

УДК 550.341:551.515

ЦИКЛОНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ И ЕЕ ДИНАМИКА – ЕДИНЫЙ НЕПРЕРЫВНЫЙ ПРОЦЕСС

© 2020 г. М. И. Ярошевич*

Известия РАН. Физика атмосферы и океана, Пыжевский пер., 3, Москва, 119017 Россия

*E-mail: myarosh32@gmail.com

Поступила в редакцию 31.10.2019 г.

После доработки 25.03.2020 г.

Принята к публикации 01.04.2020 г.

Исследовалось возможное влияние циклонической активности тропических циклонов года на циклоническую активность следующего года. Выявлена зависимость циклонической активности двух интервалов времени начала года, от циклонической активности аналогичных интервалов времени конца предшествующего года. На основании полученных результатов делается предположение, что динамика циклонической активности на любом отрезке времени – единый непрерывный процесс.

Ключевые слова: тропические циклоны, циклоническая активность

DOI: 10.31857/S0002351520050120

В исследованиях тропические циклоны, как правило, рассматриваются в двух временных интервалах. Первый – это время “жизни” циклона, второй – это календарный год. Длительность первого интервала определена только процессом события, то есть природой. Календарный год логичен и удобен в ряде статистических исследований тропических циклонов. Однако, как кажется, правомерен вопрос – отражает ли на деле календарный год полный, то есть от начала до конца законченный, цикл циклонической активности?

Конечно, динамике циклонической активности присуща сезонность, наибольшая интенсивность которой приходится на летние и осенние месяцы года. Но ведь и немало случаев, когда тропические циклоны действуют и в зимние и весенние месяцы. Поэтому, представляется допустимым в исследованиях предположение, что процесс формирования циклонической активности непрерывен и лишь есть время, когда ослабляются и время, когда усиливаются условия, благоприятствующие циклонической активности.

В сообщении и предпринята попытка выяснить – существуют ли, кроме цикла отдельного тропического циклона, еще временные интервалы, в которых реализуются полные, завершенные циклы циклонической активности.

Анализ возможностей показал, что, по крайней мере, на начальном этапе эти исследования следует проводить, основываясь не непосредственно на хронологическом потоке тропических циклонов, а используя модель интегральной оценки циклонической активности на всей заданной территории. Эта модель представления

циклонической активности неоднократно описана и использована [1, 2]. Она, в целом, хорошо отражает динамику циклонической активности и оказалась относительно эффективным средством ее исследований. Кратко напомним суть модели.

Здесь, в расчетных экспериментах, рассматриваются тропические циклоны северо-западной части Тихого океана. Основой расчетов является метод оценки кинетической энергии отдельного циклона, которая пропорциональна квадрату скорости ветра [3]. Координаты реальных циклонов, приведенные в 00 ч и 12 ч Гринвичского времени, рассматриваются в модели в качестве “источников” ветра и центров круговых ветровых полей¹. Зона, где действуют тропические циклоны, делится на элементарные квадраты размерами в зависимости от решаемой задачи. Здесь – это квадраты размером $5^\circ \times 5^\circ$. В каждое фиксированное время рассматриваются “источники” всех циклонов, действовавших на этот момент времени. По соответствующим каждому “источнику” значениям максимальной скорости ветра (V_{\max}) и радиусу максимальных ветров (r_{\max}), рассчитывается множество значений r и V_r . Величина r – это расстояния от “источника” до центров всех рассматриваемых элементарных квадратов, а V_r – соответствующие скорости ветра в центрах элементарных квадратов. Значения V_r определяются из соотношения $V_r = V_{\max}(r_{\max})^k/r^k$ [4, 5]. Здесь $k = 0.5$, как величина, наиболее часто оце-

¹ В тропическом циклоне ветровые поля не совсем круглые, но их такое представление в модели сильно усложнило бы ее. Поэтому в модели ветровые поля представлены в виде кругов.

