

УДК 551.510.534

А. В. Грицай^{1,2}, О. М. Євтушевський¹, Г. П. Міліневський^{1,2},
З. І. Грицай¹, О. В. Агапітов¹

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

²Національний антарктичний науковий центр МОН України, Київ

Довготний розподіл загального вмісту озону в атмосфері у крайовій області антарктичного стратосферного вихору

Надійшла до редакції 08.04.05

Проаналізовано довготний розподіл загального вмісту озону (ЗВО) у крайовій області антарктичного стратосферного полярного вихору за даними вимірювань супутникового спектрометра TOMS (версія 8) у 1979—2004 рр. Розглядається п'ятимісячний часовий інтервал (серпень—грудень), що охоплює кінець антарктичної зими, весну та початок літа. З використанням щоденних даних TOMS для широт 65° S та 70° S отримано усереднені за 5 місяців зональні розподіли ЗВО. Домінуючою є хвиля із зональним хвильовим числом 1, яка і формує зональну асиметрію з існуванням розташованих у протилежних довготних секторах максимуму та мінімуму квазістаціонарної хвилі. Впродовж останніх 26 років відбувалося збільшення асиметрії, яка в останні роки досягла 70—90 одиниць Добсона, або близько 30 % відносно середнього зонального значення. Спостерігаються міжрічні варіації довготи максимуму ЗВО навколо стійкого положення близько 162° E і 172° E на широтах 65° S і 70° S відповідно. Довгота мінімуму, крім міжрічних варіацій, у 1979—2004 рр. зазнає систематичного зміщення на схід у довготному секторі між 45° W і 10° E. Спектральний аналіз показує, що ця тенденція зумовлена взаємодією квазістаціонарних складових із зональними хвильовими числами 1 та 2, які в останні десятиліття мають протилежний довготний дрейф фази максимальної амплітуди.

ВСТУП

Два основних прояви великомасштабних атмосферних збурень — біжучі та стоячі планетарні хвилі — широко досліджуються впродовж останніх десятиліть [2, 3, 7, 9, 12]. Біжучі планетарні хвилі (ПХ), поширюючись в атмосфері, реєструються у певному пункті спостережень як періодичні варіації атмосферних параметрів. Стоячі хвилі зумовлюють порівняно стійкий просторовий розподіл характеристик атмосфери з хвилеподібною структурою у горизонтальному та вертикальному напрямках. В реальній атмосфері вони спостерігаються як квазістаціонарні, тобто відхилення від стійкого просторового розподілу відбуваються у певних межах. Відомо, наприклад, що залежно від сезону квазістаціонарні хвилі температури та геопотенціалу у стратосфері можуть мати значні коливання амплі-

туди і фази або бути порівняно стійкими [2]. Спектральний склад ПХ також враховується при дослідженні викликаних ними збурень. Квазістаціонарним планетарним хвилям над Антарктикою властиве домінування низьких зональних хвильових чисел 1 і 2 з переважанням хвилі 1 та максимальна амплітуда у весняні місяці [10, 16].

Робота присвячена аналізу довготного розподілу загального вмісту озону (ЗВО) в атмосфері над Антарктичним регіоном. Використано супутникові вимірювання TOMS (версія 8) за 1979—2004 рр. Для широт 65° S і 70° S визначено характеристики квазістаціонарного довготного розподілу ЗВО для сезону серпень—грудень. Зроблено оцінки внеску планетарних хвиль із зональними хвильовими числами 1—5. Це крайова зона стратосферного полярного вихору (60—70° S, [8]), де хвильові збурення проявляються особливо контрастно (рис. 1) і

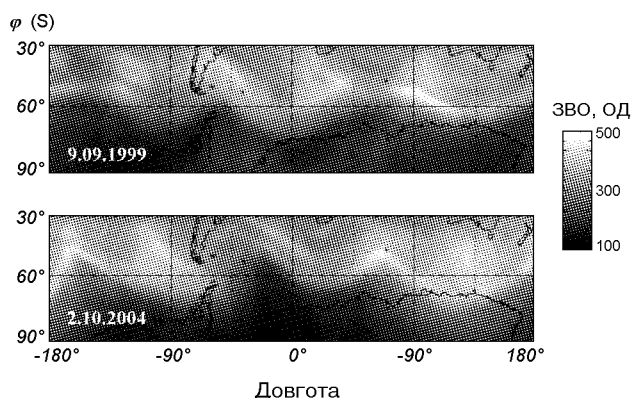


Рис. 1. Деформація озонної діри під дією планетарних хвиль. Фрагменти глобального розподілу ЗВО для широтного інтервалу 30—90° S за даними супутникового спектрометра EP/TOMS 9 вересня 1999 р. та 2 жовтня 2004 р.

