

Изучение стохастических режимов работы тропического циклогенеза под воздействием солнечной активности и явления ENSO на основе вейвлет-преобразования

А.Р. Нурмухаметов, Е.А. Шарков

*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
E-mail: nurmukhametov.alex@gmail.com, e.sharkov@mail.ru*

Временной темп генерации тропических циклонов представляет серьезную и пока не решенную проблему. В работе применяется подход, связанный с формированием временного потока событий тропических циклонов. С его помощью показано влияние активной фазы ENSO на функцию накопленного числа событий региональных тропических циклогенезов. Проведено исследование пространственно-временной структуры глобального тропического циклогенеза, интенсивности солнечного излучения, явления ENSO. Для этого были построены вейвлет-спектры для этих сигналов за исследуемый 15-летний период с 1995 по 2010 гг. Они позволяют наглядно проследить характерные особенности изучаемых процессов, выделить особые частотно-временные зависимости, а также дают возможность судить о взаимодействии этих процессов. Показана полугодовая структура и яркая 27-дневная компонента в глобальном тропическом циклогенезе и солнечной активности. Подтверждены на новых данных полученные ранее результаты об отклике глобального циклогенеза на внешнее воздействие с 27-суточным периодом солнечной активности.

Ключевые слова: тропический циклогенез, ENSO, солнечная активность, вейвлет-преобразование.

Введение

Тропическая зона глобальной системы океан–атмосфера играет ключевую роль в динамике и эволюции синоптических и климатических метеорологических процессов на Земле. Она обладает совершенно уникальным свойством генерации достаточно организованных и устойчивых мезомасштабных вихревых структур – тропических циклонов (ТЦ) – из атмосферного пространственно-временного хаоса в системе глобальной циркуляции. Для целенаправленного дистанционного зондирования таких сложных систем необходимо понимание пространственно-временной картины этого явления. Однако эти структуры при их рассмотрении представляют собой пространственно-временной хаотизированный сигнал с достаточно сложной внутренней мульти-корреляционной структурой, что впервые было обнаружено в работах сотрудников ИКИ РАН (Шарков, 2006).

Внимание к исследованию таких систем и особенно к поиску и выявлению возможных детерминированных компонент как в глобальном, так и в региональном масштабах объясняется целым рядом обстоятельств. В первую очередь, эти атмосферные процессы представляют собой непосредственную физическую опасность для человека и сопровождаются значительным материальным ущербом, а также возникающими при этом административно-социальными проблемами, которые по мере развития человечества существенно усложняются. Последние исследования с использованием данных космического дистанционного зондирования и последних достижений теории сложных систем указывают на определяющую роль тропических циклонов в формировании глобального

энергообмена в системе океан – атмосфера и установления благоприятного для биологической жизни на Земле парникового эффекта. Катастрофические атмосферные вихри отводят излишнее тепло и способствуют предотвращению чрезмерного перегрева планеты в тропической зоне. Они представляют собой своеобразный механизм эффективного сброса избыточного тепла в атмосфере в условиях, когда действие обычных механизмов становится недостаточно.

В теоретическом секторе исследований наблюдается серьезное кризисное состояние, обусловленное сменой основных теоретических концепций. Поэтому детальные экспериментальные исследования пространственно-временной структуры циклогенеза представляют несомненный интерес (Sharkov, 2000). При этом, разумеется, темой особого исследования должен быть поиск детерминированных и стохастических составляющих общего сложного процесса, которые могут определяться внешними энергетическими воздействиями (например, Солнечная активность, явление ENSO, обращение Луны вокруг Земли). Земная атмосфера представляет собой сложную термоаэродинамическую систему со сложными и нелинейными передаточными характеристиками как между ее составными частями и элементами, так и при попадании энергии в систему извне с солнечным излучением. Поэтому можно предположить, что глобальный тропический циклогенез (ГТЦ) может отражать связи с прямыми индикаторами подобных процессов.

Цель настоящей работы – выявление особенностей стохастических временных рядов глобального тропического циклогенеза, индекса солнечной активности, индекса SOI (Southern Oscillation Index, количественная характеристика явления El-Nino Southern Oscillation) при помощи специального многомасштабного вейвлет-анализа и метода построения функций накопленного числа событий. Особое внимание уделяется исследованию зависимости темпов генерации тропических циклонов от особенностей воздействия солнечной активности и особенностей глобальной циркуляции (в первую очередь, от эпизодов ENSO).

