

МОНІТОРИНГ І СТАН ДОВКІЛЛЯ

УДК:551:510:534

Р. І. Банах, І. В. Дворецька, А. П. Уманець,
М. В. Савенець

ЗМІНИ ДОБОВОГО ХОДУ ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ НАД КИЄВОМ У СУЧАСНИЙ ПЕРІОД

Визначено добовий хід загального вмісту озону в м. Києві в різні сезони та основні фактори, що впливають на нього. Досліджено багаторічну динаміку добового ходу загального вмісту озону та чинники, що викликали зміни в добовому ході.

Ключові слова: загальний вміст озону (ЗВО), добовий хід, розмах добових коливань, динаміка загального вмісту озону.

В атмосфері озон концентрується у вигляді сферичного шару над поверхнею Землі. Товщина його становить близько 100 км, з найбільшою щільністю на висоті 18-20 км. Озон за висотою умовно розподіляють на приземний, тропосферний і стратосферний. Надалі аналізується вміст озону у вертикальному стовпі атмосфери або вміст озону в атмосфері (сумарний озон) [2, 4, 5, 7]. Значення озону полягає в його здатності поглинати ультрафіолетове випромінювання Сонця з довжинами хвиль до 300 нм. Величина ЗВО у вертикальному стовпі повітря – це основна характеристика атмосферного озону. Стратосферний озон контролюється сіткою наземних озонотричних станцій та супутниковими приладами. Під час спостережень за озоном особливу увагу приділяють ситуаціям, що характеризуються інтенсивним і тривалим зниженням загального вмісту озону – «озоновим діркам». Озоною аномалією вважається випадок, коли відхилення (ΔX) між виміряним значенням ЗВО та кліматичною нормою для даного дня і конкретних географічних координат становить $2,5\sigma$ і більше, де σ – середнє квадратичне відхилення. Випадок, коли $2\sigma \leq \Delta X \leq 2,5\sigma$, належить до розряду критичних ситуацій [1, 2, 5]. Слід зазначити, що різниця може бути як позитивною, так і негативною, що відповідає надлишку або нестатку озону. Тому озонові аномалії включають періоди не тільки з великим

дефіцитом озону, але й з його надлишком, оскільки останні також належать до несприятливого впливу на біосферу та здоров'я людини [2, 3, 4, 5].

ЗВО залежить від географічних координат місця спостереження, сезону, часу доби й багатьох процесів, які відбуваються в атмосфері [7, 8, 10]. Тому для приземної концентрації озону характерна велика просторова та часова мінливість. Для міських умов ріст та стік озону пов'язані з антропогенною діяльністю, а для фонових концентрацій на перший план виходять природні процеси. Тому під час проведення вимірювань та оцінки тенденцій зміни озону необхідний не тільки аналіз його вимірювань, але й стан синоптичної ситуації [8, 11].

На відміну від річного ходу загального вмісту озону, його добовим коливанням приділялось набагато менше уваги. Проте останнім часом виникла необхідність дослідження короткострокових змін вмісту озону та їх реакції на антропогенну діяльність. *Метою* цього дослідження є аналіз сучасного добового ходу вмісту озону та порівняння його характеристик для різних сезонів. *Актуальність* роботи полягає в необхідності виділення фонових показників добового ходу, що надалі може бути використано для визначення антропогенного впливу на концентрацію озону у великому місті.

Вимірювання загального вмісту озону (ЗВО) регулярно проводяться в Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті (УкрНДГМІ) озонетром М-124 з грудня 1989 р. Інтервал добових спостережень є різним для різних пір року. Так, у теплий період виміри проводяться 7 разів на добу з 10 до 16 години за місцевим часом з інтервалом 1 година. Враховуючи той факт, що всі виміри проводяться тільки за висоти Сонця більше ніж 10° , кількість вимірів у холодний період зменшується і становить 5 разів з 10 до 14 години за київським часом. Виняток становлять дні з хмарністю, коли загальний бал виходить за межі допустимих значень, а також за наявності опадів. Таким чином, всі результати вимірювань вмісту озону на станції охоплюють тільки світлу частину доби за високих кутів Сонця і, тому не можуть повною мірою відображати добові коливання, проте дискретність вимірів (1 година) дає можливість проаналізувати денні зміни. Саме у світлу частину доби відбуваються озонотворні та озоноруйнівні процеси та основні характеристики добових коливань вмісту озону формуються саме

в ці години. Надалі ми будемо називати ці денні зміни добовим ходом, хоча ці поняття і не є повністю тотожними.

Як зазначено вище, станцію Київ було відкрито в 1989 році і на той момент було прийнято щодобово осереднювати виміряні значення вмісту озону, не акцентуючи увагу на його добовому ході. Таким чином, для дослідження саме добової динаміки концентрації озону в атмосфері над м. Києвом було використано ряд даних спостережень з 1997 року по 2012 р. включно. Проте, зважаючи на різницю кількості вимірів для різних періодів, а також з метою визначення закономірностей формування добового ходу загального вмісту озону в різні періоди, всі дослідження проводились окремо для січня і липня.

Значення добового ходу загального вмісту озону в атмосфері над м. Києвом було отримано шляхом помісячного (окремо для січня й липня) осереднення виміряних на станції значень окремо для кожної години.

Розглянемо особливості добового ходу загального вмісту озону в липні та січні (рис. 1).

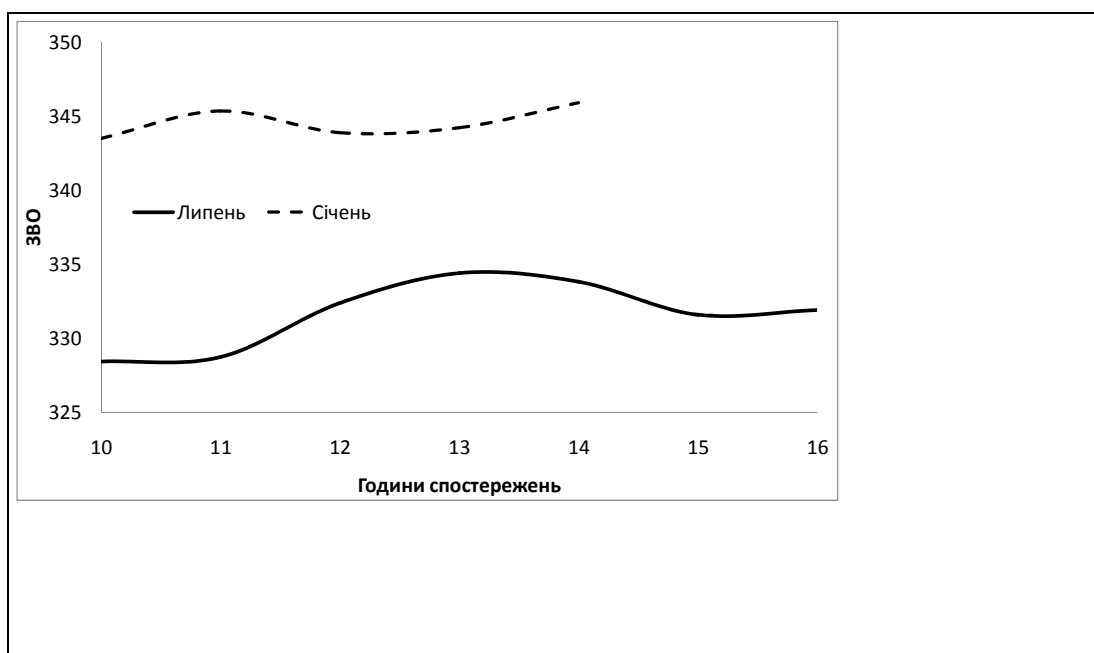


Рис. 1. Добовий хід загального вмісту озону в січні та липні на ст. Київ за всі роки спостережень

Як видно з графіків, середні значення вмісту озону для кожного часового інтервалу в січні є істотно вищими за липневі значення. Такі відмінності пояснюються особливостями сезонних змін загального вмісту озону в місті Києві (рис. 2). Загалом, у добовому ході липневих значень

загального вмісту озону над м. Києвом мінімальні значення спостерігаються о 10-11 годині ранку, а максимальні – після 12:30. Наявність менших значень у вранішні години пов'язана з руйнуванням озону внаслідок надходження сонячної радіації [2, 5, 7].

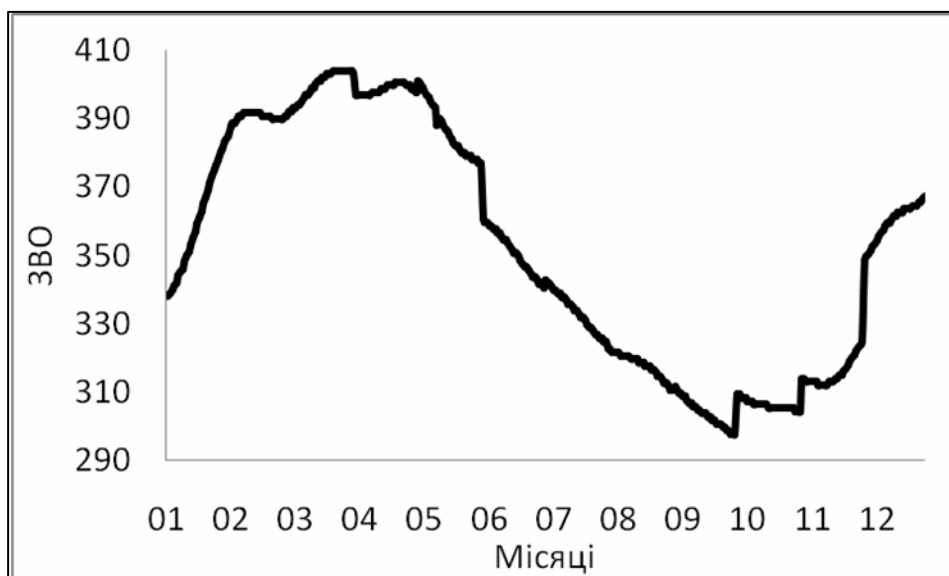


Рис. 2. Кліматичні норми загального вмісту озону в м. Києві

Варто звернути увагу на те, що для більшості даних значення вмісту озону о 10 годині ранку є більшими (рис. 3), ніж об 11:00.

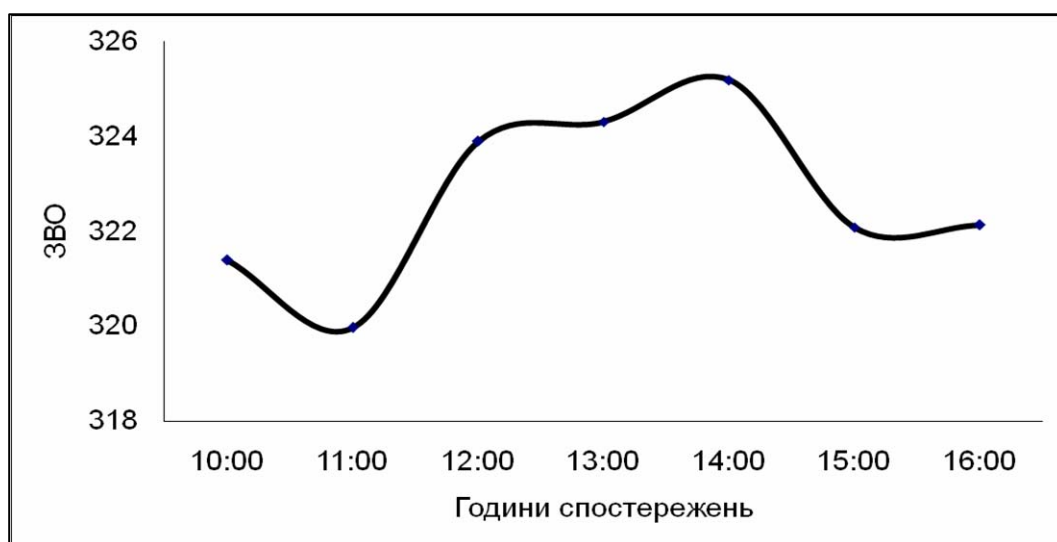


Рис. 3. Добовий хід ЗВО в липні 2011 р.

Це можна пояснити двома причинами: явищем опускання лінзи озону, згаданим у [6], яке формується вночі в літню пору над містом у результаті фотохімічних перетворень, що спричинює збільшення концентрації, та

тим, що процес руйнування озону тільки починається. Мінімум об 11 год є результатом посилення руйнування озону та його недостатньою компенсацією. На відміну від добового ходу вмісту озону в липні, хід вмісту озону протягом доби в січні є менше вираженим. Це є наслідком, по-перше, недостатньої кількості даних вимірювань, адже в разі малих висот Сонця спостереження не проводяться. По-друге, динаміка загального вмісту озону досить сильно залежить від циркуляційних процесів, які в зимовий період характеризуються значною нестійкістю. Таким чином, різноспрямовані відхилення вмісту озону, викликані змінами циркуляції, гасяться під час осереднення [5, 8].

Як видно з рис. 1, добовий хід загального вмісту озону в січні характеризується наявністю максимуму об 11 годині ранку, що пов'язано зі збільшенням висоти Сонця та утворенням озону. Подальші зміни вмісту озону в добовому ході пояснюються циркуляційними процесами та особливостями синоптичних умов узимку [5, 9]. Тут необхідно зазначити, що причини добової динаміки озону в січні потребують подальших досліджень із залученням детальної інформації про особливості синоптичних умов у місті Києві [5].

Загалом можна відмітити, що в різні роки спостерігаються абсолютно різні особливості січневого добового ходу вмісту озону, як це показано, наприклад на рис. 4 та рис. 5.

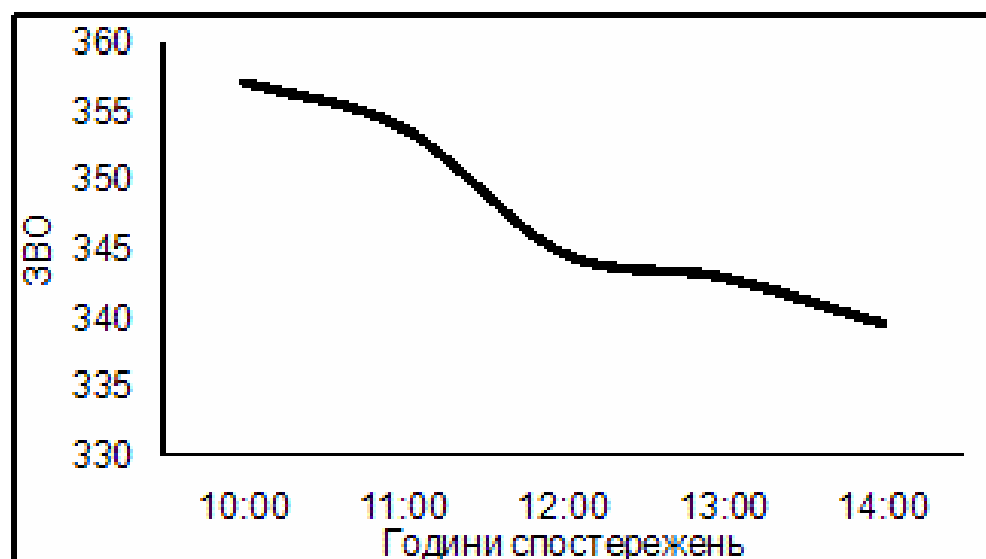


Рис. 4. Добовий хід загального вмісту озону на ст. Київ у січні 2000 р.

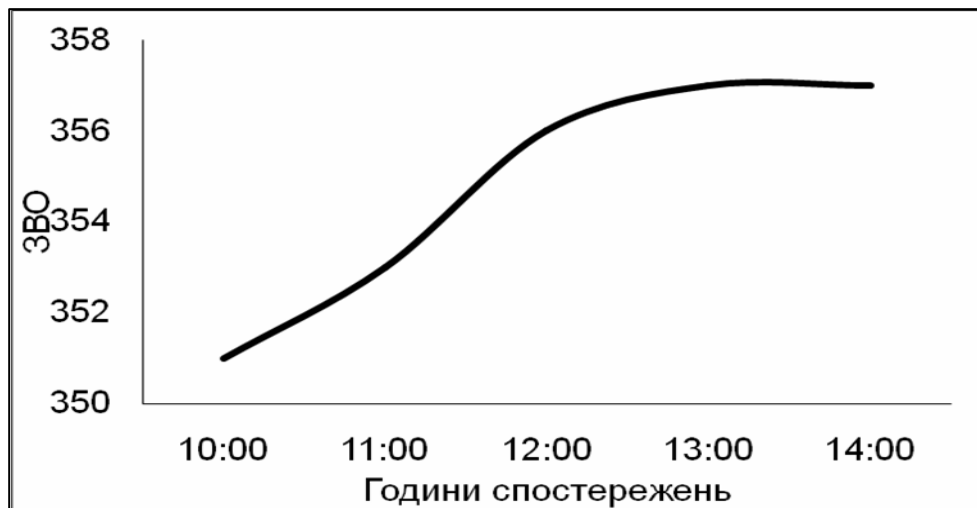


Рис. 5. Добовий хід загального вмісту озону на ст. Київ у січні 1998 р.

Як видно з цих графіків, розмах коливань вмісту озону в добовому ході січня досягає 5 % і більше (до 10 % в окремі роки), тоді як розмах добових коливань у липні не більше ніж 3 %.

Проте, як уже було сказано вище, під час осереднення розмах коливань суттєво зменшується, що пояснюється саме гасінням різноспрямованих змін. Таким чином, липневий добовий хід загального вмісту озону більшою мірою залежить від астрономічних факторів і під час помісячного осереднення його розмах зменшується несуттєво. Добовий хід січня пояснюється циркуляційними процесами та нестійкістю синоптичної ситуації, адже в разі помісячного осереднення розмах коливань втрачає 2/3.

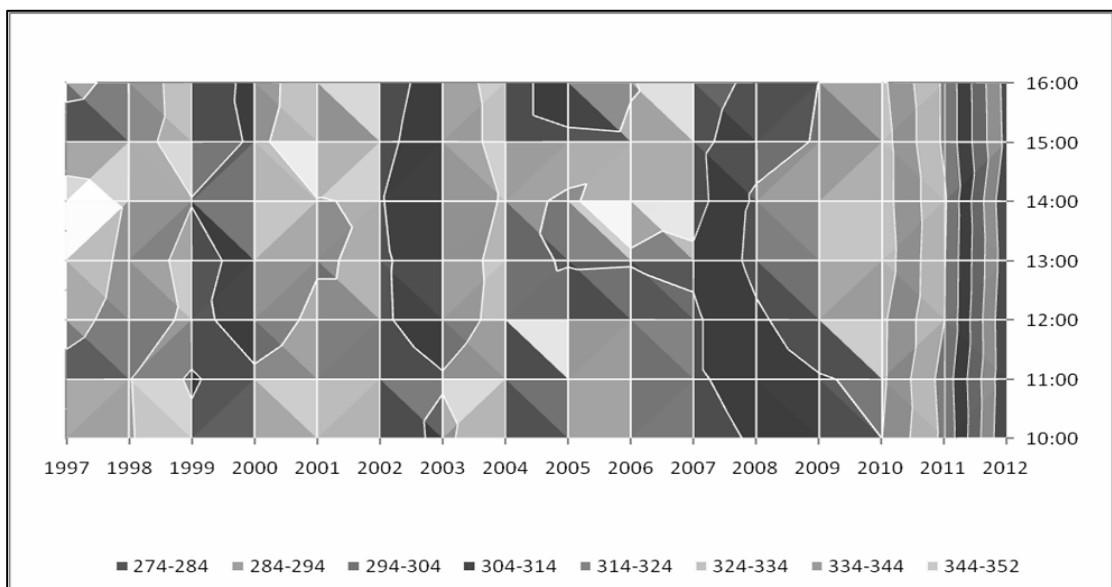


Рис. 6. Зміни добового ходу загального вмісту озону в липні за період 1997-2012 рр. на ст. Київ

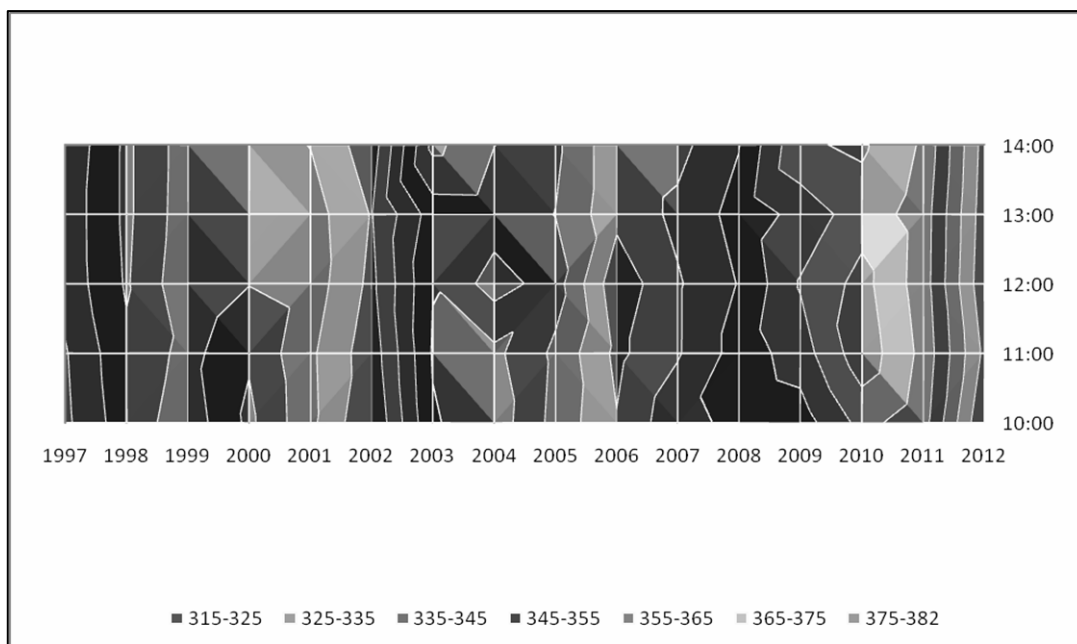


Рис. 7. Зміни добового ходу загального вмісту озону в січні за період 1997-2012 рр. на ст. Київ

На рис. 6 та рис. 7 наведено особливості добового ходу загального вмісту озону на ст. Київ за всі роки досліджень. Із цих рисунків можна зробити два основні висновки. По-перше, добовий хід вмісту озону в січні є строкатішим і характеризується більшим розмахом добових коливань. Цей висновок повністю узгоджується з попередніми результатами і не суперечить аналізу атмосферної циркуляції в різні пори року над м. Києвом, поданим у [5]. По-друге, на обох рисунках чітко виражені зміни добового ходу вмісту озону, що відбулись в останній період, починаючи з 2010 року. В обох випадках має місце згладження добових коливань до їх повної візуальної відсутності. Отриманий висновок потребує детальнішого аналізу розмаху добових коливань за всі роки спостережень (рис. 8). Як видно з рис. 8, розмах добових коливань у січні є значно більшим за відповідні значення в липні, а максимальні значення розмахів не збігаються в часі з липневими і часто є протилежними до них. Аналіз лінійних та поліноміальних трендів (у ступені 2) показав поступове зменшення липневих розмахів добових коливань з коефіцієнтом $-0,2$. При цьому лінійний і поліноміальний тренд мають майже однакову статистичну вагомість $0,16$. Для січневих розмахів добових коливань характерною є значно більша статистична вагомість поліноміального тренду порівняно з лінійним (коефіцієнт детермінації – $0,18$). При цьому відмічається збільшення розмахів добових коливань, що

відповідно до значущості трендів може бути коливальним процесом. Загалом, можна відмітити дуже низьку статистичну вагомість зазначених трендів як для липневих, так і для січневих значень.

Отже, у результаті досліджень було отримано наступний висновок: в останній період відбувається поступове зменшення добових коливань у липні на фоні істотного збільшення січневих показників.

Таким чином, згладжування добових коливань у січні 2011-2012 рр., відмічене на рис. 7, є наслідком коливального процесу розмахів добових коливань, найменші значення яких припадають на зазначений період, а також загального зменшення вмісту озону в січні, що відмічається останнім часом (рис. 8). Для липневих розмахів добових коливань відмічається поступове їх зменшення, тому згладжування добового ходу вмісту озону (рис. 6) на даний момент може вважатись однонаправленим процесом і деякий час буде зберігатись у майбутньому. Причини динаміки добового ходу вмісту озону, що відбулись останнім часом, на думку авторів, варто шукати в сучасних змінах циркуляційних процесів над територією України. Отже, пояснення сучасних змін добового ходу вимагає окремих досліджень.

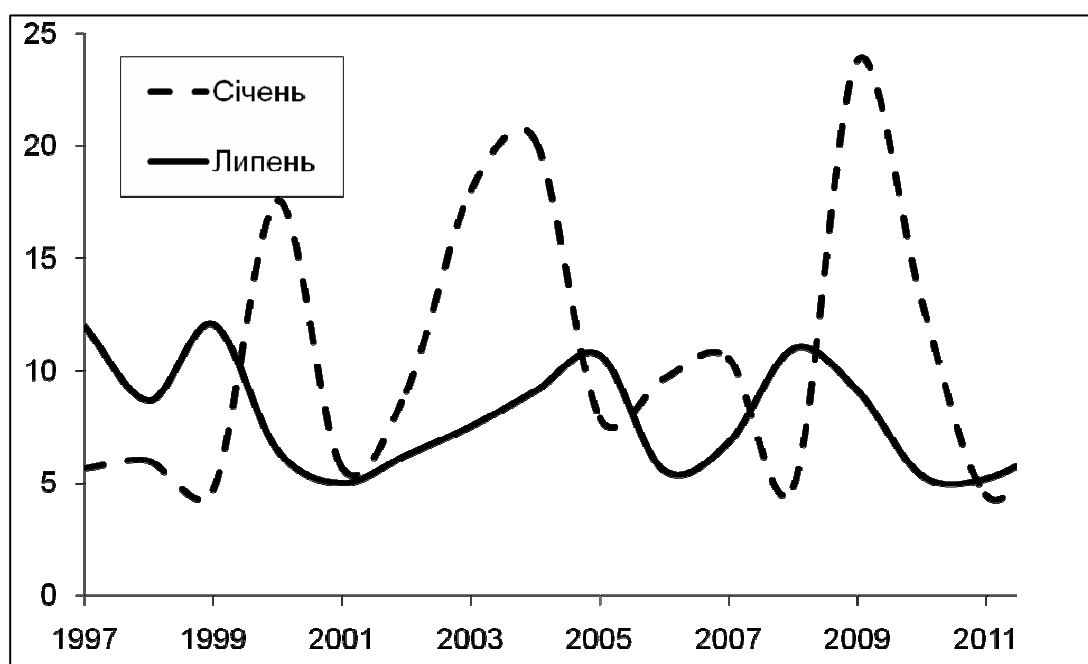


Рис. 8. Зміни розмаху добових коливань у січні та в липні за весь період спостережень

Цікаво відмітити той факт, що всі зміни розмахів добових коливань загального вмісту озону відбулись на фоні його зменшення в зазначені

місяці (рис. 9). Проте слід зазначити, що загальний вміст озону в липні протягом досліджуваного періоду до 2010 р. не мав істотних змін і його коливання навколо середнього багаторічного значення становили до 10 о.Д. (< 3 %). З 2010 р. відмічається поступове зменшення липневих значень вмісту озону, що досягло 37 о.Д. (більше ніж 10 %). Динаміка січневих середньомісячних значень загального вмісту озону за період спостережень 1997-2010 рр. є більш строкатою порівняно з липневими значеннями, що пояснюється нестійкістю синоптичної ситуації в зимовий період.

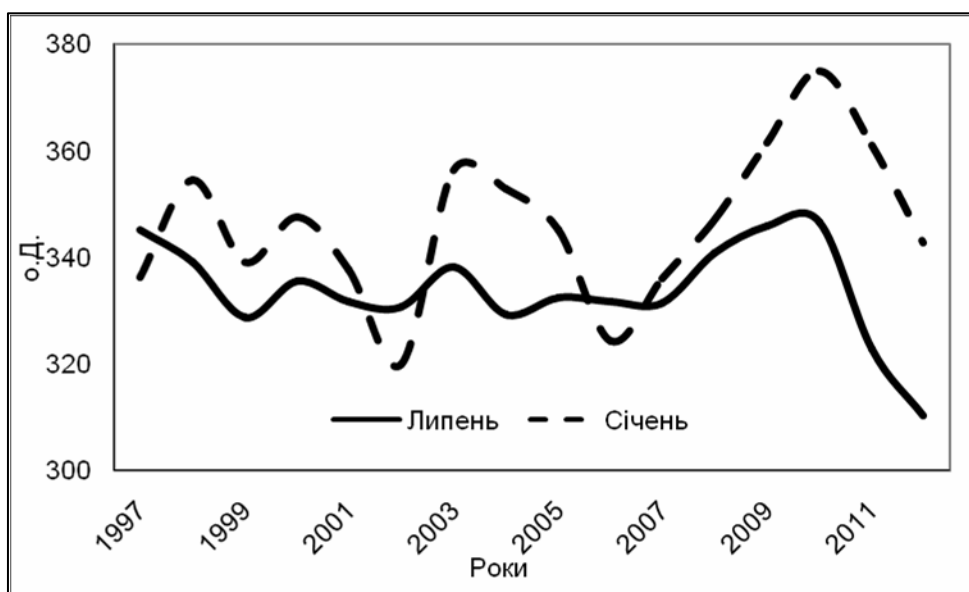


Рис. 9. Зміни середніх значень загального вмісту озону в січні і липні на ст. Київ за період 1997-2012 рр.

Так, коливання відносно середнього багаторічного значення загального вмісту озону в окремі роки досягали 29 о.Д. (до 10 %), а починаючи з 2010 р. загальний вміст озону зменшився на 32 о.Д. (9 %). Коефіцієнти детермінації як лінійного, так і поліноміального (в ступені 2) трендів, побудованих на середньомісячних значеннях липня, склали 0,1 і не можуть бути представницькими. Натомість тренди, побудовані на середньомісячних значеннях січня є більш статистично вагомими (коефіцієнт детермінації як лінійного, так і поліноміального трендів склав 0,18). Такі відмінності в концентрації озону в січні і в липні пояснюються чинниками формування його сезонних змін. Так, липневі значення вмісту озону більшою мірою залежать від астрономічних чинників, які мають досить повільні зміни в часі, а січневі – від циркуляційних процесів, які часто мають коливальний характер.

Ураховуючи низьку значущість трендів, було вирішено проаналізувати сучасні зміни загального вмісту озону в січні і в липні на основі більшого за часовим інтервалом ряду спостережень. З цією метою було використано ряд даних супутникових спостережень за вимірами американського супутникового приладу TOMS та його нащадка OMI, що за своїми координатами відповідають географічному положенню міста Києва. Загалом, ряди даних TOMS та OMI охоплюють період спостережень з 1978 і, таким чином, є кліматичними.

Як видно з рис. 10 і 11, для значень загального вмісту озону в липні та січні характерне їх поступове зменшення, починаючи з 2010 р., проте, враховуючи всі дані з 1979 р., цей процес має коливальний характер, у якому є як фази збільшення, так і фази зменшення.

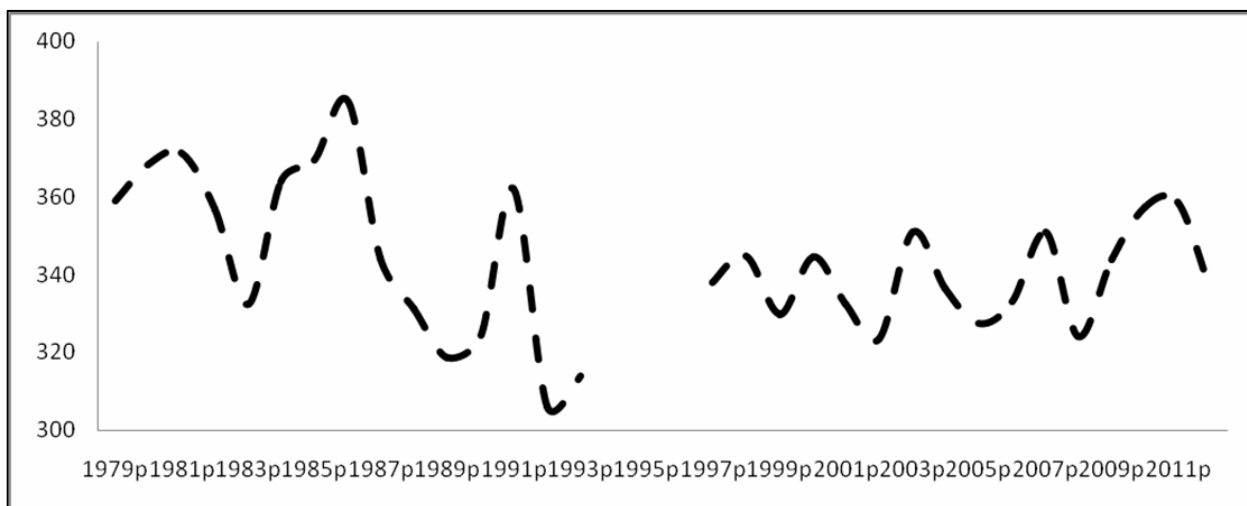


Рис. 10. Динаміка січневих середньомісячних значень вмісту озону в атмосфері над м. Києвом за даними супутникових приладів TOMS та OMI за період 1979-2012 рр.

Незбіжність місячних значень наземних та супутникових спостережень пояснюється насамперед тим фактом, що наземні виміри проводяться тільки під час малих значень хмарності або за її повної відсутності, тоді як супутникові виміри проводяться незалежно від бальності. Таким чином, значення загального вмісту озону за супутниковими вимірами є меншими, адже в хмарну погоду озон у підхмарному шарі не вимірюється. Тому в ході сумісних аналізів даних наземних та супутникових спостережень основна перевага надається характеристикам тенденції. Аналіз трендів супутникових даних за весь період спостережень (1979-2012 рр.) показав наявність чіткої тенденції до

зменшення липневих значень загального вмісту озону з коефіцієнтом $-0,98$. Причому коефіцієнти детермінації як лінійного, так і поліноміального трендів збігаються і становлять $0,64$. Значення трендів (як лінійного, так і поліноміального) січневих значень вмісту озону за своїм коефіцієнтом детермінації є незначущими.

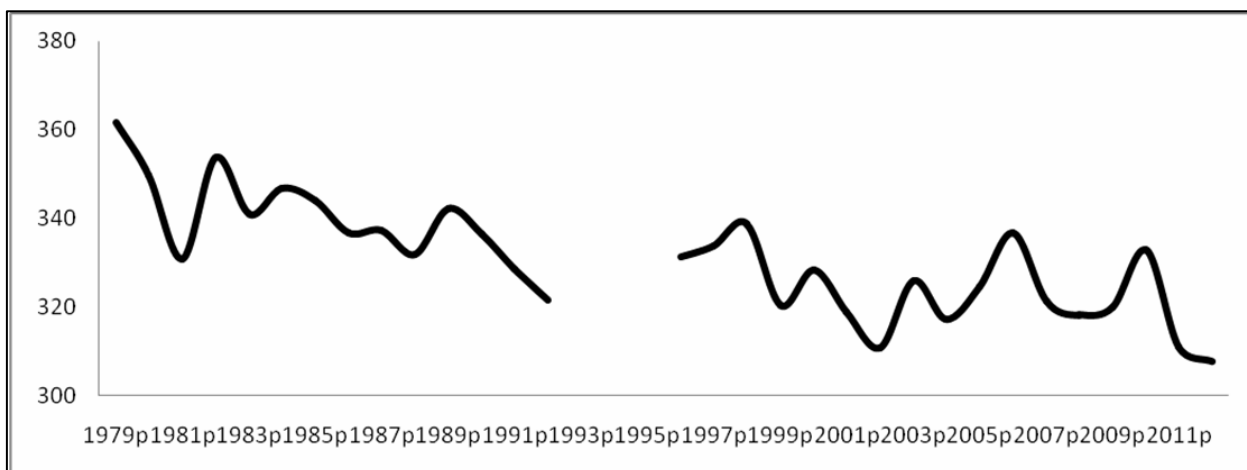


Рис. 11. Динаміка липневих середньомісячних значень вмісту озону в атмосфері над м. Києвом за даними супутникових приладів TOMS та OMI за період 1979-2012 рр.

Отже, можна зазначити, що всі зміни добових коливань вмісту озону в м. Києві в січні та липні, що відмічені після 2010 р. і проявляються в згладжуванні добових коливань, відбуваються на фоні загального зменшення вмісту озону в ці місяці і є, на думку авторів, реакцією на зазначене зменшення.

Висновки

1. Добовий хід загального вмісту озону в м. Києві як в січні, так і в липні визначається двома основними чинниками, а саме: змінами надходження сонячної радіації, що визначається кутом падіння сонячних променів, та особливостями атмосферної циркуляції.

2. Добовий хід вмісту озону в липні має однакову структуру у всі роки спостережень, адже визначається в основному радіаційними чинниками, що є постійними, і характеризується меншими значеннями порівняно із січнем.

3. Добовий хід вмісту озону в січні є строкатішим, що пояснюється більшим внеском у його формування циркуляційних чинників.

4. За останні 3 роки відбулись істотні зміни добового ходу вмісту озону як в січні, так і в липні, що виражаються в згладжуванні розмахів добових коливань і, на думку авторів, є реакцією на його загальне зменшення в атмосфері в ці місяці.

* *

1. *Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
2. *Хргиан А.Х.* Физика атмосферного озона. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 292 с.
3. *Кашкин В. Б., Рублева Т. В., Хлебопрос Р. Г.* Проблемы озонового щита планеты// Инженерная экология. – 2009. – №4 . – С. 18-32
4. *Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан А.Х.* Озонный щит Земли и его изменения. – С-Пб.: Гидрометеиздат, 1992. – 288 с.
5. *Клімат Києва / За ред. В.І. Осадчого, О.О. Косовця, В.М. Бабіченко.* – К.: Ніка-Центр, 2010. – 320 с.
6. *Блюм О.Б., Будаг І.В., Дячук В.А., Сосонкін М.Г., Лавріна А.В.* Приземний озон у Києві, умови його утворення і стоку // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2002. – Вип. 250. – С. 61-77
7. *Борисова С.В.* Озон в атмосфері: навч. посібник – Друге вид. Уточнене та доповнене. – О.: Екологія, 2011. – 112 с.
8. *Потемкин В.М., Шультайс Э.В.* Сезонная динамика концентрации приземного озона над Восточным Саяном // Оптика атмосферы и океана, 17, №4. – 2004.
9. *Хргиан А.Х., Кузнецов Г.И.* Проблема наблюдений и исследования атмосферного озона. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1981 – 216 с.
10. *Нерушев А.Ф.* Воздействие интенсивных атмосферных вихрей на озоновый слой Земли. – С.Пб.: Гидрометеиздат, 2003 – 223 с.
11. *Лапченко В.А., Лапченко Е.В., Знаменская Л.В.* Фоновый мониторинг и анализ сезонного и годового хода концентрации приземного озона в Карадагском природном заповеднике // Заповідна справа в Україні. – 2008. – Т.14, Вип. 2. – С. 76-80.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*

Р.И. Банах, И.В. Дворецкая, А.П. Уманец, М.В. Савенец

Динамика суточных содержаний озона в г. Киеве

Определен суточный ход общего содержания озона в г. Киеве в разные сезоны и основные факторы, которые влияют на него. Исследовано многолетнюю динамику суточного хода общего содержания озона и факторы, которые вызвали изменения в суточном ходе.

Ключевые слова: общее содержание озона (ОСО), суточный ход, размах суточных колебаний, динамика общего содержания озона.

R.I. Banakh, I.V. Dvoretzka, A.P. Umanets, M.V. Savenets

Dynamics of diurnal ozone concentrations in Kyiv

There were determining diurnal variations of total ozone in Kyiv in the different seasons and main factors that affect it. There were investigated long-term dynamics of total ozone diurnal variations and factors that caused changes in daily variations.

Keywords: total ozone content (TOC), diurnal variations, range of daily, variations, dynamics of total ozone.