

Малопараметрическая модель регионального циклогенеза с вариациями скорости ветра в тропических циклонах

Н.С. Ерохин ¹, Н.Н. Зольникова ¹, Л.А. Михайловская ¹, Р. Шкевов ²

¹*Институт космических исследований РАН,
117997 Москва, Профсоюзная 84/32
E-mails: nerokhin@mx.iki.rssi.ru;*

²*Институт космических и солнечно-земных исследований БАН,
ул. «Московска» 6, София 1000, Болгария
shkevov@space.bas.bg*

В рамках системы связанных 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. Расчетами показано, что соответствующим выбором исходных параметров МПМ возможно получить сезонный ход РКЦ с формированием в активном сезоне заданного числа ураганов. Модель описывает также возможность вариаций 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.

Ключевые слова: нелинейные уравнения, малопараметрическая модель, крупномасштабный циклогенез, температура поверхности океана, активный сезон.

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 и других факторов. Для описания временной динамики тропического циклона ранее была предложена малопараметрическая нелинейная модель (МПМ) вихря в виде системы нелинейных 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 (Ярошевич, Ингель, 2004). Позднее были 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 (Ерохин, Михайловская, 2007), а также исследовать возможность одновременного существования в заданном регионе двух ТЦ и их конкуренции (Ярошевич, Ингель, 2006). Дальнейшее развитие МПМ (Ерохин, Зольникова, Михайловская, 2008) было связано с учетом нестационарности фоновой обстановки, например, температуры поверхности океана, возможности описания 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) происходит подготовка системы океан-атмосфера к повторной генерации тропических циклонов по достижении ее параметрами пороговых (для запуска неустойчивости) значений. Обобщенная нелинейная модель содержит свобод-

ные параметры, которые могут зависеть от времени, и их выбором можно в значительной степени управлять временной динамикой регионального циклогенеза, например, менять количество образующихся в заданном регионе тайфунов в период активного сезона, их характеристики включая максимальную скорость ветра, продолжительность жизненного цикла каждого ТЦ, длительности стадии 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, исследования их связей с другими крупномасштабными процессами. Это важно и для анализа влияния ТЦ, например, на крупномасштабную циркуляцию атмосферы.

В данной работе на основе обобщенных уравнений малопараметрической нелинейной модели изложены результаты численных расчетов сезонного хода крупномасштабного регионального циклогенеза (РКЦ) с учетом нестационарности фоновой обстановки, приводящей к вариациям скорости ветра в ТЦ. Для этого в уравнения МПМ введена функция с малым параметром, определяющим амплитуду вариаций скорости ветра. Кроме того, можно также менять начало и конец активного сезона, число возникающих тайфунов и штормов в этот период, их характеристики. Принципиально то, что проведенный численный анализ решений МПМ выявил заметную чувствительность сценария динамики регионального циклогенеза к изменению величин исходных параметров. Следовательно, развиваемый подход к исследованию РКЦ позволяет оптимизировать выбор параметров модели для заданного годового интервала, чтобы описать число образовавшихся ТЦ, времена их существования, максимальные скорости ветров и другие характеристики, которые должны соответствовать параметрам ТЦ в имеющихся базах данным наблюдений (см., например, данные в монографии Покровская, Шарков, 2001).

Основные уравнения МПМ и анализ их решений

Для описания сезонного хода РКЦ с учетом нестационарности фоновой обстановки и внешних воздействий, как эффективных источников возмущений, воспользуемся следующими уравнениями МПМ (Ерохин, Зольникова, Михайловская, 2008; Михайловская, Ерохин и др., 2009):

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

В (1) скорость $V(t)$ измеряется в м/с, температура $T(t)$ в °С, 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 (Ярошевич, Ингель, 2004) ниже будем полагать $T_c = 26.5$ °С, а для температуры холодной воды, поднимающейся к поверхности океана, берем значение $T_1 = 23$ °С. Необходимо однако 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) под действием малого внешнего возмущения. В качестве внешних факторов могут выступать вариации солнечной активности, характеризуемые, например, числами Вольфа, явление Эль-Ниньо и др.

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

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

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 полагаем $t_1 < t_2$. Отметим, что в зоне зарождения тайфуна температура $T_f(t)$ вначале возрастает на величину $2 \times \delta T_1$ и при превышении порогового значения начинается крупномасштабная неустойчивость с генерацией ТЦ. В конце жизненного цикла ТЦ она уменьшается на $2 \times \delta T_2$ (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 ТЦ. Здесь следует указать, что представление (2) для функций $\delta T_f(t)$ является не единственным.

Рассмотрим процесс генерации в активном сезоне $6 < t < 103$ четырех ТЦ в простейшем случае $y(t) = 0, f(t) = 0, v = 0$. Для описания динамики циклогенеза в формуле (2) для $\delta T_f(t)$ используем представление

$$\delta T_f(t) = G(t) \times \sum_n \{ \delta T_{n1} [1 + \text{th } s_{n1}(t)] - \delta T_{n2} [1 + \text{th } s_{n2}(t)] \}, \quad (3)$$

$$G(t) = 1 + \sigma \sin (2 \pi t / 6.1), n = 1, 2, 3, 4.$$

Ниже будут приведены графики скорости ветра и температуры поверхности океана для следующего варианта выбора параметров в (3) при численных расчетах решения системы уравнений (1): $\gamma = 1, \mu = 3 \times 10^{-3}, b = 9 \times 10^{-4}, \tau = 0.25, T_c = 26.5, T_1 = 23, V(0) = 0.3, T(0) = 26, \delta T_{11} = 1, \delta T_{12} = 1.4, \delta T_{21} = 1.8, \delta T_{22} = 1.8, \delta T_{31} = 1.2, \delta T_{32} = 1.4, \delta T_{41} = 2.6, \delta T_{42} = 2.6, t_{n1} = t_{n2} = 1, t_{11} = 4, t_{12} = 20, t_{21} = 27, t_{22} = 47, t_{31} = 53, t_{32} = 65, t_{41} = 73, t_{42} = 96$. Для параметра σ , определяющего амплитуду вариаций скорости ветра в ТЦ, примем значение $\sigma = 0.05$. На Рис.1.а дан график скорости ветра в тайфунах $V(t)$.

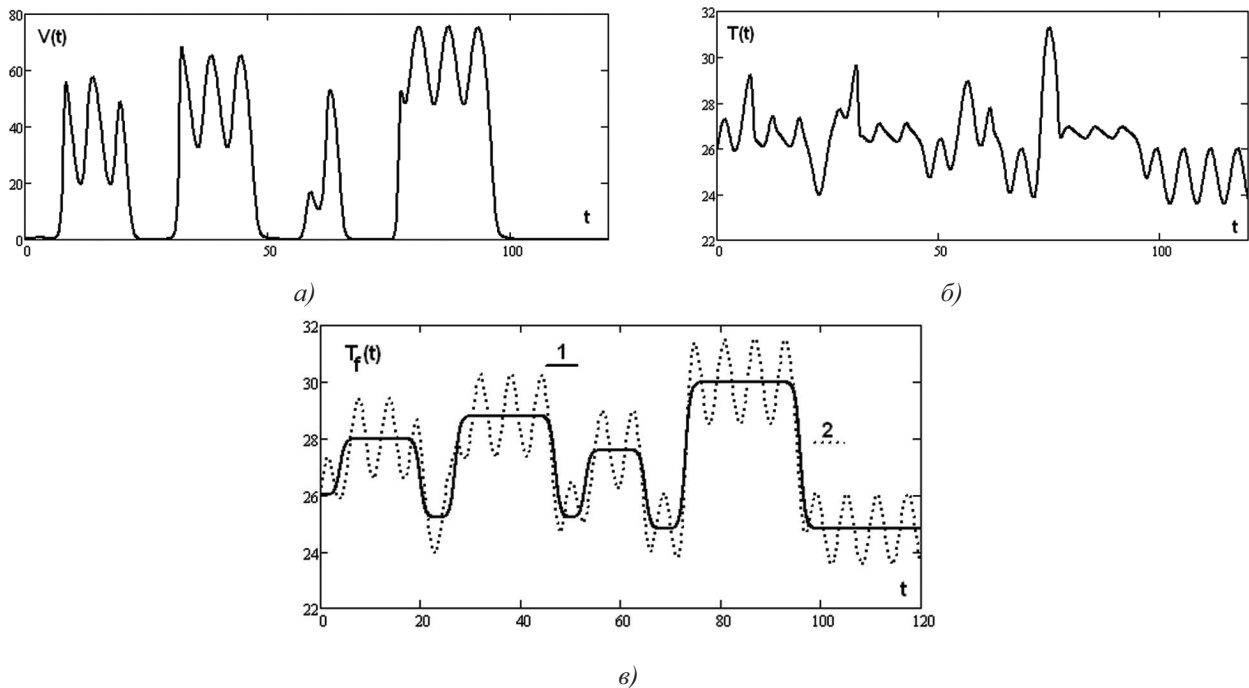


Рис. 1. а) Максимальная скорость ветра $V(t)$ в тайфунах при $\sigma = 0.05$, б) Динамика температуры поверхности океана T в зоне ТЦ при $\sigma = 0.05$ в) Фоновая температура $\delta T_f(t)$ при $\sigma = 0$ (кривая 1) и для $\sigma = 0.05$ (кривая 2)

Согласно Рис.1.а для выбранного значения параметра σ вариации величины скорости ветра наблюдаются на квазистационарной стадии тайфунов и порядка 17.5 м / с. Длительность жизненного цикла третьего ТЦ невелика и видна одна вариация $V(t)$. Отметим, что в среднем для первого ТЦ скорость ветра была близка к 38.2 м / с, а для четвертого она около величины 62.8 м / с.

Динамика температуры поверхности океана T в зоне ТЦ показана на рис. 1.б. Видно, что на квазистационарной стадии ТЦ вариации T значительны порядка 0.64 °С и более. Для четвертого ТЦ пиковая скорость 31.29 м / с наблюдается в узком временном интервале порядка 3 суток. Графики фоновой температуры $\delta T_f(t)$ при $\sigma = 0.05$ (кривая 1) и для $\sigma = 0$ (кривая 2) представлены на Рис. 1.в. Амплитуда быстрых вариаций $\delta T_f(t)$ при $\sigma = 0.05$ порядка 1.45 °С.

Для сравнения приведем результаты расчетов для случая $\sigma = 0.03$ при неизменных прочих параметрах задачи. Они показаны на Рис. 2. Согласно Рис. 2.а в данном варианте амплитуда вариаций скорости ветра на квазистационарной стадии ТЦ несколько меньше – порядка 10.6 м / с. Для амплитуды вариаций температуры поверхности океана в зоне тайфунов на квазистационарной стадии ТЦ (Рис. 2.б) получаем 0.73 °С, что меньше амплитуды быстрых вариаций $\delta T_f(t) \gg 0.82$, показанных на Рис. 2.в.

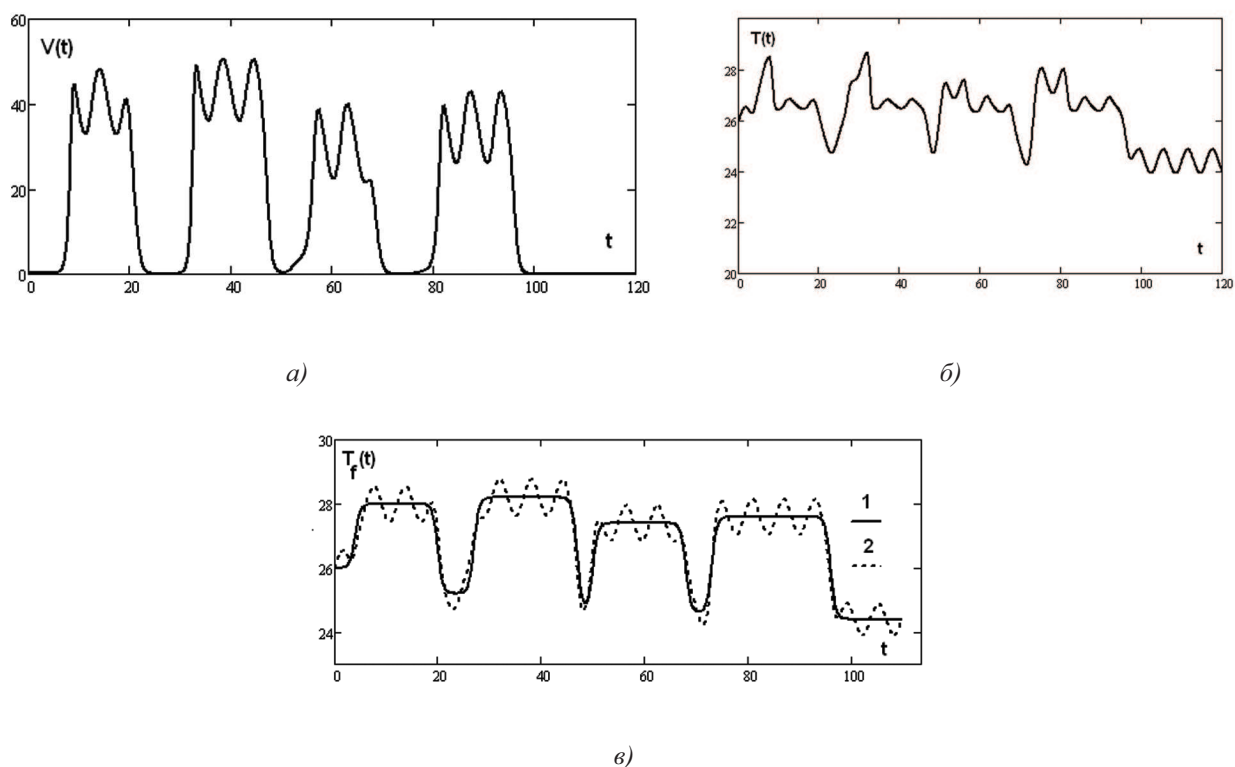


Рис. 2. а) Максимальная скорость ветра $V(t)$ в тайфунах при $\sigma = 0.03$
 б) Динамика температуры поверхности океана T в зоне ТЦ при $\sigma = 0.03$
 в) Фоновая температура $\delta T_f(t)$ при $\sigma = 0$ (кривая 1) и для $\sigma = 0.03$ (кривая 2)

Таким образом, проведенный 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 этих кризисных событий в остальное время года. При соответствующем подборе параметров модели характеристики образовавшихся ТЦ будут соответствовать данным наблюдений крупномасштабного циклогенеза в исследуемом регионе.

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

Заключение

Проведено дальнейшее обобщение нелинейной МПМ для описания возможности вариаций скорости ветра в тропических циклонах на квазистационарной стадии их жизненного цикла.

Численными расчетами 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 стандартного метода корреляционного анализа. Развиваемый подход к исследованию динамики РКЦ на основе нелинейной МПМ с учетом экспериментальных данных по характеристикам крупномасштабных тропических возмущений типа тайфунов позволит получить 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. Представляет интерес исследование данного вопроса на основе малопараметрической модели циклогенеза 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., Зольникова Н.Н., Михайловская Л.А.* 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., Михайловская Л.А., Ерохин Н.Н.* 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., Ерохин Н.С., Зольникова Н.Н., Шкевов Р. 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., Шарков Е.А. Тропические циклоны тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 2.1 (1983–2000) // М.: Полиграф сервис, 2001. 548 с.
5. Ярошевич М.И., Ингель Л.Х. Тропический циклон как элемент системы океан- атмосфера // ДАН, 2004. Т.399. № 3. С.397–400.
6. Ярошевич М.И., Ингель Л.Х. Опыт «синергетического» подхода к исследованию взаимодействия тропических циклонов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2006. Т.42. № 6. С.1–5.

The Small-Parametric Model of Regional Cyclogenesis in Tropical Typhoons with Wind Velocity Variations

N.S. Erokhin ¹, N.N. Zolnikova ¹, L.A. Mikhailovskaya ¹, R. Shkevov ²

¹*Space Research Institute of RAS
117997 Moscow, 84/32 Profsoyuznaya str.
E-mails: nerokhin@iki.rssi.ru ;*

²*Space Research Institute of Bulgarian Academy of Sciences
«Moskovska» str. 6 , Sofia 1000, Bulgaria
shkevov@space.bas.bg*

The numerical analysis of the nonlinear self-consistent small-parametric model (NSPM) of the regional large-scale cyclogenesis (RLSC) is continued on the base of coupled system of nonlinear equations for the mean wind velocity and ocean surface temperature inside tropical cyclone, describing the time dynamics of the strong atmospheric vortex. This model allows us to study various scenario of RLSC time dynamics. Numerical calculations have shown that by the suitable choice of NSPM parameters it is possible to obtain the RLSC annual behaviour with the generation of a given number of typhoons during the RLSC active season. The possible variations of wind velocity inside the typhoon can also be described by this model. Therefore it is possible now to study features of RLSC temporal dynamics during the active season and to investigate the dependence of RLSC characteristics on a number of external factors like the space weather.

Keywords: nonlinear equations, small-parametric model, large-scale cyclogenesis, ocean surface temperature, active season.