

Анализ нелинейной модели полного жизненного цикла тропического урагана

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

*Институт космических исследований РАН,
117997 Москва, Профсоюзная 84/32*

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

Аннотация.

Проведено обобщение физико-математической нелинейной модели, предназначенной для описания полного жизненного цикла тропического урагана включая стадию формирования вихря, его квазистационарную фазу и стадию затухания.

Самосогласованная система связанных уравнений для максимальной скорости ветра и температуры поверхности океана включает ряд свободных параметров, подбором которых можно можно менять характеристики крупномасштабного вихря и фоновой обстановки, например, длительность его квазистационарной фазы, скорость ветра и т.д.

Для некоторых значений исходных параметров задачи выполнены численные расчеты нелинейной динамики вихря. В рамках развиваемого подхода возможно описание процесса генерации серии тропических циклонов. Рассматриваемая модель может представлять интерес при анализе особенностей регионального крупномасштабного циклогенеза, в том числе роли внешних факторов в его динамике.

Введение

Построение упрощенных физико-математических моделей жизненного цикла 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 монографии [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, а также его взаимодействие с окружающей средой.

Предложенная система связанных нелинейных уравнений для максимальной скорости ветра в урагане и температуры поверхности океана достаточно реалистично описывает процесс зарождения урагана и переход в квазистационарную фазу его жизненного цикла.

Ниже 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, определяющий условия генерации вихря, вводится зависимость от времени. Соответственно, понижение его величины ниже порогового значения приводит к затуханию тайфуна.

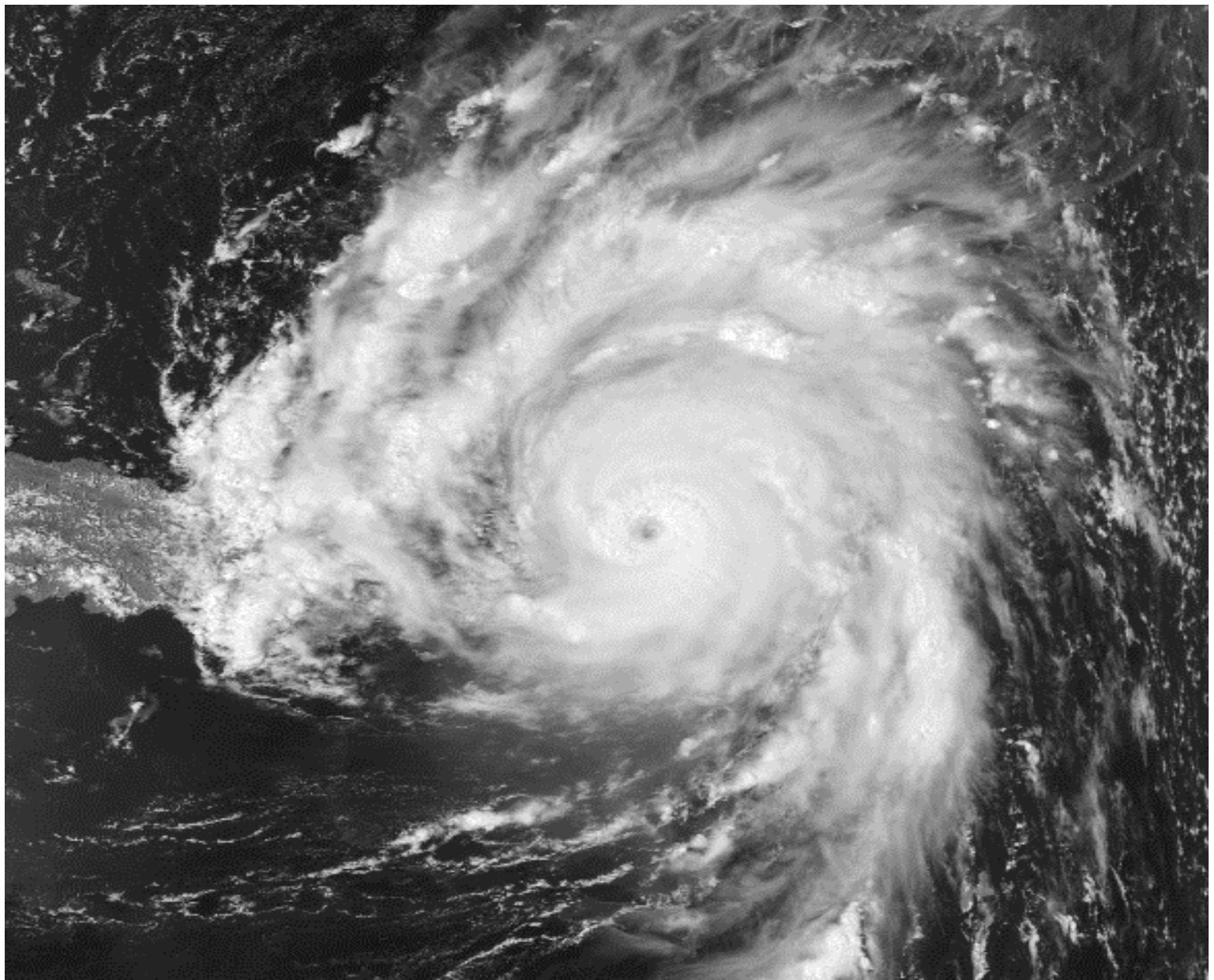
Проведенные в рамках данной самосогласованной модели численные расчеты показали, что при понижении управляющего параметра ниже порогового значения в системе исчезают генерационные свойства и тропический ураган затухает.

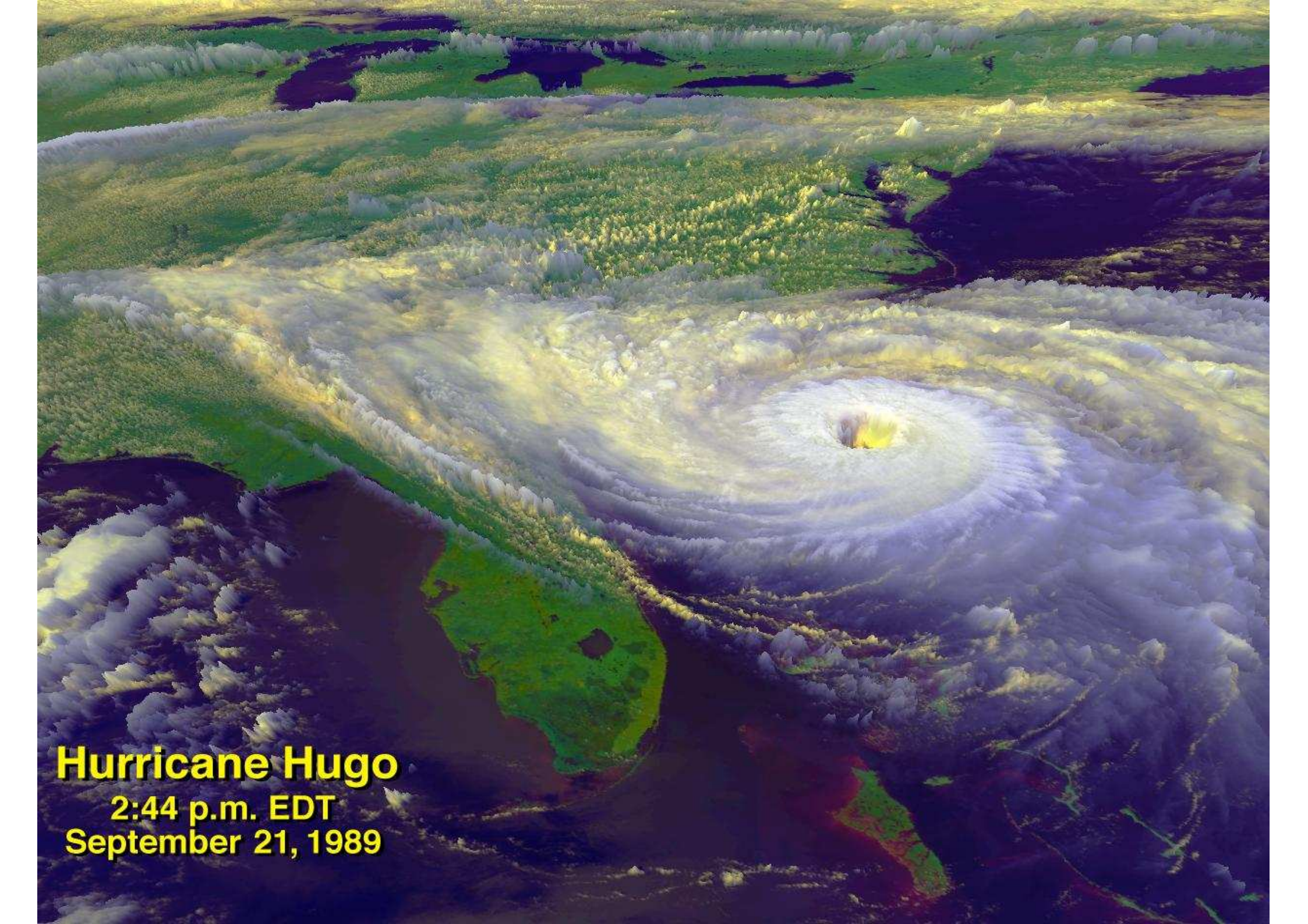
Таким образом модифицированная нелинейная модель воспроизводит динамику развития и затухания тропических ураганов. Необходимо отметить, что выбором исходных параметров модели можно управлять длительностью стадий жизненного цикла урагана, максимальной скоростью ветра и т.д.

Поскольку корреляционный анализ показывает наличие влияния солнечно-земных связей в динамике атмосферных процессов (см., например, [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





Hurricane Hugo

2:44 p.m. EDT
September 21, 1989

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

где T – температура поверхности океана в области тропического циклона (ТЦ), T_* - пороговое значение этой температуры, выше которой происходит усиление возмущений, 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 к поверхности океана ($T_1 = 23$), 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] полагается $\tau = 10$, $\beta = 3 \cdot 10^{-4}$, $T_f = (28 \div 30)$. Учет затухания урагана, обусловленного, например, его выходом на более холодную воду, будем моделировать выбором переменного параметра $T_f(t)$. Ниже 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 , параметр τ_d определяет 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. Временная динамика скорости ветра и температуры поверхности в формирующемся вихре представлена на рис.1 для следующих значений входящих параметров :

$$T_{f1} = 28, \quad \delta T_f = 0, \quad \tau = 3, \quad \gamma = 0.6, \quad \beta = 10^{-4}, \quad \sigma = 3 \cdot 10^{-3}, \\ V(0) = 1, \quad T(0) = T_{f1} = 28.$$

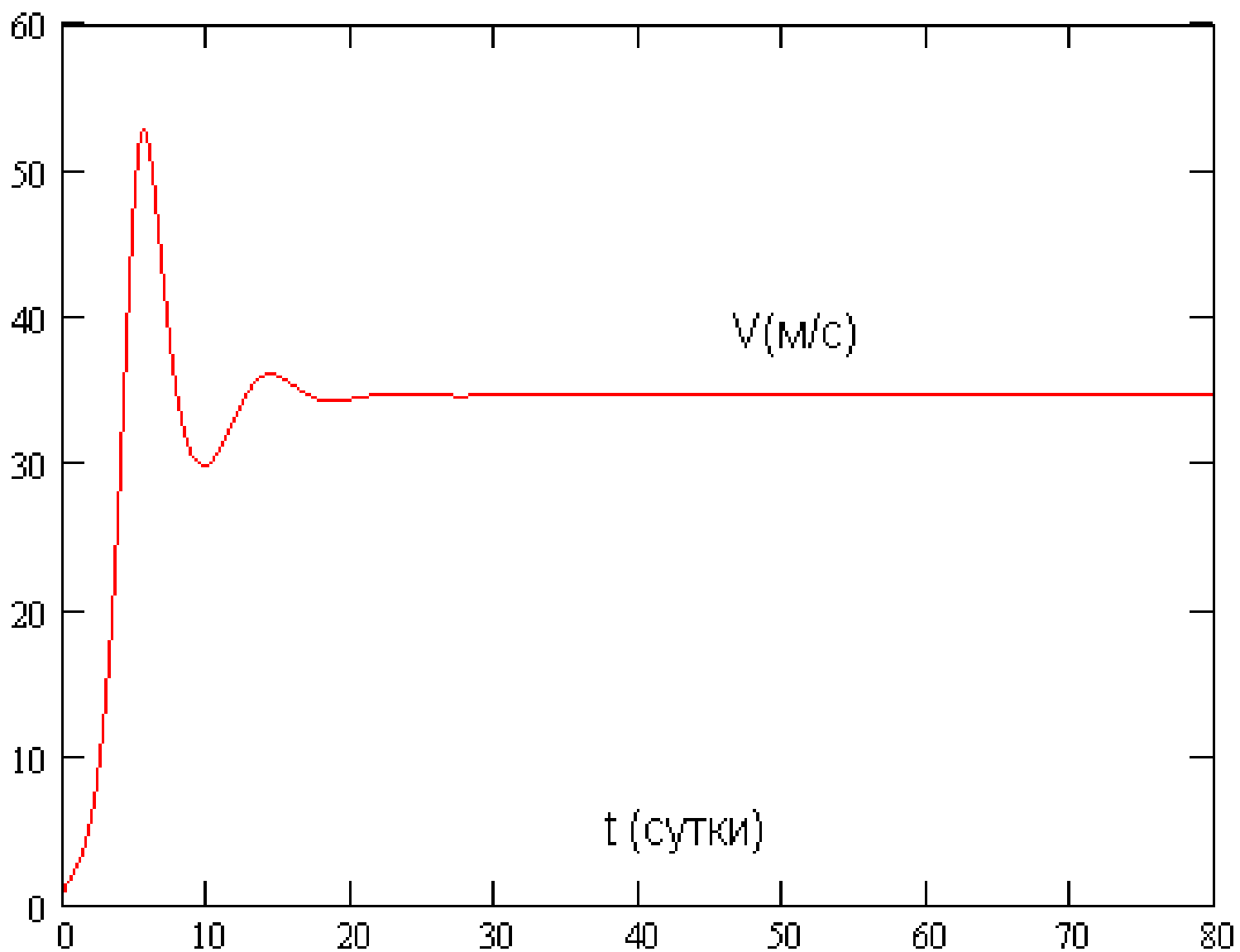


Рис.1а. Динамика скорости ветра в формирующемся тайфуне для модифицированной модели.

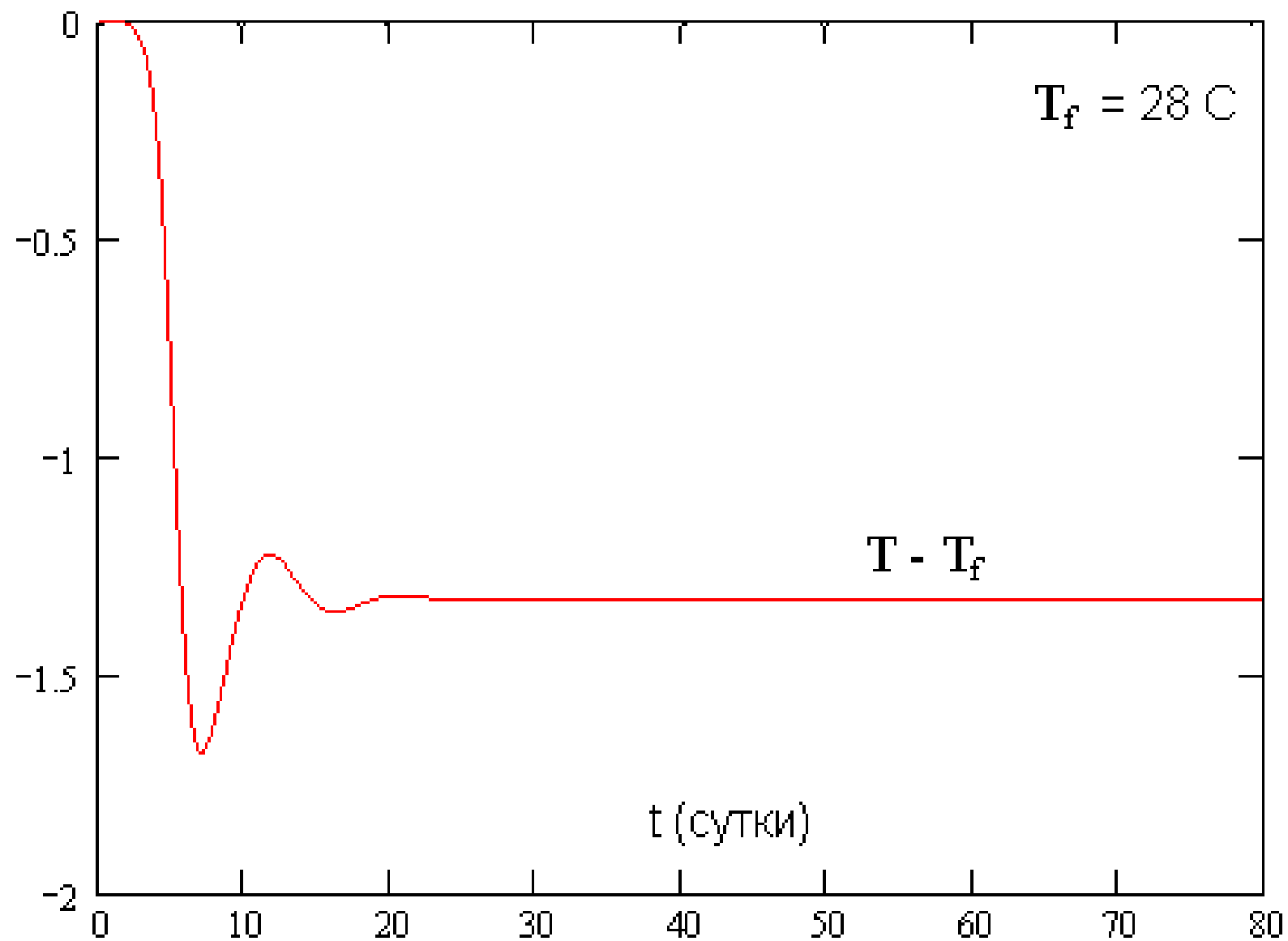


Рис.16. Динамика температуры поверхности океана в формирующемся тайфуне для модифицированной модели.

Как видим, она вполне подобна полученной ранее в работе [2]. На квазистационарной стадии скорость ветра принимает значение **34,7 м/сек**, температура **T** равна **26.67** т.е. 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.2 при следующем выборе исходных параметров:

$$T_{f1} = 28, \delta T_f = 2, \tau = 1, \gamma = 0.6, \beta = 10^{-4}, \sigma = 3 \cdot 10^{-3}, V(0) = 0.3, \\ T(0) = 28, t_1 = 17, \tau_d = 1.$$

При этом на квазистационарной стадии жизненного цикла вихря скорость ветра достигает значения **$V = 56.75$** , температура снижается до величины **26.78**. На конце стадии затухания она становится **25.99**. Отметим, что изменением исходных параметров системы можно менять динамику рассматриваемого процесса.

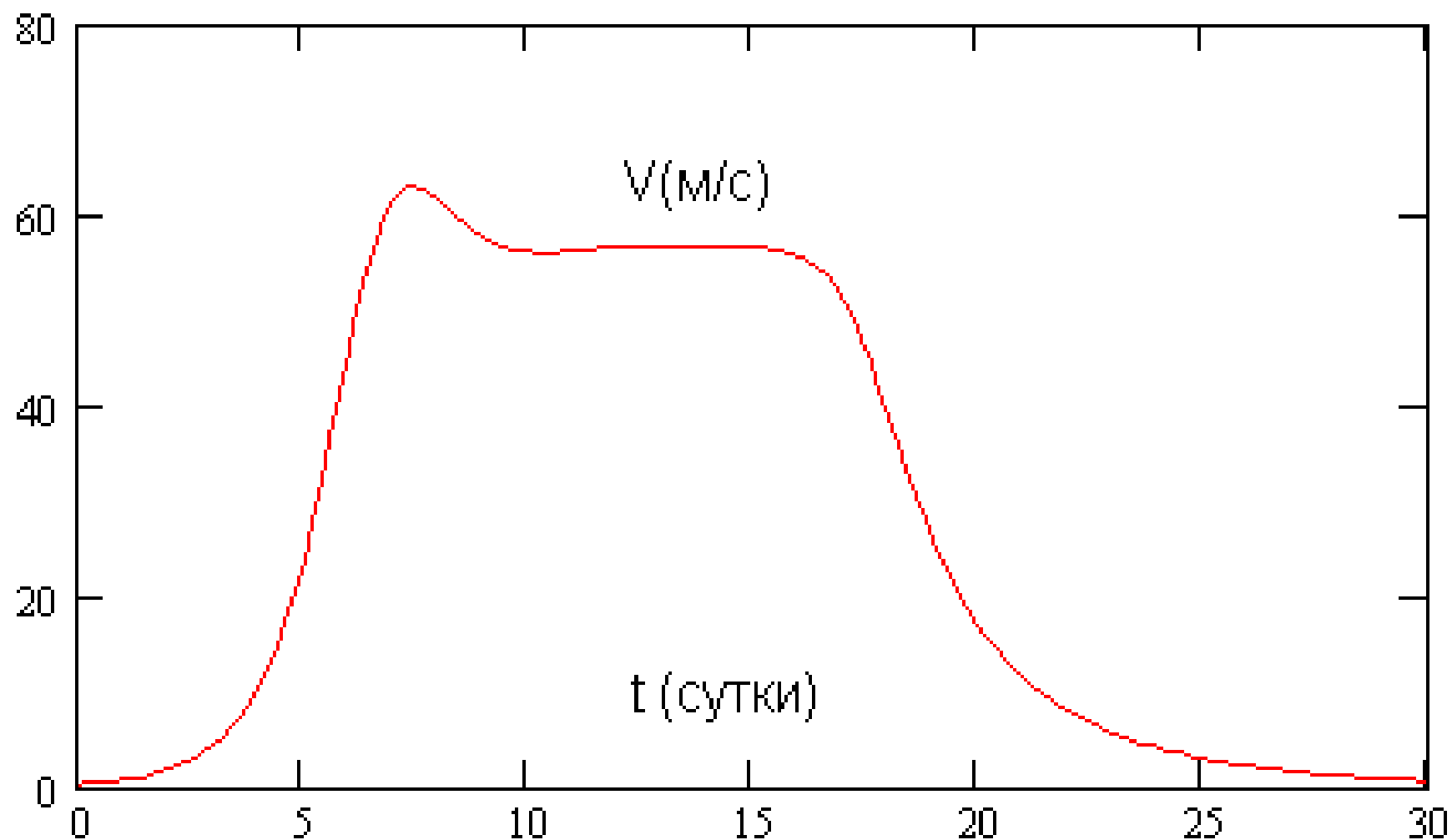


Рис.2а. Динамика скорости ветра с учетом фазы затухания тайфуна.

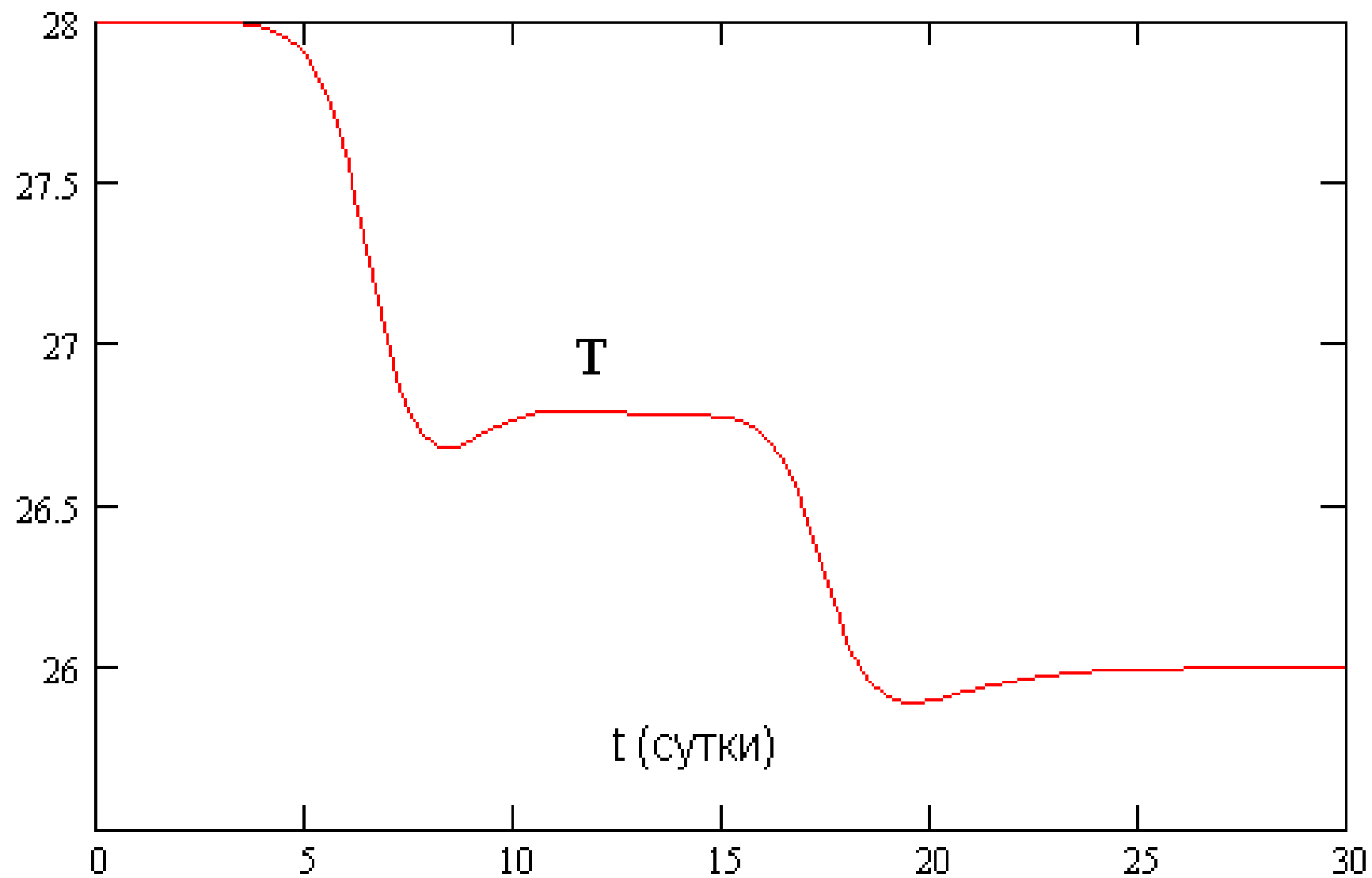


Рис.26. Динамика температуры с учетом фазы затухания тайфуна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования можно сформулировать следующим образом.

Во-первых, предложена и обоснована модифицированная нелинейная модель временной динамики крупномасштабного атмосферного вихря типа тропического циклона. Стадия затухания вихря учитывается введением в исходные уравнения зависящего от времени параметра – равновесной фоновой температуры $T_f(t)$.

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, а также длительностью его квазистационарной фазы.

Описанная в работе модель может быть полезной в исследованиях регионального тропического циклогенеза, при анализе влияния солнечно- земных связей на динамику кризисных атмосферных процессов.

Литература

Шулейкин В.В. Расчет развития, движения и затухания тропических ураганов и главных волн, создаваемых ураганами. // Л.: Гидро-метеоиздат, 1978. 95 с.

Ярошевич М.И., Ингель Л.Х. Тропический циклон, как элемент системы океан-атмосфера. // ДАН, 2004. Т.399. № 3. С.397-400.

Васильев С.С., Дергачев В.А., Распопов О.М. Реконструкция температуры Гренландии за последнее тысячелетие, солнечная активность и Северо-Атлантические осцилляции. // Геомагнетизм и аэрономия, 2004. Т.44. № 1. С.123-128.

Миронова И.А. Влияние солнечной активности на концентрацию углекислого газа в нижней атмосфере. // Геомагнетизм и аэрономия, 2002, т.42, № 1, с.135-138.