

УДК 551.510.534

А. В. Грицай, О. М. Євтушевський

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

**Сезонні зміни активності
квазістаціонарних планетарних хвиль
у стратосфері над Антарктикою**

Надійшла до редакції 02.10.05

Розглянуто сезонні зміни параметрів квазістаціонарних планетарних хвиль в Антарктиці, основна увага приділена зимово-весняному періоду. Використані дані про загальний вміст озону в атмосфері (спутниковий спектрометр TOMS) та температуру нижньої стратосфери (NCEP-NCAR). В середньому за 1979—2004 рр. максимальне значення амплітуди зональних хвиль (80 ОД) досягається у жовтні на широті 65° S. З серпня до листопада положення максимуму амплітуди зміщується з середніх до високих широт. Зіставлення даних за роки з аномальним розвитком озонової діри (1988 і 2002 рр.) показало, що збільшення амплітуди хвиль в кінці зими (серпень) є ознакою зменшення руйнування озону у весняний період. У серпні на широтах 60—65° S амплітуда стаціонарних хвиль в температурі нижньої стратосфери становила близько 6 та 10 К у 1988 та 2002 рр. відповідно. Це було однією з причин, які зумовили відмінності у розвитку стратосферних процесів у весняний період.

ВСТУП

Просторовий розподіл атмосферних параметрів, усереднений за місяць або за сезон, показує наявність квазістаціонарних хвиль (КСХ), амплітуда і фаза яких змінюється упродовж року та з року в рік [1, 6, 10]. В зональному напрямі часто переважає спектральна складова із хвильовим числом $k = 1$, що призводить до утворення одного максимуму і одного мінімуму, тобто порівняно стійкої зональної асиметрії характеристик атмосфери. Це зумовлює систематичну різницю між умовами у різних довготних секторах, які перебувають в області максимуму та мінімуму зональної хвилі. Тропосферні стаціонарні хвилі тісно пов'язані з регіональним кліматом і суттєво впливають на його зміни [5]. Стаціонарні хвилі стратосфери відіграють важливу роль у просторовому розподілі озону, особливо у полярних областях [12, 15].

У високих широтах південної півкулі макси-

мальна амплітуда КСХ спостерігається в зимово-весняний період. У більшості досліджень стаціонарні хвилі вивчалися за середньомісячними полями атмосферних параметрів (поверхневого тиску, температури, геопотенціалу, вмісту озону). Виявлено, наприклад, що у полі геопотенціалу амплітуда КСХ із зональним хвильовим числом $k = 1$ найвища на широті 60° S і досягає максимуму на висотах верхньої тропосфери і стратосфери у жовтні [9]. Метою даної роботи є аналіз сезонних змін активності КСХ з урахуванням залежності їх параметрів від широти. Застосовано методику послідовного визначення параметрів зональних хвиль на окремих широтних колах. Використано дані супутникових вимірювань TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) загального вмісту озону в атмосфері за 1979—2004 рр., а також дані NCEP-NCAR (National Centers for Environmental Prediction — National Center for Atmospheric Research) по температурі в нижній стратосфері.

МЕТОДИКА АНАЛІЗУ

Супутниковий спектрометр TOMS забезпечує формування щоденних глобальних розподілів загального вмісту озону (ЗВО) в атмосфері з просторовим розділенням 1° по широті та 1.25° по довготі. Результати вимірювань подаються у вигляді щоденних та середньомісячних масивів даних та карт ЗВО (<http://toms.gsfc.nasa.gov>). Для опрацювання вибрано довготні розподіли ЗВО в інтервалі $55\text{--}75^\circ\text{S}$ з кроком по широті 5° , тобто на п'яти окремих широтних колах. В зимово-весняний період у стратосфері над Антарктикою домінує західний вітер, тому більшість змін у розвитку явищ пов'язана із варіаціями зональних характеристик. Застосована в роботі методика [2] ґрунтується на щоденних довготних розподілах на окремому широтному колі і є ефективною для аналізу кількісних параметрів зональних хвиль. Послідовний перехід від одного широтного кола до іншого дозволяє простежити варіації параметрів у меридіональному напрямі.

Визначалися усереднені за місяць довготні розподіли ЗВО (рис. 1), в кожному з яких представлена середньомісячна стаціонарна складова зональної хвилі. Після згладжування 50-градусним фільтром обчислювалася її амплітуда.



