у кілька разів. Регулювання викидів дозволяє не тільки зменшити рівень забруднення повітря, а й часто запобігти накопиченню шкідливих домішок у приземному шарі атмосфери за короткостроковий період без значних витрат. Прогноз дозволяє передбачити зміни рівня забруднення повітря атмосфери і дати час для прийняття мір щодо запобігання несприятливих наслідків. Перелік міст, для яких вже розроблено методику прогнозу забруднення атмосферного повітря, охоплює значну частину промислових центрів України, однак залишаються міста, для яких доцільність розробки методів і здійснення прогнозування високих рівнів забруднення пові-

тря не викликає сумнівів. До їх числа належить і Київ. Ступінь забруднення повітря в місті за окремими домішками вищий за середній по мережі спостережень Державної гідрометеорологічної служби України.

Метеорологічні умови формування високого рівня забруднення повітря в місті

Сучасні схеми статистичного прогнозу забруднення граничного шару атмосфери базуються на дослідженнях зв'язків між забрудненням повітря в місті та метеорологічними умовами.

Забруднення повітря в місті є складним багатofакторним явищем. Важлива роль у формуванні певного рівня забруднення атмосфери належить метеорологічним величинам.

Аналіз випадків високого рівня забруднення повітря в місті за період 2005, 2006, 2008-2010 рр. дозволив установити деякі закономірності впливу метеорологічних умов на концентрації шкідливих домішок.

Метеорологічні величини впливають на формування поля забруднення повітря і його стійкість тією мірою, якою вони визначають загальний характер перенесення повітряних мас та їх турбулентне змішування [1].

Перенесення домішок у вертикальному і горизонтальному напрямках зумовлено режимом турбулентної дифузії, яка визначається станом атмосфери, характеристиками вітру, інсоляцією, шорсткістю підстильної поверхні, атмосферними явищами, що впливають на перенесення й осідання домішок. Рівень турбулентності визначається характеристиками стійкості атмосфери, для яких оцінюють зв'язок із параметрами розсіювання домішок (коефіцієнтом турбулентного обміну, дисперсією факела).

Загальний стан атмосфери визначають за температурною стратифікацією, кількісним показником якої є вертикальний градієнт температури повітря, який обчислюють за результатами висотного радіозондування.

Залежно від співвідношення між дійсним температурним градієнтом і нормальним сухо-адіабатичним градієнтом, який становить $1^\circ/100$ м, формуються різні умови стійкості атмосфери, тобто здатність стратифікованої атмосфери гасити або підсилювати вертикальні потоки повітря. Якщо температурний градієнт менший сухо-адіабатичного, то атмосфера перебуває в стійкому стратифікованому стані щодо сухого і ненасиченого повітря. Якщо температурний градієнт дорівнює сухо-адіабатичному, відбувається нейтральна (індиферентна) стратифікація, а коли температурний градієнт більший

сухо-адіабатичного – стратифікація нестійка. Зі збільшенням вертикального температурного градієнта збільшується нестійкість атмосфери з інтенсивним турбулентним перемішуванням (стан конвекції) і розсіюванням домішок. За умови нададіабатичних градієнтів і слабого вітру формуються вихори великого масштабу, які нерідко розповсюджуються до поверхні землі поблизу джерел викидів. Отже, домішки від високих джерел сягають поверхні землі в результаті турбулентного обміну, інтенсивність якого збільшується зі зростанням нестійкості.

Найгіршими умовами для розсіювання домішок є застої повітря, які формуються під час приземних інверсій і слабого вітру (повторюваність їх найбільша влітку), а також туману (табл. 1). Застійні явища сприяють інтенсивному накопиченню домішок у місті, переважно через низькі джерела.

Таблиця 1

Повторюваність (%) застійних явищ

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
3	4	7	9	16	17	21	17	13	12	5	2	11

Особливо небезпечні поєднання приземної інверсії з вітром швидкістю до 1м/с. Піднесена інверсія найнебезпечніша за швидкості вітру 5-6 м/с, коли високі викиди, над якими розташована інверсія, перемішуються турбулентним рухом і збільшуються концентрації забруднювальних домішок у повітрі. Якщо піднесена інверсія розташована над джерелом викидів, максимальна концентрація збільшується в 1,5-2 рази; у разі підйому шару інверсії на 100-200 м концентрація швидко зменшується. Найбільша повторюваність (до 46 %) приземних інверсій спостерігається з квітня до липня (табл. 2). У листопаді, грудні, лютому вона найменша (9-13 %). Узимку переважають дні з піднесеною інверсією, їх повторюваність становить до 80 %.

Температурним режимом атмосфери, поряд з іншими чинниками, визначається інтенсивність вертикального підйому димових газів, а, отже, інтенсивність “розбавлення” забрудненого повітря. З температурою повітря також пов’язаний характер роботи окремих підприємств, витрати палива та електроенергії, що передусім впливає

на валові викиди окремих виробництв (ТЕЦ, котельні тощо).

Узимку зі зниженням температури найчастіше зростає рівень забруднення повітря. Це насамперед характерно для антициклональної погоди, за адвекції тепла на холодну підстильну поверхню. Значну роль відіграє радіаційний туман, що виникає внаслідок нічного вихолодження приземного шару повітря. На забруднення повітря впливають деякі характеристики туману (висота, водність та розподіл температури в ньому). У туманах забруднення повітря підвищене внаслідок поглинання краплями шкідливих домішок. Водночас домішки разом з краплями залишаються в приземному шарі повітря. Через утворення значних градієнтів концентрацій (поза краплями) відбувається перенесення домішок з навколишнього простору в туман, у зв’язку з чим сумарна концентрація домішок зростає. Значну загрозу викликає розташування над туманом факелів диму, які під впливом вищезгаданого ефекту поширюються в приземний шар повітря.

У разі зниження температури повітря використовують більшу кількість палива, що призводить до зростання кількості викидів шкідливих домішок. Збільшення концентрації деяких домішок, особливо діоксиду азоту, зі зниженням температури повітря відбувається через інтенсивнішу роботу ТЕЦ, міських котельень і збільшення витрат палива.

З погодними умовами останніми роками пов’язано суттєве зростання вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі у весняно-літній сезон. Висока температура повітря разом із сонячною радіацією сприяють фотохімічним реакціям утворення формальдегіду, а застої повітря призводять до збільшення його концентрації (рис. 1, 2).

Накопичення або розсіювання шкідливих домішок залежить від вітрового режиму. Вплив цього чинника чіткіше виявляється, коли джерела викидів розташовані за містом або в навітряній чи підвітряній його частинах. Київ, де промислові підприємства зосереджені на всій території, не належить до їх числа.

