

УДК 550.341:551.515

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

© 2019 г. М. И. Ярошевич

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
109017, Москва, Пыжевский пер., 3, Россия
E-mail: myarosh32@gmail.com*

Поступила в редакцию 21.02.2018 г.
Принята к печати 30.05.2018 г.

Выявлены схожие закономерности динамики циклонической и сейсмической активности. Информационной базой исследований стали тропические циклоны и землетрясения северо-западной части Тихого океана.

Ключевые слова: тропические циклоны, землетрясения, циклоническая и сейсмическая активность.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002-351555362-66>

Известны основные синоптические характеристики, которые формируют тропический циклон. Это определенный уровень и характер сочетания: термического потенциала океана, относительной влажности, относительной завихренности на нижних уровнях атмосферы, вертикального сдвига ветра в тропосфере, градиента эквивалентно-потенциальной температуры и параметра Кориолиса. Соотношения и роль каждого из этих параметров изменяются по мере развития циклона и его особенностей [1, 2]. Кроме этого, есть основания предполагать, что не все факторы, влияющие на зарождение и развитие циклона, нам известны.

Динамика и взаимосвязи названных характеристик сложны для расчетов даже в тех случаях, когда исследуется развитие отдельного циклона. Ситуация существенно усложняется, когда одновременно действуют несколько циклонов и в связи с большим разнообразием самих циклонов (разные интенсивности, темпы и формы нарастаний и спада скорости ветра, длительностей циклона и протяженности его пути). В итоге мы сталкиваемся со сложной системой со многими степенями свободы и с некоторыми неопределенностями.

Приняв ситуацию с обозначенными сложностями в качестве варианта исследований циклонической активности, было целесообразно абстрагироваться и все известные и неизвестные процессы, влияющие на развитие тропических циклонов, объединить в единый признак. В ка-

честве такого признака была принята энергия циклонов. Это связано с тем, что энергия является наиболее общим, независимым от сложного разнообразия циклонов и потому более удобным параметром для расчетных экспериментов. При этом решалась, условно говоря, обратная задача: по реальным циклонам следовало выявить возможные закономерности среды циклонической активности. Такие исследования были начаты автором ранее. Методика расчета энергии неоднократно описана [3, 4]. Кратко напомним ее.

В основе расчетов — метод расчета кинетической энергии отдельного циклона [5]. Координаты реальных циклонов в фиксированные моменты времени (здесь 00 ч и 12 ч Гринвичского времени) представляются в качестве «источников» ветра и центров круговых ветровых полей. Циклоническая зона разбивается на элементарные квадраты размерами в зависимости от решаемой задачи и размеров рассматриваемой площади, по которой ведется расчет. В каждое фиксированное время рассматриваются все «источники» циклонов, действовавших на этот момент времени. По соответствующим каждому «источнику» значениям максимальной скорости ветра (V_{\max}) и радиусу максимальных ветров (r_{\max}) рассчитываются 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 элементарных квадратах.

По значениям r и V_r для каждого элементарного квадрата рассчитывается значение кинетической энергии. К энергии, рассчитанной для данного момента времени, прибавляется энергия, вычисленная для «источников» в прошлые моменты времени. В результате в каждом элементарном квадрате формируется «суперпозиция» значений энергии. Сумма «суперпозиционных» энергий всех элементарных квадратов и характеризует циклоническую активность (циклоническую энергию) на данный момент времени по всей рассматриваемой площади. В итоге, например, годовой поток циклонов, предстает хронологическим множеством, состоящим из 730 (или 732) значений энергии, отражающих общую динамику циклонической активности в течение года. Множества очень хаотичны и представляют перемежаемые ряды всплесков циклонической активности и циклонического затишья.

Но именно расчетные эксперименты, основой которых были эти множества, позволили выявить ряд закономерностей, характеризующих взаимозависимости этапов в непрерывной динамике циклонической активности. Получена зависимость длительности временного интервала между максимальными значениями двух последовательных всплесков циклонической активности от ряда параметров первого всплеска и затишья между всплесками. Показана возможность оценки относительной интенсивности всплеска циклонической активности по интенсивности предшествующего всплеска [4]. Выведена регрессионная связь между суммарными циклоническими энергиями первой и второй половины года [6]. По этим многолетним множествам были получены и другие результаты.

В результате такого подхода возникла возможность исследования не отдельного циклона, а исследований циклонической активности как длительного многолетнего непрерывного процесса. Полученные закономерности довольно информативно характеризуют динамику возможностей среды в формировании циклонической активности.

Возможен ли аналогичный метод исследований в выявлении закономерностей в других геофизических средах? Для ответа на этот вопрос была избрана сейсмическая среда. Информационным источником послужили землетрясения северо-западной части Тихого океана. (Необходимые характеристики землетрясений взяты из «Оперативного сейсмологического каталога» Геофизической службы РАН.) Здесь

излагаются результаты трех расчетных экспериментов.

В одном из расчетных экспериментов исследовалась возможная энергетическая связь между последовательными всплесками сейсмической активности. Рассматривались землетрясения зон высокой сейсмической активности, в данном случае — это район Японии и Курильских островов. Всплеск сейсмической энергии формируется относительно плотной по времени группой землетрясений, произошедших в течение одних или нескольких последовательных суток. Группа может состоять примерно из 5–20 землетрясений. Временной интервал между последовательными всплесками — это дни без землетрясений в рассматриваемом районе. В большинстве случаев интервал равен одним-двум суткам. В расчетах учитывались только землетрясения диапазона $(1 \cdot 10^7 - 6 \cdot 10^{14})$ Дж, т.е. не рассматривались землетрясения с магнитудой $M \geq 6$. Заметим, что число землетрясений приведенного диапазона значительно превосходит число землетрясений с $M \geq 6$. Так, например, по северо-западной части Тихого океана за 2004–2008 гг. зарегистрировано 12 840 землетрясений, в том числе 145 землетрясений с $M \geq 6$. То есть расчеты в эксперименте осуществлялись по наиболее представительному (по количеству) множеству землетрясений. В зоне Японии и Курильских островов землетрясения с магнитудой $M \geq 6$ относительно редки, между ними бывают многомесячные интервалы и многие десятки или сотни более слабых землетрясений. К тому же трудно представить, что два таких удаленных друг от друга по времени землетрясения могут быть взаимозависимыми. Кроме того, глубина очагов рассматриваемых землетрясений не превышала примерно 80 км. Заметим, что таких землетрясений — значительное большинство. Ограничение глубин очагов намеренное. Очаги большинства этих землетрясений располагаются в земной коре. Предполагалось, в частности, что общие механизмы, действующие в этой среде, должны содействовать энергетической взаимосвязи ближайших по времени и пространству всплесков.

На рис. 1 приведены графики энергетической взаимосвязи смежных во времени всплесков циклонической и сейсмической активности. Графики отражают соответствующие регрессионные соотношения:
$$\frac{(E_c)_2}{(E_c)_1} = \frac{A}{((E_c)_1/10^{19})^{0.79}},$$
 коэффициент корреляции $r = -0.74$ (циклони-

