МОНІТОРИНГ І СТАН ДОВКІЛЛЯ

УДК 551.510

І.В. Дворецька

ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ В СУЧАСНИЙ ПЕРІОД

Описано результати дослідження сучасної динаміки загального вмісту озону над територією України та визначено основні особливості змін, які відбулись у стані озонового шару в останні десятиліття. Отримані результати вказують на мінливість як короткоперіодичної, так і довгоперіодичної динаміки вмісту озону, що проявляється в змінах концентрації, зсуві фаз сезонного ходу, неоднорідності впливу природних чинників у різних часових інтервалах тощо.

Ключові слова: загальний вміст озону, короткоперіодична динаміка, довгоперіодична динаміка, сезонний хід, фаза, регресори, глобальні геофізичні фактори.

Вступ

Сучасна динаміка загального вмісту озону викликає ряд запитань. По-перше, чи є сучасні зміни в стані озонового шару наслідком впливу антропогенних чинників? По-друге, чи є сучасна динаміка загального вмісту озону незворотнім процесом? З метою відповіді на ці та інші запитання першочергово необхідно проаналізувати саму сучасну динаміку концентрації озону в атмосфері і визначити всі характерні риси сучасних змін.

Робота є продовженням багаторічних досліджень загального вмісту озону над територією України, що проводились в УкрНДГМІ з 1991 р. [1-7]. Основні результати досліджень у цій галузі наведено нижче. Так, ще Кондратьєвим [8] було визначено наявність сезонного ходу вмісту озону та його відмінності для різних регіонів. Згідно з даними [6, 9, 10] для території України максимум загального вмісту озону припадає на кінець березня – початок квітня, а мінімум – на жовтень-листопад. За даними [9] найбільші відхилення вмісту озону та найбільші амплітуди коливань (до 15 %) спостерігаються в зимово-весняний період. Висновки, отримані для

станції Карадаг [11, 12], показали, що сезонне збільшення вмісту озону над територією України може бути наслідком руйнування циркумполярного вихору. Загалом [6], загальний вміст озону над територією нашої держави зменшується з північного сходу на південний захід від 335,6 до 341,5 о.Д. Дата настання максимуму загального вмісту озону збільшується в напрямку з півночі на південь від 31 березня до 15 квітня.

Визначенням особливостей сезонного ходу тропосферного озону, а також його змінами протягом доби займались О.Б. Блюм та ін. [13].

Після отримання чисельних оцінок зменшення загального вмісту озону в атмосфері, його довготермінова динаміка досліджувалась в основному, як наслідок впливу антропогенних чинників на його руйнування. Такими дослідженнями займались І.Г. Демінов [14] та D. Rind [15]. Проте сучасні дослідження, проведені Єгоровою Т.А. [16], Крученицьким Г.М., Білявським О.В. та ін. [3, 5], показали, що хлорфторвуглеводні не відіграють визначальної ролі в довготермінових змінах кількості озону. Так, один із таких підходів [4, 5] називає фактором появи весняної антарктичної аномалії реакцію прямого руйнування озону на поверхні частинок полярних стратосферних хмар. Такі висновки підтверджують і результати, отримані Варгіним П.Н. і Жадіним Е.А. [17], які пояснювали швидке зменшення озонової дірки в Антарктиді в 2002 р. тільки особливостями динамічних процесів у цей період. Про це свідчать і дослідження Salby M.L. та Callaghan P.F. [18-20].

У результаті зазначених досліджень довготермінову динаміку загального вмісту озону почали розглядати як наслідок не тільки антропогенних, але й природних впливів. Так, було визначено [21], що загальний вміст озону над територією України має відгук на вплив глобальних геофізичних факторів, незалежно від того, що осередки їх дії є за тисячі кілометрів від нашої держави. До таких факторів належать [7] Північноатлантичне коливання, Південне коливання Ніньо, квазідворічне коливання та ін.

Мета роботи – дослідити особливості динаміки загального вмісту озону над територією України та її зміни для різних часових інтервалів.

Матеріали та методи досліджень

Для досліджень у роботі було використано ряди даних загального вмісту озону, надані американськими супутниковими приладами TOMS

та OMI, що охоплюють період спостережень з листопада 1979 р. до кінця грудня 2011 р. і, таким чином, є кліматично значущими. Зазначені ряди усереднено для трьох територіальних одиниць:

1) криволінійного прямокутника, до якого належить територія України, з координатами 43,5° – 52,5° пн. ш. та 22,5° – 42,5° сх. д. (надалі будемо називати просто Україна),

2) криволінійного прямокутника, який отримав умовну назву Супер_Україна і обмежений координатами 40,5° – 55,5° пн. ш. та 17,5° – 47,5° сх. д. (далі, Супер_Україна),

3) широтного поясу, до якого належить територія України, що охоплює смугу широт від 43,5° до 52,5° пн. ш.

Як **методи** досліджень було використано регресійний та гармонічний аналізи, побудову трендів, визначення рядів огинаючої, розподіл Пуассона, визначення відхилень та аномалій.

Сучасні зміни сезонної динаміки загального вмісту озону над територією України

На першому етапі дослідження за методом Фур'є визначено характеристики сезонної динаміки загального вмісту озону для всіх рядів спостережень. А також було виявлено (рис. 1), що для всіх трьох рядів даних значущими є тільки дві перші гармоніки сезонного ходу.

