

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 502.3:504.5

Ю. Яценко, асп., E-mail: juliayatsenko@meta.ua,
О. Шевченко, канд. геогр. наук, доц., E-mail: olga.s.meteo@gmail.com,
С. Сніжко, д-р геогр. наук, проф., E-mail: tempo2007@meta.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет, пр. акад. Глушкова, 2, м. Київ, МСП – 680, Україна

ОЦІНКА СУЧАСНОГО РІВНЯ ТА ТЕНДЕНЦІЙ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТ УКРАЇНИ ДІОКСИДОМ АЗОТУ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук О.І. Меньшовим)

Об'єктивна інформація про рівень забруднення атмосферного повітря є основою для проведення заходів з охорони повітряного басейну міст з метою забезпечення екологічно безпечних умов для проживання населення та вдосконалення системи моніторингу довкілля.

Метою роботи є дослідження сучасного рівня та основних тенденцій забруднення атмосферного повітря міст України діоксидом азоту для виявлення найбільш забруднених міст, їхнє ранжування для визначення переліку міст для пріоритетного впровадження екологічних заходів.

Для виконання дослідження використано інформацію Центральної геофізичної обсерваторії про середньорічні концентрації діоксиду азоту в повітрі 51 міста України за період 1998–2015 рр.

Для дослідження застосовувалися класичні методи прикладної математичної статистики (оцінка статистичних параметрів розподілу концентрацій, побудова часових трендів за методом найменших квадратів, графічні методи візуалізації рівнів забруднення повітря), які були реалізовані за допомогою доступних програм "MS-Excel" та "Statistica-8.0".

Розроблена класифікація міст за рівнем перевищення ГДК середніми річними концентраціями діоксиду азоту. Виділено 3 групи міст: 1 група (21 місто) допустимий рівень забруднення (< 1 ГДК); 2 група (27 міст) – підвищений рівень забруднення (1–2 ГДК); 3 група (3 міста) – високий рівень забруднення (2–3 ГДК). Установлено, що в повітрі 21 міста (41% від усіх міст, у яких здійснюється моніторинг діоксиду азоту в атмосфері) із 51 досліджуваного, забезпечується допустимий рівень забруднення повітря даною речовиною. У решті міст (59%) – спостерігається стабільне перевищення ГДК. У 23 містах навіть мінімальні концентрації NO_2 перевищують допустимі норми.

Дослідження багаторічної динаміки діоксиду азоту в повітрі показало, що збільшення концентрацій даного забруднювача за 1998–2015 рр. спостерігається у 28 містах (55%) із 51. Найсуттєвіше зростання концентрацій у повітрі відбулося у Херсоні, Луцьку, Донецьку та Горішніх Плавнях. У 13 містах зафіксовано зниження концентрацій, а в 10 – вміст даного забруднювача в повітрі практично не змінюється.

Здійснено класифікацію міст за характером та інтенсивністю часових змін вмісту діоксиду азоту в повітрі. Результати виконаних досліджень можуть стати основою для вибору об'єктів для подальшого поглибленого вивчення та аналізу особливостей формування забруднення повітря в містах України.

Ключові слова: забруднення атмосферного повітря, діоксид азоту, перевищення гранично допустимої концентрації, динаміка рівня забруднення.

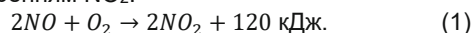
Вступ. Урбанізовані території є зонами ризику для здоров'я населення, оскільки атмосферне повітря цих територій містить підвищену кількість шкідливих домішок антропогенного походження. Однією з таких домішок є діоксид азоту (NO_2), який негативно впливає на людський організм (Samoli et al., 2006; Venn et al., 2001).

Вплив на здоров'я населення відбувається як за рахунок екстремально високих концентрацій NO_2 протягом короткого періоду часу, так і за рахунок порівняно низьких, але типових для урбанізованих територій концентрацій NO_2 у повітрі, яким мешканці міста дихають протягом всього життя.

Проблема перевищення нормативів вмісту діоксиду азоту в атмосферному повітрі характерна для багатьох великих міст світу, тому дослідження проблеми забруднення повітря домішками NO_2 займаються провідні наукові установи світу. Постійно уточнюються санітарно-гігієнічні нормативи цієї речовини та оновлюється законодавча база, яка регулює її допустимий вміст в атмосферному повітрі. В Європейському Союзі з 2010 р. введені у дію нові норми середньорічних гранично-допустимих концентрацій (ГДК) NO_2 , за якими вміст домішки у повітрі не повинен перевищувати $0,04 \text{ мг/м}^3$. Така ж величина ГДК для середньодобових, середньорічних значень застосовується і в Україні. Як свідчать дані моніторингу Гідрометслужби, в останні роки більш ніж у половині міст України, у яких здійснюється моніторинг діоксиду азоту в повітрі, середньорічні концентрації даного забруднювача перевищують ГДК. Особлива небезпека високого вмісту цієї речовини у повітрі пов'язана з тим, що вона може здійснювати не лише безпосередній негативний вплив на здоров'я людини, а також за сприятливих умов брати участь у фотохімічних реакціях та призводити до

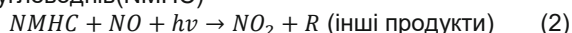
формування смогу. Саме тому в усьому світі активно досліджують джерела надходження діоксиду азоту в повітря, особливості його просторово-часового розподілу за великих містах, перебіг фотохімічних перетворень за його участю (Chaney et al., 2011) та намагаються знайти шляхи вирішення цієї серйозної проблеми (Круковская, 2013; Лоева та ін., 2004; Маренко и Гриценко, 1986; Маренко и Гриценко, 1987; Сніжко та Шевченко, 2011; Трошин и др., 2009; Carslaw and Beevers, 2005; Grice et al., 2009; Kessler et al., 2006).

Діоксид азоту (NO_2) та оксид азоту (NO) в атмосферній хімії прийнято називати оксидами азоту (NO_x). Джерелами оксидів азоту, що утворюються в процесі горіння, є молекулярний азот повітря, що використовується як і окиснювач при горінні, та азотовмісні компоненти пального. Оксид азоту (NO) у середньому становить близько 95–99% від загальних викидів NO_x , тоді як на більш токсичний NO_2 припадає не більше 1–5%. Після викидів в атмосферу оксид азоту легко реагує з киснем повітря з утворенням NO_2 .

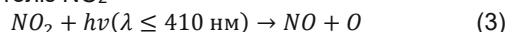


Цей процес є зворотним, проте за нормальних умов хімічна рівновага зміщена в сторону діоксиду.

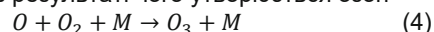
Також можливе перетворення за участю неметанових вуглеводнів (NMHC)



На концентрацію NO_x у повітрі великих міст суттєво впливають їх перетворення за участю озону. Під дією сонячної радіації та підвищених температур повітря відбувається фотоліз NO_2

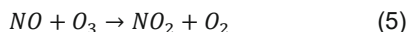


Атомарний кисень O , що утворився взаємодіє з молекулярним O_2 – в результаті чого утворюється озон



© Яценко Ю., Шевченко О., Сніжко С., 2018

Далі молекула озону може бути зруйнована в результаті взаємодії з NO



Реакції (3)–(5), власне, описують формування фотохімічного смогу за участі одного з видів з його прекурсорів – сполук азоту. Як видно з (3)–(5) – це замкнений цикл, що може досягнути стаціонарного стану за сталих концентрацій реагентів та відповідних умов. Відповідно для зміни концентрацій однієї зі складових необхідним є додаткове джерело іншої. Крім рекомбінації атомарного кисню O з молекулярним O₂, джерелом озону в тропосфері можуть бути цикли окиснення метану (CH₄) та оксиду вуглецю CO, а також надходження його в атмосферу безпосередньо від джерел забруднення (Суркова, 2002). Оскільки, швидкість реакції (4) та (5) залежить від температури, а перебіг реакції (3) перебуває у прямій залежності від сонячної радіації, то для їх перебігу в атмосфері необхідні відповідні метеорологічні умови – достатня кількість сонячної радіації з довжиною хвиль менше 410 нм, температура повітря вище 18 °С (оптимально 25–35 °С), а також – низька відносна вологість повітря та штиль або слабкий вітер (до 2 м/с).

Аналіз останніх досліджень. Вивченню якості атмосферного повітря міст України останнім часом приділяється все більше уваги (Кіптенко та Козленко, 2007; Лоева та ін., 2004; Сніжко та Шевченко, 2011). Більшість робіт присвячені комплексній оцінці рівня забруднення окремих міст або регіонів, у яких серед інших домішок також розглядається вміст діоксиду азоту в атмосферному повітрі. Проте, окремі роботи українських вчених сфокусовані на дослідженні лише цієї домішки. Наприклад, І.Д. Лоева (Лоева, 1995) запропонувала методику прогнозу забруднення повітря міста діоксидом азоту, а А.Н. Маренко з колегами (Маренко та Гриценко, 1986; Маренко та Гриценко, 1987) досліджували сполуки азоту в приземному шарі повітря біля автомагістралей Києва. Результати цих досліджень відображають особливості зміни концентрацій та перебіг фотохімічних перетворень сполук азоту лише у безпосередній близькості до автомобільних шляхів. А у дослідженнях С.І. Сніжко та О.Г. Шевченко (Сніжко та Шевченко, 2011; Шевченко та ін., 2015) розглядається сучасний стан забруднення повітря діоксидом азоту, проте лише в атмосферному повітрі міста Києва.

Матеріали та методи досліджень. Для дослідження багаторічної динаміки вмісту діоксиду азоту в

атмосферному повітрі міст України, була використана інформація Центральної Геофізичної обсерваторії про середньорічні концентрації діоксиду азоту за період 1998-2015 рр. (по містах Донецьк, Луганськ, Григорівка, Торецьк, Єнакієве, Макіївка, Алчевськ та Горлівка дані розглянуто за період 1998-2014 рр., по містах Керч, Ялта, Севастополь, Сімферополь та Армянськ – за період 1998-2013 рр.)

Для дослідження застосовувалися класичні методи прикладної математичної статистики (оцінка статистичних параметрів розподілу концентрацій, побудова часових трендів за методом найменших квадратів, графічні методи візуалізації рівнів забруднення повітря), які були реалізовані за допомогою доступних програм "MS-Excel" та "Statistica-8.0".

Аналіз особливостей часової динаміки концентрацій діоксиду азоту виконувався на основі досліджень їх лінійних трендів для різних міст із залученням додаткових розрахункових показників за методикою, представленою у роботі (Шевченко та ін., 2015).

Виклад основного матеріалу.

Для дослідження рівнів та тенденцій забруднення атмосферного повітря міст України діоксидом азоту було використано інформацію Центральної Геофізичної обсерваторії про вміст діоксиду азоту у повітрі 51 міста України за період 1998-2015 рр., на основі якої було створено масив вихідних даних для наступних розрахунків та узагальнень. Використовуючи стандартні статистичні програми було розраховано, зокрема, середні (С_{сер}), мінімальні (С_{мін}) та максимальні значення (С_{мах}) середніх річних концентрацій діоксиду азоту (табл. 1).

Дані таблиці 1 свідчать, що за період досліджень максимальні з середніх річних концентрацій діоксиду азоту спостерігаються у Макіївці – 0,21 мг/м³, Донецьку – 0,18 мг/м³, Києві – 0,14 мг/м³, Херсоні та Єнакієвому – 0,13 мг/м³, Слов'янську – 0,12 мг/м³, Торецьку – 0,11 мг/м³ (ці максимуми перевищують ГДК у 5,25 рази, у 4,5 рази, у 3,5 рази, у 3,25 рази, у 3 рази та 2,75 рази відповідно). Середні річні значення концентрацій були найвищими в Донецьку та Макіївці – 0,11 мг/м³, Києві – 0,09 мг/м³, Єнакієвому, Запоріжжі та Дніпрі – 0,08 мг/м³.

На рис. 1 представлено перевищення ГДК середніми річними концентраціями діоксиду азоту у 51 місті України.

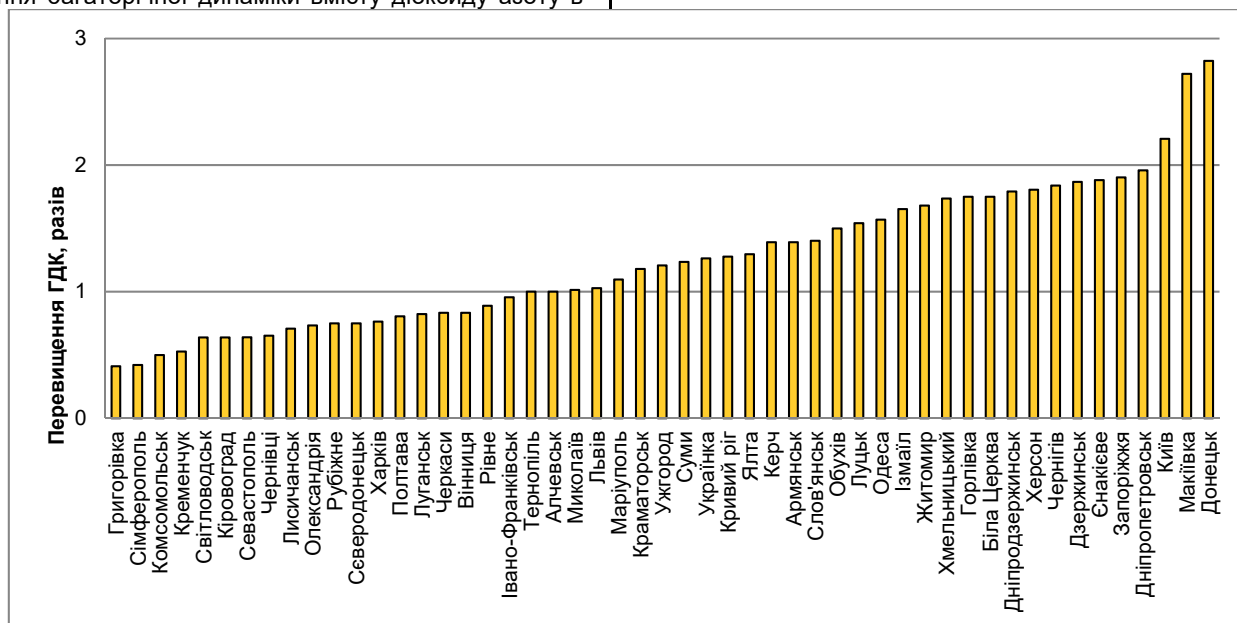


Рис. 1. Перевищення ГДК середніми річними концентраціями діоксиду азоту у повітрі міст України