Вплив напряму вітру на рівень забруднення повітря в місті може змінюватися внаслідок деформації потоку повітря над складним рельєфом, водоймами, а також безпосередньою те-

Таблиця 2

Повторюваність (%) інверсій у шарі 0-2 км, 2005-2008 рр.

Інверсія	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Приземна	13	10	22	30	46	41	39	26	28	32	13	9	26
Піднесена	76	74	54	42	35	26	24	43	46	66	75	81	53
Без інверсії	11	16	24	28	19	33	37	31	26	2	12	10	21

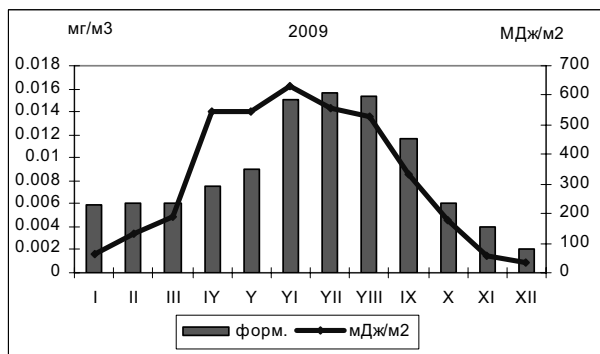
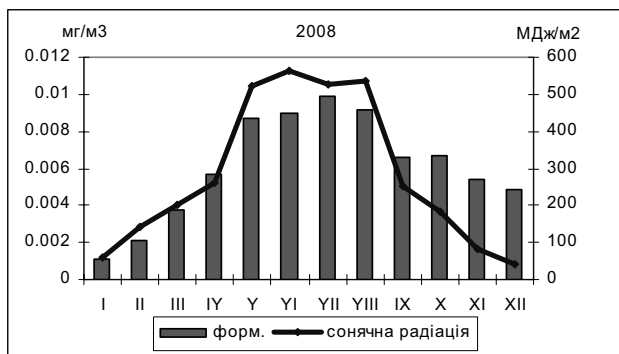


Рис. 1. Річний хід формальдегіду ($\text{мг}/\text{м}^3$) та сум прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню ($\text{МДж}/\text{м}^2$), 2008, 2009 рр.



Рис. 2. Зв'язок температури повітря ($^{\circ}\text{C}$) та концентрації формальдегіду ($\text{мг}/\text{м}^3$)

пловою дією великих промислових комплексів. Шкідливі домішки переносяться в горизонтальному й вертикальному напрямках потоками повітря. Горизонтальний рух повітря над термічно неоднорідною шорсткою поверхнею набуває вихрового, турбулентного характеру, що зумовлює дифузію домішок, які надійшли в атмосферу (їх перемішування й розсіювання у вертикальному та горизонтальному напрямках).

Залежно від напрямку вітер може переносити забруднювальні домішки від підприємств до житлових масивів або виносити їх за межі міста. У Києві взимку переважає вітер західного напрямку, повторюваність якого в січні дорівнює 27,3 %, лютому 22,5 % (табл. 3).

Найбільші концентрації завислих речовин, оксиду вуглецю та діоксиду азоту спостерігаються переважно під час вітру західного напрямку. У березні також найбільшу повторюваність (20,8 %) має вітер західного напрямку.

У квітні найбільшу повторюваність (18,0 %) має вітер південно-східного напрямку, з травня до жовтня – західного, за винятком вересня, коли найбільша повторюваність вітрів північного напрямку. У листопаді та грудні переважає вітер південного напрямку – 24,9 і 20,1 % відповідно.

Повторюваність вітру східного напрямку становить менше 3,3 % у січні та 9,0 % у вересні. За рік найбільша повторюваність (19,2 %) вітрів західного напрямку, що певною мірою позначається на характері забруднення атмосферного повітря: на західних околицях міста воно чистіше, ніж на східних, тому для вирішення розташування нових мікрорайонів і промислових підприємств міста необхідно враховувати переважний напрям західного вітру.

Таблиця 3

Повторюваність (%) напрямку вітру. 2000-2007 рр.

Місяць	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
I	10,5	4,1	3,3	10,0	14,8	15,5	27,3	14,5
II	12,4	6,6	6,4	13,5	14,0	10,9	22,5	13,7
III	12,3	8,9	6,6	15,5	13,3	11,6	20,8	11,0
IV	16,6	9,5	8,8	18,0	13,4	9,0	13,6	11,1
V	15,9	7,6	6,0	10,0	16,8	12,6	18,5	12,6
VI	17,9	7,6	4,9	6,1	9,0	10,1	23,5	20,9
VII	14,4	12,8	8,6	10,4	13,2	8,5	17,5	14,6
VIII	16,6	12,1	6,8	7,5	12,3	8,8	18,4	17,5
IX	19,8	12,3	9,0	8,8	10,9	8,4	13,8	17,0
X	10,3	8,3	7,5	10,1	18,6	13,5	19,5	12,2
XI	7,4	6,6	7,4	17,4	24,9	9,9	15,6	10,8
XII	10,0	6,4	3,8	9,5	20,1	13,5	19,1	17,6
Рік	13,7	8,6	6,6	11,4	15,1	11,0	19,2	14,4

Метеорологічні умови, сприятливі для розсіювання викидів від одного виду джерел, можуть бути несприятливі для інших. Проте є деякі ситуації, що найнебезпечніші в забрудненні атмосферного повітря, і ситуації, які створюють умови його очищення.

У місті відмічають два максимуми забруднення атмосферного повітря залежно від швидкості вітру. Один максимум спостерігається за штилю і швидкості вітру до 1 м/с. У Києві найбільша повторюваність штилів з травня (15,1 %) до вересня (19,3 %), найменша – у зимові місяці: від 7,4 % (грудень) до 8,8 % (січень). Максимум під час штилю зумовлений в основному низькими ви-

кидами, тому що тільки конвективного перенесення для розповсюдження шкідливих домішок недостатньо. Небезпечність попадання гарячих викидів від високих джерел у таких умовах відносно невелика, тому за штилю і швидкості вітру до 1 м/с підвищується вміст оксиду вуглецю та оксидів азоту, які в основному характерні для викидів автотранспорту. Повторюваність швидкості вітру 0-1 м/с збільшується від 23,5 % (січень) до 36,5 % (липень) (табл. 4).

Найчастіше штиль та слабку швидкість вітру спостерігають у нічні та ранкові години. У цей час рух автотранспорту значно скорочується і небезпечність забруднення атмосферного повітря шкідливими домішками зменшується.

Таблиця 4
Повторюваність (%) швидкості вітру 0-1м/с

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
23,5	25,3	17,0	22,0	32,0	23,0	36,5	33,0	35,5	28,0	20,5	18,0	26,0

Другий максимум забруднення повітря, зумовлений високими гарячими викидами, відмічається за швидкості вітру 4-6 м/с. Концентрація завислих речовин та діоксиду сірки в атмосферному повітрі підвищується зі зростанням швидкості вітру. Для діоксиду азоту чіткого зв'язку між швидкістю вітру та концентрацією цієї домішки не простежується.

Максимум під час штилю чіткіше виявляється за наявності приземної інверсії, а за її відсутності – максимум під час помірної швидкості вітру.

Для різних сезонів характерними є такі закономірності: за умов стійкої стратифікації забруднення повітря зменшується з підвищенням швидкості вітру; за нестійкої стратифікації максимум забруднення повітря виявляється за швидкості вітру, близької до небезпечної.

Важлива роль належить *синоптичним умовам*, що сприяють формуванню високого рівня забруднення атмосфери. Синоптична ситуація (С) характеризується складним комплексом метеорологічних характеристик і відображає багатогранність процесів, які відбуваються в атмосфері. Проведено класифікацію синоптичних умов за ступенями забруднення атмосферного повітря (табл. 5).

Кожній синоптичній ситуації присвоюється номер (від 1 до 8). Найменше значення надані тим типам синоптичних ситуацій, за яких відмічалась найбільша повторюваність випадків високого забруднення атмосфери. На рис. 3 наведено повторюваність (%) типів синоптичних ситуацій.

Таблиця 5
Типи синоптичних ситуацій
(2005, 2006, 2008-2010 рр.)

Код	Синоптична ситуація
Літо	
1	Центр антициклону, західна, східна, північна периферія антициклону
2	Південно-східна, північно-східна периферії антициклонів
3	Південна, південно-західна, північно-західна периферії антициклонів
4	Теплий сектор циклону, фронт оклюзії
5	Поле підвищеного тиску
6	Сідловина, поле пониженого тиску
7	Улоговина, передня частина циклону, теплий фронт
8	Холодний фронт, тил циклону
Зима	
1	Теплий сектор циклону, передня частина циклону з умовами утворення туману, ожеледі
2	Північна, північно-східна, північно-західна периферії антициклонів, сідловина
3	Центр антициклону, східна, південно-східна, південно-західна, південна, західна периферії антициклонів
4	Поле пониженого тиску
5	Поле підвищеного тиску
6	Фронт оклюзії
7	Передня частина циклону, теплий фронт
8	Холодний фронт, тил циклону

Забруднення атмосферного повітря більше за умови антициклонального баричного поля та зменшується з його перетворенням у циклональне.

Найбільша повторюваність значного забруднення атмосферного повітря спостерігається в малорухомих антициклонах і гребенях, на західній периферії антициклону, у розмитому баричному полі з вітром змінних напрямів (рис. 4).

Узимку, в теплому секторі циклону та передній його частині під час формування туману, відмічають підвищені концентрації шкідливих домішок. Найменше забруднення повітря спостерігається, коли місто перебуває в тилівій частині циклону або під час проходження вторинних холодних фронтів.

Забруднення атмосферного повітря в Києві, як і в інших великих промислових містах, визначається виробничою діяльністю людини, яка пов'язана з розвитком промисловості, будівництва та транспорту.

Одночасна дія багатьох джерел викидів забруднювальних домішок, які розташовані по всьому місту і на різній висоті, мінливість режиму їх роботи, рухомість транспортних засобів, характер забудови різних районів міста, особли-

