

**БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ / SAFETY IN EMERGENCY SITUATIONS**

УДК 004.93

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПОЧТИ-ПЕРИОДИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТАЙФУНОВ В АСПЕКТЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ****Парамонов Александр Александрович**

МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия

**АННОТАЦИЯ**

Опасные природные явления представляют собой источники возникновения чрезвычайных ситуаций, приводящих к разрушению инфраструктуры и нанесению вреда человеческим жизням вплоть до летальных исходов. Тропические циклоны, представляющие собой мощные атмосферные вихри, являются одними из таких опасных погодных явлений. Одной из ключевых мер подготовки и реагирования на тайфуны является мониторинг и прогнозирование их активности.

В данной работе представлена сравнительная оценка структуры крупнейших тропических ураганов на основе почти-периодического анализа, направленная на выявление их общих характеристик. Анализ девяти сильнейших тайфунов по шкале Саффира-Симпсона показал, что характерные почти-периодические радиусы позволяют провести структурное разделение ураганов. При этом наименьший выявленный почти-период становится основным структурным квантом линейной зависимости среди всех остальных характерных значений радиус-векторов. Структурирование и анализ результатов показали, что большинство ураганов можно разделить на две главные кольцевые части, что позволяет определить области охвата тайфунами и их дальнейшую динамику по найденным радиус-векторам.

Эти результаты способствуют лучшему пониманию структурных характеристик тропических циклонов и могут быть использованы для повышения точности прогнозов и улучшения мер по реагированию на чрезвычайные ситуации, вызванные такими природными явлениями.

**Ключевые слова:** тайфуны, тропические циклоны, данные с упорядоченным аргументом, почти-период, анализ изображений, техносферная безопасность

**IDENTIFICATION OF ALMOST PERIODIC CHARACTERISTICS OF SATELLITE IMAGES OF TYPHOONS IN THE ASPECT OF SOLVING PROBLEMS OF TECHNOSPHERE SAFETY****Alexander A. Paramonov**

MIREA - Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

Natural hazardous phenomena are often the cause of emergencies, destruction of infrastructure and damage to human life and health, up to and including fatalities. Tropical cyclones, which are powerful atmospheric vortices, are one such hazardous weather event. Monitoring and forecasting their activity are the main measures to prepare for and respond to typhoons.

This paper presents a comparative assessment of the structure of major tropical hurricanes based on almost period analyses, aiming to identify their common characteristics. Analyses of the nine strongest typhoons according to the Saffir-Simpson scale showed that the characteristic almost-periodic radii allow a structural separation of hurricanes. In this case the smallest revealed almost-period is the main structural quantum of the linear dependence among all other characteristic of radius-vectors values. Structuring and analyzing the results showed that most hurricanes can be divided into two main ring parts, which allows us to determine the typhoon coverage areas and their further dynamics according to the found radius-vectors.

These results contribute to a better understanding of the structural characteristics of tropical cyclones and can be used to improve the accuracy of forecasts and emergency response to such natural phenomena.

**Keywords:** typhoons, tropical cyclones, ordered argument data, almost period, image analysis, technosphere safety

## Введение

Природные явления нередко являются источниками возникновения чрезвычайных ситуаций, несущих за собой разрушения инфраструктуры и причинение вреда человеческой жизни вплоть до летальных исходов. Тропический циклон, главный предмет данного исследования – это мощный атмосферный вихрь, формирующийся над теплыми океанскими водами в тропических и субтропических широтах. Скорость ветра в таких вихрях может превышать более 100 км/ч.

Одной из основных мер по подготовке и реагированию является мониторинг и прогнозирование таких явлений. Современные технологии позволяют отслеживать формирование и движение тропических циклонов, что помогает своевременно предупреждать население и принимать необходимые меры. Важным фактором являются общедоступные ресурсы, позволяющие строить методы и модели для раннего обнаружения тайфу-

нов, одними из таких данных являются спутниковые изображения [1–2]. В качестве основного подхода для прогнозирования и развития тропических циклонов является построение математической модели и ее визуализации [3–4].

В данной работе предлагается сравнительная оценка структуры крупнейших тропических ураганов на основе почти-периодического анализа с целью выявления их общих характеристик.

## Материалы и методы

В качестве данных были взяты спутниковые снимки тропических циклонов

5-й категории по шкале Саффира-Симпсона из открытых источников, размещенные Национальным управлением океанических и атмосферных исследований США (NOAA) [5].

Алгоритм обработки изображений имеет следующие этапы. Сперва снимки приводятся к единому расширению порядка 600 · 600 по размеру для адекватно-

го времени обработки, после чего переводятся в черно-белый формат для удобства отслеживания облачных образований. Ввиду циклической структуры исследуемых объектов на снимках происходит

$$a(\tau, \Delta t) = \frac{1}{n - \tau - 2\Delta t} \cdot \sum_{t=1}^{n - \tau - 2\Delta t} \left| \ln \left( \frac{y_{t-\Delta t + \tau} \cdot y_{t+\Delta t + \tau}}{y_{t+\tau}^2} \right) - \ln \left( \frac{y_{t-\Delta t} \cdot y_{t+\Delta t}}{y_t^2} \right) \right|, \quad (1)$$

где  $n$  — общее число отсчетов функции  $f(t)$ ;

$t$  — целые положительные и отрицательные числа, включая ноль;

$\Delta t$  — целое положительное число, сдвиг по аргументу;

$\tau$  — целое положительное число, значения почти-периодов.

Применение данной функции даст возможность определить характерные почти-периодические составляющие структуры исследуемого ряда с упорядоченным аргументом [6]. На основе выявленных значений почти-периодов на изображении возможно отобразить соответствующие области с выявленными радиус-векторами.

### Результаты и их обсуждение

Были рассмотрены 9 сильнейших тайфунов 5-й категории по шкале Саффира-Симпсона за последние 40 лет: Гилберт, Эндрю, Дин, Катрина, Феликс, Ирма, Мария, Майкл, Дориан.

Анализ фотографий в полярных координатах с применением почти-периодического анализа определил для каждого урагана характерные почти-периодические радиусы, позволяющие провести структурное разделение исследуемой системы.

Определение почти-периодов основывается на системе локальных минимумов обобщенной сдвиговой функции. Поскольку величина сдвига  $\Delta t$  влияет на форму колебаний числовых данных, то встает необходимость согласования векторов значений при различных  $\Delta t$  со значением  $\tau$ . Таким образом, при расчете

преобразование изображения в полярные координаты при помощи билинейной интерполяции. Затем вдоль полученных значений радиус-вектора применяется обобщенная сдвиговая функция:

необходимо обращать внимание на систему или же «каналы» минимумов функции (1). Для удобной оценки проводят срез обобщенной сдвиговой функции при выбранном значении  $\Delta t$  для оценки локальных минимумов по  $\tau$ .

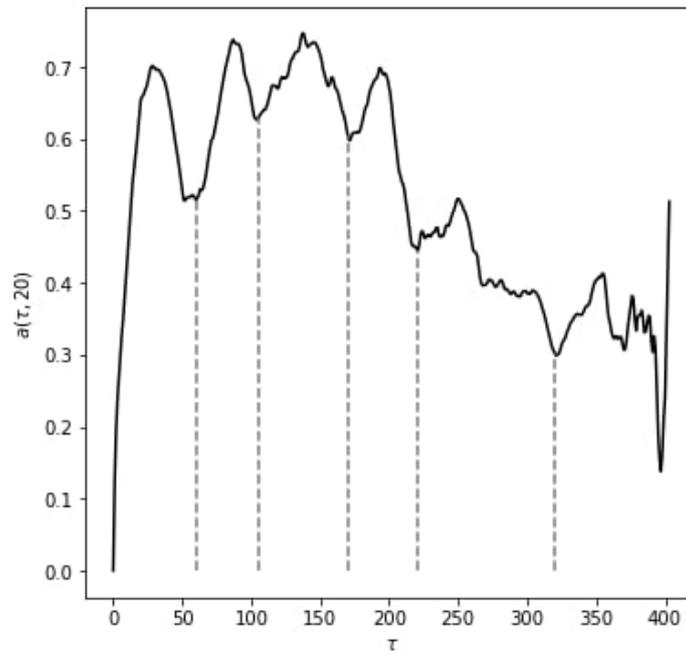
В качестве примера для урагана Эндрю представлен срез обобщенной сдвиговой функции при  $\Delta t = 20$ , с разметкой существенных локальных минимумов, который имеет вид, представленный на рис. 1.

Воспроизведение структуры ритмичных радиусов для урагана Эндрю с почти-периодом в 60 пикселей представлено на рис. 2.

Систематизация результатов показывает, что большинство ураганов в системе почти-периодов среди характерных радиусов носит зависимость, близкую к линейной. Иными словами, наименьший выявленный по значению почти-период, являясь основой алгебраической последовательности, становится естественным структурным квантом радиальной архитектуры рассматриваемых ураганов.

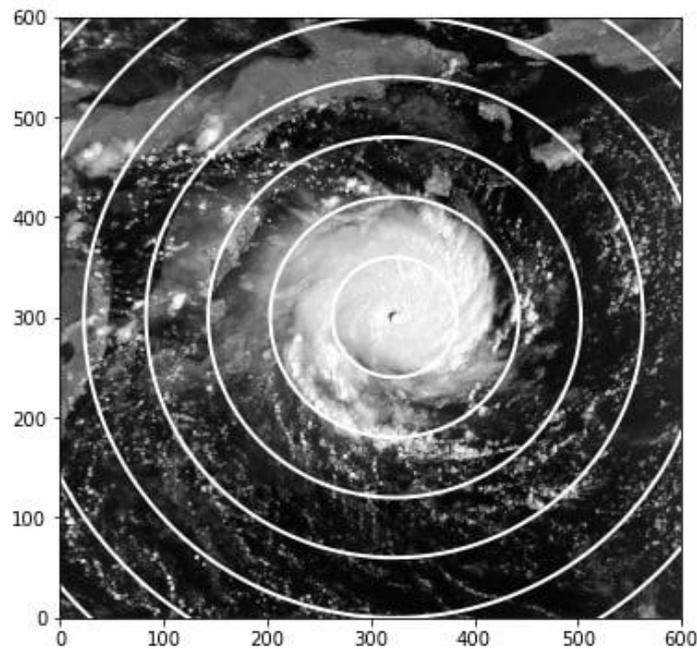
При рассмотрении укладки системы ритмичных окружностей на изображении получаем возможность оценки их количества. Группировка результатов выявленных радиус-векторов с учетом игнорирования нулевых результатов наблюдений приводится на гистограмме на рис. 3.

Таким образом, можно сказать, что большинство ураганов можно разделить на две главных кольцевых части, что позволит определять области охвата тайфунами и их дальнейшую динамику по найденным радиус-векторам.



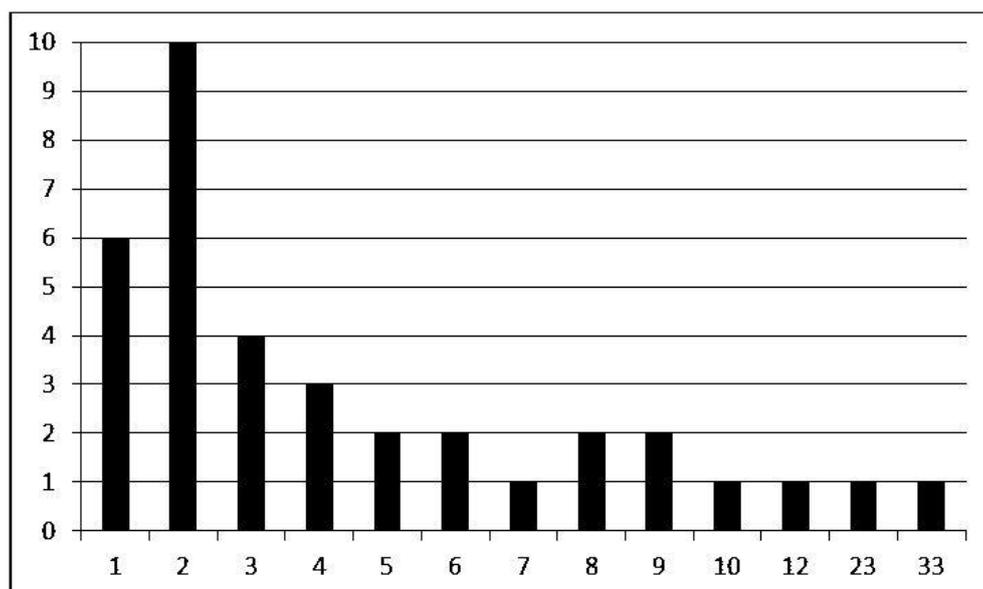
**Рис. 1.** Срез обобщенной сдвиговой функции для параметра  $\Delta t = 20$ , по оси ординат – значение обобщенной сдвиговой функции, по оси абсцисс – оцениваемые значения почти-периодов

**Fig. 1.** Generalised slice function for the parameter  $\Delta t = 20$ , on the ordinate axis – value of the generalised shear function, on the abscissa axis – estimated values of almost periods



**Рис. 2.** Воспроизведение структуры ритмичных радиусов с почти-периодом в 60 пикселей

**Fig. 2.** Reproduction of the structure of rhythmic radii with an almost period of 60 pixels



**Рис. 3.** Гистограмма количества радиус-векторов от частоты их реализации в структуре циклона

**Fig. 3.** Histogram of radius-vectors number from the frequency of their realization in the cyclone structure

### Выводы

Таким образом, проведена сравнительная оценка структур 9 крупнейших по шкале Саффира-Симпсона тропических циклонов. Установлено, что характерные почти-периодические значения радиус-векторов позволяют провести структурное разделение исследуемых систем. Полу-

ченные результаты могут быть использованы для визуализации данных из метеорологических центров, моделирования динамики развития чрезвычайных ситуаций, обусловленных активностью тропических циклонов, с целью обеспечения мероприятий и проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Распознавание ранних признаков зарождения тайфуна на основе общедоступных источников спутниковых изображений / А. А. Кузьмицкий [и др.] // Системы высокой доступности. 2021. Т. 17, № 2. С. 58–66. DOI: 10.18127/j20729472-202102-05.
2. Метод раннего обнаружения зарождения тайфунов на основе обработки спутниковых изображений облачности и оценки динамики метеоусловий на базе общедоступных ресурсов / М. И. Труфанов [и др.] // Информационные технологии и математическое моделирование систем 2020 : тр. междунар. науч.-техн. конф., 16–19 ноября 2020 года. Одинцово : Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук, 2020. С. 75–80. DOI: 10.36581/СІТР.2020.69.64.019.
3. Гридин В. Н., Смахин А. П. Физическое моделирование магнитогидродинамических процессов развития мощных тропических циклонов // Труды МАИ. 2019. № 109. С. 7. DOI: 10.34759/trd-2019-109-7.
4. Поплавский Е. И., Кузнецова А. М., Троицкая Ю. И. Верификация расчетов урагана Ирма в атмосферной модели данными GPS-зондов // Процессы в геосредах. 2022. № 4 (34). С. 1860–1868.
5. National Oceanic and Atmospheric Administration : website. URL: <https://www.noaa.gov/> (date of application: 06.07.2024).
6. Программа для определения почти-периодов в эмпирических данных с упорядоченным аргументом на основе сдвиговой функции : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024663550 Российская Федерация. Сдвиговая функция на основе мультипроцессорной обработки : № 2024663550 : заявл. 21.05.2024 : опубл. 07.06.2024 / Б. А. Крынецкий [и др.] ; заявитель Федеральное

казенное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний».

#### REFERENCES

1. Kuzmitsky, A.A.; Trufanov, M.I.; Tarasova, O.B.; