

УДК 550.341:551.515

Научная специальность: 1.6.21

Циклоническая активность тропических циклонов и некоторые ее особенности. Часть III.

Об одной особенности совместной динамики годовых значений циклонической и сейсмической энергий в зоне действия тропических ЦИКЛОНОВ

ISSN 1812-5220

© Проблемы анализа риска, 2024

Ярошевич М.И.,

Россия, г. Обнинск

Аннотация

По всем тропическим циклонам и землетрясениям с магнитудой $M \geq 7$, которые произошли в 1970 по 2015 гг. в северо-западной части Тихого океана, рассчитаны годовые значения циклонической и сейсмической энергии. При сдвиге (отставании) хронологического ряда годовых значений сейсмической энергии относительно хронологического ряда циклонической энергии на 5–7 лет выявлена положительная корреляция между многолетней динамикой годовых значений циклонической и сейсмической энергий. Это позволяет допустить предположение, что тропические циклоны могут влиять на сейсмический режим зоны с особо высокой циклонической и сейсмической активностью, коей является территория северо-западной части Тихого океана.

Ключевые слова: тропические циклоны; циклоническая и сейсмическая энергия; магнитуда землетрясений.

Для цитирования: Ярошевич М.И. Некоторые закономерности всплесков циклонической активности тропических циклонов. Часть III. Об одной особенности совместной динамики годовых значений циклонической и сейсмической энергий в зоне действия тропических циклонов // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 2. С. 34–41.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Cyclonic Activity of Tropical Cyclones and Some of its Features. Part III. About one Feature of the Joint Dynamics of Annual Values of Cyclonic and Seismic Energies in the Area of Action of Tropical Cyclones

Mikhail I. Yaroshevich,
Obninsk, Russia

Abstract

For all tropical cyclones and earthquakes with magnitude $M \geq 7$, which occurred from 1970 to 2015 in the northwestern part of the Pacific Ocean, annual values of cyclonic and seismic energy are calculated. The shift (lag) of the chronological series of annual values of seismic energy relative to the chronological series of cyclonic energy by 5–7 years revealed a positive correlation between the long-term dynamics of annual values of cyclonic and seismic energies. This allows us to assume that tropical cyclones can affect the seismic regime of a zone with especially high cyclonic and seismic activity, which is the territory of the northwestern Pacific Ocean.

Keywords: tropical cyclones; cyclonic and seismic energy; magnitude of earthquakes.

For citation: Yaroshevich M.I. Some regularities of burst cyclone activity of tropical cyclones. Part III. About one feature of the joint dynamics of annual values of cyclonic and seismic energies in the area of action of tropical cyclones // Issues of Risk Analysis. 2024;21(2):34–41. (In Russ.).

The author declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Методика расчета циклонической энергии

2. Эксперимент

Заключение

Список источников

Введение

Давно установлено, что тропические циклоны, перемещаясь, порождают специфические сейсмические волны — штормовые микросейсмы. Это свидетельствует об определенном воздействии тропических циклонов на земную кору [1–6 и многие др.].

Суточная кинетическая энергия среднего тропического циклона оценивается величиной порядка 1×10^{18} Дж [7]. Суммарная сейсмическая энергия на всей Земле за год оценивается также величиной в 1×10^{18} Дж [8].

Эти два факта послужили основанием для начала исследований возможного влияния тропических циклонов на сейсмический режим в зоне действия циклонов.

В начале исследований показалось, что наиболее целесообразно рассматривать северо-западную часть Тихого океана [5° – 45° N — (115° – 175°)] как район особо высокой сейсмической и циклонической активности. Так, например, здесь в течение 1970–2015 гг. зарегистрировано около 17 тыс. землетрясений всех магнитуд. За это же время на этой же площади действовало 1380 тропических циклонов, из которых 740 достигло стадии тайфунов (скорость ветра более 33 м/с). Это, конечно, очень высокий уровень циклонической и сейсмической активности¹. Циклоны здесь делятся, примерно, от 4 до $14 \div 16$ суток. В рассматриваемой циклонической зоне тропические циклоны могут возникать в любое время года, но наивысшая их интенсивность как по энергии, так и по их количеству приходится на июль — октябрь месяцы [9, 10]. К тому же в периоды активной циклонической деятельности очень часты ситуации, когда фрагментарно перекрывая друг друга по времени, одновременно действует несколько циклонов.

Конечно, оценку возможного воздействия тропических циклонов на земную кору логичнее всего получить прямыми расчетами. Однако на этом пути возникает ряд пока трудно разрешимых задач. Необходимо определить особенности характера передачи энергии циклона через толщу воды земной коре с учетом разнообразия рельефа дна океана и его глубин. Предпринимаются определенные попытки для решения таких задач [11].

¹ Данные о тропических циклонах взяты из Интернета по адресу — «Unisys Weather год Hurricane — Tropical Data for Pacific». Сведения о землетрясениях предоставлены «Геофизической службой РАН» (г. Обнинск).

В исследованиях возможного воздействия тропических циклонов важно знать, какая доля циклонической энергии поступает в земную кору. Понятно, что штормовые микросейсмы, то есть их сейсмическая энергия — это лишь «видимая» реакция земной коры на циклоническое воздействие. Исследования различных типов взрывов показали, что, во-первых, отношения сейсмической энергии к полной энергии взрыва — очень малые величины [12]. Разумеется, механизмы воздействия на земную кору взрывов и циклонов сильно различаются, но первые дают хотя бы какую-то ориентацию о соотношениях сейсмической энергии и энергии, диссипированной в земную кору. Именно диссипированная энергия должна, как кажется, определять характер и степень воздействия циклона на земную кору.

Но даже если удастся решить эти задачи и таким образом всегда оценивать величину поступившей в кору циклонической энергии, мы столкнемся с очередной и, как представляется, неразрешимой задачей. Земная кора — это открытая система с множеством «точек» напряженностей. Характер этих напряженностей непрерывно меняется как во времени, так и по пространству. Для расчетов реакции земной коры на действия циклонов мы должны знать ее поля напряженности в любой момент времени, на обширных пространствах и до глубин хотя бы неглубоких землетрясений. Понятно, что такая цель недостижима, по крайней мере, в настоящее время. В этой ситуации реакция земной коры на действие отдельного тропического циклона может быть очень разной в зависимости от состояния земной коры в конкретные моменты времени. Поэтому полагаю совершенно некорректными попытки в исследованиях «связать» конкретное землетрясение с конкретным тропическим циклоном. Это, скорее всего, всегда будет иллюзорным результатом.

Именно из-за постоянной неопределенности состояния земной коры представляется корректным рассматривать только длительную во времени динамику циклонической и сейсмической активности и на относительно больших территориях. Только при этих условиях возможны относительно правдивые статистика и закономерности.

Исходя из приведенных, почти не разрешимых сложностей в прямой оценке воздействия тропических

циклонов на сейсмичность, предпринята попытка выявить предполагаемое воздействие опосредованно. То есть решается своего рода обратная задача, когда статистически сопоставляются и анализируются воздействия и отклики на воздействия.

В работе [13] приведен ряд расчетных экспериментов, проведенных по циклонической зоне северо-западной части Тихого океана. Для ряда последовательных лет, для всех месяцев года рассчитаны среднемесячные значения циклонической энергии. При этом, как уже упоминалось выше, значительно возрастает циклоническая энергия в летне-осеннее время. Для этих же лет и по этой же территории определялись среднемесячные значения сейсмической энергии отдельно по землетрясениям с магнитудой $M \geq 5$ и по землетрясениям $M \geq 6$. Динамика среднемесячных значений циклонической и сейсмической энергий оказалась удивительно схожей. То есть и у землетрясений проявилось сильное летне-осеннее усиление или ярко выраженная сезонность. Другой расчетный эксперимент, оценивающий динамику сейсмической энергии на континентальной территории (Средняя Азия) не выявил усиления сейсмической активности в летне-осенний период. Примечателен и третий расчетный эксперимент. Рассматриваются шесть примыкающих друг к другу территорий, каждая размером $25^\circ \times 25^\circ$. Все шесть территорий ограничены по долготе 120°E и 145°E . По широте самая южная территория ограничена с юга 10°S и с севера 15°N . По каждой территории определяется динамика среднемесячной сейсмической энергии. Примечательно, что при этом меняется характер графиков. По мере смещения рассматриваемых территорий на север все сильнее проявляется рост сейсмической активности в летне-осенние месяцы. При этом, перемещаясь на север, мы постепенно выходим из зон, где не бывает тропических циклонов, в зоны постепенного нарастания циклонической активности. Исходя из полученных результатов, было высказано предположение, что тропические циклоны или циклоническая активность могут рассматриваться в качестве одного из факторов, влияющих на сейсмический режим в зоне высокой циклонической активности тропических циклонов. Ниже приведен новый эксперимент, который, как кажется, призван усилить представление о роли тропических циклонов в характере сейсмической активности.