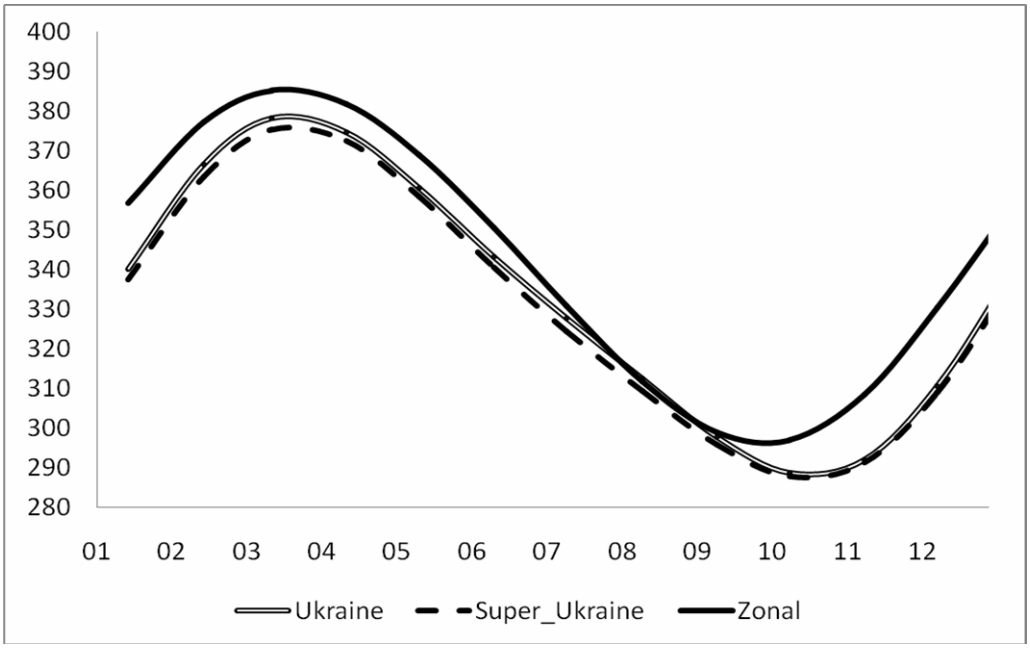

Рис. 1. Сезонна динаміка загального вмісту озону над територією України, Супер_України та широтного поясу

Отже, короткоперіодична динаміка озону над територією України розвивається під впливом зонального розподілу вмісту озону в атмосфері, а також його сезонних змін. Характерною рисою також є близькість динамічних характеристик сезонного розподілу між всіма трьома територіальними одиницями, що дає можливість зробити висновок про відсутність регіональних контрастів загального вмісту озону над територією України. Збігання основних характерних рис сезонного ходу між даними для України та Супер_України вказує на врівноваженість динаміки озону в межах регіону, до якого входить територія нашої держави. До речі, зазначений регіон характеризується меншими значеннями вмісту озону порівняно з широтним поясом, а запізнення настання мінімуму в його сезонному ході є наслідком синоптичних процесів, що в ньому відбуваються.

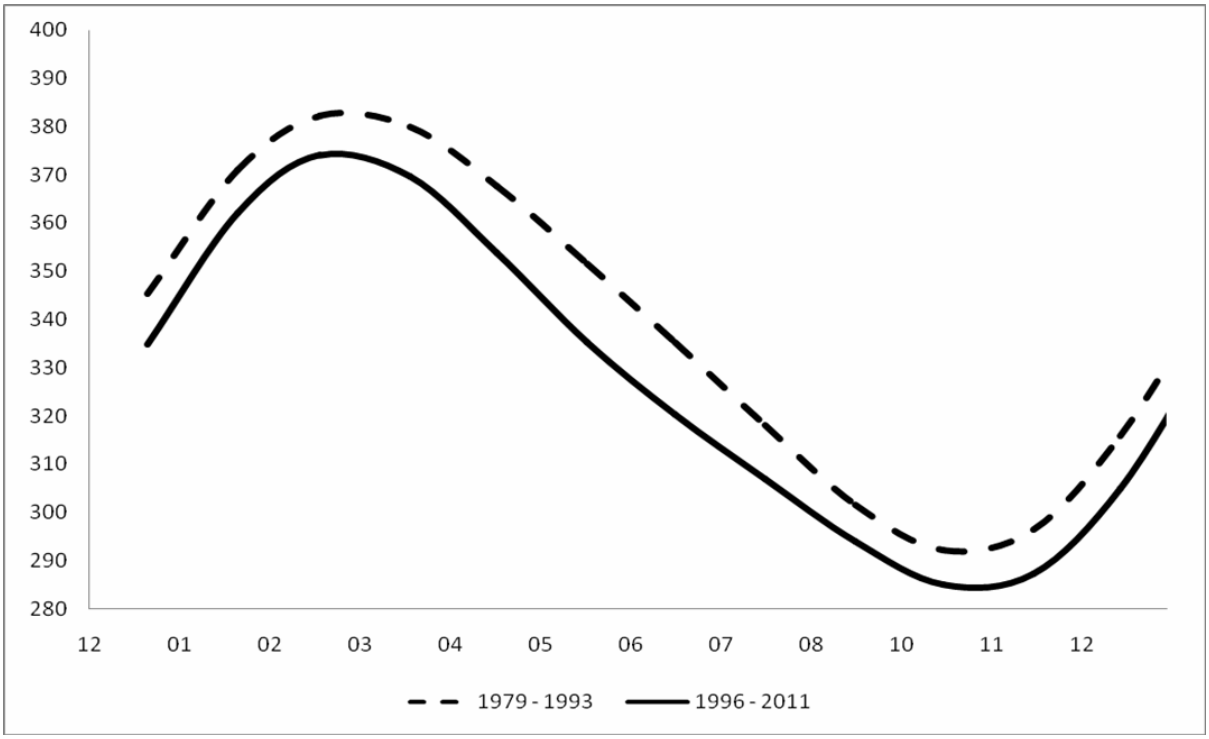

Рис. 2. Сезонний хід загального вмісту озону над територією України для різних часових інтервалів