квазістаціонарна складова хвиль тут має найбільшу амплітуду. Саме тут, у зоні найвищої хвильової активності у зимово-весняний період, розташована українська антарктична станція Академік Вернадський (65.15° S, 64.15° W).

В роботі розглянуто міжрічні варіації і довготри-валі тренди характеристик квазістаціонарного довготного розподілу ЗВО. Вони дозволяють оцінити рівень зональної асиметрії ЗВО, важливого і мало-дослідженого показника стану середньої атмосфери у період антарктичної весни.

МЕТОДИКА АНАЛІЗУ

Для вивчення варіацій довготного розподілу ЗВО застосовано методику, викладену в роботі [5]. Щоденні дані розподілу ЗВО над поверхнею Землі за вимірюваннями супутникового спектрометра TOMS формуються з кроком по широті 1° і по довготі 1.25° [TOMS ozone data, <http://toms.gsfc.nasa.gov/ftpdata.html>, 2005]. Розроблено програмне забезпечення для візуалізації щоденних полів ЗВО у заданих інтервалах географічних координат (рис. 1), а також змін його довготного розподілу на заданій широті упродовж одного місяця, придатне для роботи з форматами даних NASA CDF, HDF та netCDF.

На рис. 2, *a—б* показані варіації довготного розподілу ЗВО для широтного кола 65° S упродовж серпня—грудня 1996 і 2003 рр. Часовий інтервал для аналізу вибрано з урахуванням тривалості існування озонної діри — це переважно вересень—листопад. Серпень і грудень додано для повнішого розгляду процесу наростання та зниження хвильової активності у цей сезон.

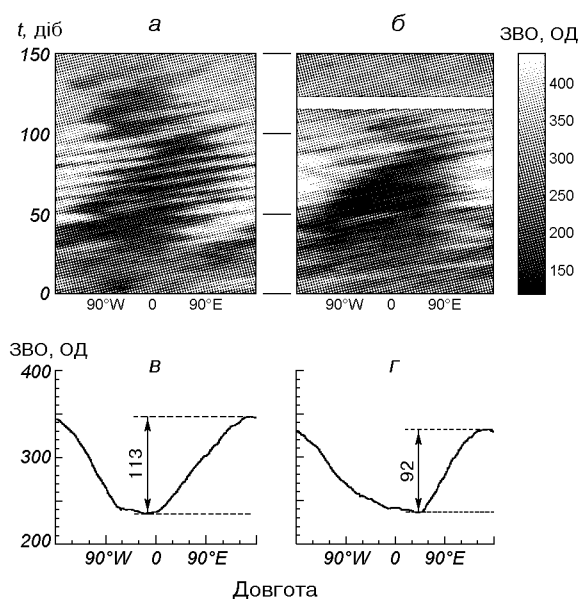


Рис. 2. Варіації щоденного довготного розподілу ЗВО на широті 65° S протягом серпня—грудня 1996 р. (*a*) та 2003 р. (*б*) та відповідні усереднені за п'ять місяців розподіли (*в*, *г*), які показують домінування квазістаціонарної хвилі із зональним хвильовим числом 1

Хоча хвильова активність у південній стратосфері висока і в зимовий період [4, 6], розширити аналіз на всі зимові місяці неможливо через відсутність озонних даних. Вимірювання ЗВО спектрометром TOMS на широтах 65° S і 70° S раніше серпня не виконуються через велику зенітну відстань Сонця в умовах полярної ночі.

Прояви квазістаціонарного довготного розподілу на рис. 2, *a—б* видно в стійкості низьких значень ЗВО в секторі навколо нульової довготи та високих — у протилежному довготному секторі ~180° E. Усереднений за 5 місяців довготний розподіл свідчить про домінування зональної хвилі 1 (рис. 2, *в—г*).

У 8-й версії алгоритму обробки вимірювань TOMS дані за серпень—грудень наявні, починаючи з 1979 р., за виключенням трьох років — 1993, 1994 і 1995 рр. Для визначення характеристик стаціонарної складової планетарних хвиль проведено аналіз 5-місячних середніх довготних розподілів ЗВО, згладжених із застосуванням 50-градусного вікна; виконано спектральний аналіз щоденних розподілів з виділенням зональних хвильових чисел 1—5 і одержано п'ятимісячні середні довготні профілі стаціонарного розподілу для кожної гармоніки.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАЗІСТАЦІОНАРНОГО
ДОВГОТНОГО РОЗПОДІЛУ
ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ

Для широт 65°S і 70°S визначено екстремальні значення ЗВО за період 1979—2004 рр. (рис. 3, *a*) та обчислено амплітуду зональної хвилі як половину різниці між максимумом та мінімумом (рис. 3, *б*). Варіації довготного положення максимуму і мінімуму квазістаціонарної хвилі ЗВО показані на рис. 3, *в*.

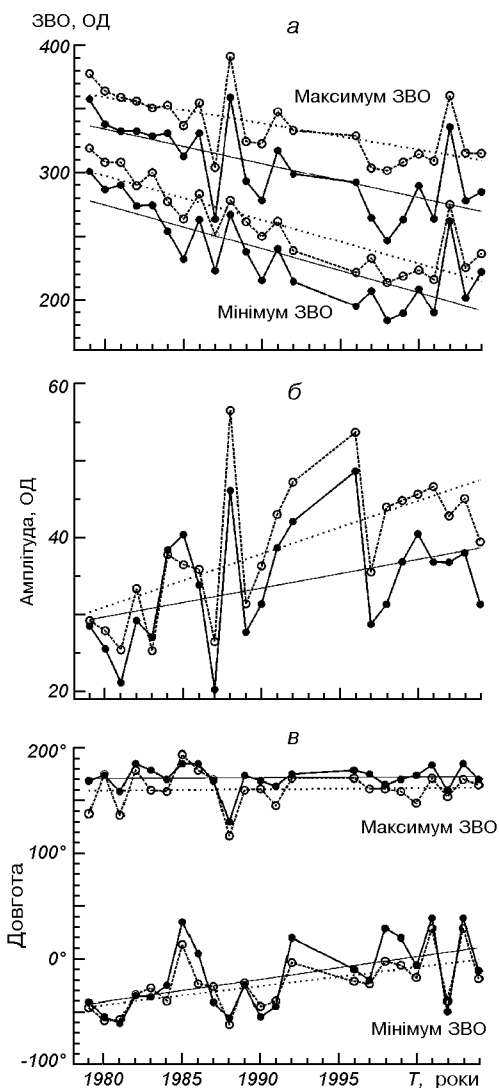


Рис. 3. Максимальний і мінімальний рівень ЗВО у 5-місячному середньому довготному розподілі на широтах 65°S (пунктирна лінія) та 70°S (суцільна лінія) (*a*), амплітуда квазістаціонарної зональної хвилі ЗВО (*б*) та варіації довготного положення максимуму і мінімуму ЗВО в 1979—2004 рр. (*в*)

З рис. 3, *a* видно, що як на максимальному, так і на мінімальному рівнях ЗВО спостерігається багаторічний негативний тренд, що відбиває тенденцію глобального зниження вмісту озону в атмосфері. Лінійна апроксимація свідчить про вищі темпи цього процесу на рівні мінімальних значень (див. таблицю). Різниця між швидкістю зниження ЗВО в області низьких і високих рівнів ЗВО на рис. 3, *a* пояснюється умовами формування квазістаціонарного розподілу стратосферного озону.

На окремому широтному кільці в крайовій зоні полярного вихору низькі рівні виникають при надходженні збідненого озonom стратосферного повітря із полярних областей у виступах планетарних хвиль (рис. 1). Високі рівні спричинені збагаченим озonom середньозиротним повітрям, яке зміщується в бік полюса у вигинах хвиль. Якщо, наприклад, відносно широти 60°S хвильове збурення досягає $\pm 15^{\circ}$ (нижче зображення на рис. 1), то в довготному розподілі ЗВО на цій широті одночасно є повітряні маси з широти 45°S і 75°S .

У період існування вихору його внутрішня область, яка фактично відповідає озоновій дірі, ізолювана від середньозиротного стратосферного повітря, де через відсутність обміну накопичується високий вміст озону. Тому на краю вихору утворюються високі градієнти малих складових атмосфери [14], в тому числі озону, а хвильове збурення краю вихору створює значні контрасти ЗВО уздовж фіксованого широтного кола. Як було показано в роботі [5], для широти станції Академік Вернадський 65°S різниця багаторічних трендів для квазістаціонарних екстремумів ЗВО узгоджується з різницею середніх трендів у широтних зонах, розташованих з полярного і екваторіального боку від станції. Отже, основною причиною квазістаціонарного зонального розподілу ЗВО у даному регіоні є викликане планетарними хвилями меридіональне зміщення полярного (в бік екватора) і середньозиротного (у бік полюса) стратосферного повітря, яке в період існування циркумполярного вихору має високий градієнт ЗВО на межі вихору.

Амплітуда зональної хвилі в останнє десятиліття досягла в середньому 45 та 35 OD на широтах 65°S та 70°S відповідно (рис. 3, *б*). Це дорівнює різниці між максимальним і мінімальним значеннями на рівні 90 та 70 OD відповідно. Наприклад, на широті 65°S спостерігається зональна асиметрія ЗВО з екстремумами 230 та 320 OD (рис. 3, *a*). При цьому на кожній широті асиметрія ЗВО становить близько 30 % відносно середніх зональних значень, а в окремі роки наближається до 40 % (див. 1996 р. на рис. 2, *в*). Нагадаємо, що це усереднені характеристики для п'ятимісячного часового інтервалу.

З одержаних даних випливає також існування іншого прояву зональної асиметрії — у довготному положенні квазістаціонарних екстремумів ЗВО. Якщо довгота максимуму досить стабільна (162° E і 172° E на широті 65° S і 70° S відповідно), то мінімум упродовж 1979—2004 рр. систематично зміщується на схід від 45° W до 0° та від 40° W до 10° E відповідно (див. рис. 3, в і таблицю). Лінійна апроксимація показує близьку швидкість дрейфу на схід на двох широтах (рис. 3, в), в середньому 19.6 ± 4.7 градусів за десятиліття (див. таблицю). На рівні середнього квадратичного відхилення 2σ систематичний зсув довготи мінімуму фіксується досить надійно, тоді як зсувом максимуму можна знехтувати (1.0 ± 2.9 градусів за десятиліття). Одержані характеристики квазістаціонарних екстремумів ЗВО зведено в таблиці.

Основні характеристики квазістаціонарного довготного розподілу ЗВО (похибки вказані на рівні 2σ)

Характеристика	Південна широта	
	65°	70°
Тренд ЗВО-макс за 10 років, %	-5.7 ± 1.5	-8.0 ± 2.0
Тренд ЗВО-мін за 10 років, %	-11.4 ± 1.6	-12.3 ± 2.2
Тренд амплітуди за 10 років	6.9 ± 1.8	3.7 ± 1.8
Східна довгота ЗВО-макс	$161.5^\circ \pm 16.6^\circ$	$172.1^\circ \pm 12.0^\circ$
Зсув довготи ЗВО-макс за 10 років	$1.0^\circ \pm 2.9^\circ$	
Зсув довготи ЗВО-мін за 10 років	$19.6^\circ \pm 4.7^\circ$	
Зсув фази хвилі 1 за 10 років	$8.2^\circ \pm 3.7^\circ$	
Зсув фази хвилі 2 за 10 років	$-27.7^\circ \pm 5.4^\circ$	

СПЕКТРАЛЬНІ СКЛАДОВІ СТАЦІОНАРНОГО ЗОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ

Для встановлення причини відмінностей у варіаціях довготного положення максимуму та мінімуму проаналізовано спектральний склад щоденних довготних розподілів ЗВО за серпень—грудень і отримано середні за п'ять місяців довготні профілі для зональних хвильових чисел 1–5 (рис. 4). Видно, що багаторічна стійкість довготного розподілу ЗВО найвиразніше виявляється у положенні фази максимальної амплітуди хвилі 1. Крім того, характерною є більш висока стійкість хвильових чисел 2–5 на широті 70° S порівняно з широтою 65° S. Стійкою особливістю є і майже протифазне поєднання хвиль 1 і 2 в довготному секторі квазістаціонарного мінімуму ЗВО (в середньому 45° W — 10° E, рис. 3, в) і відповідно близьке до синфазного — в секторі максимуму (навколо 160 — 170° E). Ці гармоніки мають і найбільшу амплітуду, тоді як хвилі

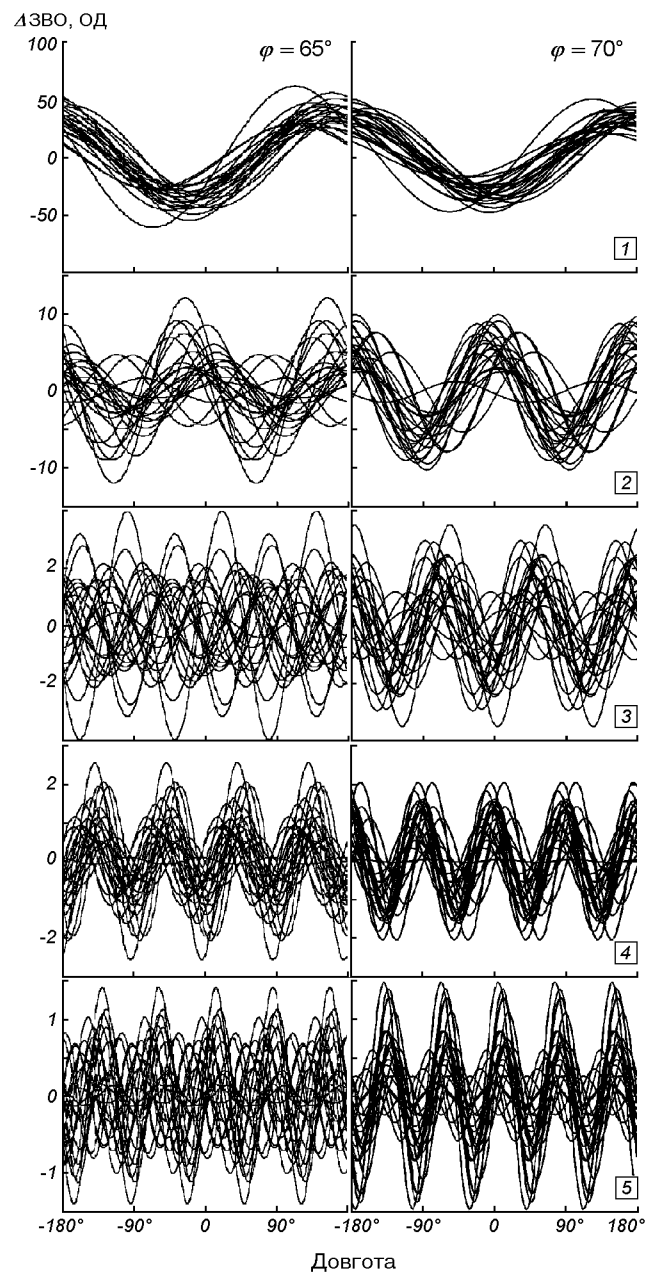


Рис. 4. Міжрічні варіації фази та амплітуди стаціонарного зонального розподілу ЗВО в 1979—2004 рр. для хвильових чисел 1—5 на широті 65° S і 70° S. Кожна крива подає п'ятимісячний (серпень—грудень) середній розподіл

3—5 з амплітудою, меншою за 2 ОД, не впливають істотно на середній п'ятимісячний довготний розподіл ЗВО. Докладніше характеристики хвиль 1—5 висвітлено в окремій публікації.

Тут ми звертаємо увагу на результати спектрального і статистичного аналізу, які дозволили виявити відмінність характеру довготривалої зміни фази

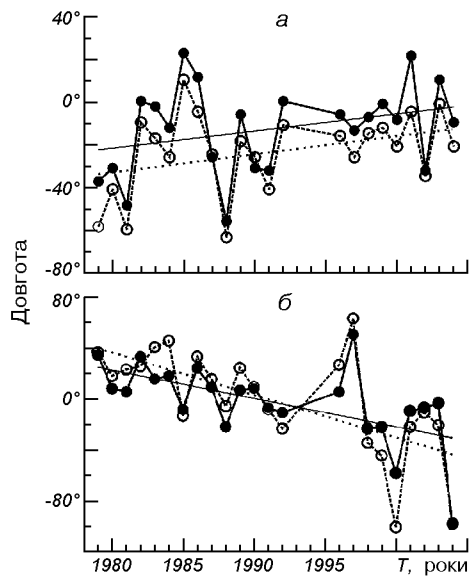


Рис. 5. Багаторічні зміни і тренди фази мінімуму квазістаціонарної зональної хвилі 1 (а) і максимуму хвилі 2 (б) на широті 65° S (пунктирна лінія) та 70° S (суцільна лінія)

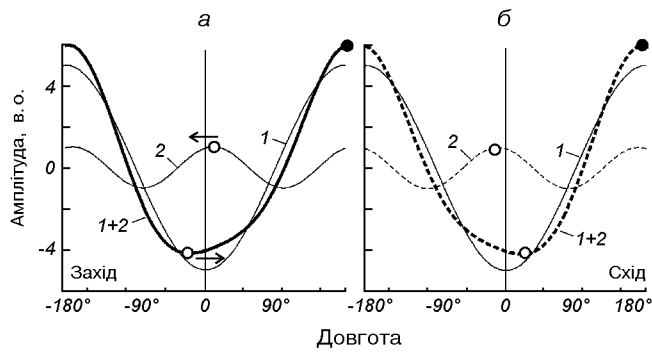


Рис. 6. Результат взаємодії квазістаціонарних хвиль 1 і 2 з близькими фазами максимальної амплітуди при довготному зміщенні хвилі 2 відносно хвилі 1

максимальної амплітуди стаціонарних хвиль 1 і 2 (рис. 5). Швидкість довготного дрейфу, як впливає з лінійної апроксимації, в середньому для двох широт становила 8.2 ± 3.7 та -27.7 ± 5.4 градусів за десятиліття відповідно. За 1979—2004 рр. це зумовило загальний зсув фаз у протилежних напрямках: 20° на схід (хвиля 1) та 60° на захід (хвиля 2). Саме таке поєднання положень і напрямів багаторічного дрейфу стаціонарних хвиль 1 і 2, як показало моделювання (рис. 6), забезпечує довготривалу стійкість максимуму і східний дрейф мінімуму в квазістаціонарному зональному розподілі ЗВО, показані на рис. 3, в.

З рис. 6 видно, що при протифазному поєднанні екстремумів хвиль 1 і 2, що має місце поблизу

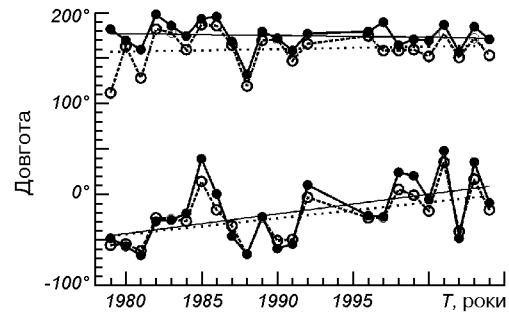


Рис. 7. Положення максимуму і мінімуму стаціонарного розподілу ЗВО на широті 65° S (пунктирна лінія) та 70° S (суцільна лінія), отримані додаванням хвиль із зональними хвильовими числами 1 і 2. Варіації 5-місячних середніх значень фази, показані на рис. 3, в, практично повністю відтворюються поєднанням перших двох гармонік

нульової довготи (див. рис. 4), у результаті зміщення хвилі 2 на захід (тонка пунктирна лінія на рис. 6, б) відносно нерухомої хвилі 1 (тонка суцільна лінія) мінімум сумарного розподілу «хвиля 1 + хвиля 2» зміщується на схід (білий кружок на жирній пунктирній лінії). Положення ж максимуму суми двох хвиль при цьому залишається майже незмінним (точка). Співвідношення амплітуд стаціонарних хвиль 1 і 2 становить 5:1 для широти 70° S.

Якщо взяти реальні значення фази і амплітуди хвиль 1 і 2, одержані в результаті спектрального аналізу та п'ятимісячного усереднення (рис. 4), то можна пересвідчитися: зміни довготних положень екстремумів ЗВО, показані на рис. 3, в, відтворюються сумою лише перших двох зональних гармонік (рис. 7).

Зокрема, для положення максимуму на широті 65° S ця сума дає значення $160.1 \pm 19.6^\circ$ E, що на 1.4° відрізняється від відповідного значення в таблиці. У випадку мінімуму, де важливіша поведінка багаторічного тренду, в середньому для двох широт сума хвиль 1 і 2 забезпечує тренд на схід 19.7 ± 5.0 градусів за 10 років, що практично збігається із відповідним значенням у таблиці.

ОБГОВОРЕННЯ І ВИСНОВКИ

З одержаних результатів видно, що зональна асиметрія ЗВО існує у період формування, існування та руйнування озонної діри. Це майже піврічний період, хоча найбільший рівень втрат озону досягається антарктичної весни — у вересні—листопаді, коли у полярному регіоні реєструються найнижчі значення ЗВО. Саме з цього регіону надходять

збіднені озonom повітряні маси в довготний сектор стаціонарного мінімуму ЗВО.

Відомо, що загальний вміст озону в стовпі атмосфери над Антарктикою забезпечується переважно шаром нижньої стратосфери на висотах 10—20 км, де його концентрація найвища [1, 12]. Як показано в роботі [13], найбільша частина спостереженої змінності ЗВО зумовлена горизонтальним рухом повітря саме тієї ділянки стовпа (quasi-columnar motion), яка розташована у нижній стратосфері. А найбільший внесок у такий горизонтальний рух у зимово-весняний сезон в Антарктиці роблять планетарні хвилі, викликаючи меридіональне зміщення повітряних мас. У динамічному процесі взаємодії планетарних хвиль із краєм стратосферного вихору відбувається його стійке витягування та зміщення в цілому у бік довготного сектора поблизу Антарктичного півострова. Це і формує квазістаціонарний довготний розподіл ЗВО в даному регіоні з певним рівнем зональної асиметрії упродовж майже піврічного інтервалу.

У цій роботі для двох широтних кіл 65° S і 70° S за даними EP/TOMS встановлено характер багаторічних змін квазістаціонарного довготного розподілу ЗВО у серпні—грудні 1979—2004 рр. Наведені результати показують, що:

1) спостерігається стійка асиметрія зонального розподілу ЗВО, яка утримується упродовж п'яти місяців і припадає переважно на антарктичну весну;

2) різниця між мінімальним і максимальним рівнями ЗВО на широтах 65° S і 70° S збільшилась в останні роки до 70—90 ОД (30 % відносно середньозонального значення);

3) довготне положення максимуму досить стабільне (162° E і 172° E на широтах 65° S і 70° S відповідно);

4) положення мінімуму зазнає довготривалого дрейфу на схід зі швидкістю в середньому близько 20° за десятиліття, що призвело до існування змінної асиметрії в довготному положенні екстремумів ЗВО (рис. 3, в).

З урахуванням вертикального розподілу озону, підкреслимо, що виявлені тенденції характеризують головним чином нижню стратосферу, з якою пов'язані динамічні зміни ЗВО. Щодо часових рамок встановлення зональної асиметрії — це зимово-весняний сезон з найвищим рівнем асиметрії у вересні—листопаді, коли реєструються найбільші втрати озону у полярній області. Для аналізу динаміки сезонних змін асиметрії доцільно детальніше розглянути середньомісячні характеристики квазістаціонарного розподілу ЗВО.

Виявлено, що багаторічне довготне зміщення області мінімуму є наслідком протилежно направле-

них дрейфів фази хвиль 1 і 2 — двох основних складових у спектрі хвильових збурень довготного розподілу ЗВО. Це показують результати спектрального аналізу і відтворення змінної довготної асиметрії положень екстремумів при взаємодії перших двох зональних гармонік. Впливом третьої зональної гармоніки на п'ятимісячні середні положення екстремумів можна знехтувати (рис. 4), хоча на середньомісячних даних такий ефект можливий. Відомо, що у високих широтах північної півкулі у жовтні квазістаціонарні хвилі 2 і 3 мають близькі амплітуди (дані для висот геопотенціалу на рівні 300 мб [10]).

Зональна асиметрія у ЗВО з домінуванням стаціонарної хвилі 1, очевидно, частково пов'язана з топографією регіону, яка визначається формою антарктичного материка, та температурним градієнтом на межі океан—континент. Але основний внесок в генерацію квазістаціонарної хвилі 1 на високих широтах південної півкулі, як було показано в [11], дають не ці особливості, а поширення хвильової активності з нижчих широт. Існування багаторічних варіацій фаз та відмінностей у напрямі багаторічного довготного дрейфу стаціонарних хвиль 1 і 2, виявлених у цій роботі, також свідчить про вплив процесів, які не можуть пов'язуватися з фіксованими особливостями топографії. Тому продовження даного дослідження передбачається передусім у напрямі розширення широтного діапазону і зіставлення характеристик стаціонарних хвиль у полі ЗВО та полях геопотенціалу на різних рівнях у тропосфері—стратосфері.

З іншого боку, зональна асиметрія ЗВО у період антарктичної весни сама є фактором впливу на атмосферні параметри. Оскільки основний внесок в асиметрію ЗВО дає озон, зосереджений у нижній стратосфері, а озон є чинником температурного режиму, то слід очікувати відповідних змін асиметрії в зональному розподілі температури у цьому шарі атмосфери. До такого висновку схиляють відомі дані про кореляцію ЗВО і стратосферної температури, встановлені з аналізу характеристик стаціонарних та біжучих планетарних хвиль [3, 4, 15, 16].

Крім того, на широті 65° S впродовж останніх років спостерігаються низькі значення ЗВО (230 ОД) в секторі поблизу нульової довготи, і високі (320 ОД) в секторі довгот поблизу 160° — 170° E (рис. 3, а, в). Існування асиметрії на рівні приблизно 30 %, очевидно, зумовлює відповідний зональний розподіл рівнів поверхневої УФ-опроміненості упродовж весняних місяців. Ця широта перетинає переважно морську поверхню. Тому можливі регіональні відмінності у процесах розвит-

ку фітопланктону приантарктичних морів, викликані довготною асиметрією ультрафіолетового випромінювання, яке досягає поверхні.

Робота частково підтримана грантами Українського антарктичного центру А/2-2004, Н/8-2004, Фонду фундаментальних досліджень України Ф7/362-2001 і STCU Gr-50J.

1. Александров Э. Л., Израэль Ю. А., Кароль И. Л., Хргиан А. Х. Озонный щит Земли и его изменения. — Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 1992.—288 с.
2. Атмосфера. Справочник. — Ленинград: Гидрометеоздат, 1991.—510 с.
3. Варгин П. Н. Анализ распространяющейся на восток планетарной волны по спутниковым данным об общем содержании озона // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.—2003.—39, № 3.—С. 327—334.
4. Fishbein E. F., Elson L. S., Froidevaux L., et al. MLS observations of stratospheric waves in temperature and O₃ during 1992 Southern winter // *Geophys Res. Lett.*—1993.—20, N 12.—P. 1255—1258.
5. Grytsai A. V., Evtushevsky A. M., Milinevsky G. P. Interannual variations of planetary waves in ozone layer at 65°S // *OZONE: Proceedings XX Quadrennial Ozone Symposium, 1—8 June 2004, Kos, Greece / Ed. C. Zerefos.* — Athens, Greece: International Ozone Commission.—2004.—Vol. 1.—P. 544—545.
6. Hio Y., Hirota I. Interannual variations of planetary waves in the Southern Hemisphere stratosphere // *J. Met. Soc. Jap.*—2002.—80, N 4B.—P. 1013—1027.
7. Hio Y., Yoden S. Quasi-periodic variations of the polar vortex in the Southern Hemisphere due to wave-wave interaction // *J. Atmos. Sci.*—2004.—61, N 21.—P. 2510—2527.
8. Lee A. M., Roscoe H. K., Jones A. E., et al. The impact of the mixing properties within the Antarctic stratospheric vortex on ozone loss in spring // *J. Geophys. Res.*—2001.—106, N D3.—P. 3203—3211.
9. Mechoso C. R., Hartmann D. L. An observational study of traveling planetary waves in the Southern Hemisphere // *J. Atmos. Sci.*—1982.—39, N 9.—P. 1921—1935.
10. Quintanar A. I., Mechoso C. R. Quasi-stationary waves in the Southern Hemisphere. Part I. Observational data // *J. Climate.*—1995.—8, N 11.—P. 2659—2672.
11. Quintanar A. I., Mechoso C. R. Quasi-stationary waves in the Southern Hemisphere. Part II: Generation mechanisms // *J. Climate.*—1995.—8, N 11.—P. 2673—2690.
12. Salby M. L. *Fundamentals of Atmospheric Physics* / Eds R. Dmowska, R. Holton. — Academic Press, 1996.—627 p.
13. Salby M. L., Callaghan P. F. Fluctuations of total ozone and their relationship to stratospheric air motions // *J. Geophys. Res.*—1993.—98, N D2.—P. 2715—2727.
14. Schoeberl M. R., Lait L. R., Newman P. A., Rosenfield J. E. The structure of the polar vortex // *J. Geophys. Res.*—1992.—97, N D8.—P. 7859—7882.
15. Steinbrecht W., Hassler B., Winkler P., et al. Comparison of observed stratospheric ozone and temperature time series with chemistry-climate model simulations. Part I: Global variations of total ozone and 50 hPa temperature // *OZONE, XX Quadrennial Ozone Symposium, 1—8 June 2004, Kos, Greece, Proceedings / Ed. C. Zerefos.* — Athens, Greece: International Ozone Commission.—2004.—Vol. 2.—P. 757—758.
16. Wirth V. Quasi-stationary planetary waves in total ozone and their correlation with lower stratospheric temperature // *J. Geophys. Res.*—1993.—98, N D5.—P. 8873—8882.

LONGITUDINAL DISTRIBUTION OF TOTAL OZONE CONTENT IN EDGE REGION OF ANTARCTIC STRATOSPHERIC VORTEX

A. V. Grytsai, A. M. Evtushevsky, G. P. Milinevsky,
Z. I. Grytsai, A. V. Agapitov

Longitudinal distribution of total ozone content (TOC) in the edge region of the Antarctic stratospheric vortex is analyzed using the TOMS satellite data (version 8) of 1979 to 2004. The five-month time interval of August–December covering the late Antarctic winter, spring, and early summer is considered. The five-month mean TOC zonal distributions at latitudes of 65° S and 70° S are obtained from the daily TOMS data. Zonal wave number 1 is dominated. It forms a zonal asymmetry with the quasi-stationary wave minimum and maximum placed in the opposite longitudinal sectors. Our results show that during the last 26 years the TOC asymmetry increased and in the last years it reaches 70–90 Dobson Units, or about 30 % relative to the zonal mean. Interannual variations of the longitude of the TOC maximum are observed near the stable position of 162° E and 172° E at latitudes of 65° S and 70° S, respectively. Besides the interannual variations, the longitude of the TOC minimum during 1979–2004 shows a systematic displacement to the east in the longitudinal sector of 45° W to 10° E. A spectral analysis shows that this tendency is caused by an interaction between the quasi-stationary components of the zonal wave number 1 and 2. In the last decades they have the opposite longitudinal drift of the phase of the maximum amplitude.