

## ВЛИЯНИЕ КВАЗИДВУХЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ НА НЕЛИНЕЙНОЕ НАСЫЩЕНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ ВОЛН В СТРАТОСФЕРЕ

Е.Н. Савенкова, О.Г. Аниськина, А.И. Погорельцев

## INFLUENCE OF THE QUASI-BIENNIAL OSCILLATIONS ON THE NONLINEAR SATURATION OF PLANETARY WAVES IN THE STRATOSPHERE

E.N. Savenkova, O.G. Aniskina, A.I. Pogoreltsev

В данной работе с помощью численной модели общей циркуляции атмосферы исследовался отклик стратосферы на усиление амплитуды стационарной планетарной волны с зональным волновым числом 1 (СПВ1) на нижней границе при разных фазах квазидвухлетнего колебания (КДК). Полученные результаты показывают, что нелинейное взаимодействие волны со средним зональным потоком приводит к насыщению СПВ1 в стратосфере. Усиление амплитуды СПВ1 на нижней границе приводит к значительному изменению среднего зонального потока в нижней стратосфере на средних широтах, что, в свою очередь, приводит к ограничению вертикального распространения этой волны в стратосферу. В результате, амплитуда СПВ1 в верхней стратосфере и мезосфере становится даже меньше, чем в случае слабого усиления волны на нижней границе. Стоит отметить, что нелинейное насыщение наступает раньше, т. е. при меньшей амплитуде СПВ1 на нижней границе в случае восточной фазы КДК.

Using a numerical model of the general circulation the stratospheric response to an increase of stationary planetary wave (SPW) amplitudes at the lower boundary under different quasi-biennial oscillation (QBO) phases is investigated. The results show that nonlinear wave-mean flow interaction leads to the saturation of SPW1 (planetary wave with zonal wave number equal to 1) in the stratosphere. Further increase of SPW1 forcing at the lower boundary caused a substantial change of the mean flow in the lower stratosphere at middle latitudes that restricts the vertical propagation of this wave into the stratosphere. As a result, SPW1 amplitude in the upper stratosphere and mesosphere becomes even smaller in comparison with the case of a weak forcing. It is noted that nonlinear saturation appears earlier, i. e. under smaller SPW1 amplitude during easterly QBO conditions.

Исследование климатической изменчивости амплитуды СПВ1 в нижней стратосфере показало, что в последние десятилетия амплитуда этой волны в январе постоянно увеличивается [Kanukhina et al., 2008; Pogoreltsev et al., 2009]. Чтобы изучить причины такого усиления, в данной работе были выполнены численные эксперименты по изучению отклика стратосферы на усиление активности СПВ на нижней границе.

С помощью модели общей циркуляции атмосферы МСВА (модель средней и верхней атмосферы) были выполнены расчеты для различных фаз КДК с использованием климатических январских амплитуд СПВ на нижней границе (слабые СПВ), а также с амплитудами СПВ, умноженными на 1.2 (сильные СПВ). Из-за изменчивости фаз волн от года к году, усреднение по семи годам существенно снижает амплитуды волн на нижней границе по сравнению с наблюдаемыми в отдельные годы. Фактор 1.2 примерно соответствует амплитудам СПВ, наблюдаемым в отдельные годы. Для оценки того, что будет происходить в средней атмосфере в случае дальнейшего усиления СПВ, были выполнены также расчеты с использованием на нижней границе климатических значений амплитуд СПВ, умноженных на 1.4. Все расчеты выполнялись для западной и восточной фаз КДК. Анализ результатов показал, что используемая нами процедура усвоения позволяет достаточно корректно воспроизводить наблюдаемые в тропических широтах изменения зонального потока в цикле КДК. Зональный поток в стратосфере на средних широтах Северного полушария несколько сильнее наблюдаемого, что может быть объяснено «слабыми» климатическими значениями амплитуд СПВ на нижней границе. Полученные результаты показывают, что значения среднего зонального потока, полученного при использовании «сильных» СПВ на нижней границе (с фактором 1.2)

в максимуме зимнего стратосферного струйного течения хорошо согласуются с наблюдаемыми величинами. Следует также отметить, что стратосферная динамика в зимние месяцы существенно зависит от используемых начальных условий [Pogoreltsev et al., 2009; Погорельцев, 2007] и для представления климатических результатов моделирования необходимо анализировать распределения зонального потока, осредненные по ансамблю решений.

На рис. 1 показаны амплитуды СПВ1, рассчитанные для январских условий при западной и восточной фазах КДК с использованием «слабых» (климатических) значений амплитуд СПВ на нижней границе. Видно, что условия распространения СПВ1 из тропосферы в среднюю атмосферу более благоприятны при западной фазе КДК (амплитуды СПВ1 на высотах стратосферы существенно больше). На рис. 2 показаны амплитуды СПВ1, рассчитанные для январских условий при западной и восточной фазах КДК с использованием «сильных» (с фактором 1.2) значений амплитуд СПВ на нижней границе. Сравнение рис. 1 и 2 показывает, что при западной фазе КДК усиление СПВ на нижней границе приводит к увеличению амплитуды СПВ1 в стратосфере, но рост амплитуды в стратосфере существенно меньше фактора 1.2, т. е. имеется эффект насыщения СПВ1 в стратосфере. При восточной фазе КДК ситуация даже более драматична – усиление СПВ на нижней границе не проявляется в стратосфере. Амплитуда СПВ1 при «сильных» волнах на нижней границе становится даже меньше. Полученный результат может быть объяснен эффектом насыщения СПВ в стратосфере [Giannitsis, Lindzen, 2009]. Насыщение заключается в следующем: увеличение амплитуд СПВ в нижней атмосфере ведет к усилению их воздействия на средний поток. Это приводит к дополнительному торможению зонального потока и, в конечном итоге, к изменению

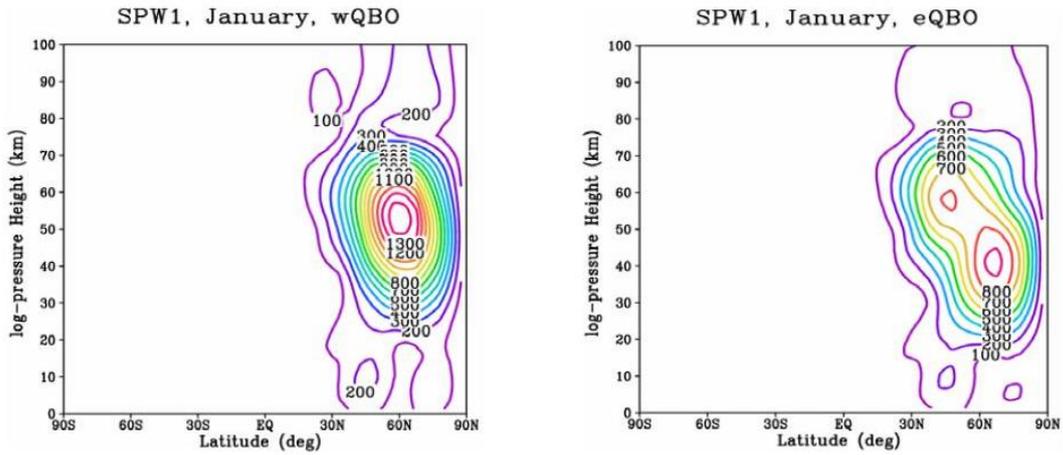


Рис. 1. Амплитуда СПВ1 в поле геопотенциальной высоты в январе, полученная для условий западной (слева) и восточной (справа) фазы КДК, при использовании «слабых» (климатических) значений СПВ на нижней границе. Интервал между изолиниями 100 м.

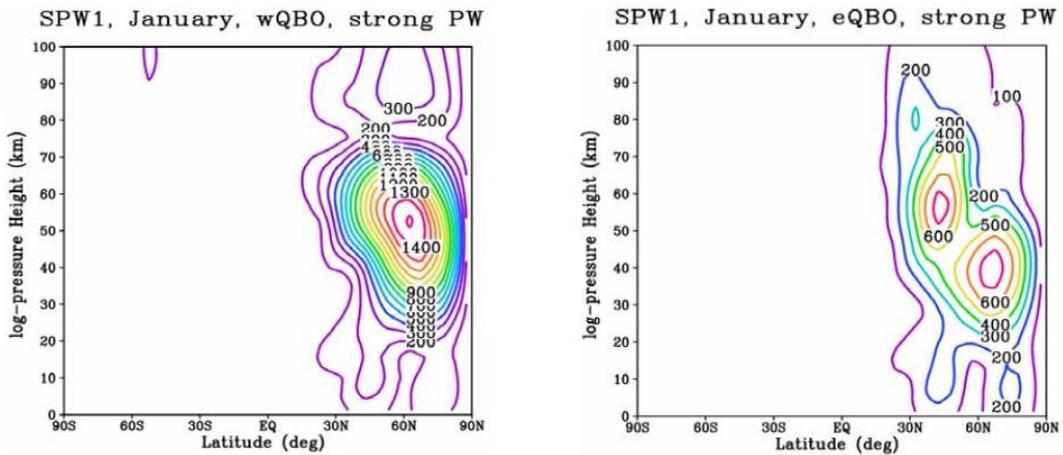


Рис. 2. То же при использовании «сильных» значений СПВ на нижней границе (фактор 1.2). Интервал между изолиниями 100 м.

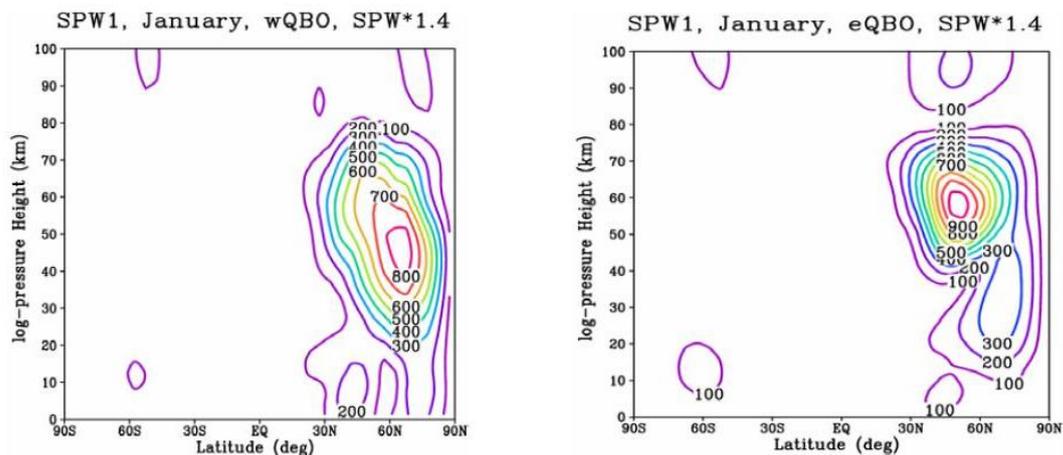


Рис. 3. То же при использовании значений амплитуд СПВ на нижней границе с фактором 1.4. Интервал между изолиниями 100 м.

условий распространения СПВ из тропосферы в стратосферу. Волновод, позволяющий СПВ проникать на стратосферные высоты, становится более узким, и эффективность распространения СПВ снижается. При восточной фазе КДК этот волновод и при климатических значениях амплитуд СПВ на нижней границе достаточно узкий (условия распро-

странения СПВ1 хуже, чем при западной фазе КДК, см. рис. 1 и 2). Поэтому режим насыщения при восточной фазе КДК наступает раньше, т. е. при меньших амплитудах СПВ на нижней границе.

Дальнейшее увеличение амплитуд СПВ на нижней границе (использование амплитуд с фактором 1.4) приводит к насыщению СПВ1 в стратосфере уже и

при западной фазе КДК, т. е. амплитуда СПВ1 в стратосфере становится меньше (см. рис. 3). Следует также отметить, что поскольку в модели МСВА нижние граничные условия не являются жестко фиксированными (имеется дополнительное прогностическое уравнение для отклонения геопотенциала от заданных нижних граничных условий), то при насыщении происходит значительное отражение СПВ1 от стратосферы и ее усиление вблизи нижней границы в высоких широтах Северного полушария. Такое усиление ведет к росту волновой активности в тропосфере высоких широт и может приводить к развитию погодных аномалий. Анализ широтно-долготных распределений вертикальной компоненты потока волновой активности показывает, что как распространение планетарных волн из тропосферы в стратосферу, так и их отражение и «возвращение» в тропосферу, происходит в локализованных по широте и долготе областях. В результате отраженные от стратосферы планетарные волны приводят к существенному росту волновой активности локально, т. е., несмотря на то, что волны глобальные, они могут приводить к локальным погодным аномалиям. Интересно отметить, что при восточной фазе КДК ситуация несколько иная, чем при западной.

Усиление СПВ на нижней границе с фактором 1.4. приводит к дальнейшему ослаблению СПВ1 в нижней стратосфере, но в верхней стратосфере условия распространения СПВ1 улучшаются и в итоге «верхний» максимум СПВ1 усиливается (см. рис. 3). Таким образом, при восточной фазе КДК имеется возможность реализации как бы двух режимов: «слабые» СПВ на нижней границе – максимум СПВ1 в стратосфере расположен относительно низко (30–40 км); «сильные» СПВ на нижней границе – нижний максимум отсутствует, но формируется (или усиливается) второй максимум на высотах порядка 60 км.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

Giannitsis C., Lindzen R.S. Nonlinear saturation of vertically propagating Rossby waves // J. Atmos. Sci. 2009. V. 66. P. 915–934.

Kanukhina A.Y., 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. 26. P. 1233–1241.

Pogoreltsev A., Kanukhina A., Suvorova E., Savenkova E. Variability of planetary waves as a signature of possible long-term trends. // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2009. V. 71. doi:10.1016/j.jastp.2009.05.011.

*Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия*