

УДК 551.510.42

О.Г.Шевченко, к. геогр. н.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ВПЛИВ ІНВЕРСІЙ НА РІВЕНЬ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА КИЄВА

Досліджено вплив різних видів інверсії та безінверсійного стану атмосфери на концентрації двоокису сірки та двоокису азоту в атмосферному повітрі міста Києва.

Ключові слова: атмосферне повітря, забруднення атмосферного повітря, інверсії

Постановка проблеми. Шкідливі речовини, потрапляючи в атмосферу, зазнають фізико-хімічних перетворень, розсіюються і вимиваються з неї. Саме тому рівень забруднення приземних шарів повітря характеризується значною мінливістю у просторі і часі. Ці зміни пов'язані з розташуванням, характером і потужністю джерел домішки, режимом їх діяльності та метеорологічними умовами. Серед метеорологічних умов особлива увага приділяється вітровому режиму і температурній стратифікації атмосфери – як найсуттєвішим факторам впливу на якість атмосферного повітря міст.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження впливу інверсій температури на рівень забруднення повітря великих міст були започатковані Е.Ю. Безуглою [1], Л.Р. Сонькіним [2] та М.Є. Берляндом [3, 4] ще наприкінці 60-х – на початку 70-х рр. минулого століття. Ними були визначені основні закономірності впливу приземних та припіднятих інверсій на викиди, що надходять в атмосферне повітря міста від різних видів джерел. Вплив інверсій на формування високих рівнів забруднення окремих міст України був проаналізований співробітниками УкрНДГМІ [5–7]. Такі дослідження, зокрема, були проведені і для Києва. Проте, якщо врахувати, що за тридцять років, що пройшли від часу їх проведення, в Києві змінилося співвідношення між вкладом різних видів джерел у забруднення атмосферного повітря міста та значно зросли обсяги викидів, то стає очевидною необхідність проведення нових досліджень в даному напрямку для уточнення та, можливо, корегування результатів попередніх досліджень з урахуванням сучасних умов.

Формулювання цілей статті. Головним завданням даної статті є дослідження впливу інверсійних шарів та безінверсійного стану атмосфери на рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва двоокисом сірки та двоокисом азоту і встановлення основних закономірностей розсіювання забруднюючих домішок в приземному шарі атмосфери за різної її стратифікації.

Матеріали і методи досліджень. Для дослідження впливу інверсій на якість атмосферного повітря міста Києва були використані матеріали спостережень Центральної геофізичної обсерваторії (ЦГО) по 5 стаціонарних постах спостереження за забрудненням (ПСЗ) та дані аерологічних спостережень в 00 та 12 годин за 2003–2004 рр. на аерологічній станції „Київ”. Вибір домішок ґрунтується на тому, що двоокис сірки та двоокис азоту належать до чотирьох основних забруднюючих домішок, а також на тому, що спостереження за цими домішками проводяться в строки, що співпадають з часом проведення аерологічних спостережень. Пості, дані про

концентрації забруднюючих домішок яких були використані, розміщені у різних районах міста та характеризуються різним рівнем антропогенного навантаження: ПСЗ № 1 (перетин вул. Стражеска з бульваром Івана Лепсе, Борщагівка), ПСЗ № 2 (вул. Довженка, поблизу ст.м. Шулявська), ПСЗ № 3 (вул. Попудренка, неподалік від ст.м. Чернігівська, Лівобережна частина міста), ПСЗ № 5 (проспект Науки, 37) та ПСЗ № 20 (Московська площа).

Окремо розглянуті випадки безінвесійного стану, приземних та припіднятих інверсій. В якості показника рівня забруднення атмосферного повітря за певних метеоумов, використовувався параметр Q , розрахунки якого проводяться шляхом нормування строкових спостережень на середню концентрацію домішки за сезон (по кожному посту спостережень). Оцінити вплив інверсій на рівень забруднення атмосферного повітря за допомогою даного параметра складно. Це пов'язано з тим, що аерологічні спостереження проводяться лише двічі на добу, отже, маємо дані про розподіл температури з висотою в 00 та о 12 год. В добовому ході основних забруднюючих домішок в денні години, як правило, спостерігаються дещо вищі концентрації, порівняно з нічними. Тому з метою отримання більш достовірних та об'єктивних результатів, вирішено розрахувати параметр Q окремо для дня та ночі та в подальшому оцінювати вплив інверсій за допомогою повторюваності підвищеного рівня $Q_{\text{день}}$ та $Q_{\text{ніч}}$. Особливістю розрахунку даного параметра є те, що строкові спостереження нормуються на усереднену концентрацію за 13 годину відповідного сезону (для розрахунку $Q_{\text{день}}$) та відповідно за 01 год. (для розрахунку $Q_{\text{ніч}}$).

Результати дослідження та їх аналіз. Зменшення температури з висотою прийнято вважати нормальним для тропосфери, а її збільшення – відхиленням від нормального стану. Розподіл температури з висотою, коли спостерігається її збільшення, називається температурною інверсією. Інверсії впливають на розвиток різноманітних атмосферних процесів, зокрема перешкоджають розвитку висхідних течій повітря (інверсійним шарам властива найстійкіша стратифікація). Інверсія характеризується висотою нижньої межі інверсійного шару, його товщиною і так званою глибиною інверсії, тобто різницею температур на верхній та нижній межах шару. За висотою нижньої межі інверсії поділяються на приземні та припідняті.

Перш ніж, аналізувати вплив інверсій на якість повітря, розглянута повторюваність різних видів інверсій в атмосфері м. Києва (табл. 1).

Таблиця 1 – Повторюваність (%) різних видів інверсій протягом 2003–2004 рр.

Рік	2003		2004	
	00 годин	12 година	00 годин	12 година
Приземна	14,0	0,6	7,0	0,0
Припіднята	62,7	60,6	66,9	51,7%
Без інверсій	23,3	38,8	26,1	48,3

За даними табл. 1 з усіх випадків найбільшою повторюваністю як у денні, так і в нічні години характеризуються припідняті інверсії. Повторюваність приземних інверсій є найменшою і коливається в межах 14 – 7% в нічні години. В денні строки спостережень 2004 р. інверсії взагалі не спостерігалися, 2003 р. їх повторюваність була дуже малою і становила 0,6%. Низька повторюваність приземних інверсій у денні строки була відмічена ще Л.І. Сакалі [8], який вивчав клімат міста в 70-х рр. минулого сторіччя. Він також зазначає, що стійкість приземного шару атмосфери зазнає суттєвих змін протягом доби, і ймовірність збереження незмінної стратифікації протягом

тривалого часу дуже мала. Це свідчить про те, що Київ характеризується хорошими природними умовами провітрювання своєї території.

Вплив інверсій на забруднення повітря важко оцінити однозначно. З одного боку, при стійкій стратифікації в нижніх шарах повітря будуть накопичуватися домішки, що надходять від низьких холодних джерел. В той же час стійкість може стати перешкодою для проникнення в нижні шари домішок, що надходять в атмосферу від високих промислових викидів. При нестійкій стратифікації може спостерігатися протилежний процес: розсіяння домішок від низьких джерел і надходження в нижні шари повітря домішок від високих джерел. М.С. Берлянд [3] своїми дослідженнями доводить, що за наявності приземних і припіднятих інверсій забруднення повітря в приземному шарі зростає в 1,5–2 рази, у випадку припіднятої інверсії воно зростає зі зниженням висоти нижньої межі інверсії. Висота нижньої межі припіднятих інверсій впливає на накопичення в атмосферному повітрі домішок від високих джерел. У випадку розташування припіднятої інверсії над джерелами викидів (особливо високими) відбувається збільшення максимальної приземної концентрації на 50–75 %, а інколи більш ніж на 100 % [4]. І.Н. Пономаренко, О.І. Щепець та Д.К. Огановская [7] зазначають, що особливістю впливу припіднятої інверсії на формування рівня забруднення атмосферного повітря є те, що накопичення домішок в приземному шарі залежить не лише від висоти нижньої межі, але і від потужності інверсії. Чим більша потужність інверсії, тим більша допустима висота можливого впливу їх нижньої межі на концентрації домішок в діяльному шарі.

Для характеристики якості атмосферного повітря в ті періоди, коли інверсії не спостерігалися розрахована повторюваність (у %) випадків зниженого рівня забруднення. Результати розрахунків представлені в таблиці 2. Варто зазначити, що на ПСЗ № 3 спостереження за двоокисом азоту у відповідні строки не проводяться.

Таблиця 2 – Повторюваність (%) випадків зниженого рівня забруднення в м. Києві при нормально стратифікованій атмосфері

Домішка	SO ₂		NO ₂	
	Безінверсійний стан	Безінверсійний стан 2 строки підряд	Безінверсійний стан	Безінверсійний стан 2 строки підряд
ПСЗ 1	55,3	60,4	59,0	64,1
ПСЗ 2	57,1	64,4	57,1	57,8
ПСЗ 3	40,0	45,7		
ПСЗ 5	66,7	70,7	57,9	64,1
ПСЗ 20	58,7	60,9	54,2	54,3
В середньому по місту	55,6	60,4	57,1	60,1

З даних табл. 2 видно, що при безінверсійному стані атмосфери повторюваність випадків знижених концентрацій двоокису сірки на окремих ПСЗ міста коливається в межах 40,0–66,7 %, в середньому по місту – 55,6 %. Для двоокису азоту повторюваність випадків зниженого рівня забруднення в середньому по місту становить 57,1 %, і коливається в межах 57,1 % до 59,0 %. Нами були розглянуті ситуації, коли інверсії не спостерігалися протягом двох строків спостережень (тобто – протягом доби). Для цих випадків також були розраховані значення параметра Q та повторюваність зниженого рівня забруднення. Проведені розрахунки свідчать, що для

двоокису сірки на всіх ПСЗ повторюваність зниженого рівня забруднення при безінверсійному стані атмосфери протягом двох строків спостережень є вищою на 2,2–7,3 %. Для двоокису азоту зі збільшенням тривалості безінверсійного стану атмосфери повторюваність випадків зниженого рівня забруднення суттєво збільшується лише на ПСЗ № 1 та № 5 (5,1 та 6,2 % відповідно), на інших досліджуваних постах відбувається збільшення менш ніж на 1 %.

Окремо розглянуті випадки приземних та припіднятих інверсій для оцінки їх впливу на стан атмосферного повітря. Питання впливу приземних інверсій на забруднення повітря міст досліджено в меншій мірі. Е.Ю. Безуглая [1] зазначає, що сильно розвинуті приземні інверсії є небезпечними в першу чергу для міст, в яких велика кількість низьких джерел забруднення повітря. Розрахунки повторюваності випадків підвищеного рівня забруднення при приземних інверсіях представлено в табл. 3 (слід зазначити, що в даному випадку під приземними інверсіями розуміємо інверсії з висотою основи до 10 метрів (включно) [1]).

Таблиця 3 – Повторюваність (%) випадків підвищеного рівня забруднення у м. Києві при приземних інверсіях температури

Домішка	ПСЗ № 1	ПСЗ № 2	ПСЗ № 5	ПСЗ № 20
SO ₂	39,2	64,4	41,1	37,3
NO ₂	47,5	47,4	50,8	48,1

Отримані результати свідчать (табл. 3), що наявність приземної інверсії в атмосфері міста не обов'язково призводить до високих рівнів забруднення повітря. Для двоокису сірки повторюваність підвищених концентрацій при приземних інверсіях на більшості ПСЗ є невисокою і коливається в межах 37,3 – 41,1 % і лише на ПСЗ № 2 ця величина сягнула 64,4 %. Для двоокису азоту повторюваність випадків підвищених концентрацій є дещо вищою і коливається в межах 47,4–50,8 %. Повторюваність випадків підвищеного забруднення для двоокису азоту є вищою в середньому на 10 % порівняно з двоокисом сірки (за виключенням ПСЗ № 2, де спостерігається протилежна ситуація). Вища повторюваність випадків підвищеного рівня забруднення двоокисом азоту пояснюється перш за все надходженням даної домішки в атмосферу від автомобільного транспорту (57 %), викиди якого належать до низьких холодних джерел, водночас надходження двоокису сірки (78 %) пов'язано передусім із викидами високих труб промислових підприємств.

Невисока повторюваність випадків підвищеного забруднення для обох домішок, очевидно, пояснюється тим, що в переважній більшості випадків приземні інверсії, що спостерігалися в Києві протягом 2003–2004 рр., супроводжувалися вітрами середньої швидкості – 2–3 м/с, а не штилем чи швидкістю 1 м/с як це потрібно для формування застійних явищ. З усіх досліджуваних приземних інверсій лише 33 % супроводжувалися швидкостями вітру 0–1 м/с. Прикметно, що майже всі приземні інверсії спостерігалися в строк спостереження 00 год., коли надходження забруднюючих речовин в атмосферу міста є значно меншим, ніж у денні години. В роботі [6] зазначається, що вплив інверсій та безінверсійного стану атмосфери на забруднення повітря добре простежується лише в тих випадках, коли вони спостерігаються протягом всього дня. Протягом 2004 р. у м. Києві не було зафіксовано жодного випадку приземної інверсії, що зберігалася б протягом доби.

Для оцінки впливу припіднятих інверсій на формування рівня забруднення атмосферного повітря м. Києва відібрані температурні інверсії нижнього 500-метрового

шару атмосфери (тобто – інверсії з основою від 10 до 500 м). В роботах багатьох авторів [1, 2, 5] саме цей діапазон висот основи інверсії використовується для дослідження впливу припіднятих інверсій на стан якості атмосферного повітря. О.І. Колядою [9] в результаті проведення детального аналізу висот всіх стаціонарних джерел забруднення атмосфери м. Києва, виявлено, що основні викиди шкідливих речовин здійснюються на висоті до 49 м. Винятком є труби кількох промислових підприємств, що здійснюють викиди на дещо більшій висоті (до них належить і труба ТЕЦ-6, що є найвищою в Києві і досягає 270 м). Тому вплив припіднятих інверсій на рівень забруднення атмосферного повітря доцільно розглянути для інверсій двох груп – з висотою основи 10–250 м та 251–500 м (табл. 4).

Таблиця 4 – Повторюваність (%) випадків підвищеного рівня забруднення атмосферного повітря у м. Києві за припіднятих інверсій температури

Пости	Інверсії з основою 10–251 м		Інверсії з основою до 251–500 м	
	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂
ПСЗ № 1	50,0	53,1	50,0	41,7
ПСЗ № 2	49,4	45,7	44,4	36,1
ПСЗ № 5	42,9	70,4	44,4	61,1
ПСЗ № 20	39,4	52,1	63,9	33,3

Як видно з таблиці, повторюваність випадків підвищеного рівня забруднення досліджуваними домішками при припіднятих інверсій температури є невисокою. Для двоокису азоту підвищені концентрації частіше формуються під впливом інверсій з висотою основи 10–251 м, що, очевидно, пов'язано з надходженням даної домішки переважно від автомобільного транспорту, що належить до низьких холодних джерел. Повторюваність випадків підвищення рівня забруднення атмосферного повітря двоокисом азоту при інверсіях з висотою основи від 10 до 250 м на 9,3 – 18,8 % вища, ніж при інверсіях з основою 251–500 м. Повторюваність підвищених концентрацій двоокису сірки не має чіткої прив'язки до інверсій з певною висотою основи – на ПСЗ № 1 повторюваність випадків підвищеного забруднення є однаковою для обох груп інверсій, на ПСЗ № 2 підвищені рівні забруднення частіше спостерігаються при інверсіях з висотою основи 10–250 м, на ПСЗ № 5 та № 20 – при інверсіях з висотою основи 251– 500 м.

Висновки. Таким чином, було встановлено, що для Києва наявність інверсійних шарів в атмосфері не завжди призводить до погіршення якості повітря. Повторюваність випадків підвищеного рівня забруднення двоокисом сірки та двоокисом азоту при припіднятих інверсіях температури є невисокою. Це пов'язано з тим, що припідняті інверсії, як правило, призводять до підвищення рівня забруднення повітря в містах, в яких забруднюючі речовини надходять переважно від високих джерел – Київ до таких міст не належить. Повторюваність випадків підвищених рівнів забруднення за наявності в атмосфері приземних інверсій також є невисокою, що, очевидно, пов'язано з супутніми чинниками – лише 33 % випадків досліджуваних приземних інверсій

супроводжувалося швидкістю вітру 0–1 м/с (тобто, спостерігалися застої повітря), також для Києва характерне швидке руйнування інверсій, тому домішки не встигають накопичитися в приземному шарі до небезпечних концентрацій.

Список літератури

1. Безуглая Э.Ю. Инверсии нижней тропосферы и их влияние на загрязнение воздуха в г. Москве // Труды ГГО. – 1968. – Вып.207. – С.202–207.
2. Сонькин Л.Р., Матвеева Т.М. Некоторые особенности формирования температурных профилей в нижнем 500-метровом слое над ЕТС // Труды ГГО. – 1968. – Вып.207. – С. 133–138.
3. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
4. Берлянд М.Е. Об опасных условиях загрязнения атмосферы промышленными выбросами // Труды ГГО. – 1966. – Вып. 185. – С.15–26.
5. Раменский Л.А., Черкасова О.Г. Аэроклиматическая характеристика потенциала загрязнения воздуха в районе Кривого Рога // Труды УкрНИГМИ. – 1976. – Вып.147. – С.62–67.
6. Пономаренко И.Н., Огановская Д.К., Глуценко З.И., Гавриленко Л.И., Сидоренко Л.И. О метеорологической обусловленности загрязнения воздуха // Труды УкрНИГМИ. – 1979. – Вып.176. – С.83–95.
7. Пономаренко И.Н., Щенец О.И., Огановская Д.К. Аэросиноптические условия высоких уровней общего загрязнения воздуха в Киеве // Труды УкрНИГМИ. – 1977. – Вып.154. – С.89–99.
8. Климат Киева / под ред. Л.И. Сакали. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 288 с.
9. Коляда О.И. К вопросу исследования загрязнения атмосферного воздуха в Киеве // Труды УкрНИИ Госкомгидромета. – 1984. – Вып.202. – С.109-112.

Влияние инверсий на уровень загрязнения атмосферного воздуха города Киева. Шевченко О.Г.

Исследовано влияние разных видов инверсий и безинверсионного состояния атмосферы на концентрации двуокиси серы и двуокиси азота в атмосферном воздухе города Киева.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязнение атмосферного воздуха, инверсии.

The influence of inversion layer on the atmosphere pollution level in Kiev city. Olga Shevchenko.

There are analyzed the influence of different kinds of temperature inversions and normal atmosphere stratification on nitrogen dioxide and sulfur dioxide concentrations in Kiev city atmosphere.

Keywords: atmospheric air, air pollution, inversion.