Принципы формирования сигнала

Основой для нашего исследования послужила сформированная частная база данных (ЧБД), состоящая из трех секторов данных: первый сектор содержит временные ряды интенсивности тропического циклогенеза за период с 1995 по 2010 гг. с суточным временным разрешением. Ряды построены по данным, заимствованным из БД «Глобал-ТЦ», разработанной и накопленной в ИКИ в отделе Исследование Земли из космоса (Покровская, Шарков, 2010). Второй сектор – данные по индексу солнечной активности F10.7, представляющего собой интенсивность радиоизлучения на частоте 2800 МГц, $\lambda = 10,7$ см, и третий сектор – данные по индексу SOI, которые были взяты из сети Интернет, тоже с суточным временным разрешением. Все эти данные были занесены в базу данных для последующего удобства доступа к ним средствами нашей обработки. Отметим принципиальный момент – все сектора ЧБД наполнены однородными высокоскоростными данными – временное разрешение составляет одни сутки.

Для установления телекоммуникации между явлением ENSO и тропическим циклогенезом была использована специальная методика обработки данных (Шарков, 2009). База данных глобального тропического циклогенеза «Глобал-ТЦ» содержит в себе исчерпывающую информацию обо всех тропических вихрях, включая в себя данные по структуре циклона и метеорологические параметры каждого возмущения. Каждое тропическое возмущение на временной оси представим как импульс единичной амплитуды со случайной длительностью, соответствующей времени функционирования тропического циклона, и случайным моментом появления. Число поступивших импульсов в единичном временном интервале является естественным физическим параметром – интенсивностью циклогенеза, определяющим энергетику взаимодействия океан-атмосфера.

Математически предложенную процедуру формирования сигнала можно записать следующим образом:

$$I(t) = \sum_i \theta(t - t_i; \tau_i),$$

где I – мгновенная интенсивность циклогенеза,

$$\theta(t - t_i; \tau_i) = \begin{cases} 1, & t_i < t < t_i + \tau_i \\ 0, & t_i + \tau_i \leq t \leq t_i \end{cases},$$

θ – ограниченная функция Хэвисайда, в которой τ_i – время продолжительности жизни отдельного тропического циклона; t_i – момент времени, в который образовался этот тропический циклон; $t_i + \tau_i$ – момент времени, в который этот тропический циклон прекратил свое существование.

Сформированная подобным образом последовательность импульсов есть не что иное, как целочисленный случайный временной поток неразличимых событий. Таким образом, мы представляем временную последовательность интенсивности тропического циклогенеза как статистический сигнал сложной структуры.

Для исследования возможных вариаций временного хода интенсивности потока событий будем использовать графической построение функций накопленного числа событий за наблюдаемый интервал (Кокс, Льюис, 1969).

$$F(t) = \sum_{k=1}^M I_k(t) \theta_0(t - t_k) – \text{функция накопленного числа событий},$$

где θ_0 – функция Хэвисайда:

$$\theta_0(t - k) = \begin{cases} 1, & t_k < t \\ 0, & t_k \geq t \end{cases}$$

Важным свойством функции накопления является тот факт, что отношение функции приращения для пуассоновского процесса ко времени наблюдения есть не что иное, как среднее значение интенсивности пуассоновского потока событий (за данный интервал наблюдения). Таким образом, исследование функций накопления на различных масштабах позволяет получить количественные характеристики интенсивности пуассоновского процесса.

Анализ влияния явления ENSO на региональные тропические циклогенезы

Тропический циклогенез является проявлением сложного нелинейного поведения единой термогидродинамической системы поверхность земли – атмосфера, обладающей собственными динамическими свойствами, характерными временными масштабами и может быть резонансными частотами. В работе (Шарков, 2009) за период с 1983 по 2008 гг. выявлен устойчивый интегральный режим генерации множественного циклогенеза как в циклогенерирующих акваториях Мирового океана, так и в акваториях Северного и Южного полушарий с универсальной постоянной генерации

$$\frac{dF}{dt} = 1,64 \frac{1}{\text{сутки}}.$$

Это показывает, что глобальный циклогенез представляет собой практически строго однородный процесс, не обнаруживающий на себе никакого влияния от особенностей глобальной атмосферной циркуляции, явления ENSO, изменения интенсивности солнечного излучения. В то время как при рассмотрении регионального Атлантического циклогенеза, являющегося более мелкой составной частью глобального тропического циклогенеза, обнаруживаются ярко выраженные телекоммуникационные связи с явлением ENSO, которые могут быть определяющими для данного регионального циклогенеза. Анализ данных построения функций накопленного числа событий для Северной Атлантики за 16-летний промежуток (1983–1998 гг.) наглядно продемонстрировал очень сильное подавление значений функций накопления во время активных фаз ENSO и, более того, было указано даже некоторое критическое значение функции накопления ($F=66$), выше которого функция накопления не принимала своих значений во время активной фазы ENSO. Получается, что на планетарном масштабе процесс циклогенеза однороден, а на региональном неоднороден, в таком случае логично предположить, что неоднородность проявляется не только в регионе Атлантики, но и в других регионах, причем подавление, вероятно, должно смениться усилением, дабы в сумме скомпенсировать противоположное по знаку неоднородное влияние друг друга. Следуя такому предположению, мы покажем ниже, что действительно и для других регионов Мирового океана наблюдается наличие влияния явления ENSO на значения функции накопления.

Стоит отметить, что обычно мировой океан делят на 6 регионов: NWP – северо-запад Тихого океана, NE – северо-восток Тихого океана, ATL – северная Атлантика, NIP – север Индийского океана, SIP – юг Индийского океана, SEP – юг Тихого океана. Это деление на зоны активного регионального тропического циклогенеза произведено безотносительно такой особенности атмосферной циркуляции, как явление ENSO. Вслед за некоторыми исследователями были выделены некоторые подрегиональные циклогенезы, а именно регион был разбит на две примерно равные части по 140 меридиану восточного полушария: NCP – северо-центральная часть Тихого океана от 140 до 180° в.д., NWP – северо-западная часть Тихого океана западнее 140° в.д. (не следует путать друг с другом подрегион NWP и регион NWP).

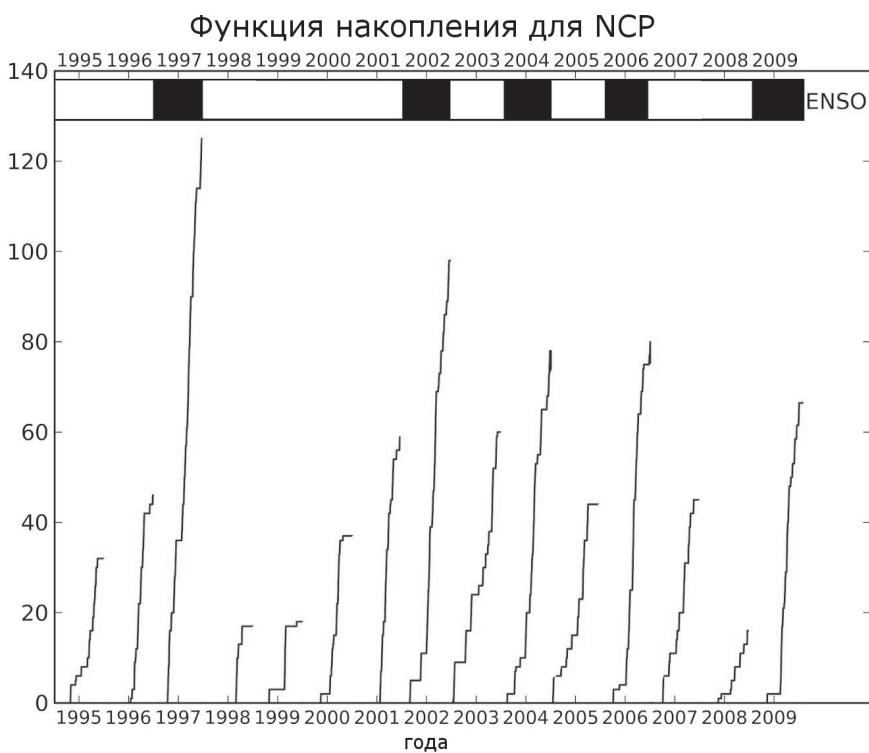


Рис. 1. График функции накопленного числа событий для северо-центральной части Тихого океана (от 140 до 180° в.д.) за период 1995–2010 гг. в режиме годичного накопления, наверху над графиком схематически изображены фазы активности явления ENSO (1997, 2002, 2004, 2006, 2009 гг.).

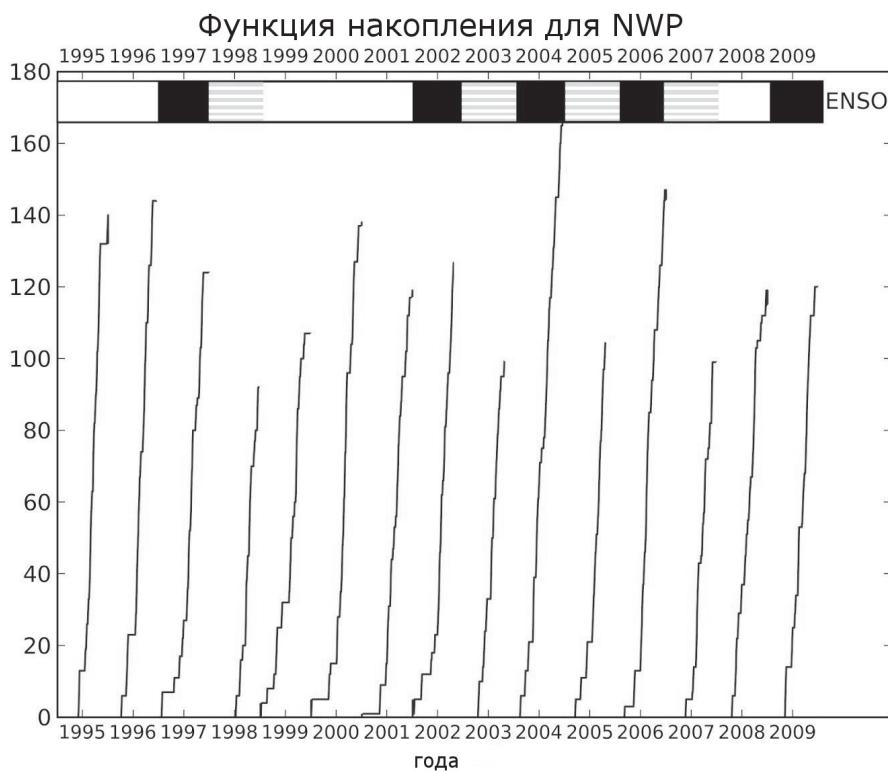


Рис. 2. График функции накопленного числа событий для северо-западной части Тихого океана (западнее 140° в.д.) за период 1995–2010 гг. в режиме годичного накопления, наверху над графиком схематически изображены фазы активности явления ENSO сплошными прямоугольниками (1997, 2002, 2004, 2006, 2009 гг.) и полосатыми прямоугольниками показаны следующие за ними годы (1998, 2003, 2005, 2007 гг.).

Для выявления масштабных особенностей во временном ходе потока событий тропического циклогенеза на *рис. 1 и 2* представлены в графическом виде функции накопленного числа событий для региональных циклогенезов NWP и NCP. На *рис. 1* график функции накопленного числа событий для северо-центральной части Тихого океана (от 140 до 180° в.д.) за период 1995–2010 гг. в режиме годичного накопления, наверху над графиком схематически изображены фазы активности явления ENSO черным цветом (1997, 2002, 2004, 2006, 2009 гг.), соответственно белым цветом показаны эпизоды нейтральной и подавленной фазы явления ENSO. Хорошо видно, что активные фазы явления ENSO способствуют резкой интенсификации функции накопления для регионального циклогенеза в северной части центрального Тихого океана в соответствующий год. На *рис. 2* график функции накопленного числа событий для северо-западной части Тихого океана (западнее 140° в.д.) за период 1995–2010 гг. в режиме годичного накопления, наверху над графиком схематически изображены фазы активности явления ENSO сплошными прямоугольниками (1997, 2002, 2004, 2006, 2009 гг.) и полосатыми прямоугольниками показаны следующие за ними годы (1998, 2003, 2005, 2007 гг.). Анализ данных этого графика показывает, что активные фазы явления ENSO служат причиной подавления функции накопления в год, следующий за годом активности явления ENSO.

Методика построения вейвлет-спектров исследуемых сигналов

Однако, совершенно ясно, что требуется более детальный анализ пространственно-временной структуры сложного многомасштабного процесса тропического циклогенеза, вариаций солнечной активности и их взаимодействия, потому обратимся к вейвлет-преобразованию. В настоящее время оно широко применяется при исследовании стохастических сигналов. Каждая функция этого базиса характеризует как определенную частоту, так и ее локализацию по времени, обеспечивая частотно-временную развёртку исследуемого сигнала. Разложение анализируемого сигнала по масштабам осуществляется растяжением или сжатием анализирующего вейвлета перед его сверткой с исследуемым сигналом. Таким образом, в отличие от преобразования Фурье, появляется возможность анализировать свойства стохастического процесса одновременно и в физическом (время), и в спектральном (частота) пространствах.

Дадим формальное определение, лежащее в основе используемого вейвлет-анализа. Интегральным амплитудным вейвлет-преобразованием функции (Foster, 1996) $f(t) \in L^2(R)$ будем называть выражение

$$W_A(s, b) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi^*\left(\frac{t-b}{s}\right) dt,$$

где $s, b \in R$, $s \neq 0$, ψ^* – комплексно сопряжённое к ψ .

Функция $\psi(t)$ называется базисным или материнским вейвлетом. Параметр s называется масштабом (scale) и определяет размер вейвлета. Масштаб обратно пропорционален частоте. Его аналогом в Фурье-анализе является период (частота) гармонического

колебания. Заметим, что понятие масштаба более широкое, чем понятие периода. Это связано с тем, что в Фурье-преобразовании функциональный вид ядра преобразования зафиксирован раз и навсегда, в то время как вейвлет-преобразование одной и той же функции можно получить с помощью различных базисных вейвлетов (т.е. в разных масштабах). Параметр b называется сдвигом (shift).

Материнским вейвлетом был выбран вейвлет Морле, представляющий собой плоскую волну, промодулированную гауссианой.

$$\psi(t) = \exp\left(-\frac{t^2}{a^2}\right) \exp(i\omega_0 t).$$

Численный подсчет вейвлет-спектра эффективнее производить с применением быстрого преобразования Фурье, т.к. применив преобразование Фурье по b , получим

$$\hat{W}_A(s, \omega) = \hat{\psi}^*(s\omega)\hat{f}(\omega).$$

Таким образом, вначале для исследуемого процесса считается его Фурье-образ, затем он умножается на аналитически известный Фурье-образ вейвлета

$$\psi(\omega) = \frac{a}{\sqrt{2}} \exp\left(-\frac{a^2}{4(\omega - \omega_0)^2}\right).$$

От полученного произведения считается Фурье-прообраз, по которому находится локальный спектр энергии $S(s_1 i, b_1 j) = |W_1 A K(s_1 i, b_1)| \tau_2$.

Окончательным результатом обработки исходного сигнала является картинка вейвлет-спектра исследуемого сигнала, представляющая собой изображение на плоскости графика функции двух переменных, на котором разным значениям функции соответствуют точки разного цвета градуированной цветной шкалы от синего (как минимального значения функции) до красного (как максимального значения функции). На основе полученного изображения можно проводить аналитический анализ распределения энергии по пространственно-временной локализации в исследуемом сигнале, выявлять локализацию и интенсивность особенностей в сигнале, области наибольшей активности процесса, иерархическую структуру анализируемого множества, дробление и слияние масштабов.

Анализ вейвлет-спектров тропического циклогенеза, солнечной активности и явления ENSO

Теперь перейдем к полученным вейвлет-спектрам исследуемых сигналов. Заметим, что для исследуемых сигналов спектры строились двумя способами. Первый в, так называемом, интегральном режиме, когда происходило усреднение 15 годичных вейвлет-спектров за промежуток 1995–2010 гг., при этом характерно проявлялись интегральные признаки исследуемого процесса. Второй в, так называемом, дифференциальном режиме, когда

вейвлет-спектр строился сразу для всех 15 исследуемых лет; при этом все мелкие детали остаются доступными для анализа. Для начала обратимся к вейвлет-спектру глобального тропического циклогенеза в интегральном режиме, изображеному на рис. 3.

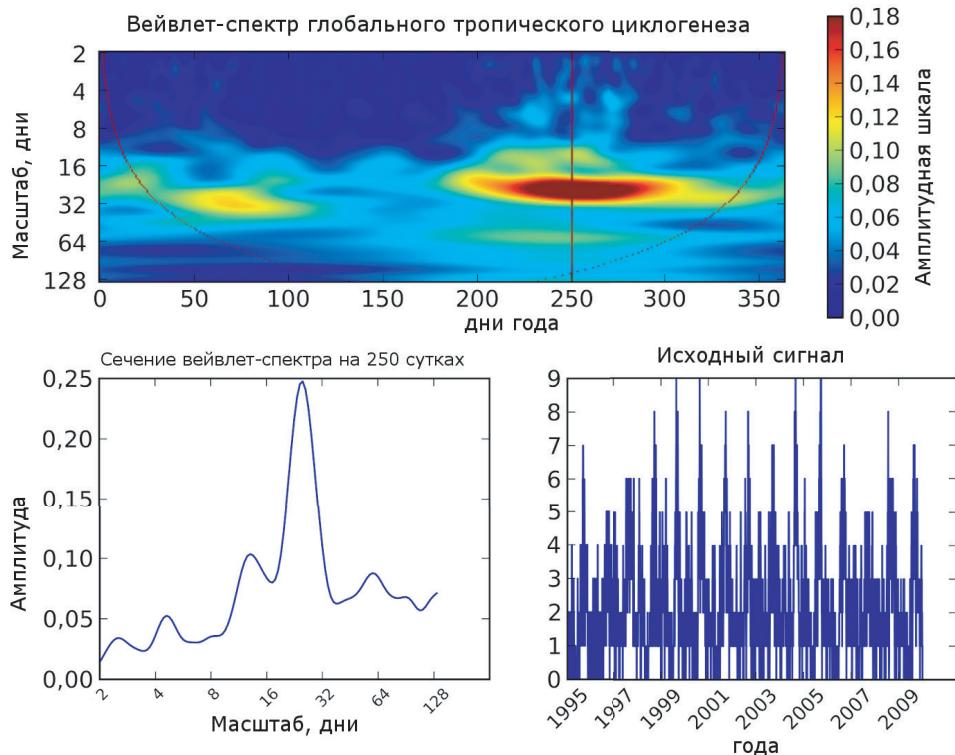


Рис. 3. Сверху представлен вейвлет-спектр глобального циклогенеза, средний по годам из 15-летнего исследуемого промежутка с 1995 по 2010 гг.

(интегральный режим). Вверху справа находится цветовая шкала, помогающая правильно оценивать по цвету значение локального спектра энергии исследуемого сигнала. Внизу слева показан срез вейвлет-спектра по временной оси на 250 сутках. Внизу справа показан исходный сигнал глобального тропического циклогенеза за исследуемый период

По нему характерно видна полугодовая структура, что отражает наличие ярко выраженного сезонного эффекта в тропическом циклогенезе и то, что вторая половина года проходит интенсивнее первой. Наиболее яркой компонентой является 27-дневная, практически всегда наблюдаемая в Северном полушарии. Большая интенсивность гармоник близких к 27-дневным является, по-видимому, вынужденным откликом на солнечное воздействие (в вейвлет-спектре которого наиболее яркой компонентой является 27-суточная и практически незаметны другие) (Афонин, Шарков, 2012). Эти отклики свидетельствуют о нелинейности системы тропического циклогенеза и сложном поведении термогидродинамической системы океан-атмосфера.

На рис. 4 представлен вейвлет-спектр индекса солнечной активности за период 21 солнечного цикла в интегральном режиме. На вейвлет-спектре в яркой форме выделяются только область нелинейных взаимодействий (вблизи частоты $f = 13,5$) со слабыми пуллоновскими ветвями. Никаких сезонных вариаций в солнечной активности, естественно, не наблюдается. Отметим яркую 27-дневную компоненту в течение всего года.

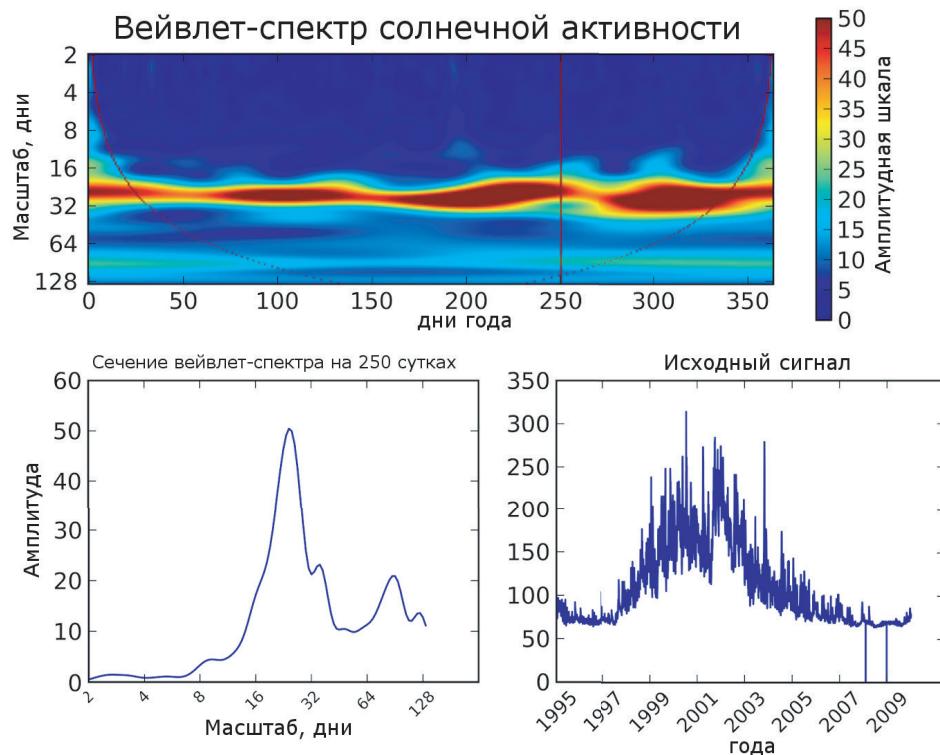


Рис. 4. Сверху представлен вейвлет-спектр солнечной активности, средний по годам из исследуемого 15-летнего периода с 1995 по 2010 гг.

(интегральный режим). Вверху справа находится цветовая шкала,

помогающая правильно оценивать по цвету значение локального спектра энергии исследуемого сигнала. Внизу слева показан срез вейвлет-спектра солнечной активности по временной оси на 250 сутках. Внизу справа показан исходный сигнал интенсивности солнечного излучения на длине волн 10,7 см

Общая структура вейвлет-спектра для интенсивности глобального циклогенеза имеет весьма характерные особенности хаотизированных систем рассматриваемого класса (Sharkov, 2000). На малых временных масштабах процесс ведет себя как пуассоновский случайный сигнал, затем наступает нелинейная стадия, которая сопровождается нелинейными взаимодействиями (в том числе и бифуркационного типа в течение которых происходит удвоение масштаба). При больших временах система ведет себя как линейный гармонический осциллятор с ярко выраженными сезонными (годовые и полугодовые) вариациями. Все эти области хорошо выявляются на вейвлет-спектре интенсивности глобального циклогенеза на рис. 5.

На вейвлет-спектрах дифференциального режима индекса SOI (рис. 6) хорошо прослеживаются три режима временной эволюции явления ENSO: до 8–10 суток – пуассоновский режим; до 1 месяца – бифуркационный режим слияния масштабов и квазилинейные годовые перемежающиеся режимы (хорошо известные из климатических наблюдений: 1996–1997; 2001–2002; 2003–2004; 2005–2006; 2008–2009). Из случайного пуассоновского процесса путем слияния и укрупнения масштабов получаются квазилинейные процессы.

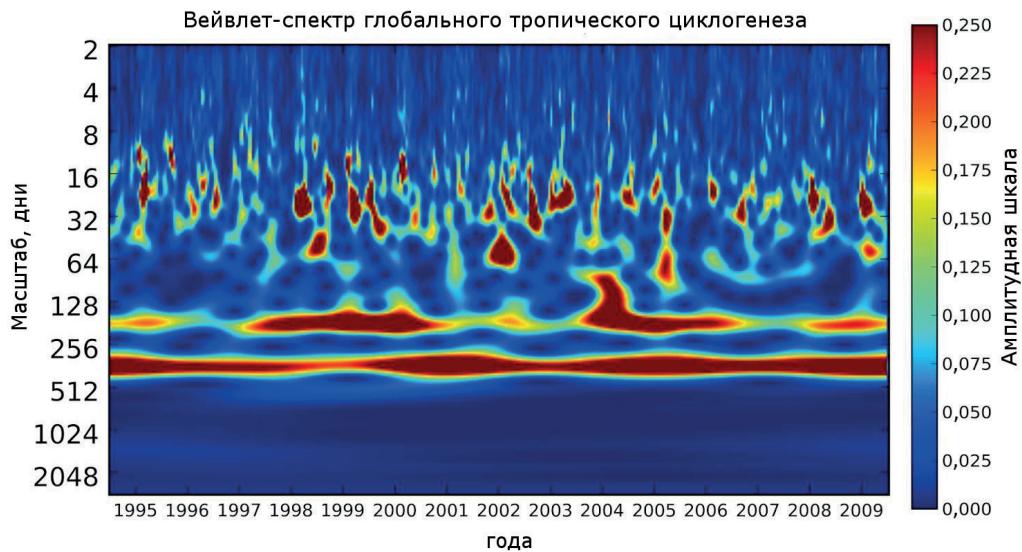


Рис. 5. Вейвлет-спектр глобального тропического циклогенеза в дифференциальном режиме за период с 1995 по 2010 гг.

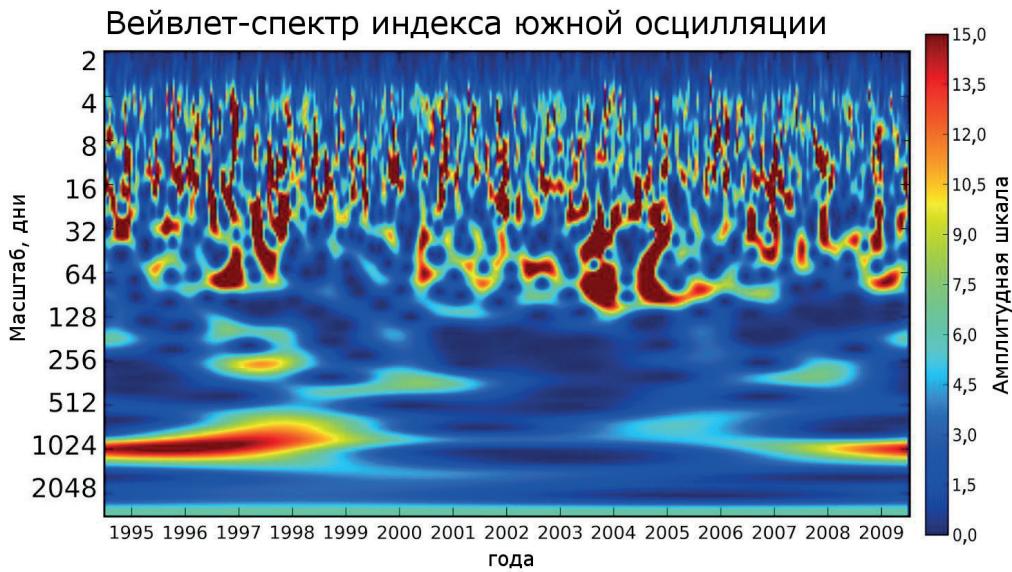


Рис. 6. Вейвлет-спектр индекса SOI (количественно характеристики явления El-Nino и La-Nina) в дифференциальном режиме за период с 1995 по 2010 гг.

Заключение

В данной работе на базе подхода, связанного как с формированием временного потока событий тропических циклонов как импульсов единичной амплитуды со случайной длительностью и случайными моментами появления, так и связанного с построением для такого временного потока событий функций накопления, выявлена зависимость интенсивности темпов генерации региональных тропических циклогенезов от эпизодов ENSO. Показано влияние активной фазы ENSO на функцию накопленного числа событий региональных тропических циклогенезов: усиление в северо-центральной части Тихого океана и подавление на следующий год за год активности в северо-западной части Тихого океана. Кроме того, в работе представлены результаты вейвлет-обработки данных глобального циклогенеза, солнечной

активности и явления ENSO. Выявлено, что глобальный циклогенез имеет свои собственные пространственно-временные особенности. Полугодовая структура отражает наличие ярко выраженного сезонного эффекта в тропическом циклогенезе. В пространственно-временных спектрах годовых рядов отклик глобального циклогенеза на внешнее солнечное воздействие с 27-суточным периодом наблюдается на частотах, близких к этой вынуждающей частоте, и ее второй гармонике и субгармоникам. Результаты анализа вейвлет-спектров позволяют считать, что тропический циклогенез – проявление сложного нелинейного поведения единой термогидродинамической системы поверхность земли – атмосфера, обладающей собственными динамическими свойствами, характерными временными масштабами и, возможно, резонансными частотами.

Литература

1. Афонин В.В., Шарков Е.А. Глобальный тропический циклогенез и 27-суточные вариации солнечной активности // Исследование Земли из космоса. 2012. № 1. С. 21–28.
2. Кокс Д., Льюис П. Статистический анализ последовательности событий / Пер. с англ. М.: Мир, 1969. 310 с.
3. Покровская И.В., Шарков Е.А. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция (2006–2010). Версия 4.1 М.: КДУ, 2011. 212 с.
4. Шарков Е.А. Аэрокосмические исследования тропических циклонов // Исследование Земли из космоса. 1997. № 6. С. 87–111.
5. Шарков Е.А. Глобальный тропический циклогенез как слабо неравновесная геофизическая система // Исследование Земли из космоса. 1996. № 6. С. 11–17.
6. Шарков Е.А. Глобальный тропический циклогенез: эволюция научных взглядов и роль дистанционного зондирования // Исследование Земли из космоса. 2006. № 1. С. 68–76.
7. Шарков Е.А. Универсальная постоянная генерации стохастического режима глобального тропического циклогенеза в контексте климатических вариаций // Исследование Земли из космоса. 2009. № 6. С. 31–38.
8. Chen, T.-C., S.-P. Weng, N. Yamazaki, and S. Kiehne. 1998. Interannual variation in the tropical cyclone formation over the western North Pacific, Monthly Weather Review 126: 1080–90.
9. Chu, P.-S., and J. D. Clark. 1999. Decadal variations of tropical cyclone activity over the central North Pacific, Bulletin of the American Meteorological Society 80: 1875–81.
10. Chu, P.-S., and R. W. Katz. 1989. Spectral estimation from time series models with relevance to the Southern Oscillation, Journal of Climate 2: 86–90.
11. Foster G. 1996. Wavelets for Period Analysis of Unequally Sampled Time Series, Astronomical Journal, 112 (4), 1709–2929.
12. Sharkov E.A. Global Tropical Cyclogenesis. B., Heidelberg, L., N.Y. etc.: Springer/PRAXIS, 2000. P. 361.
13. Sharkov E.A. Remote Sensing of Tropical Regions. Chichester, N.Y. etc.: John Wiley and Sons / PRAXIS, 1998. 310 p.

**The investigation of stochastic modes of tropical cyclogenesis
under the influence of solar activity and ENSO events
based on wavelet transform**

A.R. Nurmukhametov, E.A. Sharkov

Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia
E-mail: nurmukhametov.alex@gmail.com, e.sharkov@mail.ru

Temporary generation rate of tropical cyclones is a serious and unresolved problem. In this paper, the approach is associated with the formation of the temporal flow of events of tropical cyclones. The effects of the active phase of ENSO are shown on the accumulation function of regional tropical cyclogenesis. The investigation of the spatial and temporal structure of the global tropical cyclogenesis and solar radiation, the phenomenon of ENSO are performed. For this purpose wavelet spectra were constructed for these signals during the study period of 15 years from 1995 to 2010. They allow visually track the characteristics of the studied processes, allocate specific time-frequency dependence, and provide insight on the interaction of these processes. The structure of the six-month and 27 day bright component is shown in global tropical cyclogenesis and solar activity. Previously obtained results are confirmed by new data on the response of the global cyclogenesis to external action with a 27-day period of solar activity.

Keywords: tropical cyclogenesis, ENSO, solar activity, wavelet transform.