

**НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА РЕГИОНАЛЬНОГО
ЦИКЛОГЕНЕЗА В РАМКАХ МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ**

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

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

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

Восьмая Всероссийская Открытая конференция
Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса
15-19 ноября 2010 г., ИКИ РАН,
Москва

Аннотация.

Продолжен анализ малопараметрической нелинейной модели регионального крупномасштабного циклогенеза (РКЦ), позволяющей исследовать роль солнечной активности, солнечно-земных связей, явлений Эль-Ниньо и других факторов в сезонном ходе РКЦ, его особенности, а также изучать в зависимости от выбора характерных параметров данной проблемы различные сценарии временной динамики РКЦ.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных вопросов в проблеме влияния солнечной радиации, солнечно-земных связей на атмосферу является вопрос о их роли во временной динамике крупномасштабных вихревых процессов в атмосфере кризисного характера типа тропических ураганов, тайфунов и внетропических циклонов. Ранее для упрощенного описания временной динамики тайфуна была предложена малопараметрическая нелинейная модель вихря в виде системы уравнений для максимальной скорости ветра и температуры поверхности океана в зоне тайфуна, которая достаточно реалистично описывает временную динамику крупного вихря включая стадию его формирования из слабого синоптического возмущения и квазистационарную фазу [1].

Позднее было показано [2], что обобщение данной модели позволяет изучать полный жизненный цикл тропических ураганов включая стадию затухания вихря при его выходе на сушу либо смещения в область более холодной воды, а также [3] возможность одновременного существования в заданном регионе двух тайфунов и их конкуренции.

Дальнейшее развитие малопараметрической нелинейной модели связано с учетом нестационарности фоновой обстановки, в частности, температуры поверхности океана, и введением в задачу эффективных источников атмосферных возмущений, например, обусловленных вариациями потока солнечной радиации, солнечно-земными связями т.е. параметры модели могут меняться со временем. В результате становятся возможными триггерный запуск процесса генерации крупномасштабного мощного вихря вследствие развития неустойчивости атмосферы и последующее затухание тайфуна по истечении некоторого времени. В дальнейшем происходит подготовка системы океан-атмосфера к повторной генерации ураганов по достижении ее параметрами пороговых значений.

Исследуемая нелинейная модель содержит ряд свободных параметров, выбором значений которых можно в определенной степени управлять временной динамикой изучаемого процесса включая моделирование сезонного хода крупномасштабного регионального циклогенеза т.е. числа формирующихся в данном регионе тайфунов в период активного сезона, их характеристик (максимальной скорости ветра, продолжительности существования и др.).

Проведенные численные расчеты в рамках малопараметрической нелинейной модели подтверждают, что свободные параметры модели определяют интенсивность регионального циклогенеза (число кризисных событий в активном сезоне), длительность и интенсивность отдельных тайфунов, максимальную скорость ветра в урагане, длительность подготовки системы к генерации вихрей, моменты их зарождения.

Таким образом нелинейная система уравнений МНМ позволяет моделировать особенности временной динамики региональных крупномасштабных циклогенезов, в том числе исследовать их

зависимость от внешних факторов типа потока солнечной радиации, солнечно-земных связей, явления Эль-Ниньо и др., изучавшихся, например, в работах [4-6] на основе анализа корреляций между интенсивностью циклогенеза и внешними факторами. Необходимо отметить, что корреляционные связи между солнечной активностью и кризисными процессами в атмосфере были замечены давно. Однако позднее, более детальные исследования на временных интервалах большей длительности выявили их изменчивость. Было установлено, что они могут ослабевать, исчезать или даже менять знак.

Из проведенного анализа видно, что обобщенная, малопараметрическая нелинейная модель с учетом экспериментальных данных по параметрам крупномасштабных возмущений типа ТЦ позволяет получить аналитическую модель сезонного хода РКЦ, что представляет большой научный и практический интерес, в частности, для разработки современных методик прогноза кризисных атмосферных явлений, при анализе влияния ураганов на крупномасштабную циркуляцию атмосферы и т.д.

ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ

Ранее при анализе временной динамики полного жизненного цикла урагана исследовалась [2] следующая нелинейная малопараметрическая модель, включающая систему связанных уравнений для максимальной скорости ветра в тайфуне $V(t)$ и температуры поверхности океана $T(t)$ в области тропического циклона

$$dV/dt = \gamma (T - T_c)V - \mu V^2, \quad dT/dt = -b (T - T_1) V^2 + (T_f - T)/\tau. \quad (1)$$

Выбор значений исходных параметров данной задачи γ , μ , b , характерного времени релаксации τ , температур T_c , T_1 и функции $T_f(t)$ был обоснован ранее в работах [1-3]. В формулах (1) скорость $V(t)$ измеряется в м/сек, температура $T(t)$ в $^{\circ}\text{C}$, время t в сутках. Отметим, что интенсификация слабых синоптических возмущений начинается при температурах поверхности океана T выше некоторого порогового значения T_c . В соответствии с рекомендациями работы [1] полагаем $T_c = 26.5$ $^{\circ}\text{C}$, а для температуры холодной воды, поднимающейся к поверхности океана, берем значение $T_1 = 23$ $^{\circ}\text{C}$.

Чтобы учесть изменение фоновых условий для переменной равновесной температуры T_f в расчетах динамики урагана использовалась следующая функция

$$T_f(t) = T_0 + \delta T_1 [1 + \text{th } s_1(t)] - \delta T_2 [1 + \text{th } s_2(t)], \quad (2)$$

где δT_1 , δT_2 характерные значения изменения фоновой температуры T_f , $s_1(t) = (t - t_1) / \tau_1$, $s_2(t) = (t - t_2) / \tau_2$. Ниже полагаем, что $t_1 < t_2$. Для описания сезонного хода регионального тропического циклогенеза с учетом внешних воздействий в качестве эффективных источников возмущений возможно следующее обобщение малопараметрической модели (1)

$$\begin{aligned} dV/dt &= \gamma (T - T_0) V - \mu \cdot V^2 + y(t), \\ dT/dt &= -b \cdot (T - T_0) \cdot V^2 + (T_f - T) / \tau, \\ dT_f/dt &= f(t) - v \cdot (T_f - T_0). \end{aligned} \quad (3)$$

В уравнениях (3) источник $f(t)$ описывает влияние внешних факторов на температуру поверхности океана, а функция $y(t)$ генерацию слабого ветра (при отсутствии тайфуна) малым возмущением, например, градиентом давления.

Как уже указывалось выше в качестве внешних факторов могут выступать вариации солнечной активности, характеризуемые, например, числами Вольфа, явление Эль-Ниньо и др.

В зоне формирования урагана температура $T_f(t)$ вначале возрастает (начинается крупномасштабная неустойчивость), а позднее она уменьшается (смещение тайфуна в область более холодной воды и его затухание). В случае описания временной динамики нескольких тайфунов формула для функции $\delta T_f(t)$ должна содержать несколько слагаемых типа указанных выше в (2).

Результаты численных расчетов с выбором исходных характеристик в уравнениях (1), соответствующих генерации в активный сезон двух ураганов, представлены ниже на рис.1 графиками максимальной скорости ветра и температуры поверхности океана. Начальные данные были взяты следующие: $V(0) = 0.21$ м/сек, $T(0) = 26$ °С. Типичное время интенсификации возмущения до уровня тайфуна в этом примере было порядка 3 суток, на квазистационарной стадии его жизненного цикла максимальные скорости ветра в первом и втором ураганах были равны соответственно $V_1 \approx 41.09$ м/сек, $V_2 \approx 46.37$ м/сек.

В формуле (3) для фоновой температуры поверхности океана δT_f полагали следующие значения параметров $\delta T_{11} = 1$, $\delta T_{12} = 2$ (первый тайфун), $\delta T_{21} = 2.2$, $\delta T_{22} = 2.4$ (второй тайфун). После затухания тайфунов согласно расчетам для температуры поверхности океана имеем соответственно $\min T_1 \approx 24$ °C, $\min T_2 \approx 23.6$ °C. Время подготовки системы к генерации второго тайфуна в данном варианте было порядка 22.5 суток. Времена жизни первого и второго тайфунов были соответственно 8 и 17 суток.

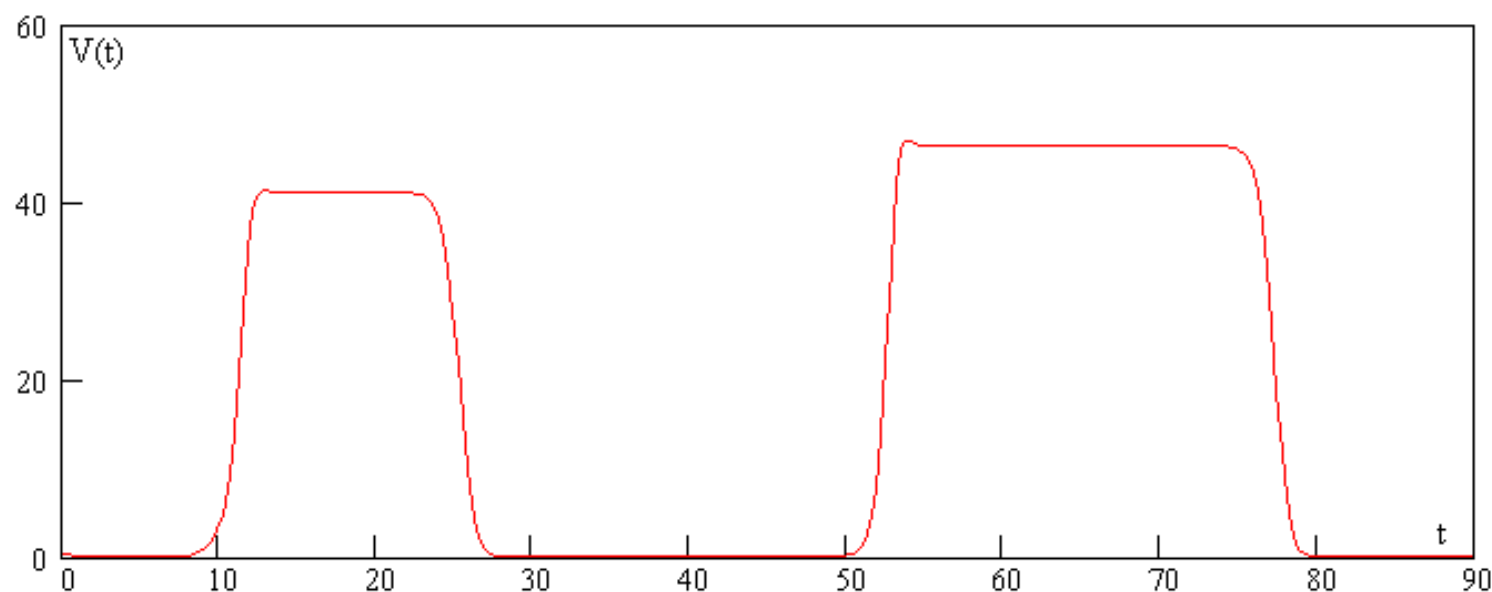


Рис.1а. Зависимость максимальной скорости ветра $V(t)$ в зоне тропического циклона при генерации двух тайфунов в активном сезоне.

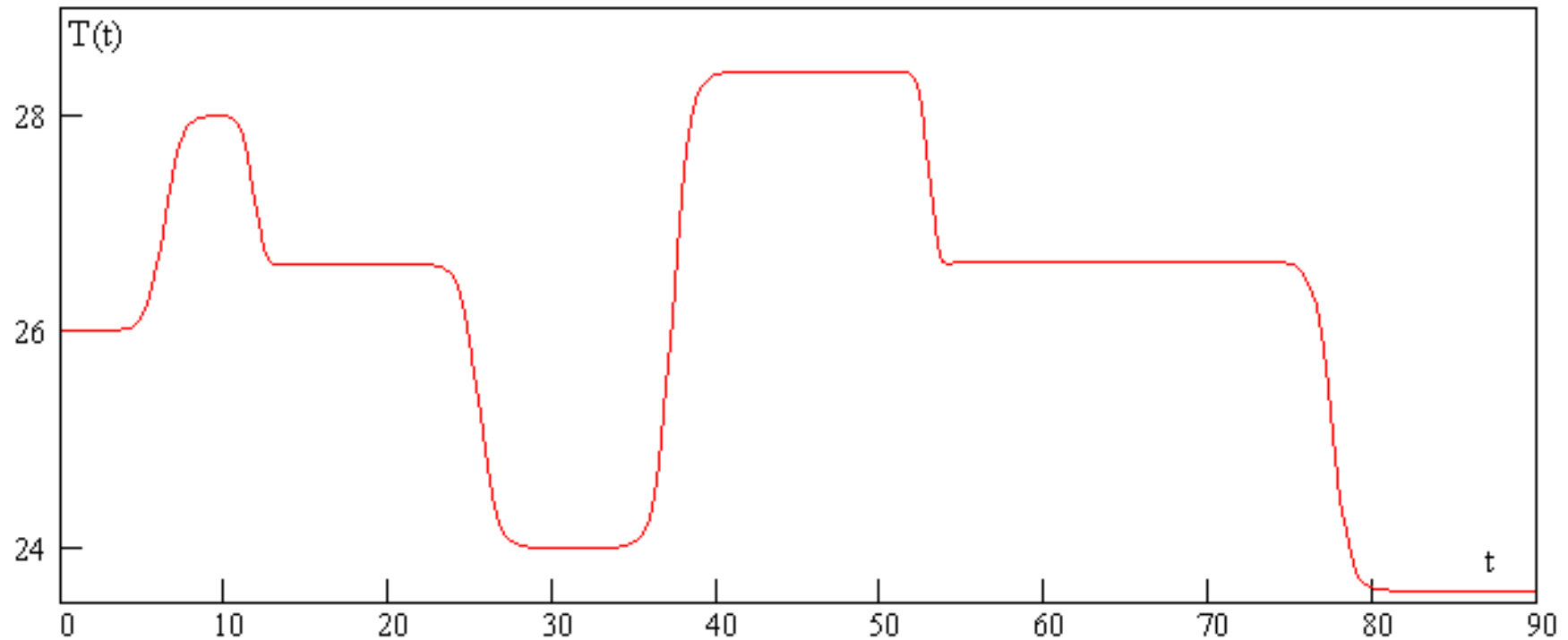


Рис.16. График температуры поверхности океана $T(t)$ в зоне тропического циклона при генерации двух тайфунов в активном сезоне.

Здесь интересно отметить следующее обстоятельство. После формирования тропического циклона на квазистационарной стадии его жизненного цикла температура поверхности океана в зоне тайфуна $T(t)$ принимает некоторое характерное значение T_s . Так для первого тайфуна получилось $T_{s1} \approx 26.62$ °C, а для второго $T_{s2} \approx 26.64$ °C т.е. они оказались близкими.

Были рассмотрены варианты с генерацией трех и четырех ураганов в активном сезоне региона. В качестве примера на рис.2. представлены графики скорости ветра и температуры поверхности океана в зоне тайфуна в случае возникновения (в разное время) 3 ураганов в активном сезоне. При этом для параметров функции $\delta T_f(t)$ были выбраны следующие значения: $\delta T_{11} = 1$, $\delta T_{12} = 2$; $\delta T_{21} = 2.5$, $\delta T_{22} = 2.7$; $\delta T_{31} = 1.9$, $\delta T_{32} = 2.6$. По результатам численных расчетов интервалы времен существования трех ТЦ оказались следующие: (9.9÷21.6) суток, (33÷51.5) суток, (75÷87.9) суток.

Согласно численным расчетам максимальные скорости ветров и температуры поверхности океана в зоне каждого тайфуна были равны соответственно 41.9 м/сек, 53.31 м/сек, 31.54 м/сек; $T_{s1} \approx 27.99$ °С, $T_{s2} \approx 32.7$ °С, $T_{s3} \approx 27.4$ °С.

Как видно из сравнения рис.1 и рис.2, структура профилей $V(t)$, $T(t)$ в обоих вариантах вполне подобна. Здесь следует отметить, что выполненный анализ нелинейной, малопараметрической модели выявил заметную чувствительность сценария динамики системы океан-атмосфера к изменению значений исходных параметров задачи.

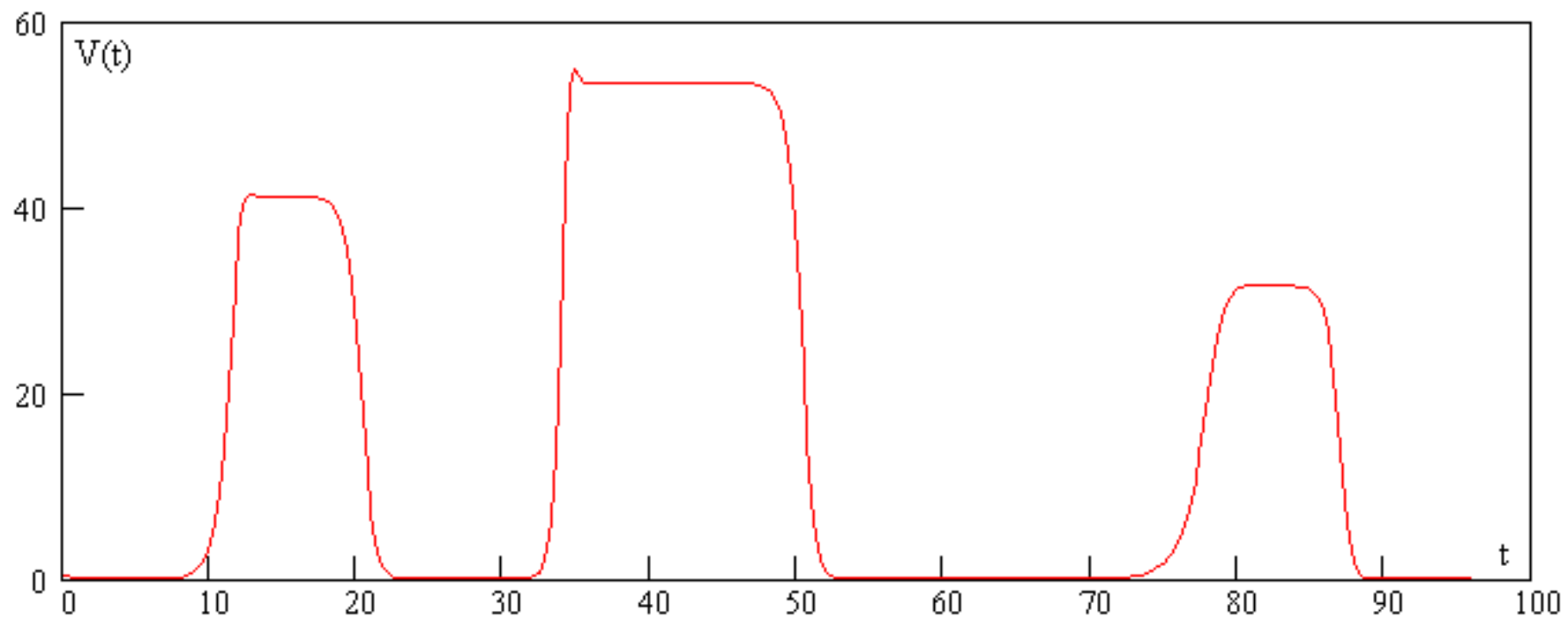


Рис.2а. Зависимость максимальной скорости ветра $V(t)$ в тропическом циклоне при генерации трех тайфунов в активном сезоне.

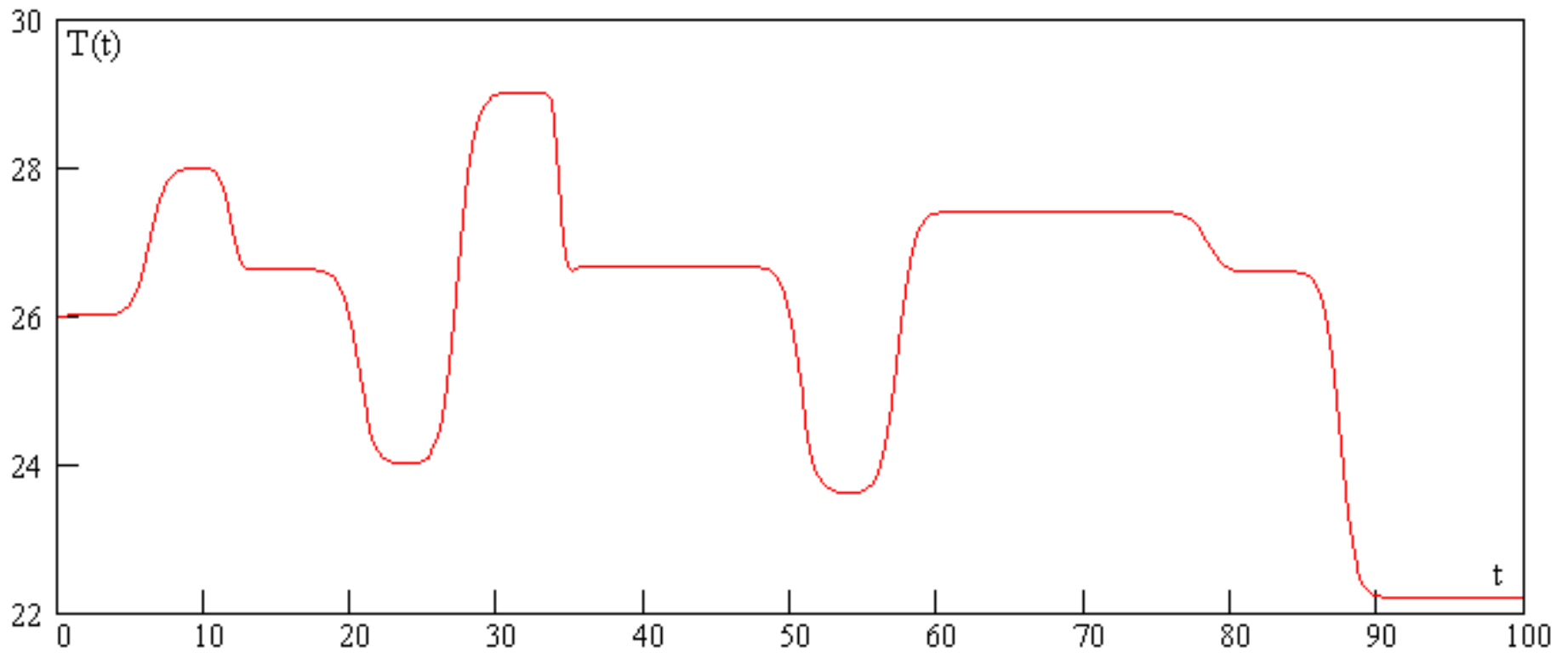


Рис.26. График температуры поверхности океана $T(t)$ в зоне тропического циклона при генерации трех тайфунов в активном сезоне.

Из проведенного выше численного анализа малопараметрической, нелинейной, нестационарной модели следует, что путем подбора исходных параметров данной задачи, а также введения внешних источников, учета нестационарности фоновой обстановки, обусловленной, в частности, перемещением вихря по поверхности океана, можно моделировать различные сценарии генерации тропических циклонов и полярных ураганов в активном сезоне регионального, крупномасштабного циклогенеза и отсутствие таких кризисных событий в заданном регионе в остальное время года, которые будут по параметрам ТЦ соответствовать результатам наблюдений.

Данные наблюдений, например, спутниковой аппаратурой или зондовых измерений необходимы для корректного выбора исходных параметров задачи, соответствующих характеристикам сформировавшихся в конкретном регионе ураганов, правильного описания влияния внешних источников на крупномасштабный тропический циклогенез с помощью эффективных схем параметризации .

В частности, это важно для учета в дальнейших исследованиях существенной роли заряженных подсистем мощных атмосферных вихрей, химических процессов в грозовой облачности, спиральности ветровых потоков, выделения скрытой теплоты фазовых преобразований атмосферной влаги.

Заключение

Изложенные выше результаты состоят в следующем. На основе обобщения ранее предложенной малопараметрической, нелинейной модели можно исследовать особенности сезонного хода временной динамики региональных крупномасштабных циклогенезов в период активного сезона, а также изучать их зависимость от различных внешних факторов, например, вариаций солнечной активности, явления Эль-Ниньо и др., которые ранее рассматривались на основе стандартного метода корреляционного анализа.

Развитый в данной работе подход с учетом экспериментальных данных по характеристикам крупномасштабных тропических возмущений типа тайфунов позволяет разработать 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 выявления их связей с другими процессами.

Вполне очевидно, что в данном подходе можно также 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 были замечены сравнительно давно. Однако позднее, более детальные исследования на временных интервалах большей длительности выявили их изменчивость. Например, оказалось, что они могут ослабевать, исчезать или даже менять знак. В частности, уменьшив 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.

Можно полагать, что наиболее эффективно, например, солнечно-земные связи могут воздействовать на крупномасштабный циклогенез в регионах, где атмосфера чаще находится вблизи порога устойчивости, а действие других факторов заметно ослаблено.

Следовательно, именно в этих регионах в первую очередь должен реализовываться триггерный запуск генерации интенсивных спиральных вихрей за счет развития крупномасштабной неустойчивости в системе океан-атмосфера.

Кроме того, современные исследования [7] указывают на необходимость спутникового мониторинга изменений в достаточно удаленном атмосферном окружении ураганов с целью учета в прогностических моделях прогноза траекторий тайфунов его заметного влияния.

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

Список литературы

1. Ярошевич М.И., Ингель Л.Х. // ДАН. 2004. Т.399. № 3. С.397.
2. Ерохин Н.С., Михайловская Л.А., Ерохин Н.Н. Научная сессия МИФИ-2007. Сборник трудов. М.: Изд-во МИФИ, 2007. Т.5. С.72.
3. Ярошевич М.И., Ингель Л.Х. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т.42. № 6. С.1.
4. Pankov V., Gusev A., Pugacheva G. et al. COSPAR-2006-A-01016. 2006, Session C2.1-0049-06.
5. Tinsley B.A. // Space Science Reviews. 2000. V.94. P.231.
6. Tsiropoul S. // J.Atm. and Solar-Terrest.Phys. 2003. V.65. P.469.
7. Астафьева Н.М., Раев М.Д. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: ООО "ДоМира", 2010. Т.7. № 1. С.61.

Благодарю за внимание !