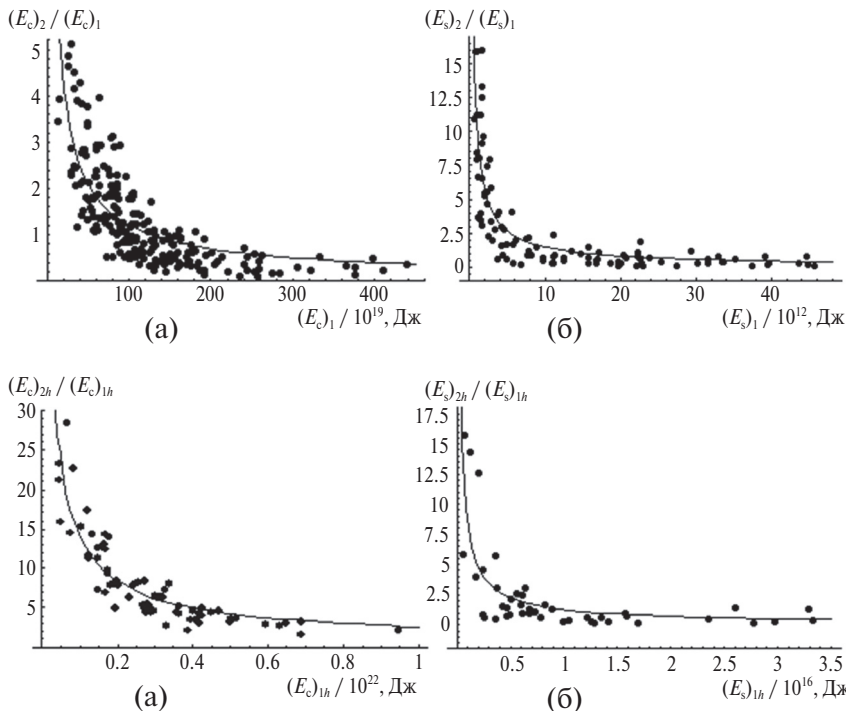


Рис. 1. Регрессионная зависимость отношения суммарной энергии всплеска к суммарной энергии предшествующего всплеска от суммарной энергии предшествующего всплеска. $(E_c)_1$ и $(E_c)_2$ — соответственно суммарные циклонические энергии предшествующего и следующего за ним всплеска (а); $(E_s)_1$ и $(E_s)_2$ — соответственно суммарные сейсмические энергии предшествующего и следующего за ним всплеска (б).

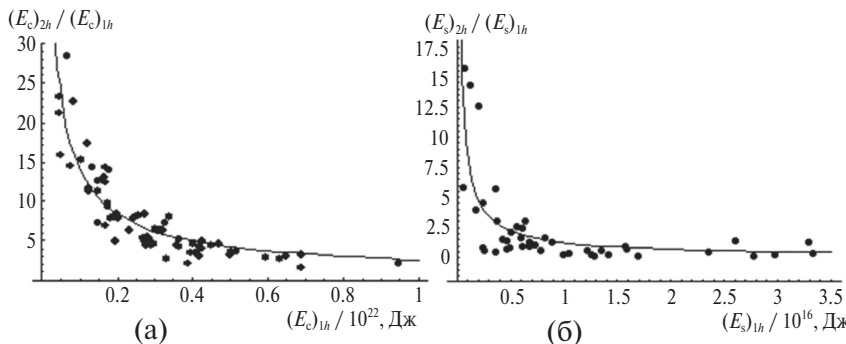


Рис. 2. Регрессионная зависимость отношения суммарной энергии 2-го полугодия к суммарной энергии 1-го полугодия от суммарной энергии 1-го полугодия. $(E_c)_1h$ и $(E_c)_2h$ — соответственно суммарные циклонические энергии 1-го и 2-го полугодий (а); $(E_s)_1h$ и $(E_s)_2h$ — соответственно суммарные сейсмические энергии 1-го и 2-го полугодий (б).

ческие всплески) и $\frac{(E_s)_2}{(E_s)_1} = \frac{B}{((E_s)_1/10^{12})^{0.86}}$, коэффициент корреляции $r = -0.6$ (сейсмические всплески), где A и B — константы.

Приведенные графики и соотношения, как кажется, достаточно убедительно иллюстрируют схожесть циклонической и сейсмической закономерностей. Здесь необходимо сделать пояснение. Желательней было бы выявить зависимость $(E_c)_2$ от $(E_c)_1$, а вместо этого определяется зависимость $(E_c)_2 / (E_c)_1$ от $(E_c)_1$. Это вызвано тем, что годовые циклонические активности существенно различаются и в сильно активном сезоне $(E_c)_1$ может означать малый всплеск, а в слабом сезоне — большой всплеск. Если же рассматривать зависимость $(E_c)_2 / (E_c)_1$ от $(E_c)_1$, эти различия существенно нивелируются. Для корректного сопоставления необходимо было и сейсмические всплески рассматривать в таком же представлении.

Во втором расчетном эксперименте ставилась задача выявить возможные зависимости суммарной циклонической (сейсмической) энергии второй половины года от соответствующей суммарной энергии первой половины того же года. В этом случае учитывались тропические циклоны и землетрясения почти всей территории северо-западной зоны Тихого океана. Значения полугодовых сейсмических энергий занимают относительно более узкий диапазон порядков

величин. В связи с этим здесь рассмотрены землетрясения с магнитудой $M \leq 7$. Однако и здесь по той же вышеприведенной причине рассматривается зависимость отношения энергии второй половины года к энергии первой половины года от энергии первой половины года. На рис. 2 показаны результаты этого эксперимента. Полугодовые значения циклонической энергии связаны соотношением $\frac{(E_c)_{2h}}{(E_c)_{1h}} = \frac{C}{((E_c)_{1h}/10^{22})^{0.73}}$, коэффициент корреляции $r = -0.74$, полугодовые значения сейсмической энергии — соотношением $\frac{(E_s)_{2h}}{(E_s)_{1h}} = \frac{D}{((E_s)_{1h}/10^{16})^{0.84}}$, коэффициент корреляции $r = -0.45$, в которых C и D константы. И в этом случае можно констатировать хорошую схожесть закономерностей.

В следующем расчетном эксперименте исследовалась возможная зависимость значения максимальной энергии всплеска от скорости нарастания этой энергии. По всплескам циклонической активности определялась зависимость E_{mc} от $Q = (E_{mc} - E_1) / n$, где E_{mc} — максимальное значение энергии всплеска, E_1 — значение энергии в начале всплеска; n — число суток между E_{mc} и E_1 . Эта зависимость представлена графиком (рис. 3) из которого следует: максимальная энергия всплеска циклонической активности пропорциональна скорости нарастания этой энергии. Это соответствует одному из результа-

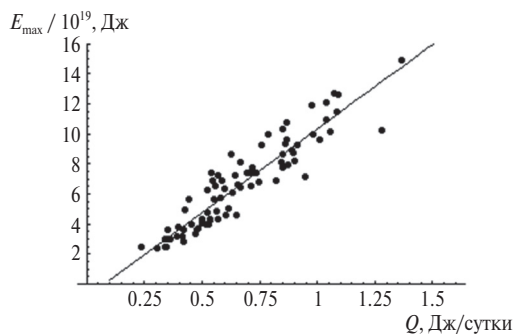


Рис. 3. Зависимость максимального значения циклонической энергии всплеска E_{mc} от скорости нарастания этой энергии $Q = (E_{mc} - E_1) / n$; (E_1 — минимальное значение энергии в начале всплеска; n — число суток между E_{mc} и E_1).

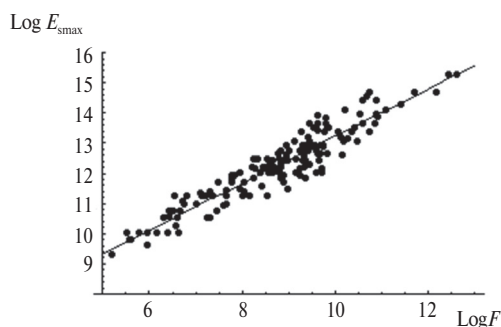


Рис. 4. Зависимость максимального значения сейсмической энергии всплеска E_{smax} от скорости нарастания этой энергии $F = (E_{smax} - E_{smin}) / \Delta t$; (E_{smin} — минимальное значение сейсмической энергии в начале всплеска; Δt — время между E_{smin} и E_{smax} ; E_{smin} и E_{smax} в Дж, Δt в с).

тов, изложенному в ранее опубликованной работе [7].

Была предпринята попытка исследовать и по сейсмическим данным зависимость максимального значения энергии от скорости нарастания энергии. По довольно большому количеству пар значений «энергия–скорость нарастания энергии» была получена линейная зависимость с коэффициентом корреляции 0.94. Поскольку диапазон этих значений составил примерно восемь порядков, здесь представлен график этой зависимости в логарифмическом масштабе (рис. 4).

В сейсмологических каталогах для каждого землетрясения приводится только одно время — время в очаге. Мы не знаем времени и уровня сейсмической энергии в самый последний момент перед «взрывом» в очаге. Поэтому в расчетах рассматривались пары максимально близких по времени и пространству землетрясений. Первое по времени землетрясение более слабое, нежели следующее. Время и уровень энергии первого землетрясения и рассматривались в ка-

честве начала нарастания второго землетрясения. Это, конечно, методически не совсем корректно, что и приводит к некоторому ухудшению тесноты связи в искомой регрессии.

Ранее автором были проведены исследования возможного влияния тропических циклонов северо-западной части Тихого океана на сейсмичность этого района [8–10]. Поводом для таких исследований послужил тот факт, что энергия среднего циклона сопоставима с суммарной годовой энергией всех землетрясений земного шара. Были получены 22–24-летние цикличности циклонической и сейсмической энергии. При этом сейсмическая цикличность относительно циклонической цикличности запаздывала примерно на 5 лет. Было сделано предположение о вероятном статистическом механизме воздействия тропических циклонов и о причинах сдвига циклов сейсмической энергии [8]. В [9, 10] изложены результаты довольно детальных исследований особенностей сезонных динамик циклонической и сейсмической активности. Они позволили сделать вывод, что тропические циклоны по меньшей мере в циклонической зоне северо-западной части Тихого океана, могут рассматриваться в качестве фактора, влияющего на сейсмический режим этого района.

Можно предположить, что схожесть приведенных закономерностей циклонической и сейсмической активности связаны с вероятным влиянием тропических циклонов на сейсмичность. Но возможно, что такие закономерности присущи динамике и других природных явлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хаун А.П., Сутырин Г.Г. Тропические циклоны и их взаимодействие с океаном. Л.: Гидрометеоиздат. 1983. 272 с.
2. Gray W.M. Tropical cyclone genesis. *Atm. Sci. Paper. Colorado St. Univ.* 1975. № 234.119 p.
3. Ярошевич М.И. Динамика сезонных значений суммарных интенсивностей тропических циклонов // ДАН. 2007. Т. 413. № 4. С. 549–552.
4. Ярошевич М.И. О некоторых взаимосвязях в динамике активности тропических циклонов // Изв.РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 4. С. 547–551.
5. Голицын Г.С. Статистика и энергетика тропических циклонов // ДАН. 1997. Т. 354. № 4. С.535–538.
6. Ярошевич М.И. Иерархия взаимосвязей в динамике циклонической активности тропических

- циклонов // Иссл. Земли из космоса. 2017. № 6. С. 65–74.
7. Голицын Г.С. Принцип скорейшей реакции в гидродинамике, геофизике, астрофизике // ДАН. 1997. Т. 356. № 3. С. 321–324.
8. Ярошевич М.И. Некоторые особенности динамики циклонической и сейсмической активности в северо-западной части Тихого океана // ДАН. 2008. Т. 420. № 5. С. 674–678.
9. Ярошевич М.И. Внутригодовая динамика сейсмической активности в циклонической зоне северо-западной части Тихого океана // ДАН. 2010. Т. 431. № 3. С. 403–407.
10. 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.

About Some Similar Regularities of Cyclonic and Seismic Activity

M. I. Yaroshevich

*Obukhov Institute of Atmospheric Physics, RAS
Pyzhevsky per., 3, Moscow 109017, Russia
e-mail: myarosh32@gmail.com*

Received: 21.02.2018

Accepted: 30.05.2018

Similar regularities of cyclonic and seismic activity are revealed. The information base of the research was tropical cyclones and earthquakes in the northwestern part of the Pacific Ocean.

Keywords: tropical cyclones, earthquakes, cyclonic activity, seismic activity.