Для аналізу змін короткоперіодичної динаміки загального вмісту озону над територією України, що відбулись в останній період, було проаналізовано характеристики сезонного ходу для двох часових інтервалів: 1978-1993 рр. та 1996-2011 рр. Як видно з графіка (рис. 2), для

розподілу озону характерне загальне зменшення його вмісту в останні десятиліття, а також зсув фаз. Аналіз різниці фаз показав, що основні зміни відбулись у фазі другої гармоніки, де вони досягають 20 днів. Так, найбільші зміни фази першої гармоніки характерні для широтного поясу (4 дні), а найменші – для території Супер_України (2, 3 дні). Тобто, можна відмітити, що зміни фази першої гармоніки реагують на глобальні процеси, дія яких змінюється, а часто й нівелюється під впливом регіональних процесів. Цією ж обставиною можна пояснити і той факт, що зміна фази неоднаково реагує на зменшення території. У фазі ж другої гармоніки, як це вже було зазначено вище, відбулись істотніші зміни. Так, найбільший зсув фази другої гармоніки характерний для території України (18,6 днів), а найменший – для території Супер_України (13,4 дні). Для території широтного поясу характерні середні значення зсуву – 16,3 дні. Як відомо, друга гармоніка формується під впливом регіональних процесів, тому її зміни істотніші для менших за розміром територій. Питання про особливості змін сезонного ходу, що відбулись останнім часом над територією Супер_України, залишається відкритим і, на думку автора, відповідь на нього слід шукати в особливостях синоптичних процесів над даним регіоном.

Особливу цікавість викликають також зміни коефіцієнта детермінації сезонного ходу. По-перше, для обох періодів характерне збільшення коефіцієнта детермінації в разі збільшення території. Це легко пояснюється вже згадуваною зональністю розподілу вмісту озону в наших широтах. Загалом, всі характеристики такого розподілу підпорядковуються зональним змінам, регіональні ж чинники характерні для менших за масштабом процесів і тому проявляються для окремих значень. По-друге, необхідно зазначити, що для всіх рядів даних коефіцієнт детермінації сезонного ходу істотно зріс. Так, для широтного поясу таке збільшення становить 0,03 (з 0,89 в першому обраному інтервалі до 0,92 – у другому), для території Супер_України коефіцієнт детермінації зріс з 0,82 (1978-1993 рр.) до 0,9 (1996-2011рр.), а для території України – з 0,81 до 0,88 за ті ж періоди. Збільшення коефіцієнта детермінації сезонного ходу в останній період указує на збільшення ролі природних чинників у короткоперіодичній динаміці загального вмісту озону, адже саме вони формують сезонні коливання.

Довгоперіодична динаміка загального вмісту озону над територією України

На початковому етапі дослідження довготермінової динаміки загального вмісту озону над територією України було проведено аналіз його аномалій за розподілом Пуасона. Таким чином, весь ряд спостережень було розділено на два майже однакові періоди (1978-1993 рр. та 1996-2011 рр.) і визначено зміну кількості та основних характеристик аномалій у сучасний період. Всі розрахунки стосуються тільки тих аномалій, які є настільки істотними за часовим масштабом, що простежуються в середньомісячних значеннях. Отже, вихідними даними слугували помісячно осереднені ряди даних, тому фактичні значення аномалій є дещо знівельованими осередненням. Необхідно зазначити, що аномаліями вважаються відхилення, що є за модулем більшими за 2,5 σ. Проте було виявлено, що кількість таких аномалій в помісячно осереднених рядах даних надто мала для повноцінного аналізу, тому для досліджень було використано дрібніші відхилення. Так, було визначено три групи відхилень: I група (від 1 σ до 1,5 σ), II група (від 1,5 σ до 2 σ) та III група (більше ніж 2 σ).

У результаті досліджень було виявлено (рис. 3), що в останній період над територією України кількість істотних відхилень зменшилась.

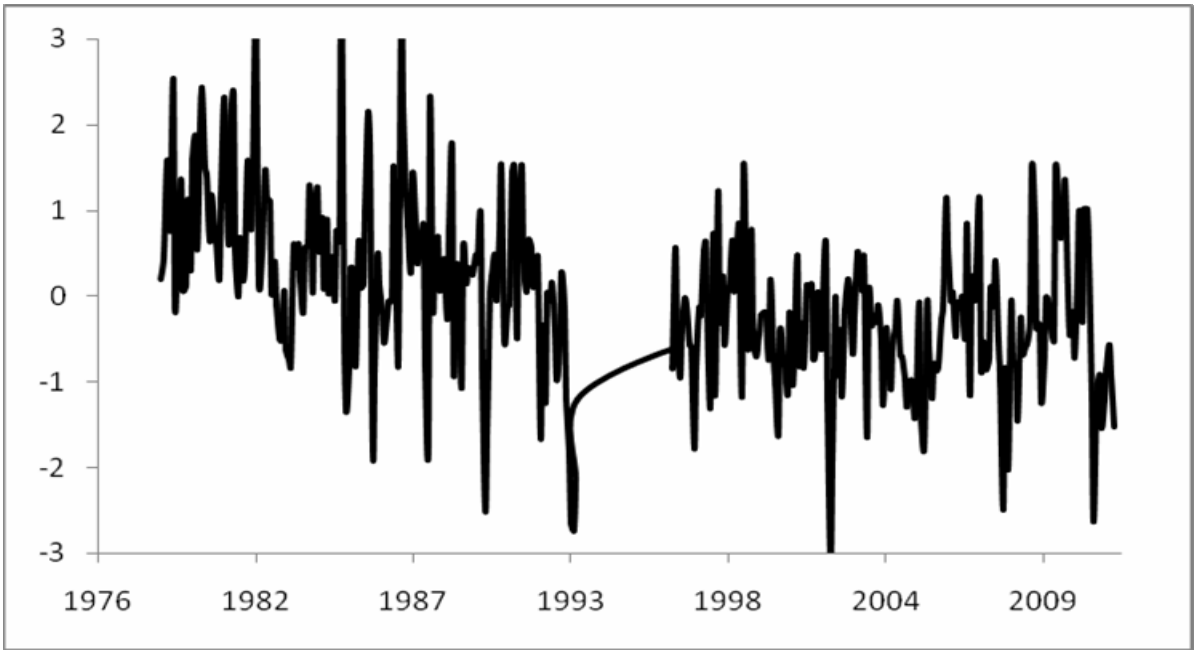

Рис. 3. Розподіл відхилень середньомісячних значень загального вмісту озону від його кліматичної норми над територією України

Так, кількість відхилень ІІ групи зменшилась майже на третину (314 в першому періоді і 228 – у другому), а ІІІ групи – у 1,5 раза (282 в першому періоді і 117 – у другому). При цьому для І групи відхилень характерне неістотне збільшення (545 у першому періоді і 598 – в другому).

Під час аналізу окремо додатних та від'ємних відхилень було виявлено (табл. 1), що в останній період над територією України істотно збільшилась кількість від'ємних значень σ, причому таке збільшення є істотнішим для менших за розміром відхилень. Так, кількість від'ємних відхилень І групи в другому періоді зросла майже в 3 рази, ІІ групи – приблизно в два рази і ІІІ групи – тільки на 16 %.

Таблиця 1

Розподіл додатних та від'ємних відхилень для обох періодів

Період (рр.)	І група		ІІ група		ІІІ група	
	додатні	від'ємні	додатні	від'ємні	додатні	від'ємні
1979 – 1993	396	149	236	78	191	91
1996 – 2011	145	453	63	165	11	106

Що стосується кількості додатних відхилень, то її зміни також є різними для різних груп. Так, для І групи ця кількість зменшилася в 2,7 разів, для ІІ групи – в 3,7 разів і для ІІІ групи – у 17 разів.

Таким чином, можна зробити загальний висновок про збільшення ролі менших за розміром відхилень у сучасній динаміці загального вмісту озону. Це дуже добре ілюструє рис. 3.

Для визначення довгоперіодичної складової динаміки загального вмісту озону над територією України було використано кілька методик: метод ковзаючого середнього, методика інтегральних різниць, метод Афанасьєва, регресійний аналіз середньорічних значень концентрації озону. Всі вони показали наявність циклів з інтервалом 7-8 та 2-3 роки (рис. 4). Цікавим є той факт, що в ході моделювання довгоперіодичної динаміки загального вмісту озону, вбудований в Microsoft Excel метод Solver, що відповідає за прогностичну складову аналізу, показав існування циклу в 32,8 років з коефіцієнтом детермінації моделі 0,54. Звичайно, ряд спостережень, для якого було зроблено побудову, обмежений надто малим часовим інтервалом (32 роки) для прогнозів такого масштабу, проте існування даного циклу є цілком можливим,

зважаючи на [22]. Отже, питання існування такої циклічності залишається відкритим і потребує подальших досліджень у цьому напрямку, для яких уже розроблено відповідну базу даних наземних спостережень з періодом вимірів не менше ніж 55 років.

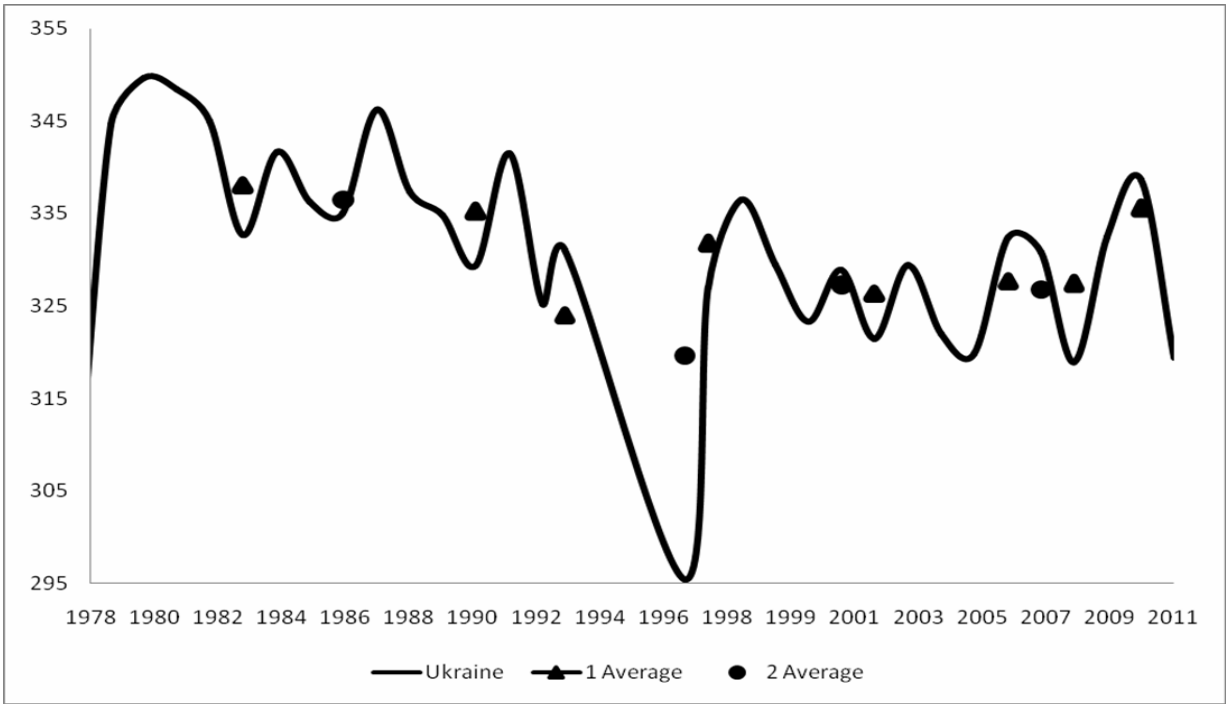

Рис. 4. Довгоперіодична динаміка загального вмісту озону над територією України за методом Афанасьєва

Для аналізу подальшої довгоперіодичної динаміки загального вмісту озону всі ряди даних було позбавлено короткоперіодичної складової. У результаті розрахунку відношень фактичного значення вмісту озону до його кліматичної норми було отримано ряди огинаючих. Саме вони брали участь у подальших дослідженнях.

Побудована за методом регресійного аналізу, модель динаміки загального вмісту озону на рядах огинаючих над територією України (рис. 5) показала наявність природних чинників його сучасних змін. Так, коефіцієнти детермінації поліноміальних (у ступені 2) трендів є більш значущими за лінійні (табл. 2), тому сучасні зміни загального вмісту озону є коливальним процесом. Мінімум цього коливання відповідає 1993-1994 рр., після чого спостерігається загальне збільшення вмісту озону над територією України. Порівняння коефіцієнтів регресії і детермінації трендів, побудованих на значеннях огинаючої та

змодельованих значеннях, показало, що тренди моделі є більш значущими. Це, найперше, вказує на природний характер сучасних змін у стані озонового шару. Загалом, лінійні тренди є від'ємними, проте в останній період спостерігається зменшення коефіцієнта регресії як вихідних значень, так і моделі. Так, значення лінійного тренду як моделі, так і огинаючої становить -1,05 в першому періоді та -0,98 – у другому.

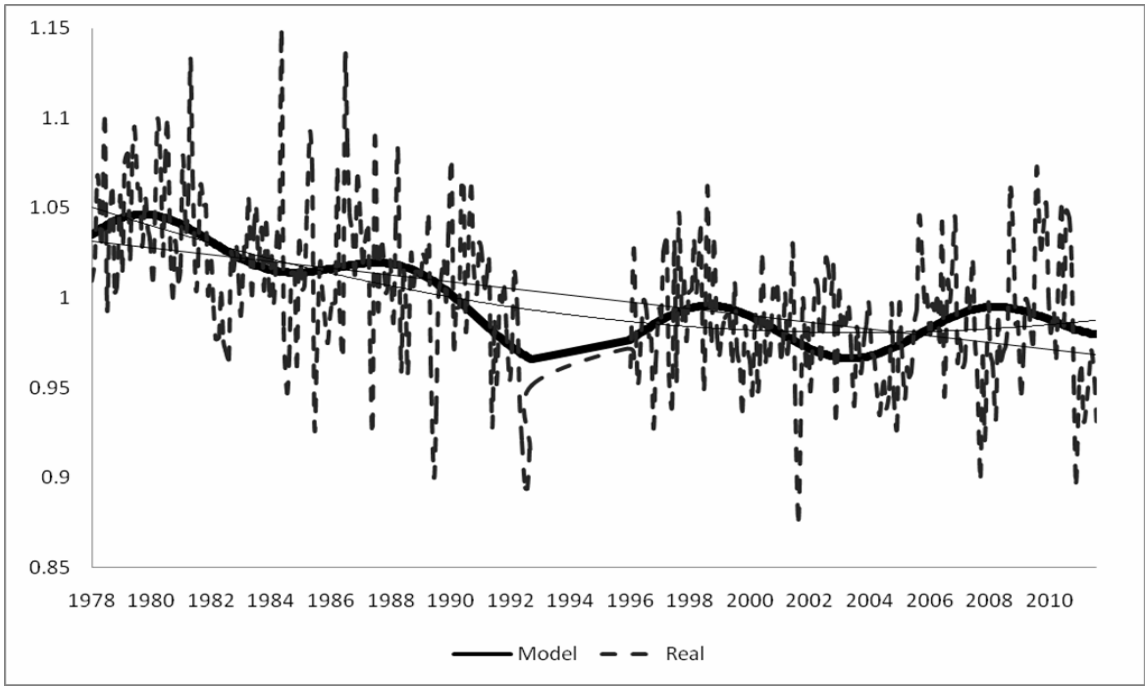

Рис. 5. Виміряні та змодельовані значення загального вмісту озону над територією України

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів регресії (a) та детермінації (R^2) трендів фактичних та змодельованих значень

Значення	Тренди			
	Лінійний		Поліноміальний	
	a	R^2	a	R^2
Огинаюча	-1.03	0.21	8E-0.6	0.25
Модель	-1.03	0.67	9E-0.6	0.84

Отже, аналіз довготермінової динаміки загального вмісту озону показав, що сучасні зміни озонового шару є довгим коливальним процесом, інтервал якого не менший, а скоріш за все, значно більший, ніж

довжина ряду спостережень. У сучасний період спостерігаються від'ємні лінійні тренди вмісту озону над територією України, проте їх значущість значно нижча порівняно зі значущістю поліноміальних трендів (у ступені 2), а коефіцієнт лінійної регресії в останній період зменшується. Зі всього сказаного вище можна зробити висновок про повільне збільшення вмісту озону в атмосфері, починаючи з 2000 р. (яке, до речі, вже було відмічено за даними наземних спостережень (рис. 4).

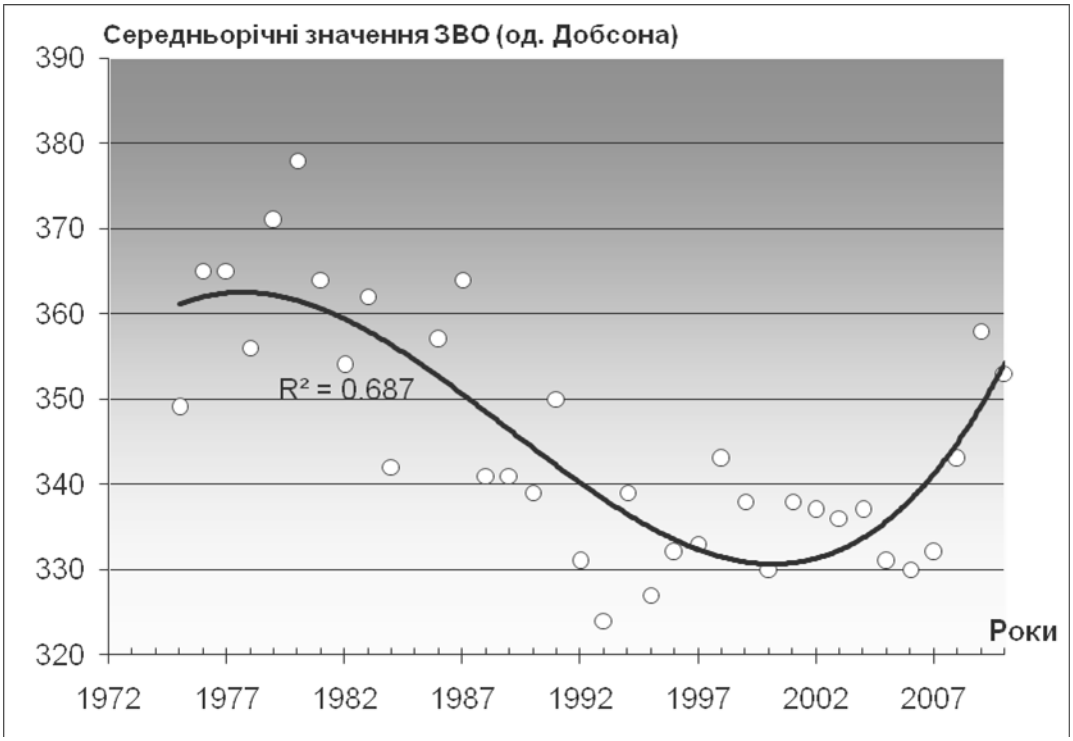

Рис. 4. Середньорічні значення загального вмісту озону над Києвом за даними озонометра М-124

Для аналізу причин сучасних змін загального вмісту озону над територією України ряди огинаючої для всіх територіальних одиниць було протестовано на вплив на дані території глобальних геофізичних факторів. Як ряди останніх, було обрано ряди аномалій індексів таких коливань, як квазідворічне коливання, Південне коливання (Ніньо), Атлантичні коливання різних секторів тощо. Побудова моделей впливу глобальних геофізичних факторів на загальний вміст озону показала, що перелік значущих регресорів для території України та Супер_України є однаковим, а для широтного поясу лише доповнюється квазідворічним коливанням, що пояснюється масштабами дії останнього фактора і нівелюванням його впливу через регіональні особливості. Таким чином, дослідження довгоперіодичної динаміки підтверджує висновок, який було

зроблено під час аналізу короткоперіодичних змін: значення загального вмісту озону над територією України визначаються зональним розподілом і не володіють характерними регіональними рисами.

У загальному можна відмітити, що для всіх територіальних одиниць значущими виявились аномалії індексів зміни вітру в східному секторі Тихого океану (що характеризує Південне коливання Ніньо), аномалії зонального вітру та температури на поверхні 500 гПа, аномалії потоку довгохвильової радіації, а також аномалії індексів Північноатлантичного та Південноатлантичного коливань. Крім того, для широтного поясу значущими також виявились аномалії індексів у центральній частині Тихого океану (також характеризують Південне коливання Ніньо) та квазідворічного коливання.

Побудова лінійних і поліноміальних трендів на рядах огинаючої і моделі показала (рис. 6), що коефіцієнти детермінації трендів моделі більше (0,3 для лінійного та 0,31 для поліноміального), ніж трендів огинаючої (0,13 та 0,15 відповідно), що вказує на природний характер сучасних змін загального вмісту озону під дією глобальних геофізичних факторів. Загалом, згідно з різницею коефіцієнтів регресії моделі та огинаючої, вплив глобальних геофізичних факторів майже на 50 % визначає сучасні зміни загального вмісту озону над територією України.

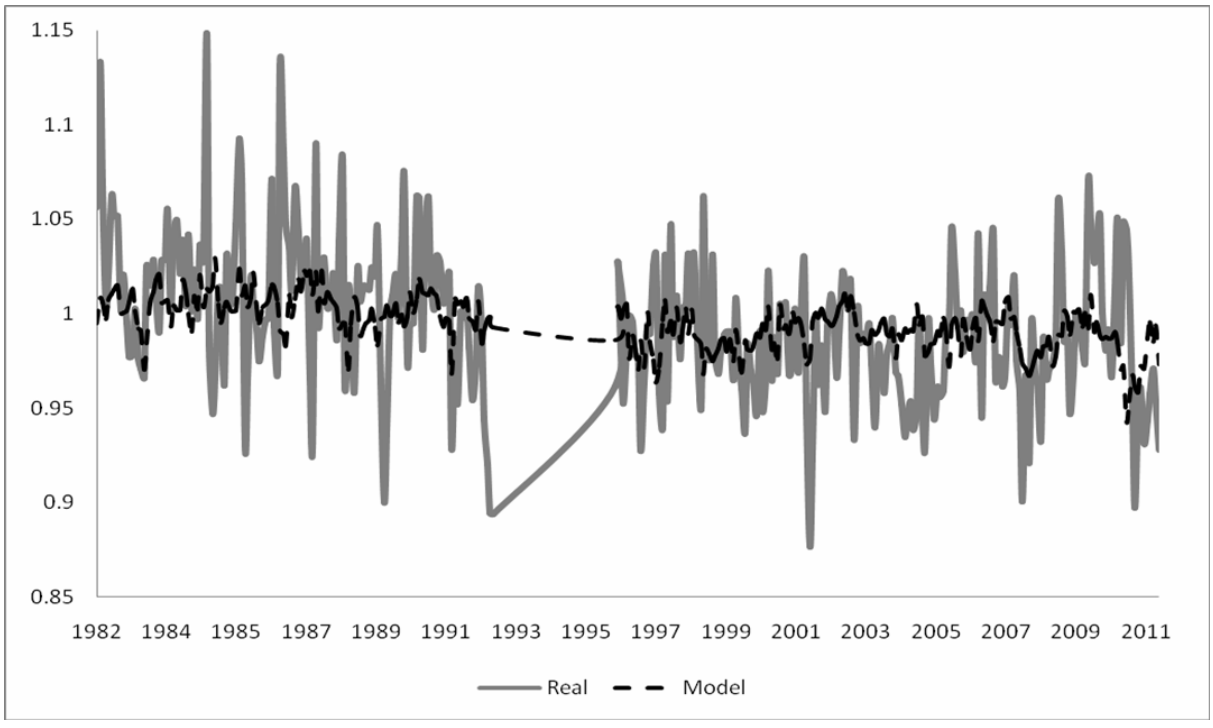

Рис. 6. Модель впливу глобальних геофізичних факторів на розподіл загального вмісту озону над територією України

Наостанок, було проаналізовано зміну впливу глобальних геофізичних факторів на загальний вміст озону для різних часових інтервалів (1978-1993 і 1996-2011 рр.). Цікавою є зміна, а головне, зменшення кількості значущих регресорів в останній період. Так, в перший з досліджуваних періодів значущими виявились такі регресори як: аномалії індексів квазідворічного коливання, температури на поверхні 500 гПа, Південного коливання Ніньо та Атлантичних коливань. Коефіцієнт детермінації моделей при цьому склав 0,3. Для другого досліджуваного інтервалу характерний інший перелік значущих регресорів: аномалії індексу зонального вітру, Південного коливання Ніньо, температури на поверхні 500 гПа. При цьому коефіцієнт детермінації моделі не змінився.

Питання про причини зміни переліку значущих регресорів для різних часових інтервалів залишається відкритим і вимагає подальших досліджень у цьому напрямку.

Висновки:

1. Динаміка загального вмісту озону в сучасний період зазнає постійних змін як в короткоперіодичній, так і в довгоперіодичній частині.
2. Основні характеристики розподілу загального вмісту озону над територією України підпорядковуються зональним властивостям і мають слабко виражені регіональні особливості.
3. Сучасна довготермінова динаміка загального вмісту озону має ознаки повільного коливального процесу.
4. Довготермінова динаміка вмісту озону над територією України в останні десятиліття характеризується зменшенням коефіцієнтів регресії лінійних трендів, що може вказувати на відновлення вмісту озону.
5. Дія глобальних геофізичних факторів має істотний вплив на загальний вміст озону над територією України.

* *

1. *Белокриницкая Л.М., Калинина И.В., Крученицкий Г.М.* Мониторинг поля общего содержания озона над Украиной средствами наземного и космического базирования // Космическая наука и технологии. – 2004. – Т. 10. – № 4. – С. 96-103.
2. *Білявський О.В., Максимов В.С.* Атмосферний озон. Проблеми збереження // Український географічний журнал. – 1994. – №4. – С. 36-42.

3. *Белявский А.В., Грищенко В.Ф., Крученицкий Г.М., Курлий Н.Д., Тхорик А.П.* Эмпирическая модель для расчета солнечной ультрафиолетовой области Второй Украинской Антарктической экспедиции // Тр. УкрНИГМИ. – 1999. – Вып. 247. – С. 30-35.
4. *Белявский О.В., Грищенко В.Ф., Ковалюк Н.Н., Кураев и др.* Озоноразрушающие легколетучие органические соединения в составе антарктического льда, имеющего дотехногенный возраст // Бюлетень Українського антарктичного центру. – 1997. – Вип. 1. – С. 13-21.
5. *Білявський О.В., Крученицький Г.М., Скоробогатий Т.В.* Про роль окислу хлору в руйнуванні озону (альтернативний підхід) // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 1999. – Вип. 249. – С. 34-42.
6. *Калініна І.В.* Кліматичні норми загального вмісту озону // Фізична географія та геоморфологія. – 2005. – Вип. 48. – С. 257-263.
7. *Калініна І.В., Крученицький Г.М., Сніжко С.І.* Вплив глобальних геофізичних факторів на загальний вміст озону над територією України // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2005. – Вип. 49. – С. 60-71.
8. *Кондратьев И.И.* Элементный состав и сезонная изменчивость концентрации аэрозоля в атмосфере Сихотэ-Алинского биосферного заповедника // Метеорология и гидрология. – 2002. – Вып. 2. – С. 31-43.
9. *Волощук В.К., Бойченко С.Г., Степаненко С.М. та ін.* Глобальне потепління і клімат України: регіональні, екологічні та соціально-економічні аспекти. – К.: Київський ун-т, 2002. – 116 с.
10. *Басманов Є.І.* Довготні відмінності в розподілі озону в атмосфері // Вісн. Харк. ін-ту соц. прогр. Сер.: Екологія, техногенна безпека і соц. прогрес. – 2000 – Вип. 1. – С. 21-24.
11. *Гущин Г.К., Гущина Л.Г.* Изменчивость озоносферы над Крымом // Вопросы развития Крыма. – Вып. 2. – Доступен из: <http: // www. ccssu. Crimea / ua / crimea / ac/2/2_13.html>
12. *Гущин Г.П.* Озон и аэросиноптические условия в атмосфере. – Л.: Гидрометеоиздат, 1964. – 344 с.
13. *Блюм О.Б., Будак І.В., Дячук В.А., Сосонкин М.Г., Лавріна А.В.* Приземний озон у Києві, умови його утворення і стоку // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2002. – Вип. 250. – С. 61-77
14. *Деминов И.Г.* Сезонно-широтные вариации стратосферного озона при антропогенных возмущениях средней атмосферы // Материалы Всесоюз. совещ. Численное моделирование состава и динамики свободной атмосферы. – 1991. – С. 15-23.

15. *Rind D., Shindell D., Perlwitz J., Lerner J. et al.* The Relative Importance of Solar and Anthropogenic Forcing of Climate Change between the Maunder Minimum and the Present // Journal of Climate. – 2004. – Vol. 17. – № 5. – P. 906-929.
16. *Егорова Т.А., Розанов Е.В., Кароль И.Л., Зубов В.А., Малишев С.Л.* Моделирование межгодовых изменений общего содержания озона в 1993-2000 гг. и влияние ограничений производства озоноразрушающих веществ // Метеорология и гидрология. – 2002. – Вып. 1. – С. 5-14.
17. *Варгин П.Н., Жадин Е.А.* Влияние стратосферного потепления на антарктическую озоновую дыру в 2002 г. // Метеорология и гидрология. – 2004. – Вып. 8. – С. 36-46.
18. *Salby M.L., Callaghan P.F.* Interannual Changes of the Stratospheric Circulation: Relationship to Ozone and Tropospheric Structure // Journal of Climate. – 2002. – Vol. 15. – № 24. – P. 3673-3685.
19. *Salby M.L., Callaghan P.F.* Interannual Changes of the Stratospheric Circulation: Influence on the Tropics and Southern Hemisphere // Journal of Climate. – 2004. – Vol. 17. – № 5. – P. 952-964.
20. *Salby M.L., Callaghan P.F.* Interannual Changes of the Stratospheric Circulation: Relationship to Ozone and Tropospheric Structure // Journal of Climate. – 2002. – Vol. 15. – № 24. – P. 3673-3685.
21. Клімат Києва / За ред. *В.І. Осадчого, О.О. Косовця, В.М.Бабіченко*. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 320 с.
22. *Белокриницкая Л.М, Клок С.И., Крученицкий Г.М.* Исследование спектра приливных колебаний по данным измерений на ст. «Академик Вернадский» // Украинский антарктический журнал, 2007/2008, № 6-7. – С. 184-197.

Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ

Дворецкая И.В.

Особенности динамики общего содержания озона в современный период

В работе описаны результаты исследования современной динамики общего содержания озона над территорией Украины и определены основные особенности изменений, которые произошли в последние десятилетия. Полученные результаты указывают на изменчивость как короткопериодической, так и долгопериодической динамики содержания озона, которая проявляется в изменении концентрации, сдвиге фаз сезонного хода, неоднородностях влияния природных воздействий в разных временных интервалах и т.д.

Ключевые слова: общее содержание озона, короткопериодическая динамика, долгопериодическая динамика, сезонный ход, фаза, регрессоры, глобальные геофизические факторы.

Dvoretska I.V.

Features of total ozone dynamics in the modern period

This paper describes the results of a study of modern total ozone dynamics over the territory of Ukraine and the main features of the changes that have occurred in the recent decades. The obtained results indicate the variability a short-period and long-period dynamics of ozone, which reveal in the changes of concentration, the phase of seasonal variations, inhomogeneity of natural influences impact in different time frames, etc.

Keywords: total ozone, short-period dynamics, long-period dynamics, seasonal variation, the phase, regressors, global geophysical factors.