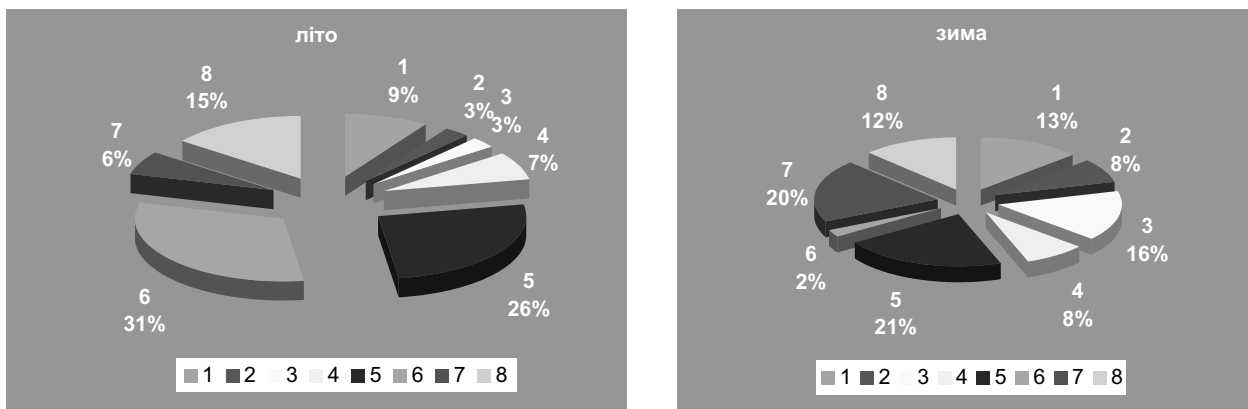


Рис. 3. Повторюваність (%) типів синоптичних ситуацій

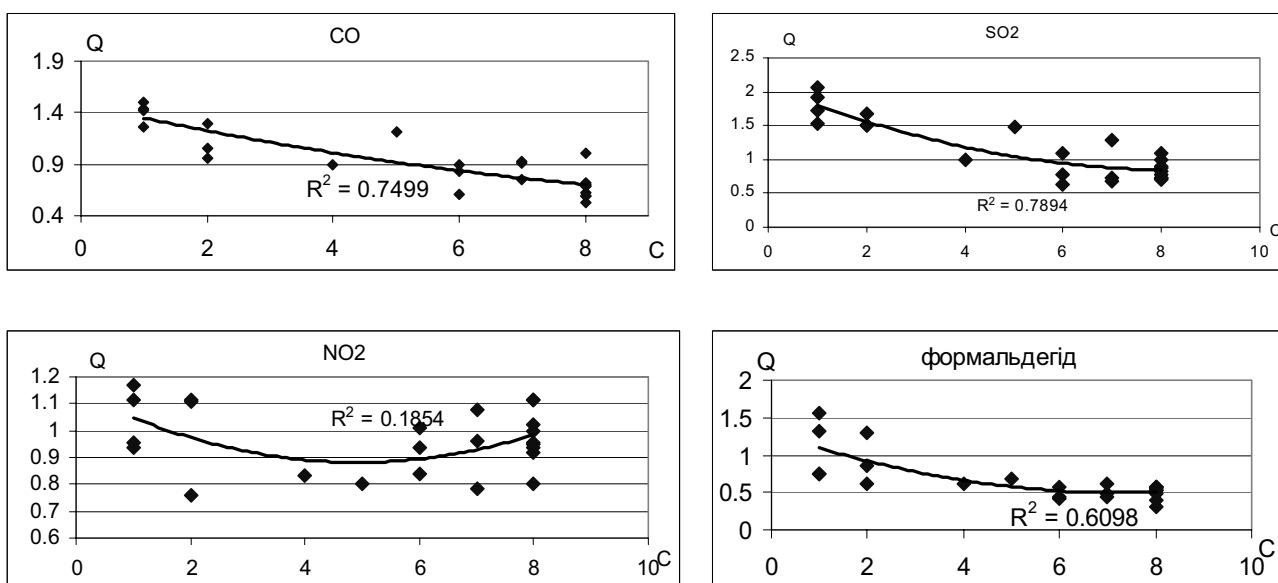


Рис. 4. Залежність параметра Q від синоптичних ситуацій. Літо

вості рельєфу місцевості та інші не метеорологічні чинники визначають надзвичайну складність просторово-часової структури забруднення повітряного басейну. Тому процес забруднення атмосфери необхідно розглядати як імовірний, а концентрації домішок у кожній точці, як випадкові функції координат і часу.

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря в місті є пересувні джерела, серед яких на першому місці знаходиться автотранспорт (86 % викидів). Обсяги викидів від автотранспорту обумовлені збільшенням кількості автотранспорту в місті за рахунок транспортних засобів населення, погіршенням технічного стану автомобільного парку автотранспортних підприємств, незадовільною якістю палива та недостатньо розвинутою законодавчою та юридичною базою в галузі ефективного управління

автотранспортом. Отже, ця проблема є провідною серед екологічних проблем м. Києва.

Другорядну роль відіграє потужний промисловий комплекс, який включає підприємства енергетики, будівельної індустрії, машинобудівної, хіміко-фармацевтичної та харчової промисловості. Зокрема, найбільший внесок у забруднення атмосферного повітря міста дають такі підприємства енергетики як ЗАТ „Енергогенеруюча компанія Дартеплоцентральної”, ТЕЦ-5, ТЕЦ-6 та завод „Енергія Київенерго”.

Умови забудови, близькість до автомагістралей, промислових об'єктів, зелених зон призводить до відмінності рівнів забруднення між окремими районами міста. Найвищі концентрації шкідливих домішок відмічаються в районах розташування промислових комплексів, магістралей з інтенсивним рухом автотранспорту, найменші – у місцях зелених зон, парках.

Спостереження за вмістом основних забруднювальних речовин (завислі речовини, діоксид сірки, оксид вуглецю і діоксид азоту) проводять на всіх стаціонарних постах (рис. 5).

За розчинними сульфатами і оксидом азоту спостерігають на одному посту, за вмістом специфічних (сірководень, фенол, фтористий водень, хлористий водень, аміак, формальдегід, бенз/а/пірен, важкі метали (залізо, кадмій, марганець, мідь, нікель, свинець, хром, цинк) – на окремих постах з урахуванням викидів промислових підприємств, розташованих поблизу ПСЗ і великих автомагістралей міста.

Згідно з теоретичними дослідженнями та даними спостережень за кількістю розосереджених джерел відбувається накладання окремих викидів і утворюється сумарний факел, розповсюджений фактично над усім містом. Просторова структура такого факелу дуже складна, миттєві концентрації домішок у різних точках міста можуть суттєво відрізнятися одна від одної. Зміну середнього рівня забруднення атмосферного повітря наведено в табл. 6.

У сучасний період інтенсивність забруднення атмосферного повітря столиці діоксидом сірки значно зменшилась.

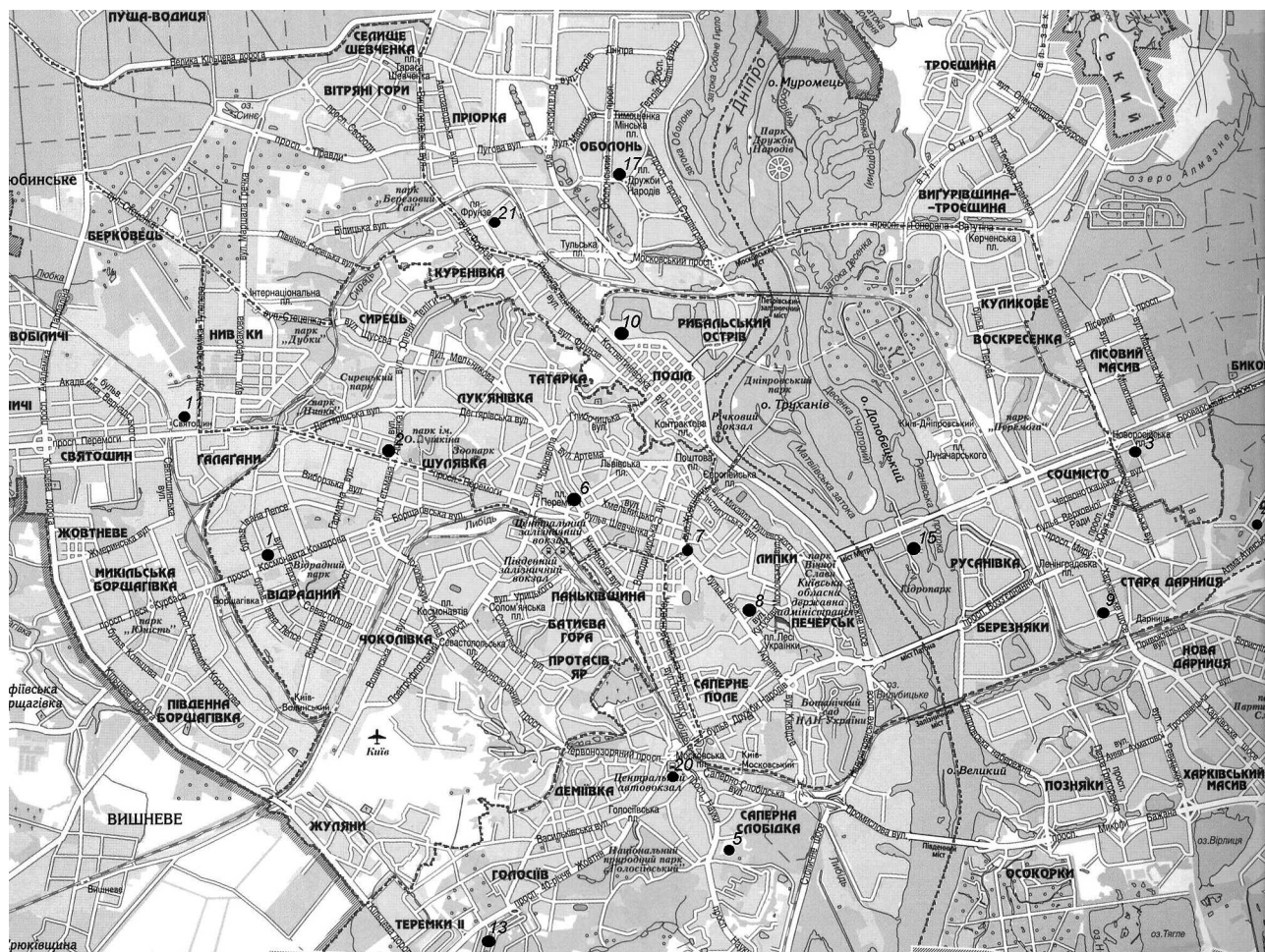


Рис. 5. Схема розташування постів спостережень

Таблиця 6

Змінення середнього рівня (мг/м³) забруднення атмосферного повітря за окремі роки (1989-1993 рр., 2006-2010 рр.)

Домішка	Роки									
	1989	1990	1991	1992	1993	2006	2007	2008	2009	2010
пил	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
SO ₂	0,010	0,020	0,023	0,033	0,114	0,009	0,008	0,008	0,013	0,013
CO	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1
NO ₂	0,05	0,07	0,08	0,08	0,07	0,11	0,09	0,07	0,08	0,08
формальдегід	0,005	0,006	0,005	0,010	0,009	0,003	0,006	0,006	0,008	0,008

У місті середня місячна концентрація завиблих речовин зменшилась у 1,5-2,0 рази за рік, а вміст SO_2 взимку – у 1,5 рази. Водночас середня місячна концентрація оксиду вуглецю в атмосферному повітрі саме тоді збільшилась у 1,5-2,0 рази.

У Києві просторовий розподіл оксиду вуглецю характеризується наявністю локальних зон підвищеного забруднення в районах інтенсивного руху автотранспорту (особливо вантажного). Середня місячна концентрація СО поблизу автомагістралі з інтенсивністю транспортного руху понад 4500 автомоб./год (просп. Перемоги, пост 11, Московська пл., пост 20) у теплий період року значно перевищує значення поблизу автомагістралі з інтенсивністю 2000 автомоб./год (вул. Довженка, пост 2).

У місті в останні роки рівень забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту зумовлено сумарними викидами окислів азоту від стаціонарних і пересувних джерел. На всіх постах річний хід місячної концентрації має лише оксид вуглецю і характеризується максимумом у період березень-вересень. Останніми роками в місті спостерігається збільшення концентрації формальдегіду.

Унаслідок антропогенного впливу в місті формується фоновий вміст забруднювальних речовин, як результат одночасного впливу різних за емісійними характеристиками джерел викидів. Вміст приземних концентрацій залежить від обсягів домішок, що надходять, режиму викидів та взаємного розміщення джерел викидів. За наявності кількох джерел викидів відбувається накладання окремих викидів і утворюється сукупний факел, який поширюється майже над усім містом. Просторова структура такого факела складна, разові концентрації домішок у різних частинах міста можуть суттєво відрізнятися, тому для прогнозу використовують середні концентрації забруднювальних речовин за добу.

Забруднення атмосфери під впливом метеорологічних умов може змінюватися одночасно на всій території міста. Воно характеризується узагальненими (інтегральними) показниками, які розраховують за матеріалами фактичних спостережень на стаціонарних постах забруднення атмосферного повітря.

Методика короткострокового прогнозу рівня забруднення атмосфери

Схему короткострокового прогнозу рівня забруднення повітря розроблено за матеріалами спостережень за концентраціями діоксиду азоту, діоксиду сірки, окису вуглецю та специфічної

домішки – формальдегіду. Ці домішки забруднюють атмосферу міста найбільше.

Необхідно відмітити, що схему розроблено на матеріалі зимового й літнього сезонів, але незважаючи на це, вона використовується для всього холодного (листопад-березень) та теплого (квітень-жовтень) періодів.

Прогностичний розрахунок базується на використанні методу множинної регресії з урахуванням нелінійності зв'язків шляхом відповідного перетворення предикторів.

Для міста розроблено сім прогностичних схем, які розглядають чотири домішки влітку (діоксид сірки, окис вуглецю, діоксид азоту та формальдегід) і три взимку (діоксид сірки, окис вуглецю та діоксид азоту).

Нормовану середню концентрацію Q , яка використовується в цій методиці, визначаємо за формулою (1):

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

де Q – нормована середня концентрація домішки в місті; $q_{\text{сеп}}$ – середня за сезон концентрація домішки ($\text{мг}/\text{м}^3$); \bar{q} – середня по місту концентрація домішки за цей день ($\text{мг}/\text{м}^3$); Середню по місту концентрацію домішки (q) визначаємо за формулою (2):

$$\bar{q} = \frac{1}{N} \cdot \sum q_i, \quad (2)$$

де q_i – концентрація домішки на i -му посту; N – кількість вимірів однієї домішки на всіх постах і за всі строки спостережень цього дня.

Значення $q_{\text{сеп}}$ визначаємо як середнє із трьох середньомісячних значень концентрацій. Наприклад, для літа $q_{\text{сеп}}$ розраховуємо за формулою (3):

$$q_{\text{сеп}} = \frac{q_{\text{сепVI}} + q_{\text{сепVII}} + q_{\text{сепVIII}}}{3}, \quad (3)$$

де $q_{\text{сеп}}$ – середньосезонна концентрація ($\text{мг}/\text{м}^3$); $q_{\text{сеп.VI}}$ – середня концентрація ($\text{мг}/\text{м}^3$) за червень; $q_{\text{сеп.VII}}$ – середня концентрація ($\text{мг}/\text{м}^3$) за липень; $q_{\text{сеп.VIII}}$ – середня концентрація ($\text{мг}/\text{м}^3$) за серпень.

Розраховані таким чином значення Q використовуються для розробок прогностичних схем. У ході оперативного прогнозування рівнів забруднення повітря неможливо знати середнє сезонне значення концентрації домішок до закінчення сезону. Для щоденного оперативного розрахунку параметра Q рекомендовано враховувати середній рівень забруднення повітря впродовж відповідного тримісячного періоду попе-

реднього року, де прогнозований місяць займає середину, та місяця, що передує цьому року.

У прогностичну схему включено такі чинники: температура повітря – t_{03} , t_{15} (°C), різниця температур між суміжними днями – Δt (°C), напрям d_{03} , d_{15} та швидкість вітру v_{03} в строк 03 і 15 год, тип синоптичного процесу C_{03} , а також нормована концентрація домішки за попередню добу Q' , яка дозволяє врахувати інерційність процесу забруднення.

