

Малопараметрическая модель сезонного хода регионального циклогенеза

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

*Институт космических исследований РАН
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru*

Предложено обобщение ранее предложенной малопараметрической нелинейной модели со свободными параметрами, на основе которой можно исследовать сезонный ход регионального крупномасштабного циклогенеза, а также изучать введением эффективных источников влияние солнечно-земных связей и других факторов на временную динамику регионального циклогенеза. Для конкретного выбора исходных параметров задачи проведены численные расчеты данной нестационарной нелинейной модели, демонстрирующие возможности предлагаемого подхода, в частности, последовательную генерацию ряда тропических циклонов по мере выхода параметров системы на закритические значения, когда она становится неустойчивой.

Введение

Одним из важных вопросов в проблеме солнечно-земных связей является исследование роли этих связей во временной динамике крупномасштабных вихревых процессов в атмосфере кризисного характера типа ураганов, тайфунов и внетропических циклонов. Ранее для описания временной динамики тропического урагана была предложена нелинейная модель тайфуна (ТЦ) в виде системы связанных уравнений для максимальной скорости ветра в вихре и температуры поверхности океана в зоне ТЦ [1-3], которая достаточно реалистично описывает полный жизненный цикл крупномасштабного интенсивного вихря включая стадию его формирования из синоптического возмущения, квазистационарную фазу и стадию затухания, обусловленного выходом ТЦ на сушу либо его смещением в область более холодной воды.

В настоящей работе будет рассмотрено обобщение моделей [1-3], учитывающее эффективные источники атмосферных возмущений, а также нестационарность фоновой обстановки, в частности, температуры поверхности океана, что позволяет исследовать роль, например, солнечно-земных связей в динамике кризисных атмосферных процессов типа тропических циклонов, в том числе, исследовать триггерный запуск процесса формирования мощного вихря в результате развития крупномасштабной неустойчивости атмосферы, его затухание и подготовку системы к повторной генерации ТЦ вследствие достижения (через некоторое время) ее параметрами пороговых для генерации вихря значений. Важно отметить, что предлагаемая обобщенная модель содержит ряд свободных параметров, выбором которых можно управлять временной динамикой изучаемого процесса, например, сезонным ходом регионального, крупномасштабного циклогенеза. Проведенные в рамках обобщенной модели численные расчеты показали, что указанные свободные параметры определяют главные характеристики регионального циклогенеза, в частности, его интенсивность, длительность отдельных событий, например, максимальную скорость ветра в урагане, время подготовки системы к генерации крупномасштабных вихрей, моменты их зарождения. Возможно также дальнейшее обобщение предлагаемой малопараметрической модели, позволяющее описывать одновременное существование двух вихрей в заданном регионе и их конкуренцию, как это было рассмотрено ранее в работе [2]. Следовательно, на основе предложенной в настоящей работе нелинейной модели можно изучать особенности временной динамики региональных крупномасштабных циклогенезов, их зависимость от внешних факторов, в частности, солнечно-земных связей, явления Эль-Ниньо и др., которые детально анализировались, например, в работах [4-6].

Основные уравнения и анализ их решений

Рассмотрим вначале временную динамику полного жизненного цикла урагана используя малопараметрическую модель, включающую систему связанных нелинейных уравнений для максимальной скорости ветра $V(t)$ и температуры поверхности океана $T(t)$ в области ТЦ, следующего вида

$$dV/dt = \gamma \cdot (T - T_*) \cdot V - \sigma \cdot V^2, \quad dT/dt = -\beta \cdot (T - T_1) \cdot V^2 + (T_f - T)/\tau \quad (1)$$

Выбор в (1) значений исходных параметров $\gamma, \sigma, \beta, \tau$, температур T_*, T_1 и функции $T_f(t)$ был обоснован ранее в работах [1-3]. Отметим, что скорость $V(t)$ измеряется в м/с, температура $T(t)$ в °С, время t в сутках. Согласно проведенному ранее анализу усиление в системе малых возмущений скорости начинается при температурах поверхности океана T выше порогового значения T_* . В соответствие с рекомендациями работы [1] ниже будем полагать $T_* = 26,5$ °С, $T_1 = 23$ °С. Далее, чтобы учесть изменение фоновых условий для переменной равновесной температуры T_f в численных расчетах бралась функция

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

где $\delta T_1, \delta T_2$ – характерные значения вариаций фоновой температуры T_f , $s_1(t) = (t - t_1)/\tau_1$, $s_2(t) = (t - t_2)/\tau_2$. Рассмотрим на основе (1), (2) случай, когда начальное значение фоновой температуры $T_f = T_0$ ниже порогового значения T_* , затем увеличение фоновой температуры T_f выше T_* приводит к развитию неустойчивости и интенсификации слабого возмущения ветра до характерного для тропических циклонов значения. Однако последующее снижение температуры T_f ниже порогового значения T_* , обусловленное, например, смещением ТЦ в область более холодной воды, приводит к затуханию интенсивного вихря. Результаты численных расчетов при следующем выборе исходных параметров $T_0 = 25$, $\delta T_1 = 1,6$, $\delta T_2 = 1,5$, $\tau_1 = \tau_2 = 0,6$, $t_1 = 4$, $t_2 = 17$ и $V(0) = 0,3$ представлены на рис. 1 типичными графиками скорости и температуры. При усилении спирального вихря достига-

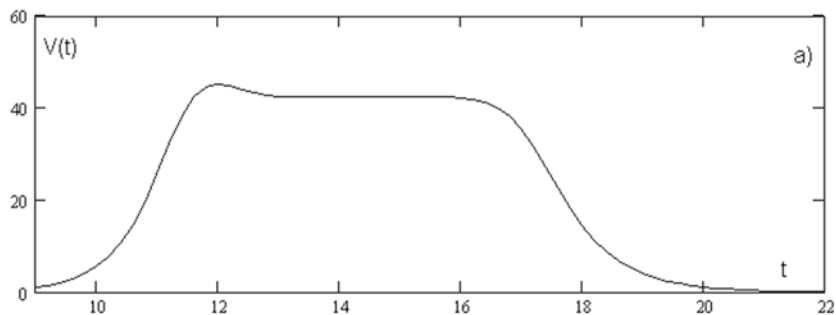


Рис.1а. Ерохин и др.

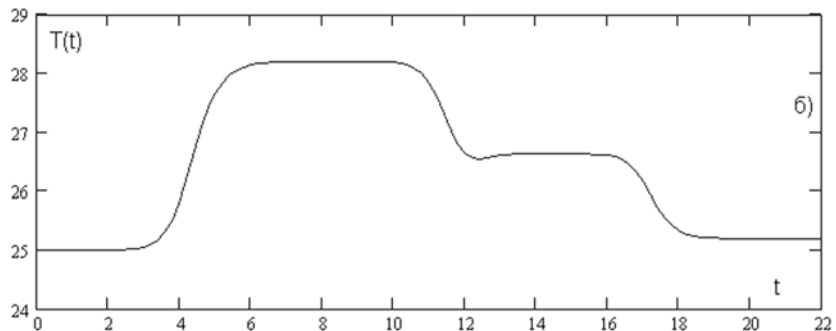


Рис.1б. Ерохин и др.

Рис. 1. Временная динамика тропического урагана. Полный жизненный цикл: а) зависимость максимальной скорости ветра от времени; б) зависимость температуры поверхности океана в области ТЦ от времени

ется максимальное значение скорости ветра (для данного выбора исходных параметров) $\max V = 42.4$. На квазистационарной стадии ТЦ температура поверхности океана $T \approx 28.2$ т.е. выше порогового значения T_* .

Таким образом, использованная выше модель ТЦ достаточно реалистично воспроизводит основные особенности эволюции крупномасштабного тропического возмущения за полный жизненный цикл тайфуна включая возникновение кризисного состояния, последующее усиление вихря до интенсивности тропического циклона, его квазистационарную фазу и стадию затухания. Ясно, что выбором параметров задачи можно управлять динамикой ТЦ, в частности, менять максимальную скорость ветра, начало интенсификации возмущения, длительность квазистационарной фазы, время подготовки системы к развитию неустойчивости и пр. Следовательно, на основе модификации данной модели с учетом экспериментальных данных по параметрам крупномасштабных тропических возмущений можно разработать аналитическую модель сезонного хода интенсивности регионального крупномасштабного циклогенеза. Для этого делаем, например, следующее обобщение рассмотренной выше модели

$$\begin{aligned} dV/dt &= \chi(T - T_*) V - \sigma V^2 + \psi(t), \quad dT/dt = -\beta(T - T_1) V^2 + (T_f - T) / \tau, \\ dT_f/dt &= f(t) - \chi(T_f - T_0). \end{aligned} \quad (3)$$

где $f(t) = A [1 + \mu \cos(\omega t)]$, $\psi(t) = 0.3 [1 - \cos(0.03 t)]$. Здесь $f(t)$ учитывает влияние внешних факторов на температуру поверхности океана, $\psi(t)$ генерацию слабого ветра малым возмущением, например, градиентом давления. Среди внешних факторов могут выступать вариации солнечной активности, явление Эль-Ниньо и др. В качестве примера в системе нелинейных нестационарных уравнений (3) для исходных параметров задачи были взяты следующие значения: $\mu = 0.2$, $\chi = 0.1$, $\omega = 0.08$, $A = 2.5$. Результаты численных расчетов системы уравнений (3) показаны на рис. 2 графиками зависимостей скорости ветра в тайфуне $V(t)$ и температуры поверхности океана $T(t)$ от безразмерного времени t . Как видно из рис. 2, в данной модели имеет место периодическая генерация крупномасштабных возмущений (вихрей), время жизни которых ввиду нестационарности фоновых условий конечно. Отметим также, что меняя исходные параметры можно варьировать амплитуды возмущений и длительность жизни каждого вихря. Кроме того, генерация вихрей будет происходить только в определенное (заранее заданное) время года (сезон тайфунов).

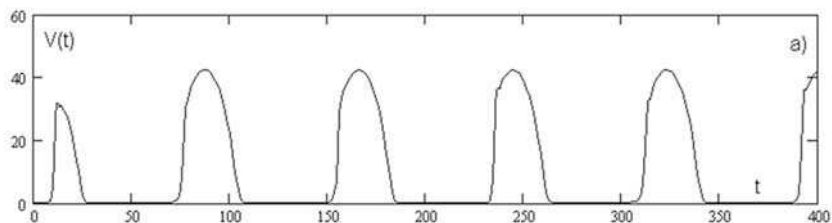


Рис.2а. Ерохин и др.

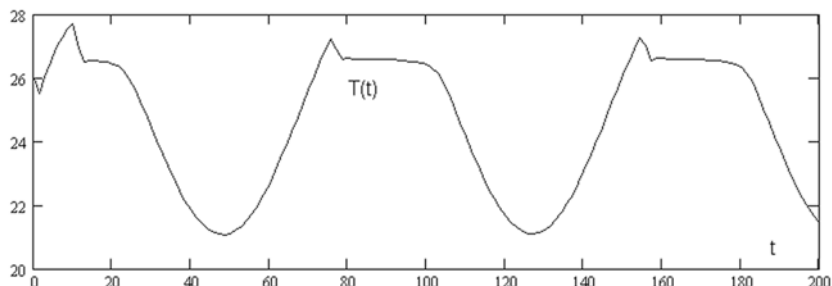


Рис.2б. Ерохин и др.

Рис. 2. Временная динамика ураганов при повторной генерации вихрей: а) зависимость максимальной скорости ветра в ураганах от времени; б) зависимость температуры поверхности океана в области формирования ТЦ от времени

Заключение

Таким образом, на основе предложенной в настоящей работе обобщенной малопараметрической нелинейной модели генерации интенсивных вихрей можно исследовать особенности сезонного хода временной динамики крупномасштабных региональных циклогенезов, а также изучать их зависимость от различных внешних факторов, например, вариаций солнечной активности, явления Эль-Ниньо и др., которые анализировались ранее на основе корреляционного анализа. Кроме того, из проведенного выше анализа следует, что возможна дальнейшая модификация данной модели с учетом экспериментальных данных по параметрам крупномасштабных тропических возмущений типа тайфунов, что позволит разработать аналитическую модель сезонного хода интенсивности регионального циклогенеза. Ясно, что это представляет большой научный и практический интерес в том числе для разработки современных методов прогноза крупномасштабных кризисных атмосферных явлений.

Развитый подход будет полезен также при анализе влияния тропических ураганов на крупномасштабную циркуляцию атмосферы, а также в исследованиях весьма сложных корреляционных связей тайфуногенеза с солнечной активностью поскольку стандартные методы корреляционного анализа дают неоднозначные ответы [4-6]. Кроме того можно получить корректное объяснение имеющихся 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 была 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., в частности, работы [4-6]). В частности, уменьшив в исходных данных влияние явления Эль-Ниньо на тропический циклогенез удалось выявить 11-летнюю цикличность в тропическом циклогенезе северо-западной части Тихого океана и показать, что она находится в противофазе с солнечной активностью [4]. В то же время выяснилось, что в северной Атлантике крупномасштабный циклогенез находится в фазе с солнечной активностью, однако эта связь выражена слабее [4]. Вполне очевидно, что наиболее эффективно солнечно-земные связи могут воздействовать на крупномасштабный циклогенез в зонах, где атмосфера чаще находится вблизи порога устойчивости, а действие других факторов заметно ослаблено. Поэтому именно здесь в первую очередь возможен триггерный запуск генерации интенсивных крупномасштабных спиральных вихрей.

Литература

1. Ярошевич М.И., Ингель Л.Х. Тропический циклон как элемент системы океан-атмосфера // Доклады Академии наук, 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., Зольникова Н.Н., Михайловская Л.А. О роли солнечно-земных связей в динамике крупномасштабных кризисных процессов в атмосфере // Международная байкальская школа по фундаментальной физике. Труды IX конференции молодых ученых "Физические процессы в космосе и околоземной среде". Изд-во ИСЗФ СО РАН. Иркутск. 2006. С.28-33.
4. Pankov V., Gusev A., Pugacheva G., Voitskovsky M., Prokhin V., Martin I. Influence of solar activity on the tropical cyclogenesis in Western Pacific // COSPAR-2006-A-01016. Session C2.1-0049-06.
5. Tinsley B.A. Influence of solar wind on the global electric circuit and inferred effects on cloud microphysics, temperature and dynamics in the troposphere // Space Science Reviews, 2000. V.94. P.231-258.
6. Tsiropoul S. Influence of solar activity variability in meteorological parameters // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2003. V.65. P.469-482.