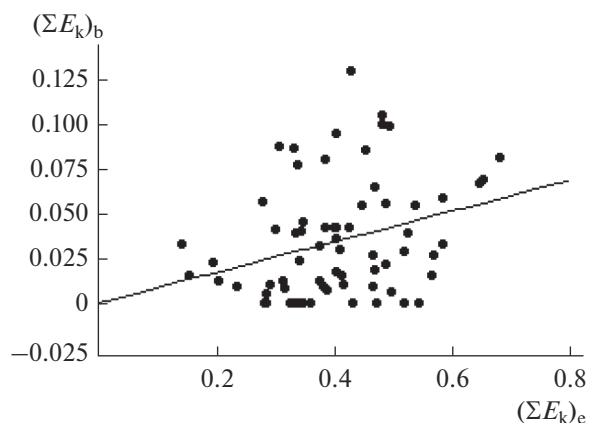


Рис. 1. Регрессионная зависимость относительной суммарной величины циклонической энергии достигнутой за первые 100 дней текущего года — $(\Sigma E_k)_b$ от относительной суммарной величины циклонической энергии достигнутой за последние 100 дней хронологически предшествующего года — $(\Sigma E_k)_e$.

ниваемая в натуральных экспериментах в циклонической зоне северо-западной части Тихого океана [5]. По значениям r и V_r для каждого элементарного квадрата рассчитывается значение $(V_r)^2$, которое здесь условно назовем кинетической энергией. К энергии, рассчитанной для данного момента времени, прибавляется энергия, вычисленная для “источников” в прошлые моменты времени, естественно, с учетом прошедшего отрезка времени. При этом ослабление энергии во времени оценивается по экспоненте, исходя из статистики времени ослабления реальных циклонов [4, 5]. В итоге, в каждом элементарном квадрате формируется суперпозиция значений энергии. Сумма суперпозиционных энергий всех элементарных квадратов (E_k) и характеризует циклоническую активность (циклоническую энергию) на данный момент времени по всей рассматриваемой площади. В итоге годовой поток циклонов, предстает хронологическим множеством, состоящим, из 730 или 732 значений энергии, отражающие общую динамику циклонической активности в течение года. Эти множества представляют перемежаемые ряды всплесков циклонической активности и циклонического затишья.

Обратим внимание на то, что в применяемой здесь модели рассматриваются не сами тропические циклоны, а результаты “суммарного” действия потока циклонов в форме своеобразной энергетической характеристики.

Основой расчетного эксперимента стали подробные данные 2067 тропических циклонов, произошедших в северо-западной части Тихого океана за 1945–2015 годы. По ним, по вышеприведенной методике, рассчитано 51830 значений E_k . При этом в 11468 случаях значения $E_k = 0$, что отражает затишье циклонической активности.

В интересах решения поставленной задачи следовало выяснить — влияет ли циклоническая активность текущего года на циклоническую активность следующего за ним года. Для начала только так можно было выявить последовательную межгодовую связь и непрерывность циклонической активности. В частности, рассматривалась возможность влияния суммарной циклонической энергии, достигнутой в последние 100 дней года $(\Sigma E_k)_e$ на суммарную энергию достигнутой в первые 100 дней последующего года $(\Sigma E_k)_b$.

Здесь необходимо одно примечание. Суммарные энергии второй половины года всегда существенно превышают суммарную энергию первой половины этого же года. При этом значения годовых энергий сильно между собой различаются. Поэтому относительно часто суммарная энергия второй половины слабоактивного года может оказаться сопоставимой или даже меньше, суммарной энергии первой половины года с высокой циклонической активностью. Последовательные сопоставления значений $(\Sigma E_k)_e$ и $(\Sigma E_k)_b$ приводят к графику с сильным разбросом точек, из которого не просматривается какая-либо закономерность. В целях хотя бы частичного решения этой проблемы здесь под $(\Sigma E_k)_e$ и $(\Sigma E_k)_b$ следует понимать суммарные 100-дневные энергии, деленные на суммарные годовые энергии соответствующего года. Это своеобразное нормирование, позволило выявить определенную зависимость значений $(\Sigma E_k)_b$ от $(\Sigma E_k)_e$.

На рис. 1 показана регрессионная зависимость величины энергии за первые 100 дней года от величины циклонической энергии последних 100 дней предшествующего года. По соответствующему регрессионному соотношению при изменениях величины $(\Sigma E_k)_e$ в пределах 0.1–0.7, что соответствует всему диапазону этих значений, величина $(\Sigma E_k)_b$ вырастает в 7 раз. Как кажется закономерность зависимости достаточно четкая. Напомним, что все расчеты проведены в строго хронологическом порядке по 1945–2015 годам.

На рисунке относительно большой разброс точек. Он объясним, по крайней мере, двумя факторами. Это уровень точности определения скоростей максимальных циклонического ветров (V_{max}), что приведены в исходных метеорологических сводках. В расчетных экспериментах мы воспользовались большим количеством этих значений. Второй фактор, возможно, связан с применяемой нами формулой расчетов скоростей ветра на расстояниях — $V_r = V_{max}(r_{max})^k/r^k$. Как уже отмечалось, в наших расчетах всегда $k = 0.5$, как наиболее часто выявленная величина. Однако в [4] отмечается, что на некоторых расстояниях значение k может варьировать в пределах 0.5 до 1. При этом эти случаи четко не оговариваются. К сожалению, другого пути более точного определения скорости ветра на удалении от зоны максимальных ветров автору не известны.

В [1, 2] и других публикациях не раз отмечалось, что используемая модель вообще полно и достаточно достоверно описывает характер и динамику циклонической активности. Здесь же, похоже, мы столкнулись с более “тонкими”, или более “чувствительными” расчетами, что, видимо, и привело к такому разбросу точек. В дальнейшем развитии этих исследований, скорее всего, будет уделено особое внимание расчетам, способствующим повышению уровня корреляции между значениями типа $(\Sigma E_k)_b$ и $(\Sigma E_k)_e$.

По этой же методике были исследованы возможные влияния суммарных энергий, рассчитанных для больших интервалов времени. Тенденция влияния сохранялась, но с ростом временных интервалов, для которых рассчитывалась суммарная энергия, степень влияния уменьшается. Последнее как раз и показывает, что не энергия большей части предшествующего года влияет на энергию последующего года, а влияет суммарная энергия конца предшествующего года, что, как кажется, и физически правдоподобнее, и логичнее. Для иллюстрации сказанного на рис. 2 приведен график влияния, когда рассматриваются полугодовые суммарные энергии циклонической активности. И в данном случае рост циклонической активности во втором полугодии приводит к усилению циклонической активности в первом полугодии последующего года.

Таким образом, выявлена в первом приближении определенная последовательная межгодовая энергетическая связь. Это, похоже, подтверждает сомнение в том, что календарный год объективно отражает законченный цикл циклонической активности.

По правилу Штюргесса [6], по всем 51830 значениям E_k было рассчитано их распределение. Распределение представлено соотношением $N = 30\,570 / E_k^{1.91}$, в котором N – рассматриваемое число значений E_k . Аналогичное, по форме, соотношение получено для распределения 40362 ненулевых значений E_k . Часто, такого (степенного) характера распределения означают взаимозависимость его элементов. Поэтому этот результат рассматривается здесь, как возможное, дополнительное, опосредованное свидетельство непрерывной энергетической взаимосвязи элементов циклонической активности и ее динамики.

В результате проведенных исследований и, несмотря на некоторые проблемы, связанные с точностью исходных данных и расчетов, статистически показано, что циклоническая активность в конце года или второй половины года, отражается пропорционально на циклонической активности соответственно начала или первой половины следующего года. При этом эта особенность не ограничена годами. Практически во всех рассматриваемых в расчетах суммарных энергиях есть различные по длительности хронологиче-

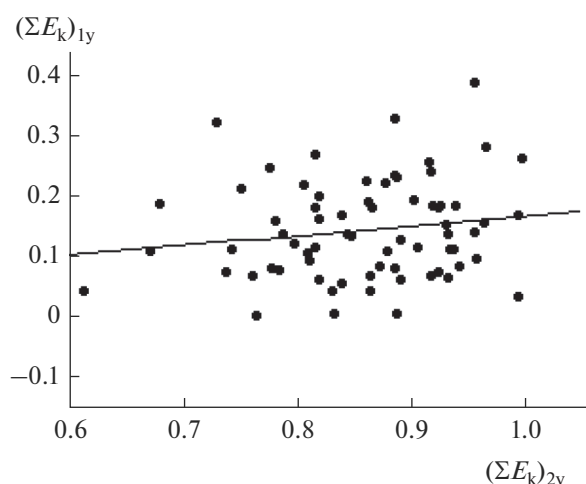


Рис. 2. Регрессионная зависимость относительной суммарной величины циклонической энергии достигнутой за первую половину текущего года – $(\Sigma E_k)_{1y}$ от относительной суммарной величины циклонической энергии достигнутой за вторую половину хронологически предшествующего года – $(\Sigma E_k)_{2y}$.

ские отрезки времени, в которых $\Sigma E_k = 0$. Это времена циклонического затишья. Но они наравне с временами циклонической активности участвуют в расчетах выявленного влияния. Это физически может означать, что циклоническая активность продолжает формироваться и в перемежаемые периоды затишья. Из приведенного следует предположение: циклоническая активность тропических циклонов и ее динамика – процесс единый, непрерывный и не ограниченный во времени. Кроме того, создана новая возможность в изучении тропических циклонов, исследуя непрерывные динамики циклонической активности.

Важно еще раз подчеркнуть, что здесь речь идет не о непрерывности потока тропических циклонов, эти потоки часто прерывисты. Вышеприведенные результаты имеют отношение только к суммарной динамике циклонической энергии, или циклонической активности, порожденной тропическими циклонами.

Автору не удалось выявить публикации, в которых были бы представлены результаты схожих исследований. Несомненно, приведенные результаты следует рассматривать лишь как первичные результаты.

В качестве примечания рассмотрим допущение феноменологического характера. В зоне действия тропических циклонов в открытой системе “атмосфера–океан” непрерывно во времени и в пространстве изменяются значения физических характеристик, в комплексе определяющие характер тропического циклона. При определенном уровне значений и совместимости этих характеристик “система” сбрасывает порцию энергии в форме тропического циклона. Но и после этого процесс

непрерывного изменения значений характеристик не прерывается и длится до формирования следующего циклона или группы в той или иной мере совпадающих по времени циклонов. И так — непрерывно по всей многолетней последовательности циклонической активности. Предложенное допущение представляется физически достаточно реалистичным, непротиворечивым и, как кажется, объясняет приемлемую объективность приведенных результатов расчетных экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярошевич М.И. Динамика сезонных значений суммарных интенсивностей тропических циклонов // Докл. АН. 2007. Т. 413. № 4. С. 549–552.
2. Ярошевич М.И. О некоторых взаимосвязях в динамике активности тропических циклонов // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 4. С. 547–551.
3. Голицын Г.С. Статистика и энергетик тропических циклонов // Докл. АН. 1997. Т. 354. № 4. С. 535–538.
4. Хаин А.П., Сутырин Г.Г. Тропические циклоны и их взаимодействие с океаном. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 272 с.
5. Gray W.M. Recent advances in tropical cyclone research from rawinsonde composite analysis. Fort Collins (Color.). Dep. Atm. Sci., Colo. State Univ., 1981. 407 p.
6. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. М.: Высшая школа. 1982. 224 с.

Cyclonic Activity of Tropical Cyclons and Its Dynamics – a Single Continuous Process

M. I. Yaroshevich*

Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk, Fizika Atmosfery i Okeana, Pyzhevskii per., 3, Moscow, 119017 Russia

**e-mail: myarosh32@gmail.com*

The possible effect of the cyclonic activity of tropical cyclones of the year on the cyclonic activity of the next year was investigated. The dependence of the cyclonic activity of two time intervals of the beginning of the year on the cyclonic activity of similar time intervals of the end of the previous year is revealed. Based on the results obtained, it is assumed that the dynamics of cyclonic activity at any time interval is a single continuous physical process.

Keywords: tropical cyclones, cyclonic activity