

Анализ малопараметрической модели сезонного хода крупномасштабного регионального циклогенеза с вариациями скорости ветра

Н.С. Ерохин^{1,2}, Н.Н. Зольникова¹, Л.А. Михайловская¹, А.А. Лазарев¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Российский университет дружбы народов*

E-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru

На основе системы связанных нелинейных уравнений для средней скорости ветра и температуры поверхности океана в области тропического циклона (ТЦ), описывающих временную динамику мощного атмосферного вихря, проведен анализ сезонного хода крупномасштабного регионального циклогенеза (РКЦ) с возможностью вариаций скорости ветра в ТЦ. Численными расчетами показано, что соответствующим выбором параметров задачи и внешних источников возможно описать генерацию в активном сезоне заданного числа тайфунов с различающимися характеристиками вихрей и вариациями скорости ветра на квазистационарной стадии жизненного цикла ТЦ. Следовательно, на основе обобщения нелинейной малопараметрической модели можно исследовать особенности сезонного хода временной динамики РКЦ в период активного сезона, анализировать зависимость их характеристик от различных внешних факторов, например от космической погоды, явления Эль-Ниньо, которые ранее рассматривались методами корреляционного анализа. Развиваемый подход с учетом экспериментальных данных по крупномасштабному тропическому циклогенезу позволит также разработать аналитическую модель сезонного хода РКЦ в конкретном регионе, что представляет научный и практический интерес, в частности, для разработки современных методов прогноза крупномасштабных кризисных атмосферных явлений типа тайфунов, исследований особенностей их временной динамики в различных регионах. Например, в описанной нелинейной модели можно получить объяснение наблюдаемых трендов интенсивности РКЦ. Развиваемый подход будет полезен при оценках влияния ТЦ на крупномасштабную циркуляцию атмосферы в понимании механизмов реализации связей циклогенеза с различными внешними факторами, поскольку обычно применяемые стандартные методы корреляционного анализа зачастую дают неоднозначные ответы.

Ключевые слова: малопараметрическая модель, региональный крупномасштабный циклогенез, тропические циклоны, температура поверхности океана, активный сезон, вариации скорости ветра.

Введение

Одной из важных задач в современных исследованиях кризисных атмосферных процессов является прогноз пространственно-временной динамики мощных крупномасштабных вихрей типа тропических ураганов (тайфунов) и внетропических циклонов с учетом влияния солнечно-земных связей и других факторов.

Для описания временной динамики тропического циклона 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 развитие крупномасштабного вихря на фоне слабой начальной тропической депрессии (ТД), его интенсификацию до уровня ТЦ и квазистационарную фазу (Ярошевич, Ингель, 2004). Позднее было рассмотрены обобщения МПМ, позволяющие изучать полный жизненный цикл тропических циклонов 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 и др., 2008; Михайловская и др., 2009) связано с учетом нестационарности фоновой обстановки, например, температуры поверхности океана, возможности описания многократной генерации ТЦ в активном сезоне заданного региона, 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 свободные параметры, которые могут зависеть от времени, и их выбором можно управлять динамикой регионального циклогенеза меняя количество образующихся тайфунов, их характеристики: максимальную скорость ветра, продолжительность жизненного цикла каждого ТЦ, длительности стадии интенсификации вихрей до уровня тайфуна и последующего их затухания.

Таким образом, развиваемый на основе МПМ подход с учетом данных наблюдений по параметрам ТЦ позволяет получить достаточно простую нелинейную модель сезонного хода РКЦ в каждом регионе, что представляет большой научный и практический интерес, например, для разработки современных методик прогноза кризисных атмосферных явлений, исследования их связей с другими крупномасштабными процессами. Это важно и для анализа влияния ТЦ, например, на крупномасштабную циркуляцию атмосферы.

В настоящей работе на основе обобщенной малопараметрической нелинейной модели изложены результаты численных расчетов сезонного хода крупномасштабного регионального циклогенеза (РКЦ) с учетом нестационарности фоновой обстановки, приводящей к вариациям скорости ветра и температуры поверхности океана в ТЦ. Для этого в уравнения МПМ введена функция с малым параметром, определяющим амплитуду указанных вариаций.

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).

Исходные уравнения и анализ их решений, полученных численно

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

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

Здесь источник $f(t)$ описывает влияние внешних факторов на температуру поверхности океана, а функция $y(t)$ – возникновение слабого ветра (при отсутствии ТЦ) под действием малого внешнего возмущения. В качестве внешних факторов могут выступать вариации солнечной активности, характеризуемые, например, числами Вольфа, явление Эль-Ниньо и др. Напомним, что интенсификация слабых синоптических возмущений начинается при температурах поверхности океана $T(t)$ выше некоторого порогового значения T_c . В (1) скорость $V(t)$ измеряется в м/сек, температура $T(t)$ в $^{\circ}\text{C}$, время t в сутках. В соответствии с рекомендациями работы (Ярошевич, Ингель, 2004) 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 однако отметить, что значение T_c , вообще говоря, зависит от региона (Шарков, Покровская, 2009).

Чтобы учесть изменение фоновых условий в (1) для переменной температуры T_f при расчетах динамики одного ТЦ использовалась функция

$$T_f(t) = T_0 + dT_f(t), \quad dT_f(t) = dT_1 [1 + th s_1(t)] - dT_2 [1 + th s_2(t)]. \tag{2}$$

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 $t_1 < t_2$. Согласно (2) в области зарождения ТЦ температура $T_f(t)$ вначале возрастает на величину $2 \times \delta T_1$ и при превышении $T_f(t)$ порогового значения развивается крупномасштабная неустойчивость с генерацией ТЦ. В конце жизненного цикла тайфуна $T_f(t)$ 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 ТЦ 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. Отметим, что представление (2) для функции $\delta T_f(t)$ является не единственным.

Рассмотрим процесс генерации в активном сезоне РКЦ $6 < t < 103$ четырех вихрей (два из которых – хорошо развитые тайфуны, а два других – тропические шторма не очень высокой интенсивности) в простейшем случае $y(t) = 0$, $f(t) = 0$, $n = 0$. Для описания динамики циклогенеза в формуле (2) для $\delta T_f(t)$ используем представление

$$\begin{aligned}
\delta T_f(t) &= G(t) \sum_n \{ \delta T_{n1} [1 + th s_{n1}(t)] - \delta T_{n2} [1 + th s_{n2}(t)] \}, \\
G(t) &= 1 + \sigma \sin(2\pi t / 6, 1), \quad n = 1, 2, 3, 4.
\end{aligned}
\tag{3}$$

Здесь параметр σ определяет амплитуду вариаций скорости ветра. Ниже будут приведены графики скорости ветра и температуры поверхности океана для следующего варианта выбора параметров в (3) при численных расчетах решения системы уравнений (1).

$$\begin{aligned}
\gamma &= 0,2, \quad \mu = 8 \times 10^{-3}, \quad \beta = 2 \times 10^{-4}, \quad \tau = 2,5, \quad T_c = 26,5, \quad T_1 = 23, \quad V(0) = 0,3, \quad T(0) = 26, \\
\delta T_{11} &= 1, \quad \delta T_{12} = 1,4, \quad \delta T_{21} = 4, \quad \delta T_{22} = 4, \quad \delta T_{31} = 1,2, \quad \delta T_{32} = 1,4, \quad \delta T_{41} = 7, \quad \delta T_{42} = 7, \quad t_{n1} = t_{n2} = 2, \\
t_{11} &= 4, \quad t_{12} = 20, \quad t_{21} = 27, \quad t_{22} = 47, \quad t_{31} = 53, \quad t_{32} = 65, \quad t_{41} = 73, \quad t_{42} = 96.
\end{aligned}
\tag{4}$$

Была рассмотрена динамика максимальной скорости ветра при $\sigma = 0,01$. В этом случае в зоне тайфунов имеются небольшие (порядка 2 м/с) колебания скорости ветра, колебания температуры поверхности океана тоже невелики – порядка 0,5°C. Для варианта $\sigma = 0,025$ в зоне тайфунов колебания скорости ветра увеличиваются до 4,5 м/с, в зоне штормов существенных изменений нет. Динамика максимальной скорости ветра в ТЦ при $\sigma = 0,08$ показана на *рис. 1*. Как видим, в зоне тайфунов колебания максимальной скорости ветра увеличиваются до 16 м/с, а в зоне штормов возмущения существенно меньше. При этом вариации температуры поверхности океана в зоне ТЦ возрастают до величины порядка 2°C (*рис. 2*).

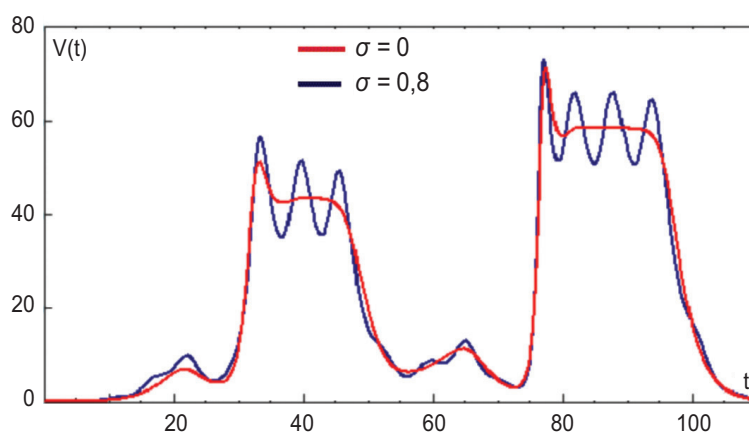


Рис. 1. Максимальная скорость ветра $V(t)$ в тайфунах при $\sigma = 0$ и $\sigma = 0,08$

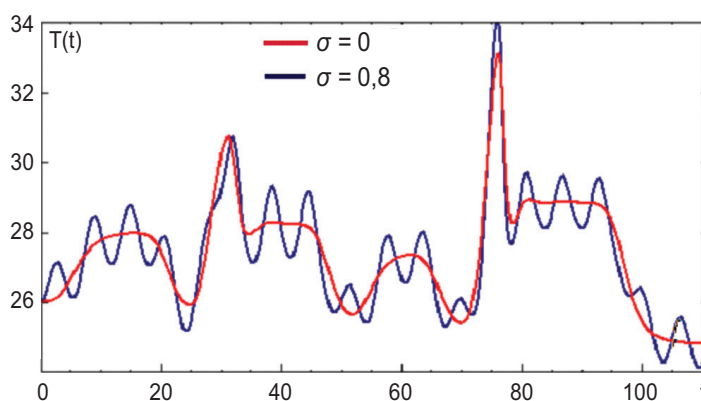


Рис. 2. Динамика температуры поверхности океана $T(t)$ в тайфунах при $\sigma = 0$ и $\sigma = 0,08$

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.

Представляет интерес учет в последующем анализе крупномасштабного циклогенеза существенной роли заряженных подсистем мощных атмосферных вихрей, спиральности ветровых потоков, а также выделения скрытой теплоты фазовых преобразований атмосферной влаги.

Здесь 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 разработки эффективных схем параметризации, которые были бы весьма полезны и в численном исследовании трехмерной пространственно-временной динамики ТЦ.

Заключение

Продолжено исследование обобщенной, нелинейной, малопараметрической модели для описания возможности вариаций скорости ветра и температуры поверхности океана в тропических циклонах, обусловленных нестационарностью фоновой обстановки. Численными расчетами показано, что на основе обобщенной малопараметрической, нелинейной модели можно исследовать особенности динамики региональных крупномасштабных циклогенезов, в частности, изучать их зависимость от различных внешних факторов, например, вариаций космической погоды и др., которые ранее рассматривались на основе стандартного метода корреляционного анализа.

Рассмотрена зависимость динамики максимальной скорости ветра и температуры поверхности океана в зоне ТЦ от параметра вариаций фоновой обстановки σ . Показано, что амплитуда вариаций скорости ветра в вихрях оказывается сильнее для зон развитых ураганов, чем для области тропической депрессии или тропического шторма. Из проведенных численных расчетов следует, что с повышением частоты вариаций фоновой температуры δT_f их влияние как на максимальную скорость ветра в вихрях, так и на температуру поверхности океана снижается. Можно полагать, что развиваемый подход на основе малопараметрической модели позволит получить объяснение наблюдаемых трендов интенсивности крупно-масштабного циклогенеза на временных интервалах порядка 11-летних циклов солнечной активности, которые ранее исследовалось при помощи корреляционного анализа. Однако позднее более детальные исследования указанных трендов на временных интервалах большей длительности выявили изменчивость корреляционных связей между солнечной активностью и кризисными процессами в нижней атмосфере. В частности, выяснилось, что эти связи могут ослабевать, исчезать или даже менять знак. Таким образом, необходимо дальнейшее развитие малопараметрической модели в направлении поиска механизма возникновения на больших временных интервалах изменчивости корреляционных связей между солнечной активностью и кризисными процессами в нижней атмосфере.

Настоящая работа выполнена при поддержке 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. Т. 1. Вып. 5. 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: Сб. трудов*. М.: Изд-во МИФИ, 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»*: Сб. трудов. М.: Изд-во URSS, 2009. С. 329–334.
4. *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Тропические циклоны и 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.

Analysis of small-parametric model for seasonal behaviour of large-scale regional cyclogenesis with wind velocity variations

N.S. Erokhin^{1,2}, N.N. Zolnikova¹, L.A. Mikhailovskaya¹, A.A. Lazarev¹

¹ *Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia*

² *Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia*

E-mail: nerokhin@iki.rssi.ru

The numerical analysis of the nonlinear self-consistent small-parametric model (NSPM) of the regional large-scale cyclogenesis (RLSC) is continued on the basis of coupled system of nonlinear equations for the mean wind velocity and ocean surface temperature inside the tropical cyclone, describing the time dynamics of powerful atmospheric vortex. The NSPM generalization is given to take into account the possibility of both mean wind velocity and ocean surface temperature variations due to the nonstationary background. The model developed allows us to study various scenario of RLSC temporal 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 during the active season of a given number of typhoons having different characteristics. The mean wind velocity and ocean surface temperature variations may be taken into account also. So the NSPM generalization allows to study the features of RLSC seasonal behaviour and its dependence on different external pumping like the space weather, El Nino phenomenon. Therefore it is possible now to elaborate the analytical model of RLSC for the given region. It is of great interest, in particular, for the elaboration of modern methods to forecast the large-scale atmospheric crisis processes like typhoons in different regions. For example, such methods must allow to explain the variability of RLSC intensity and its trends. The approach developed will be useful also for the estimates of TC influence on large-scale atmosphere circulation and to understand the connections of RLSC with different external perturbations because the standard correlation methods frequently give nonunique solutions.

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