Прогнозуються середні добові нормовані концентрації кожної домішки. Для визначення попереднього значення середньої нормованої концентрації Q' використовуються концентрації домішок у попередній до прогнозу день за всі строки спостережень (01, 07, 13, 19 год). Кількісним значенням кожного з відібраних предикторів є не сама величина метеорологічної характеристики, а середнє значення Q , яке розраховане для різних градацій цього метеорологічного чинника.

Табл. 7 і 8 використовуються для перетворення предикторів. Кожне значення метеорологічної характеристики за цими таблицями замінюється на відповідне їй середнє значення Q , яке включається в розрахункове рівняння множинної регресії.

Прогноз Q складається за рівняннями множинної регресії (табл. 8). Усі метеорологічні чинники завбачаються наявними способами. Прогноз складається тоді, коли є всі прогностичні значення метеорологічних чинників та значення концентрації домішок за попередню добу.

Під час прогнозу забруднення необхідно, крім розрахункової схеми, керуватися деякими прогностичними ознаками. Для міста Києва вони такі:

1. Якщо значення Q' у попередній до прогнозу день більше ніж 1,4, до того ж очікується підсилення стійкості нижнього шару атмосфери за слабкого вітру, вірогідність високого забруднення повітря зростає (через низькі викиди).

2. Високе забруднення повітря може відмічатися при стаціонарному антициклоні або гребні; вночі та вранці за слабкої швидкості вітру і підвищеному значенні Q' , а також за слабкої швидкості вітру в разі наявності туману, коли місто знаходиться в теплом секторі циклону.

3. В умовах застою повітря (за наявності приземної інверсії, коли градієнт температури в граничному шарі від'ємний у сполученні зі штилем або слабкою швидкістю вітру) ймовірність високого забруднення зростає. Припідняті інверсії (з нижньою межею 200 м) за слабкої швидкості вітру також сприяють накопиченню домішок в атмосфері.

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

Приклад.

Складаємо прогноз на 6 червня. Відповідно до табл. 8 значущими чинниками влітку є такі метеорологічні величини: температура повітря – t_{03} ; t_{15} год; різниця температур між суміжними днями – Δt ; напрям – d_{03} ; d_{15} та швидкість – v_{03} , вітру, тип синоптичного процесу – C , а також попереднє забруднення повітря Q' .

Розрахунки зручно виконувати за табл. 9, згідно з якою поетапно складається прогноз. Як тільки одержані дані метеорологічних величин, які прогнозуються на 06.06 і концентрації домішок упродовж 05.06 і ранку 06.06, приступаємо до розрахунків.

Показники, що прогнозуються, такі:

середня по місту і за всі строки спостережень цього дня нормована концентрація діоксиду сірки, окису вуглецю, діоксиду азоту та формальдегіду.

На першому етапі значення концентрації кожної домішки нормуємо на середню за три літні сезони величину і подальші розрахунки проводимо вже тільки з нормованою величиною Q . Потім необхідно перетворити предиктори, тобто визначити їх через величини середньої нормованої концентрації при певних градаціях метеорологічних чинників. Це робимо за допомогою табл. 7.

Замість температури (t_{03}), яка дорівнює +13,6° C, в розрахунки включається перетворений предиктор, який для окису вуглецю – 0,89, для інших домішок цей чинник відсутній. Замість різниці температур між суміжними днями (Δt) – використовуємо такі значення для діоксиду азоту – 1,02, для інших домішок цей чинник відсутній. Замість напрямку вітру (d_{03}), який дорівнює 10° (північний), використовують таке значення: для діоксиду азоту – 0,96, для інших домішок цей чинник відсутній. Замість швидкості вітру (v_{03}), яка дорівнює 2 м/с, використовують для діоксиду сірки значення – 1,03, для інших домішок цей чинник відсутній. Замість температури (t_{15}), яка дорівнює +22,3° C, використовують: для окису вуглецю – 0,99, для діоксиду азоту – 0,98, для формальдегіду – 1,02, для діоксиду сірки відсутній. Замість напрямку вітру (d_{15}), який дорівнює 80° (східний), для діоксиду сірки – 1,09, для окису вуглецю – 1,12, для діоксиду азоту – 0,89, для формальдегіду він відсутній. Замість синоптичної ситуації (C) – 2 (периферія антициклону), для діоксиду сірки – 1,62, окису вуглецю – 1,12,

Таблиця 7

Середні значення нормованої концентрації для окремих градацій метеорологічних характеристик
Літо

t_{03}	+5,0 – +10,0	+10,1 – +15,0	+15,1 – +20,0	+20,1 – +25,0
CO	0,72	0,89	1,05	1,26

Δt_{03}	-10,0 - -5,0	-5,0 – - 0,1	0,0 – +5,0	+5,1 - +10,0
NO ₂	0,82	0,98	1,02	1,00

d_{03}	штиль	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
NO ₂	1,01	0,96	0,87	1,01	1,01	1,09	0,98	1,05	0,96

v_{03}	штиль	0,1-2,0	2,1-4,0	4,1-6,0
SO ₂	0,92	1,03	0,95	0,65

t_{15}	+10,1 – +15,0	+15,1 – +20,0	+20,1 – +25,0	+25,1 - +30,0	+30,1 - +35,0
CO	0,64	0,85	0,99	1,11	1,12
NO ₂	1,02	0,98	0,98	1,02	1,13
Формал.	0,48	0,88	1,02	1,07	1,12

d_{15}	штиль	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
SO ₂	1,00	0,96	1,00	1,09	1,04	0,98	1,08	0,97	0,95
CO	1,00	1,01	1,16	1,12	1,01	0,96	1,00	0,93	0,91
NO ₂	1,07	0,99	0,95	0,89	1,12	1,06	0,97	0,98	1,04

С	1	2	3	4	5	6	7	8
SO ₂	1,12	1,62	1,03	1,13	1,04	0,88	0,98	0,87
CO	1,04	1,12	0,92	1,06	1,10	0,98	1,01	0,80
NO ₂	1,07	0,97	1,00	0,97	1,01	0,99	1,03	0,98
Формал.	1,38	1,10	1,05	1,17	1,12	0,87	0,80	0,73

Q	0,1-0,4	0,4-0,9	0,9-1,4	1,4-1,9	1,9-2,4	2,4-2,9
SO ₂	0,47	0,83	1,08	1,56	1,62	2,06
CO	0,47	0,85	1,09	1,46	1,58	2,32
NO ₂	0,62	0,89	1,08	1,37	1,85	2,03
Формал.	0,34	0,79	1,14	1,55	1,90	2,15

Зима

d_{03}	штиль	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
CO	1,01	0,89	0,89	0,92	0,97	1,09	1,09	1,15	0,97

С	1	2	3	4	5	6	7	8
SO ₂	1,21	1,14	0,89	1,06	0,95	1,04	0,96	0,94
CO	1,11	1,21	0,99	0,85	0,94	1,12	0,98	0,94
NO ₂	1,14	1,04	1,00	1,07	0,98	0,86	0,94	0,95

Q	0,1-0,40	0,41-0,90	0,91-1,40	1,41-1,90	1,91-2,40	2,41-2,90
SO ₂	0,50	0,83	1,12	1,45	1,93	2,20
CO	0,62	0,87	1,08	1,33	1,80	2,15
NO ₂	0,89	1,08	1,20	1,53	1,92	2,25

Таблиця 8

Параметри прогностичних рівнянь множинної регресії

Домішка	Перетворені предиктори								Вільний член
	t_{03}	Δt	d_{03}	v_{03}	t_{15}	d_{15}	С	Q	
Зима									
SO ₂							0,52	0,92	-0,44
CO			0,42				0,57	0,87	-0,86
NO ₂							0,63	0,87	-0,50
Літо									
SO ₂				0,57		0,49	0,46	0,81	-1,32
CO	0,30				0,37	0,61	0,50	0,85	-1,61
NO ₂		0,81	0,42		0,57	0,56	0,82	0,89	-3,08
Формальдегід					0,31		0,48	0,83	-0,62

діоксиду азоту – 0,97, формальдегіду – 1,10. Так перетворюється і предиктор Q'.

Таблиця 9
Схема прогнозу забруднення атмосфери на 06 червня

Метеорологічні величини, які прогноуються на 06 червня: $t_{03}=+13,6^{\circ}\text{C}$; $\Delta t = 1,8^{\circ}\text{C}$; d_{03} = північний(10°); $v_{03} = 2\text{м/с}$; $t_{15} = +22,3^{\circ}\text{C}$; d_{15} =східний (80°); $v_{15} = 3\text{м/с}$; $C = 2$

Етапи розрахунку	Показник, який прогноується			
	SO ₂	CO	NO ₂	формальдегід
1. Середня по місту фактична концентрація q', мг/м ³	0,0258	2,0312	0,083	0,0135
2. Середня за сезон концентрація, q, мг/м ³	0,0124	1,7421	0,069	0,0094
3. Нормована концентрація Q'(q'/q)	2,081	1,166	1,2043	1,4362
4. Перетворені предиктори (за табл. 7)				
t ₀₃	-	0,89	-	-
Δt	-	-	1,02	-
d ₀₃	-	-	0,96	-
v ₀₃	1,03	-	-	-
t ₁₅	-	0,99	0,98	1,02
d ₁₅	1,09	1,12	0,89	-
l	2	3	4	5
C	1,62	1,12	0,97	1,10
Q'	1,62	1,09	1,08	1,55
5. Параметри рівняння регресії (за табл. 8)				
t ₀₃	-	0,30	-	-
Δt	-	-	0,81	-
d ₀₃	-	-	0,42	-
v ₀₃	0,57	-	-	-
t ₁₅	-	0,37	0,57	0,31
d ₁₅	0,49	0,61	0,56	-
C	0,46	0,50	0,82	0,48
Q'	0,81	0,85	0,89	0,83
6. Добуток (4) x (5)				
t ₀₃	-	0,267	-	-
Δt	-	-	0,826	-
d ₀₃	-	-	0,403	-
v ₀₃	0,59	-	-	-
t ₁₅	-	0,366	0,559	0,316
d ₁₅	0,534	0,683	0,498	-
C	0,745	0,560	0,795	0,528
Q'	1,31	0,926	0,961	1,285
7. Вільний член	-1,32	-1,61	-3,08	-0,62
8. Величина, яка прогноується Q	1,86	1,19	0,96	1,51

Коли всі предиктори перетворені і зроблено відповідний запис, виконуємо розрахунки рівняння регресії і визначаємо прогностичні значення Q. У нашому прикладі 06 червня очікується високий рівень забруднення атмосфери в місті по діоксиду сірки та формальдегіду.

Оцінка результатів випробування методики прогнозу забруднення повітря

Оцінка справджуваності прогнозів здійснюється відповідно до груп забруднення повітря [6, 7]. Градації цих груп наведено в табл. 10. При цьому встановлена величина допуску, у межах якої прогноз вважається справдженим. При прогнозі за рівняннями, які запропоновані, величина допуску кожної градації становить 0,2.

Таблиця 10
Оцінка справджуваності прогнозів

Групи забруднення	Ступінь забруднення повітря	Градації параметра	Допустима градація, за якої прогноз вважається справджуваним
I	Високе	≥1,4	≥ 1,2
II	Помірне	0,7 - 1,3	0,5 - 1,5
III	Знижене	< 0,7	< 0,9

Якщо статистичний розподіл Q відрізняється від того, що надається в табл. 9, межі між групами можуть бути іншими. Головне полягає в тому, щоб зберігалось приблизне дотримання повторюваності: 10 % для I групи, 40 % для II та 50 % для III групи.

Оцінка справджуваності прогнозів високого забруднення повітря проводиться тільки на стадії випробування методики.

Якщо методику буде впроваджено в оперативну практику, і в місті буде прийнято міри по зниженню викидів забруднювальних речовин за несприятливих погодних умов, оцінка справджуваності втрачає значення. У таких умовах оцінюється справджуваність метеорологічних умов, які зумовлюють високий рівень концентрацій домішок.

За період випробування методики необхідно оцінити кожний прогноз (100 % або 0) з урахуванням допущених градацій. Потім розраховується загальна справджуваність по групах у відсотках. Прогноз вважається справдженим чи ні залежно від того, ввійдуть чи не ввійдуть прогностичні показники забруднення у вказані градації.

Для практики найважливішими показниками є загальна справджуваність і справджуваність прогнозів групи високого забруднення.

Для одержання повнішої характеристики

успішності методу прогнозу використовують критерій надійності М.О. Багрова:

$$H^* = \frac{U - U_0}{1 - U_0}, \quad (4)$$

де U – загальна справджуваність прогнозів (в частках одиниці), U_0 – справджуваність випадкових прогнозів вказаних трьох груп, яка розраховується за формулою:

$$U_0 = f_1\pi_1 + f_2\pi_2 + f_3\pi_3, \quad (5)$$

де $f_{I,II,III}$ – повторюваність фактичних спостережень кожної групи забруднення повітря, з урахуванням допусків; $\pi_{I,II,III}$ – частота прогнозів кожної групи. Сума частот прогнозів повинна дорівнювати 1, а сума частот фактичних спостережень завжди перевищує 1 за рахунок перекриття градацій з допусками.

Наприклад, під час розрахунку f_I беруть випадки не тільки зі значенням Q , яким відповідні групи високого забруднення, але й усі ті значення, які увійшли в допустимі градації цієї групи. Першій групі відповідають значення $Q \geq 1,4$, для розрахунку f_I беруть усі випадки, коли спостерігались $Q \geq 1,2$. Сума $f_I + f_{II} + f_{III}$ не дорівнює 1.

