

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОЗОНОВЫХ АНОМАЛИЙ И БАРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ В МЕЗОМАСШТАБНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

С. К. Бородко

Важная роль озона в атмосфере Земли обусловлена его оптическими свойствами, благодаря которым реализуется механизм регуляции интенсивности падающего солнечного излучения в биологически активном ультрафиолетовом диапазоне. Изменения общего содержания озона (ОСО) приводят к вариациям ультрафиолетовой облученности земной поверхности в данной области.

В динамике ОСО присутствуют различные пространственные и временные масштабы. Глобальные изменения ОСО связаны с многолетним трендом озона и присутствием крупных озоновых дыр над полярными регионами Земли на протяжении нескольких месяцев. С другой стороны, на интервалах времени порядка нескольких суток возникают и развиваются локальные озоновые аномалии – отклонения ОСО от нормальных значений в некотором регионе синоптического масштаба («mini-hole» в англоязычной терминологии).

В отличие от крупных озоновых дыр, в образовании которых согласно общепринятой точке зрения ведущая роль принадлежит фотохимическим процессам с участием галогенсодержащих соединений (в том числе и антропогенного происхождения), короткие временные масштабы жизненного цикла локальных озоновых аномалий позволяют прийти к выводу о динамическом механизме их развития. Такой механизм может быть связан со стратосферно-тропосферными связями, к исследованию которых в настоящее время наблюдается высокий интерес [1]. Согласно гипотезе о связи локальных озоновых аномалий с барическими образованиями, картина барического поля в различных слоях тропосферы и стратосферы может служить в качестве предиктора изменений ОСО.

Моделирование соответствующих динамических процессов нацелено на выявление механизмов возникновения и развития озоновых аномалий и разработку методики их прогнозирования. Для Беларуси это представляется актуальной задачей, поскольку большинство аномалий возникает и развивается между  $45^\circ$  и  $60^\circ$  северной широты [2].

В [3] динамика локальных озоновых аномалий рассматривалась в рамках упрощенной модели баротропной динамики в Северном полушарии на  $f$ -плоскости с идеализированным начальным профилем озона как пассивного трассера, интегрирование которой проводилось методом контурной динамики. В результате была воспроизведена качественная картина возникновения аномалий. В настоящее время, как правило, процессы в стратосфере исследуются в глобальном масштабе в моделях общей циркуляции атмосферы и климата. Расширения таких моделей, на-

целенные на воспроизведение переноса малых составляющих атмосферы и химических реакций между ними, позволяют, в том числе, проводить и глобальное моделирование процессов в озоновом слое Земли. Тем не менее, основной задачей при этом является определение химических механизмов долговременного тренда озона и формирования крупных озоновых дыр.

Для рассмотрения реальных случаев возникновения локальных озоновых аномалий представляется целесообразным использовать региональную модель динамики озона в стратосфере и тропосфере. В данном исследовании такая модель была развита на основе мезомасштабной модели общего пользования Weather Research & Forecasting (WRF), используемой в основном в численном прогнозе погоды и исследованиях динамических процессов в нижних (обычно до 50 мб) слоях атмосферы, и ее расширения WRF/Chem, нацеленного на моделирование переноса примесей и химических процессов в тропосфере [4]. В полученной модификации системы WRF/Chem моделируется перенос озона как пассивной примеси, при этом изменение объемного распределения озона учитывается в схемах параметризации процессов переноса излучения.

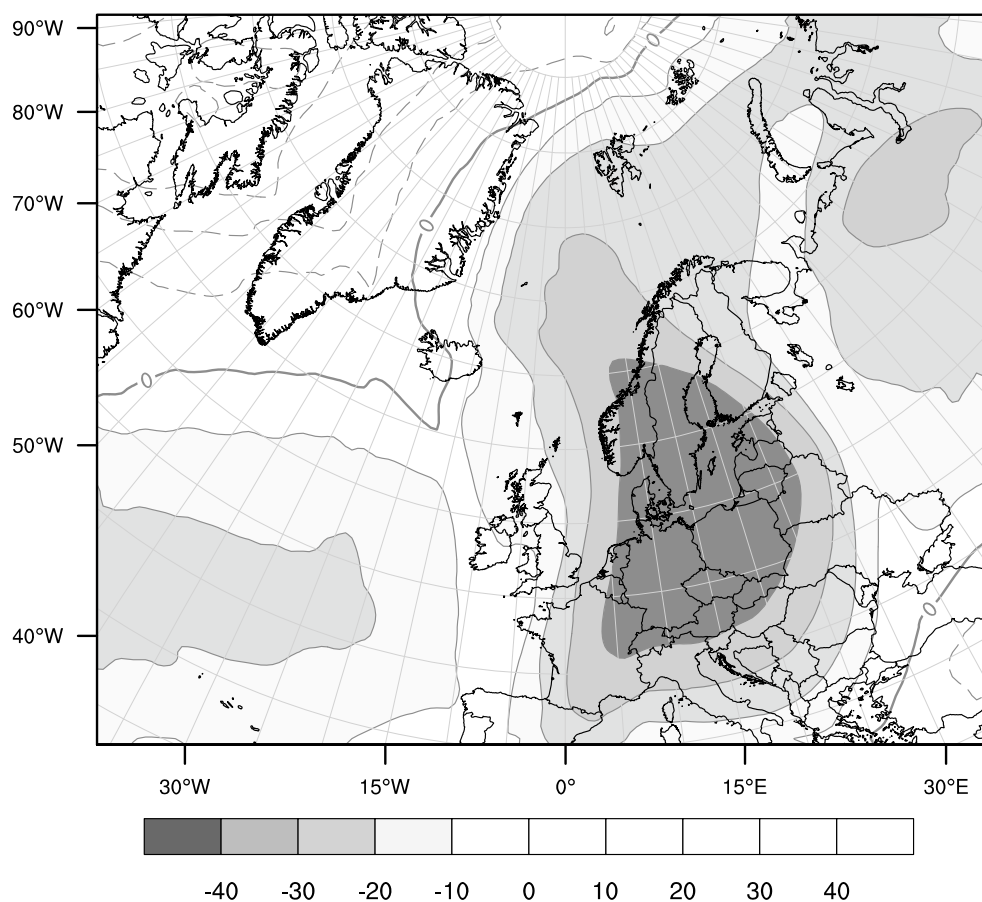


Рис. 1. Отклонения ОСО от нормы (в процентах) по результатам моделирования на 12 ч СВВ 31.12.1997

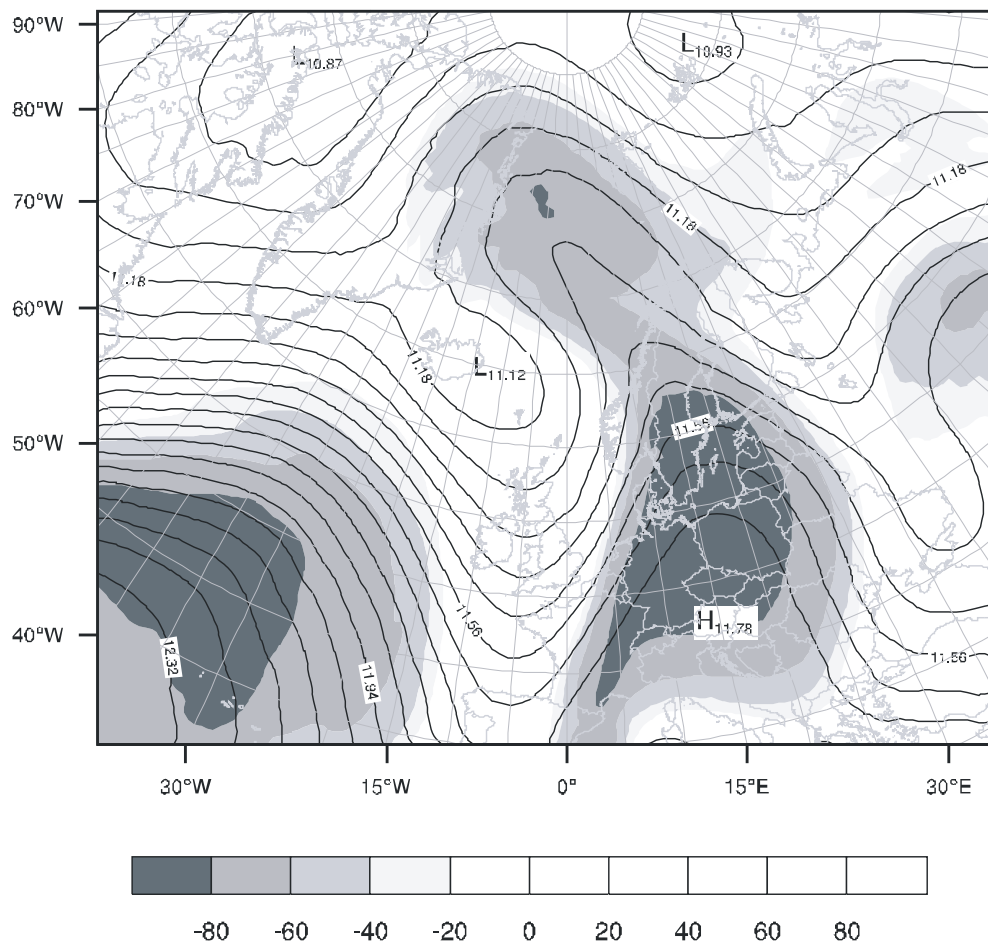


Рис. 2. Высота геопотенциала в гпм (контуры) и относительные отклонения распределения озона в процентах (закрашенные области) для поверхности 200 мб на момент 12 ч СГВ 31.12.1997 по результатам моделирования

В качестве исследуемого случая выбрана локальная озоновая аномалия над территорией Европы с 29.12.1997 по 02.01.1998 с падением ОСО до 160 единиц Добсона (ЕД), что соответствует двукратному отклонению от нормы. Для Беларуси это наиболее глубокая аномалия за всю историю наблюдений. Инициализация модели проводилась для 12 ч СГВ 29.12.1997, при этом начальные и граничные условия строились на основе данных реанализа ERA-Interim европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). На рис. 1 изображена картина относительных отклонений ОСО от нормы на 12 ч СГВ 31.12.1997 по результатам моделирования, демонстрирующая согласие с данными реанализа на этот момент времени

Связь озоновой аномалии с картиной барического поля выявляется на сечениях различными изобарическими поверхностями. На рис. 2 изображена высота геопотенциала и относительное отклонение объемного распределения озона от нормы для поверхности 200 мб, близкой к тропопause.

Картина распределения озона на различных поверхностях показывает расположение области с наибольшим уменьшением содержания озона вдоль барического гребня на окраине антициклона, простирающегося от нижних слоев до тропопаузы. На поверхности 50 мб и выше, напротив, наблюдается ярко выраженная циклоническая система с центром над приполярным регионом, которая может быть отождествлена со смещенным стратосферным полярным вихрем. При этом отклонения в распределении озона на этих уровнях невелики.

Сравнение распределений озона на различных изобарических поверхностях и анализ вертикального сечения показывают расположение области с наиболее выраженным отклонением вблизи уровней 150 и 200 мб в интервале высот от 10 до 15 км. Таким образом, основной вклад в аномалию вносит обеднение озоном слоя около тропопаузы, ниже которого (в верхней тропосфере) при этом располагается барический гребень окраины антициклона, а выше (в нижней стратосфере) – окраина циклонической системы смещенного стратосферного полярного вихря.

#### Литература

1. *Mohanakumar K.* Stratosphere-Troposphere Interactions. An Introduction / 2008. (Springer)
2. *James P.M., Peters D.* The Lagrangian structure of ozone mini-holes and potential vorticity anomalies in the Northern Hemisphere // *Annales Geophysicae*. 2002. Vol. 20. P. 835 – 846.
3. *James P.M., Peters D., Greisiger K.M.* A Study of Ozone Mini-hole Formation Using a Tracer Advection Model Driven by Barotropic Dynamics // *Meteorology and Atmospheric Physics*. 1997. Vol. 64. P. 107–121.
4. *Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J.* A Description of the Advanced Research WRF Version 3 // NCAR Technical Note. 2008. NCAR/TN-468+STR. 125 pp. [http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw\\_v3.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf).