

**АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕГИОНАЛЬНОГО  
КРУПНОМАСШТАБНОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА НА ОСНОВЕ  
НЕЛИНЕЙНОЙ МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

**Ерохин Н.С., Зольникова Н.Н.,  
Михайловская Л.А., Шкевов Р.**

*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия  
Институт космических исследований БАН, София, Болгария*

*e-mail: [nerokhin@mx.iki.rssi.ru](mailto:nerokhin@mx.iki.rssi.ru)*

**17-19 ноября 2009 г.,  
Москва**

## **Аннотация.**

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

## **ВВЕДЕНИЕ**

Одним из важных вопросов в проблеме солнечно-земных связей является вопрос о роли этих связей во временной динамике крупномасштабных вихревых процессов в атмосфере кризисного характера типа тропических ураганов, тайфунов и внетропических циклонов (ТЦ). Ранее для описания временной динамики тайфуна была предложена нелинейная модель вихря в виде системы связанных уравнений для максимальной скорости ветра в вихре и температуры поверхности океана в зоне ТЦ, которая достаточно реалистично описывает временную динамику крупномасштабного вихря включая стадию его формирования из синоптического возмущения, квазистационарную фазу и стадию затухания при выходе ТЦ на сушу либо в область более холодной воды [1].

Позднее было показано [2], что обобщение данной модели позволяет изучать сезонный КРЦ и влияние различных внешних факторов на интенсивность КРЦ.

Дальнейшее обобщение нелинейной модели, представленное в настоящем сообщении, связано с учетом нестационарности фоновой обстановки, в частности, температуры поверхности океана, и введением в задачу эффективных источников атмосферных возмущений, например, обусловленных солнечно-земными связями. Кроме того необходимо учесть, что параметры модели могут меняться со временем.

В результате становится возможным триггерный запуск процесса генерации крупномасштабного мощного вихря в результате развития неустойчивости атмосферы, затухание ТЦ по истечении некоторого времени.

Затем происходит подготовка системы океан-атмосфера к повторной генерации ураганов вследствие достижения ее параметрами пороговых значений.

Затем происходит подготовка системы океан-атмосфера к повторной генерации ураганов вследствие достижения ее параметрами пороговых значений. Анализируемая нелинейная модель содержит ряд свободных параметров, выбором которых можно в определенной степени управлять временной динамикой изучаемого процесса включая моделирование интенсивности сезонного хода регионального циклогенеза т.е. числа формирующихся в данном регионе тайфунов.

Проведенные численные расчеты подтверждают, что свободные параметры модели определяют интенсивность регионального циклогенеза (число кризисных событий в активном сезоне), длительность и мощность отдельных ТЦ, в частности, максимальную скорость ветра в урагане, длительность подготовки системы к генерации крупных вихрей и моменты их зарождения. Заметим также, что возможно обобщение малопараметрической модели, которое позволит описывать наблюдаемое со спутников одновременное существование в заданном регионе, например, двух вихрей и их конкуренцию [3].

Таким образом рассмотренная в данной работе нелинейная система позволяет моделировать особенности временной динамики региональных крупномасштабных циклогенезов, а также изучать на основе методов корреляционного анализа их зависимость от внешних факторов типа солнечно-земных связей, явления Эль-Ниньо и др., которые детально анализировались ранее, например, в работах [4-6]. 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. Было установлено, что они могут ослабевать, исчезать или даже менять знак. Так в северной Атлантике крупномасштабный циклогенез находится в фазе с солнечной активностью. Исходя из результатов проведенных исследований можно полагать, что наиболее эффективно, 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 здесь в первую очередь возможен триггерный запуск генерации интенсивных спиральных вихрей за счет развития крупномасштабной неустойчивости в системе океан-атмосфера. Из проведенного анализа следует также, что данная модель с учетом экспериментальных данных по параметрам крупномасштабных тропических возмущений позволяет разработать аналитическую модель сезонного хода интенсивности регионального тайфуногенеза, что представляет большой научный и практический интерес, например, для разработки современных методик прогноза крупномасштабных кризисных атмосферных явлений, а также при анализе влияния тропических ураганов на крупномасштабную циркуляцию атмосферы.

### **1. Временная динамика регионального крупномасштабного циклогенеза**

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

$$dV/dt = \gamma \cdot (T - T_*) \cdot V - \sigma \cdot V^2, \quad dT/dt = -\beta \cdot (T - T_1) \cdot V^2 + (T_f - T) / \tau.$$

Выбор значений исходных параметров  $\gamma$ ,  $\sigma$ ,  $\beta$ ,  $\tau$ , температур  $T_*$ ,  $T_1$  и функции  $T_f(t)$  был обоснован ранее в работах [1, 3], скорость  $V(t)$  измеряется в м / сек, температура  $T(t)$  в °С, время  $t$  в сутках. Отметим, что интенсификация слабых возмущений скорости начинается при температурах поверхности океана  $T$  выше некоторого порогового значения  $T_*$ . В соответствии с рекомендациями работы [1] полагаем  $T_* = 26,5$  °С, а для температуры холодной воды, поднимающейся к поверхности океана (апвеллинг), берем значение  $T_1 = 23$  °С. Чтобы учесть изменение фоновых условий для переменной равновесной температуры  $T_f$  в расчетах динамики урагана ранее бралась функция

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

где  $\delta T_1$ ,  $\delta T_2$  характерные значения изменения фоновой температуры  $T_f$ ,

$$s_1(t) = (t - t_1) / \tau_1, \quad s_2(t) = (t - t_2) / \tau_2.$$

Динамика отдельного урагана в течение его жизненного цикла характеризуется следующим. Пока начальное значение фоновой температуры поверхности океана  $T_f = T_0$  ниже порогового значения  $T_*$  система океан-атмосфера является устойчивой. Увеличение фоновой температуры  $T_f$  выше порогового значения приводит к развитию крупномасштабной неустойчивости и интенсификации слабого возмущения синоптического масштаба т.е. формируется ураган. Однако последующее снижение  $T_f$  ниже порогового значения, обусловленное, например, смещением ТЦ в область более холодной воды приводит к затуханию мощного вихря. При интенсификации вихря достигается максимальное значение скорости ветра, а на квазистационарной стадии ТЦ температура поверхности океана будет слегка выше порогового значения  $T_*$ .



Из проведенных численных расчетов следует, что выбором исходных параметров задачи можно управлять динамикой урагана, например, менять максимальную скорость ветра в ТЦ, момент интенсификации крупномасштабного возмущения, длительность квазистационарной фазы урагана, время подготовки системы океан-атмосфера к повторному развитию неустойчивости и т.д.

Следовательно, на основе модификации предложенной ранее малопараметрической модели путем соответствующего выбора исходных характеристик с учетом экспериментальных данных по параметрам крупномасштабных тропических возмущений можно разработать аналитическую нелинейную модель, пригодную для описания сезонного хода интенсивности регионального крупномасштабного циклогенеза.

Для описания сезонного хода регионального тропического циклогенеза рассмотрим следующее обобщение нелинейной малопараметрической модели

$$dV / dt = \gamma \cdot (T - T_*) \cdot V - \sigma \cdot V^2 + \psi(t),$$

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

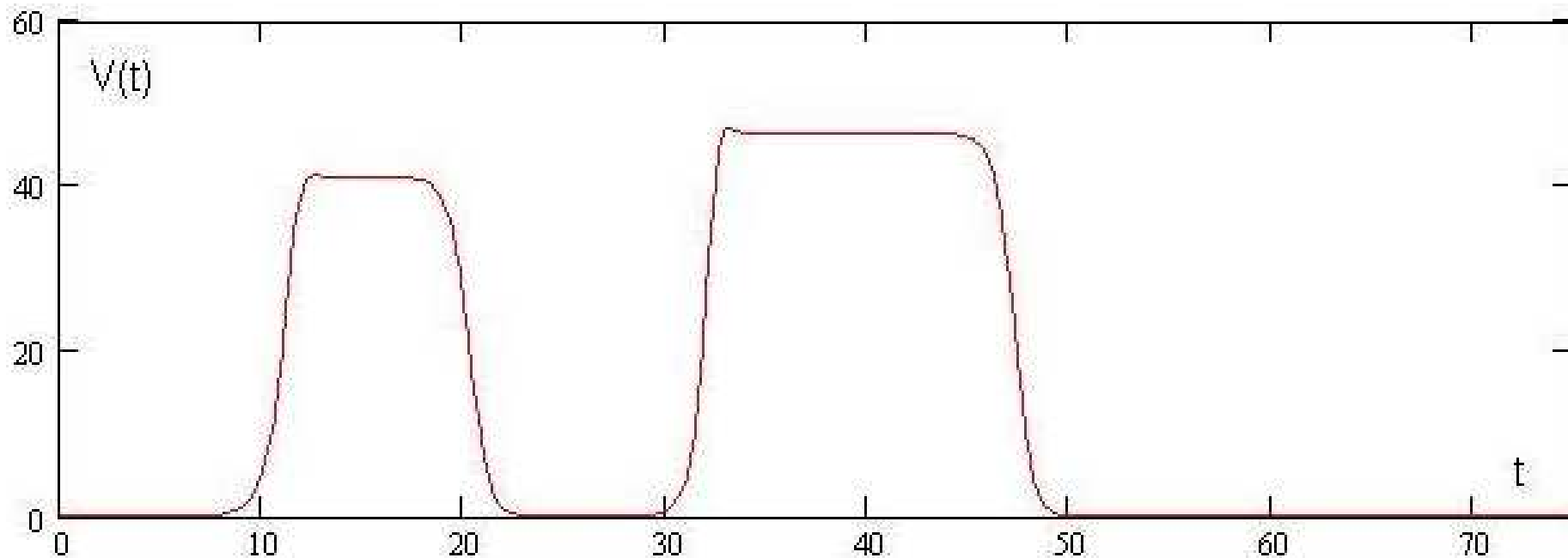
$$dT_f / dt = f(t) - \nu (T_f - T_0).$$

где источник  $f(t)$  учитывает влияние внешних факторов на температуру поверхности океана, а функция  $\psi(t)$  генерацию слабого ветра малым возмущением, например, градиентом давления.

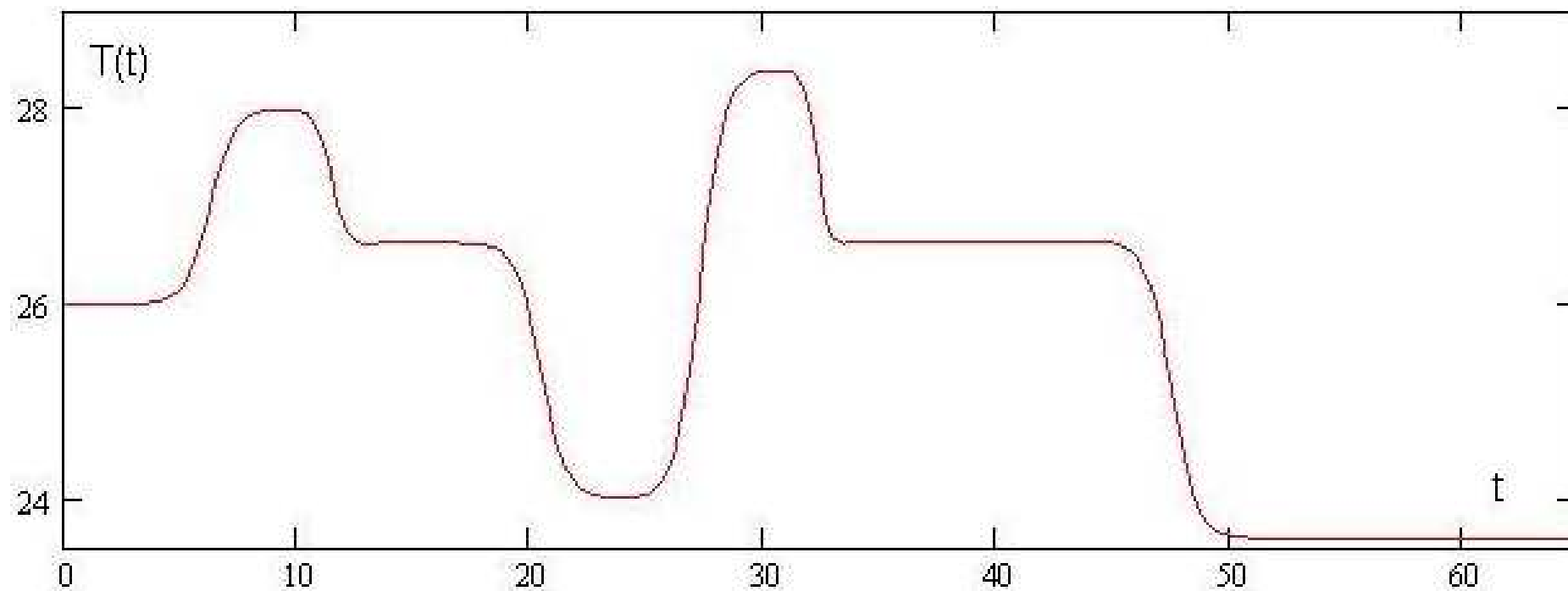
В качестве внешних факторов могут выступать вариации солнечной активности, явление Эль-Ниньо и др. Для вариаций нестационарной фоновой температуры поверхности океана  $T_f(t)$  можно выбирать, например, указанную выше функцию

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

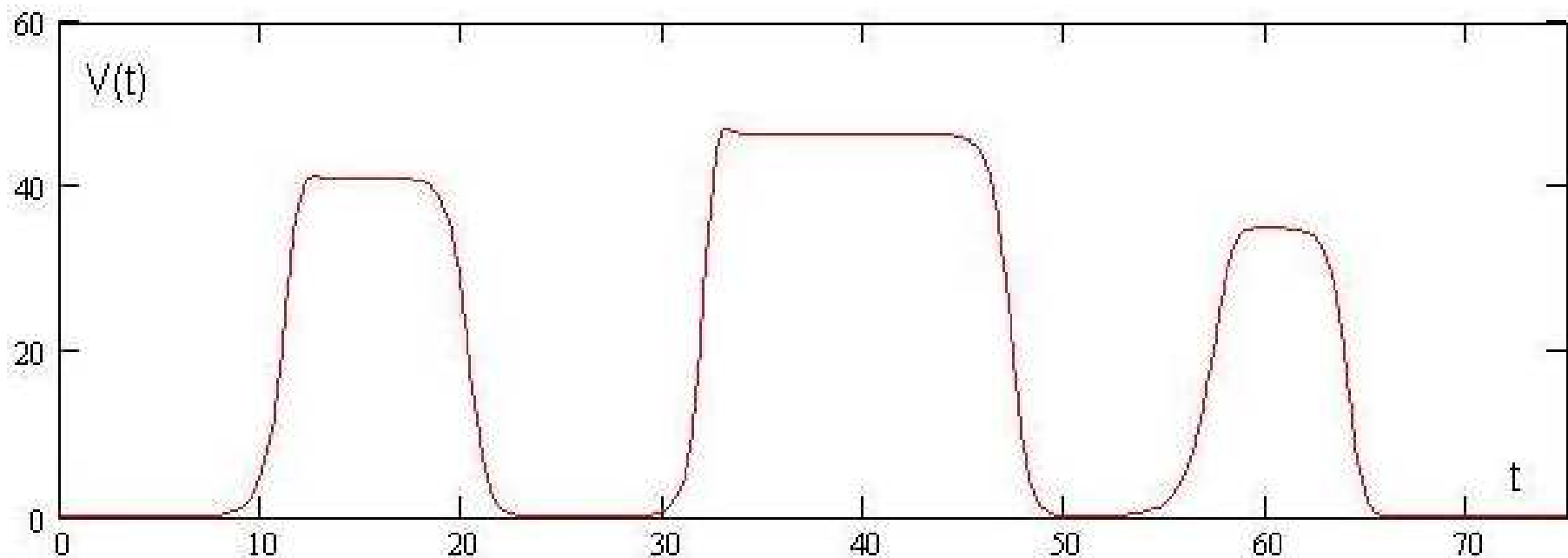
Результаты численных расчетов с выбором исходных характеристик, соответствующих генерации в активный сезон двух ураганов, представлены на рис.2 графиками максимальной скорости ветра и температуры поверхности океана. Вариант с генерацией трех ураганов в активном сезоне региона показан на рис.3.



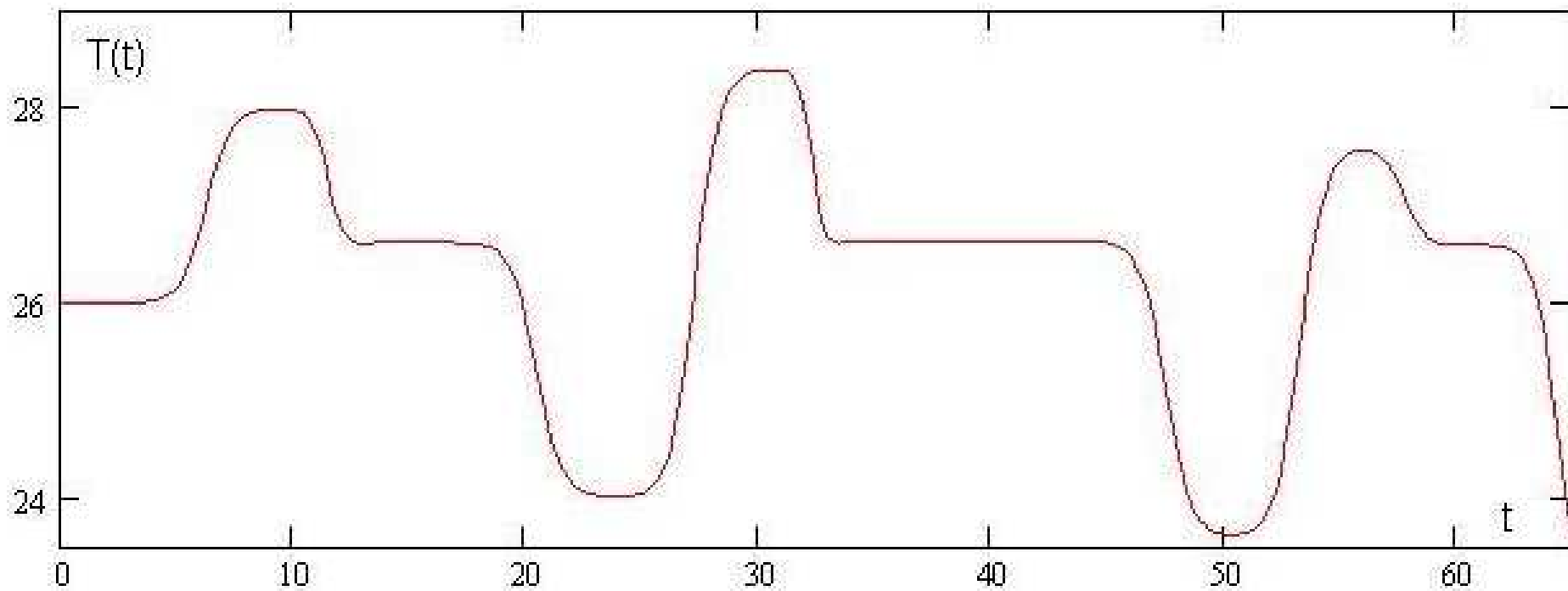
**Рис.2а.** График временной зависимости скорости ветра в урагане при формировании в активном сезоне двух мощных вихрей.



**Рис.26.** Временная динамика температуры поверхности океана при формировании в активном сезоне двух мощных вихрей.



**Рис.3а.** График временной зависимости скорости ветра в урагане при формировании во время активного сезона трех мощных вихрей.



**Рис.3б.** Временная динамика температуры поверхности океана при формировании в активном сезоне трех мощных вихрей.

Случай генерации четырех тайфунов во время активного сезона представлен ниже на **рис.4** графиком временной зависимости максимальной скорости ветра в зоне вихря  $V(t)$ . Активный сезон соответствует временам  $0 < t / \text{сутки} < 70$ .

Из изложенного вполне очевидно, что путем подбора параметров, введения внешних источников, учета нестационарности фоновой обстановки можно моделировать различные сценарии генерации ураганов в активный сезон регионального циклогенеза и отсутствие таких возмущений в остальное время года. Следовательно, данный подход позволит разработать аналитическую модель сезонного хода интенсивности региональных циклогенезов, что представляет научный и практический интерес для разработки современных методов прогноза кризисных атмосферных явлений.

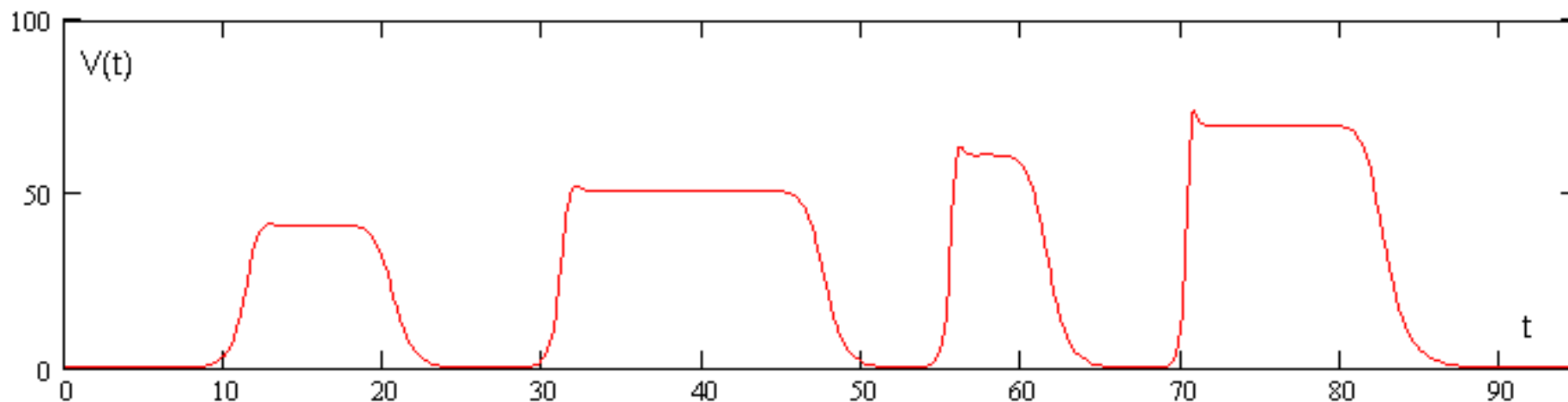


Рис.4. График временной зависимости скорости ветра в урагане при формировании в активном сезоне четырех мощных вихрей.

Как видим, рассмотренная выше модель вполне пригодна для описания сезонного хода интенсивности регионального крупномасштабного циклогенеза с любым, наперед заданным числом тайфунов. Важно отметить, что амплитуды возмущений различны и можно варьировать длительность жизни каждого вихря.

### **Заключение**

Таким образом на основе ранее предложенной 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 изучались 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 регионального циклогенеза, что представляет большой научный и практический интерес в том числе для разработки современных методов прогноза крупномасштабных кризисных атмосферных явлений.

Данный подход будет полезен также при оценках влияния тропических ураганов на крупномасштабную циркуляцию атмосферы, в исследованиях весьма сложных корреляционных связей тайфуногенеза с различными внешними факторами поскольку обычно применяемые стандартные методы корреляционного анализа зачастую дают неоднозначные ответы.

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, они могут ослабевать, исчезать или даже менять знак ( см., например, работу [6]). В частности, уменьшив в исходных данных наблюдений влияние 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.

В то же время выяснилось, что в северной Атлантике крупномасштабный циклогенез находится в фазе с солнечной активностью, однако данная связь выражена слабее.

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 здесь в первую очередь должен происходить триггерный запуск генерации мощных спиральных вихрей за счет развития крупномасштабной неустойчивости в системе океан-атмосфера.

## Список литературы

- [1]. Ярошевич М.И., Ингель Л.Х. Доклады Академии наук, 2004, т.399, № 3, с.397.
- [2]. Н.С.Ерохин Н.С., Михайловская Л.А., Ерохин Н.Н. Научная сессия МИФИ-2007, Сборник трудов, Изд-во МИФИ, Москва, 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., Voitskovsky M., Prokhin V., Martin I. 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. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2003, v.65, p.469.