

## ПРОГНОЗ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОЗОНА В АНТАРКТИКЕ И ЗОНАЛЬНАЯ АСИММЕТРИЯ В ЕГО РАСПРЕДЕЛЕНИИ

Милюневский<sup>1</sup> Г., Клекочук<sup>2</sup> А., Грицай<sup>1</sup> А., Евтушевский<sup>1</sup> А., Александер<sup>2</sup> С.,  
Даргавиль<sup>4</sup> Р., Петелина<sup>3</sup> С., Сиддавэй<sup>3</sup> Дж.

<sup>1</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина  
genmilinevsky@gmail.com

<sup>2</sup>Австралийская антарктическая служба, Хобарт, Тасмания, Австралия

<sup>3</sup>Университет Ла Тробе, Мельбурн, Австралия

<sup>4</sup>Университет Мельбурна, Мельбурн, Австралия

В течение последних трех десятилетий стратосферный озон, как в средних, так и в высоких широтах, имел тенденцию к снижению. Общее содержание озона (ОСО) в поясе 60°S - 60°N было на 3.5% меньше в течение 2002 - 2005 гг., чем в период 1964 - 1980 гг. Наиболее значительные изменения ОСО наблюдались в антарктической стратосфере в связи с формированием весенней антарктической аномалии - озоновой дыры. Однако с середины 1990-х годов начала наблюдаться тенденция к уменьшению отрицательного тренда и стабилизации уровней ОСО. Это связывают с уменьшением в атмосфере озоноразрушающих веществ. Современные модели долговременной эволюции земной атмосферы показывают, что такое уменьшение должно привести к восстановлению первичного (до 1980-х гг.) содержания озона в стратосфере и к исчезновению озоновой дыры в период 2060 - 2075 гг.

В высоких широтах в Антарктике озон находится в основном в нижней стратосфере на высотах 14-30 км. Распределение общего содержания озона в субантарктических широтах вне центральной части озоновой дыры имеет асимметричный вид в связи с существованием квазистационарных планетарных волн с волновым числом 1 во время антарктической весны. Зональная асимметрия в стратосфере над Антарктикой под воздействием квазистационарных волн является необычной особенностью распределения общего содержания озона, описанной и изучаемой авторами в последние годы (Grytsai et al. 2007, Evtushevsky et al. 2008).

По данным спутниковых спектрометров из архива данных NASA (TOMS, OMI, [http://toms.gsfc.nasa.gov/ftpdata\\_v8.html](http://toms.gsfc.nasa.gov/ftpdata_v8.html)) мы обнаружили, что весной среднеширотный пояс богатого стратосферным озоном воздуха имеет устойчивый по долготе субантарктический максимум (~350 ед. Добсона) в области долгот 90°-180°E. В то же время, деформация и смещение озоновой дыры относительно полюса под влиянием планетарных волн вызывает зональную аномалию низкого содержания озона в области долгот 0°-60°W, где наблюдается стабильный весенний минимум озона (200-250 ед. Добсона) над морем Уэдделла – Южной Атлантикой. Кроме того, в течение 1979-2010 гг. мы зарегистрировали систематический и существенный сдвиг этой области минимума ОСО на восток на 45° по долготе с ее приближением к гринвичскому меридиану.

Следует отметить, что весенний (сентябрь-ноябрь в южном полушарии) минимум озона находится в районе самой высокой биологической продуктивности Южного океана, что видно при сравнении положения минимума озона и циркумполярного распределения Антарктического криля на основе данных KRILLBASE (1987-1989), описанных в работе (Atkinson et al. 2008).

Такое асимметричное распределение озона и долготное смещение его минимума не только характеризует динамику озоновой дыры последних десятилетий, но и влияет на процессы восстановления ОСО в будущем. Кроме того, в недавних публикациях со ссылкой на наши результаты показано, что при моделировании тенденций изменений климата в тропосфере Южного полушария необходимо учитывать зональную асимметрию в распределении озона (напр., Crook et al. 2008).

Для проверки будущих сценариев восстановления озона и влияния асимметрии на процессы в стратосфере мы использовали моделирование, которое проводится в рамках деятельности по оценкам и моделированию уменьшения/изменения ОЗО (Second Community Climate Model Validation - CCMVal-2), выполняемое по инициативе группы SPARC - Стратосферные процессы и их роль в изменениях климата. В моделях учтены парниковые газы, озоноразрушающие вещества и аэрозоли в атмосфере, применены химические реакции, связанные с озоном. Также учитываются изменения температуры морской поверхности.

Для оценки влияния асимметрии в распределении озона на прогнозируемое восстановление уровня ОЗО до величин, предшествовавших озоновой дыре, использовались 15 моделей REF-B1 для периода 1960-2005 гг. (прошлое) и 12 моделей REF-B2 для периода 1960-2100 гг. (будущее). По оценкам моделей CCMVal-2 были найдены линейные тренды в долготях минимума и максимума ОЗО в течение весны и лета, которые подобны результатам, полученным нами ранее по наблюдательным данным. Существует большая изменчивость результатов моделирования по REF-B1 (исторический период) и некоторые существенные отличия, по сравнению с наблюдениями TOMS. Однако все данные показывают общую тенденцию смещения этих экстремумов на восток.

Результаты работы показывают, что зональная асимметрия, вероятно, вызвана изменениями в амплитуде и фазе планетарных волн в нижней стратосфере. На распространение этих волн во внетропической атмосфере влияют различные факторы, такие как тропическая конвекция, усиление циркуляции Брюера-Добсона, и обратное влияние на структуру и динамику полярной атмосферы вызванное появлением и существованием озоновой дыры, а также увеличением концентрации парниковых газов.

Сценарии оценок CCMVal-2 предполагают продолжение смещения экстремумов ОЗО на восток в течение следующего столетия, но они будут смягчены эффектами восстановления озонового слоя. Существование остаточного восточного тренда ассоциируется с длительным охлаждением стратосферы. Прогноз процессов изменения ОЗО над Антарктикой на промежутке до конца 21-го столетия по результатам моделирования REF-B2 предполагает задержку восстановления озонового слоя над морем Уэдделла примерно на 20 лет на широте 60S относительно среднезонального уровня ОЗО. С другой стороны, мы ожидаем более раннее восстановление озона в районе Восточной Антарктики.

Atkinson A., et al., (2008), Oceanic circumpolar habitats of Antarctic krill, *Marine Ecology Progress Series*, 362, 1–23, doi: 10.3354/meps07498, 2008.

Crook J., Gillett N., Keeley S., (2008), Sensitivity of Southern Hemisphere climate to zonal asymmetry in ozone, *Geophysical Research Letters*, 35, L07806, doi:10.1029/2007GL032698.

Evtushevsky O., Grytsai A., Klekociuk A., Milinevsky G. Total ozone and tropopause zonal asymmetry during the Antarctic spring // *Journal of Geophysical Research*. - 2008. - Vol. 113, D00B06, doi: 10.1029/2008JD009881.

Eyring V. et al., (2010) Multi-model assessment of stratospheric ozone return dates and ozone recovery in CCMVal-2 models, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 9451-9472, doi:10.5194/acp-10-9451-2010.

Grytsai A., Evtushevsky O., Agapitov O., Klekociuk A., Milinevsky G., (2007), Structure and long-term change in the zonal asymmetry in Antarctic total ozone during spring, *Ann. Geoph.* 25, 361-374.