Таблиця 1

Статистичні характеристики рівня забруднення міст України діоксидом азоту

Місто	С сер	С мін	С макс	Місто	С сер	С мін	С макс
Алчевськ	0,04	0,03	0,05	Макіївка	0,11	0,07	0,21
Армянськ	0,06	0,04	0,09	Маріуполь	0,04	0,03	0,06
Біла Церква	0,07	0,06	0,09	Миколаїв	0,04	0,03	0,06
Вінниця	0,03	0,01	0,07	Обухів	0,06	0,05	0,07
Горлівка	0,07	0,04	0,1	Одеса	0,06	0,05	0,08
Григорівка	0,02	0,01	0,02	Олександрія	0,03	0,02	0,03
Торецьк	0,07	0,04	0,11	Полтава	0,03	0,03	0,04
Кам'янське	0,07	0,06	0,08	Рівне	0,04	0,02	0,06
Дніпро	0,08	0,06	0,09	Рубіжне	0,03	0,02	0,04
Донецьк	0,11	0,04	0,18	Світловодськ	0,03	0,02	0,04
Єнакієве	0,08	0,04	0,13	Севастополь	0,03	0,02	0,06
Житомир	0,07	0,05	0,08	Северодонецьк	0,03	0,02	0,04
Запоріжжя	0,08	0,04	0,1	Сімферополь	0,02	0,01	0,02
Івано-Франківськ	0,04	0,02	0,05	Слов'янськ	0,06	0,03	0,12
Ізмаїл	0,07	0,06	0,07	Суми	0,05	0,04	0,06
Керч	0,06	0,04	0,09	Тернопіль	0,04	0,01	0,06
Київ	0,09	0,05	0,14	Ужгород	0,05	0,04	0,06
Кропивницький	0,03	0,02	0,03	Українка	0,05	0,03	0,07
Горішні Плавні	0,02	0,01	0,04	Харків	0,03	0,02	0,04
Краматорськ	0,05	0,04	0,06	Херсон	0,07	0,03	0,13
Кременчук	0,02	0,01	0,03	Хмельницький	0,07	0,04	0,09
Кривий ріг	0,05	0,04	0,06	Черкаси	0,03	0,02	0,05
Лисичанськ	0,03	0,02	0,04	Чернівці	0,03	0,02	0,03
Луганськ	0,03	0,02	0,04	Чернігів	0,07	0,06	0,09
Луцьк	0,06	0,04	0,1	Ялта	0,05	0,03	0,07
Львів	0,04	0,03	0,05				

Таким чином, можна стверджувати, що у 21 місті із 51 досліджуваного (41% від усіх міст, у яких здійснюється моніторинг діоксиду азоту в атмосфері), забезпечується допустимий рівень забруднення повітря даною речовиною. У решті міст (59%) – спостерігається стабільне перевищення ГДК (рис. 1).

На основі аналізу розрахункових даних та ранжованого ряду величин перевищення ГДК середніми річними концентраціями діоксиду азоту (рис. 1), усі міста України за рівнем забруднення діоксидом азоту можна розділити на три групи (табл. 2).

Таблиця 2

Класифікація міст України за рівнем перевищення ГДК середніми річними концентраціями діоксиду азоту осередненими за багаторічний період (1998–2015 рр.)

< 1 ГДК (допустимий рівень забруднення)	1–2 ГДК (підвищений рівень забруднення)	2–3 ГДК (високий рівень забруднення)
Григорівка, Сімферополь, Горішні Плавні, Кременчук, Світловодськ, Кропивницький, Севастополь, Чернівці, Алчевськ, Лисичанськ, Олександрія, Рубіжне, Северодонецьк, Харків, Полтава, Луганськ, Черкаси, Вінниця, Рівне, Івано-Франківськ, Тернопіль	Миколаїв, Львів, Маріуполь, Краматорськ, Ужгород, Суми, Українка, Кривий Ріг, Ялта, Керч, Армянськ, Слов'янськ, Обухів, Луцьк, Одеса, Ізмаїл, Житомир, Хмельницький, Горлівка, Біла Церква, Кам'янське, Херсон, Чернігів, Торецьк, Єнакієве, Запоріжжя, Дніпро	Київ, Макіївка, Донецьк

На рис. 2 представлено медіанні значення, діапазони коливань середніх річних концентрацій діоксиду азоту у містах України за багаторічний період (1998–2015 рр.) і порівняння їх із ГДК та середньою концентрацією по групі міст, які підлягають моніторингу.

Аналіз розмаху коливань середньорічних концентрацій діоксиду азоту в повітрі 51 міста України (рис. 2), показав, що осереднене за багаторічний період по усіх містах середньорічне значення концентрацій даної забруднювальної речовини перевищує ГДК у 1,25 раза. У 10 містах навіть мінімальні концентрації перевищують ГДК і ще у 13 містах мінімальні концентрації рівні 1 ГДК, тобто практично увесь діапазон знаходиться вище значення ГДК.

Розраховане і показане на рис. 2 пунктирною лінією середнє багаторічне значення концентрації діоксиду азоту для усієї групи досліджуваних міст, дозволяє встановити, що в Україні певна група міст не тільки характеризується високим рівнем концентрацій діоксиду азоту, який в разі перевищує ГДК, а й належить до групи міст, де забруднення набагато вище за середній рівень по країні. Це міста, які відповідно до табл. 2 належать до категорії 2–3 ГДК.

З метою встановлення сучасних часових тенденцій забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту

нами було досліджено зміну їхніх середніх річних концентрацій у 51 місті України за період з 1998 по 2015 рр. Для цього було побудовано графіки зміни концентрацій C в межах обраної часової шкали t та розраховані їх часові тренди за методом найменших квадратів (МНК), який дозволяє апроксимувати емпіричну залежність $C=f(t)$ будь-якою теоретичною лінійною чи криволінійною залежністю. МНК базується на положенні, що сума квадратів відхилень емпіричних спостережень y_i від правильно підбраної теоретичної лінії регресії $\bar{y}_x$ повинна бути мінімальною, виходячи із можливості застосування різних функцій апроксимуючих теоретичних функцій, тобто $\sum (y_i - \bar{y}_x)^2 = Q_{min}$.

У якості теоретичної апроксимуючої моделі було використано рівняння лінійної регресії, тому що лінійний тренд має властивість характеризувати собою деякий осереднений динамічний рівень протікання процесу у часі. Його використання для всіх випадків (51 місто) дає змогу достатньо об'єктивно описати середній рівень забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту у будь-який момент часу t , особливо на початку та в кінці досліджуваного періоду.

Приклад побудованих графіків $C=f(t)$ та графічний вигляд часових трендів типу $C = at + b$ (a – коефіцієнт регресії, b – вільний член, t – момент часу (рік)) показано на рис. 3, а числові характеристики усіх розрахованих трендів – у табл. 3.

У табл. 3 наведені дані про точність підбору апроксимуючого рівняння (R^2), осереднені за лінійним трендом рівні забруднення повітря формальдегідом на початку (C_n) і в кінці періоду (C_k) спостереження, осереднену абсолютну зміну концентрацій (ΔC_{abc}) та середнє арифметичне значення за період досліджень ($C_{сер}$).

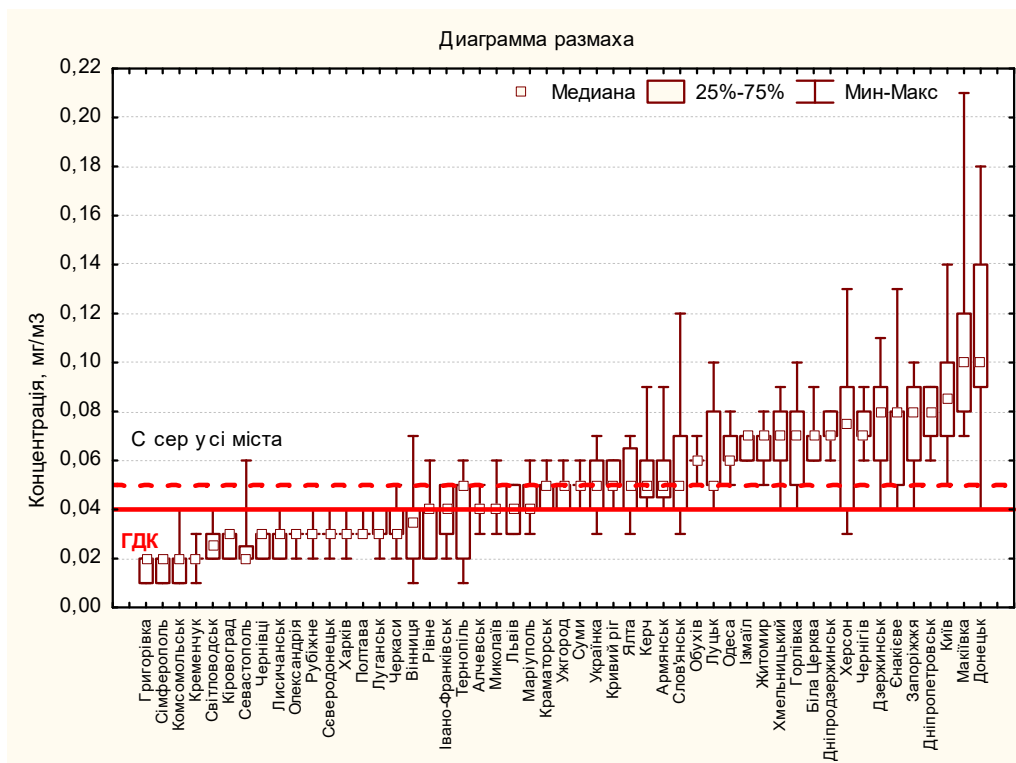


Рис. 2. Медіанні значення, діапазони коливань середніх річних концентрацій діоксиду азоту в містах України за багаторічний період та порівняння їх із ГДК (суцільна лінія) і середньою концентрацією за досліджуваний період по групі міст (пунктирна лінія), що підлягають моніторингу

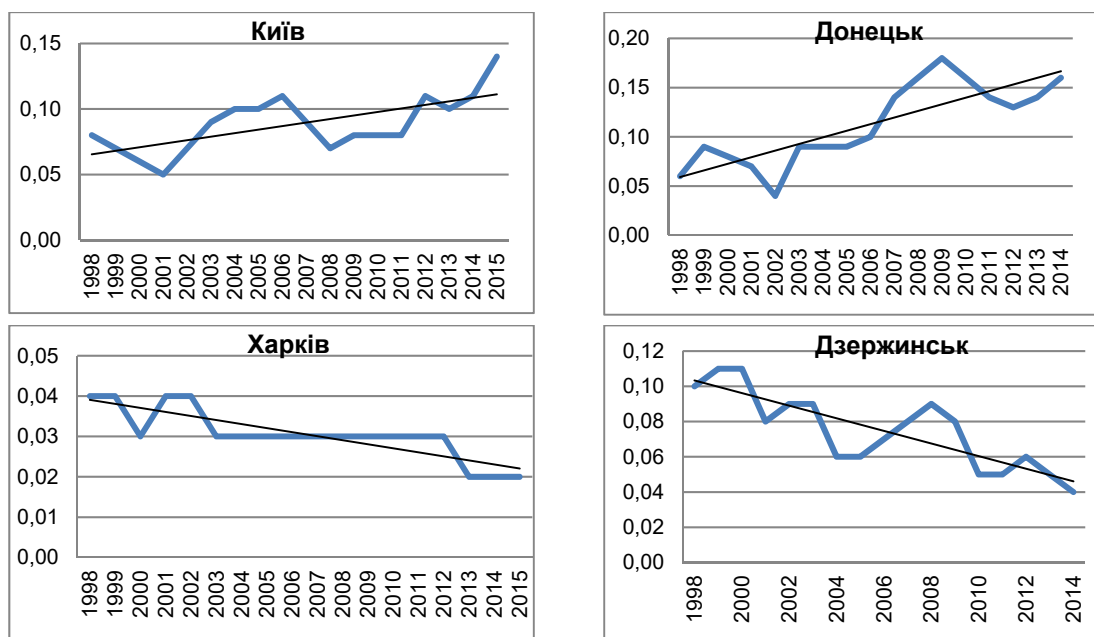


Рис. 3. Приклади основних тенденцій зміни концентрацій (mg/m^3) діоксиду азоту протягом 1998–2015 рр. у повітрі міст України

Таблиця 3

Лінійні тренди часової динаміки середніх річних концентрацій діоксиду азоту в повітрі міст України протягом 1998–2015 рр. та їхні розрахункові параметри

Місто	Рівняння тренду	R ²	ΔC _{абс}	C сер (1998–2015)
Алчевськ	$y = 0,0007x + 0,0338$	0,240	0,0112	0,04
Армянськ	$y = 0,001x + 0,043$	0,234	0,015	0,06
Біла Церква	$y = 0,0004x + 0,0659$	0,075	0,0068	0,07
Вінниця	$y = -0,0005x + 0,0378$	0,024	-0,0085	0,03
Горлівка	$y = -0,003x + 0,097$	0,697	-0,048	0,07
Григорівка	$y = -0,0008x + 0,0238$	0,687	-0,0128	0,02
Торецьк	$y = -0,003x + 0,106$	0,685	-0,048	0,07
Кам'янське	$y = 0,0003x + 0,0688$	0,066	0,0051	0,07
Дніпро	$y = 0,0004x + 0,0745$	0,038	0,0068	0,08
Донецьк	$y = 0,006x + 0,052$	0,682	0,096	0,11
Єнакієве	$y = -0,004x + 0,116$	0,831	-0,064	0,08
Житомир	$y = 0,0007x + 0,0607$	0,170	0,0119	0,07
Запоріжжя	$y = 0,002x + 0,049$	0,656	0,034	0,08
Івано-Франківськ	$y = -0,0009x + 0,0475$	0,223	-0,015	0,04
Ізмаїл	$y = -0,0008x + 0,0737$	0,715	-0,0136	0,07
Керч	$y = 0,001x + 0,041$	0,294	0,015	0,06
Київ	$y = 0,002x + 0,062$	0,436	0,034	0,09
Кропивницький	$y = 0,0004x + 0,0214$	0,204	0,0068	0,03
Горішні Плавні	$y = 0,001x + 0,008$	0,43	0,016	0,02
Краматорськ	$y = -0,0002x + 0,0495$	0,035	-0,0034	0,05
Кременчук	$y = 0,0005x + 0,0164$	0,314	0,0085	0,02
Кривий ріг	$y = 0,0004x + 0,0474$	0,095	0,0068	0,05
Лисичанськ	$y = 0,0008x + 0,0212$	0,323	0,0136	0,03
Луганськ	$y = 0,0008x + 0,0261$	0,312	0,0128	0,03
Луцьк	$y = 0,003x + 0,030$	0,733	0,051	0,06
Львів	$y = 0,0002x + 0,0388$	0,025	0,0034	0,04
Макіївка	$y = 0,0008x + 0,1018$	0,012	0,0128	0,11
Маріуполь	$y = 0,0002x + 0,0418$	0,018	0,0034	0,04
Миколаїв	$y = 0,0002x + 0,0387$	0,020	0,0034	0,04
Обухів	$y = 2E-05x + 0,059$	0,0003	0,00034	0,06
Одеса	$y = -0,0009x + 0,0717$	0,368	-0,0153	0,06
Олександрія	$y = 0,0002x + 0,0271$	0,189	0,0032	0,03
Полтава	$y = 0,0006x + 0,0267$	0,520	0,0102	0,03
Рівне	$y = -0,002x + 0,055$	0,765	-0,034	0,04
Рубіжне	$y = -0,00002x + 0,03020$	0,0003	-0,00034	0,03
Світловодськ	$y = 0,0006x + 0,0203$	0,233	0,0102	0,03
Севастополь	$y = -0,0017x + 0,0403$	0,504	-0,0255	0,03
Северодонецьк	$y = -0,0002x + 0,0318$	0,041	-0,0034	0,03
Сімферополь	$y = 0,0004x + 0,0133$	0,179	0,006	0,02
Слов'янськ	$y = 0,001x + 0,045$	0,073	0,017	0,06
Суми	$y = 0,001x + 0,039$	0,758	0,017	0,05
Тернопіль	$y = 0,001x + 0,025$	0,273	0,014	0,04
Ужгород	$y = -0,0002x + 0,0498$	0,013	-0,0034	0,05
Українка	$y = 0,0016x + 0,0358$	0,471	0,0272	0,05
Харків	$y = -0,001x + 0,040$	0,699	-0,017	0,03
Херсон	$y = 0,003x + 0,034$	0,461	0,051	0,07
Хмельницький	$y = 0,001x + 0,057$	0,181	0,017	0,07
Черкаси	$y = 0,0004x + 0,0298$	0,066	0,0068	0,03
Чернівці	$y = 0,0002x + 0,0239$	0,063	0,0034	0,03
Чернігів	$y = 0,0004x + 0,0702$	0,034	0,0064	0,07
Ялта	$y = -0,0023x + 0,0715$	0,685	-0,0345	0,05

Із таблиці видно, що часові тенденції розвитку процесів забруднення атмосферного повітря описуються як позитивними трендами (відбувається зростання концентрацій), так і негативними (концентрації зменшуються). Широкий діапазон зміни абсолютних значень коефіцієнтів лінійного тренду свідчить, що виявлені тенденції розвитку характеризуються ще й різним темпом (швидкістю) розвитку процесу у часі.

Слід зауважити, що не в усіх випадках лінійні рівняння із статистичної точки зору правильно відображають часовий розвиток процесу забруднення повітря діоксидом азоту (низькі значення критерію R²), але переважна більшість підібраних теоретичних моделей задовільно описує емпіричні залежності. Використання їх для встановлення середніх порівняльних рівнів забруднення є цілком прийнятним. Обмеження на використання цих

залежностей можуть бути накладені лише у випадку екстраполяції рівнів забруднення, де використання невдало підібраних моделей може спотворити реальний можливий розвиток процесів.

З метою детального аналізу сучасних тенденцій зміни концентрацій діоксиду азоту в повітрі міст України на основі отриманих лінійних залежностей було виконано ряд розрахунків, які, зокрема, дозволили отримати значення величин відносної зміни концентрацій діоксиду азоту в повітрі міст України за багаторічний період. Ранжування цих даних та їхня графічна обробка дозволили отримати рис. 4, який дає дуже чітку візуальну диференціацію основних тенденцій забруднення повітря у містах України.

Використовуючи рис. 4 можна виділити 3 групи міст із чітко вираженими особливостями часового перебігу процесів забруднення повітря діоксидом азоту (табл. 4).

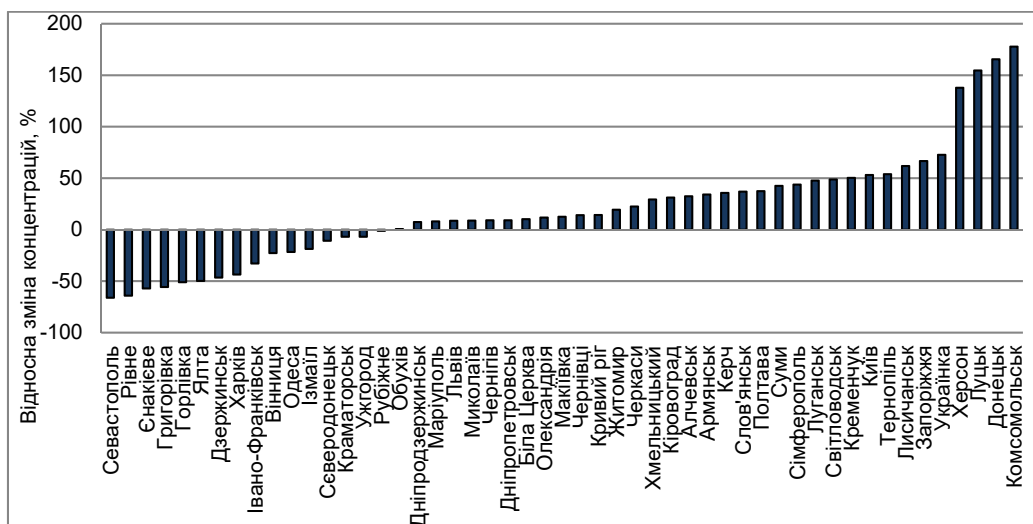


Рис. 4. Ранжовані значення величин відносної зміни концентрацій діоксиду азоту у повітрі міст України

Таблиця 4

Групи міст з різними особливостями часового перебігу процесів забруднення повітря діоксидом азоту

Група 1: збільшення концентрацій			Група 2: без змін ($\pm 10\%$)	Група 3: зменшення
Підгрупа 1а ($\geq 100\%$)	Підгрупа 1б ($>50 < 100\%$)	Підгрупа 1в ($>10 < 50\%$)		
Херсон, Луцьк, Донецьк, Горішні Плавні	Кременчук, Київ, Тернопіль, Лисичанськ, Запоріжжя, Українка	Біла Церква, Макіївка, Олександрія, Чернівці, Кривий Ріг, Житомир, Черкаси, Хмельницький, Кропивницький, Алчевськ, Армянськ, Керч, Полтава, Суми, Сімферополь, Луганськ, Світловодськ, Слов'янськ	Обухів, Краматорськ, Кам'янське, Львів, Миколаїв, Чернігів, Дніпро, Ужгород, Маріуполь, Рубіжне	Севастополь, Рівне, Єнакієве, Вінниця Григорівка, Горлівка, Ялта, Торецьк, Харків, Одеса, Ізмаїл, Северодонецьк, Івано-Франківськ

Проаналізувавши результати представлені на рис. 4 та у табл. 4, можна констатувати, що збільшення забруднення повітря діоксидом азоту спостерігається – у 28 містах із 51 дослідженого (група 1). Це становить 55% від усіх досліджених міст. Особливу увагу привертають міста в яких спостерігається різке збільшення концентрацій діоксиду азоту – Херсон, Луцьк, Донецьк, Горішні Плавні – збільшення концентрацій більше, ніж на 100%. У двох інших підгрупах – 1б та 1в – спостерігається зростання концентрацій відповідно від 51 до 100 % (6 міст) та від 11 до 50 %.

У 10 містах (20%) не виявлено тенденцій зміни рівня концентрацій діоксиду азоту в повітрі. Певні коливання концентрацій даного забруднювача з року в рік спосте-

рігаються, але їх можна охарактеризувати як статистично не значимі тенденції до зменшення чи збільшення концентрацій. Позитивним є той факт, що у 13 містах (25%) спостерігаються статистично значимі тенденції до зменшення концентрацій діоксиду азоту в атмосферному повітрі. Слід мати на увазі, що відносна стабілізація забруднення повітря (міста 2 групи) та зменшення забруднення (міста 3 групи) відбуваються в переважній більшості випадків на фоні високих абсолютних концентрацій діоксиду азоту, що перевищують ГДК. Інтенсивність цих процесів в усіх трьох групах значно відрізняється. На рис. 5 представлено ранжовані значення швидкості зміни рівня забруднення атмосферного повітря міст України діоксидом азоту (з урахуванням багаторічних тенденцій).

