

В.О. Кравченко, О.М. Євтушевський

МІЖРІЧНІ ВАРІАЦІЇ ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ НАД АНТАРКТИКОЮ У ВЕСНЯНІ МІСЯЦІ

Проаналізовано міжрічні варіації площі антарктичної озонної діри та загального вмісту озону над південним полюсом у весняні місяці (вересень-листопад). Показано їх зв'язок із варіаціями амплітуди квазістаціонарних планетарних хвиль у температурі антарктичної стратосфери наприкінці зими (серпень). Одержані значення коефіцієнта кореляції (0,5-0,7) свідчать про суттєвий вплив планетарних хвиль на формування передумов для весняного зниження озону над південним полярним регіоном.

Вступ

Озонова діра над Антарктикою існує майже три десятиріччя, і її поява кожної антарктичної весни призводить до значних втрат маси стратосферного озону. Із середини 1990-х втрати озону стабілізувалися на рівні ~ 35 Мт [7]. В останнє десятиріччя площа озонної діри у вересні досягає максимальних значень ~ 25 млн. км² (суцільна лінія на рис. 1), що майже вдвічі перевищує площу Антарктиди (14 млн. км²). В окремі роки площа діри зменшується на третину (до 17 млн. км² у 2004 р.), або навіть більше ніж на половину (11 млн. км² у 2002 р.).

Таке зменшення озонної діри переважно пов'язане з підвищеною активністю планетарних хвиль і меншою мірою зумовлене рівнем озоноруйнівних сполук у стратосфері, який вважають відповідальним за багаторічний тренд антарктичного озону [9]. Динамічні збурення і внесена в стратосферу енергія планетарних хвиль призводять до нагрівання стратосфери, зменшення стійкості полярного стратосферного вихору та скорочення тривалості його існування, і, як наслідок, до зменшення незворотних утрат маси озону навесні. Важливою є роль планетарних хвиль у зимовий період, коли закладаються передумови для розвитку озонної діри [4, 6].

Якщо десятирічні тренди антарктичного озону та основні їх чинники досліджені досить докладно [7], то причини міжрічних змін потребують детальнішого опису та інтерпретації. У цій роботі увагу

зосереджено на передумовах цих змін і, зокрема, на випадках суттєвого зменшення весняних утрат озону. У роботі [3] було показано, що різке зростання амплітуди квазістаціонарних хвиль (КСХ) у серпневій температурі нижньої антарктичної стратосфери (100 гПа) передувало аномальному зменшенню площі озонової діри навесні 1988 і 2002 рр. У наступних розділах цієї роботи проаналізовано зв'язок між рівнем динамічних збурень наприкінці антарктичної зими (у серпні) та станом озонової діри у весняні місяці (вересень-листопад) за багаторічними даними. Як індикатор активності планетарних хвиль використано амплітуду КСХ у зональному розподілі температури стратосфери. Відомо, що КСХ із зональним хвильовим числом $m = 1$ (КСХ1) є доміантною в південній стратосфері [1, 2]. Вона спричинює зміщення полярного вихору відносно полюса й тому здатна істотно збурювати циркумполярний потік [11].

Для перебігу стратосферних процесів в антарктичній стратосфері серпень, як останній місяць календарної зими в південній півкулі, відіграє особливу роль. По-перше, енергія планетарних хвиль, унесена із тропосфери в стратосферу, накопичується впродовж зими, визначаючи стан стратосферного вихору (інтенсивність циркумполярного потоку й температуру ізольованого ним стратосферного повітря) наприкінці зимового сезону та умови наступної еволюції озонової діри [6].

По-друге, полярні стратосферні хмари всередині зимового вихору, які містять озоноруйнівні сполуки, досягають максимальної площі також у серпні [8]. У зимові місяці їх висота поступово знижується, і в серпні максимальний об'єм стратосферних хмар припадає на висоти 15-25 км, що відповідає максимуму у вертикальному розподілі озону ([10]; див. також сезонні зміни у вертикальному розподілі температури, сприятливої для утворення стратосферних хмар за даними NOAA з 1979 р.: www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere). Тому їх участь у процесах руйнування озону стає найбільш ефективною.

По-третє, у серпні починає швидко зростати площа полярних стратосферних хмар, освітлених сонячними променями; прискорюється перетворення хлористих сполук у хімічно активні форми, що руйнують молекули озону, та збільшується дефіцит маси озону над Антарктичним регіоном ([7], рис. 4-9). Отже, початок утворення озонової діри також припадає на серпень.

Тому характерною особливістю серпневих процесів у південній полярній стратосфері є тісний зв'язок динамічного (планетарні хвилі) та хімічного (полярні стратосферні хмари) чинників формування озонної діри. Їх міжрічні варіації впливають як на ранню стадію, так і на подальшу еволюцію озонної діри.

Дані та метод аналізу

Зональні аномалії температури повітря в стратосфері були розглянуті за даними реаналізу NCEP-NCAR (Національних центрів прогнозування навколишнього середовища та Національного центру атмосферних досліджень, США; <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis>). У роботі проаналізовано довготні розподіли температури в серпні по семи широтах у межах $50^{\circ}\text{S} - 80^{\circ}\text{S}$ із кроком 5° і на п'яти рівнях тиску 150, 100, 50, 30 і 10 гПа (13 – 32 км) за період 1979-2008 рр. Хоча амплітуда КСХ1 і перевищує амплітуди хвиль із вищими зональними хвильовими числами, останні також наявні в довготному розподілі стратосферної температури над Антарктикою. Ми визначали загальну амплітуду квазістаціонарної хвилі ($A_{КСХ}$) як половину сумарного відхилення температури (додатного і від'ємного, див. рис. 3а) від середнього зонального значення в її довготному розподілі. Створено часовий ряд значень $A_{КСХ}$ за 1979-2008 рр. для кожного широтного кола і рівня тиску.

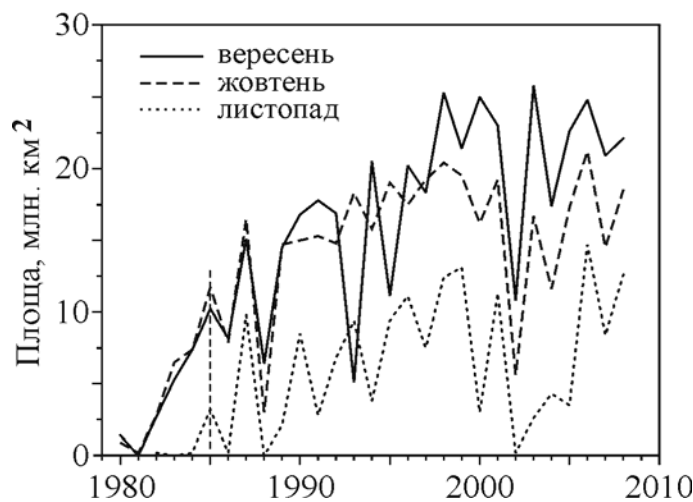


Рис. 1. Міжрічні варіації площі озонної діри у весняні місяці за даними [8] супутникових ультрафіолетових спектрометрів НАСА SBUV (супутник Nimbus-7) та SBUV-2 (супутники NOAA-9, 11, 14, 16, 17)

Стан озонної діри охарактеризовано середньомісячними значеннями її площі S у вересні-листопаді за даними, представленими у [8]. Стандартним критерієм для визначення площі озонної діри є значення ЗВО < 220 одиниць Добсона [7], тобто рівень, до якого ЗВО над антарктичним регіоном практично не знижувався до початку 1980-х років. Варіації озону в центральній частині полярного вихору представлено за даними наземних вимірювань на станції Амундсен-Скотт (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ozwv/dobson/ams>), розміщеній на південному полюсі. Середньомісячні значення загального вмісту озону ZVO_{AC} тут наявні за жовтень і листопад (у вересні вимірювання не проводяться).

Окремі ряди значень S і ZVO_{AC} у першій половині 1980-х (на початку формування озонної діри) показували нульові рівні або варіацій не було виявлено (рис. 1), тому аналіз кореляційних зв'язків проведено, починаючи з 1985 р. (вертикальна пунктирна лінія на рис. 1). Було вилучено лінійні тренди за період 1985-2008 рр. (крім ZVO_{AC} , де застосовано наближення поліномом 3-го ступеня через виразну нелінійність десятирічних змін полярного озону) та обчислені коефіцієнти кореляції r між одержаними міжрічними варіаціями $A_{КСХ}$, з одного боку, та варіаціями S і ZVO_{AC} – з іншого. Таким чином, кореляційний аналіз охоплює 24-річний період еволюції озонної діри в антарктичній стратосфері. Параметри S і ZVO_{AC} ґрунтуються на значеннях ЗВО всередині стратосферного полярного вихору, тому ці ряди даних містять спільні часові варіації. Проте різні процедури вимірювань (супутникові та наземні для S та ZVO_{AC} відповідно), а також відмінності просторового охоплення (регіональні та локальні дані відповідно), дозволяють зробити принаймні дві незалежні оцінки кореляційних співвідношень та порівняти їх відтворюваність.

Аномалії амплітуди КСХ у серпні

Діапазон можливих динамічних збурень у нижній антарктичній стратосфері, зумовлених квазістаціонарними планетарними хвилями в серпні, проілюструємо двома екстремальними випадками. На рис. 2 показано контури температури повітря на рівні тиску 100 гПа (16 км) в умовах дуже слабкого (2002 р.) і дуже сильного (2006 р.) стратосферного полярного вихору (рис. 2а і 2б відповідно). Область, де температури нижчі -78°C , тобто сприятливі для утворення стратосферних хмар,

виділено сірим кольором. У серпні 2002 р. контур температури -78°C помітно зміщений відносно полюса й охоплює істотно меншу площу, ніж у серпні 2006 р. Ці приклади свідчать про зв'язок рівня збурення, спричиненого КСХ в останній зимовий місяць, із утворенням відповідно однієї з найменших та найбільших весняних озонових дір за проаналізований період.

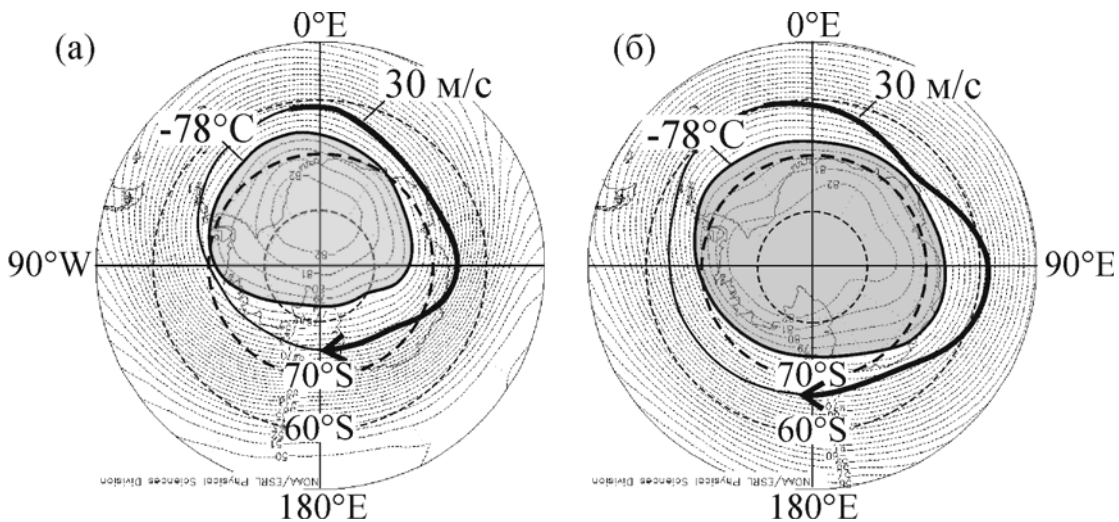


Рис. 2. Розподіл температури на 100 гПа південніше широти 50°S в умовах слабого (а) і сильного (б) стратосферного полярного вихору в серпні 2002 і 2006 рр. відповідно (Положення контуру зонального вітру 30 м/с у східній частині вихору показано жирною кривою зі стрілкою)

Якщо планетарна хвиля із зональним хвильовим числом $m = 1$ в полярному регіоні зумовлює зміщення стратосферного полярного вихору відносно полюса, то хвиля $m = 2$ відповідає за видовження вихору [11]. Рис. 2а показує існування сильної КСХ1 в розподілі температури в серпні 2002 р., тоді як у серпні 2006 р. спостерігалися прояви КСХ1 і КСХ2 порівняно слабкої інтенсивності (незначне як зміщення, так і видовження виділеного контуру -78°C , рис. 2б). Відповідно різним був і рівень зональної асиметрії в розподілі температури. У серпні 2002 р. у результаті переважного впливу КСХ1 утворилися два чіткі зональні екстремуми (суцільна крива на рис. 3а), які на широті 70°S припадають на довготи приблизно 0°E (мінімум) і 180° (максимум). Ці зональні відхилення дають значення амплітуди $A_{КСХ} = 8.0 \text{ K}$, яке більше ніж утричі перевищує значення амплітуди в серпні 2006 р., $A_{КСХ} = 2.5 \text{ K}$ (пунктирна крива на рис. 3а).

Рис. 2-3 дозволяють якісно пояснити причетність квазістаціонарного збурення полярної стратосфери наприкінці антарктичної зими до стану озонної діри наступної весни та тлумачити наявність значного збурення як передумову ослаблення озонної діри. Активність КСХ1 в серпні 2002 р. забезпечила істотне меридіональне зміщення тепліших стратосферних повітряних мас у напрямі полюса: на довготах поблизу 180°E зміщення становить близько десяти градусів по широті в інтервалі $50^{\circ}\text{S} - 80^{\circ}\text{S}$ (позначено стрілкою на меридіональних профілях температури на рис. 3б). Просторово це відповідає приблизно тисячі кілометрам. Зазначимо, що різниця температур на протилежній довготі (0°E , ліва частина рис. 3б) є незначною. Тому до істотного зменшення площі стратосферних хмар у 2002 р. (рівень -78°C позначено пунктирною горизонтальною лінією на рис. 3б) призвело саме меридіональне зміщення до полюса тепліших повітряних мас.

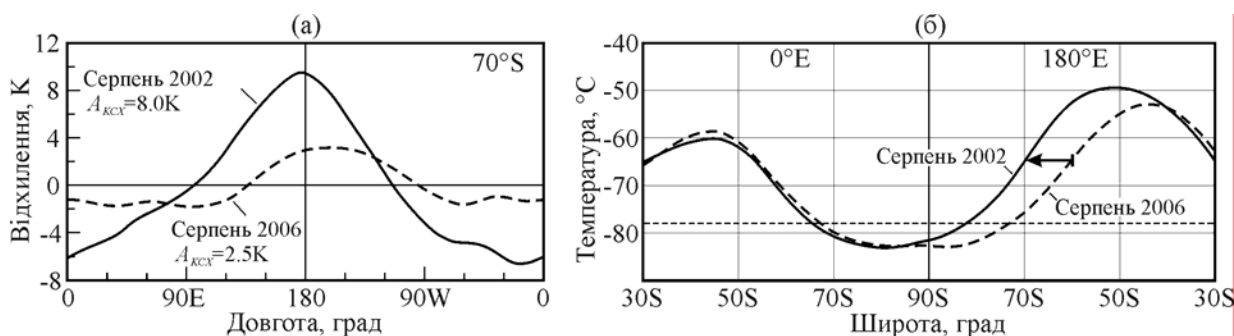


Рис. 3. Розподіл температури в серпні у 2002 р. (суцільні криві) та у 2006 р. (пунктирні криві) на рівні тиску 100 гПа: (а) зональні аномалії на широті 70°S (відповідне широтне коло виділено жирним пунктиром на рис. 2а) та (б) меридіональні профілі в напрямі $0^{\circ}\text{E} - 180^{\circ}\text{E}$

Вища активність планетарних хвиль, які поширювались із тропосфери в стратосферу впродовж зими 2002 р., загалом сприяла підвищенню температури антарктичної стратосфери [6]. Але з рис. 3б видно, що на рівні 100 гПа температура мало відрізнялася не лише вздовж меридіана 0°E , але і в центральній частині вихору – мінімум температури у 2002 і 2006 рр. теж був однаковим (-83°C). Це дозволяє стверджувати, що в серпні 2002 р. мала площа стратосферних хмар на висотах максимуму озону значною мірою зумовлена не загальним зростанням стратосферної температури над регіоном, а її меридіональним

перерозподілом – зміщенням у бік полюса тепліших мас стратосферного повітря в секторі навколо 180°E , як це видно з рис. 2а та рис. 3б.

До того ж, асиметричний відносно полюса циркумполярний потік забезпечує постійне надходження теплішого повітря із широт 60°S - 70°S поблизу меридіана 0°E у вищі широти 70°S - 80°S на протилежних довготах. Тобто через стійку асиметрію вихору підтримується систематичне нагрівання цієї частини високоширотної області. Це демонструє контур зонального вітру 30 м/с на рис. 2а (східну частину контуру виділено жирною кривою): в процесі асиметричного зонального переносу (із заходу на схід, як показано стрілкою) повітря потрапляє із широти гребеня КСХ ($\sim 62^{\circ}\text{S}$) на широту западини ($\sim 75^{\circ}\text{S}$). Причому при зазначеній швидкості зонального вітру впродовж серпня 2002 р. можлива шестиразова циркуляція вздовж даного контуру. Оскільки за багаторічними даними середня зональна температура на широті гребеня вища, ніж на широті западини на $\geq 10^{\circ}\text{C}$ [1], то саме особливість циркуляції в серпні 2002 р. спричинила значну зональну асиметрію температури (рис. 3). Це й було внеском КСХ як у початкову, так і в подальшу еволюцію озонної діри 2002 р.

Хоча відповідний виступ контуру -78°C поблизу 0°E (рис. 2а) більш сприятливий і для гетерогенних реакцій на частинках стратосферних хмар через краще освітлення, ніж у протилежному секторі, ця частина вихору значно менша порівняно з 2006 р. (рис. 2б). Тому динамічний перерозподіл теплової структури антарктичної стратосфери в серпні 2002 р., спричинений КСХ, обмежив, на нашу думку, вплив хімічного чинника на озон через зменшення площі, де низькі температури були сприятливими для утворення стратосферних хмар.

Далі згідно з сезонним ходом ця площа могла лише зменшуватися. До того ж, в умовах сильної асиметрії полярний вихор був динамічно менш стійким і розпався значно раніше, ніж порівняно симетричний вихор у 2006 р., що також вплинуло на зменшення підсумкових утрат озону.

Зазначимо, що в липні 2007 р. також спостерігалось аномальне зростання амплітуди КСХ (за нашими оцінками для рівня тиску 100 гПа до $\sim 8\text{ К}$, що сталося вперше за проаналізований період – багаторічне середнє значення амплітуди в липні $3\pm 1,5\text{ К}$, див. [3]). Проте це не спричинило аномалії в розвитку озонної діри, оскільки липнева асиметрія вихору не призводить до помітної зміни умов освітлення у

крайовій області вихору (середина антарктичної зими), а в серпні 2007 р. амплітуда КСХ повернулася до типових значень.

Розглянуті приклади свідчать, що рівень зональної асиметрії в південній полярній стратосфері в серпні може бути визначальним для подальшого розвитку озонної діри.

Кореляційні співвідношення

У таблицях 1 і 2 наведено значення коефіцієнта кореляції r між амплітудою квазістаціонарної хвилі $A_{КСХ}$ у серпні та площею озонної діри S у вересні, жовтні й листопаді для 10 гПа та 100 гПа відповідно. Вказані середньоквадратичні відхилення свідчать, що статистично значуще реагування на варіації серпневої амплітуди КСХ спостерігається впродовж усіх весняних місяців. Для амплітуди $A_{КСХ}$ на рівні середньої стратосфери (10 гПа) максимальна антикореляція з площею озонної діри існує в жовтні ($r = -0,69 \pm 0,16$), у вересні вона близько $-0,5$, а в листопаді переважно в інтервалі $-0,5 \div -0,6$ (табл. 1).

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції r між амплітудою квазістаціонарної зональної хвилі $A_{КСХ}$ в температурі стратосфери у серпні на рівні тиску 10 гПа (дані реаналізу NCEP-NCAR) і середньомісячною площею S озонної діри у вересні-листопаді (дані NOAA/CPSC)

Широта серпневої амплітуди $A_{КСХ}$ ($^{\circ}S$)	Кореляція $A_{КСХ} - S$					
	Вересень		Жовтень		Листопад	
	r	σ	r	σ	r	σ
50	-0.45	0.19	-0.67	0.16	-0.58	0.17
55	-0.47	0.19	-0.69	0.15	-0.61	0.17
60	-0.47	0.19	-0.69	0.16	-0.61	0.17
65	-0.45	0.19	-0.64	0.16	-0.57	0.18
70	-0.48	0.19	-0.64	0.16	-0.53	0.18
75	-0.50	0.19	-0.64	0.16	-0.50	0.19
80	-0.43	0.19	-0.54	0.18	-0.37	0.20

Показано середньоквадратичні відхилення $\pm\sigma$. Коефіцієнти кореляції, що перевищують рівень $\pm 2\sigma$, виділено жирним шрифтом, а їх широтні максимуми – курсивом

Антикореляційний зв'язок означає зменшення площі озонної діри у весняні місяці в разі зростання амплітуди квазістаціонарного збурення наприкінці антарктичної зими. Одержані значення r демонструють тримісячну тривалість цього ефекту й підтверджують висновок попереднього розділу, що рівень збурень від квазістаціонарних планетарних хвиль у серпні помітно позначається на всьому подальшому розвитку озонної діри. Характерно, що на рівні 10 гПа широтний максимум антикореляції в жовтні-листопаді ($r = -0.6 \div -0.7$) припадає на субантарктичні широти 55°S - 60°S (виділено жирним шрифтом у табл. 1).

Для амплітуди $A_{КСХ}$ на рівні тиску 100 гПа антикореляція є максимальною у вересні-жовтні ($r = -0.4 \div -0.6$), тобто на місяць раніше, ніж на рівні 10 гПа. Відмінність є також і в положенні широтного максимуму антикореляції, який у вересні спостерігається поблизу широти 70°S (виділено жирним шрифтом у табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції, як і в таблиці 1, для рівня тиску 100 гПа

Широта серпневої амплітуди $A_{КСХ}$ ($^{\circ}\text{S}$)	Кореляція $A_{КСХ} - S$					
	Вересень		Жовтень		Листопад	
	r	σ	r	σ	r	σ
50	-0.37	0.20	-0.60	0.17	-0.39	0.20
55	-0.45	0.19	-0.63	0.17	-0.41	0.19
60	-0.51	0.18	-0.60	0.17	-0.34	0.20
65	-0.56	0.18	-0.62	0.17	-0.35	0.20
70	-0.57	0.18	-0.63	0.17	-0.42	0.19
75	-0.46	0.19	-0.50	0.19	-0.44	0.19
80	-0.40	0.20	-0.30	0.20	-0.32	0.20

Розподіл коефіцієнта кореляції r на п'яти рівнях тиску (від 13 до 32 км) на рис. 4а показує, що у всьому інтервалі висот максимальне реагування S на серпневій КСХ спостерігається в жовтні (суцільна лінія). При цьому чітко простежується зростання антикореляції з висотою між двома верхніми рівнями – від 30 гПа до 10 гПа. Схожа тенденція й для реагування озонної діри в листопаді (пунктирна лінія на рис. 4а). Але у вересні тенденція протилежна: максимум кореляції поблизу 70°S (65°S - 75°S) зменшується з висотою від -0,6 до -0,5, трансформуючись у

порівняно рівномірний широтний розподіл r на рівні 10 гПа (точкова лінія на рис. 4а).

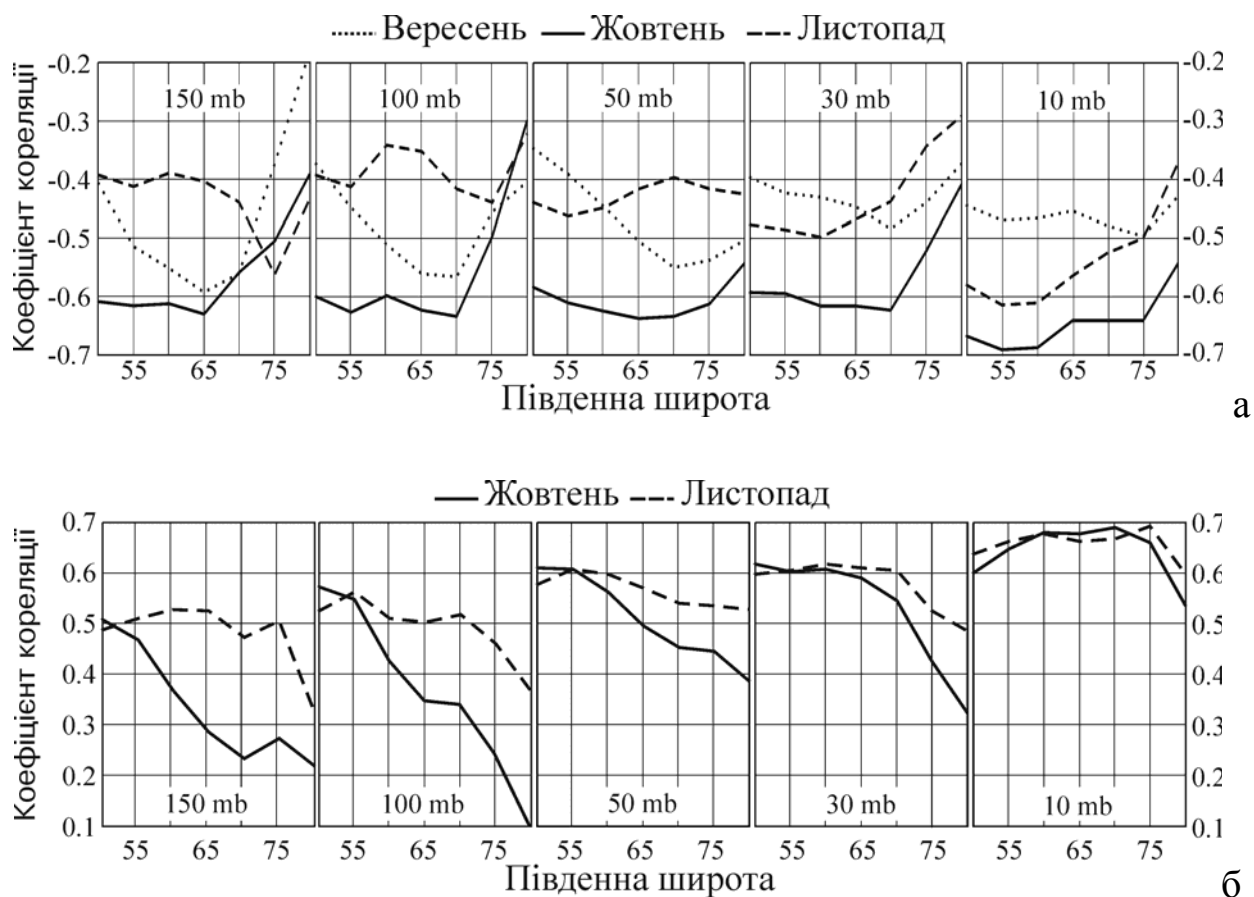


Рис. 4. Широтний розподіл кореляції між варіаціями амплітуди КСХ у серпні на п'яти рівнях тиску та (а) площі озонної діри у вересні-листопаді і (б) загального вмісту озону над південним полюсом у жовтні-листопаді

Розподіл кореляції між $A_{КСХ}$ та вмістом озону над південним полюсом ZVO_{AC} (рис. 4б) також свідчить, що найпомітніший ефект справляють серпневі збурення на рівнях тиску 30 мб і 10 мб ($r = 0,6 \div 0,7$). Ці значення r узгоджуються з одержаними для площі озонної діри (рис. 4а) як за рівнем кореляції, так і за тенденцією змін з висотою. У цілому результати аналізу показують, що посилення інтенсивності серпневих КСХ знижує весняні втрати антарктичного озону, супроводжуючись як зменшенням площі озонної діри (антикореляція на рис 4а), так і зростанням ЗВО в її центральній частині (пряма кореляція на рис. 4б).

Проте вплив КСХ є залежним від широтного та висотного положення збурень. Існують два максимуми кореляційного зв'язку, які можуть бути віднесені до серпневих збурень: а) у нижній стратосфері

поблизу широти 70°S , на які помітно реагує озонова діра у вересні та б) у середній стратосфері на субантарктичних широтах, реагування на які триває до жовтня-листопада.

Як відомо, вертикальна структура нічного полярного струменя істотно впливає на поширення планетарних хвиль і поглинання їх енергії в стратосфері [4, 5]. Максимум зональної швидкості в зимові місяці перебуває в середній і верхній стратосфері (30-60 км), де максимальною є її амплітуда КСХ [1]. Оскільки існує повільне сезонне зменшення висоти і площі вихору, то квазістаціонарне хвильове збурення, яке відбулось у середній стратосфері в серпні, ймовірніше, може досягти висоти максимуму концентрації озону в нижній стратосфері у весняні місяці і, отже, тривалий час може позначатися на стані озонового шару. Під час аналізування вертикальної структури озонової діри у 2002 р. було встановлено, що транспорт із середніх широт і зниження із середньої стратосфери збагаченого озоном повітря значно впливали на заповнення озонової діри та зростання в ній рівня ЗВО [5]. Ці особливості можуть позначатися на зростанні кореляційного зв'язку під час наближення до рівня 10 гПа та під час зміщення до нижчих широт (рис. 4).

У нижній стратосфері, як було показано в розділі 3 (рис. 2-3), значення $A_{КСХ}$ також можуть варіювати у значних межах. Тут зміни $A_{КСХ}$ впливають на площу стратосферних хмар і на рівень хімічних утрат озону. Тому максимум антикореляції з амплітудою КСХ у нижній стратосфері (крива для вересня на рис. 4а) може зумовлюватися тісним зв'язком динамічних і хімічних процесів. Проте широтне положення максимуму (поблизу 70°S) у межах цього аналізу пояснити складніше. Ймовірним є вплив на варіації КСХ температурного контрасту на границі "континент-океан", яка перебуває на ближчих широтах. Таке пояснення узгоджується зі зниженням антикореляційного зв'язку у вересні зі зростанням висоти, що може бути наслідком затухання радіаційних впливів від континенту з висотою – вони максимальні в нижній стратосфері [2]. Для детальнішого аналізу внеску КСХ в сезонну еволюцію озонової діри доцільно провести аналіз із кращим просторовим розділенням по широті і висоті.

Результати кореляційного аналізу вказують на відмінність впливу квазістаціонарних планетарних хвиль на озон у нижній та середній стратосфері. Рівень збурень від серпневих КСХ у нижній стратосфері може позначатися на площі стратосферних хмар через динамічний

перерозподіл температури, а в середній стратосфері – на перенесенні озону та заповненні озонової діри. Але обидва ефекти подібно впливають на варіації загального вмісту озону над Антарктикою у весняні місяці – підвищують його рівень, коли зростає амплітуда КСХ.

