

УДК 551.510

## Передумови зменшення озонної діри у 2017 році

В. О. Кравченко<sup>1</sup>, О. М. Євтушевський<sup>1\*</sup>, А. В. Грицай<sup>1</sup>, Г. П. Міліневський<sup>1,2</sup>, А. Р. Клекочук<sup>3</sup><sup>1</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна<sup>2</sup> Національний антарктичний науковий центр, Київ, Україна<sup>3</sup> Австралійська антарктична служба, Кінгстон, Австралія

Озонова діра над Антарктидою у весняні місяці вересень–листопад 2017 р. виявилася однією з найменших за час її існування. Аналіз щорічних передумов формування озонної діри, виконаний авторами раніше, визначив критерій для оцінки її можливого стану у наступний весняний сезон. Критерієм є амплітуда планетарних хвиль у стратосферній температурі, усереднена за серпень (останній місяць антарктичної зими). Динамічні збурення, спричинені планетарними хвилями у зимові місяці, дають значний внесок у варіації втрат озону навесні. Вже на кінець серпня 2017 р. було зроблено висновок про ймовірне ослаблення озонної діри в наступні місяці до приблизно третього найменшого значення її площі за останні два десятиліття. Супутникові спостереження підтвердили суттєве зменшення площі озонної діри та втрат стратосферного озону в південному полярному регіоні у 2017 р. Результати роботи є важливими не лише для прогнозування аномальних втрат озону у весняні місяці, а й для оцінок можливих змін у ультрафіолетовій радіації, яка досягає поверхні та впливає на екосистему морів та океанів у субантарктичній зоні.

**Ключові слова:** озонна діра, антарктична стратосфера, квазістаціонарні планетарні хвилі, температура

© В. О. Кравченко, О. М. Євтушевський, А. В. Грицай, Г. П. Міліневський, А. Р. Клекочук. 2018

### Вступ

У роботі [15] вперше встановлено кількісну відповідність між зменшенням втрат озону в озонній дірі та зменшенням вмісту хлорфторвуглеців у нижній стратосфері в останнє десятиліття. За супутниковими вимірюваннями у мікрохвильовому діапазоні показано, що впродовж 2005–2016 рр. вміст хлору в антарктичній стратосфері знижувався на 0.8% за рік. Одночасно, міжрічні варіації та тренд вмісту озону відбувалися чітко у відповідь на зміни вмісту хлору: синхронне зменшення втрат озону та вмісту хлору у 2005–2010 рр., приблизно постійний найнижчий рівень обох показників у 2010–2013 рр. та деяке їх зростання (через динамічні чинники) після 2013 р. У дослідженнях, виконаних раніше, вже було виявлено повільне відновлення антарктичного озону з 2000-х років [1–4, 13], а моделі прогнозують зникнення озонної діри у другій половині 21-го століття [5, 6]. Результати [15] вважаються свідченням дії Монреальського протоколу 1987 р. про заборону використання озоноруйнуючих речовин, прийнятого через два роки після відкриття озонної діри [7].

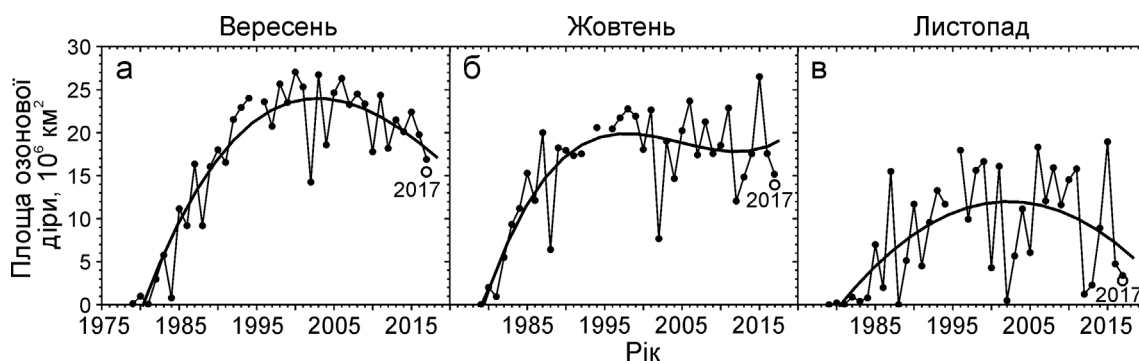
На повільні довготривалі зміни вмісту стратосферного озону в залежності від концентрації хлористих сполук накладаються значні міжрічні варіації, які ускладнюють надійне встановлення довготривалих трендів. Такі варіації зазвичай спричинюються планетарними хвилями, інтенсивність яких впливає на температуру стратосфери та

швидкість каталітичних реакцій, задіяних у руйнуванні озону [4, 12, 14, 17]. На рис. 1 за даними НАСА (Ozone Hole Watch, показано міжрічні варіації площі озонної діри, усередненої за вересень, жовтень і листопад. Видно, що варіації площі діри (ПД) зростають з вересня до листопада, у відповідності з весняним зростанням хвильової активності у південній півкулі [11]. Жирна крива на рис. 1 показує усереднену тенденцію у змінах ПД (апроксимація поліномом 3-го степеня) з максимумом на початку 2000-х, що ілюструє цитовані вище дані про відновлення стратосферного озону над Антарктидою впродовж 2000-х та 2010-х [1–4, 13].

Крім регулярного щорічного впливу планетарних хвиль, на стані озонної діри можуть позначатися епізодичні вулканічні викиди, які потрапляють в нижню стратосферу. Вулканічні аерозолі знижують температуру стратосфери, сприяючи інтенсивному утворенню стратосферних хмар у зимові місяці та посиленому руйнуванню озону у весняні місяці. Такі процеси спостерігалися у 2015 р. після потужного виверження вулкану Кальбуко в Чилі [9, 16]. Озонова діра у жовтні та листопаді 2015 р. була найбільшою за весь час спостережень (рис. 1б та 1в). Це частково компенсувало загальний низхідний тренд ПД в останнє десятиліття, зокрема, у часовому ряді для жовтня (рис. 1б) та позначилося на зростанні втрат озону, як відзначено вище [15].

Серед трьох основних факторів впливу на озонний шар над Антарктидою (довготривалі наслідки змін вмісту хлорфторвуглеців, щорічні динамічні збурення планетарними хвилями та епізодичні ефекти вулканічних вивержень), хвильова ак-

\*E-mail: o\_evtush@ukr.net



**Рис. 1.** Варіації площі озонної діри у весняні місяці за супутниковими вимірюваннями у 1979–2017 рр. (дані Ozone Hole Watch, Апроксимація часового ряду поліномом 3-го степеня показана жирною кривою. Білим кружком позначено прогнозоване значення площі діри у 2017 р.

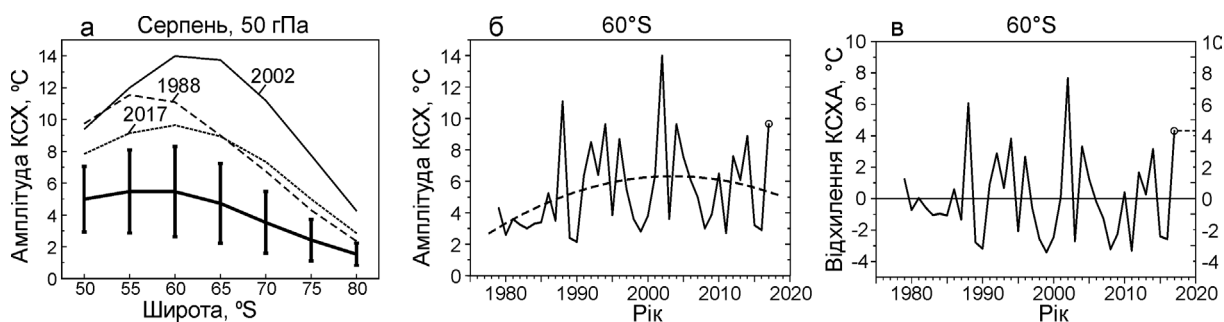
тивність в атмосфері південної півкулі у зимові місяці може до певної міри слугувати індикатором результуючих сезонних змін в антарктичному озоні [12, 14]. Було показано, що енергія планетарних хвиль, які генеруються в тропосфері та розповсюджуються в стратосфері в середині зими, може бути предиктором стану озонної діри наступної весни [14]. За відомим хвильовим потоком у стратосфері в кінці зими та спостереженими за багато років співвідношеннями між атмосферною динамікою та хімічними процесами також можна оцінити рівень весняних втрат озону [12].

Грунтуючись на результатах [8, 10], у цій роботі ми аналізуємо співвідношення між амплітудою квазістаціонарних планетарних хвиль (КСХ) у температурі стратосфери над Антарктичним регіоном у серпні та площею озонної діри у вересні–листопаді. Амплітуда КСХ (КСХА) у серпні виявилася досить надійним прогнозним показником для антарктичного озону в наступні весняні місяці з коефіцієнтом кореляції до  $r \sim 0.8$  [10, Fig. 4]. З рис. 1 видно, що ПД у 2017 р. була однією з найменших. Якщо не враховувати перше десятиліття швидкого збільшення озонної діри (до  $\sim 20 \cdot 10^6 \text{ км}^2$  у вересні 1985–1995 рр., див. рис. 1а), то ПД у вересні–листопаді була 2-ю...4-ю серед найменших значень з 1990-х років.

Для визначення КСХА у серпні використано розподіл стратосферної температури на рівні тиску 50 гПа (T50) на широтах  $50\text{--}80^\circ\text{S}$  за даними реаналізу NCEP–NCAR. Рівень тиску 50 гПа розташований поблизу висоти максимальної концентрації озону в озонному шарі ( $\sim 22 \text{ км}$ ), де втрати озону також максимальні [4]. Як і в [10], КСХА становить половину різниці між максимумом та мінімумом температури в її довготному розподілі на вибраному широтному колі. Дані про площу озонної діри, як зазначено вище, взято із сайту НАСА (Ozone Hole Watch), а про географічний розподіл загального вмісту озону (ЗВО) у південній півкулі — за супутниковими спостереженнями Ozone Monitoring Instrument (ОМІ), наданими Європейським космічним агентством.

### Співвідношення між амплітудою КСХ та площею озонної діри

На рис. 2 а показано меридіональні профілі КСХ у серпні у широтній зоні  $50\text{--}80^\circ\text{S}$ . Найменшій площі озонної діри навесні 1988 та 2002 рр. [8, 17] передувала найвища амплітуда КСХ у серпні (пунктирна та суцільна тонкі криві, відповідно, на рис. 2а). У серпні 2017 р. амплітуда КСХ була приблизно вдвічі більшою за середню за період спостережень 1979–



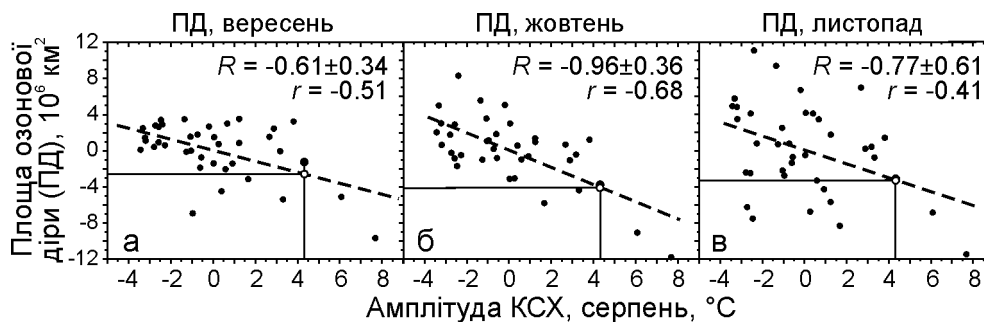
**Рис. 2.** а — Меридіональний профіль амплітуди КСХ у температурі повітря у серпні на рівні тиску 50 гПа (T50), визначений за значеннями КСХ на широтах між  $50^\circ\text{S}$  та  $80^\circ\text{S}$  з кроком  $5^\circ$ . Показано 1988, 2002 і 2017 рр. з аномально малою площею озонної діри (тонкі криві) у порівнянні з середніми даними за 1979–2017 рр. (жирна крива з середньоквадратичними відхиленнями). б — часовий ряд амплітуди для широти  $60^\circ\text{S}$ , апроксимований поліномом 2-го степеня (пунктирна крива) та в — відхилення амплітуди (аномалії) після вилучення поліноміального тренду

2017 рр. (жирна крива) і близькою до 1988 р. (пунктирна крива). Вже на кінець серпня, напередодні сезону озonoвої діри, можна було припускати про ймовірне ослаблення озonoвої діри у вересні–листопаді 2017 р. За співвідношенням між меридіональними профілями на рис. 2 а, її площа могла зменшитися до 2-го...3-го найнижчого значення за останні десятиліття.

Вплив передумов, які склалися в антарктичній стратосфері в серпні 2017 р., на стан озonoвої діри у наступні місяці було визначено із статистичних оцінок. З кривої для 2017 р. видно, що максимум КСХА припадає широту 60°S (див. рис. 2 а). Використовуючи лінійну регресію, часовий ряд значень КСХА для цієї широти (рис. 2 б) було зіставлено з часовим рядом площі озonoвої діри ПД за 1979–2016 рр. З усіх рядів даних було вилучено поліноміальну апроксимацію, показану, наприклад, жирними кривими на рис. 1 та пунктирною кривою на рис. 2 б; а знетрендований ряд відхилень КСХА показано на рис. 2 в. Ця процедура була необхідною, враховуючи вплив трендів на визначення кореляційних зв'язків між варіаціями величин у часових рядах та на оцінки їх значущості. У регресійних співвідношеннях на рис. 3, таким чином, зіставлялися міжрічні варіації відхилень (аномалій) відносно усередненого тренду.

показника — амплітуди хвильових збурень у зональному розподілі стратосферної температури напередодні сезону озonoвої діри [10]. Це зумовлено незворотними змінами у температурі стратосфери (та, як наслідок, у розвитку хімічних реакцій, у яких відбувається руйнування молекул озону) завдяки енергії планетарних хвиль, внесеної у полярну стратосферу [12, 14]. Підвищення температури знижує кількість озоноруйнуючих сполук [4, 12] і тому, знизившись у серпні, швидкість втрат озону у хімічних реакціях вже не може зрости в наступні місяці, коли відбувається систематичне сезонне нагрівання стратосфери сонячною радіацією та наростає хвильова активність [11].

На рис. 3 вказані коефіцієнти регресії та кореляції, які є статистично значущими на рівні довірчого інтервалу 95%. Найпомітніший відгук на аномалії КСХА у серпні спостерігаються у площі озonoвої діри у жовтні (рис. 3 б). Висока від'ємна кореляція  $r \sim -0.7$  свідчить про досить надійний лінійний зв'язок між зростанням амплітуди КСХ та зменшенням ПД. Коефіцієнт регресії  $R$  визначає кількісну міру цього зв'язку — зменшення ПД у жовтні становить  $\sim 1 \cdot 10^6 \text{ км}^2$  при зростанні КСХА у серпні на  $1^\circ\text{C}$ . У вересні й листопаді регресійний та кореляційний зв'язки дещо слабші (див. значення  $R$  та  $r$  на рис. 3 а та 3 в), проте є статистично значущими і результати



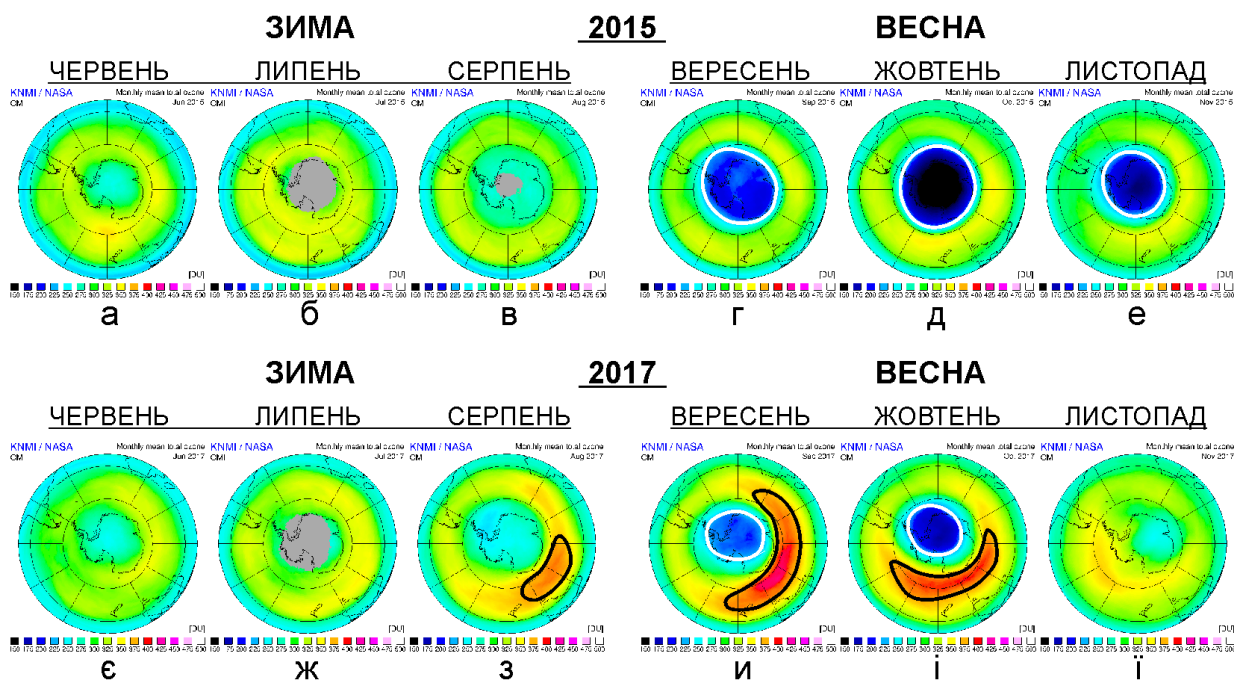
**Рис. 3.** Регресія між аномаліями амплітуди КСХ серпні та площі озonoвої діри ПД у вересні–листопаді. Вертикальна лінія відповідає аномалії КСХА у серпні 2017 р. та на перетині з регресійною прямою (кружок на пунктирній лінії) визначає ймовірне значення ПД

Лінійні регресії на рис. 3 використано для визначення можливої площі озonoвої діри у вересні–листопаді 2017 р. у відповідь на передумови, створені в антарктичній стратосфері підвищеною активністю КСХ у серпні. Аномалія КСХ у серпні 2017 р. становила  $4.3^\circ\text{C}$  (кружок на рис. 2 в). Ймовірні аномалії ПД можна визначити за допомогою регресійної лінії, показаної пунктиром на рис. 3:  $-2.7$ ,  $-4.1$  та  $-3.3 \cdot 10^6 \text{ км}^2$  у вересні, жовтні та листопаді, відповідно (білі кружки на рис. 3а–3в). Видно, що спостережені значення аномалій ПД близькі до прогнозованих за лінійною регресією. Відповідні значення площі озonoвої діри нанесено білими кружками на рис. 1.

Статистичні співвідношення свідчать про досить високий прогностичний потенціал використаного

для 2017 р. підтверджують їх надійність у прогнозуванні значних аномалій у сезонному розвитку озonoвої діри.

Роль серпневих аномалій КСХ у подальших змінах розмірів озonoвої діри якісно ілюструє рис. 4. Порівнюються зимовий та весняний сезони у 2015 та 2017 рр. з протилежними тенденціями в антарктичній стратосфері — інтенсивним охолодженням та нагріванням, відповідно. Для червня й липня (рис. 4 а, 4 б, 4 є та 4 ж) характерними є близькі рівні вмісту озону в межах 250–350 одиниць Добсона (ОД). Ці місяці є також і статистично близькими за середньою амплітудою КСХ та за відсутністю аномалій, характерних для серпня як індикаторів подальшої модифікації стану антарктичної стратосфе-



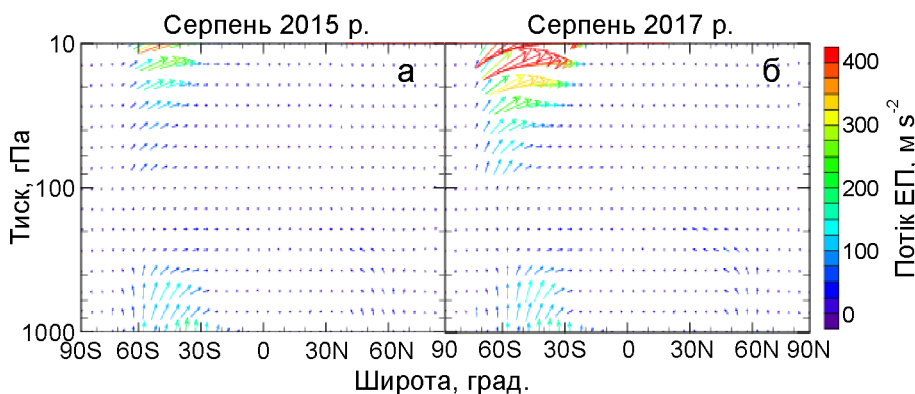
**Рис. 4.** Загальний вміст озону у південній півкулі у червні–листопаді 2015 р. (а – е) та 2017 р. (є–і). Білий контур обмежує рівні ЗВО нижчі 220 ОД для озonoвoї діри, а чорний — вищі 380 ОД для зонально асиметричного максимуму ЗВО. Дані супутникових спостережень Ozone Monitoring Instrument (OMI) Європейського космічного агентства (<https://www.temis.nl/protocols/O3global.html>).

ри [8, 10]. Помітною різниця між 2015 та 2017 рр. стає у серпні (рис. 4 в та 4 з). Зонально асиметрична аномалія ЗВО до 380 ОД виникає в австралійському секторі у серпні 2017 р. (контур на рис. 4 з), тоді як у серпні 2015 р. (рис. 4 в) поле ЗВО залишається мало-змінним у порівнянні з червнем та липнем. Ця відмінність відбилася в амплітуді КСХ, яка на широті 60°S була на рівні 3°C та 10°C у 2015 та 2017 рр., відповідно (див. рис. 2 б). Отже, у 2015 р. вплив вулканічних аерозолів (див. вступ) поєднувався з низькою активністю планетарних хвиль, що сприяло сильно-му охолодженню антарктичної стратосфери.

Різницю у збуреності атмосфери південної півкулі у серпні 2015 і 2017 рр. видно на рис. 5, де за даними реаналізу NCEP–NCAR порівнюється потік Ельяссена–Пальма (ЕП). Потік ЕП є мірою моменту, який передається планетарними хвилями із тропо-

сфери в стратосферу [12]. Інтенсивний потік ЕП спостерігався у серпні 2017 р. у нижній та середній стратосфері середніх та високих широт південної півкулі (рис. 5 б), сильно контрастуючи з низькою хвильова активністю у серпні 2015 р. (рис. 5 а).

Це позначилося на утворенні великої озonoвoї діри у вересні–листопаді 2015 р. (білий контур на рис. 4 г–4 е) та обмежує рівень 220 ОД, прийнятий для визначення площі озonoвoї діри). Слід відзначити, що хоча значні втрати озону у 2015 р. спричинені вулканічними викидами [9, 16], вони могли бути ослабленими в разі підвищеної хвильової активності. Таке явище спостерігалось у 2017 р. (рис. 5 б) і саме у серпні були закладені передумови (див. рис. 4 з) наступного значного зменшення площі озonoвoї діри у вересні та жовтні (білий контур на рис. 4 и та 4 і) та зникнення діри у листопаді (див. рис. 4 і'). Дія



**Рис. 5.** Потік Ельяссена–Пальма у серпні 2015 та 2017 рр.

КСХ великої амплітуди у 2017 р. проявилася також у помітному зміщенні озонної діри відносно південного полюса (див. рис. 4 і та 4 і), тоді як у 2015 р. вона залишалася практично центрованою над полюсом (див. рис. 4 г–4 е).

Причини зростання амплітуди КСХ у серпні 2017 р. потребують окремого аналізу. Відзначимо, що тропічне явище Ель Ніньо перебувало у фазі, близькій до нейтральної, і не могло помітно змінити атмосферну циркуляцію у південній півкулі. Джерело збурень, ймовірно, виникло у басейні одного з океанів середніх чи високих південних широт, на що вказує широтне розташування посиленого потоку ЕП на рис. 5 б.

З наведених результатів видно, що запропонований критерій, який ґрунтується на визначенні амплітуди КСХ у розподілі стратосферної температури напередодні сезону озонної діри, дозволяє за 1–3 місяці передбачити можливу аномалію її площі. Це важливо не лише для прогнозування аномальних втрат озону у весняні місяці, а й для оцінок можливих змін в ультрафіолетовій радіації, яка досягає поверхні та впливає на екосистему морів та океанів у субантарктичній зоні.

## Висновки

Озонова діра над Антарктидою у весняні місяці (вересень–листопад) 2017 р. формувалася під впливом передумов, пов'язаних з активізацією хвильових збурень в атмосфері південної півкулі в кінці зими (у серпні). Значне зменшення площі озонної діри було відгуком на зростання амплітуди квазістаціонарної складової планетарних хвиль в антарктичній стратосфері у серпні. Розроблена авторами методика оцінки ймовірної еволюції озонної діри дає статистично значущі результати і показала узгодженість із спостережними даними на прикладі стратосферних збурень у зимово–весняний сезон 2017 р. Визначення амплітуди квазістаціонарної хвилі у зональному розподілі стратосферної температури напередодні сезону озонної діри дозволяє за 1–3 місяці передбачити можливу аномалію її площі. Це важливо не лише для прогнозування аномальних втрат озону чи їх суттєвого зменшення, а й для оцінок можливих змін в ультрафіолетовій радіації, яка досягає поверхні та є фактором впливу на екосистему морів та океанів південного полярного регіону.

## Література

1. Зміни в розподілі загального вмісту озону в атмосфері над Антарктикою [Електронний ресурс] / А. В. Грицай, Г. П. Міліневський, О. М. Євтушевський, А. Р. Клекочук // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2016. — № 10. — С. 1–14. — Режим доступу до журналу: <http://www.ujrs.org.ua> (07.07.18). — Назва з екрану.
2. Розподіл озону в Антарктиці за даними 30-літніх супутникових спостережень / А. В. Грицай, О. М. Євтушевський, Г. П. Міліневський, З. І. Грицай // Космічна наука і технологія. — 2010. — Т. 16. — № 1. — С. 20–27.
3. An assessment of changing ozone loss rates at South Pole: Twenty-five years of ozonesonde measurements / B. Hassler, J. S. Daniel, B. J. Johnson [et al.] // *J. Geophys. Res.* — 2011. — Vol. 116. — D22301, doi:10.1029/2011JD016353.
4. Emergence of healing in the Antarctic ozone layer / S. Solomon, D. J. Ivy, D. Kinnison [et al.] // *Science.* — 2016. — Vol. 252. — № 6296. — P. 269–274.
5. Estimates of ozone return dates from Chemistry-Climate Model Initiative simulations / S. S. Dhomse, D. Kinnison, M. P. Chipperfield [et al.] // *Atmos. Chem. Phys.* — 2018. — Vol. 18. — P. 8409–8438.
6. Evolution of Antarctic ozone in September–December predicted by CCMVal-2 model simulations for the 21st century / J. M. Siddaway, S. V. Petelina, D. J. Karoly [et al.] // *Atmos. Chem. Phys.* — 2013. — Vol. 13. — P. 4413–4427. — doi:10.5194/acp-13-4413-2013.
7. Farman J. C. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> interaction / J. C. Farman, B. G. Gardiner, J. D. Shanklin // *Nature.* — 1985. — Vol. 315. — P. 207–210.
8. Grytsai A. V. Anomalous quasi-stationary planetary waves over the Antarctic region in 1988 and 2002 / A. V. Grytsai, O. M. Evtushevsky, G. P. Milinevsky // *Ann. Geophys.* — 2008. — Vol. 26. — P. 1101–1108.
9. Observing the impact of Calbuco volcanic aerosols on South polar ozone depletion in 2015 / K. A. Stone, S. Solomon, D. E. Kinnison [et al.] // *J. Geophys. Res.* — 2017. — Vol. 122. — № 21. — <https://doi.org/10.1002/2017JD026987>.
10. Quasi-stationary planetary waves in late winter Antarctic stratosphere temperature as a possible indicator of spring total ozone / V. O. Kravchenko, O. M. Evtushevsky, A. V. Grytsai [et al.] // *Atmos. Chem. Phys.* — 2012. — Vol. 12. — P. 2865–2879.
11. Randel, W. J. The seasonal evolution of planetary waves in the southern hemisphere stratosphere and troposphere / W. J. Randel // *Q. J. Roy. Meteor. Soc.* — 1988. — Vol. 114. — P. 1385–1409.
12. Salby, M. Changes of the Antarctic ozone hole: Controlling mechanisms, seasonal predictability, and evolution / M. Salby, E. Titova, L. Deschamps // *J. Geophys. Res.* — 2012. — Vol. 117. — doi:10.1029/2011JD016285.
13. Salby, M. Rebound of Antarctic ozone / M. Salby, E. Titova, L. Deschamps // *Geophys. Res. Lett.* — 2011. — Vol. 38. — L09702, doi:10.1029/2011GL047266.
14. Shindell, D.T. Interannual variability of the Antarctic ozone hole in a GCM. Part I: The influence of tropospheric wave variability / D. T. Shindell, S. Wong, D. J. Rind // *Atmos. Sci.* — 1997. — Vol. 54. — P. 2308–2319.
15. Strahan, S. E. Decline in Antarctic ozone depletion and lower stratospheric chlorine determined from Aura Microwave Limb Sounder observations / S. E. Strahan, A. R. Douglass // *Geophys. Res. Lett.* — 2017. — Vol. 44. — <https://doi.org/10.1002/2017GL074830>.

16. The influence of the Calbuco eruption on the 2015 Antarctic ozone hole in a fully coupled chemistry-climate model / D.J. Ivy, S. Solomon, D. Kinnison [et al.] // *Geophys. Res. Lett.* — 2017. — Vol. 44. — <https://doi.org/10.1002/2016GL071925>.
17. Unusual stratospheric transport and mixing during the 2002 Antarctic winter / D. R. Allen, R. M. Bevilacqua, G. E. Nedoluha [et al.] // *Geophys. Res. Lett.* — 2003. — Vol. 30. — 1599, doi:10.1029/2003GL017117.

#### ПРЕДПОСЫЛКИ УМЕНЬШЕНИЯ ОЗОНОВОЙ ДЫРЫ В 2017 ГОДУ

В. А. Кравченко, А. М. Евтушевский, А. В. Грицай, Г. П. Милиневский, А. Р. Клекочук

Озоновая дыра над Антарктидой в весенние месяцы сентябрь–ноябрь 2017 г. оказалась одной из наименьших за время ее существования. Анализ ежегодных предпосылок формирования озоновой дыры, выполненный авторами ранее, определил критерий для оценки ее возможного состояния в следующий весенний сезон. Критерием является амплитуда планетарных волн в стратосферной температуре, усредненная за август (последний месяц антарктической зимы). Динамические возмущения, вызванные планетарными волнами в зимние месяцы, дают значительный вклад в вариации потерь озона весной. Уже к концу августа 2017 г. был сделан вывод о вероятном ослаблении озоновой дыры в последующие месяцы до примерно третьего наименьшего значения ее площади за последние два десятилетия. Спутниковые наблюдения подтвердили существенное уменьшение площади озоновой дыры и потерь стратосферного озона в южном полярном регионе в 2017 г. Результаты работы важны не только для прогнозирования аномальных потерь озона в весенние месяцы, но и для оценок возможных изменений в ультрафиолетовой радиации, достигающей поверхности и влияющей на экосистему морей и океанов в субантарктической зоне.

**Ключевые слова:** озоновая дыра, антарктическая стратосфера, квазистационарные планетарные волны, температура

#### PRECONDITIONS FOR THE OZONE HOLE DECREASE IN 2017

V. O. Kravchenko, O. M. Evtushevsky A. V. Grytsai, G. P. Milinevsky, A. R. Klekociuk

The Ozone Hole over Antarctica in the spring months of September–November 2017 was one of the smallest during the period of its existence. The analysis of the annual preconditions for the formation of the ozone hole, made by the authors earlier, determined the criterion for estimation of its possible state in the next spring season. The criterion is the amplitude of planetary waves in the stratospheric temperature averaged for August (last month of the Antarctic winter). Dynamical disturbances caused by planetary waves in the winter months make a significant contribution to the variations in ozone losses in the spring. Already in the late August 2017, a conclusion was made on the possible ozone hole weakening in the following months to about the third smallest value of its area in the past two decades. Satellite observations have confirmed a significant decrease in the ozone hole area and stratospheric ozone losses in the southern polar region in 2017. The results of the work are important not only for predicting anomalous ozone losses in the spring months, but also for estimations of possible changes in ultraviolet radiation that reaches the surface and influences the ecosystem of the seas and oceans in the subantarctic zone.

**Key words:** ozone hole, antarctic stratosphere, quasi-stationary planetary waves, temperature