

УДК 550.341:551.515  
Научная специальность: 1.6.21  
<https://elibrary.ru/wwxyqq>

# Циклоническая активность тропических циклонов и некоторые ее особенности. Часть V. Сейсмическая реакция в ряде диапазонов магнитуд на многолетнюю циклоническую активность тропических ЦИКЛОНОВ

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2025

Ярошевич М.И.,  
Россия, г. Обнинск

## Аннотация

Рассчитаны многолетние годовые значения циклонической энергии тропических циклонов и годовые значения сейсмической энергии отдельно по землетрясениям нескольких диапазонов магнитуд. Расчеты проведены по обширной циклонической зоне северо-западной части Тихого океана. Выявлены определенные корреляционные связи между многолетними динамиками годовых значений циклонической энергии и годовых значений сейсмической энергии. Выявлены характеры тенденций развития многолетних рядов годовых значений циклонической и сейсмической энергии. На основании полученных результатов предложен гипотетический механизм возможного влияния циклонической активности на сейсмическую активность в двух разных диапазонах магнитуд.

**Ключевые слова:** тропические циклоны; энергия тропических циклонов; зона действия тропических циклонов; диапазоны магнитуд землетрясений; энергия землетрясений.

**Для цитирования:** Ярошевич М.И. Циклоническая активность тропических циклонов и некоторые ее особенности. Часть V. Сейсмическая реакция в ряде диапазонов магнитуд на многолетнюю циклоническую активность тропических циклонов // Проблемы анализа риска. 2025. Т. 22. № 1. С. 62–67. — EDN: WWXYQQ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

# Cyclonic Activity of Tropical Cyclones and Some of its Features.

## Part V.

### Seismic Response in a Number of Magnitude Ranges to Long-Term Cyclonic Activity of Tropical Cyclones

Mikhail I. Yaroshevich,  
Obninsk, Russia

#### Abstract

Long-term annual values of the cyclonic energy of tropical cyclones and annual values of seismic energy were calculated separately for earthquakes of several magnitude ranges. Calculations were carried out over a vast cyclonic zone in the northwestern part of the Pacific Ocean. Certain correlations have been identified between long-term dynamics of annual values of cyclonic energy and annual values of seismic energy. The patterns of development trends in long-term series of annual values of cyclonic and seismic energies have been identified. Based on the results obtained, a hypothetical mechanism for the possible influence of cyclonic activity on seismic activity in two different magnitude ranges is proposed.

**Keywords:** tropical cyclones; tropical cyclone energy; tropical cyclone action area; earthquake magnitude ranges; earthquake energy.

**For citation:** Yaroshevich M.I. Some regularities of burst cyclone activity of tropical cyclones. Part V. Seismic response in a number of magnitude ranges to long-term cyclonic activity of tropical cyclones // Issues of Risk Analysis. 2024;22(1):62–67. (In Russ.). — EDN: WWXYQQ

The author declares no conflict of interest.

#### Содержание

Введение

1. Расчетные эксперименты

2. Обсуждения

Заключение

Список источников

## Введение

Северо-западная часть Тихого океана — зона очень высокой сейсмической и циклонической активности тропических циклонов. Здесь ежегодно возникает примерно 1000–1200 землетрясений разного уровня энергии и ежемесячно в среднем 30 тропических циклонов, из которых около половины — тайфуны (максимальная скорость ветра  $V_m \geq 33 \text{ м/с}$ ). Среднесуточная энергия тайфуна оценивается величиной  $10^{18}$  Дж [1]. Таким образом, тайфун в среднем суммарно за время своего действия излучает энергию порядка  $10^{19}$  Дж. Это огромная энергия, соответствующая суммарной энергии почти 900 землетрясений магнитудой  $M = 7.5$ .

По меньшей мере, для рассматриваемого района достаточно свидетельств того, что тропические циклоны являются одним из факторов, влияющих на сейсмическую ситуацию в зоне действия тропических циклонов [2, 3, 7, 8]. Ранее были получены результаты расчетных экспериментов, в целом иллюстрирующие общий характер влияния циклонического фактора на общую сейсмичность в зоне высокой циклонической активности [7].

В представленной статье предпринята попытка несколько детальнее выявить влияние циклонической активности на сейсмическую активность в зависимости от рассматриваемого диапазона магнитуд и удаленностей гипоцентров землетрясений.

## 1. Расчетные эксперименты

Здесь исходной информацией в расчетных экспериментах служат тропические циклоны и землетрясения, произошедшие в обширной циклонической зоне северо-западной части Тихого океана ( $[(5-45)^\circ\text{N} - (115-175)^\circ\text{E}]$ ) в течение 1980–2015 гг.

Расчетными единицами в эксперименте являются годовые значения циклонической энергии ( $E_c$ ) и годовые значения сейсмической энергии ( $E_s$ ). Годовые значения сейсмической энергии рассматриваемых диапазонов магнитуд рассчитываются по данным сейсмологических бюллетеней «Геофизической службы РАН». Годовые значения циклонической энергии рассчитываются по неоднократно описанной модели [5, 6].

Циклоническая энергия по модели рассчитывается каждые 12 ч по Гринвичу по всей площади рассматриваемой циклонической зоны. Зона

поделена равномерно на несколько десятков равных квадратов размером  $5^\circ \times 5^\circ$ . Для каждого из этих квадратов рассчитывается суммарная энергия всех действующих в этот момент времени циклонов, в зависимости от расстояния до соответствующего циклона и максимальной скорости ветра циклона в это время. Сумма всех суперпозиций энергии квадратов и задает значение циклонической энергии в данный момент времени по всей площади. В году рассчитывается 730–732 таких значения, сумма которых в итоге и представляет соответствующее годовое значение циклонической энергии ( $E_c$ ). Сглаженная многолетняя динамика циклонической энергии за 1980–2015 гг. представлена на графике (см. рис. 1).

$E_c/10^{22}$ , Дж

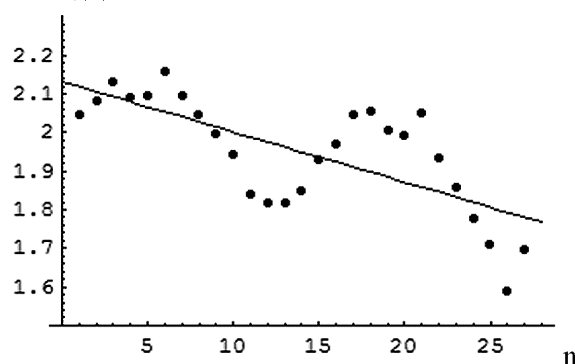


Рис. 1. Динамика сглаженных годовых значений циклонической энергии тропических циклонов, произошедших в 1980–2015 гг. (Сглаживание по 10 последовательным значениям;  $n$  — количество лет)

Figure 1. Dynamics of smoothed annual values of cyclonic energy of tropical cyclones that occurred in 1980–2015 (smoothing by 10 consecutive values;  $n$  = number of years)

Динамика характеризуется относительно многолетними усилениями и ослаблениями циклонической энергии и тенденцией к общему с годами ослаблению энергии. Динамика представлена регрессионным соотношением  $E_c/10^{22} \text{ Дж} = 2.131 - 0.013 \times n$ .

Многолетняя динамика годовых значений сейсмической энергии, рассчитанных по всем землетрясениям всех магнитуд при условии, что глубина гипоцентров всех землетрясений  $H \leq 33 \text{ км}$ , показана на рис. 2. В этом случае наблюдается тенденция к общему нарастанию с годами сейсмической активности ( $E_s/10^{17}$

Дж =  $1.038 + 0.11 \times n$ ). Коэффициент корреляции между динамикой циклонической энергии (рис. 1) и динамикой сейсмической энергии (рис. 2):  $r = -0.83^1$ .

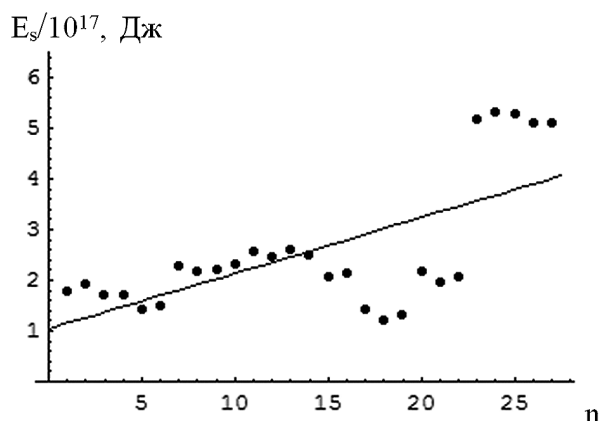


Рис. 2. Динамика сглаженных годовых значений сейсмической энергии за 1980–2015 гг. Расчеты по всем землетрясениям всех магнитуд и по значениям  $H \leq 33$  км. (Сглаживание по 10 последовательным значениям;  $n$  — количество лет)

Figure 2. Dynamics of smoothed annual values of seismic energy for 1980–2015. Calculations for all earthquakes all magnitudes and  $H$  values  $\leq 33$  km. (Smoothing by 10 consecutive values;  $n$  = number of years)

В следующем расчетном эксперименте рассматривались землетрясения диапазоном  $M \geq 6$ , но в двух вариантах: в одном только землетрясения с  $H \leq 33$  км, в другом — землетрясения с любыми значениями  $H$ . Результаты этого эксперимента приведены на рис. 3.

И здесь в обоих случаях в течение 1980–2015 гг. отмечено общее стремление к нарастанию сейсмической активности:  $E_s/10^{16}$  Дж =  $0.978 + 0.109 \times n$  (рис. 3а) и  $E_s/10^{16}$  Дж =  $6.165 + 0.086 \times n$  (рис. 3б). Существенно в этом варианте расчетов различаются коэффициенты корреляции между многолетними динамиками циклонической и сейсмической энергии. В случае, когда рассматриваются землетрясения с  $M \geq 6$  и ограниченные  $H \leq 33$  км, коэффициент корреляции  $r = -0.83$ , в случае же этого же диапазона землетрясения, но не ограниченные значением  $H$ ,  $r = -0.14$ . Это важное различие, на которое будет обращено внимание ниже.

<sup>1</sup> Учитывая уровень точности определения параметров тропических циклонов и землетрясений и расчетов соответствующих энергий, как кажется, коэффициент корреляции — 0.83 является достаточно высокой и достаточно достоверной оценкой соотношений динамик, приведенных на рис. 1, 2.

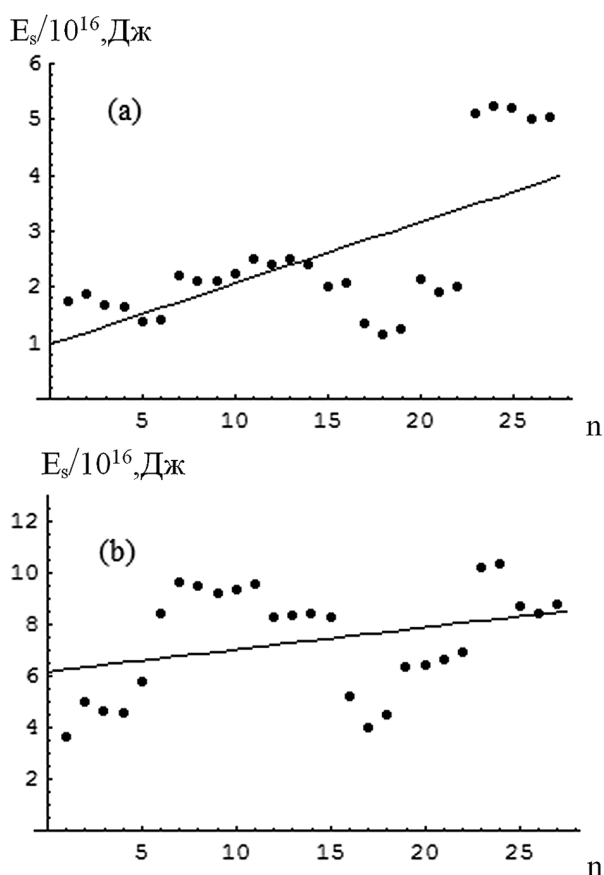


Рис. 3. Динамика сглаженных годовых значений сейсмической энергии за 1980–2015 гг.: (а) — все землетрясения  $M \geq 6$  с  $H \leq 33$  км; (б) — все землетрясения  $M \geq 6$  и неограниченно по значениям  $H$ .

Figure 3. Dynamics of smoothed annual values of seismic energy for 1980–2015 (a) — all earthquakes  $M \geq 6$  with  $H \leq 33$  km; (b) — all earthquakes  $M \geq 6$  and unlimited values of  $H$ .

В еще одном расчетном эксперименте определялась сглаженная многолетняя динамика сейсмической активности, рассчитанная по всем землетрясениям  $M \geq 7$  и по всем значениям  $H$  (см. рис. 4). Здесь общее многолетнее нарастание сейсмичности отражено регрессионным соотношением  $E_s/10^{16}$  Дж =  $5.136 + 0.075 \times n$ . В этом случае коэффициент корреляции между многолетними динамиками циклонической и сейсмической энергии  $r = -0.476$ .

Такой характер и уровень корреляции между многолетними динамиками циклонической и сейсмической энергии, вероятно, можно объяснить определенным своеобразным сочетанием сильных землетрясений ( $M \geq 7$ ), гипоцентры которых расположены и на глубинах  $H \leq 33$  км, и на глубинах  $H > 33$  км.

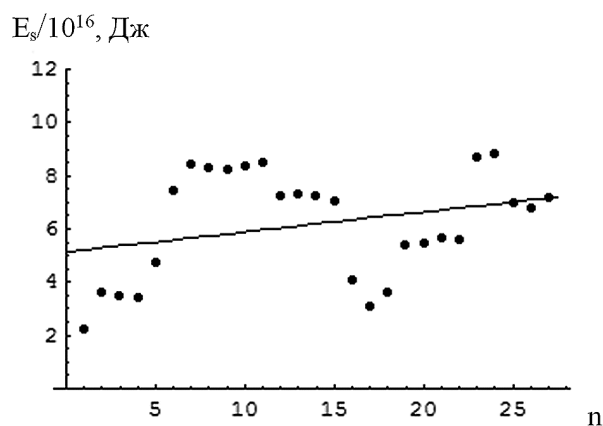


Рис. 4. Динамика сглаженных годовых значений сейсмической энергии за 1980–2015 гг. Все землетрясения  $M \geq 7$  по всем значениям  $H$

Figure 4. Dynamics of smoothed annual values of seismic energy for 1980–2015. All earthquakes  $M \geq 7$  for all values  $H$

## 2. Обсуждения

Вначале обратим внимание на случаи, когда многолетние ряды циклонической и сейсмической энергии связаны относительно высоким, по абсолютной величине, отрицательным коэффициентом корреляции (рис. 2 и рис. 3а). Эта ситуация свидетельствует о том, что при нескольких годах непрерывной сильной циклонической активности сейсмическая активность относительно низкая. И наоборот, при слабой циклонической активности сейсмическая активность относительно высокая. Казалось бы, логично предположить, что при сильной циклонической активности в твердые слои Земли «накачивается» и большая энергия, тем самым возбуждается большая сейсмичность. Сейчас, как кажется, объяснить эту парадоксальность можно лишь механизмом гипотетического характера.

Земная кора насыщена большим числом зон напряженностей. Напряженности по своей силе непрерывно меняются и непрерывно мигрируют. Если в результате миграции несколько зон напряженности объединяется, то может произойти среднее или сильное землетрясение. Для этого, правда, необходимо время, иногда довольно длительное.

Тропические циклоны обладают не только большой энергией, но и занимают большие площади. Кроме того, очень часто циклоны действуют группами. Таким образом, в периоды высокой циклонической активности в земную кору накачивается огромная энергия

на относительно большой площади. Предполагается, что эта энергия «накачивается» на определенное число средних или слабых напряженностей, увеличивая уровень их напряженности. В этой ситуации из-за необычно сильного и быстрого действия циклонической энергии быстрее сейсмически «срабатывают» возросшие напряженности и гасится, возможно значительно, миграция напряженностей. В итоге провоцируется увеличение числа слабых землетрясений, например, землетрясений с  $M \leq 4$  и снижается вероятность возникновения сильных землетрясений. Как бы при этом реально не возросло количество слабых землетрясений ( $M \leq 4 - M < 5$ ), оно относительно мало отразится на величине суммарной годовой сейсмической энергии<sup>2</sup>.

На этапах же низкой циклонической активности поступающая в земную кору энергия, видимо, недостаточна для эффективного воздействия на зоны напряженности. В этом случае зоны напряженности имеют больше возможностей для развития и их слияния, что может привести к сильным землетрясениям, а значит, к усилению сейсмической активности.

В проведенных расчетных экспериментах выявлена еще одна важная особенность: высокое, по абсолютной величине, значение отрицательных коэффициентов корреляции достигается только при рассмотрении землетрясений с  $H \leq 33$  км. Это хорошо иллюстрируется на рис. 3. Этот результат может свидетельствовать о том, что тропические циклоны могут воздействовать на сейсмичность только в неглубоких твердых слоях земли, что и физически достаточно логично.

<sup>2</sup> Для сопоставления напомним, что энергия одного землетрясения с  $M = 7$  равна суммарной энергии более 31000 землетрясений с  $M = 4$ . Здесь не представлена статистика землетрясений с  $M \leq 4$ . Это связано с состоянием информации о таких землетрясениях. В Сейсмологическом бюллетене «Геофизической службы РАН» эти землетрясения представлены следующим образом: до 1978 г. ежегодно 0 таких землетрясений; с 1979 по 2000 г. по несколько землетрясений в год, иногда 20 – 30 землетрясения в год и с 2001 по 2015 г. от 94 до 900 землетрясений в год. Из этого следует, что приведенная статистика землетрясений с  $M \leq 4$  не может объективно быть использована в нашем расчетном эксперименте. В реальности, в рассматриваемой зоне, конечно, не могут быть годы, когда не было землетрясений, или были единицы таких землетрясений. Можно предположить, что, скорее всего, ежегодно в рассматриваемой зоне возникало по несколько сот землетрясений с  $M \leq 4$ . Отсутствие в Сейсмологическом бюллетене данных или отсутствие полных данных о землетрясениях с  $M \leq 4$ , вероятно связано с техническими возможностями типовых сейсмографов, используемых в те годы. Возможно, амплитудно-частотные характеристики этих сейсмографов не позволяли достаточно достоверно выявлять признаки землетрясений с  $M \leq 4$ .

## Заключение

Приведенные результаты позволяют, предположительно, в качестве варианта, представить механизм особого воздействия многолетнего ряда годовых значений циклонической энергии на аналогичные ряды годовых значений сейсмической энергии в нескольких диапазонах магнитуд.

По рассматриваемым годам и циклонической зоне выявлены признаки тенденции многолетнего общего нарастания сейсмической энергии при многолетнем общем ослаблении циклонической энергии.

## Список источников [References]

1. Голицын Г. С. Статистика и энергетика тропических циклонов // Доклады Академии Наук. 1997. Т. 354. № 4. С. 535–538 [Golitsyn G. S. Statistics and energy of tropical cyclones // Reports of the Academy of Sciences. 1997. T. 354. № 4. С. 535–538. (In Russ.)]
2. Островский А. А., Рыкунов Л. Н. Экспериментальное изучение донного сейсмического шума в океане при прохождении циклона // Океанология. 1982. Т. XXII. № 6. С. 975–979 [Ostrovsky A. A., Rykunov L. N. Experimental study of bottom seismic noise in the ocean during the passage of a cyclone // Oceanology. 1982. T. XXII. № 6. P. 975–979. (In Russ.)]
3. Соболев Г. А., Закржевская Н. А., Соболев Д. Г. К вопросу о влиянии циклонов на сейсмичность // Вулканология и сейсмология. 2012. № 2. С. 27–38 [Sobolev G. A., Zakrzhevskaya N. A., Sobolev D. G. The effects of cyclones on seismicity // Vulkanologiya i Seismologiya. 2012;(2):27–38. (In Russ.)]
4. Табулевич В. Н. Комплексные исследования микросейсмических колебаний. Новосибирск: Наука. 1986. 151 с. [Tabulevich V. N. Comprehensive studies of microseismic oscillations. Novosibirsk: Nauka. 1986. 151 p. (In Russ.)]
5. Ярошевич М. И. О некоторых взаимосвязях в динамике активности тропических циклонов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 4. С. 547–551 [Yaroshevich M. I. On some relationships in the dynamics of tropical cyclone activity // Izvestia RAS. Atmospheric and ocean physics. 2011;47(4):547–551. (In Russ.)]
6. Ярошевич М. И. Динамика сезонных значений суммарных интенсивностей тропических циклонов // ДАН. 2007. Т. 413. № 4. С. 549–552 [Yaroshevich M. I. Dynamics of seasonal values of the total intensities of tropical cyclones // DAN. 2007;413(4):549–552. (In Russ.)]
7. Ярошевич М. И. О некоторых особенностях сейсмичности в зоне действия тропических циклонов // Динамические процессы в геосферах. 2024. Т. 16. № 1. С. 25–31 [Yaroshevich M. I. On some features of seismicity in the zone of action of tropical cyclones // Dynamic processes in the geospheres. 2024;16(1):25–31. (In Russ.)]
8. Bowen S. P., Richard J., Macini J. D., et al. Microseism and infrasound generation by cyclones. J. Acoust. Soc. Am. 2003. Vol. 113 (5). P. 2562–2573.

## Сведения об авторе

**Ярошевич Михаил Иосифович:** кандидат технических наук

Количество публикаций: более 140

Область научных интересов: исследование тропических циклонов

Контактная информация:

myarosh32@gmail.com

Статья поступила в редакцию: 16.08.2024

Одобрена после рецензирования: 30.08.2024

Принята к публикации: 18.09.2024

Дата публикации: 28.02.2025

The article was submitted: 16.08.2024

Approved after reviewing: 30.08.2024

Accepted for publication: 18.09.2024

Date of publication: 28.02.2025