Частота прогнозів кожної групи $\pi_{I,II,III}$ розраховується без допусків, сума $\pi_I + \pi_{II} + \pi_{III}$ завжди повинна дорівнювати 1.

Приклад розрахунку критерія Багрова.

Складено 100 прогнозів усіх груп забруднення повітря, з них 85 справилились, тобто $U = 85\%$ або 0,85.

Із 100 випадків 15 разів було значення Q , яке відповідає I групі (з допуском), 55 разів – II групі, 60 разів – III групі, тобто $f_I = 0,15$; $f_{II} = 0,55$; $f_{III} = 0,60$. Було надано прогнозів I групи – 10 разів, II групи – 40 разів, III групи – 50 разів, тобто $\pi_I = 0,10$; $\pi_{II} = 0,40$; $\pi_{III} = 0,50$.

Розрахунок за формулами (4 та 5) дає такі результати:

$$U_0 = 0,15 \times 0,10 + 0,55 \times 0,40 + 0,60 \times 0,50 = 0,54 \quad (6)$$

$$H^* = \frac{0,85 - 0,54}{1 - 0,54} = 0,67 \quad (7)$$

Значення H^* для ефективних прогнозів не повинно бути менше ніж 0,2.

Особливий практичний інтерес представляє оцінка справджуваності прогнозів групи високого забруднення, тому необхідно оцінити критерій Багрова також для I групи забруднення повітря.

У наведеному прикладі справджуваність прогнозів першої групи становить 0,67.

$$H^*I = \frac{0,67 - 0,015}{1 - 0,015} = 0,66 \quad (8)$$

де $U_{01} = f_I \times \pi_I = 0,15 \times 0,10 = 0,015$.

Показники справджуваності і критерій Багрова необхідно розраховувати для кожної домішки за два сезони. Після закінчення строку випробування методики необхідно підготувати звіт відповідно до [6, 7]. Разом зі звітом необхідно надіслати в УкрГМЦ робочий журнал, в якому щодня проводився запис прогностичних і фактичних Q . Для зручності аналізу колонки з прогностичними й фактичними Q розташовано поруч.

Авторське випробування на незалежному матеріалі показало, що метод, який використовується для прогнозування забруднення повітря, має загальну справджуваність (U) без допуску від 83 до 95 %, справджуваність групи високого забруднення (U_I) від 83 до 100 %, критерій ефективності Багрова (H^* , H^*_I) перевищує критичні значення (табл. 11).

Таблиця 11
Показники успішності прогнозу забруднення в м. Київ на незалежному матеріалі (без допуску)

Домішка	n/n ₁	U	U ₁	U ₂	U ₃	U ₀	H*	H ₁ *
зима								
SO ₂	219/8	0,92	0,89	0,92	0,80	0,82	0,56	0,88
CO	219/8	0,83	0,89	0,83	0,75	0,75	0,32	0,91
NO ₂ (1,2)	219/16	0,95	1,00	0,94	0,70	0,83	0,70	1,00
літо								
SO ₂	214/12	0,91	0,86	0,91	1,00	0,79	0,57	0,85
CO	215/9	0,84	0,84	0,86	0,86	0,70	0,47	0,57
NO ₂	213/17	0,93	0,89	0,93	0,75	0,80	0,65	0,88
Фор- мал.	218/15	0,89	0,83	0,89	0,95	0,65	0,68	0,82

Примітка: чисельник (n) – загальна кількість випадків; знаменник (n₁) – кількість випадків високого забруднення

Висновки

Основний принцип досліджень щодо прогнозування забруднення повітря, зокрема, розроблювання статистичних схем прогнозування забруднення повітря, це максимально врахувати характер фізичного процесу розповсюдження домішок в атмосфері та особливості впливу метеорологічних умов на концентрації домішок у повітрі. Одним з важливих етапів побудови статистичної прогностичної схеми є формування складу предикторів. Під час розроблювання прогностичних схем предиктори заздалегідь не задають. З багатьох можливих предикторів відбирають ті,

що найбільше відображають фізичні закономірності розповсюдження домішок в атмосфері, а з іншого боку – предиктори повинні бути такими, що прогноуються й доступні в оперативній практиці. Таким чином, найприйнятнішим для практичного використання в оперативній роботі є метод множинної лінійної регресії з використанням предикторів і предиктанта в їхньому природному вигляді. Позитивні наслідки дає перетворення предикторів. Цей метод зручний тим, що дозволяє виразити всі характеристики в однакових одиницях виміру, а також включити безпосередньо в схему не тільки кількісні, але й якісні або векторні показники (тип синоптичного процесу, напрям вітру тощо).

Ця методика пройшла виробничі випробування в гідрометеорологічному центрі, на сьогоднішній час використовується в оперативній практиці. Під час пожегарів неподалік від Києва співробітники ГМЦ давали прогноз та попередження про високий рівень забруднення атмосферного повітря в місті за цією методикою. Справджуваність прогнозів високих рівнів забруднення атмосферного повітря була достатньо високою (80-100 %).

* *

1. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 272 с.
2. Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 223 с.
3. Киптенко Є.М., Козленко Т.В. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря в містах України // Тр. УкрНДГМІ. – 2002. – Вип. 250. – С. 288-297.
4. Киптенко 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.
5. Клімат Києва /За ред. В.І. Осадчого, О.О. Косовця, В.М. Бабіченко. – К.: Ніка-центр – 2010. – 320 с.
6. Киптенко 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.

7. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди / Державна гідрометеорологічна служба. – К. – 2003.

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

Е.Н. Киптенко, Т.В. Козленко

Методика краткосрочного прогноза загрязнения атмосферного воздуха для города Киева

Исследованы общие закономерности изменений характеристик загрязнения атмосферного воздуха. Получена оценка характеристик статистической структуры полей концентраций загрязняющих примесей. Показано, что основные черты суточного и годового хода связаны с метеорологическими условиями. Проведена типизация синоптических ситуаций, которые способствуют высокому уровню загрязнения атмосферного воздуха. Разработаны уравнения множественной регрессии краткосрочного прогноза загрязнения атмосферного воздуха для отдельных примесей.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, выбросы, концентрации, загрязняющие вещества, прогноз загрязнения.

E. Kiptenko, T. Kozlenko

Short-term air pollution forecast method for Kyiv

There were investigated changes in general features of air pollution characteristics. Statistical structure of pollutant's concentration fields was estimated. Main features in diurnal and annual variations connected with meteorological conditions. Synoptic situation types which contribute high air pollution level had been conducted. There were calculated multiply regression equations for short-term air pollution forecast for each pollutant.

Keywords: air pollution, emissions, concentrations, pollutants, forecast of pollution.