Рис. 1. Довготний розподіл середньомісячних значень вмісту озону на широті 60°S за вимірюваннями супутниковим спектрометром TOMS у 2001 р. в сезони: *a* — літо, осінь та зима південної півкулі; *б* — весна

Виконувався також спектральний аналіз щоденних довготних профілів та одержувалися середньомісячні амплітуди і фази квазістаціонарних складових із зональними хвильовими числами $k = 1, 2, 3$. Оскільки внесок гармонік $k = 2, 3$ у середньомісячну амплітуду стаціонарної хвилі в озоні малий, результати для них тут не розглядатимуться.

У восьмій версії алгоритму TOMS для обробки результатів вимірювань є пропуск даних за 1993—1995 рр. Крім того, у період полярної ночі супутникові вимірювання на високих широтах обмежені; наприклад, для серпня (останнього зимового місяця у південній півкулі) дані TOMS наявні лише до широти 65°S . Оскільки спостерігається висока кореляція між температурою нижньої стратосфери і ЗВО [15, 16], для серпня використано також дані по температурі повітря на рівні 100 гПа (приблизно 16 км над поверхнею Землі) за 1979—2005 рр. Цим для серпня розширено досліджувану зону в напрямі високих широт та заповнено трирічний пропуск, властивий даним TOMS. Відомо, що рівень активності планетарних хвиль в зимовий період впливає на швидкість втрат озону у весняні місяці [11]. Тому ми звертаємо увагу на серпень з точки зору виявлення у поведінці зимових стаціонарних хвиль ознак їхнього можливого впливу на розвиток озонової діри.

Середньомісячні довготні розподіли температури за період 1979—2005 рр. для широт $50\text{--}75^\circ\text{S}$ одержано з Центру діагностики клімату CDC (дані NCEP-NCAR, <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis>). На рис. 2 наведено температурні дані з вилученням середнього зонального значення для серпня і листопада 2001 р., які представлені в розподілах озону на рис. 1.

Із порівняння рис. 1 і 2 видно близьку подібність зонального розподілу ЗВО і температури повітря в нижній стратосфері у серпні

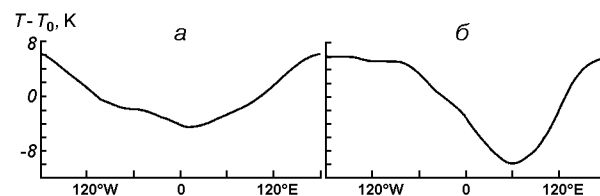


Рис. 2. Відхилення температури повітря від середнього зонального значення на рівні тиску 100 гПа на широті 60°S у серпні (*a*) і листопаді (*б*) 2001 р. за даними NCEP-NCAR

(рис. 1, *a*, жирна крива і рис. 2, *a* відповідно) та листопаді (рис. 1, *б*, пунктир і рис. 2, *б*, відповідно). Збігаються і відмінності між серпнем і листопадом як в амплітуді зональної хвилі, так і в довготному розташуванні її екстремумів. Це свідчення високої кореляції між озоном і температурою нижньої стратосфери. Оцінки показують, наприклад, що для жовтня на рівні тиску 20—200 гПа коефіцієнт кореляції досягає 0.9 [15]. Наявність маломасштабних варіацій на кривих TOMS (рис. 1) зумовлена кращим просторовим розділенням по довготі (1.25° порівняно з 2.5° в NCEP-NCAR) та відмінностями формування щоденних даних. Супутнику TOMS з полярною орбітою властивий асиноптичний характер даних, оскільки щоденний глобальний розподіл озону формується із окремих вимірювань над певним місцем у певний час доби. В даних NCEP-NCAR географічні розподіли параметрів подаються на основі усереднених за добу вимірювань.

В цій роботі використано значення максимального та мінімального відхилення температури від середнього зонального значення, які наводяться на графічному варіанті одержаних середньомісячних даних (рис. 2). Амплітуда стаціонарної зональної хвилі в температурі визначалася як $1/2$ різниці між максимальним і мінімальним відхиленнями.

СЕЗОННІ ЗМІНИ АМПЛІТУДИ КВАЗІСТАЦІОНАРНИХ ХВИЛЬ

Сезонні зміни квазістаціонарного зонального розподілу озону над Антарктикою протягом 2001 р. на широті $60^\circ S$ показано на рис. 1. Цей рік мав типові для останнього десятиліття тривалість і площу озонової діри. Амплітуда зональної хвилі упродовж трьох весняних місяців (рис. 1, *б*) у кілька разів вища, ніж для решти дев'яти місяців (рис. 1, *а*). Більшу частину року амплітуда КСХ не перевищує 35 одиниць Добсона, тоді як у вересні і листопаді вона становить 50—60 ОД, а у жовтні — близько 100 ОД.

Різде посилення неоднорідності зонального розподілу озону в даному регіоні у весняні місяці викликане існуванням сильного стратосферного вихору, яким холодна полярна область відокремлюється від середньоширотної. В цей

період відбуваються значні втрати озону всередині вихору, які супроводжуються його накопиченням з екваторіального боку вихору. Викликане стаціонарними планетарними хвилями зміщення вихору відносно полюса і його витягування відбувається переважно в напрямі довготних секторів поблизу меридіанів 0 та 180° . Тому утворюється квазістаціонарна зональна асиметрія ЗВО з мінімумом поблизу Антарктичного півострова і максимумом у протилежному секторі. Варто відзначити, що явища зміни форми і положення вихору добре відомі із спостережень у північній півкулі. Там внаслідок сильніших збурень в атмосфері витягування та зсув стратосферного полярного вихору навіть більші, ніж у південній півкулі [4, 14].

З рис. 1 видно, що амплітуда КСХ у весняні місяці зростає переважно завдяки поглибленню мінімуму, який на даному широтному колі означає надходження полярного стратосферного повітря у виступах озонової діри. Зазначимо, що це зниження в зональному розподілі ЗВО навколо нульового меридіана видно вже в серпні. Лише у жовтні збільшення амплітуди зумовлене підвищенням рівня максимуму до аномально високих для Антарктики значень — близько 400 ОД. Це результат систематичного зсуву вихору у бік Антарктичного півострова, внаслідок якого середньоширотне повітря у протилежному довготному секторі зміщується на вищі широти, приносячи туди багату озоном повітряну масу. Саме в цей період у середніх широтах південної півкулі настає максимум у сезонному циклі ЗВО (вересень—жовтень) на рівні близько 350 ОД ([16, рис. 4-35]). Значення 400 ОД і більші виникають внаслідок накопичення озону на зовнішньому боці вихору через відсутність меридіонального обміну в стратосфері в цей період. На високих широтах південної півкулі такі значення можуть реєструватися лише при зміщенні збагаченого озоном повітря до полюса у вигинах зональної хвилі.

Отже, попередні дослідження і рис. 1 свідчать, що упродовж року найбільша активність стаціонарних планетарних хвиль в озоні в області антарктичного полярного вихору спостерігається навесні — у вересні—листопаді. Але вже в серпні у довготному розподілі ЗВО помітне деяке відхилення від середнього малозбуреного стану, характерного для попередніх восьми місяців

(з грудня до липня), коли зональна асиметрія найменша. Для детальнішого розгляду поведінки КСХ у серпні—листопаді одержано середньомісячні амплітуди на п'яти широтних колах між 55 та 75° S. На рис. 3 наведено середні за 1979—2004 рр. амплітуди зональної гармоніки $k = 1$, яка робить основний внесок у стаціонарну складову планетарних хвиль. Видно, що кожен місяць має характерний меридіональний розподіл амплітуди стаціонарних хвиль.

Найвища амплітуда досягається у жовтні з піковим значенням 80 ОД. Це узгоджується з відомим фактом, що весняний максимум активності КСХ у південній півкулі настає у жовтні [9, 15]. Видно, що максимум у жовтні припадає на широту 65° S, а на 10° на північ та на південь спостерігається симетричне зниження амплітуди на 30 ОД (близько 40 %). Отже, середнє положення жовтневого максимуму за останню чверть століття досить впевнено визначається на широті 65° S. За іншими даними, одержаними для верхньої тропосфери і стратосфери на менших часових інтервалах або з розгляду окремих подій, наводилися значення 60° S [9], 60 — 65° S [8] або 60 — 70° S [3].

Із серпня до листопада відбувається систематичне зміщення максимуму амплітуди КСХ з середніх широт до високих. У серпні підвищення амплітуди помітне на широтах 55 — 60° S, у вересні — на широті 60° S, у жовтні — на 65° S, а в листопаді — на 65 — 70° S. Меридіональні розподіли амплітуд у вересні і листопаді видаються дзеркально-симетричними. Таку картину створюють як вказані положення максимуму, так і розташування найнижчих рівнів амплітуди на протилежних краях широтної смуги. Отже, навіть у вузькій 20-градусній широтній зоні помітна значна нерівномірність розподілу амплітуди стаціонарних хвиль.

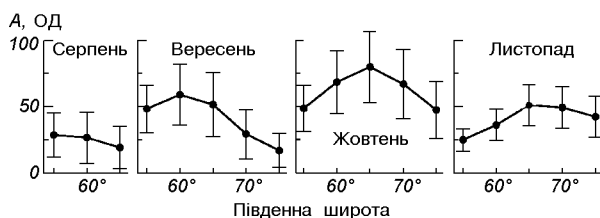


Рис. 3. Широтна залежність амплітуди квазістаціонарної хвилі $k = 1$ в озоні у серпні—листопаді, усередненої за 1979—2004 рр.

Одна з причин зміщення широти максимальної амплітуди КСХ в озоні до полюса — систематичне сезонне зменшення площі полярного вихору. В антарктичній нижній стратосфері вихор має найбільшу площу в серпні і поступово зменшується протягом весни [14]. Тому відбувається зміщення до полюса краю вихору, а також широтної смуги, охопленої його хвильовою деформацією та відповідними збуреннями у зональному розподілі озону. Але важливим фактором є також сезонні зміни поверхневого теплового режиму, оскільки при переході від зимових умов до весняних поступово збільшується доступ сонячної радіації у високі широти. Тому перерозподіл теплових джерел генерації стаціонарних планетарних хвиль може впливати на широтне зміщення їхньої активності.

Відомо, наприклад, що стаціонарні хвилі температури у стратосфері на рівні 10 гПа в зимовий період мають максимум на широтах 46 — 62° S (хвиля 1) та 35 — 60° S (хвиля 2) [1, табл. 11.6.2]. Це зона середніх та субполярних широт, яка прилягає до зовнішнього краю полярного вихору, адже, як відомо, вісь полярного струменя в зимові місяці розташована на широті 60° S [16, рис. 3-11]. Деяке збільшення амплітуди у серпні у бік середніх широт (рис. 3), очевидно, відбиває меридіональний розподіл хвильової активності в цей період.

У вересні—жовтні (рис. 3), імовірно, накладаються ефекти від двох вказаних процесів, а в листопаді переважає вплив першого з них, пов'язаного із зменшенням розмірів вихору та його остаточним розпадом в кінці листопада — на початку грудня.

Значне підвищення амплітуди хвиль в жовтні можна розглянути докладніше, проаналізувавши, як змінюється амплітуда впродовж місяця. Статистичний аналіз щоденних даних дозволив визначити багаторічні середні дати настання максимуму на п'яти широтних колах (рис. 4). Зберігається тенденція, відзначена за середньомісячними даними, — максимум хвильового збурення на вищих широтах спостерігається пізніше. Усереднення за 1979—2004 рр. показало, що при зміщенні від широти 55 до 75° S дата найбільшої амплітуди квазістаціонарного збурення зсувається від 29 вересня до 22 жовтня, тобто більш ніж на три тижні. На широті 65° S середня дата — 7 жовтня.

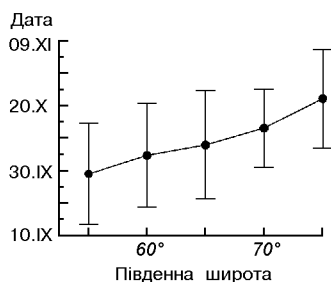


Рис. 4. Середня дата максимуму амплітуди квазістаціонарної зональної хвилі в озоні на окремих широтах в межах 55—75° S за 1979—2004 рр.

Це статистична характеристика за тривалий період і варіації, як видно із середніх квадратичних відхилень на рис. 4, досить значні, становлячи в середньому близько ± 15 днів, тобто на кожній широті дата може змінюватися приблизно у межах одного місяця. В середньому ж максимальні амплітуди стаціонарних хвиль припадають на перші три тижні жовтня.

СЕРПНЕВІ АНОМАЛІЇ ХВИЛЬОВОЇ АКТИВНОСТІ

Багаторічні середні дані показують різке посилення інтенсивності стаціонарних хвиль у весняні місяці порівняно з літньо-осінньо-зимовим періодом (рис. 1). Але, як відзначалося вище, вже в серпні (останній зимовий місяць у південній півкулі) у довготному розподілі ЗВО помітні відхилення від малозбуреного стану у грудні—липні (рис. 1, а). Ці відхилення особливо виразні в роки аномального розвитку озонної діри — у 1988 і 2002 рр., коли вона мала значно менші площу і тривалість. Саме для цих подій властиве підвищення амплітуди зональної хвилі в озоні не лише у весняні місяці (вересень—листопад), а вже у серпні. З рис. 5 видно, що за період супутникових спостережень озону з 1979 р. серпнева амплітуда зональної хвилі $k = 1$ має два пікових значення — у 1988 і 2002 рр. На фоні міжрічних варіацій це найпомітніше на широтах 60 і 65° S. Поведінка полярної стратосфери в 2002 р. характеризувалася як сильне потепління — явище, типове для північної півкулі і вперше спостережене в південній [13], а подія 1988 р. не досягла такої інтенсивності, хоча й перевищувала типовий рівень слабого потепління.

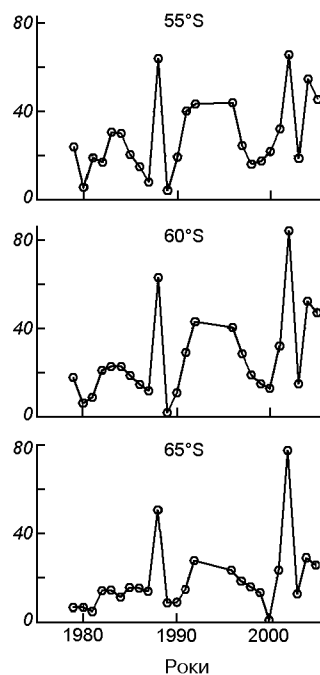


Рис. 5. Міжрічні варіації амплітуди зональної хвилі $k = 1$ у серпні

Інтенсивне формування озонної діри починається у вересні, коли холодне стратосферне повітря всередині вихору освітлюється Сонцем, і відбуваються швидкі втрати озону в хімічних реакціях. Найбільша площа озонної діри також спостерігається у вересні. Але рівень хвильової активності у тропосфері і стратосфері у зимовий період створює передумови для подальших змін у динаміці полярної атмосфери та в розвитку стратосферних процесів. Починаючи з липня, зростання активності тропосферних хвиль зумовлює надходження більшої енергії в нижню стратосферу.

Антикореляція між інтенсивністю планетарних хвиль, збуджених в зимовий період у тропосфері, і втратами озону в період існування озонної діри загалом дає можливість прогнозувати рівень втрат [11]. Але активізація хвильового потоку із тропосфери взимку 2002 р. несподівано завершилася сильним стратосферним потеплінням і розщепленням озонної діри 22 вересня [7]. Не вдалося передбачити, що у підсумку це зумовить фактично повну відсутність весняного зниження озону, властивого для двох останніх десятиліть. Велика увага до цієї

події, значний обсяг проаналізованих і узагальнених даних (див., наприклад, спеціальний випуск *Journal of Atmospheric Sciences*.—2005.—62, N 3) дозволяють сподіватися, що будуть створені нові, надійніші моделі прогнозування кількісних характеристик озонової діри.

З цієї точки зору доречно розглянути загальнодоступні для поточного аналізу атмосферні параметри, такі як озон і температура нижньої стратосфери. Як зазначено вище, ми взяли дані для останнього місяця зими (серпень), оскільки попередні два місяці супутниковими вимірюваннями озону охоплюються лише частково — на широті 65° S з кінця липня. З рис. 5 можна зробити висновок, що на широтах 55 — 65° S серпневі озонові дані чітко показують аномально високі амплітуди КСХ у 1988 і 2002 рр. Для вищих широт супутникових озонових даних у цей час немає, тому були проаналізовані температури на рівні 100 гПа (дані NCEP-NCAR), які до того ж заповнюють і трирічний пропуск в озонових даних (1993—1995 рр.). На рис. 6 показані усереднені за серпень меридіональні розподіли амплітуди зональної КСХ в температурі повітря у нижній стратосфері. Тут взято широтний інтервал 50 — 75° S за період часу 1979—2005 рр.

Видно, що для потепління 1988 р., яке не досягло рівня сильного, амплітуди в серпні були вищими від рівня, характерного для слабких потеплень, лише на широтах 50 , 55 і 60° S. На вищих широтах значення амплітуд такі ж, як і під час слабких потеплень. Для сильного потепління 2002 р. помітно значне підвищення амплітуд у всьому широтному інтервалі 50 — 75° S з максимумом у зоні 60 — 65° S, де амплі-

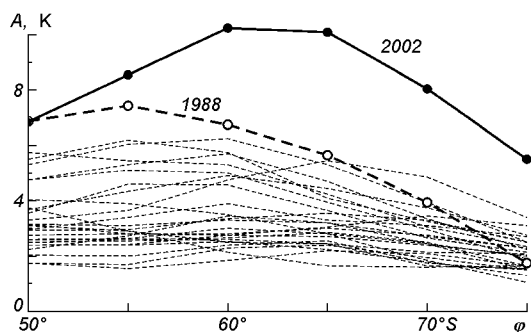


Рис. 6. Амплітуда зональної хвилі у температурі повітря на рівні 100 гПа у серпні за період 1979—2005 рр.

туда КСХ приблизно удвічі більша, ніж у звичайні роки.

Порівнюючи два аномальні для південної стратосфери роки, можна зробити висновок, що потепління 1988 р. не стало сильним, тому що не досягло високих широт. На широті 50° S немає різниці між двома роками в амплітуді зональної хвилі у стратосферній температурі, вона стає помітною на широті 55° S, а найбільша в інтервалі 60 — 75° S — близько 4 К. Отже, меридіональний профіль амплітуди КСХ в температурі на рівні нижньої стратосфери можна розглядати як один з індикаторів інтенсивності стратосферного потепління у південній півкулі. Принаймні з порівняння 1988 і 2002 рр. випливає, що а) перевищення в серпні середніх значень амплітуди на широтах 50 — 55° S може свідчити про аномальний хід наступного весняного потепління в стратосфері і б) приблизно двократне перевищення амплітуди на широтах 60 — 65° S є ознакою сильного потепління. З рис. 6 видно, що в серпні 2002 р. у широтній зоні 60 — 65° S спостерігався рівень амплітуди 10 К, а в серпні 1988 р. — 6 К, що можна розглядати як індикатор відмінностей наступного розвитку стратосферних процесів у весняний період. Як вже відзначалося, на стійкість стратосферного полярного вихору та рівень втрат озону впливає інтенсивність потоку енергії планетарних хвиль із тропосфери в стратосферу в зимовий період. Очевидно, що ці процеси певною мірою розвиваються і у формі стаціонарних хвиль, що можна простежити за температурними і озоновими даними на рівні нижньої стратосфери.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто широтну залежність параметрів квазістаціонарних планетарних хвиль в Антарктиці. Були використані супутникові дані щодо загального вмісту озону в атмосфері (серпень—листопад 1979—2004 рр., 55 — 75° S) та температури в нижній стратосфері (серпень 1979—2005 рр., 50 — 75° S).

Аналіз озонових даних показує, що багаторічний максимум амплітуди КСХ з зональним числом $k = 1$ досягається у жовтні на широті 65° S (в середньому 80 ОД). У напрямі екватора (до 55° S) та полюса (до 75° S) для цього місяця

характерне симетричне зниження амплітуди відносно максимуму більш ніж на 30 ОД (40 %).

Широтний розподіл інтенсивності стаціонарних хвиль в озоні пов'язаний з розвитком стратосферного полярного вихору та хвильових збурень у його крайовій області. Відбиваючи сезонне зменшення площі вихору та перерозподіл поверхневих теплових джерел, максимум амплітуди КСХ систематично зміщується з середніх (серпень) до високих (листопад) широт. Усереднення щоденних даних за 1979—2004 рр. показало, що при зміщенні від широти 55 до 75° S дати максимальної амплітуди КСХ зсуваються від 29 вересня до 22 жовтня, тобто припадають переважно на перші три тижні жовтня.

Зіставляючи серпневі дані для аномальних у південній стратосфері років, виявлено, що у порівнянні із сильним стратосферним потеплінням 2002 р., потепління 1988 р. не досягло широт, вищих за 60° S. Показано, що меридіональний профіль амплітуди КСХ наприкінці зими (серпень) можна розглядати як один з індикаторів інтенсивності остаточного стратосферного потепління у весняні місяці. Зокрема, у серпні на широтах 60—65° S рівень амплітуди стаціонарних хвиль температури нижньої стратосфери становив 6 та 10 К у 1988 та 2002 рр., відповідно. Це, очевидно, було однією з причин, які зумовили відмінності розвитку стратосферних процесів у весняний період. Запропонований кількісний критерій може бути застосований для оцінки впливу стаціонарної складової планетарних хвиль на стійкість стратосферного полярного вихору.

1. Атмосфера. Справочник. — Л.: Гидрометеиздат, 1991.—510 с.
2. Grytsai A., Grytsai Z., Evtushevsky A., Milinevsky G. Interannual variability of planetary waves in the ozone layer at 65° S // *Int. J. Remote Sensing.*—2005.—26, N 16.—P. 3377—3387.
3. 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.
4. James P. M., Peters D., Waugh D. W. Very low ozone episodes due to polar vortex displacement // *Tellus.*—2000.—52B.—P. 1123—1137.
5. Joseph R., Ting M., Kushner P. J. The global stationary wave response to climate change in a coupled GCM // *J. Climate.*—2004.—17, N 3.—P. 540—556.
6. Moustouli M., Teitelbaum H., Valero F. P. J. Vertical displacement induced by quasi-stationary waves in the Southern Hemisphere stratosphere during spring // *Mon.*

7. Newman P. A., Nash E. R. The unusual Southern Hemisphere stratosphere winter of 2002 // *J. Atmos. Sci.*—2005.—62, N 3.—P. 614—628.
8. Nogues-Paegle J., Mo K. C., Callahan K. P. Lower stratosphere waves during 1986-1989 Southern springs // *Tellus.*—1992.—44B.—P. 390—408.
9. 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.
10. Rao V. B., Fernandez J. P. R., Franchito S. H. Quasi-stationary waves in the Southern Hemisphere during El Niño and La Niña events // *Ann. Geophys.*—2004.—22.—P. 789—806.
11. Shindell D. T., Wong S., Rind D. Interannual variability of the Antarctic ozone hole in a GCM. Part I. The influence of tropospheric wave variability // *J. Atmos. Sci.*—1997.—54, N 18.—P. 2308—2319.
12. Stephenson D. B., Royer J.-F. Low-frequency variability of total ozone mapping spectrometer and general circulation model total ozone stationary waves associated with the El-Niño/Southern Oscillation for the period 1979—1988 // *J. Geophys. Res.*—1995.—100, N D4.—P. 7337—7346.
13. Varotsos C. What is the lesson from the unprecedented event over Antarctica in 2002? // *Environ. Sci. Pollut. Res.*—2003.—10, N 2.—P. 80—81.
14. Waugh D. W., Randel W. J. Climatology of Arctic and Antarctic vortices using elliptical diagnostics // *J. Atmos. Sci.*—1999.—56, N 11.—P. 1594—1613.
15. 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.
16. WMO: Scientific assessment of ozone depletion: 2002. — Geneva: World Meteorological Organization, 2003.—Report N 47.

SEASONAL CHANGES OF THE ACTIVITY OF QUASI-STATIONARY PLANETARY WAVES IN THE STRATOSPHERE OVER THE ANTARCTIC

A. V. Grytsai, A. M. Evtushevsky

Seasonal changes of the quasi-stationary planetary wave parameters in the Antarctic are considered, the emphasis is on the winter-spring period. Data on the total ozone content in the atmosphere (the satellite spectrometer TOMS) and lower stratosphere temperature (NCEP-NCAR) are used. On the average for 1979—2004, the maximum value of the zonal wave amplitude (80 DU) is reached in October at a latitude of 65° S. From August to November the amplitude maximum is displaced from the middle to high latitudes. Our comparison of the data for the years of an anomalous ozone hole development (1988 and 2002) shows that the wave amplitude increase in the late winter (August) is a sign of the ozone depletion decrease during spring. In August the stationary wave amplitude in the lower stratosphere temperature at the latitudes 60—65° S was about 6 K and about 10 K in 1988 and 2002, respectively. This was one of the causes of distinctions in the development of the stratospheric processes during spring.