

УДК 551.513

## ВЛИЯНИЕ КВАЗИДВУХЛЕТНЕГО КОЛЕБАНИЯ ВЕТРА В НИЗКОШИРОТНОЙ СТРАТОСФЕРЕ НА ВОЛНОВУЮ АКТИВНОСТЬ АТМОСФЕРЫ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ

Е.В. Девятова, В.И. Мордвинов

### INFLUENCE OF THE WIND QUASI-BIENNIAL OSCILLATION ON THE ATMOSPHERIC WAVE ACTIVITY IN THE NORTHERN HEMISPHERE

E.V. Devyatova, V.I. Mordvinov

Квазидвухлетнее колебание (КДК) представляет собой квазипериодическое обращение зонального ветра и является наиболее выраженной особенностью долговременных вариаций ветра в экваториальной стратосфере. Предполагается, что КДК влияет на циркуляцию стратосферы и тропосферы умеренных и высоких широт. Механизм влияния связан с изменением условий вертикального и меридионального распространения планетарных волн во внетропических широтах. При восточной фазе зона восточных ветров смещается в более высокие широты, ограничивая меридиональное распространение планетарных волн, что должно приводить к более интенсивному взаимодействию волн со средним потоком во внетропической стратосфере и ослаблению полярного вихря. Для проверки данной гипотезы в работе сопоставлены вариации волновой активности в стратосфере и тропосфере при разных фазах КДК. Гипотеза получила подтверждение лишь в период установления зимней циркуляции. В конце зимы более высокий уровень волновой активности отмечается не в восточной, а в западной фазе, что позволяет усомниться в возможности влияния КДК посредством «волнового» механизма на установившуюся внетропическую зимнюю циркуляцию.

The Quasi-Biennial Oscillation (QBO) is most striking feature of long-term wind variations in the equatorial stratosphere and is easily seen as easterly and westerly wind regimes with a variable period of about 28 months. It is suggested that the equatorial QBO influences the extratropical stratospheric and tropospheric circulation. The mechanism of this influence is associated with the modulation of wave-activity propagation in the extratropical atmosphere. During the easterly QBO phase, the eastern wind zone moves in higher latitudes, restricting meridional propagation of planetary waves. This leads to a greater wave-induced drag on the mean flow at high latitudes and to weakening of the polar vortex. In order to examine this hypothesis, we compared the stratospheric and tropospheric wave activity variations for different QBO phases. This hypothesis was verified only in early winter. In late winter, the wave activity is higher in the western QBO phase that casts some doubt on the “wave” mechanism of the equatorial QBO influence on the extratropical circulation in late winter.

Экваториальное квазидвухлетнее колебание представляет собой обращение зонального ветра в низкоширотной стратосфере (16–50 км) с периодом около 28 мес. Максимум амплитуды зональной скорости (около 30 м/с) находится на высотах 25–35 км. Для фаз колебания характерно медленное опускание со скоростью порядка 1 км/мес. Основным механизмом возникновения КДК считается нелинейное взаимодействие вертикально распространяющихся экваториальных волн с зональным течением [1].

Исследования Холтона и Тана [2], а также Погосьяна и Павловской [3, 4] указывают на возможность влияния экваториального КДК на циркуляцию внетропических широт. Оказалось, что в зимний период в полярной области средняя высота геопотенциальных поверхностей меньше, а в умеренных широтах больше при западной фазе КДК, по сравнению с восточной фазой, т. е. стратосферный Полярный вихрь при западной фазе КДК интенсивнее, чем при восточной фазе.

Для более подробного анализа отклика мы повторили расчеты Холтона–Тана, воспользовавшись данными архива NCEP/NCAR Reanalysis [5]. По этим данным за период с 1960 по 2005 гг. в узлах регулярной сетки  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  были рассчитаны разности геопотенциальных высот между западной и восточной фазами КДК. Распределения разностей рассчитывались отдельно для ранней зимы (ноябрь–декабрь) и поздней зимы (январь–февраль–март) из-

за различия циркуляционных процессов в эти два периода. Фаза КДК определялась по среднемесячным значениям экваториального зонального ветра на высоте 50 гПа (около 21 км).

Пространственные распределения разностей геопотенциальных высот приведены на рис. 1. В левой части рисунка представлены распределения для первой половины зимы, в правой части – для второй половины зимы. В согласии с результатами Холтона–Тана и Погосьяна–Павловской на рисунках хорошо видно понижение высот геопотенциальных поверхностей в полярной области и повышение в умеренных широтах при западной фазе КДК на всех уровнях от 1000 гПа до 10 гПа. В тропосфере распределения разностей довольно хаотичны, однако в целом области отрицательных разностей над полюсом и положительных в умеренных широтах все же выделяются, особенно во второй половине зимы. Возникают сомнения в том, что такое мощное явление возбуждается более слабым по энергетике экваториальным КДК. Это наводит на мысль о существовании самостоятельного внетропического квазидвухлетнего колебания от уровня земли до стратосферы, причем не только в высоких и умеренных широтах, но и в пределах всего полушария.

Заметим, что структура распределений оказалась более сложной, чем обычно отмечается: отрицательными разностями заняты не только полярные районы, но и субтропики; положительные аномалии наблюдаются в умеренных и экваториальных широтах.

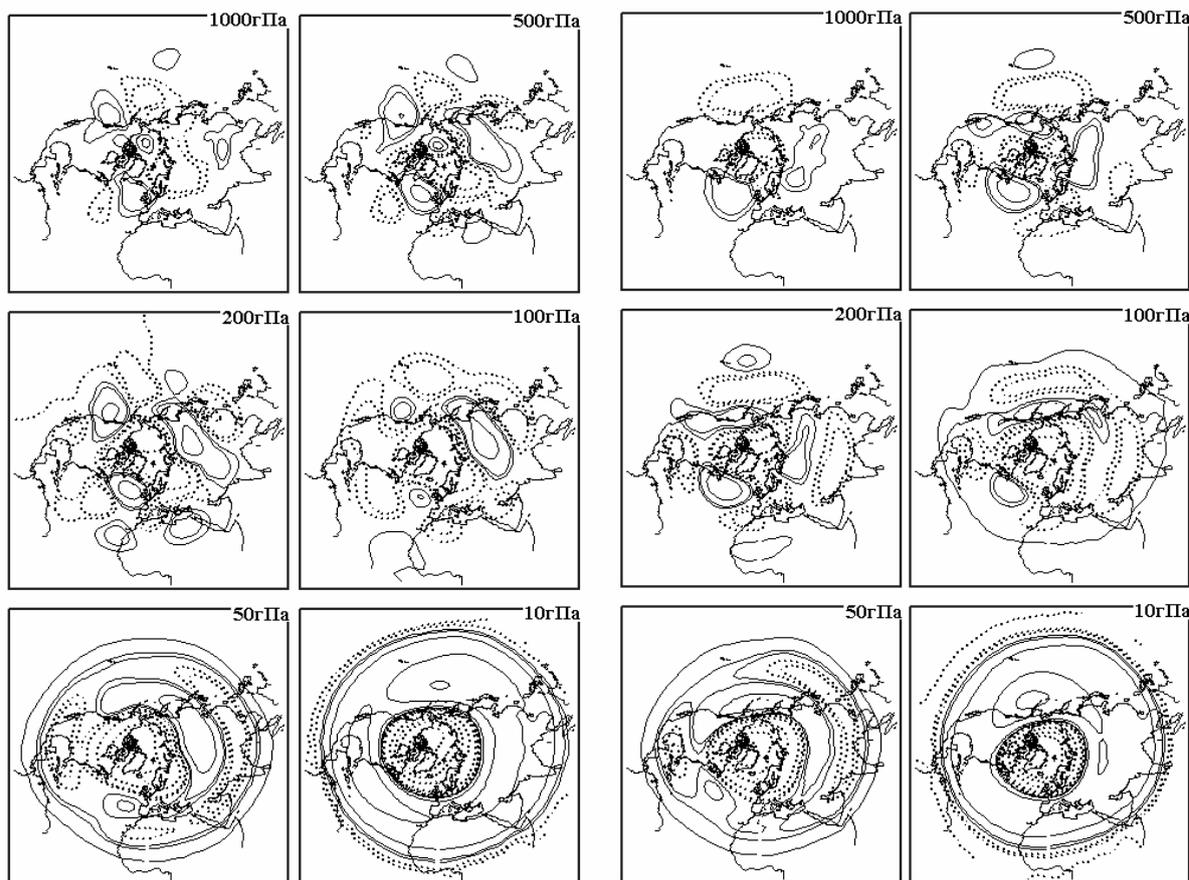


Рис. 1. Распределения разностей высот геопотенциальных поверхностей 1000, 500, 200, 100, 50 и 10 гПа между западной и восточной фазами КДК в первой половине зимы (слева) и во второй половине зимы (справа). Пунктирными и сплошными линиями нанесены изолинии отрицательных и положительных разностей в метрах (–700, –400, –300, –200, –150, –90, –30, –10, –5, 5, 10, 30, 90, 150, 200, 300, 400).

### Волновая/вихревая активность атмосферы в Северном полушарии при разных фазах КДК

Холтон и Тан [2] предположили, что воздействие экваториального КДК на интенсивность Полярного вихря может быть обусловлено модуляцией волновой активности – при восточной фазе зона восточных ветров смещается в более высокие широты, ограничивая меридиональное распространение планетарных волн, что приводит к более интенсивному взаимодействию волн со средним потоком в стратосфере и ослаблению Полярного вихря. Следствием этого должен быть также разный уровень волновой активности при разных фазах КДК – при восточной фазе уровень волновой активности в умеренных и высоких широтах должен быть выше, чем при западной фазе.

Для проверки этой гипотезы были построены графики среднезональных характеристик волновой активности при разных фазах КДК. Фаза КДК, как и в предыдущем разделе, определялась по среднемесячным значениям экваториального зонального ветра на высоте 50 гПа. Оценка волновой активности осуществлялась двумя способами. Во-первых, для оценки изменчивости, обусловленной бегущими волнами, рассчитывались дисперсии среднесуточных значений аномалий выбранных величин в узлах сетки за два интервала времени, соответствующих

первой половине зимы (ноябрь–декабрь) и второй половине зимы (январь–февраль–март). Квазистационарные волны при таком методе оценки дают относительно небольшой вклад в рассчитываемые величины. Во-вторых, за каждые сутки рассчитывалась дисперсия аномалий величин в узлах сетки вдоль выбранного широтного круга и затем усреднялась за выбранные интервалы времени. Такой способ расчета позволил, в дополнение к первому методу, оценить амплитуды квазистационарных волн, причем этот способ свободен от искусственного в некоторой степени задания пространственной структуры волн.

На рис. 2 и 3 представлены графики зависимости от широты дисперсий, характеризующих интенсивность бегущих (рис. 2) и квазистационарных (рис. 3) волн на уровнях 1000, 500, 200, 100, 50 и 10 гПа в начале зимы (слева) и в конце зимы (справа) при разных фазах КДК. И бегущие, и стационарные волны демонстрируют одинаковые зависимости от фазы КДК и от времени. На обоих рисунках хорошо видно, что в первой половине зимы восточная фаза КДК действительно отличается повышенным уровнем волновой активности, что согласуется с предложенным механизмом влияния. Однако результаты, полученные для второй половины зимы, оказались неожиданными: более высокий уровень волно-

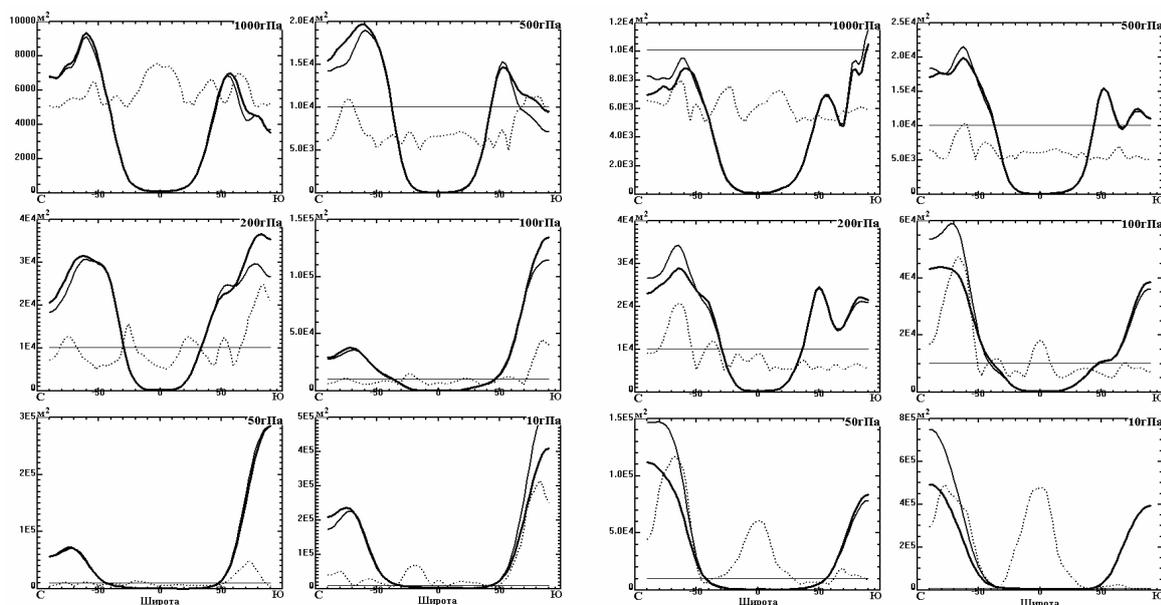


Рис. 2. Графики зависимости от широты индексов, характеризующих среднезональные амплитуды бегущих волн на уровнях 1000, 500, 200, 100, 50 и 10 гПа в начале зимы (слева) и в конце зимы (справа) при разных фазах КДК. Тонкая линия – западная фаза КДК. Толстая линия – восточная фаза КДК. Линия, параллельная оси X, – уровень значимости 95 %. Пунктирная кривая – статистическая значимость разностей амплитуд бегущих волн.

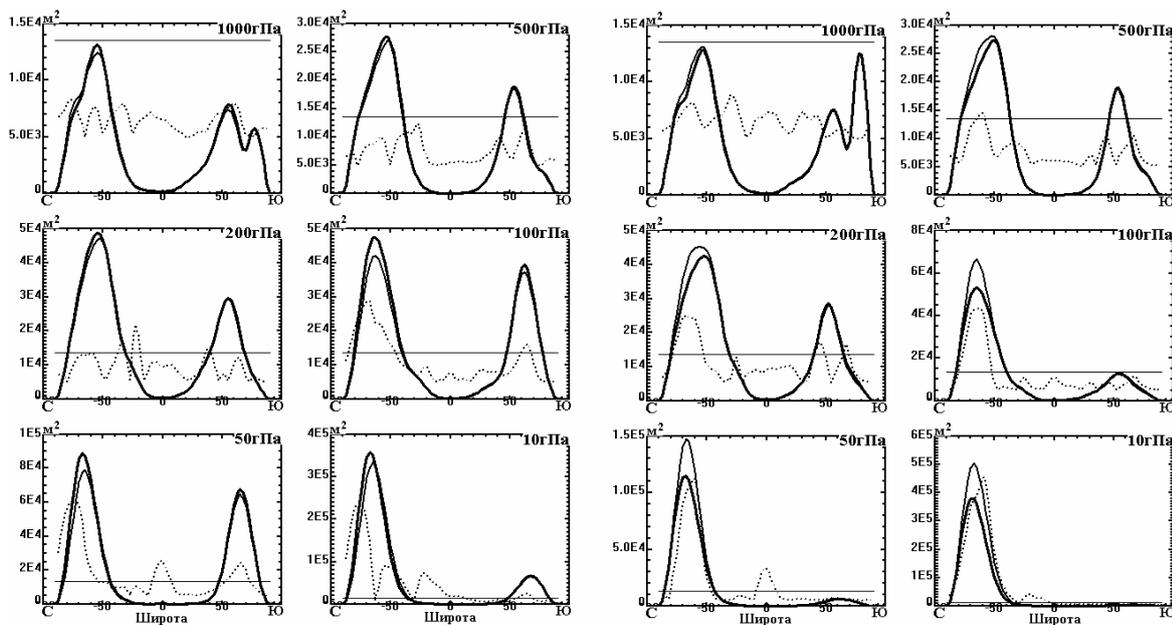


Рис. 3. Графики зависимости от широты индексов, характеризующих среднезональные амплитуды стационарных волн на уровнях 1000, 500, 200, 100, 50 и 10 гПа в начале зимы (слева) и в конце зимы (справа) при разных фазах КДК. Тонкая линия – западная фаза КДК. Толстая линия – восточная фаза КДК. Линия, параллельная оси X, – уровень значимости 95 %. Пунктирная кривая – статистическая значимость разностей амплитуд стационарных волн.

вой активности был характерен не для восточной, а для западной фазы КДК. Оценка достоверности полученных разностей показала, что на всех уровнях, кроме нижней тропосферы, результаты, полученные как для первой, так и второй половины зимы статистически значимы.

### Выводы

Результаты исследования не дают убедительных свидетельств в пользу гипотезы влияния экваториального квазидвухлетнего колебания ветра в низкоширот-

ной стратосфере на волновую активность зимней атмосферы в Северном полушарии и интенсивность Полярного вихря. Воздействие КДК на умеренные и высокие широты может осуществляться лишь в период установления зимней циркуляции. В конце зимы более высокий уровень вихревой/волновой активности отмечается не в восточной, а в западной фазе. Возможно, существует независимое внетропическое квазидвухлетнее колебание в пределах всего полушария, имеющее глубокую вертикальную протяженность от нижней тропосферы до стратосферы.

*СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Baldwin M. P. et al. The quasi biennial oscillation // *Rev. Geophys.* 2001. N 39. P. 179–229.
2. Holton J.R., Tan H. The influence of the equatorial Quasi-Biennial Oscillation on the global circulation at 50 mb // *J. Atmos. Sci.* 1980. 37. P. 2200–2208.
3. Погосян Х.П., Павловская А.А. Аномалии атмосферной циркуляции приземного давления и температуры

в связи с квазидвухлетней цикличностью. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 78 с.

4. Погосян Х.П. О некоторых особенностях цикличности ветра в экваториальной стратосфере // *Метеорология и гидрология.* 1973. № 9. С. 14–26.
5. Kalnay E. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1996. V. 77. P. 437–471.

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск*