

ПРОСТАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТАЙФУНА

И. Старикович ¹, Н. Ерохин ², Н. Зольникова ², В. Дамгов ³

¹Российский Университет дружбы народов,
²Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
³Институт космических исследований БАН, София, Болгария
Институт космических исследований РАН, nerokhin@mx.iki.rssi.ru

ON THE SIMPLE NONLINEAR MODEL OF A TYPHOON LIFE CYCLE

I. Starikovich ¹, N. Erokhin ², N. Zolnikova ², V. Damgov ³

¹Russian University of People Friendship, ²Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia,
³Space Research Institute of BAS, Sophia, Bulgaria
Correspondence to: N.S.Erokhin, Space Research Institute of RAS, nerokhin@mx.iki.rssi.ru

Keywords: *typhoon, nonlinear model, cyclogenesis, development.*

Abstract. *It is supposed the generalization of early developed mathematical model to describe the typhoon life cycle. The new model allows on the basis of self-consistent nonlinear equations for the wind velocity and the ocean surface temperature to study the typhoon full life cycle including its damping stage.*

ВВЕДЕНИЕ

Построение упрощенных физико-математических моделей жизненного цикла мощных крупномасштабных атмосферных вихрей типа тропических циклонов представляет интерес для ряда задач, например, для изучения особенностей крупномасштабного регионального циклогенеза, разработки методик его прогнозирования, для исследований роли солнечно-земных связей в динамике природных кризисных процессов, при анализе влияния тропических ураганов на крупномасштабную циркуляцию атмосферы. Ранее в работе [1] для расчетов параметров, характеризующих динамику жизненного цикла тропического урагана, были рассмотрены простые математические модели, основанные на данных наблюдений. В работе [2] по аналогии с моделями генерации излучения в лазерах была предложена нелинейная модель развития урагана, учитывающая накачку энергии в системе океан-атмосфера, пороговые условия для формирования мощного вихря и его взаимодействие с окружающей средой. При этом система связанных нелинейных уравнений для максимальной скорости ветра в урагане и температуры поверхности океана достаточно реалистично описывает процесс зарождения урагана и выход его на квазистационарную стадию жизненного цикла.

В настоящем сообщении проведено обобщение нелинейной модели [2], позволяющее описывать и стадию затухания урагана, связанную с выходом его на сушу или перемещением в область более холодной поверхности океана. Для этого в один из параметров окружающей среды, который определяет условия генерации вихря, вводится зависимость от времени и понижение его величины ниже порогового значения приводит к затуханию тайфуна.

Проведенные в рамках данной самосогласованной модели численные расчеты показали, что в новых условиях (понижение управляющего параметра ниже порогового значения) в системе исчезают генерационные свойства и тропический ураган затухает.

Таким образом модифицированная нелинейная модель достаточно реалистично воспроизводит динамику развития и затухания тропических ураганов. Выбором параметров модели можно управлять длительностью стадий жизненного цикла урагана, максимальной скоростью ветра и т.д. Поскольку корреляционный анализ показывает наличие влияния солнечно-земных связей на параметры атмосферных процессов (см., например, работы [3, 4]) данная модель может быть использована в исследованиях связей крупномасштабного тропического циклогенеза с солнечной активностью, а также при построении нелинейных аналитических моделей крупномасштабного регионального циклогенеза, в анализе его статистических закономерностей и, возможно, в разработках прогностических моделей.

ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Прежде всего, чтобы явным образом учесть наличие неустойчивости, приводящей к формированию крупномасштабного вихря, модифицируем предложенное в монографии [1] уравнение для максимальной скорости ветра в тропическом циклоне V следующим образом

$$dV / dt = \gamma \cdot (T - T_*) \cdot V - \sigma \cdot V^2, \quad (1)$$

где T – температура поверхности океана в области тропического циклона (ТЦ), T_* – пороговое значение этой температуры, выше которой происходит усиление возмущений и генерация вихря, слагаемое $-\sigma \cdot V^2$ определяет потери энергии, обусловленные диссипативными процессами, возрастающие с ростом интенсивности вихря. Будем полагать, что скорость ветра V измеряется в м/сек, температура T в $^{\circ}\text{C}$, а время t в сутках. Тогда, согласно [2] характерные значения параметров в уравнении (1) следующие: $\gamma \leq 1$, $T_* = 26.5$, $\sigma = 3 \cdot 10^{-3}$.

Для температуры поверхности океана T воспользуемся уравнением [2]

$$dT / dt = -\beta \cdot (T - T_1) \cdot V^2 + (T_f - T) / \tau. \quad (2)$$

Здесь T_1 температура холодной воды, поднимающейся в ТЦ из нижних слоев океана к его поверхности ($T_1 = 23$), T_f равновесная фоновая температура в отсутствие обусловленных ТЦ возмущений, значение которой определяется балансом тепла в данном сезоне, τ характерное время установления равновесной температуры. Ниже в соответствии с рекомендациями работы [2] принимается $\tau = 10$, $\beta = 3 \cdot 10^{-4}$, $T_f = (28 \div 30)$.

Учет затухания урагана, обусловленного, например, его выходом на более холодную воду, будем моделировать выбором переменного параметра $T_f(t)$. В численных расчетах использовалась функция

$$T_f(t) = T_{f1} - 0.5 \cdot \delta T_f \cdot \{ 1 + \text{th} [(t - t_1) / \tau_d] \}, \quad (3)$$

где T_{f1} равновесная температура на стадии формирования и последующего квазистационарного состояния вихря, t_1 определяет время выхода ТЦ в область более холодной воды с понижением температуры на δT_f , τ_d характерное время смещения ТЦ в область более холодной воды.

Таким образом в рассматриваемой нелинейной модели появились дополнительные управляющие параметры δT_f , τ_d , t_1 .

Система нелинейных уравнений (1), (2) с нестационарной равновесной температурой (3) решалась численно для различных значений входящих параметров. На рис.1 показаны графики зависимости от времени скорости ветра и температуры поверхности океана в формирующемся тайфуне для модели работы [2] при значении равновесной температуры $T_f = 28$. В рамках модифицированной модели (1), (2) временная динамика скорости ветра и температуры поверхности в формирующемся вихре представлена на рис.2 для следующих значений значений входящих параметров :

$$T_{f1} = 28, \delta T_f = 0, \tau = 10, \gamma = 0.5, \beta = 3 \cdot 10^{-4}, \sigma = 3 \cdot 10^{-3}, V(0) = 1, T(0) = T_{f1} = 28.$$

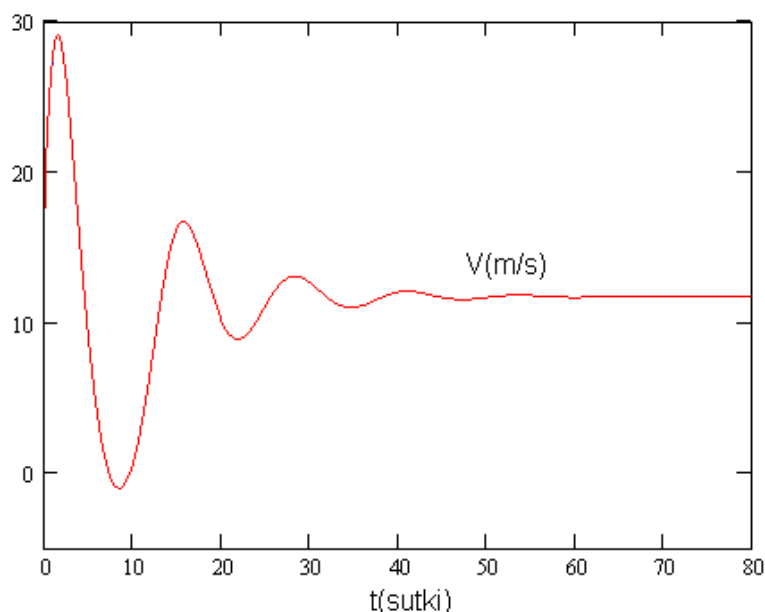


Рис.1а. Динамика скорости ветра в формирующемся тайфуне.

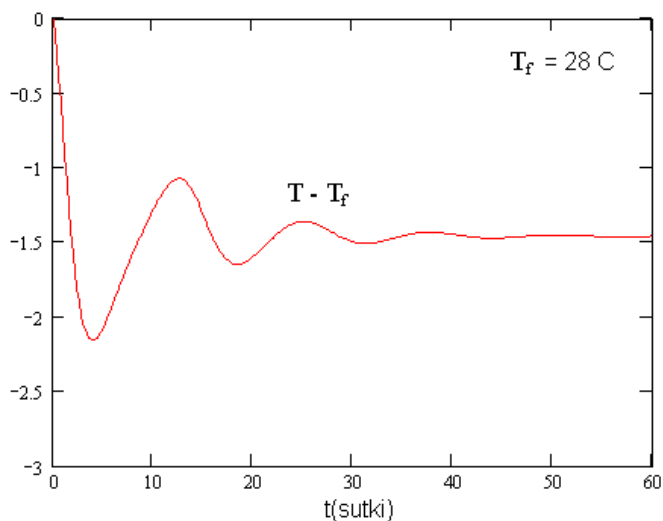


Рис.1б. Динамика температуры поверхности океана T в формирующемся тайфуне, T_f фоновая температура.

Как видим, она вполне подобна полученной в [2]. На квазистационарной стадии вихря температура T принимает значение 26.57, которое слегка выше пороговой величины $T_* = 26.5$. Для полного жизненного цикла тайфуна (с учетом стадии его затухания) динамика скорости ветра и температуры поверхности показана на рис.3 при следующем выборе входящих параметров: $T_{f1} = 28$, $\delta T_f = 2$, $\tau = 10$, $\gamma = 1$, $\beta = 6 \cdot 10^{-4}$, $\sigma = 3 \cdot 10^{-3}$, $V(0) = 0.3$, $T(0) = 28$, $t_1 = 20$, $\tau_d = 1$. При этом на квазистационарной стадии ТЦ скорость ветра достигает значения $V = 45.63$, температура снижается до величины 26.64. На конце стадии затухания она становится близкой к 24. Изменением исходных параметров системы можно менять динамику рассматриваемого процесса.

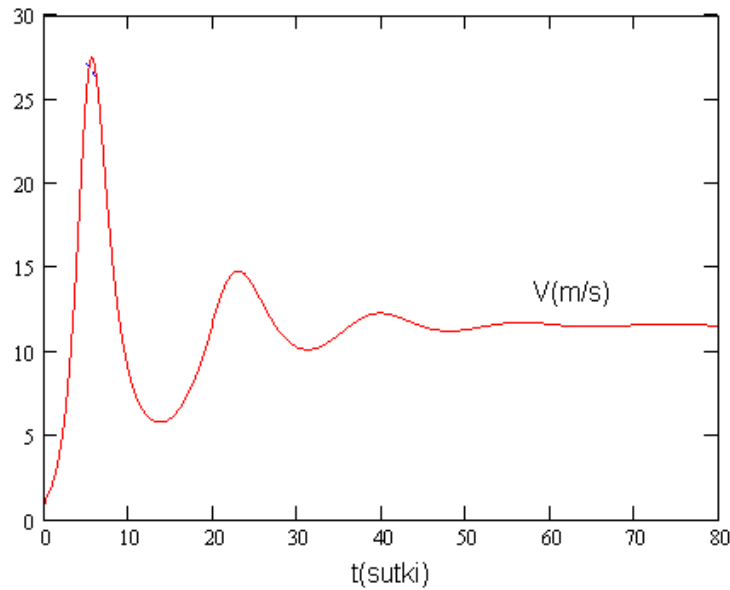


Рис.2а. Динамика скорости ветра в формирующемся тайфуне для модифицированной модели.

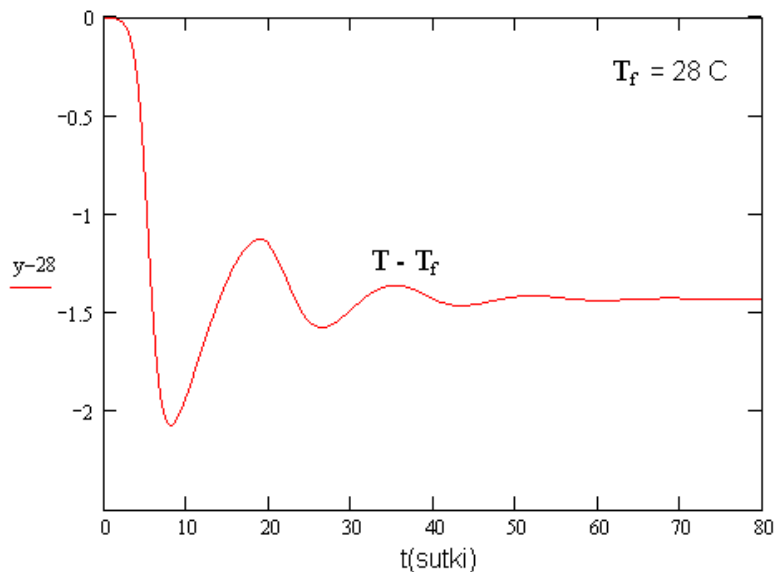


Рис.2б. Динамика температуры поверхности океана в формирующемся тайфуне для модифицированной модели.

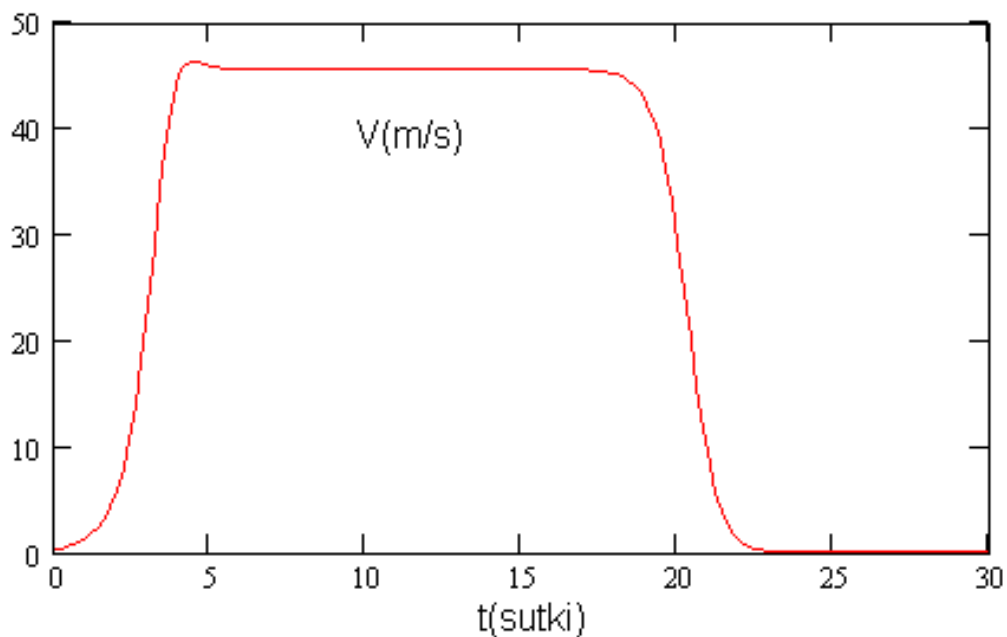


Рис.3а. Динамика скорости ветра с учетом фазы затухания тайфуна.

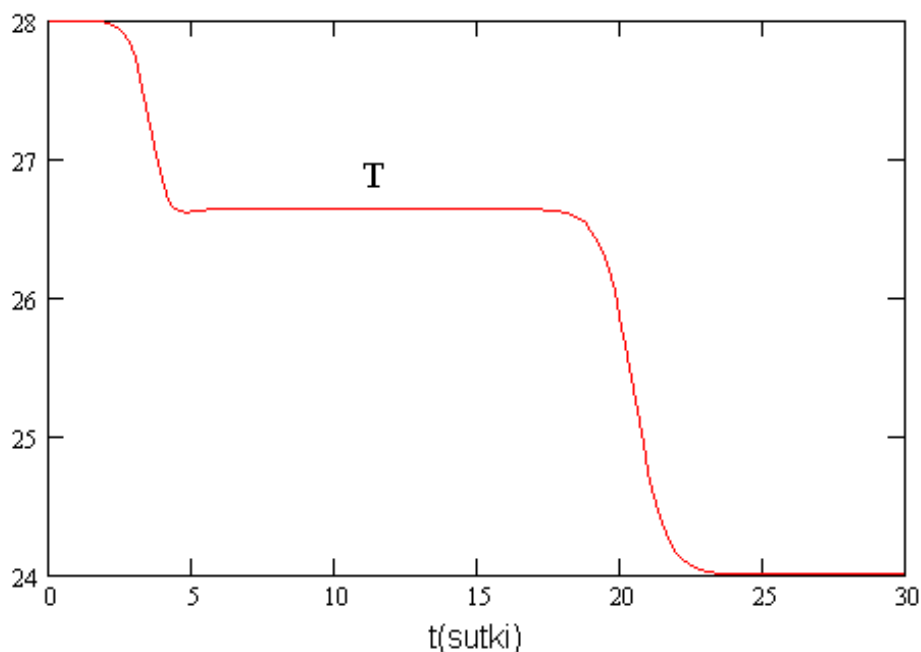


Рис.3б. Динамика температуры с учетом фазы затухания тайфуна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненного исследования состоят в следующем. Во-первых, предложена и обоснована модифицированная нелинейная модель временной динамики крупномасштабного атмосферного вихря типа тайфуна. Стадия затухания тайфуна учитывается введением в уравнения зависящего от времени параметра – равновесной фоновой температуры $T_f(t)$, понижение которой ниже порогового уровня приводит к затуханию крупномасштабного атмосферного вихря.

Во-вторых, проведены численные расчеты временной динамики вихря в рамках модифицированной нелинейной модели, содержащей свободные параметры, меняя которые можно управлять ходом процессов формирования и затухания тайфуна, длительностью его квазистационарной фазы, максимальной скоростью ветра.

Представленная модель может быть полезной в исследованиях регионального тропического циклогенеза, в том числе, при построении аналитических моделей регионального циклогенеза, в разработке методик прогноза его интенсивности, а также при анализе влияния солнечно-земных связей на динамику крупномасштабных кризисных атмосферных процессов типа тропических ураганов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шулейкин В.В. Расчет развития, движения и затухания тропических ураганов и главных волн, создаваемых ураганами, Л.: Гидрометеиздат, 1978, 95 с.
2. Ярошевич М.И., Ингель Л.Х. ДАН, 2004, т.399 (3), с.397.
3. Васильев С.С., Дергачев В.А., Распопов О.М. Геомагнетизм и аэрономия, 2004, т.44 (1), с.123.
4. Миронова И.А. Геомагнетизм и аэрономия, 2002, т.42 (1), с.135.