

**Двадцать третья международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»**

**Влияние квазидвухлетних колебаний на
озоносферу Южного полушария**

**Рублева Т.В.¹, Кашкин В.Б.¹, Серебренникова Л.М.¹,
Одинцов Р.В.¹, Симонов К.В.²**

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

²Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Россия

e-mail: tvrubleva@mail.ru, rtcvbk@rambler.ru, topinambur.15@mail.ru,
pomamow@gmail.com, simonovkv50@gmail.com

Москва, 2025

ABSTRACT. Ozone variations in the Southern Hemisphere lower stratosphere from August to December 1996–2024 during peak wave activity were analyzed using TOMS/EP and OMI/Aura (NASA) satellite data. It was found that a decrease in total ozone within the Antarctic ozone hole is accompanied by an increase in ozone within the circumpolar vortex. Quasi-biennial oscillations in total ozone were detected in September–October at mid- and polar latitudes.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Существенное воздействие через изменения в распространении планетарных волн и перераспределении газовых примесей, в том числе и озона, в экваториальной области и во внутропических широтах оказывают КДК (квазидвухлетние колебания). Они характеризуются периодическими изменениями направления зонального ветра в нижней стратосфере с западного на восточное с периодом ≈ 28 месяцев.

В стратосфере данное атмосферное явление наблюдается в слое от ~ 100 гПа (~ 16 км) до ~ 3 гПа (~ 40 км). Изучение связи квазидвухлетних колебаний и перенос масс озона в нижней стратосфере средних и полярных широт, где существует циркумполярный вихрь (ЦВ) и наблюдается весной Антарктическая озоновая дыра (АОД), является актуальным.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В работе изучались пространственно-временные вариации озона в ЮП в системе ОЦА (общей циркуляции атмосферы) в зимне-весенний период с августа по декабрь 1996–2024 гг. по спутниковым данным TOMS/EP (Earth probe) и OMI/Aura (NASA, США).

Спектрометры TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) и OMI, установленные на космических аппаратах дистанционного зондирования Earth probe (рис. 1) и Aura (рис. 2), позволили ежедневно получать глобальные цифровые карты ОСО (общего содержания озона) с шагом 1,25° (1°) по широте и долготе за период исследований.



Рис. 1. TOMS/Earth probe

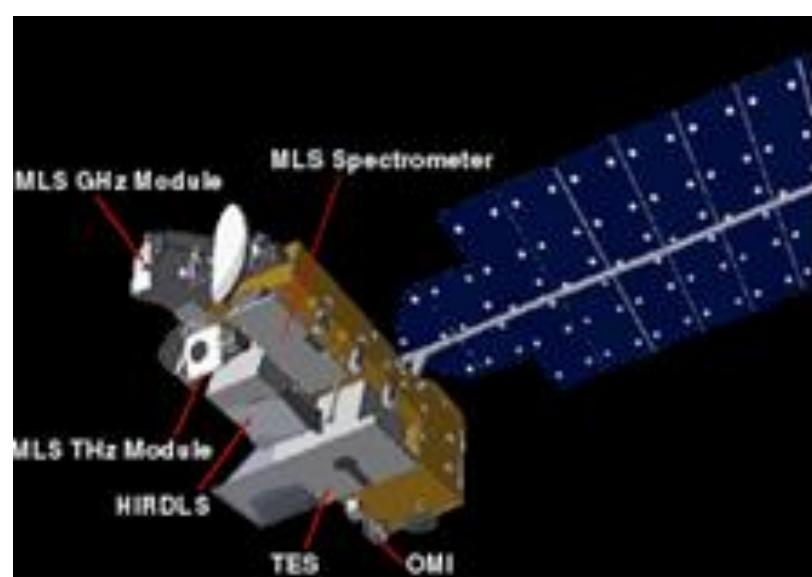


Рис. 2. OMI/Aura

Анализ модели распределения ОСО в нижней стратосфере Южного полушария по спутниковым данным OMI/Aura (<http://gsfc.nasa.gov>) за 5 октября 2024 г.

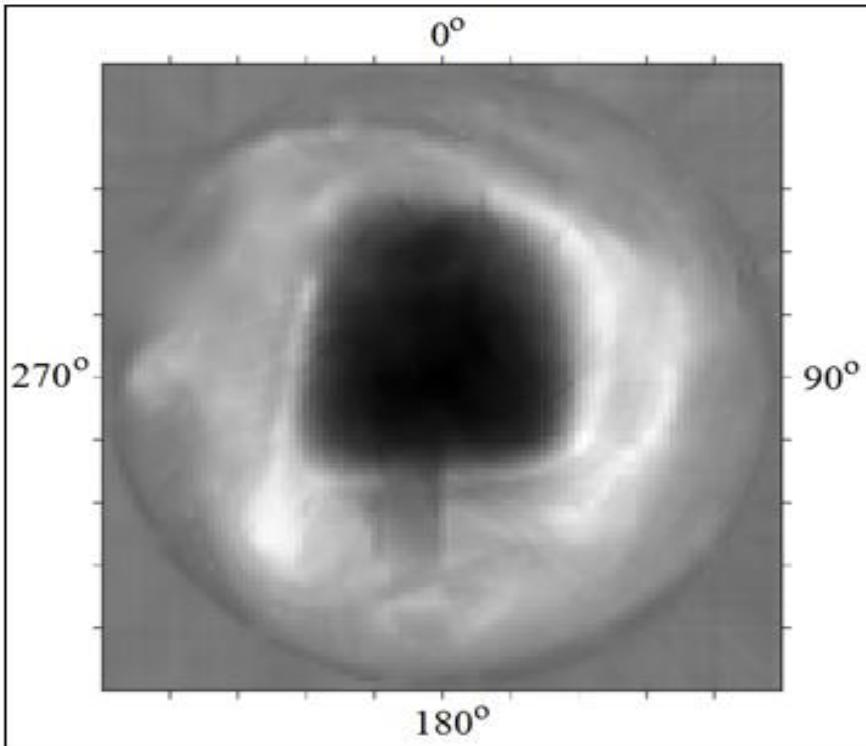


Рис. 3. Модель распределения ОСО в нижней стратосфере Южного полушария

Под ЦВ понимается циклоническое вращение воздуха (в том числе и озона) в тропосфере и стратосфере вокруг полюса, с запада на восток в системе ОЦА (общей циркуляции атмосферы). По оценкам, радиус ЦВ, в среднем, составляет 4505 км.

«Темная» область – это Антарктическая озоновая дыра (АОД), где регистрируется ОСО менее 220 е. Д. (1 е. Д.= 10^{-5} м) в широтном диапазоне (65° - 90° ю.ш.).

«Белая» область – это «кольцо» с повышенными значениями ОСО в циркумполярном вихре (ЦВ), наблюдаемом в широтном диапазоне (30° - 65° ю.ш.).

Формирование 3D модели АОД за 5 октября 2024 г. по спутниковым данным ОМП/Aura

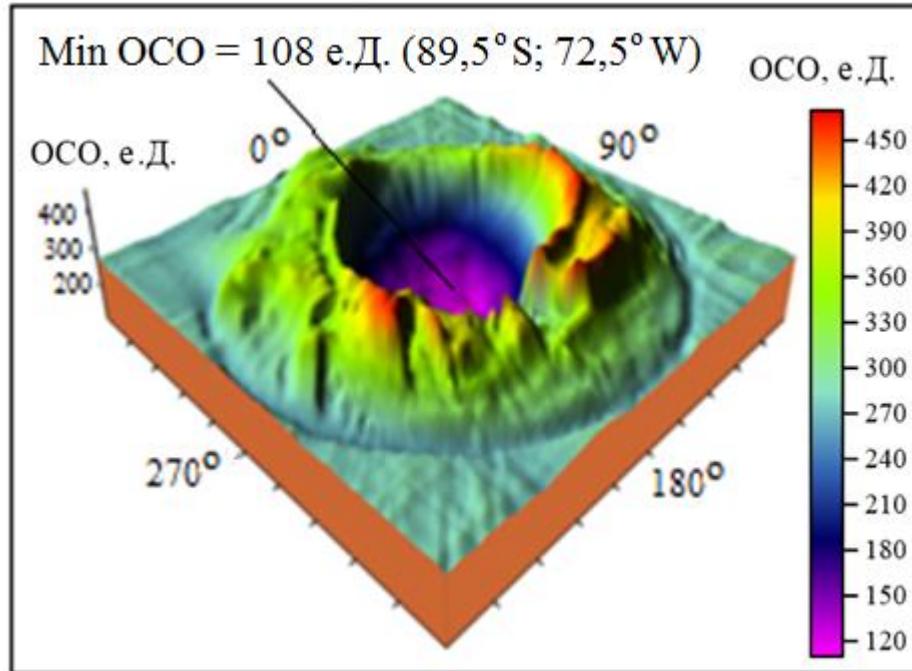


Рис. 4. 3D модель АОД за 5 октября 2024 г.

Антарктическая озоновая дыра (АОД) – это участок стратосферы над южной полярной областью, где ОСО меньше климатической нормы, равной 220 е.Д.

Анализ межгодовых вариаций минимумов ОСО в Антарктической озонной дыре за период 1996-2024 гг.

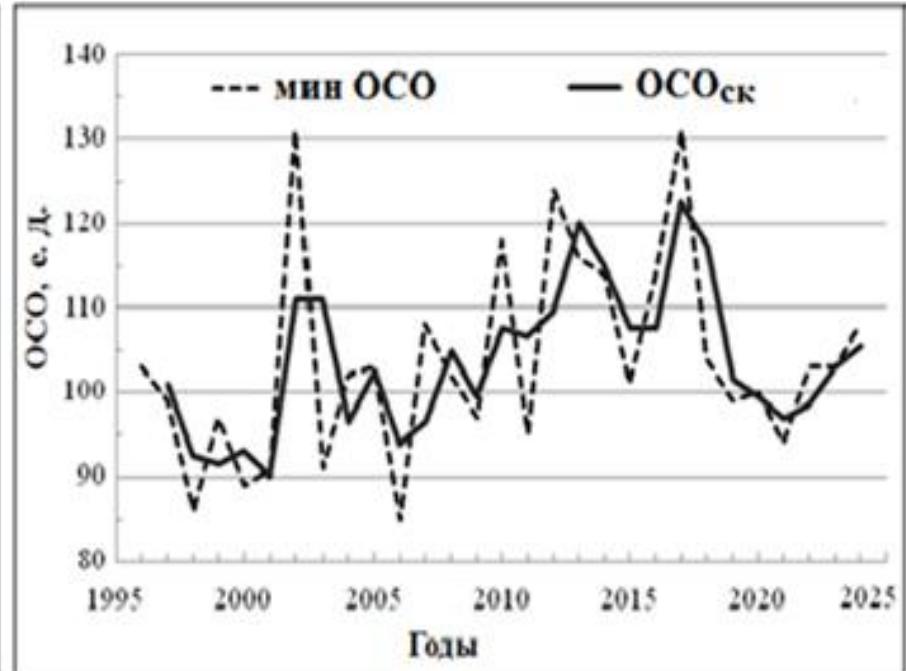


Рис. 5. Вариации минимумов ОСО в АОД: минимумы ОСО в АОД характеризуют «глубину» аномалии. С 1996 по 2024 гг. «глубина» АОД изменилась от 85 до 131 е.Д. С помощью метода скользящего среднего определен период изменения параметра «глубина» АОД равный 2-м годам.

Анализ пространственно-временных вариаций ОСО в 2014 и 2015 годах по данным OMI/Aura

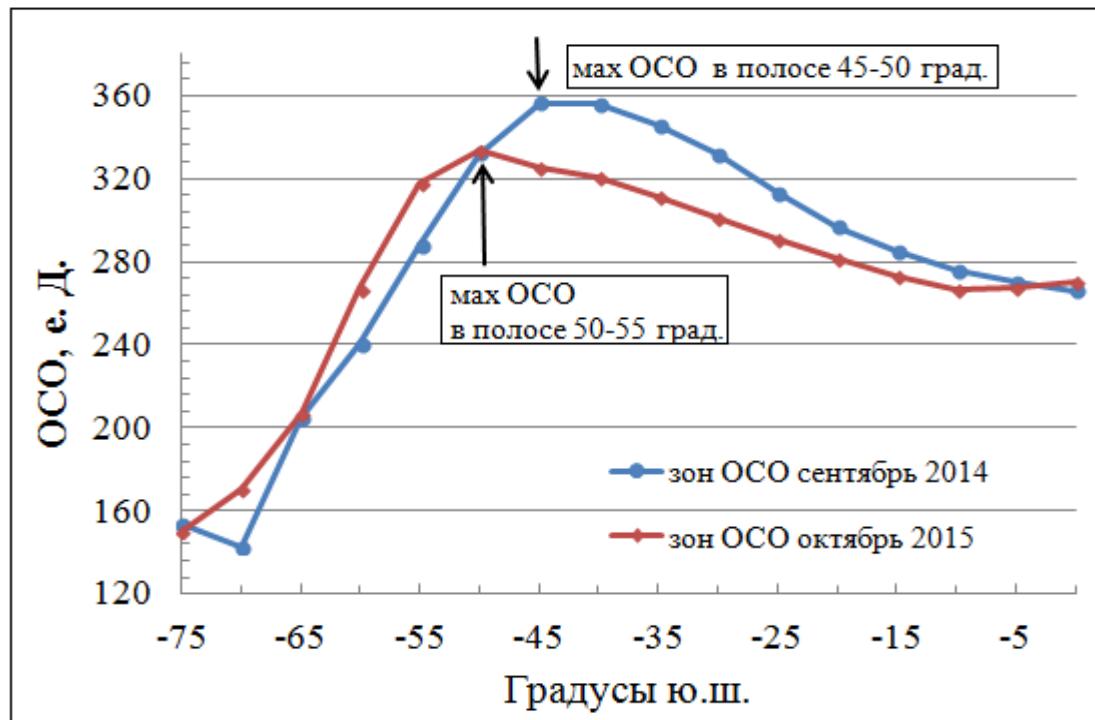


Рис. 6. Пример пространственно-временных вариаций ОСО
в 2014 и 2015 годах

Выполнен анализ зональных средних значений ОСО в «кольце» ЦВ в сентябре-октябре 1996-2011 гг. Обнаружено, что в двух 5-градусных широтных кругах (45° – 50° ю.ш.) и (50° – 55° ю.ш.), где наиболее активен циркумполярный вихрь, наблюдаются максимальные значения ОСО с годичным чередованием.

Анализ вариаций рядов значений max OCO_2 (область $50^{\circ}\text{--}55^{\circ}$ ю.ш.) и сглаженного ряда $\text{OCO}_2_{\text{ск}}$ методом скользящего среднего с окном 2

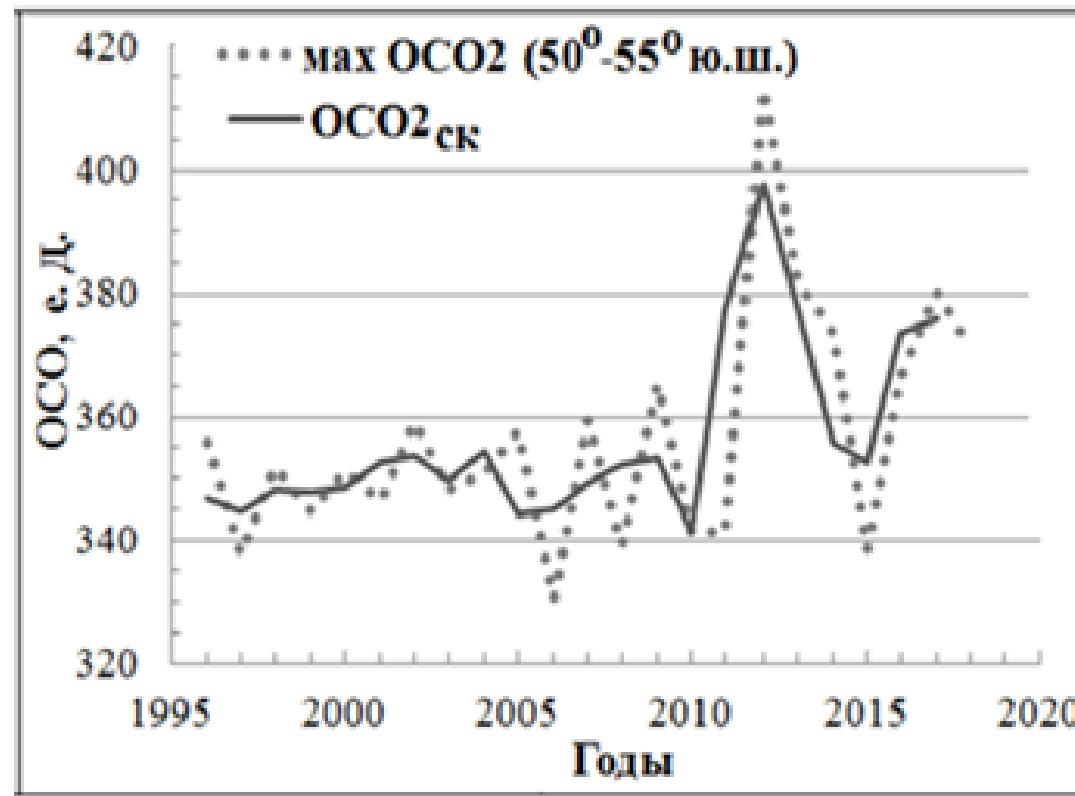


Рис. 7. Пример вариаций рядов значений max OCO_2 и $\text{OCO}_2_{\text{ск}}$

Максимальный коэффициент корреляции между рядами значений мин ОСО и max OCO_2 (для области $50^{\circ}\text{--}55^{\circ}$ ю.ш.) составил 0.64. Выявлено, что уменьшение озона внутри озоновой дыры сопровождается увеличением количества озона в циркумполярном вихре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализированы вариации озона в нижней стратосфере Южного полушария с августа по декабрь 1996–2024 гг. во время наибольшей волновой активности по спутниковым данным TOMS/EP и OMI/Aura (NASA).

Выполнен анализ ежедневных минимальных значений ОСО в АОД в августе–октябре. Отметим, что минимумы озона в полярной аномалии характеризуют ее «глубину». С помощью метода скользящего среднего определен период изменения параметра «глубина» АОД равный 2-м годам.

Для оценки связи между максимумами ОСО в циркумполярном вихре и «глубиной» озоновой дыры применялся корреляционный анализ. Рассчитывались коэффициенты корреляции между рядами значений мин ОСО и max ОСО1 (для зоны 45° – 50° ю.ш.), а также между – мин ОСО и max ОСО2 (для области 50° – 55° ю.ш.). В первом случае $R_1=0.52$, а во втором – $R_2=0.64$. Обнаружено, что в двух 5-градусных широтных кругах (45° – 50° ю.ш.) и (50° – 55° ю.ш.), где наиболее активен циркумполярный вихрь, наблюдаются максимальные значения ОСО с годичным чередованием.

В результате проведенного анализа показано, что уменьшение озона внутри озоновой дыры сопровождается увеличением количества озона в циркумполярном вихре. Обнаружены квазидвухлетние колебания ОСО в сентябре–октябре в средних и полярных широтах. Периоды изменений «глубины» АОД и области с максимумом ОСО в циркумполярном вихре характеризуются квазидвухлетней цикличностью. И, вероятно, обусловлены воздействием квазирегулярных атмосферных колебаний (КДК).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Кашкин В.Б., Рублева Т.В., Хлебопрос Р.Г. Стратосферный озон: вид с космической орбиты. Красноярск: СФУ, 2015. 182 с.
2. Coy L., Wargan K., Molod A. M., McCarty W. R., Pawson S. Structure and Dynamics of the 587 Quasi-Biennial Oscillation in MERRA-2 // Journal of Climate. 2016. V. 29. P. 5339-5354. Doi: 10.1175/JCLI-D-15- 588 0809.1.
3. He Y., Zhu X., Sheng Z. Dynamic configuration before quasi-biennial oscillation disruptions revealed from the perspective of planetary waves // npj Climate and Atmospheric Science. 2025. T. 8. № 1(79). 11 p.
4. <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>
5. https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/ann_data.html
6. Newman P.A., Coy L., Laft L.R., Nash E.R., September 2, 2023. https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/qbo/

Спасибо за внимание!