

Аналитические модели интенсивности крупномасштабных вихревых процессов в атмосфере

Н.С. Ерохин¹, В.Н. Дамгов², Н.Н. Зольникова¹, Л.А. Михайловская¹

¹*Институт космических исследований РАН,
117997 Москва, Профсоюзная, 84/32
E-mail: nerokhin@mx.iki.rssi.ru*

²*Институт космических исследований БАН,
1000 София, Болгария, ул. Московска, 6
E-mail: vdamgov@bas.bg*

Рассмотрена временная динамика количества крупномасштабных вихревых возмущений в атмосфере Земли на основе аналитической аппроксимации событий дифференцируемыми функциями, учитывающими стадию развития крупномасштабного атмосферного возмущения, длительность его квазистационарного состояния и фазу затухания в конце жизненного цикла для северо-западной части Тихого океана в период с августа по октябрь 1998 г. Получена структура фазового пространства указанной динамической системы. Представлено графическое изображение фазовой плоскости. Описанный подход позволит, в частности, углубить наше понимание динамики природных атмосферных катастроф, характера их связи с другими процессами, например, с солнечной активностью, явлением Эль-Ниньо, а также механизмов реализации этих связей.

Введение

Исследование динамики крупномасштабных вихревых процессов в атмосфере типа тропических циклонов, ураганов представляет большой научный и практический интерес ввиду сложности данной проблемы и наносимого ими огромного экономического ущерба [1]. Поэтому анализ возможностей прогнозирования указанных кризисных процессов, в частности, разработка аналитических моделей для интенсивности крупномасштабного циклогенеза является весьма важной задачей. В частности, исследование влияния солнечной активности (СА) на крупномасштабные вихревые процессы в земной атмосфере (например, тропические депрессии, тайфуны, ураганы) является одним из направлений исследования природных катастроф и изменений климата. При этом, например, изучаются взаимные корреляционные функции характеристик солнечной активности и интенсивности циклогенеза, сравниваются их спектры и т.д. Так при анализе

связи чисел Вольфа, характеризующих уровень солнечной активности, с количеством крупномасштабных вихревых возмущений (КВВ) в атмосфере Земли взаимная корреляционная функция для временных последовательностей чисел Вольфа и количества КВВ показывает сложное поведение, в частности, имеются временные интервалы корреляций и антикорреляций КВВ с уровнем солнечной активности. Ясно, что последовательная математическая модель связи КВВ с уровнем солнечной активности должна учитывать инициирование атмосферных возмущений внешним воздействием, возможность развития неустойчивости в системе, нелинейной стабилизации и диссипативного затухания. Следовательно, оптимальным вариантом решения такого рода задач было бы использование аналитических функций для описания интенсивности рассматриваемых процессов. В качестве первого шага в данном направлении в настоящей работе предложена аналитическая аппроксимация временного хода интенсивности КВВ в классе дифференцируемых функций. Предлагаемая аналитическая модель учитывает стадию формирования крупномасштабного атмосферного возмущения, длительность его квазистационарного состояния и фазу затухания в конце жизненного цикла. Рассмотрена структура фазового пространства полученной системы. Описанный подход позволит углубить наше понимание связей динамики крупномасштабных вихревых процессов в земной атмосфере с солнечной активностью, другими кризисными явлениями, а также выявить механизмы реализации этих связей.

Постановка задачи и результаты ее анализа

Рассмотрим интенсивность крупномасштабного регионального циклогенеза (КРЦ) в северо-западной части Тихого океана для сезона август-октябрь 1998 г. Используем данные из монографии [2]. В этот период всего было 53 события (тропические депрессии, штормы и циклоны). Учтем, что каждое событие с номером k имеет фазу формирования с длительностью ϵ_k (порядка $1 \div 3$ дня), квазистационарную фазу $a_k \leq t \leq b_k$ и стадию затухания с длительностью τ_k . Величины ϵ_k , a_k , τ_k , b_k и t измеряются в днях. Стадию формирования крупномасштабного вихря описываем функцией

$$p_k(t) = 0.5 \cdot \{ 1 + (t - a_k) / [\epsilon_k^2 + (t - a_k)^2]^{1/2},$$

а для стадии затухания крупномасштабного возмущения принимаем следующий временной профиль

$$q_k(t) = 0.5 \cdot \{ 1 + (b_k - t) / [\tau_k^2 + (t - b_k)^2]^{1/2} \}.$$

Следовательно, развитие отдельного события РКЦ с номером k может быть представлено функцией $f_k(t) = p_k(t) \cdot q_k(t)$, показанной на рис.1. Теперь интенсивность циклогенеза в рассматриваемом сезоне $N(t)$ можно определить формулой $N(t) = \sum_k f_k(t)$, где $1 \leq k \leq 53$. График $N(t)$ для указанного выше сезона в северо-западной части Тихого океана дан на рис.2. Важно то, что теперь мы имеем аналитическое представление интенсивности вихреобразования в классе дифференцируемых функций и можем анализировать фазовую плоскость (T, Q) регионального крупномасштабного циклогенеза, где $Q(t) = dN / dt$, а также изучать методами корреляционного анализа связи КВВ с другими кризисными процессами при хорошем временном разрешении несмотря на относительную малость количества событий. Для отдельного события производная по времени имеет вид

$$df_k(t) = 0.5 \cdot \{ \epsilon_k^2 \cdot q_k(t) / [\epsilon_k^2 + (t - a_k)^2]^{3/2} \} - 0.5 \cdot \{ \tau_k^2 \cdot p_k(t) / [\tau_k^2 + (t - b_k)^2]^{3/2} \}.$$

Соответственно, в дискретном представлении получаем $N_j = (N_{j+1} - N_j) / \Delta t$, где Δt - шаг по времени т.е. имеем $t_{j+1} = t_j + \Delta t$. Естественно полагать, что $\Delta t \ll (b_k - a_k), \epsilon_k, \tau_k$.

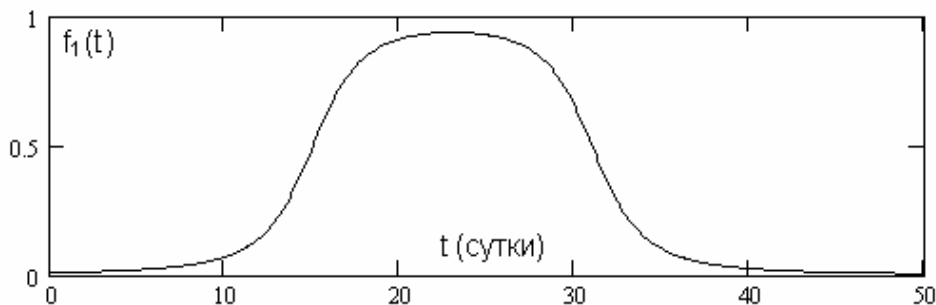


Рис. 1. Временной профиль отдельного события

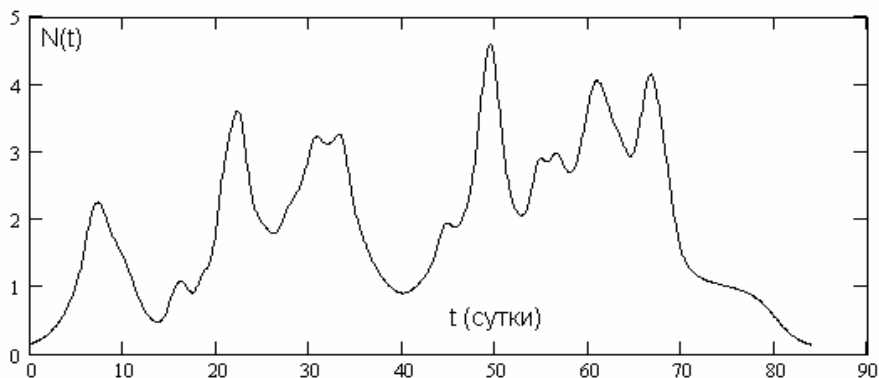


Рис. 2. Временной профиль регионального крупномасштабного циклогенеза для сезона август-октябрь 1998 г. в северо-западной части Тихого океана

Фазовая плоскость (N_j, Q_j) показана на рис.3 – рис.5 для рассматриваемого сезона в целом и на отдельных временных интервалах этого сезона. Из данного рисунка следует, что структура фазовой плоскости РКЦ оказывается достаточно сложной. В частности, наблюдаются цикличность процесса, нарастание его интенсивности (в среднем) на интервале $t < 51$. В динамике РКЦ помимо крупномасштабной, низкочастотной имеется и мелкомасштабная высокочастотная изменчивости. Наблюдаемая на рисунке модуляция интенсивности РКЦ обусловлена наложением процессов формирования и затухания возмущений, присутствующих одновременно в разных частях региона.

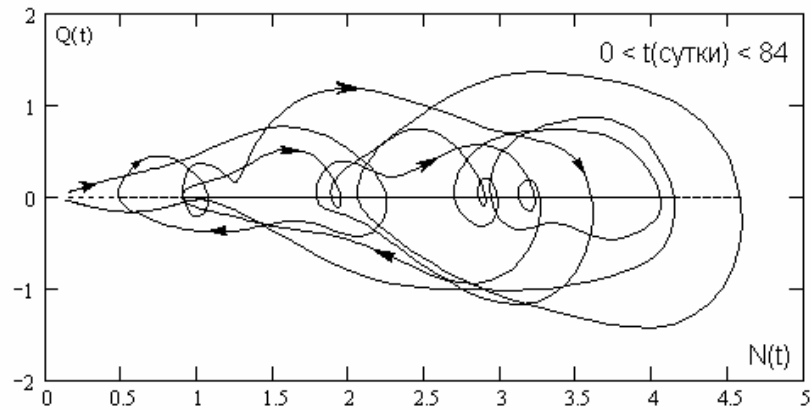


Рис. 3. Фазовая плоскость регионального крупномасштабного циклогенеза для полного сезона август-октябрь 1998 г. в северо-западной части Тихого океана

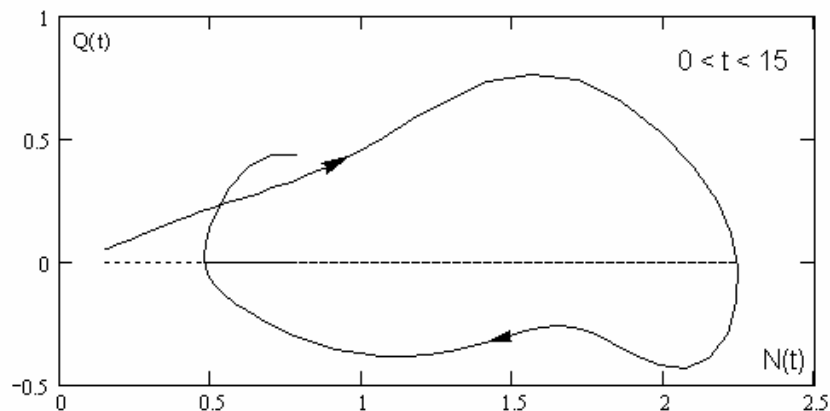


Рис. 4. Фазовая плоскость регионального крупномасштабного циклогенеза для части $(0 < t < 15)$ сезона август-октябрь 1998 г. в северо-западной части Тихого океан

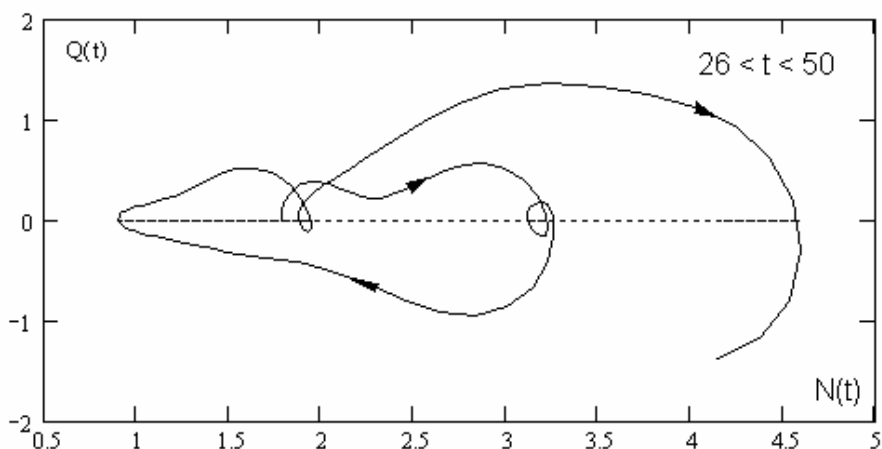


Рис. 5. Фазовая плоскость регионального крупномасштабного циклогенеза для части $(26 < t < 50)$ сезона август-октябрь 1998 г. в северо-западной части Тихого океан

Очевидно, что описанная в работе [3] нелинейная модель формирования отдельного крупномасштабного тропического циклона требует дальнейшего развития, в частности, необходима ее модернизация для описания стадии затухания урагана. Здесь следует отметить, что при отображении временного хода интенсивности РКЦ моделью осциллятора, необходимо учитывать помимо неустойчивости данной системы и диссипативного фактора, также внешнее воздействие (реализующее триггерный запуск генерации возмущения [4]) и переменные параметры осциллятора (частота, нелинейность и т.д.), которые определяются внешними фоновыми условиями в системе океан-атмосфера.

Кроме того при обобщении развитого выше подхода в функцию $f_k(t)$ необходимо вводить энергетическую характеристику, например, величину депрессии давления в центре тайфуна [5] или аналогично [3] величину максимальной скорости ветра. Критерием полезности использования такой модели для описания РКЦ будет служить соответствие полученного из нее профиля интенсивности $N(t)$ крупномасштабных атмосферных вихревых процессов имеющимся экспериментальным данным. Наконец отметим, что предложенная выше аналитическая аппроксимация интенсивности РКЦ может быть весьма полезна и для анализа корреляционных связей РКЦ с другими процессами, в частности, солнечной активностью.

Заключение

Результаты работы можно суммировать следующим образом. Во-первых, предложена аналитическая аппроксимация экспериментальных данных по тропическому циклогенезу в классе аналитических дифференцируемых функций с учетом процесса возникновения отдельного крупномасштабного вихря (типа тропического циклона), его квазистационарной фазы и стадии затухания. Во-вторых, развитый подход применен для анализа регионального циклогенеза в северо-западной части Тихого океана для сезона август-октябрь 1998 г. В третьих, получена достаточно сложная структура фазовой плоскости, которая в последующем может быть использована для разработки нелинейных аналитических моделей РКЦ типа модели осциллятора с учетом, например, триггерного запуска неустойчивости, влияния внешней накачки и других факторов.

Литература

1. Хаин А.П., Сутырин Г.Г. Тропические циклоны и их взаимодействие с океаном // Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 345 с.
2. Покровская И.В., Шарков Е.А. Каталог тропических циклонов и тропических возмущений Мирового океана за 1983-1998 гг. // М.: Полиграф сервис, 1999. 160 с.
3. Ярошевич М.И., Ингель Л.Х. Тропический циклон как элемент системы океан-атмосфера // ДАН, 2004. Т.399. № 3. С.397-400.
4. Ерохин Н.С., Моисеев С.С. Некоторые общие характеристики и механизмы развития природных кризисных процессов // Проблемы геофизики XXI века. М.: Наука, 2003. Т.1. С.160-182.
5. Голицын Г.С. Динамика природных явлений // М.: Физматлит, 2004. Глава 6. 342 с.