Висновки

Проаналізовано зв'язок варіацій загального вмісту озону над Антарктикою у весняні місяці з варіаціями амплітуди квазістаціонарних планетарних хвиль у розподілі температури стратосфери в останній зимовий місяць. Показано, що чутливим індикатором рівня ЗВО у вересні – листопаді може бути амплітуда квазістаціонарної планетарної хвилі в температурі стратосфери в серпні. Варіації амплітуди КСХ корелюють з площею озонової діри та ЗВО над південним полюсом з коефіцієнтами до -0,7 та 0,7 відповідно, які є статистично значущими. Це свідчить про те, що КСХ суттєво впливає на перебіг процесів, які визначають рівень утрат озону в антарктичній стратосфері та сезонну еволюцію озонової діри. Виявлено максимуми кореляційної залежності від амплітуди КСХ на рівні нижньої (100-150 гПа) та середньої (10 гПа) стратосфери.

У нижній стратосфері ефект від КСХ може бути пов'язаний із асиметрією вихору та площею стратосферних хмар, а в середній стратосфері – із меридіональним переміщенням і заповненням озонової діри багатим на озон середньоширотним повітрям. В обох випадках посилення активності КСХ протидіє зниженню ЗВО в антарктичній стратосфері, проте, якщо в першому випадку можливе зменшення незворотних утрат озону, то в другому відбувається лише його просторовий перерозподіл у результаті перенесення.

* *

Проанализированы межгодовые вариации площади антарктической озоновой дыры и общего содержания озона над южным полюсом в весенние месяцы (сентябрь-ноябрь). Показана их связь с вариациями амплитуды квазистационарных планетарных волн в температуре антарктической стратосферы в конце зимы (август). Полученные значения коэффициента корреляции (0,5-0,7) свидетельствуют о существенном влиянии планетарных волн на формирование предпосылок для весеннего снижения озона над южным полярным регионом.

* *

1. Кошельков Ю.П. Циркуляция и строение стратосферы и мезосферы южного полушария. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 168 с.
2. Francis G.N., Salby M.L. Radiative influence of Antarctica on the polar-night vortex // J. Atmos. Sci. – 2001. – Vol. 58, № 10. – P. 1300-1309.
3. Grytsai A.V., Evtushevsky O.M., Milinevsky G.P. Anomalous quasi-stationary planetary waves over the Antarctic region in 1988 and 2002 // Annales Geophysicae. – 2008. – Vol. 26, № 5. – P. 1101-1108.
4. Huck P.E., McDonald A.J., Bodeker G.E., Struthers H. Interannual variability in Antarctic ozone depletion controlled by planetary waves and polar temperature // Geophys. Res. Lett. 2005. – Vol. 32. – L13819, doi: 10.1029/2005GL022943.
5. Kondragunta S., Flynn L.E., Neuendorffer A., Miller A.J., Long C., Nagatani R., Zhou S., Beck T., Beach E., McPeters R., Stolarski R., Bhartia P.K., DeLand M.T. and Huang L.-K. Vertical structure of the anomalous 2002 Antarctic ozone hole // J. Atmos. Sci. – 2005. – Vol. 62, № 3. – P. 801-811.
6. Newman P.A., Nash E.R. The unusual Southern Hemisphere stratosphere winter of 2002 // J. Atmos. Sci. – 2005. – Vol. 62, № 3. – P. 614-628.
7. Scientific assessment of ozone depletion: 2006. World Meteorological Organization. Global Ozone Research and Monitoring Project, Report № 50. – Geneva, Switzerland, 2007. – 572 p.
8. Southern Hemisphere Winter Summary, 2008. NOAA Climate Prediction Center, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere>.
9. Tully M.B., Klekociuk A.R., Deschamps L.L., Henderson S.I., Krummel P.B., Fraser P.J., Shanklin J.D., Downey A.H., Gies H.P. and Javorniczky J. The 2007 Antarctic ozone hole // Aust. Met. Mag. – 2008. – Vol. 57, № 3. – P. 279-298.
10. Von Savigny C., Ulas E.P., Eichmann K.-U., Bovensmann H. and Burrows J. P. Detection and mapping of polar stratospheric clouds using limb scattering observations // Atmos. Chem. Phys. – 2005. – Vol. 5. – P. 3071-3079.
11. Waugh D.W., Randel W.J. Climatology of Arctic and Antarctic vortices using elliptical diagnostics // J. Atmos. Sci. – 1999. – Vol. 56, № 11. – P. 1594-1613.
12. Wirth V. Quasi-stationary planetary waves in total ozone and their correlation with lower stratospheric temperature // J. Geophys. Res. – 1993. – Vol. 98, № D5. – P. 8873-8882.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка