

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА РЕГИОНАЛЬНОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА С УЧЕТОМ ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА И СКОРОСТИ ВЕТРА

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 ураганы, температура поверхности океана, активный сезон.

Абстракт: В рамках системы нелинейных уравнений для средней скорости ветра и температуры поверхности океана в области тропического циклона (ТЦ), описывающих временную динамику мощного атмосферного вихря, продолжен численный анализ самосогласованной малопараметрической модели (МПМ) регионального крупномасштабного циклогенеза (РКЦ), позволяющей исследовать различные сценарии временной динамики РКЦ. Численными расчетами показано, что выбором исходных параметров МПМ возможно получить сезонный ход РКЦ с формированием в активном сезоне заданного числа ураганов. Модель описывает также вариации скорости ветра в ТЦ. Таким образом в рамках нелинейной малопараметрической модели можно изучать особенности временной динамики региональных крупномасштабных циклогенезов в период активного сезона, исследовать зависимость их характеристик от различных внешних факторов, в частности, космической погоды.

NONLINEAR DYNAMICS OF REGIONAL CYCLOGENESIS TAKING INTO ACCOUNT OCEAN SURFACE TEMPERATURE AND WIND VELOCITY VARIATIONS

Nikolay Erokhin¹, Ludmila Mikhailovskaya¹, Nadezhda Zolnikova¹, Rumen Skevov²

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 equations, small-parametric model, regional cyclogenesis, typhoon, wind velocity, ocean surface temperature, active season.

Abstract: A variant of small parametric model (SPM) of regional large scale cyclogenesis (RLSC) is considered. Numerical analysis of self-consistent small parametric model SPM of regional large scale cyclogenesis RLSC was done within system of connected nonlinear equations for average wind velocity and ocean surface temperature in the tropical cyclone (TC) area, allowing different scenarios of RLSC and temporal dynamics of the powerful atmospheric whirlwind analysis based on SPM to be studied. Our calculations show that a suitable choice of the initial parameters of the SMP allows receiving the seasonal behavior of RLSC with hurricane cyclogenesis number in active season. This model also describes wind velocity variations in TC. Thereby, within the framework of nonlinear small parametric model, it becomes possible to study the temporal dynamics particularities of regional large-scale cyclogenesis in the active season, to investigate the dependency of their features from different external factors, for example, the space weather influence.

Введение

Одной из важных задач в современных исследованиях кризисных явлений в атмосфере является вопрос о прогнозе пространственно-временной динамики мощных крупномасштабных вихрей типа тропических ураганов, тайфунов и внетропических циклонов с учетом влияния солнечной радиации, солнечно-земных связей и других факторов [1-6]. Для описания

временной динамики тропического циклона ранее была предложена малопараметрическая нелинейная модель (МПМ) вихря в виде системы уравнений для максимальной скорости ветра и температуры поверхности океана в зоне тайфуна, которая достаточно реалистично описывает формирование крупномасштабного вихря из слабой тропической депрессии (ТД), его интенсификацию до уровня тайфуна и квазистационарную фазу [5,6]. Позднее было предложены обобщения МПМ, позволяющие изучать полный жизненный цикл тропических циклонов (ТЦ) включая стадию затухания вихря при его выходе на сушу либо вследствие смещения в область более холодной воды [2], а также исследовать возможность одновременного существования в заданном регионе двух ТЦ и их конкуренции [6]

Дальнейшее развитие малопараметрической модели [1] 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 частности, обусловленных солнечно-земными связями, вариациями потока солнечной радиации и др. В этой модели после генерации крупномасштабного мощного вихря (вследствие развития неустойчивости атмосферы) и последующего затухания ТЦ (по истечении некоторого времени) возможна подготовка системы океан-атмосфера к повторной генерации тропических циклонов 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 циклогенеза, например, можно менять количество образующихся в заданном регионе тайфунов в период активного сезона, их характеристики включая максимальную скорость ветра, продолжительность жизненного цикла каждого ТЦ, длительности интенсификации вихрей до уровня тайфуна и последующего их затухания. Таким образом вполне очевидно, что развиваемый на основе МПМ подход с учетом данных наблюдений по параметрам крупномасштабных возмущений типа ТЦ позволяет получить достаточно простую модель описания сезонного хода РКЦ в каждом регионе, что представляет большой научный и практический интерес, например, для разработки современных методик прогноза кризисных атмосферных явлений, их длительности и интенсивности. Это важно и для анализа влияния ТЦ, например, на крупномасштабную циркуляцию атмосферы и пр.

В настоящей работе на основе обобщенных уравнений малопараметрической нелинейной модели описаны результаты проведенных численных расчетов сезонного хода крупномасштабного регионального циклогенеза с учетом нестационарности фоновой обстановки, приводящей к вариациям скорости ветра в ТЦ. Для этого в уравнения МПМ введен малый параметр, определяющий амплитуду вариаций скорости ветра. При этом можно также менять начало и конец активного сезона, число возникающих тайфунов и штормов в этот период, их характеристики. Интересно и то, что проведенный численный анализ решений МПМ выявил заметную чувствительность сценария динамики регионального циклогенеза к изменению величин исходных параметров. Следовательно, развиваемый подход к исследованию крупномасштабного регионального циклогенеза позволяет оптимизировать выбор параметров модели для заданного годового интервала, чтобы описать число образовавшихся ТЦ, времена их существования, максимальные скорости ветров и пр., которые должны соответствовать параметрам ТЦ в имеющихся базах данных наблюдений [4].

Основные уравнения нелинейной малопараметрической модели и численный анализ их решений

Для описания сезонного хода РКЦ с учетом нестационарности фоновой обстановки и внешних воздействий, как эффективных источников возмущений, можно использовать следующие уравнения МПМ [1-3]:

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

В формулах (1) скорость $V(t)$ измеряется в м/сек, температура $T(t)$ в $^{\circ}\text{C}$, время t в сутках. Напомним, что интенсификация слабых синоптических возмущений начинается при температурах поверхности океана $T(t)$ выше некоторого порогового значения T_c . В соответствии с рекомендациями работы [5] ниже будем полагать $T_c = 26.5$ $^{\circ}\text{C}$, а для температуры холодной

воды, поднимающейся к поверхности океана, берем значение $T_1 = 23$ °С. Необходимо отметить, что значение T_c вообще говоря зависит от региона (Шарков, Покровская, 2009).

В уравнениях (1) источник $f(t)$ описывает влияние внешних факторов на температуру поверхности океана, а функция $y(t)$ возникновение слабого ветра (при отсутствии тайфуна) малым внешним возмущением. В качестве внешних факторов могут выступать вариации солнечной активности, характеризующиеся, например, числами Вольфа, явление Эль-Ниньо и др.

Чтобы учесть изменение фоновых условий в (1) для переменной температуры T_f при расчетах динамики ТС использовалась следующая функция $T_f(t) = T_0 + \delta T_f(t)$, где

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

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 в зоне зарождения тайфуна 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 ТС 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 $\delta T_{n1}, \delta T_{n2}, \tau_{n1}, \tau_{n2}, t_{n1}, t_{n2}$ 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 использованных в (2) функций размытого перехода $[1 + th s_n(t)]$ на следующее выражение $\{ 1 + (t - t_n) / [\tau_n^2 + (t - t_n)^2]^{1/2} \}$ с теми же параметрами t_n, τ_n . Рассмотрим подробнее процесс генерации в активном сезоне регионального циклогенеза $6 < t < 103$ 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

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

$$G(t) = 1 + \sigma \cdot \sin (2 \cdot \pi \cdot t / 6.1).$$

Ниже будут приведены графики скорости ветра и температуры поверхности океана для следующего варианта выбора параметров в (3) при численных расчетах решения системы уравнений (1): $\gamma = 1, \mu = 3 \cdot 10^{-3}, b = 9 \cdot 10^{-4}, \tau = 0.25, T_c = 26.5, T_1 = 23, V(0) = 0.3, T(0) = 26, \delta T_{11} = 1, \delta T_{21} = 1.4, \delta T_{12} = 1.8, \delta T_{22} = 1.8, \delta T_{13} = 2, \delta T_{23} = 1.4, \delta T_{14} = 2.6, \delta T_{24} = 2.6, \tau_{1n} = \tau_{2n} = 1, t_{11} = 4, t_{21} = 20, t_{12} = 27, t_{22} = 47, t_{13} = 53, t_{23} = 65, t_{14} = 73, t_{24} = 96$.

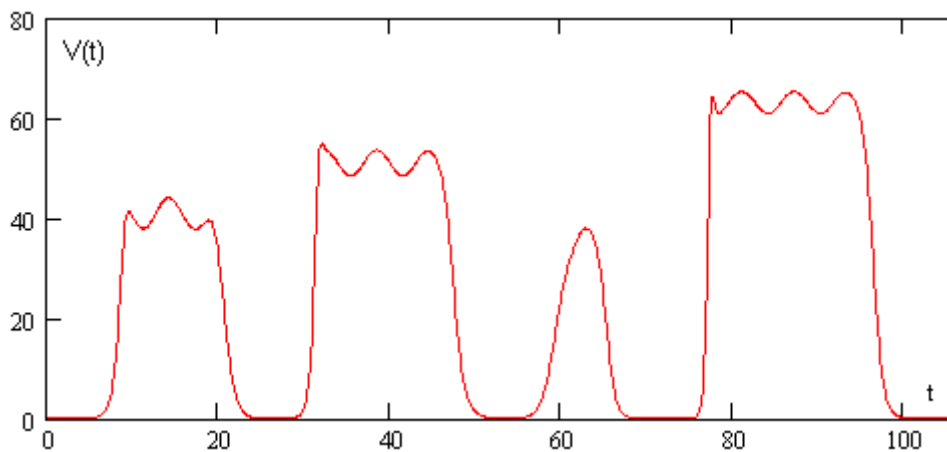


Рис.1. Скорость ветра в тайфунах $V(t)$.

Для параметра σ , определяющего амплитуду вариаций скорости ветра в ТЦ, примем значение $\sigma = 0.008$. На рис.1 дан график скорости ветра в тайфунах $V(t)$.

Согласно рис.1 для выбранного значения параметра σ вариации величины скорости ветра наблюдаются на квазистационарной стадии тайфунов и порядка 2.9 м / с. Длительность жизненного цикла третьего ТЦ невелика и такие вариации $V(t)$ на графике не проявляются.

Отметим, что в среднем для первого ТЦ скорость ветра была близка к 41.7 м / с, а для четвертого она близка к величине 63.4 м / с.

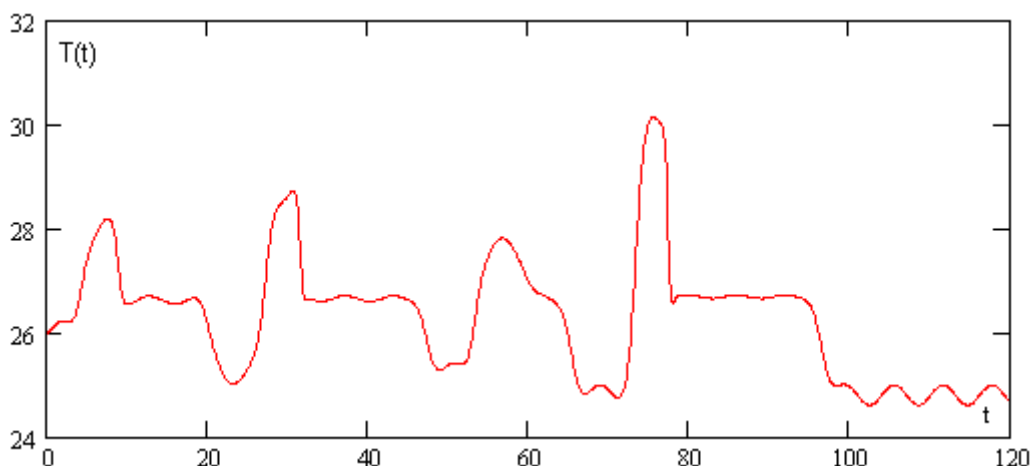


Рис. 2. Динамика температуры поверхности океана в зоне циклона.

Динамика температуры поверхности океана T в зоне ТЦ показана на рис. 2. Видно, что на квазистационарной стадии ТЦ вариации T весьма малы, порядка 0.1°C . Графики фоновой температуры $\delta T_f(t)$ при $\sigma = 0.008$ (кривая 1) и для $\sigma = 0$ (кривая 2) представлены на рис. 3. Амплитуда быстрых вариаций $\delta T_f(t)$ при $\sigma = 0.008$ порядка 0.2°C .

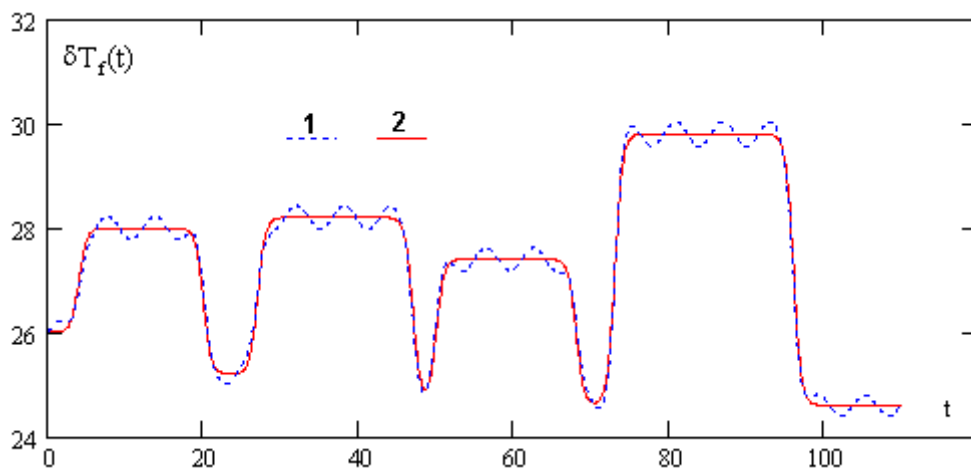


Рис. 3. Фоновая температура $\delta T_f(t)$ при разных значениях вариации величины скорости ветра.

Для сравнения рассмотрим результаты расчетов для случая $\sigma = 0.015$ при неизменных прочих параметрах задачи. График скорости $V(t)$ показан на рис. 4. Согласно рис. 4 в данном варианте амплитуда вариаций скорости ветра на квазистационарной стадии ТЦ существенно больше – порядка 5.5 м / с. Для амплитуды вариаций температуры поверхности океана в зоне тайфунов на квазистационарной стадии ТЦ получаем 0.19°C , что в 2 раза меньше амплитуды быстрых вариаций $\delta T_f(t)$.

Таким образом выполненный в настоящей работе численный анализ динамики сезонного хода крупномасштабного регионального тропического циклогенеза (РКЦ) подтвердил, что в рамках малопараметрической, нелинейной модели путем подбора исходных 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.

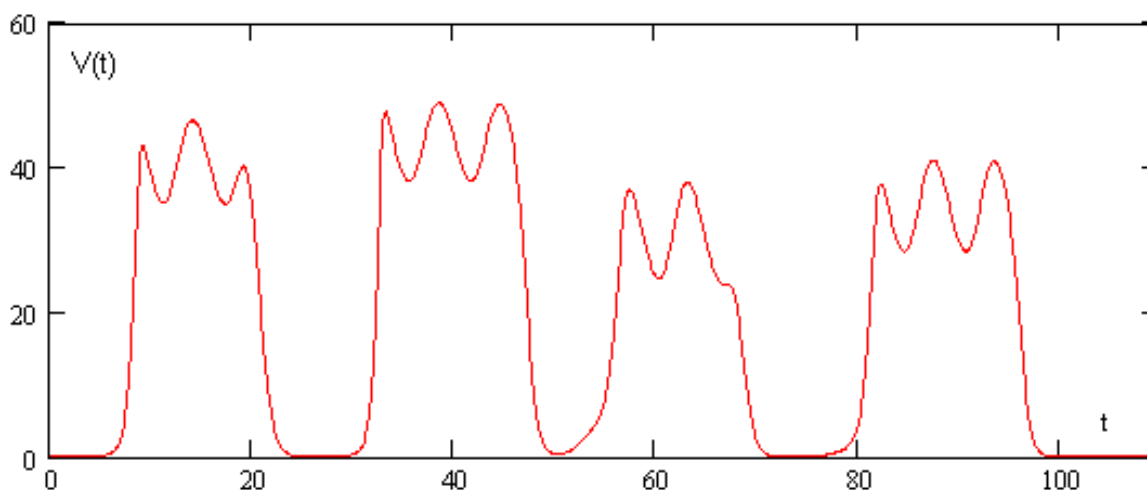


Рис. 4. График скорости ветра в тропическом циклоне.

Данные наблюдений РКЦ, в частности, спутниковой аппаратурой необходимы для обоснованного выбора исходных параметров в нелинейной малопараметрической модели, решения которой будут соответствовать характеристикам сформировавшихся в конкретном регионе ТЦ, а также для правильного описания влияния внешних источников на крупномасштабный тропический циклогенез с помощью эффективных схем параметризации в численном исследовании пространственно-временной динамики ТЦ. Представляет интерес учет в последующих исследованиях крупномасштабного циклогенеза существенной роли заряженных подсистем мощных атмосферных вихрей, спиральности ветровых потоков, выделения скрытой теплоты фазовых преобразований атмосферной влаги.

Заключение

Результаты проведенного исследования можно сформулировать следующим образом. Проведено дальнейшее обобщение МПМ для описания возможности вариаций скорости ветра в тафуннах на квазистационарной стадии их жизненного цикла. Показано, что на основе обобщенной малопараметрической, нелинейной модели можно исследовать особенности динамики региональных крупномасштабных циклогенезов в период активного сезона, изучать их зависимость от различных внешних факторов, например, вариаций космической погоды и др., которые ранее рассматривались на основе метода корреляционного анализа. Предлагаемый 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 циклогенеза в конкретном регионе, что представляет большой научный и практический интерес в том числе для разработки современных методов прогноза крупномасштабных кризисных атмосферных явлений и моделирования их связей с другими процессами.

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. В частности, выяснилось, что эти связи могут ослабевать, исчезать или даже менять знак. Например, ослабив в исходных данных наблюдений влияние явления Эль-Ниньо на тропический циклогенез удалось выявить 11-летнюю цикличность в тропическом циклогенезе для северо-западной части Тихого океана и показать, что она находится в противофазе с солнечной активностью. Исследование данного вопроса на основе малопараметрической модели циклогенеза планируется выполнить в последующих работах.

Настоящая работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-05-00060) и программы ОФН-11 РАН.

Литература:

1. 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.
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. 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.
4. 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.
5. Ярошевич, М.И., Л.Х.Ингель. // Тропический циклон как элемент системы океан-атмосфера. ДАН, 2004. Т.399. № 3. С.397-400.
6. 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.