

## ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТРОПИКАХ НА СТРАТОСФЕРУ

К.К. Кандиева, О.Г. Анискина

## INFLUENCE OF DYNAMICAL PROCESSES IN THE TROPICS ON THE STRATOSPHERE

K.K. Kandyeva, O.G. Aniskina

Колебание Маддена–Джулиана – это изменение крупномасштабной экваториальной циркуляции, которая влияет на активность тропических циклонов. В нашем исследовании мы предприняли попытку оценить его и рассмотреть связь колебания Маддена–Джулиана с ветром, а также с геопотенциалом в полярных широтах. Для анализа мы использовали значения зонального ветра на 850 и 150 гПа, полученные с помощью данных NCEP/NCAR.

The Madden – Julian oscillation is the large scale equatorial circulation and it has been shown to impact tropical cyclone activity. In our research we have made an attempt to evaluate this oscillation and we have also reviewed relationships between: Madden – Julian oscillation and wind, and Madden- Julian oscillation and geopotential in polar latitudes. To analyze the oscillation we have used zonal winds components on 850 and 150 mb heights, data has been taken from UKMO reanalysis, Modern-Era Retrospective Analysis, National Centers for Environmental Prediction and the National Center for Atmospheric Research reanalyses.

В настоящее время осцилляции Маддена–Джулиана посвящено много работ. Этот интерес основывается на том, что оно оказывает значительное влияние на межсезонное изменение конвекции и на изменчивость конвекции и ветра [Zhang, Hendon, 1997] в тропиках, воздействует на процесс образования тропических циклонов. Также колебание Маддена–Джулиана может быть причиной изменения погоды и во вне тропических широтах, например, смещением траекторий ураганов [Higgins, Mo, 1997].

Другое тропическое колебание оказывающее влияние на климат земли – Южная осцилляция (ENSO – El Niño Southern Oscillation) – колебание температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана. Имеет две фазы: теплую Эль-Ниньо с положительными аномалиями температуры и холодную фазу Ла-Нинья с отрицательными аномалиями температуры.

Колебание Маддена–Джулиана имеет взаимосвязь с Южной осцилляцией, значительная активность первого в западной части Тихого океана весной – ранним летом в Северном полушарии приводит к усилению последнего в период осени – зимы [Zhang, Gottschalck, 2002].

В исследовании были использованы данные UKMO для обработки данных ветра и температуры, MERRA, значения индекса Южной осцилляции, полученные осреднением 3 месячных аномалий поверхностного слоя температуры океана на участке 5° N – 5° S и 120° E – 170° W.

### Метод

Для исследования колебания Маддена–Джулиана мы использовали метод, предложенный Бингхэмом, в котором оценивается спектр с помощью быстрых преобразований Фурье (БПФ) [Bingham, 1967]. Алгоритм использует модифицированную периодограмму Фурье полученную

1) удалением выборочных N членов из временного ряда;

2) умножением первых и последних 10 % N членов на отрезок косинусоиды и добавлением нулей к концам рядов данных;

3) выполнением БПФ для получения всех гармонических коэффициентов.

### Необработанная и модифицированная периодограмма Фурье

Первым шагом является вычисление всех коэффициентов Фурье  $a_k + ib_k$ , сумма квадратов коэффициентов  $a_k^2 + b_k^2$  представляет собой необработанную периодограмму Фурье. Чтобы решить проблему «окон» было предложено использовать окно Ханнинга. Улучшить частотный спектр на разрыве границ окна можно двумя способами: работая напрямую с коэффициентами Фурье или использованием одной из оконных функций до преобразования Фурье.

#### 1 способ

$$A_k = -(1/4) a_{k-1} + (1/2) a_k - (1/4) a_{k+1},$$

$$B_k = -(1/4) b_{k-1} + (1/2) b_k - (1/4) b_{k+1},$$

В этом случае  $A_k^2 + B_k^2$  будет модифицированной периодограммой Фурье, с улучшенным частотным спектром.

#### 2 способ

Тех же результатов можно достичь, если значения данных умножить на подходящую функцию по времени, а именно на

$$\frac{1}{2} \left( 1 - \cos 2\pi \frac{t}{T} \right),$$

где  $t$  меняется от 0 до  $T-1$

Какой бы способ мы не выбрали, сумма  $A_k^2 + B_k^2$  это простое экспоненциальное распределение тогда как первоначальные данные это пример Гауссовского процесса с двумя степенями свободы. Для данных от  $t=0$  до  $T-1$  формулы будут иметь вид

$$\frac{1}{2} \left( 1 - \cos \pi \frac{t}{0.1T} \right) \text{ если } 0 \leq t \leq 0.1 T$$

если  $0.1 \leq t \leq 0.9 T$

$$\frac{1}{2} \left( 1 - \cos \pi \frac{T-t}{0.1T} \right) \text{ если } 0.9 T \leq t \leq T,$$

т. е.  $0 \leq T-t \leq 0.1 T$

Умножение данных на сглаженную функцию, содержащую левую половину косинусоиды, константу и правую половину косинусоиды, результативно для достижения статистической стабильности с небольшими утечками данных для индивидуальных условий.

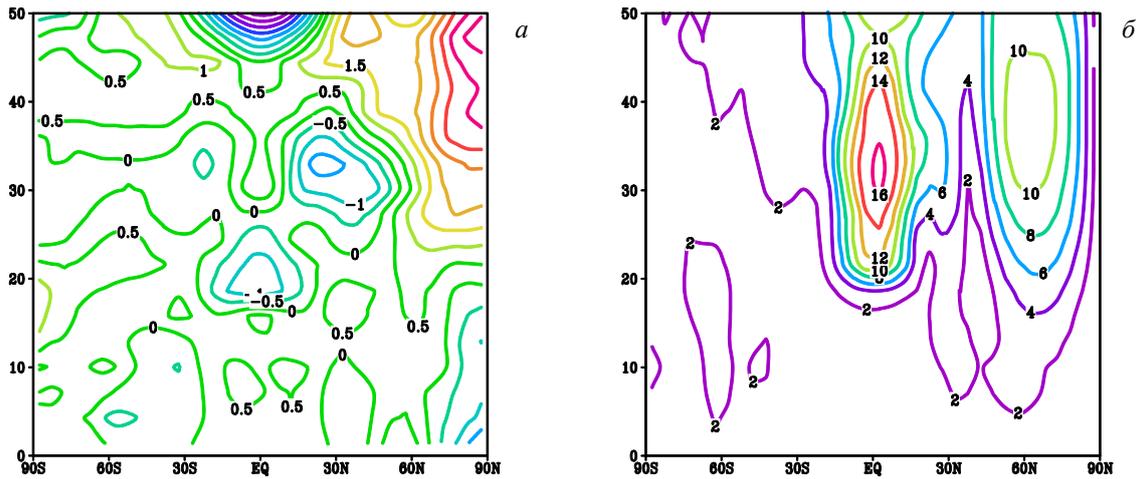


Рис. 1. Разница температуры (а); разница значений ветра за зимний период (декабрь, январь, февраль) (б). Вертикальная ось – высота в км, горизонтальная – широта (град).

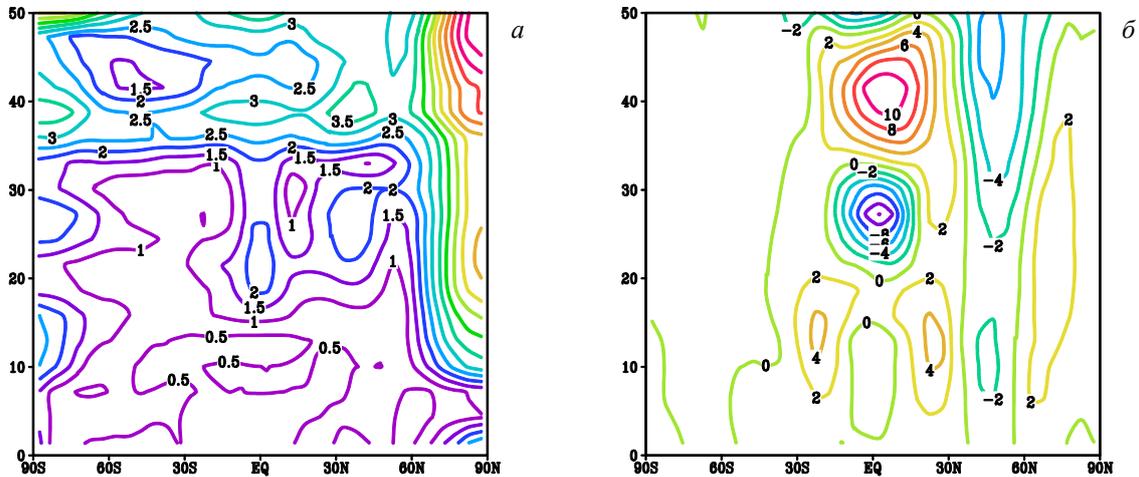


Рис. 2. Стандартное отклонение межгодовой изменчивости для значений температуры (а) для ветра (б). Вертикальная ось – высота в км, горизонтальная – широта (град).

После того как будут получены обработанные данные мы можем добавить нулевые значения к концам рядов и вычислить периодограмму Фурье используя эти данные. Так же очень важно привести в порядок данные до оконных преобразований. Для этого нужно удалить из рядов значения близкие к нулю и нулевые тренды.

Для оценки роли влияния колебания Маддена–Джулиана и Южной Осцилляции на внетропическую стратосферу мы воспользовались моделью общей циркуляции средней и верхней атмосферы [Погорельцев, 2007]. Трехмерная нелинейная модель средней и верхней атмосферы (МСВА) разработана на основе модели СОММА-LIM (Cologne Model of the Middle Atmosphere – Leipzig Institute for Meteorology).

Известно, что при средней или сильной фазе Эль-Ниньо активность колебания Маддена–Джулиана слабая, а при слабой или неопределенной фазе Ла-Нинья активность колебания Маддена–Джулиана значительна. Основываясь этими условиями для вычисления разницы и анализа данных температуры и ветра годы были поделены на две фазы Южной осцилляции.

**Результаты**

На рис. 1, а представлены данные разницы температур между фазой Эль-Ниньо (1992, 1995, 1998, 2003, 2004,

2005, 2007, 2010, 2015) и Ла-Нинья (1996, 1997, 2001, 2002, 2006, 2009, 2012, 2013, 2014), рис. 1, б демонстрирует разницу средних значений ветра за зимний период (декабрь, январь, февраль).

Наиболее частое изменение разницы температуры наблюдается над экватором. На высотах от 15–25 км и 40–50 км значения отрицательные, что соответствует более высоким температурам в годы Ла-Нинья. Также значения температуры выше в годы Ла-Нинья и в средних широтах на высотах от 25–40 км. В полярных широтах на высотах от 20–50 км наоборот, среднее значение температуры за зимний период в годы Эль-Ниньо выше порядка на 4°. Разница средних значений ветра выражена над экватором и Северном полушарии, в фазе Эль-Ниньо он всегда сильнее.

По всему земному шару отклонение температуры от средней климатической повышается с высотой и имеет значительный максимум в полярных широтах в верхней атмосфере. Отклонение ветра в Северном полушарии и над экватором меняется как по высоте, так и по широте.

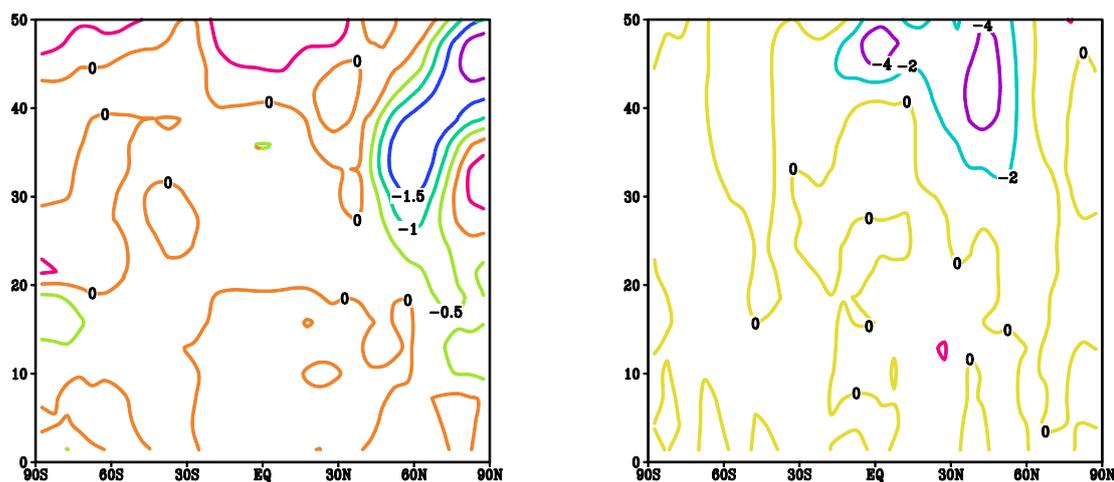


Рис. 3. Внутрисезонная изменчивость: *a* – внутрисезонная изменчивость температуры; *b* – внутрисезонная изменчивость ветра за зимний период (декабрь, январь, февраль). Вертикальная ось – высота в км, горизонтальная – широта (град).

Не нулевые отклонения наблюдаются в основном в средних и полярных широтах Северного полушария, от 10 км и 30 км для температуры и ветра, соответственно.

Статистический анализ который был использован для определения статистической значимости влияния Южной осцилляции и колебания Маддена–Джулиана на внетропическую стратосферу, показал довольно большую степень значимости 0.95 %. Это касается и температуры и ветра.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-17-00685).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Погорельцев А.И. Генерация нормальных атмосферных мод стратосферными васцилляциями // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43, № 4. С. 463–475.
- Bingham C., Godfrey M.D. and Tukey J.W. Modern techniques of power spectra estimation // IEEF Trans. Audio. Electroacoustic. 1967. AU-15, P. 56–66.
- Higgins R.W., Mo K.C. Persistent North Pacific circulation anomalies and the tropical intraseasonal oscillation // J. Climate. 1997. V. 10, P. 223–224.
- Zhang C. and Gottschalck J. SST anomalies of ENSO and the Madden-Julian Oscillation in the equatorial Pacific // J. Clim. 2002. V. 15. P. 2429–2445.
- Zhang C., Hendon H.H. Propagating and standing components of the intraseasonal oscillation in tropical convection // J. Atmos. Sci. 1997. V. 54, P. 741–752.

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