

ДИНАМИКА ТАЙФУНОГЕНЕЗА С ВАРИАЦИЯМИ СКОРОСТИ ВЕТРА В ВИХРЕ

Николай Ерохин¹, Надежда Зольникова¹, Людмила Михайловская¹, Румен Шкевов²

¹Институт космических исследований – Российская академия наук

²Институт космических исследований и технологий – Болгарская академия наук
e-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru, shkevov@space.bas.bg

Ключевые слова: нелинейная малопараметрическая модель, региональный циклогенез, тропические циклоны, скорость ветра, температура поверхности океана, активный сезон.

Абстракт: На основе системы нелинейных уравнений для максимальной скорости ветра в вихре и температуры поверхности океана в области тропического циклона, описывающих временную динамику мощного атмосферного вихря, продолжен численный анализ самосогласованной малопараметрической модели регионального крупномасштабного циклогенеза, позволяющей исследовать различные сценарии и временной динамики развития явления. Численными расчетами подтверждено, что выбором параметров малопараметрической модели возможно получить различные сценарии сезонного хода регионального крупномасштабного циклогенеза с формированием в активном сезоне заданного числа тропических циклонов. Обобщение модели описывает также вихревые вариации скорости ветра в тропическом циклоне. Это позволяет изучать особенности временной динамики регионального крупномасштабного циклогенеза в период активного сезона, исследовать зависимость их характеристик от внешних факторов включая космическую погоду.

TYPHOON GENESIS DYNAMICS CONSIDERING WIND SPEED VARIATIONS IN THE WHIRLWIND

Nikolay Erokhin¹, Ludmila Mikhailovskaya¹, Nadezhda Zolnikova¹, Rumen Shkevov²

¹Space Research Institute – Russian Academy of Sciences

²Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru, shkevov@space.bas.bg

Keywords: Nonlinear small-parametric model, tropical cyclones, regional cyclogenesis, wind velocity, ocean surface temperature, active season.

Abstract: The numerical analysis of self-consistent small parametric model of a regional large scale cyclogenesis based on a system of nonlinear equations for maximal wind speed variations in the whirlwind and ocean surface temperature in the tropical cyclone zone have been extended. The analysis describes the temporal dynamics of a powerful air vortex and thus allowing investigation of different scenarios of regional large-scale cyclogenesis. Our numerical calculations confirmed that by the choice of parameters in the small parametric model, we can study different seasonal scenarios of large-scale regional cyclogenesis, formation during the active season of a specific number of tropical cyclones. Generalized models also reveal wind speed variation in the whirlwind in a tropical cyclone. This allows studying the particularities of the temporal dynamics of large-scale regional cyclogenesis during the active season and exploring the dependence of their performance on external factors, including space weather.

Введение

В число важных задач в современных исследованиях кризисных атмосферных процессов в атмосфере входит вопрос о прогнозе пространственно-временной динамики мощных крупномасштабных вихрей типа тропических ураганов, тайфунов и внетропических циклонов с учетом влияния, например, солнечно-земных связей и других факторов. Для описания временной динамики тропического циклона (ТЦ) ранее была предложена малопараметрическая нелинейная модель (МПМ) вихря в виде системы уравнений для

максимальной скорости ветра и температуры поверхности океана в зоне ТЦ, которая достаточно реалистично описывает формирование крупномасштабного вихря из слабой тропической депрессии (ТД), его интенсификацию до уровня тайфуна и квазистационарную фазу [1]. Позднее было предложены обобщения МПМ, позволяющие изучать полный жизненный цикл ТЦ включая стадию затухания вихря [2], а также исследовать возможность одновременного существования в заданном регионе двух ТЦ и их конкуренции [3].

Дальнейшее развитие МПМ [4] было связано с учетом нестационарности фоновой обстановки, например, температуры поверхности океана, возможности многократной генерации ТЦ в заданном регионе, а также введением в задачу эффективных источников атмосферных возмущений. В этой обобщенной модели после генерации крупномасштабного мощного вихря и последующего затухания ТЦ возможна подготовка системы океан-атмосфера к повторной генерации ТЦ по достижении ее параметрами пороговых (для запуска неустойчивости) значений. Обобщенная нелинейная модель содержит свободные параметры и выбором их величин можно в определенной степени управлять временной динамикой регионального крупномасштабного циклогенеза (РКЦ), например, можно менять характеристики ТЦ. Развиваемый на основе МПМ подход позволяет получить аналитическую модель описания сезонного хода РКЦ в каждом регионе, что представляет большой научный и практический интерес, в частности, для разработки методик прогноза кризисных атмосферных явлений. Это важно и для анализа влияния ТЦ, например, на крупномасштабную циркуляцию атмосферы.

В настоящей работе на основе численных расчетов обобщенной МПМ продолжено начатое ранее [5] исследование сезонного хода крупномасштабного регионального циклогенеза с учетом нестационарности фоновой обстановки, приводящей к вариациям скорости ветра в ТЦ. Проведенный численный анализ решений МПМ подтвердил заметную чувствительность динамики РКЦ к изменению величин исходных параметров. Развиваемый подход к исследованию РКЦ позволяет оптимизировать выбор параметров модели, чтобы описать количество образовавшихся ТЦ, длительность их существования, максимальные скорости ветров и пр., которые должны соответствовать параметрам ТЦ в имеющихся базах данным наблюдений, например, представленные в монографии [6].

Основные уравнения обобщенной МПМ и численный анализ их решений

Для описания динамики РКЦ в активном сезоне с учетом нестационарности фоновой обстановки и внешних воздействий можно использовать следующие уравнения МПМ [4], [5],[7].

$$\begin{aligned} dV/dt &= \gamma \cdot (T - T_c) \cdot V - \mu \cdot V^2 + y(t), \\ (1) \quad dT/dt &= -b \cdot (T - T_1) \cdot V^2 + (T_f - T) / \tau \\ dT_f/dt &= f(t) - \nu \cdot (T_f - T_0). \end{aligned}$$

В уравнениях (1) скорость $V(t)$ измеряется в м/сек, температура $T(t)$ в $^{\circ}\text{C}$, время t в сутках. Заметим, что интенсификация слабых синоптических возмущений начинается при температурах поверхности океана $T(t)$ выше некоторого порогового значения T_c . В соответствие с рекомендациями работы [1] ниже будем полагать $T_c = 26.5^{\circ}\text{C}$, а для температуры холодной воды, поднимающейся к поверхности океана, берем значение $T_1 = 23^{\circ}\text{C}$. Необходимо отметить, что значение T_c вообще говоря зависит от региона [6].

В уравнениях (1) источник $f(t)$ описывает влияние внешних факторов на температуру поверхности океана, а функция $y(t)$ возникновение слабого ветра (при отсутствии ТЦ) малым внешним возмущением. В качестве внешних факторов могут выступать вариации солнечной активности, явление Эль-Ниньо и др. Чтобы учесть изменение фоновых условий в (1) для переменной температуры T_f при расчетах динамики ТЦ использовалась следующая функция $T_f(t) = T_0 + \delta T_f(t)$, где

$$(2) \quad \delta T_f(t) = \delta T_1 [1 + \text{th } s_1(t)] - \delta T_2 [1 + \text{th } s_2(t)].$$

Здесь введены обозначения $s_1(t) = (t - t_1) / \tau_1$, $s_2(t) = (t - t_2) / \tau_2$, а τ_1 , τ_2 характерные времена изменения температуры $\delta T_f(t)$, причем полагается $t_1 < t_2$. Отметим, что согласно (2) в зоне зарождения ТЦ температура $T_f(t)$ вначале возрастает на величину $2 \cdot \delta T_1$ и при превышении порогового значения начинается крупномасштабная неустойчивость с генерацией ТС. В конце жизненного цикла ТЦ она уменьшается на $2 \cdot \delta T_2$ (смещение тайфуна в область более холодной воды), что ведет к затуханию ТЦ. В случае описания временной динамики нескольких тайфунов формула для функции $\delta T_f(t)$ должна содержать несколько слагаемых типа указанных в

выражении (2) с параметрами δT_{n1} , δT_{n2} , τ_{n1} , τ_{n2} , t_{n1} , t_{n2} для n-го тайфуна. Здесь следует указать, что представление (2) для функции $\delta T_f(t)$ является не единственным. В частности, согласно выполненным расчетам вполне подходит замена в (2) функций размытого перехода $[1 + th s_n(t)]$ на следующее выражение $\{1 + (t - t_n) / [\tau_{n2} + (t - t_n)^2]^{1/2}\}$ с теми же параметрами t_n , τ_n . Рассмотрим подробнее процесс генерации в активном сезоне регионального циклогенеза $4 < t < 100$ четырех ТЦ в случае $y(t) = 0$, $f(t) = 0$, $v = 0$. Для описания динамики циклогенеза в формуле (2) для $\delta T_f(t)$ используем представление

$$(3) \quad \delta T_f(t) = G(t) \cdot \sum_n \{ \delta T_{1n} [1 + th s_{1n}(t)] - \delta T_{2n} [1 + th s_{2n}(t)] \}$$

$$G(t) = 1 + \sigma \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / 4.2).$$

Ниже будут приведены графики скорости ветра для следующего варианта выбора параметров в (3) при численных расчетах решения системы уравнений (1)

$$\gamma = 1, \mu = 3 \cdot 10^{-3}, b = 9 \cdot 10^{-4}, \tau = 0.25, T_c = 26.5, T_1 = 23, V(0) = 0.3, T(0) = 26,$$

$$(4) \quad \delta T_{11} = 1, \delta T_{21} = 1.4, \delta T_{12} = 1.8, \delta T_{22} = 1.8, \delta T_{13} = 1.2, \delta T_{23} = 1.4, \delta T_{14} = 2.6,$$

$$\delta T_{24} = 2.6, \tau_{1n} = \tau_{2n} = 1, t_{11} = 4, t_{21} = 20, t_{12} = 27, t_{22} = 47, t_{13} = 53, t_{23} = 65,$$

$$t_{14} = 71, t_{24} = 95.$$

Для параметра σ , определяющего амплитуду вариаций скорости ветра в ТЦ, примем значение $\sigma = 0.07$. На рис.1 дан график скорости ветра в тайфунах $V(t)$.

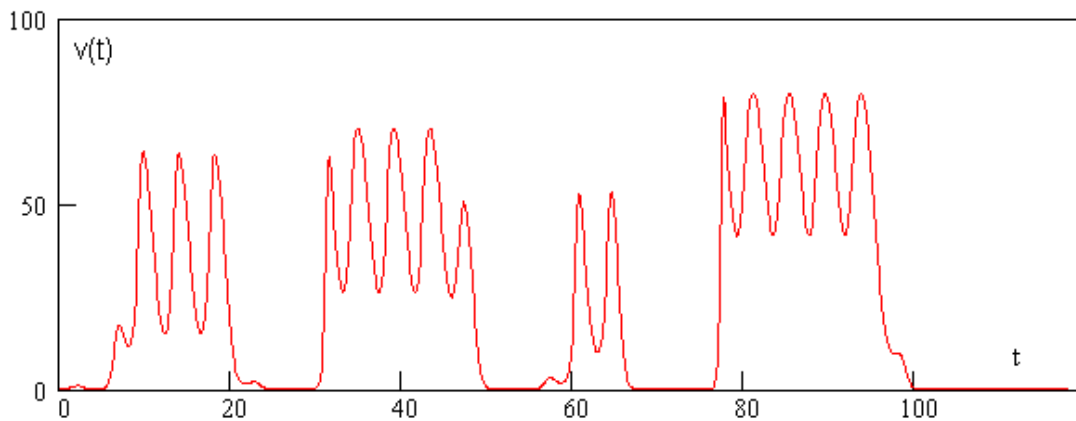


Рис. 1. Вариации величины скорости ветра в вихре наблюдаются на квазистационарной стадии тайфунов

Согласно рис.1 для выбранного значения параметра σ вариации величины скорости ветра в вихре наблюдаются на квазистационарной стадии тайфунов. Так для первого ТЦ на интервале времени $12.6 < t < 14$ имеем вариацию скорости ветра $63.75 > V > 16.34$. Для четвертого ТЦ на интервале времени $79.76 < t < 87.8$ получаем вариацию скорости ветра в диапазоне $85.3 > V > 42.75$. Таким образом хотя параметр σ мал скорость ветра в ТЦ меняется весьма сильно. Временная динамика температуры поверхности океана представлена на рис.2. Кривая 1 соответствует $\sigma = 0$, а кривая 2 получается для $\sigma = 0.07$. Для четвертого ТЦ на интервале времени $76.8 < t < 78.6$ по фоновой температуре в области тайфуна имеем $31.83 > \delta T_f(t) > 27.77$.

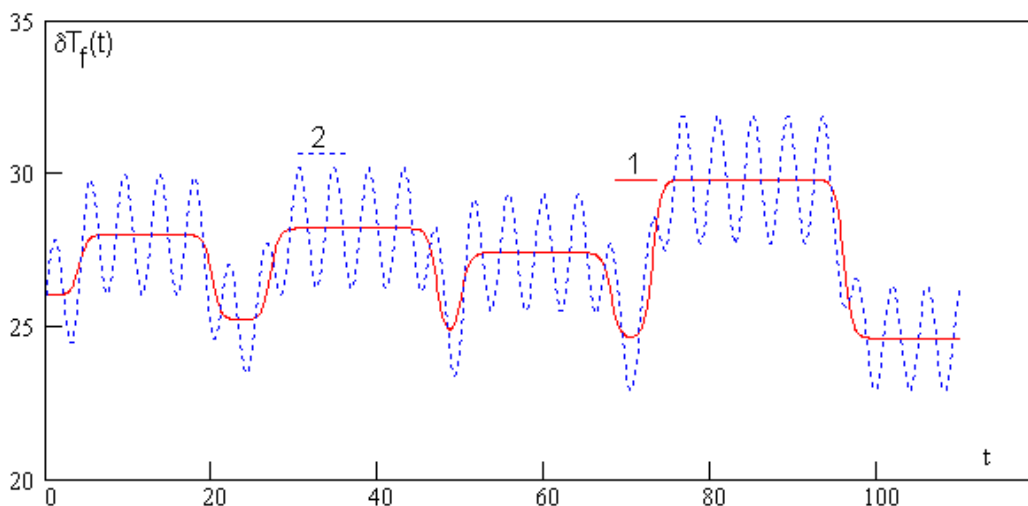


Рис. 2. Временная динамика температуры поверхности океана . кривая 1 соответствует $\sigma = 0$, а кривая 2 получается для $\sigma = 0.07$.

Как видим, наблюдаются большие вариации температуры δT_f . Вариации температуры поверхности океана T в зоне ТЦ также велики. Так на интервале $24.6 < t < 30.7$ имеем изменение температуры поверхности океана в диапазоне $23.65 < T(t) < 30.65$, что значительно больше, описанного ранее [5].

Таким образом проведенный численный анализ динамики сезонного хода РКЦ подтвердил, что в рамках малопараметрической, нелинейной модели путем подбора параметров задачи, учета нестационарности фоновой обстановки, можно получать различные сценарии генерации тропических циклонов и полярных ураганов в активном сезоне с существенными вариациями скорости ветра на квазистационарной стадии ТЦ и отсутствие кризисных событий в остальное время года. Вполне очевидно, что при соответствующем подборе параметров модели расчетные характеристики ТЦ будут соответствовать данным наблюдений крупномасштабного циклогенеза в исследуемом регионе.

Заключение

Результаты проведенного исследования можно сформулировать следующим образом. На основе обобщения МПМ для описания вариаций скорости ветра в ТЦ на квазистационарной стадии их жизненного цикла продолжен анализ динамики РКЦ в период активного сезона. Подтверждена возможность сильных вариаций скорости ветра в вихре ТЦ на квазистационарной стадии его жизненного цикла. Развиваемый подход к исследованию динамики РКЦ на основе МПМ с учетом экспериментальных данных по характеристикам крупномасштабных тропических возмущений типа тайфунов позволяет получить аналитическую модель сезонного хода интенсивности РКЦ в конкретном регионе. Это представляет большой научный и практический интерес в том числе для разработки современных методов прогноза крупномасштабных кризисных атмосферных явлений моделирования их связей с другими процессами. Представляет интерес учет в последующих работах роли заряженных подсистем мощных атмосферных вихрей, спиральности ветровых потоков, выделения скрытой теплоты фазовых преобразований атмосферной влаги.

Можно полагать, что в данном подходе удастся получить объяснение наблюдаемых трендов интенсивности крупномасштабного циклогенеза на временных интервалах порядка 11-летних циклов солнечной активности.

Как известно, корреляционные связи между солнечной активностью и кризисными процессами в нижней атмосфере была замечены сравнительно давно. Однако позднее, более детальные исследования на временных интервалах большей длительности выявили их изменчивость.

Настоящая работа выполнена при поддержке программы ОФН-11 РАН.

Литература:

1. Ярошевич, М.И., Л.Х.Ингель. Тропический циклон как элемент системы океан-атмосфера. ДАН, 2004. Т.399. № 3. с.397-400.
2. Ерохин, Н.С., Л.А.Михайловская, Н.Н.Ерохин. Нелинейная модель описания временной динамики полного жизненного цикла тропического урагана. Научная сессия МИФИ-2007. Сборник трудов. Изд-во МИФИ, Москва. 2007. Т.5. с.72-73.
3. Ярошевич, М.И., Л.Х.Ингель. Опыт "синергетического" подхода к исследованию взаимодействия тропических циклонов. Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2006. Т.42. № 6, с.1-5.
4. Ерохин, Н.С., Н.Н.Зольникова, Л.А.Михайловская. Малопараметрическая модель сезонного хода регионального циклогенеза. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып.5. Т.1, с. 546-549.
5. Erokhin N.S., L.A. Mikhailovskaya, N.N. Zolnikova, R. Shkevov. The nonlinear dynamics of regional cyclogenesis with wind velocity variations. Proceedings of Seventh Scientific Conference with International Participation SES 2011, Sofia, Bulgaria, 29 November – 1 December 2011, 2012. p. 27-32.
6. Покровская, И.В., Е.А.Шарков. Тропические циклоны тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 2.1 (1983-2000). М.: Полиграф сервис, 2001. 548 с.
7. Михайловская, Л.А., Н.С.Ерохин, Н.Н.Зольникова, Р. Шкевов. Аналитическая модель регионального крупномасштабного циклогенеза с переменным числом кризисных событий. Международная конференция МСС-09 "Трансформация волн, когерентные структуры и турбулентность". Сборник трудов. Изд-во "URSS", Москва. 2009. с.329-334.