

УДК 551.510

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОЛЯРНОГО ВИХРЯ В АНТАРКТИКЕ В СЕНТЯБРЕ 2002 г.

¹П.Н. Варгин, ²Д. Петерс, ³Х. Керних

A STUDY OF POLAR VORTEX SPLITTING IN ANTARCTICA IN SEPTEMBER 2002

¹P. Vargin, ²D. Peters, ³H. Körnich

В конце сентября 2002 г. в Антарктике впервые было зарегистрировано сильное стратосферное потепление (ССП), которое привело к значительному увеличению температуры стратосферы, разделению полярного вихря на две части и сильному сокращению озонной аномалии. Согласно результатам [3], SSP произошло вследствие усиления антициклона в Южной Атлантике, которое, в свою очередь, было инициировано планетарной волной, возникшей в регионе с сильной конвекцией вблизи Индонезии в середине сентября 2002 г. С использованием трехмерных векторов Элиасена–Пальма было показано, что дополнительно к планетарной волне, возникшей вблизи Индонезии, еще одна планетарная волна, возникшая в регионе с сильной конвекцией в юго-западной части Индийского океана также в середине сентября 2002 г., привела к усилению антициклона в юго-западной части Тихого океана. Одновременное усиление данных двух антициклонов привело к разделению полярного вихря на две части в ходе SSP [4]. Проводится исследование отклика атмосферы в сентябре 2002 г. при учете в ходе модельного эксперимента двух источников генерации планетарных волн, расположение, пространственная структура, интенсивность и временная изменчивость которых задается согласно результатам [3–4].

The first ever observed Major Stratospheric Warming (MSW) in Antarctica was occurred in late September 2002. The main features of MSW were following: essential increase of temperature in the stratosphere of southern high latitudes, reverse of zonal flow from westward to eastward, splitting of polar vortex and significant decrease of ozone hole. Mechanism of tropospheric forcing responsible for enhance of anticyclone in the Southern Atlantic in the time of MSW was reported in [3]. Present study confirms result of [3] and describes possible cause for enhance of second anticyclone in Southern Pacific. It is postulated that owing to enhance of both that anticyclones during MSW Antarctic polar vortex divided into two parts.

Введение

На протяжении двух последних десятилетий (за исключением 1988 г.) в конце зимы и в течение весеннего сезона в Антарктике наблюдалось усиление озонной аномалии (дыры). В этой связи особенный интерес представляет исследование причин рекордно малой озонной аномалии 2002 г. [2].

Циркуляция стратосферы Антарктики в зимне-весенний сезон 2002 г. характеризовалась сильной возмущенностью стратосферы, ослабленным зональным ветром и высокой интенсивностью планетарных волн, возникающих в тропосфере вследствие орографических воздействий и неравномерности нагрева поверхности суши и океана и распространяющихся в стратосферу. Вследствие благоприятных динамических условий, планетарные волны из тропосферы проникли в стратосферу Антарктики и вызвали с конца августа и до середины сентября 2002 г. три малых стратосферных потепления, в результате которых полярный вихрь был ослаблен и деформирован. 23–25 сентября 2002 г. в Южном полушарии впервые было зарегистрировано сильное стратосферное потепление (ССП), полностью соответствовавшее классификации Всемирной Метеорологической организации (изменение меридионального градиента температуры и направления зонального ветра в стратосфере).

ССП привело к значительному увеличению температуры стратосферы Антарктики, разделению полярного вихря (циклона) на две части и разрушению динамического барьера, окружающего полярный вихрь. Значительное сокращение озонной дыры в ходе SSP являлось результатом разрушения динамического барьера и сильного вихревого меридионального переноса (вызванного планетарными волнами) – богатые озонном воздушные массы из средних широт достигли области полярных широт [1, 7].

Несмотря на то, что к настоящему времени уже опубликован целый ряд работ, посвященных исследованию озонной аномалии 2002 г., в том числе в специальном выпуске журнала атмосферной науки [Atmospheric Science. 2005. V. 62, N 3], открытыми остаются вопросы о причинах высокой активности планетарных волн в Антарктике в течение зимне-весеннего сезона, механизме SSP и причинах разделения полярного вихря на две части.

Целью настоящей работы является анализ характера распространения планетарных волн и исследование процесса разделения полярного вихря в Антарктике в 2002 г.

Используемые данные

В работе используются глобальные, регулярные среднесуточные данные реанализа Центра климатических прогнозов (NCEP-Reanalysis): температура, геопотенциал, зональный и меридиональный ветер; спутниковые данные общего содержания озона (TOMS), а также данные уходящей длинноволновой радиации (NOAA).

Для анализа распространения планетарных волн используется методика вычисления трехмерных векторов Элиасена–Пальма [5], которые характеризуют направление распространения волновой энергии, а также служат для определения влияния планетарных волн на зональную циркуляцию. Для вычисления векторов Элиасена–Пальма использовались регулярные глобальные данные Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF).

Основные результаты

Проведенный с использованием трехмерных векторов Элиасена–Пальма анализ распространения планетарных волн в Антарктике подтвердил результаты работы [3]: возможность усиления антицикло-

на в южной части Атлантического океана планетарной волной, образовавшейся примерно за 10 сут до ССП в регионе с сильной конвекцией вблизи Индонезии. Возможность генерации планетарных волн в областях с сильной конвекцией была установлена на основе модельных вычислений [6].

Отметим, что предложенный в работе [3] механизм не объясняет наблюдавшегося в ходе ССП разделения полярного вихря – для разделения на две части необходимо усиление двух антициклонов.

В настоящей работе установлено, что наблюдавшееся в ходе ССП усиление антициклона в юго-западной части Тихого океана (дополнительно к антициклону в южной Атлантике, исследованному в [3]) может быть связано с планетарной волной, образовавшейся в тропосфере юго-западной части Индийского океана вблизи Мадагаскара в середине сентября 2002 г. Данный регион характеризовался значительными отрицательными аномалиями (отклонениями от средних многолетних значений) уходящей длинноволновой радиации, что является характерным для процессов конвекции. Анализ характера распространения образовавшейся волны показал, что к началу ССП данная волна, распространяясь в восточном направлении, достигла юго-западной части Тихого океана и могла быть причиной наблюдавшегося в ходе ССП усиления располагавшегося там антициклона.

Таким образом, полученные в настоящей работе результаты дополняют механизм возникновения ССП 2002 г., предложенный в работе [3], и могут являться объяснением наблюдавшегося в ходе ССП разделения полярного вихря на две части.

Модельные расчеты

С целью проверки предложенного механизма возникновения ССП и разделения полярного вихря в Антарктике в сентябре 2002 г. в настоящей работе используется модель общей циркуляции ECHAM4, которая разработана на основе модели Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). Горизонтальная сетка модели задается при помощи 42 сферических гармоник. Вертикальное представление: гибридная координатная система, 19 уровней от поверхности до 10 гПа. Шаг интегрирования по времени составляет 24 мин. Пограничный слой задается согласно теории подобия Обухова–Монина. Модельный эксперимент проводится для постоянного расположения Солнца, соответствующего сентябрю. В работе применяется упрощенный вариант модели общей циркуляции – вместо радиационной схемы в уравнении термодинамики используется параметризация ньютоновского выхолаживания: в результате температура релаксируется к основному состоянию (среднемесячное значение температуры в сентябре 2002 г.) с определенным временем релаксации.

Для осуществления модельного эксперимента разработана методика задания двух источников генерации планетарных волн в тропосфере Южного полушария в сентябре 2002 г. с возможностью изменения их интенсивности, расположения, периодичности.

Полученные к настоящему времени результаты модельных вычислений подтвердили возможность усиления двух антициклонов в тропосфере Антарктики планетарными волнами, образовавшимися в областях с сильной конвекцией в юго-западной части Индийского океана и вблизи Индонезии примерно за 10 сут до ССП. Результатом усиления данных антициклонов является деформация (вытягивание) полярного вихря и его смещение от полюса.

Выводы

Полученные в настоящей работе результаты подтверждают и уточняют предложенный в работе [3] механизм возникновения ССП и могут являться объяснением причин разделения полярного вихря в Антарктике в сентябре 2002 г., а именно: разделение полярного вихря на две части в ходе ССП произошло вследствие усиления двух антициклонов: в южной Атлантике и в юго-западной части Тихого океана. Усиление данных антициклонов произошло благодаря действию двух планетарных волн, возникших в регионах с сильной конвекцией вблизи Индонезии и в юго-западной части Индийского океана в середине сентября 2002 г.

Проведенные модельные вычисления подтвердили возможность усиления наблюдавшихся в тропосфере Антарктики в период ССП двух антициклонов в южной Атлантике и юго-западной части Тихого океана и модификации полярного вихря вследствие действия планетарных волн. Для достижения в ходе модельных расчетов разделения полярного вихря необходимо продолжение модельного эксперимента.

Работа П.Н.Варгина осуществляется при поддержке гранта МНТЦ № 3095.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варгин П.Н., Жадин Е.А. Влияние сильного стратосферного потепления на Антарктическую озонную дыру в 2002 г. // Метеорология и гидрология. 2004. № 8. С. 36–45.
2. Baldwin M., Hirooka T., O'Neil A., Yoden S. Major Stratospheric Warming in the SH in 2002: Dynamical Aspects of the Ozone Hole Split // SPARC Newsletter. 2003. V. 20. P. 24–26.
3. Nishii K., Nakamura H. Tropospheric Influence on the Diminished Antarctic Ozone Hole in September 2002 // Geophys. Res. Lett. 2004. V. 31. 2004GLO19532.
4. Peters D., Vargin P., Koernich H. A study of the zonally asymmetric tropospheric forcing of the austral polar vortex splitting during September 2002 // Tellus. 2006 (в печати).
5. Plumb R.A. On the Three-Dimensional Propagation of Stationary Waves // J. Atmos. Sci. 1985. V. 42. P. 217–229.
6. Sardeshmukh P.D., Hoskins B.J. The generation of global rotational flow by steady idealized tropical divergence // J. Atmos. Sci. 1988. V. 45. P. 1228–1250.
7. Vargin P. Eddy meridional ozone transport in the Antarctica in August-October 1998 and 2002 // International Journal of Remote Sensing. 2005. V. 26, N 16. P. 3441–3447.

¹ Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Россия

² Институт Атмосферной Физики, Кюхлунгсборн, Германия

³ Факультет физики атмосферы, Университет Стокгольма, Швеция