1. Методика расчета циклонической энергии

Оценка величины циклонической кинетической энергии основывается на методе расчета энергии отдельного циклона. При этом энергия рассчитывалась по зоне максимальных ветров (V_m) или для круга с довольно характерным радиусом максимальных ветров $r_m \approx 50 \text{ км}$ [7].

Выше уже упоминалось, что в рассматриваемом районе циклоны нередко действуют группами. Однако непонятно было, как учитывать одновременный энергетический вклад каждого циклона и как оценивать распределение этой «совмещенной» энергии по пространству, принимая во внимание, что ширина действия циклона достигает нескольких сотен километров.

В расчетах необходимо было принять во внимание следующее обстоятельство — циклонический ветер достигает значительной силы и на расстояниях (r), значительно превышающих r_m , и это непременно следует учитывать в оценке энергии циклона. При этом скорость циклонического ветра (V_r) с удалением от центра циклона на расстояние r определяется из соотношения $V_r = (V_m \times r_m^{0.5})/r^{0.5}$ [10].

Проблема учета роли всех одновременно или фрагментарно во времени перекрывающих друг друга циклонов в оценке их суммарной энергии и сложность учета ветровой энергии на расстояниях $r \geq r_m$ были решены при помощи построения достаточно простой модели формирования ветровых полей и расчета энергии этих полей. Методика расчетов достаточно подробно описана в работе [14]. Кратко изложим суть схемы расчетов.

Параметры тропических циклонов (дата, время, координаты, скорость максимального ветра, дефицит давления и др.) в метеорологической информации часто представлены в 00 час. и в 12 час. Гринвичского времени. Координаты циклона в эти фиксированные моменты времени представляются в расчетах в качестве «источников» ветра и центров круговых ветровых полей². Циклоническая зона разбивается на элементарные квадраты размерами от $1^\circ \times 1^\circ$ до $5^\circ \times 5^\circ$, в зависимости от размеров площади, по которой ведется расчет. Для всех «источников» и циклонов,

² Реально ветровые поля вокруг центра циклона по форме не совсем круглые. Однако в расчетной модели для некоторого упрощения они определены, как круглые.

действовавших на этот момент времени, по соответствующим каждому источнику значениям V_m , r_m и множеству значений r и V_r (где r и V_r — расстояние от конкретного «источника» до центра конкретного элементарного квадрата и скорость ветра в центре квадрата) рассчитывается значение кинетической энергии для центра каждого элементарного квадрата. В модели энергия в центре элементарного квадрата отнесена ко всему квадрату. В каждом элементарном квадрате к энергии, рассчитанной для данного момента времени, прибавляется энергия, рассчитанная для предшествующих «источников». Это связано с тем, что циклонические ветры еще некоторое время достаточно ощутимы и после ухода с этого места центра циклона. Значения энергий прошлых моментов времени ослабевают по экспоненте в зависимости от числа прошедших 12-часовых отрезков времени. В результате в каждом элементарном квадрате формируется «суперпозиция» значений энергии. Спад величины энергии по экспоненте довольно быстрый и потому основной вклад в величину циклонической энергии элементарного квадрата формируется дошедшей до него энергией источника за последние 3–4 полусуток. Сумма «суперпозиционных» энергий элементарных квадратов по всей рассматриваемой площади характеризует циклоническую энергию на данный момент времени и по всей рассматриваемой площади. В результате такого подхода, как уже отмечалось, были решены выше обозначенные проблемы. Модель неоднократно иллюстрировала, что результаты расчетов по ней хорошо и довольно детально отражают реальную картину циклонической активности.

Уместно отметить, что благодаря этой модели многолетний поток циклонов предстал в виде непрерывного и единого энергетического процесса, благодаря чему впервые начаты исследования взаимосвязей различных этапов развития циклонической активности [15].

2. Эксперимент

Приведенный ниже эксперимент рассматривается в качестве логического продолжения вышеописанных экспериментов [13]. Целью нового эксперимента было, используя несколько другую методику, вновь установить, сказывается ли циклоническая активность на характере сейсмичности в зоне действия циклона. Эксперимент проведен для той же вышеозначенной

циклонической зоны северо-западной части Тихого океана.

В эксперименте для различных многолетних интервалов определялись хронологически годовые значения циклонической и сейсмической энергии. Циклоническая энергия вычислялась по вышеприведенной модели. Сейсмическая энергия определялась разными диапазонами магнитуд. Соответствующие многолетние ряды циклонической и сейсмической энергии сопоставлялись с оценкой корреляции между ними. При этом изначально было понимание, что, скорее всего, проявится эффект «последствия». Объяснялось это тем, что инертность земной коры больше, нежели инертность атмосферы и океана и, стало быть, если реакция земной коры состоится, то она должна на некоторое время задержаться. Иначе говоря, в сопоставлении рядов сейсмический ряд должен был начинаться позже, чем циклонический ряд.

Было рассчитано относительно большое число вариантов, отличающихся длительностями годовыми рядами, так и диапазонами магнитуд землетрясений. Из всех вариантов наибольший коэффициент корреляции между рядами (0.91) достигнут в случае интервала 1970–2015 гг., для землетрясений с $M \geq 7$ и при «запаздывании» сейсмического ряда на шесть лет³. При этом при больших и меньших «запаздываниях» сейсмического ряда коэффициенты корреляции постепенно ослаблялись.

На рисунке 1 приведена сглаженная динамика исходных годовых значений циклонической и сейсмической энергии для описанного случая, то есть без запаздывания хронологического ряда годовых значений сейсмической энергии.

Коэффициент корреляции между приведенными несмещенными относительно друг друга рядами циклонической и сейсмической энергий равен в этом случае — 0.18. То есть не наблюдается какая-либо статистическая связь между годовыми значениями циклонической и сейсмической энергии внутри года.

В публикации [16] излагаются результаты тщательного исследования возможного непосредственного влияния

³ Для этих же лет, но для землетрясений с $M \geq 5$ и $M \geq 6$ сохранилась та же закономерность корреляционных связей, но с немногими меньшими коэффициентами корреляции. Так, например, в случае $M \geq 5$ при запаздывании сейсмического ряда на 5, 6 и 7 лет коэффициенты корреляции были соответственно 0.83, 0.887 и 0.824.

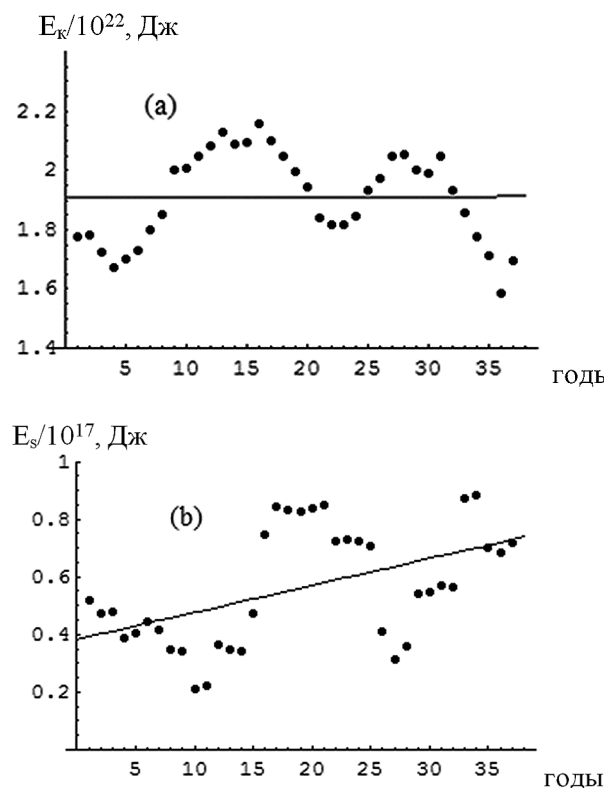


Рис. 1. Сглаженная динамика исходных, не смещенных относительно друг друга годовых значений циклонической (а) и сейсмической (б) энергий. Энергии рассчитаны по тропическим циклонам и землетрясениям ($M \geq 7$), произошедшим в 1970–2015 гг. в циклонической зоне северо-западной части Тихого океана. Сглаживание – скользящее, окном в 10 последовательных значений

Figure 1. Smoothed dynamics of initial annual values of cyclonic (a) and seismic (b) energy, not shifted relative to each other. The energy are calculated from tropical cyclones and earthquakes ($M \geq 7$) that occurred in 1970–2015, in the cyclonic zone of the northwestern part of the Pacific Ocean. Smoothing – sliding, a window of 10 consecutive values

тропических циклонов на сейсмичность отдельных районов северо-западной части Тихого океана. В результате установлено, что тропические циклоны не оказывают значимого эффекта на сейсмичность Камчатки, Японии и Филиппин в краткосрочном аспекте — в течение нескольких недель. Эти результаты и характер динамики циклонической и сейсмической энергии, представленной на рис. 1, свидетельствуют, что краткосрочного влияния тропических циклонов на сейсмичность не наблюдается.

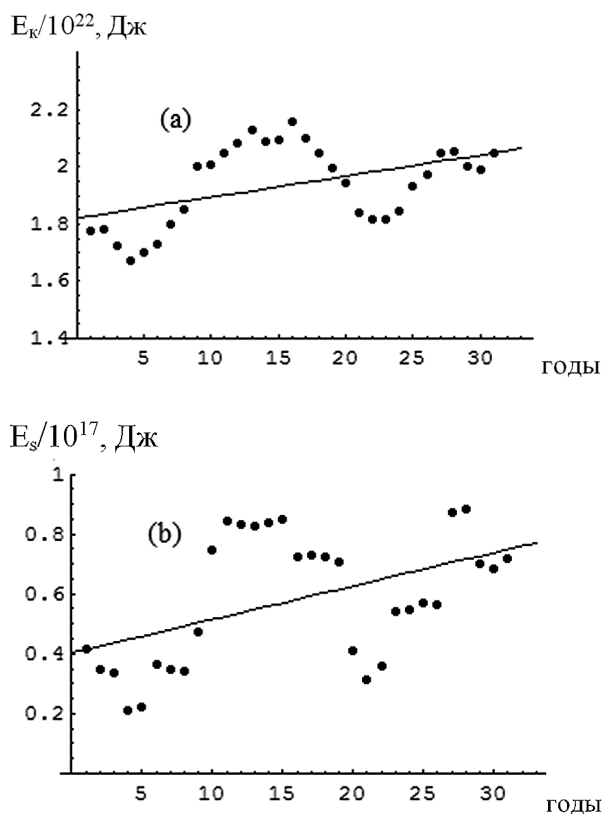


Рис. 2. Динамика сглаженных годовых значений циклонической (а) и сейсмической (б) энергий. Здесь ряд годовых значений E_s запаздывает относительно ряда E_k на 6 лет. Коэффициент корреляции между рядами годовых значений E_k и E_s равен 0.91

Figure 2. Dynamics of smoothed annual values of cyclonic (a) and seismic (b) energy. Here, a number of annual values of E_s are 6 years late relative to a number of E_k . The correlation coefficient between the series of annual values E_k and E_s is 0.91

Figure 2. Dynamics of smoothed annual values of cyclonic (a) and seismic (b) energy. Here, a number of annual values of E_s are 6 years late relative to a number of E_k . The correlation coefficient between the series of annual values E_k and E_s is 0.91

На рисунке 2 для этого же случая ($M \geq 7$, 1970–2015 гг.) показана динамика, когда хронологический ряд годовых значений сейсмической энергии запаздывает относительно хронологического ряда годовых значений циклонической энергии на шесть лет. Здесь даже визуально просматривается положительная корреляция между рассматриваемыми рядами энергии двух физических сред.

Принимая во внимание особенности используемых исходных циклонических и сейсмических параметров, уровень их точности и особенности расчетов, можно считать, что уровень корреляции (0.91) достаточно представительный.

Заключение

Изложенные результаты исследования рассматриваются как органическое продолжение ранее полученных автором результатов по этому направлению. Они совместно позволяют предполагать, что тропические циклоны, по крайней мере в циклонической зоне северо-западной части Тихого океана, могут рассматриваться в качестве вероятного фактора, влияющего на сейсмический режим этого района.

Представленные результаты совместно с ранее полученными показателями и выводами о вероятном влиянии тропических циклонов на сейсмичность зоны действия тропических циклонов — оригинальны. Эти результаты могут послужить поводом для развития экспериментальных и теоретических исследований по этому направлению.

Список источников [References]

1. Винник Л. П. Происхождение микросейсмических продольных волн // Физика Земли. 1971. № 10. С. 17–30 [Vinnik L. P. Origin of microseismic longitudinal waves // Earth Physics. 1971;(10):17–30. (In Russ.)]
2. Островский А. А., Рыкунов Л. Н. Экспериментальное изучение донного сейсмического шума в океане при прохождении циклона // Океанология. 1982. Т. 22. № 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;22(6):975–979. (In Russ.)]
3. Табулевич В. Н. Комплексные исследования микросейсмических колебаний: штормовые микросейсмические колебания и комплекс явлений, возникающих одновременно с ними в атмо-гидросфере / В. Н. Табулевич; отв. ред. О. В. Павлов; АН СССР, Сибирское отделение, Институт земной коры. — Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1986. 151 с. [Tabulevich V. N. Comprehensive studies of microseismic oscillations: storm microseismic oscillations and a complex of phenomena that occur simultaneously with them in the atmo-hydrosphere / V. N. Tabulevich; ed. O. V. Pavlov; USSR Academy of Sciences, Siberian Department, Institute of the Earth's Crust. — Novosibirsk: Nayka, Siberian branch, 1986. 151 p. (In Russ.)]
4. Bowen S. P., Richard J. C., Mancini J. D., Fessatidis V., Crooker B. Microseism and infrasound generation by cyclones. J Acoust Soc Am. 2003 May;113(5):2562–73. doi: 10.1121/1.1567277.
5. Hasselman K. A. A statistical analysis of the generation of microseisms // Reviews of Geophysics 1 (1963): 177–210.
6. Spahr C. Webb; The equilibrium oceanic microseism spectrum. J. Acoust. Soc. Am. 1 October 1992;92(4):2141–2158. <https://doi.org/10.1121/1.405226>
7. Голицын Г. С. Статистика и энергетика тропических циклонов // Докл. РАН, 354:4 (1997), 535–538 [Golitsyn G. S. Statistics and Energy of Tropical Cyclones // Reports of RAS, 354:4 (1997), 535–538. (In Russ.)]
8. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: «Наука». 1983. 415 с. [Zharkov V. N. The inner structure of the Earth and planets. M.: «Nayka». 1983. 415 p. (In Russ.)]
9. Тараканов Г. Г. Тропическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1980. 175 с. [Tarakanov G. G. Tropical meteorology. L.: Hydrometeizdat. 1980. 175 p. (In Russ.)]
10. Хаин Ф. П., Сутырин Г. Г. Тропические циклоны и их взаимодействие с океаном. Л.: Гидрометеиздат. 1983. 272 с. [Hain F. P., Sutyurin G. G. Tropical cyclones and their interactions with the ocean. L.: Hydrometeizdat. 1983. 272 p. (In Russ.)]
11. Ингель Л. Х., Ярошевич М. И., Петрова Л. И. О механизме воздействия тропических циклонов на земную кору // Доклады Академии Наук. 2009. Т. 425. № 5. С. 674–677 [Ingel L. Kh., Yaroshevich M. I., Petrova L. I. On the mechanism of influence of tropical cyclones on the earth's crust // Reports of the Academy of Sciences. 2009;425(5):674–677. (In Russ.)]
12. Садовский М. А., Кедров О. К., Пасечник И. П. К вопросу об энергетической классификации землетрясений // Физика Земли. 1986. № 2. С. 3–10 [Sadovsky M. A., Kedrov O. K., Pasechnik I. P. On the issue of earthquake energy classification // Earth Physics. 1986;(2):3–10. (In Russ.)]
13. Ярошевич М. И. Тропические циклоны, как возможный фактор, влияющий на сейсмическую активность циклонической зоны северо-западной части Тихого океана // Физика Земли. 2011. № 7. С. 80–85 [Yaroshevich M. I. Tropical cyclones, as a possible factor affecting the seismic activity of the cyclonic zone of the northwestern Pacific Ocean // Earth Physics. 2011;(7):80–85. (In Russ.)]
14. Ярошевич М. И. Динамика сезонных значений суммарных интенсивностей тропических циклонов // Доклады Академии Наук. 2007. Т. 413. № 4. С. 549–552 [Yaroshevich M. I. Dynamics of seasonal values of total intensities of tropical cyclones // Reports of the Academy of Sciences. 2007;413(4):549–552. (In Russ.)]

15. Ярошевич М. И. Элементы краткосрочного оценочного прогноза циклонической активности // Проблемы анализа риска. 2009. Т. 6. № 1. С. 22–31 [Yaroshevich M. I. Elements of short-term forecast of cyclonic activity // Issues of Risk Analysis. 2009;6(1):22–31. (In Russ.)]
16. 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 Sejsmologiya. 2012;(2):27–38. (In Russ.)]

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: 18.08.2023

Одобрена после рецензирования: 19.09.2023

Принята к публикации: 12.10.2023

Дата публикации: 26.04.2024

The article was submitted: 18.08.2023

Approved after reviewing: 19.09.2023

Accepted for publication: 12.10.2023

Date of publication: 26.04.2024