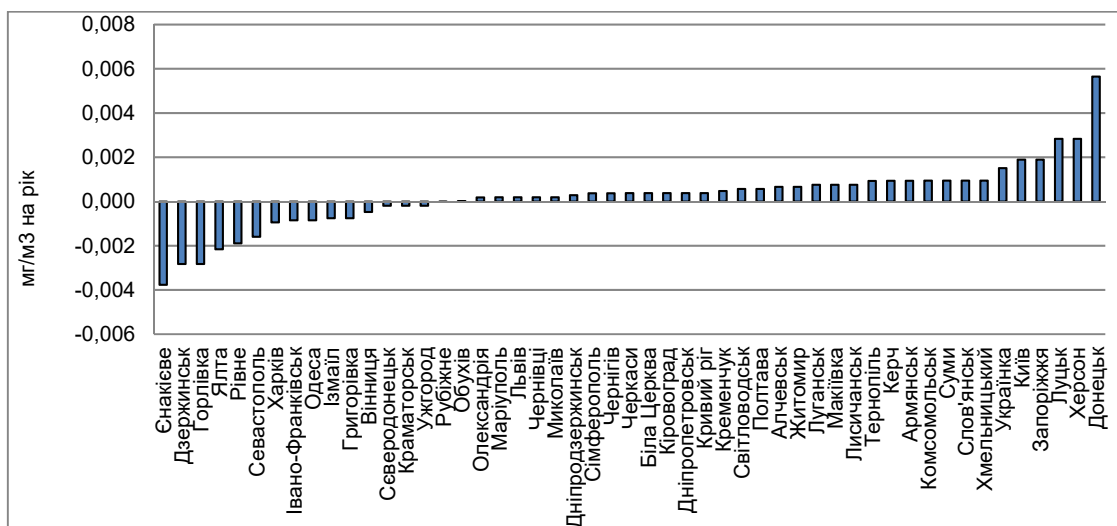


Рис. 5. Швидкості зміни рівня забруднення атмосфери діоксидом азоту в досліджуваних містах

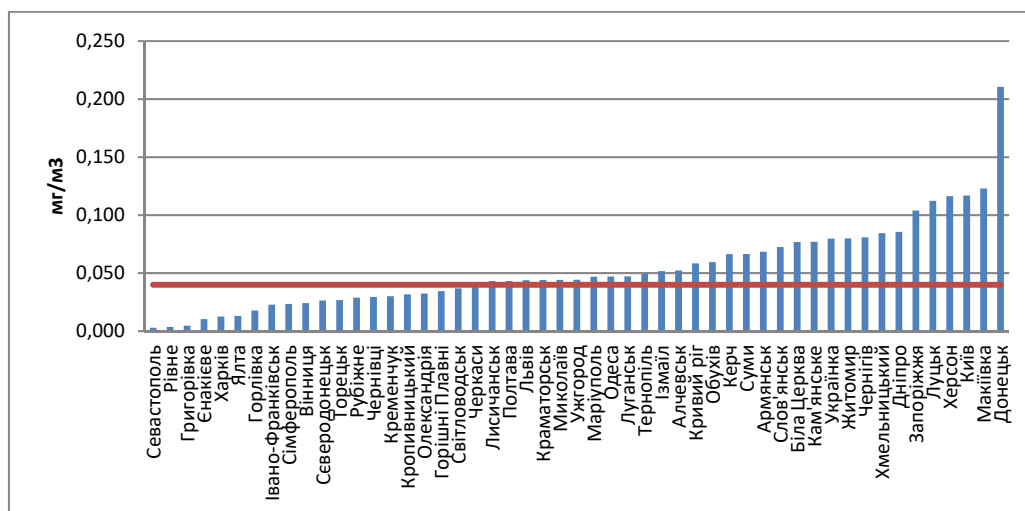
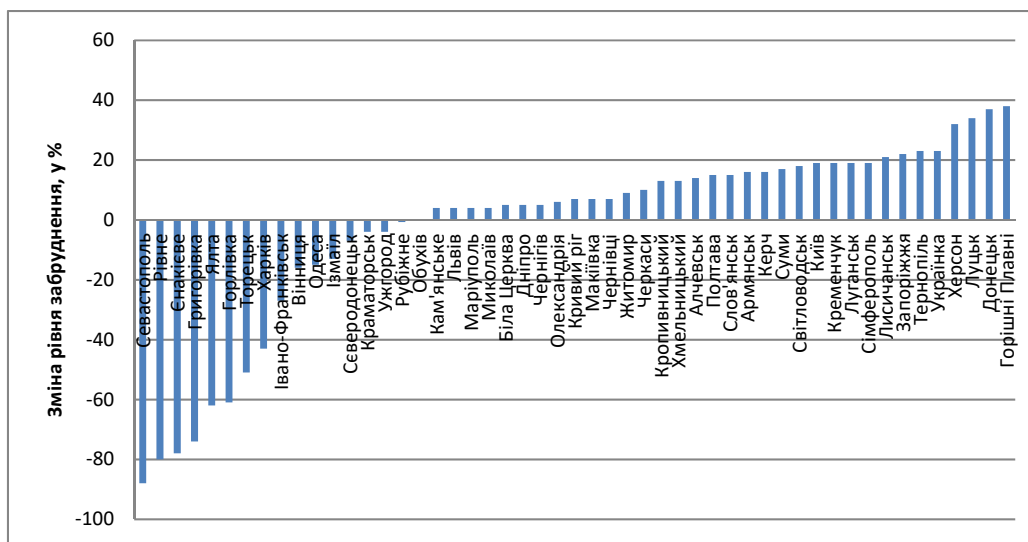
Рис. 6. Результати статистичного прогнозу рівня забруднення міст України NO₂ на 2025 рік

Рис. 7. Можлива зміна рівня забруднення атмосферного повітря у містах України у 2025 р. порівняно із 2015 р.

Таблиця 5

Розподіл міст за прогнозованим на 2025 р. рівнем забруднення (по відношенню до ГДК)		
Групи міст за прогнозованим на 2025 р. рівнем забруднення (по відношенню до ГДК)		
<1 ГДК	1-2 ГДК	>2 ГДК
Севастополь	Черкаси	Чернігів
Рівне	Лисичанськ	Хмельницький
Григорівка	Полтава	Дніпро
Єнакієве	Львів	Запоріжжя
Харків	Краматорськ	Луцьк
Ялта	Миколаїв	Херсон
Горлівка	Ужгород	Київ
Івано-Франківськ	Маріуполь	Майівка
Сімферополь	Одеса	Донецьк
Вінниця	Луганськ	
Северодонецьк	Тернопіль	
Торецьк	Ізмаїл	
Рубіжне	Алчевськ	
Чернівці	Кривий ріг	
Кременчук	Обухів	
Кропивницький	Керч	
Олександрія	Суми	
Горішні Плавні	Армянськ	
Світловодськ	Слов'янськ	
	Біла Церква	
	Кам'янське	
	Українка	
	Житомир	

Величини цього показника незначні й коливаються в межах від 0,004 до 0,008 мг/м³ на рік. Найбільші додатні значення цього показника характеризують зміну концентрацій діоксиду азоту в атмосферному повітрі таких міст, як: Донецьк, Херсон, Луцьк, Запоріжжя, Київ, Українка, а найбільші від'ємні – Єнакієве, Торецьк, Горлівка, Ялта, Рівне, Севастополь. Швидкості зміни концентрацій є досить низькими, тому помітного ефекту стосовно покращення екологічної ситуації найближчим часом очікувати не доводиться.

Якщо виявлені та проаналізовані вище сучасні тенденції зміни забруднення атмосферного повітря в Україні збережуться, то, використовуючи лінійні тренди часової динаміки концентрацій діоксиду азоту, можна виконати статистичне прогнозування концентрацій цієї домішки у повітрі на 2025 р. (рис. 6).

Звичайно ж, результати такого прогнозування можна вважати орієнтовними, ураховуючи відсутність достовірної статистичної інформації про зміну внеску різних джерел викидів у забруднення атмосфери, про впровадження природоохоронних заходів тощо.

За отриманими прогнозними даними в більшості міст України концентрації NO₂ можуть зрости на 1–38%, в значно меншій частині міст можливе зниження концентрацій від 1 до 88% порівняно з 2015 р. (рис. 7).

Згідно отриманих даних класифікація міст за рівнем забруднення повітря двоокисом азоту буде виглядати таким чином (табл. 5). Як видно з цієї таблиці, можливе збільшення кількості міст зі значним рівнем забруднення повітря (>2 ГДК) з 3 до 9. У двох інших групах міст зміни несуттєві.

Висновки. У результаті проведених досліджень оцінено сучасні рівні забруднення атмосферного повітря міст України діоксидом азоту з урахуванням діючих у державі нормативів. Залежно від рівня забруднення та оцінених тенденцій до забруднення, встановлено групи міст з різним ступенем забруднення повітря даною речовиною. Дослідження показали, що у 41% від усіх досліджених міст забезпечується допустимий рівень забруднення повітря діоксидом азоту. У 59% міст – спостерігається стабільне перевищення ГДК.

Дослідження багаторічної динаміки діоксиду азоту в повітрі показало, що збільшення його концентрацій спостерігається у 28 містах (55%) із 51. Найсуттєвіше зростання концентрацій діоксиду азоту в повітрі за період 1998–2015 рр. відбулося у Херсоні, Луцьку, Донецьку та Горішніх Плавнях.

Здійснено класифікацію міст за характером та інтенсивністю часових змін вмісту діоксиду азоту в повітрі. Результати виконаних досліджень можуть бути покладені в основу вибору об'єктів для подальшого поглибленого вивчення та аналізу особливостей формування забруднення повітря в містах України.

Статистичне прогнозування рівня забруднення повітря діоксидом азоту на 2025 р. показало, що при збереженні сучасних тенденцій в економіці та природоохоронній діяльності в більшості міст України концентрації NO₂ можуть зрости на 1–38%, а в значно меншій частині міст – можливе зниження концентрацій від 1 до 88% у порівнянні з 2015 р. Можливе збільшення кількості міст зі значним рівнем забруднення повітря (>2 ГДК).

Список використаних джерел

1. Кіптенко, Є.М., Козленко, Т.В. (2007). Вплив метеорологічних умов забруднення повітря у промислових містах України. Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія, 13, 208–216.
2. Круковская, О.Ю. (2013). Анализ динамики содержания диоксида азота в атмосферном воздухе в Беларуси. Мониторинг окружающей среды: сб. материалов II международной науч.-практ. конф. Брест, 25–27 сентября 2013 г.: в 2 ч. Брест. гос. ун-т имени А.С. Пушкина, 180–182.

3. Лоева, И.Д. (1995). Прогноз поля загрязнения воздушного бассейна города двуокисью азота. Метеорология, климатология и гидрология, 32, 107–113.
4. Лоева, И.Д., Грудев, П.Х., Демчишина, Н.М. (2004). Оцінка антропогенного навантаження на повітряний басейн м. Одеси. Метеорологія, кліматологія і гідрологія, 48, 279–286.
5. Маренко, А.Н., Гриценко, А.Н. (1986). Окислы азота в приземном слое воздуха на автомагистралях Киева. Труды УкрНИИ Госкомгидромета, 216, 46–53.
6. Маренко, А.Н., Гриценко, А.Н. (1987). Исследование смогообразующих примесей в атмосфере вблизи автомагистралей. Труды УкрНИИ Госкомгидромета, 224, 49–54.
7. Сніжко, С.І., Шевченко, О.Г. (2011). Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста. К.: Обрії.
8. Суркова, Г.В. (2002). Химия атмосферы. М.: Изд-во Московского университета.
9. Тронин, А.А., Крицук, С.Г., Латыпов, И.Ш. (2009). Диоксид азота в воздушном бассейне России по спутниковым данным. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 6, 217–223.
10. Шевченко, О.Г., Сніжко С.І., Данілова, Н.О. (2015). Забруднення атмосферного повітря міста Києва діоксидом азоту. Український гідрометеорологічний журнал, 16, 6–16.
11. Carslaw, D.C., Beevers, S.D. (2005). Development of an urban inventory for road transport emissions of NO₂ and comparison with estimates derived from ambient measurements. Atmospheric Environment, 39, 2049–2059.
12. Chaney, A.M., Cryer, D.J., Nicholl, E.J., Seakins, P.W. (2011). NO and NO₂ interconversion downwind of two different line sources in suburban environments. Atmospheric Environment, 45, 5863–5871.
13. Grice, S., Stedman, J., Kent, A., Hobson, M., Norris, J., Abbott, J. et al. (2009). Recent trends and projections of primary NO₂ emissions in Europe. Atmospheric Environment, 43 (13), 2154–2167.
14. Kessler, C., Niederau, A., Scholz, W. (2006). Estimation of NO₂/NO_x relations of traffic emissions in Baden-Württemberg from 1995 to 2005. 2nd Conference on Environment & Transport, including 15th Conference on Transport and Air Pollution. Reims, France, 12–14 June 2006. Proceedings no. 107, 2, 101–105.
15. Samoli, E., Aga, E., Touloumi, G., Nisiotis, K., Forsberg, B., Lefranc, A., et al. (2006). Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project. European Respiratory Journal, 27, 1129–1137.
16. Venn, A.J., Lewis, S.A., Cooper, M., Hubbard, R., Britton, J., (2001). Living near a main road and the risk of wheezing illness in children. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 164, 2177–2180.

References

1. Carslaw, D.C., Beevers, S.D. (2005). Development of an urban inventory for road transport emissions of NO₂ and comparison with estimates derived from ambient measurements. Atmospheric Environment, 39, 2049–2059. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.12.024>
2. Chaney, A.M., Cryer, D.J., Nicholl, E.J., Seakins, P.W. (2011). NO and NO₂ interconversion downwind of two different line sources in suburban environments. Atmospheric Environment, 45, 5863–5871. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.070>
3. Grice, S., Stedman, J., Kent, A., Hobson, M., Norris, J., Abbott, J., et al. (2009). Recent trends and projections of primary NO₂ emissions in Europe. Atmospheric Environment, 43 (13), 2154–2167. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.01.019>
4. Kessler, C., Niederau, A., Scholz, W. (2006). Estimation of NO₂/NO_x relations of traffic emissions in Baden-Württemberg from 1995 to 2005. 2nd Conference on Environment & Transport, including 15th Conference on Transport and Air Pollution. Reims, France, 12–14 June 2006. Proceedings no. 107, 2, 101–105.
5. Kiptenko, E.M. (2007). The influence of meteorological conditions of air pollution in the industrial cities of Ukraine. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology, 13, 208–216. [in Ukrainian]
6. Krukovskaja, O.U. (2013). Analysis of the dynamics of nitrogen dioxide in the air in Belarus. Environmental Monitoring: Sat. Materials II international scientific-practical. Conf. Brest, September 25–27, 2013: at 2 pm Brest. state. University of A.S. Pushkin, 180–182. [in Russian]
7. Loeva, I.D. (1995). Forecast of the air pollution zone of the city by nitrogen dioxide. Meteorology, climatology and hydrology. Extract, 32, 107–113. [in Russian]
8. Loieva, I.D., Hrudiev, P.Kh., Demchyshyna, N.M. (2004). Assessment of anthropogenic load on the air basin of Odesa. Meteorology, climatology and hydrology, 48, 279–286. [in Ukrainian]
9. Marengo, A.N., Hrytsenko, A.N. (1986). Nitrogen oxides in the surface layer of air on the highways of Kyiv. Work-Ukr NII Goskomgidromet, 216, 46–53. [in Russian]
10. Marengo, A.N., Hrytsenko, A.N. (1987). Investigation of smog-forming impurities in the atmosphere near highways. Works Ukr NII Goskomgidromet, 224, 49–54. [in Russian]
11. Samoli, E., Aga, E., Touloumi, G., Nisiotis, K., Forsberg, B., Lefranc, A., et al. (2006). Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project. European Respiratory Journal, 27, 1129–1137. <https://doi.org/10.1183/09031936.06.00143905>
12. Shevchenko, O.H., Snizhko, S.I., Danilova, N.O. (2015). The atmospheric air pollution of the city of Kyiv by nitrogen dioxide. Ukrainian Hydrometeorological Journal, 16, 6–16. [in Ukrainian]
13. Snizhko, S.I., Shevchenko, O.H. (2011). Meteorological aspects of air pollution of urban areas. K.: Obrii. [in Ukrainian]

14. Surkova, H.V. (2002). Atmospheric Chemistry. Moscow: Publishing House of Moscow University. [in Russian]

15. Tronyn, A.A., Krytsuk, S.H., Latypov, Y.Sh. (2009). Nitrogen dioxide in the air basin of Russia by satellite data. Modern problems of remote sensing of the Earth from space, 6, 217-223. [in Russian]

16. Venn, A.J., Lewis, S.A., Cooper, M., Hubbard, R., Britton, J. (2001). Living near a main road and the risk of wheezing illness in children. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 164, 2177-2180. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.164.12.2106126>

Надійшла до редколегії 17.10.17

Y. Yatsenko, PhD student,

E-mail: juliyatsenko@meta.ua

O. Shevchenko, PhD (Geogr.), Associate Professor,

E-mail: olga.s.meteo@gmail.com, Тел. +38044-521-32-86

S. Snizhko, Dr. Sci. (Geogr.), Professor,

E-mail: tempo2007@meta.ua, Тел. +38044-521-32-86

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Geography

2 Acad. Glushkova Ave., Kiev, MVP – 680, Ukraine

ASSESSMENT OF AIR POLLUTION LEVEL OF NITROGEN DIOXIDE AND TRENDS OF IT CHANGES IN THE CITIES OF UKRAINE

The purpose of the work is to study the current level and the main trends of atmospheric air pollution of the cities of Ukraine with nitrogen dioxide to identify the most polluted cities, their ranking to determine the list of cities for the priority implementation of environmental measures.

For the purpose of the study, the information of the Central Geophysical Observatory on the average annual concentrations of nitrogen dioxide in the air of 51 cities of Ukraine for the period 1998-2015 was used.

The study used the classical methods of applied mathematical statistics (estimation of statistical parameters of distribution of concentrations, construction of time trends on the method of least squares, graphical methods of visualization of levels of air pollution), which were implemented using the available programs "MS-Excel" and "Statistica-8.0".

The classification of cities according to the level of MPC exceeds average annual concentrations of nitrogen dioxide. 3 groups of cities were allocated: 1 group (21 cities) permissible level of pollution (<1 MPC); 2 group (27 cities) – increased level of pollution (1-2 MPC); group 3 (3 cities) – high level of pollution (2-3 MPC). It has been established that in the air of 21 cities (41% of all cities where nitrogen dioxide is monitored in the atmosphere) of 51 cities, there is an acceptable level of air pollution. In the remaining cities (59%) – there is a stable excess of MPC. In 23 cities, even the minimum concentrations of NO₂ exceed the permissible standards.

The study of long-term dynamics of nitrogen dioxide in air has shown that the increase of concentrations of this pollutant for 1998-2015 is observed in 28 cities (55%) of 51. The most significant increase in concentrations in the air occurred in Kherson, Lutsk, Donetsk and Gorishni Plavni. In 13 cities reduction of concentrations was recorded, and in 10 cities the content of this pollutant in the air practically does not change.

Keywords: air pollution, nitrogen dioxide, exceeding of maximum allowable concentration, air pollution level dynamics.

Ю. Яценко, асп., E-mail: juliyatsenko@meta.ua

О. Шевченко, канд. геогр. наук, доц.,

E-mail: olga.s.meteo@gmail.com, Тел. +38044-521-32-86

С. Сnižко, д-р геогр. наук, проф.,

E-mail: tempo2007@meta.ua, Тел. +38044-521-32-86

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Географический факультет

Пр. акад. Глушкова, 2, г. Киев, МВП – 680, Украина

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО УРОВНЯ И ТЕНДЕНЦИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДОВ УКРАИНЫ ДВУОКИСЬЮ АЗОТА

Объективная информация об уровне загрязнения атмосферного воздуха является основой для проведения мероприятий по охране воздушного бассейна городов с целью обеспечения экологически безопасных условий для проживания населения и совершенствования системы мониторинга окружающей среды.

Целью работы является исследование современного уровня и основных тенденций загрязнения атмосферного воздуха городов Украины диоксидом азота для выявления наиболее загрязненных городов, их ранжирование для определения перечня городов для приоритетного внедрения экологических мероприятий.

Для выполнения исследования использована информация Центральной геофизической обсерватории о среднегодовых концентрациях диоксида азота в воздухе 51 города Украины за период 1998–2015 гг.

Для исследования применялись классические методы прикладной математической статистики (оценка статистических параметров распределения концентраций, построение временных трендов по методу наименьших квадратов, графические методы визуализации уровней загрязнения воздуха), которые были реализованы с помощью доступных программ "MS-Excel" и "Statistica-8.0".

Разработана классификация городов по уровню превышения ПДК средними годовыми концентрациями диоксида азота. Выделены 3 группы городов: 1 группа (21 город) допустимый уровень загрязнения (<1 ПДК); 2 группа (27 городов) – повышенный уровень загрязнения (1–2 ПДК); 3 группа (3 города) – высокий уровень загрязнения (2–3 ПДК). Установлено, что в воздухе 21 города (41% от всех городов, в которых осуществляется мониторинг диоксида азота в атмосфере) из 51 испытуемого, обеспечивается допустимый уровень загрязнения воздуха данным веществом. В остальных городах (59%) – наблюдается стабильное превышение ПДК. В 23 городах даже минимальные концентрации NO₂ превышают допустимые нормы.

Исследование многолетней динамики диоксида азота в воздухе показало, что увеличение концентраций данного загрязнителя за 1998–2015 гг. наблюдается в 28 городах (55%) из 51. Существенный рост концентраций в воздухе произошел в Херсоне, Луцке, Донецке и Горишних Плавнях. В 13 городах зафиксировано снижение концентраций, а в 10 – содержание данного загрязнителя в воздухе практически не меняется.

Осуществлена классификация городов по характеру и интенсивности временных изменений содержания диоксида азота в воздухе. Результаты выполненных исследований могут стать основой для выбора объектов для дальнейшего углубленного изучения и анализа особенностей формирования загрязнения воздуха в городах Украины.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, двуокись азота, превышение предельно-допустимой концентрации, динамика уровня загрязнения.