

УДК 550.513

ВЛИЯНИЕ КДК И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДАТ ВЕСЕННЕЙ ПЕРЕСТРОЙКИ СТРАТОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

¹А.Ю. Канухина, ¹Е.Н. Савенкова, ²Е.Г. Мерзляков, ¹А.И. Погорельцев

INFLUENCE OF THE QBO AND SOLAR ACTIVITY ON INTERANNUAL VARIABILITY OF THE SPRING TRANSITION OF STRATOSPHERIC CIRCULATION

¹A. Kanukhina, ¹E. Savenkova, ²E. Merzlyakov, ¹A. Pogoreltsev

Стратосферная циркуляция определяется динамическими и радиационными процессами. Такие значимые динамические характеристики стратосферы, как внезапные стратосферные потепления (ВСП) или сезонные изменения зонального потока, оказывают влияние на верхнюю атмосферу посредством усиления планетарных волн. Весенняя перестройка стратосферной циркуляции обусловлена изменением зенитного угла Солнца. Однако наступление весенней перестройки также подвержено влиянию динамических факторов. Анализ данных UK Met Office и NCEP/NCAR показал наличие сильной межгодовой изменчивости дат весенней перестройки. За последние годы усилилась отрицательная корреляция амплитуд планетарных волн с волновым числом 1 и дат наступления стратосферной перестройки. В годы, соответствующие восточной фазе квазидвухлетних колебаний (КДК), указанная корреляция усиливается наиболее значительно. Выявлено статистически значимое влияние 11-летнего солнечного цикла на стратосферную температуру и зональный поток. В свою очередь, период КДК подвержен влиянию 11-летнего солнечного цикла. Целью работы является исследование возможных динамических причин наблюдаемой межгодовой изменчивости дат весенней перестройки циркуляции стратосферы.

The stratospheric circulation is controlled by radiative processes as well as dynamical ones. Remarkable dynamical processes in the stratosphere (sudden stratospheric warmings - SSW, seasonal changes of the mean flow) influence the upper atmospheric layers through enhancement of planetary waves. The spring-time transition occurs because of the seasonal change of the Solar zenith angle. However, dynamical processes may considerably affect the behavior and time of breakup date. The analysis of data assimilated in the UK Met Office and NCEP/NCAR models shows that there exists a strong interannual variability of the spring-time transition date of the stratospheric circulation. During the last years the negative correlation between SPW1 amplitudes and spring-time transition date increased significantly. This correlation slightly increases in years with easterly phase QBO. The 11 year solar cycle is statistically significant in stratospheric temperature and zonal winds. Period of QBO is suggested to be modulated by the 11 year Solar cycle. The main purpose of the present paper is to investigate the possible dynamical reasons of observed interannual variability of the spring-time breakup date.

Для анализа межгодовой изменчивости дат весенней стратосферной перестройки применялись данные реанализа UK Met Office [Swinbank, O'Neill, 1994] и NCEP/NCAR [Kalnay et al., 1994]. То, что верхняя граница модели реанализа UK Met Office соответствует уровню 0.1 гПа или даже 0.03 гПа (с 2010 г.), позволяет получить достаточно реалистичное воспроизведение динамических процессов в стратосфере по этим данным. Расчеты проводились с использованием значений геопотенциальной высоты на уровне 10 гПа на широте 67.5° N с января по июль каждого года. Однако результаты реанализа UK Met Office доступны лишь с конца 1991 г., поэтому для формирования более продолжительных рядов наблюдений применялись значения геопотенциальной высоты на уровнях 10 гПа и 30 гПа с 1971 г. из архива NCEP/NCAR. Значения скорости зонального ветра на уровне 40–50 гПа квазидвухлетних колебаний (КДК) были получены на Мальдивах в период с 1971 по 1975 г. и в Сингапуре после 1976 г. Значения индекса северной кольцевой моды (NAM, Northern Annular Mode) начиная с 2006 г. доступны на сайте Марка Балвина. Данные о солнечной активности ($F_{10.7}$) получены из архива National Geophysical Data Center, США [ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR DATA/]. Методика определения наступления дат весенней перестройки стратосферной циркуляции приведена в работе [Погорельцев, Савенкова, 2010]. Анализ межгодовой изменчивости дат весенней стратосферной перестройки с помощью данных реанализа UK Met Office и NCEP/NCAR показал, что наступление даты перестройки варьирует в пределах двух

месяцев, с середины марта до середины мая. Причем отмечено наличие тренда в сторону более позднего наступления стратосферной перестройки [Savenkova et al., 2011]. На рис. 1 приведена зависимость изменчивости амплитуды стационарной планетарной волны (СПВ) с волновым числом 1 на уровне 30 гПа, 62.5° N, усредненной за март с 1971 по 2011 г. по данным реанализа NCEP/NCAR. Сильная межгодовая изменчивость амплитуд СПВ1 характеризуется наличием отрицательного тренда за последние десятилетия при значении t -test 1.68 при статистической значимости 90 % за 41 год. Анализ диаграммы рассеяний

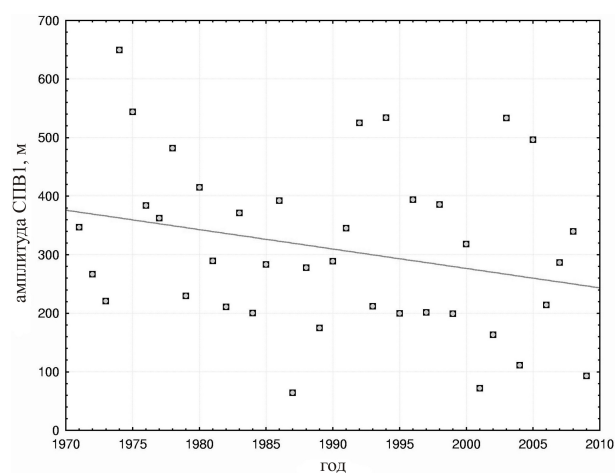


Рис. 1. Изменчивость амплитуды стационарной планетарной волны с волновым числом 1 на уровне 30 гПа, 62.5° N, усредненной за март с 1971 по 2011 г. по данным реанализа NCEP/NCAR.

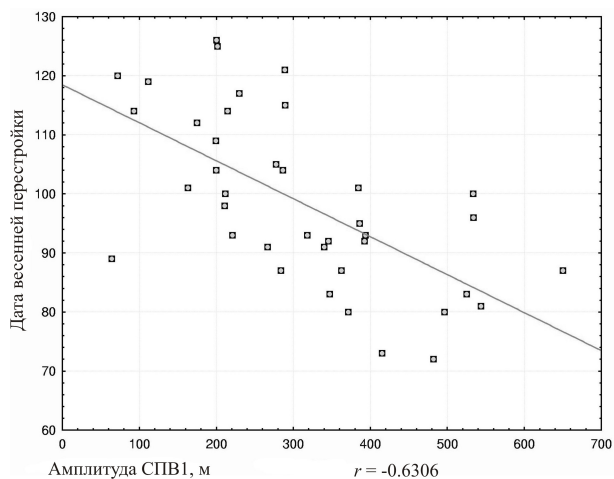


Рис. 2. Диаграмма рассеяний амплитуды СПВ1 на уровне 30 гПа и дат весенней перестройки для марта с 1971 по 2011 г. на уровне 10 гПа. $r = -0.6306$.

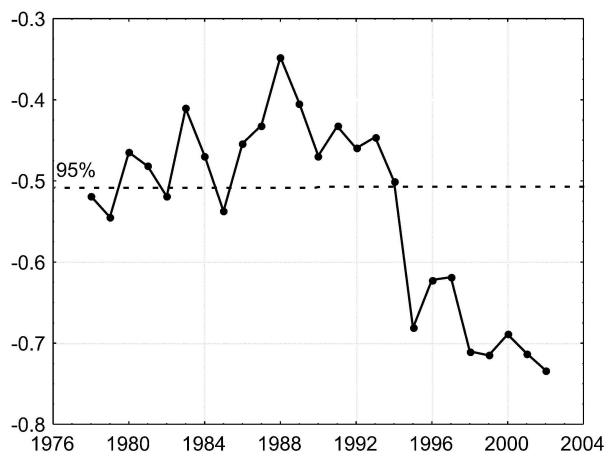


Рис. 3. Скользящая корреляция между амплитудой СПВ1 и датами весенней перестройки (март, 1971–2009 гг.).

амплитуды СПВ1 на уровне 30 гПа и дат весенней перестройки для марта с 1971 по 2011 г. на уровне 10 гПа (рис. 2) позволяет судить о наличии отрицательной корреляции (коэффициент корреляции $r = -0.63$) между ними, которая может объяснить наблюдаемый тренд в сторону более позднего наступления весенней перестройки стратосферной циркуляции. Ослабление активности планетарных волн за последние десятилетия приводит к уменьшению роли динамических процессов, и весенняя перестройка обуславливается в большей степени сезонным изменением зенитного угла Солнца.

Корреляция значений амплитуд СПВ1 и дат перестройки меняется в период 1971–2009 гг. Поэтому была рассчитана скользящая корреляция с интервалом 15 лет при достоверности 95 % и шагом 1 год. Как показано на рис. 3, после 1993 г. наблюдается существенный рост коэффициента корреляции. Принимая во внимание размер интервала (15 лет), можно отметить значительную корреляцию амплитуд СПВ1 и дат весенней перестройки после 1980-х гг. и весьма слабую корреляцию до указанного периода. Как известно, квазидвухлетнее колебание (КДК) зонального потока на низких широтах оказывает влияние на внетропическую циркуляцию и условия распространения планетарных волн

[Chen, Huang, 1999; Baldwin et al., 2001]. Наиболее ярко сигнал КДК прослеживается в поведении северной кольцевой моды (NAM) [Ruzmaikin, Feynman, 2005]. Поэтому была проанализирована корреляция индекса NAM и дат наступления стратосферной перестройки при различных фазах КДК. Так, в марте не было обнаружено статистически значимой корреляции зонального потока КДК на уровне 40–50 гПа и дат весенней перестройки, и при рассмотрении КДК на уровне 20 гПа значение коэффициента корреляции было низким ($r = 0.23$). Но при выделении для анализа только дат перестройки в годы, соответствующие восточной фазе КДК, значение коэффициента корреляции составило 0.85. Для западной фазы КДК корреляция оказалась незначительной. Следовательно, влияние КДК на дату разрушения полярного вихря происходит посредством динамических процессов, т. е. путем изменения индекса NAM, который представляет собой главную ортогональную компоненту глобальных атмосферных колебаний. В то же время корреляция между индексом NAM и ранними датами весенней перестройки в марте не менялась в зависимости от фазы КДК ($r = 0.76$, рис. 4). Для поздних дат перестройки таких зависимостей не было обнаружено.

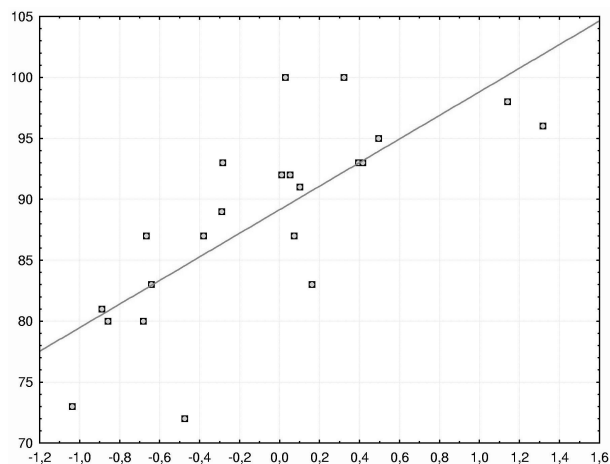


Рис. 4. Диаграмма рассеяния для индекса NAM на уровне 20 гПа и дат весенней перестройки при восточной фазе КДК, $r = 0.76$.

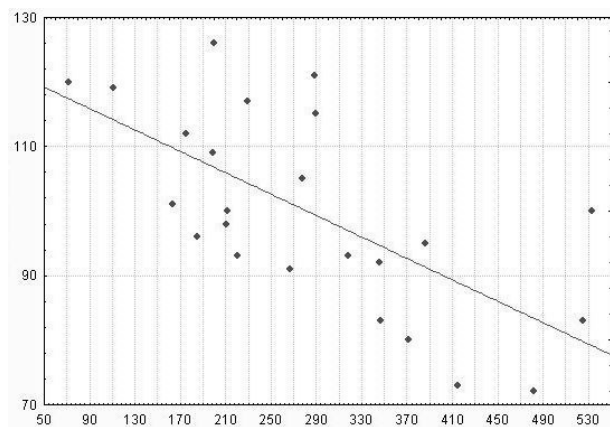


Рис. 5. Диаграмма рассеяния для амплитуд СПВ1 и дат весенней перестройки при высокой активности Солнца, $r = -0.66$.

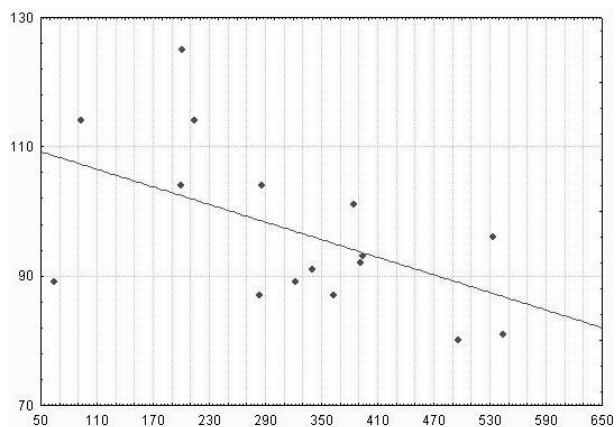


Рис. 6. Диаграмма рассеяния для амплитуд СПВ 1 и дат весенней перестройки при низкой активности Солнца, $r=-0.58$.

В работах [Haigh, 2003; Labitzke, 2005] выявлено прямое влияние 11-летнего солнечного цикла на стратосферную температуру и зональный поток. В свою очередь, период КДК также подвержен влиянию 11-летнего солнечного цикла согласно [Labitzke et al., 2006]. Однако, если рассматривать поток $F10.7$, влияние солнечной активности на дату перестройки оказывается незначительным (рис. 5, 6). Лишь при высокой солнечной активности зависимость даты перестройки от динамических факторов, например амплитуды СПВ1, сильнее и коэффициент корреляции составляет $r=-0.66$ (рис. 5), из чего можно заключить, что влияние солнечной активности на дату перестройки сказывается опосредованно и требует детального рассмотрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Погорельцев А.И., Савенкова Е.Н. Межгодовая и климатическая изменчивость сроков весенней перестройки циркуляции стратосферы // Уч. зап. РГГМУ. 2010. № 11. С. 53–62.

Baldwin M.P., Gray L.J., Dunkerton T.J., et al. The quasi-biennial oscillation // Rev. Geophys. 2001. V. 39. P. 179–229.

Chen W., Huang R.-H. The Modulation of planetary wave propagation by the tropical QBO zonal winds and the associated effects in the residual meridional circulation // Contr. Atm. Phys. 1999. V. 72. P. 187–204.

Haigh J.D. The effects of solar variability on the Earth's climate // Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. V. 361. 2003. P. 95–111. doi:10.1098/rsta.2002.1111.

Kalnay E., Kamanitsu M., Kistler R., et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project// Bull. Amer. Met. Soc. 1996. V. 77, N 3. P. 437–471.

Labitzke K. On the solar cycle – QBO relationship: a summary // J. Atm. Solar-Terr. Phys. 2005. V. 67. P. 45–54.

Labitzke K., Kunze M., Brönnimann S. Sunspots, the QBO and the stratosphere in the North Polar Region // Meteorologische Zeitschrift. 2006. V. 15, N 3. P. 355–363.

Ruzmaikin A., Feynman J. Extratropical signature of the quasi-biennial oscillation // J. Geophys. Res. 2005. V. 110. D11111. doi:10.1029/2004JD005382.

Savenkova E., Kanukhina A., Pogoreltsev A.I., Merzlyakov E.G. Variability of the springtime transition date and planetary waves in the stratosphere // J. Atm. Solar-Terr. Phys. 2011. doi:10.1016/j.jastp.2011.11.001. (в печати).

Swinbank R., O'Neill A. A stratosphere–troposphere assimilation system // Mon. Weather Rev. 1994. V. 122. P. 686–702. ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR DATA/.

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

²Институт экспериментальной метеорологии, Обнинск