

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДИНАМИКИ СТРАТОСФЕРЫ, НАБЛЮДАЕМАЯ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

А.И. Погорельцев

STRATOSPHERE DYNAMICS CLIMATIC VARIABILITY OBSERVED IN RECENT DECADES

A.I. Pogoreltsev

Работа представляет собой исследование динамики зимней стратосферы за последние 20 лет, проведенное по данным UK Met Office. Обсуждены возможные причины происходящих изменений. Рассчитаны изменения среднего потока и амплитуды стационарной планетарной волны с зональным волновым числом $m=1$ (СПВ1), сначала в среднем для всего зимнего периода, а затем для каждого зимнего месяца по отдельности. Выявлен различный характер изменений среднего потока и СПВ1 в нижней и верхней стратосфере. Кроме того, оказалось, что изменения среднего потока и СПВ1 в начале и в конце зимы имеют противоположный знак. Причиной усиления СПВ1 в декабре могут быть изменения нижних граничных условий (декадные колебания в Тихом океане), а также изменения условий распространения планетарных волн (охлаждение нижней стратосферы высоких широт, наблюдаемое в последние десятилетия).

We analyzed the dynamics of the winter stratosphere over last twenty years from UK Met Office assimilated data. Possible causes of observed changes are discussed. Variations of mean flow and amplitude of stationary planetary wave with zonal wave $m=1$ (SPW1) are calculated for all winter periods and for each of winter months separately. A different character of changes of the mean flow and SPW1 amplitude in the lower and upper stratosphere is revealed. Mean flow and SPW1 changes in early and late winter are found to be of opposite sign. The reason for SPW1 enhancement in December can be changes in lower boundary conditions (decadal oscillations in the Pacific), as well as changes in planetary wave propagation (cooling of the lower stratosphere at high latitudes observed in last decades).

Введение

Атмосфера Земли представляет собой колебательную систему, в которой существуют собственные (резонансные) глобальные колебания, так называемые нормальные атмосферные моды [Lougue-Higgins, 1968; Дикий, 1969; Holton, Mass, 1976]. С другой стороны, известно, что в результате взаимодействия стационарных планетарных волн (СПВ) со средним потоком в стратосфере возникают квазипериодические осцилляции как среднего потока, так и амплитуды СПВ – так называемые стратосферные васцилляции [Holton, Mass, 1976; Naumes, 2005; Погорельцев, 2007]. Анализ климатической изменчивости среднесезонной температуры для января с использованием данных NCEP/NCAR показал, что наблюдаются заметные изменения температуры нижней атмосферы, которые имеют противоположный знак в низких и высоких широтах [Канухина и др., 2007]. Эти изменения должны приводить к соответствующим изменениям интенсивности и расположения максимумов тропосферных струйных течений и, тем самым, к изменениям условий распространения СПВ. Можно ожидать, что улучшение условий распространения СПВ1, отмеченное в результате моделирования с использованием линеаризованной модели глобальной структуры планетарных волн [Kanukhina et al., 2008], приведет к росту амплитуды СПВ1 на высотах стратосферы и, как следствие, к росту амплитуд стратосферных васцилляций.

Данные и метод

Данные UK Met Office были использованы для исследования изменений, наблюдаемых в крупномасштабной динамике зимней стратосферы северного полушария. Были рассчитаны распределения метеорологических полей, усредненные за два десятилетия периода 1992–2001 гг. и 2002–2011 гг.

Затем между этими периодами были выявлены различия в среднем потоке и амплитуде $m=1$ в СПВ1, в среднем за все зимние месяцы (декабрь–февраль) и для каждого зимнего месяца в отдельности.

Результаты

Согласно проведенным расчетам, от первого десятилетия ко второму наблюдается ослабление среднего потока, однако статистическая значимость этих изменений низкая. С другой стороны, имеется существенное усиление внутрисезонной изменчивости среднего потока и статистическая значимость наблюдаемого изменения на средних широтах достаточно высока (95 %). Изменения в амплитудах СПВ1, усредненных за зимние месяцы, имеют противоположный знак в нижней (уменьшение амплитуды волны) и верхней (усиление волновой активности) стратосфере, и усиление внутрисезонной изменчивости амплитуды СПВ1 в верхней стратосфере статистически значимо (около 90 %).

Полученные результаты позволяют предположить, что изменения среднего потока, наблюдаемые в последние десятилетия, в начале и в конце зимы имеют противоположный знак. Чтобы проверить наше предположение, были рассчитаны распределения метеорологических полей, усредненные за десять первых и десять последующих лет для каждого месяца в отдельности, и сделаны оценки наблюдаемых изменений. Полученные результаты показали, что наиболее значимые изменения произошли в начале зимы. На рис. 1 представлены амплитуды СПВ1, усредненные за декабрь, рассчитанные в поле геопотенциальных высот для периодов 1992–2001 (вверху) и 2002–2011 гг. (внизу). Анализ рис. 1 показал, что в декабре наиболее существенные изменения наблюдаются на средних широтах в верхней стратосфере. Так, например, амплитуда СПВ1 в декабре увеличилась примерно в полтора раза.

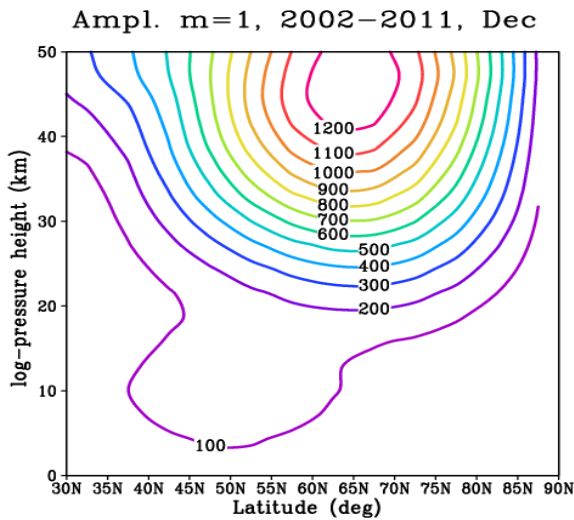
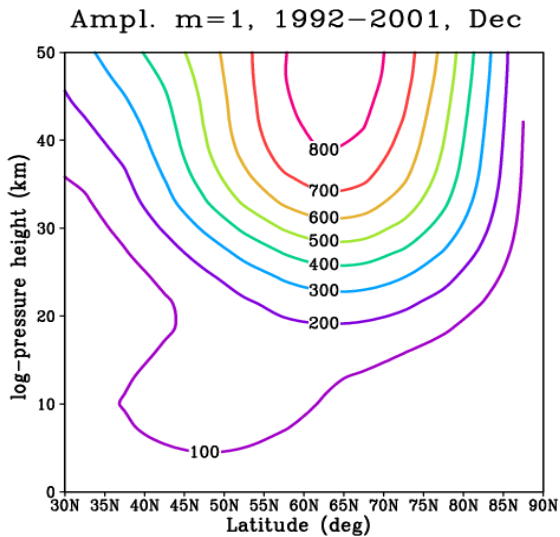


Рис. 1. Амплитуды СПВ1 в декабре, рассчитанные в поле геопотенциальных высот для периодов 1992–2001 гг. (вверху) и 2002–2011 гг. (внизу). По оси абсцисс отложена широта, по оси ординат – высота в километрах.

В январе наблюдается ослабление СПВ1 с максимальными изменениями на средних широтах на высотах около 40 км. В феврале наблюдаемые изменения незначительны. Чтобы понять возможные причины усиления СПВ1 в декабре, были выполнены оценки вклада изменения нижних граничных условий и условий распространения СПВ1 с помощью линеаризованной модели структуры планетарных волн [Pogoreltsev, 1999]. Результаты численного моделирования показали, что вклад этих двух факторов сопоставим. Можно предположить, что изменения нижних граничных условий могут быть связаны с различными фазами декадных колебаний температуры Тихого океана. Анализ внутрисезонной изменчивости температуры и среднего потока позволил предположить, что причиной роста амплитуды СПВ1 в декабре является охлаждение нижней стратосферы высоких широт (рис. 2) в этом месяце, которое происходит в последние десятилетия.

Это охлаждение приводит к усилению среднего потока в нижней стратосфере. В результате волновод между тропосферой и стратосферой становится более широким и СПВ1 распространяется в верхнюю стратосферу более эффективно. Рассчитанная

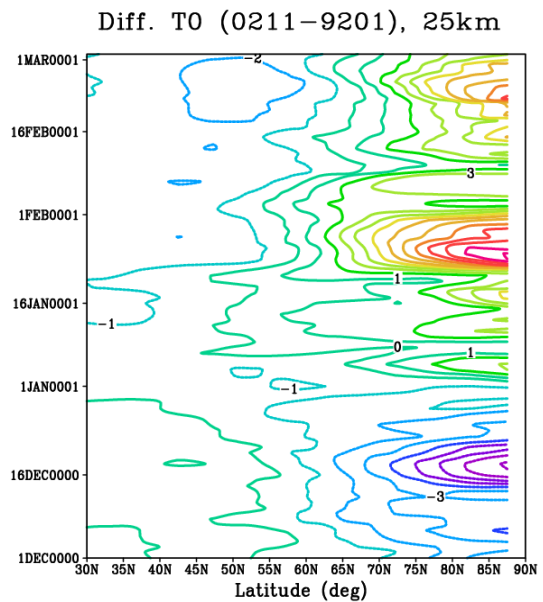
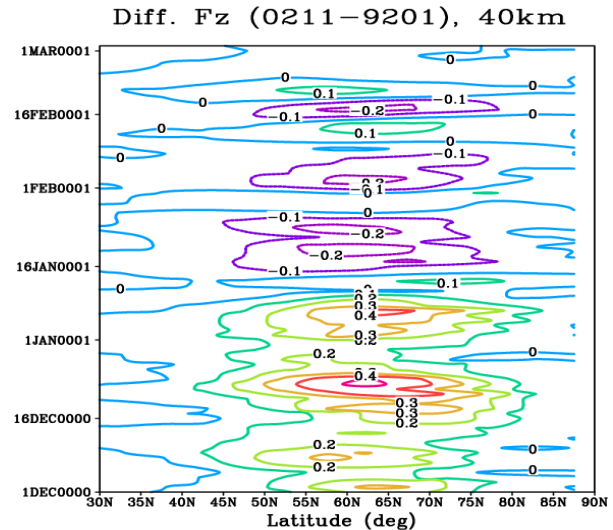


Рис. 2. Разности значений среднесезональной температуры на высоте 25 км, осредненных за периоды 2002–2011 и 1992–2001 гг., рассчитанные для каждого дня зимнего периода.



Diff. SPW1 (0211–9201), 50km

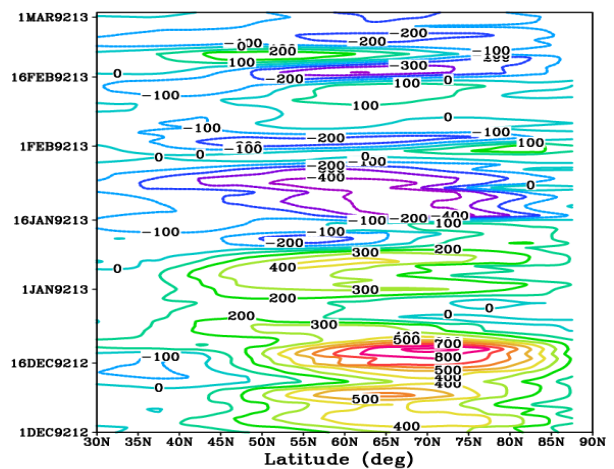


Рис. 3. Разности значений волновой активности (вверху) на высоте 40 км и амплитуд СПВ1 (внизу) на высоте 50 км, осредненных за периоды 2002–2011 и 1992–2001 гг., рассчитанные для каждого дня зимнего периода.

Diff. Ampl. SPW2, Dec

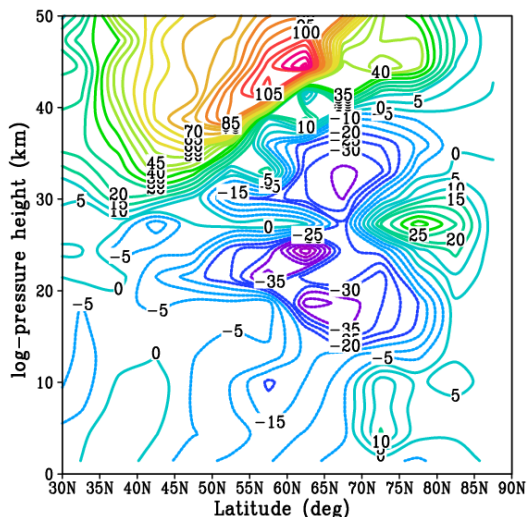


Рис. 4. Разности амплитуд СПВ2, осредненных за периоды 2002–2011 и 1992–2001 гг. По оси абсцисс отложена широта, по оси ординат – высота в километрах.

изменчивость потока волновой активности в течение зимних месяцев поддерживает высказанное предположение. Между вторым и первым исследуемыми десятилетиями для каждого дня зимнего месяца были рассчитаны разности значений вертикального потока волновой активности на высоте 40 км и амплитуд СПВ1 на высоте 50 км (рис. 3).

В самом деле, в середине декабря имеется существенное увеличение вертикального компонента потока волновой активности из нижней стратосферы вверх. Отметим, что изменения, наблюдаемые в стратосферной динамике в последующие месяцы, вызваны изменениями в декабре. Рост амплитуды СПВ1 в начале зимы ведет к нагреванию полярной стратосферы и ослаблению полярного вихря в январе. Условия распространения СПВ ухудшаются, и мы наблюдаем спокойную без существенной активности планетарных волн стратосферу в январе и даже феврале. Возникает вопрос, какие процессы могут быть ответственны за охлаждение полярной стратосферы,

наблюдаемое в декабре. Можно сделать предположение, что наблюдаемое в последние десятилетия ослабление амплитуды СПВ2 (планетарной волны с зональным волновым числом $m=2$), может быть причиной низких температур полярной нижней стратосферы. Ослабление СПВ2 в нижней стратосфере показано на рис. 4, на котором представлены разности амплитуд этой гармоники в поле геопотенциальных высот, рассчитанные между последним и первым десятилетием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дикий Л.А. Теория колебаний земной атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1969. 200 с.

Канухина А.Ю., Нечаева Л.А., Суворова Е.В., Погорельцев А.И. Климатические тренды температуры, зонального потока и стационарных планетарных волн по данным NCEP/NCAR реанализа // Изв. РАН. ФАО. 2007. Т. 43, № 6. С. 754–763.

Погорельцев А.И. Генерация нормальных атмосферных мод стратосферными вассилляциями // Изв. РАН. ФАО. 2007. Т. 43, № 4. С. 463–475.

Haynes P. Stratospheric dynamics // Ann. Rev. Fluid Mech. 2005. V. 37. P. 263–293.

Holton J.R., Mass C. Stratospheric vacillation cycles // J. Atmos. Sci. 1976. V. 33. P. 2218–2225.

Kanukhina A.Yu., Suvorova E.V., Nechaeva L.A., et al. Climatic variability of the mean flow and stationary planetary waves in the NCEP/NCAR reanalysis data // Ann. Geophys. 2008. V. 26. P. 1233–1241.

Longuet-Higgins M.S. The eigenfunctions of Laplace's tidal equation over a sphere // Philos. Trans. R. Soc. London. 1968. V. 262. P. 511–607.

Pogoreltsev A.I. Simulation of planetary waves and their influence on the zonally averaged circulation in the middle atmosphere // Earth, Planets and Space. 1999. V. 51, N 7/8. P. 773–784.

Volland H. Atmospheric Tidal and Planetary Waves.- Kluwer Academic Publ., Dordrecht. Netherland, 1988. 348 p.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия