

ДИНАМИКА ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ ПРИ БЫСТРЫХ ВАРИАЦИЯХ ФОНОВОЙ ОБСТАНОВКИ.

**Ерохин Н.С., Зольникова Н.Н., Михайловская Л.А.,
Артеха С.Н.**

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

***e-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru,
nzolnik@iki.rssi.ru***



**XXVI Научная сессия Совета РАН по нелинейной динамике
Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН**

18 - 19 декабря 2017 г., Москва

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. При ее решении необходимо учитывать большое количество внешних факторов, таких как влияние солнечной радиации, солнечно-земных связей, ионизации атмосферы космическими лучами и др.

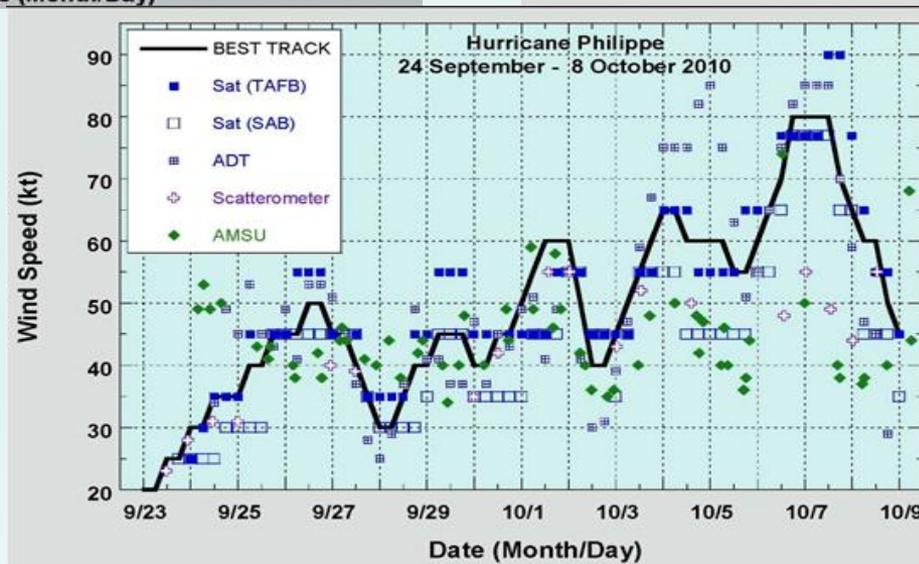
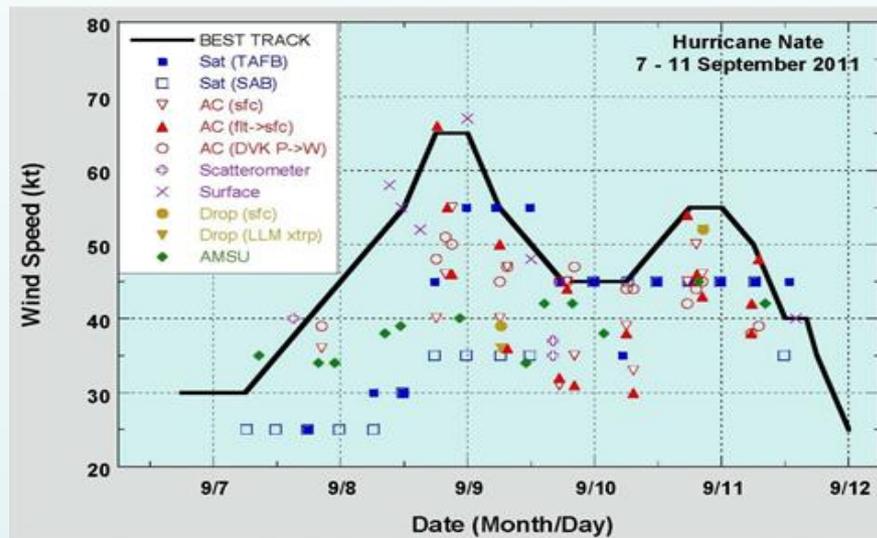
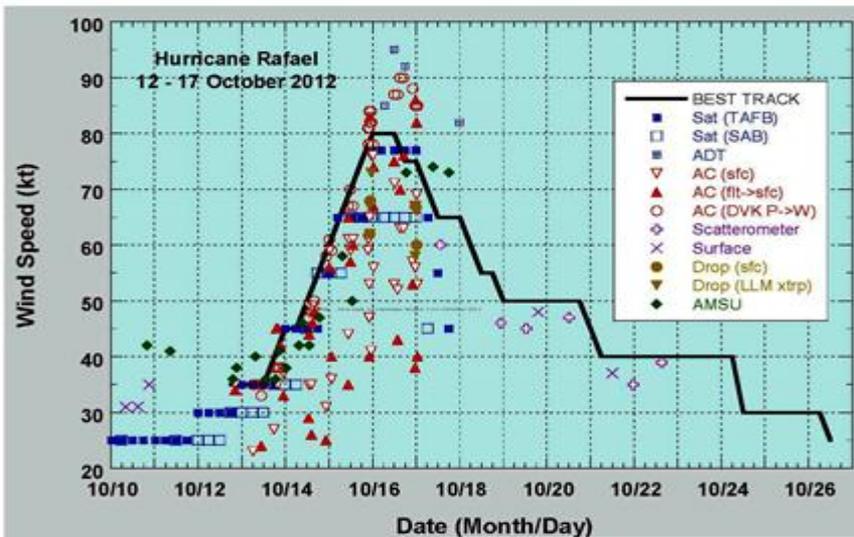
Тропические циклоны представляют собой крупные вихри, достигающие в диаметре (1000 – 1500) км, а иногда и более, и простирающиеся по вертикали на всю тропосферу до (15 – 18) км.



Максимальная скорость ветра в наиболее мощных ТЦ достигает $v_m = 90 - 100$ м/с (примером является тайфун Ирма в сентябре 2017). Минимальное давление у поверхности океана в центре вихря доходит до рекордно низких в метеорологии значений

(абсолютный минимум – 870 гПа – был зафиксирован в супертайфуне Тип в октябре 1979 г.).

Характерные профили скорости ветра (м/сек) в тайфунах



Численное решение соответствующей системы гидродинамических уравнений является довольно трудоёмким и к тому же требует достаточно мощных компьютеров.

В 2004 году *Ярошевич и Ингель в работе* «Тропический циклон как элемент системы океан-атмосфера», ДАН, 2004, т.399, № 3, с.397-400

предложили для упрощенного описания вихря малопараметрическую модель (МПМ), в которой при помощи системы нелинейных дифференциальных уравнений для максимальной скорости ветра и температуры поверхности океана в зоне тайфуна достаточно реалистично описывается формирование крупномасштабного вихря из слабой тропической депрессии (ТД), его интенсификация до уровня тайфуна и квазистационарная фаза. Затем были предложены обобщения этой модели для изучения полного жизненного цикла тропических циклонов от момента зарождения до затухания вследствие выхода в область, где вода более холодная, или на материк, а также для исследования возможности одновременного существования в заданном регионе двух ТЦ и их конкуренции.

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.

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.

Обобщенная нелинейная модель содержит свободные 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. 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 и пр.

ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ МПМ

Согласно работам

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.

Н.С.Ерохин, Зольникова Н.Н., Михайловская Л.А. Химическая физика тропического циклогенеза. Химическая физика, 2011, т.30, № 5, с. 80-83

Уравнения обобщенной МПМ имеют вид

$$\frac{dV}{dt} = \gamma(T - T_c)V - \mu V^2$$
$$\frac{dT}{dt} = -b(T - T_1)V^2 + \frac{(T_f - T)}{\tau}$$

Здесь $V(t)$, м/сек – максимальная скорость ветра в зоне тайфуна,
 $T(t)$, °С – температура поверхности океана в зоне тайфуна

τ – характерное время изменения температуры поверхности океана
(в сутках)

$T_1 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура холодной воды, поднимающейся к поверхности океана,
 $T_c = 26,5 \text{ }^\circ\text{C}$ – критическая температура поверхности, необходимая для
 образования тайфуна. *Покровская И.В., Шарков Е.А.* (2009) указали, что T_c
 может зависеть от региона. $T_f(t)$ – фоновая температура поверхности океана,
 в которую включено влияние всех внешних факторов, таких как *возникновение
 слабого ветра* (в отсутствие тайфуна) под действием малого внешнего возму-
 щения. В качестве внешних факторов также могут выступать *вариации солнечной
 активности*, характеризуемые, например, числами Вольфа, *явление Эль-Ниньо*
 и др. Также будем учитывать прогрев поверхности за счёт *глобального
 потепления*. Фоновую температуру $T_f(t)$ при расчетах динамики одного ТЦ будем
 моделировать следующей функцией (отметим, что этот выбор не является
 единственным):

$$T_f(t) = T_0 + \delta T_f(t) \quad (2)$$

$$\delta T_f(t) = \delta T_1 \cdot \left[1 + th \left(\frac{t-t_1}{\tau_1} \right) \right] - \delta T_2 \cdot \left[1 + th \left(\frac{t-t_2}{\tau_2} \right) \right] + c$$

τ_1, τ_2 характерные времена изменения температуры $\delta T_f(t)$, и $t_1 < t_2$. Отметим, что
 в зоне зарождения тайфуна вначале температура $T_f(t)$ возрастает на величину
 $2 \cdot \delta T_1$ и при превышении порога начинается крупномасштабная неустойчивость с
 генерацией ТЦ. 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 МПМ можно также менять начало и конец активного сезона, число возникающих тайфунов и штормов в этот период и их характеристики. Рассмотрим процесс генерации в активном сезоне РКЦ $6 < t < 80$ четырех ТЦ с временем жизни **11, 7, 9 и 17** суток. Для описания динамики циклогенеза в формуле (2) для $\delta T_f(t)$ используем представление, где параметр σ отвечает за нестационарность фоновой обстановки, а параметр c – за нагрев поверхности вследствие глобального потепления.

$$\delta T_f(t) = G(t) \cdot \sum_{n=1}^4 \left\{ \delta T_{n1} \cdot \left[1 + th \left(\frac{t - t_{n1}}{\tau_{n1}} \right) \right] - \delta T_{n2} \cdot \left[1 + th \left(\frac{t - t_{n2}}{\tau_{n2}} \right) \right] \right\} + c$$

$$G(t) = 1 + \sigma \cdot \sin \left(\frac{2\pi t}{2} \right) \quad n = 1, 2, 3, 4 \quad (3)$$

Значения остальных параметров выберем следующим образом:

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

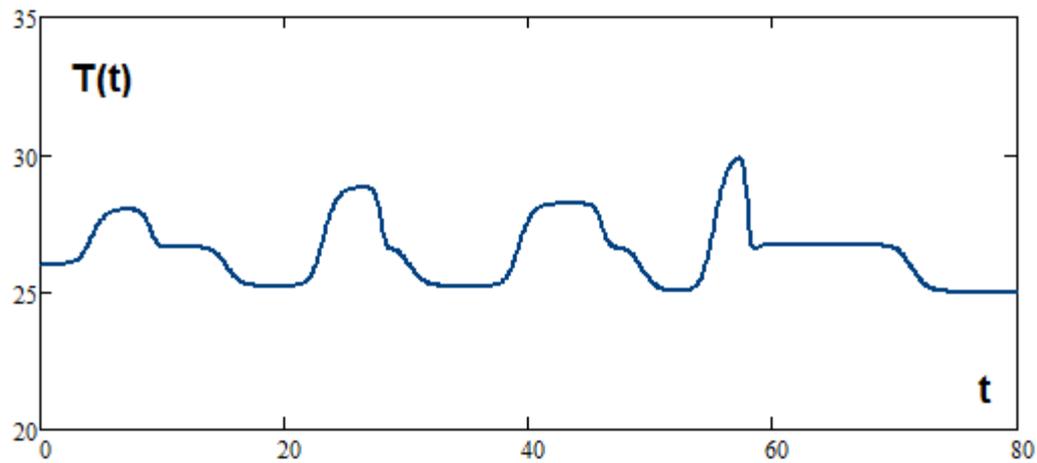
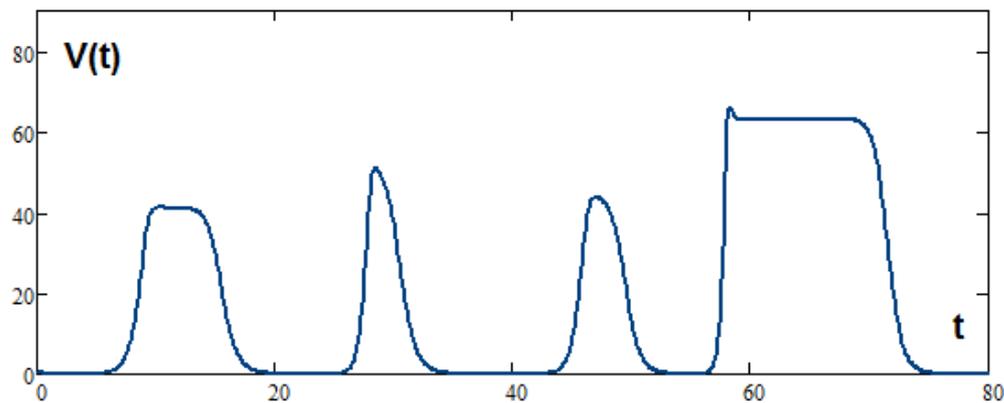
$$\delta T_{11} = 1, \delta T_{12} = 1.4, \delta T_{21} = 1.8, \delta T_{22} = 1.8, \delta T_{31} = 1.5, \delta T_{32} = 1.6, \delta T_{41} = 2.5, \delta T_{42} =$$

$$2.5, \quad \tau_{n1} = \tau_{n2} = 1, t_{11} = 4, t_{12} = 15, t_{21} = 23, t_{22} = 30, t_{31} = 39,$$

$$t_{32} = 49, t_{41} = 55, t_{42} = 71.$$

СТАБИЛЬНАЯ ФОНОВАЯ ОБСТАНОВКА

Были смоделированы четыре тайфуна с разным временем жизни 11, 7, 9 и 17 суток и следующими значениями параметров:



$$\gamma = 1, \mu = 3 \cdot 10^{-3}, b = 7 \cdot 10^{-4},$$

$$\tau = 0.25, T_c = 26.5, T_1 = 23,$$

$$V(0) = 0.2, T(0) = 26,$$

$$\delta T_{11} = 1, \quad \delta T_{12} = 1.4,$$

$$\delta T_{21} = 1.8, \quad \delta T_{22} = 1.8,$$

$$\delta T_{31} = 1.5, \quad \delta T_{32} = 1.6,$$

$$\delta T_{41} = 2.5, \quad \delta T_{42} = 2.5,$$

$$\tau_{n1} = \tau_{n2} = 1, t_{11} = 4, t_{12} = 15, t_{21} =$$

$$23, t_{22} = 30, t_{31} = 39,$$

$$t_{32} = 49, t_{41} = 55, t_{42} = 71.$$

Рис. 1. Профили скорости ветра и температуры поверхности при $\sigma = 0$ и $c = 0$

УЧЕТ НАГРЕВА ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА

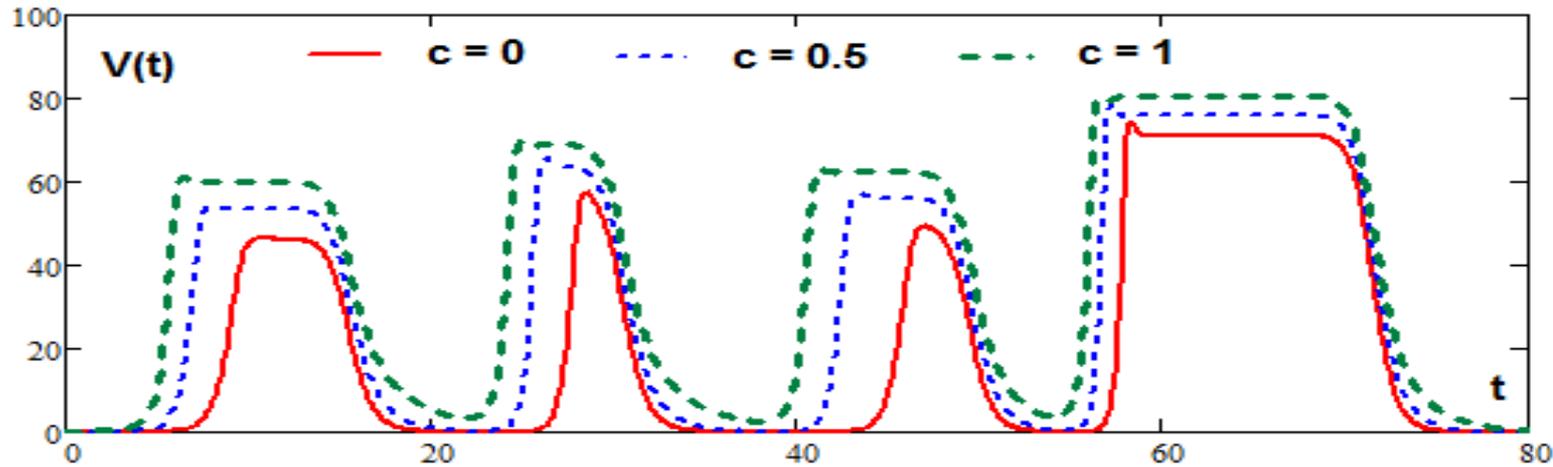


Рис. 2. Профиль скорости ветра при параметре нестационарности $\sigma = 0$ и увеличении температуры поверхности на 0.5°C ($c = 0.5$) и 1°C ($c = 1$). Наблюдается увеличение длительности активной фазы на (2 – 6) суток и усиление скорости ветра на (5 – 15) м/с

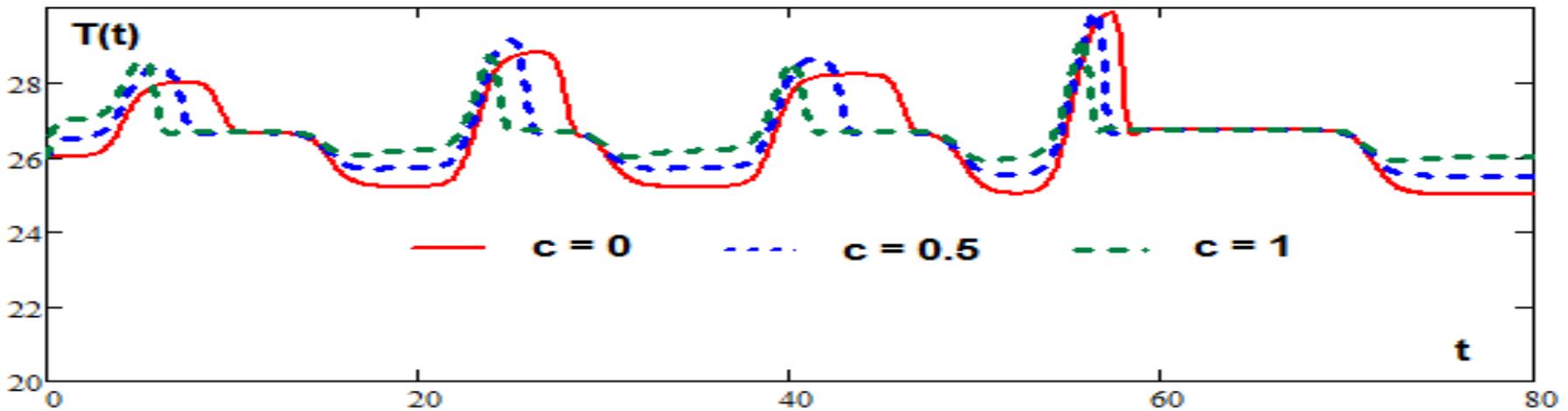


Рис.3. Профиль температуры поверхности океана при параметре нестационарности $\sigma = 0$ и рост температуры поверхности на 0.5°C ($c = 0.5$) и 1°C ($c = 1$)

СЛАБЫЕ КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ (день-ночь) ВАРИАЦИИ ФОНОВОЙ ОБСТАНОВКИ

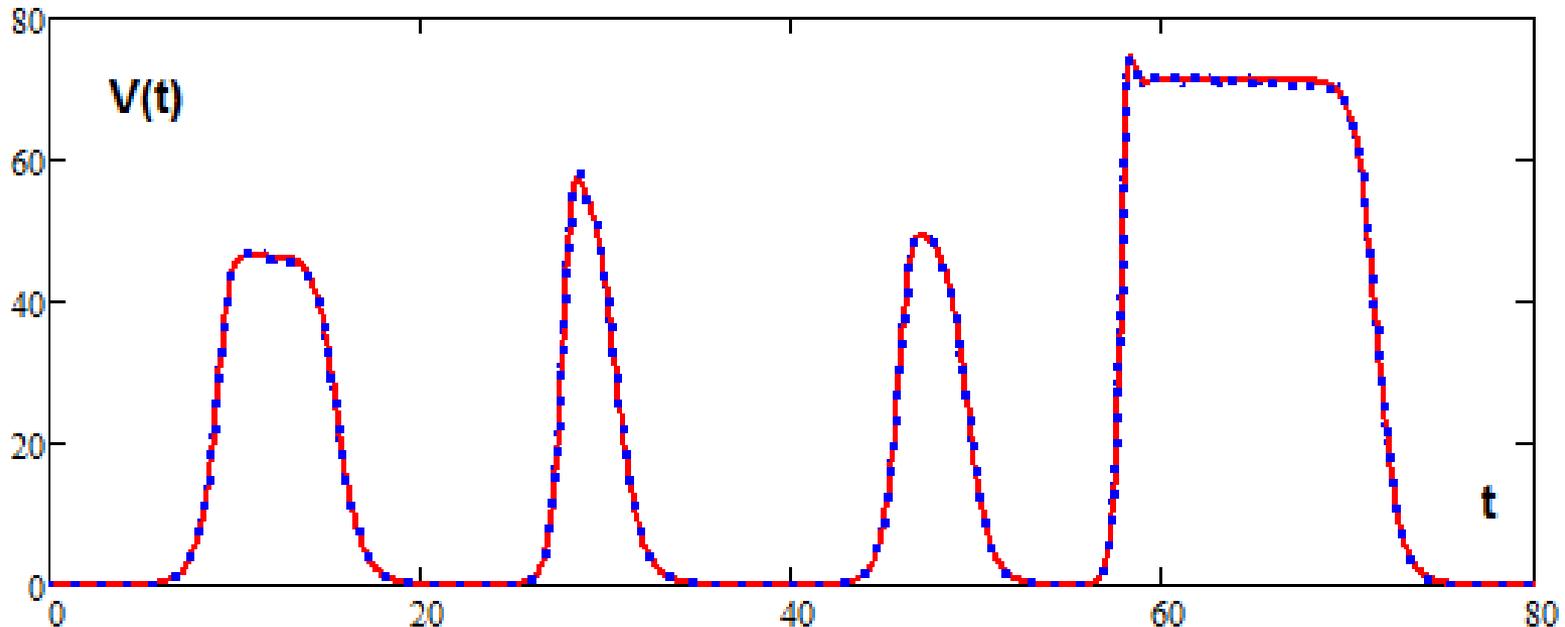


Рис. 4. Профиль скорости ветра при параметре нестационарности $\sigma = 0.004$ и $c = 0$

Как видим, колебания фона в течение суток (день-ночь) с амплитудой $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ не влияют на динамику циклонов.

СЛАБЫЕ КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ (день-ночь) ВАРИАЦИИ ФОНОВОЙ ОБСТАНОВКИ

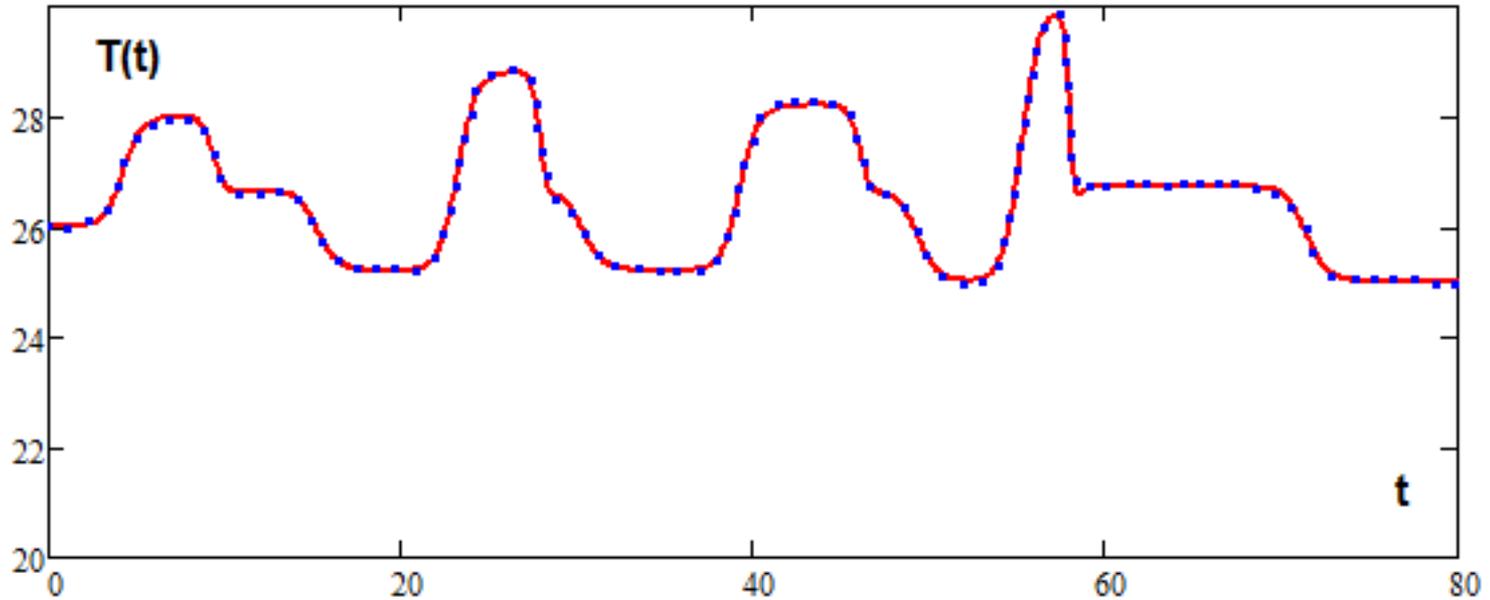


Рис. 5. Профиль температуры поверхности при параметре нестационарности $\sigma = 0.004$ и $c = 0$

СИЛЬНЫЕ ВАРИАЦИИ ФОНОВОЙ ОБСТАНОВКИ С ПЕРИОДОМ 8 СУТОК

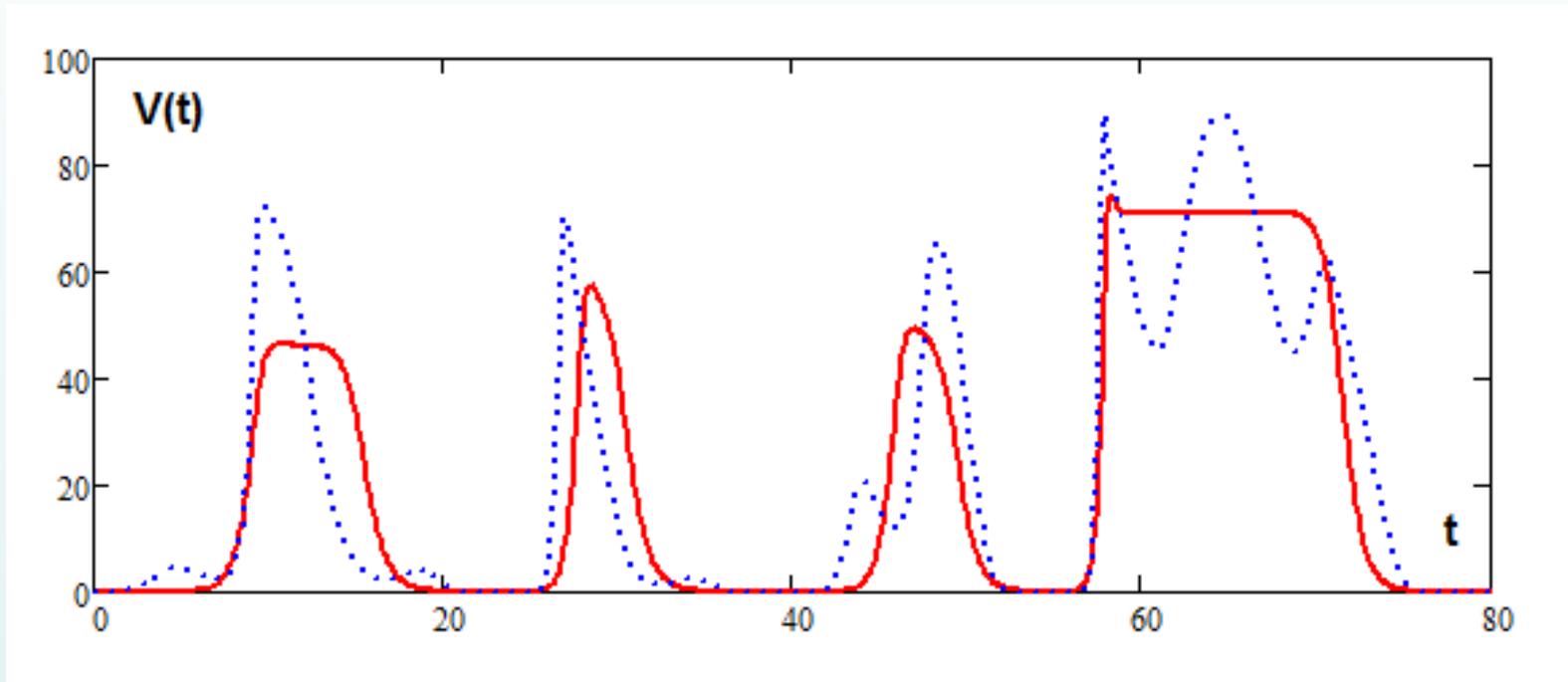


Рис. 6. Профиль скорости ветра при параметре нестационарности $\sigma = 0.07$

При амплитуде колебаний фона примерно в 1°C и периодом порядка **8 суток** амплитуда вариаций скорости ветра в тайфунах может достигать примерно **24 м/сек**. При этом длительность активной фазы для коротко- и среднеживущих циклонов уменьшается. Синий график с колебаниями $V(t)$ фона

СИЛЬНЫЕ ВАРИАЦИИ ФОНОВОЙ ОБСТАНОВКИ С ПЕРИОДОМ 8 СУТОК

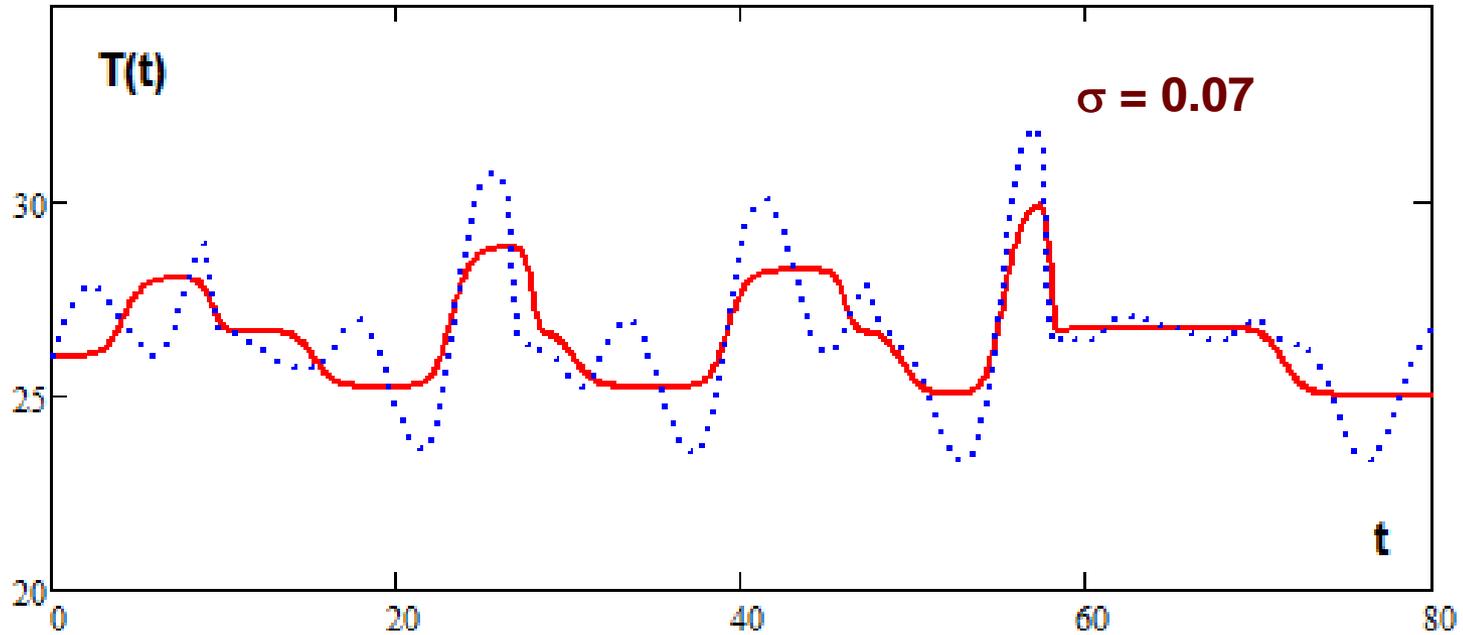


Рис. 7. Профиль температуры поверхности при параметре нестационарности $\sigma = 0.07$

Амплитуда вариаций температуры поверхности для всех тайфунов составляет около 2°C

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

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 в случае глобального потепления при нагреве поверхности океана на $0.5 - 1^\circ\text{C}$ резко возрастает максимальная скорость ветра в циклонах, а также увеличивается длительность развитой стадии, что соответствует наблюдениям последних лет.

Показано, что учёт слабых короткопериодных колебаний фоновой температуры не оказывает влияния на динамику циклонов.

Показано, что при амплитуде колебаний фона примерно в 1°C и периодом порядка нескольких суток амплитуда вариаций скорости ветра в тайфунах резко возрастает. При этом длительность развитой стадии для коротко- и среднеживущих циклонов уменьшается

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

Таким образом 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

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ярошевич М.И., Ингель Л.Х.* // Тропический циклон как элемент системы океан- атмосфера. ДАН, 2004. Т.399. № 3. С.397-400.
2. *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.
3. *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.
4. *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.
5. *Н.С.Ерохин, Зольникова Н.Н., Михайловская Л.А.* Химическая физика тропического циклогенеза. Химическая физика, 2011, т.30, № 5, с. 80-83.
6. *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.



Благодарю за внимание !

**Работа выполнена при финансовой
поддержке РФФИ, грант
16-05-00551**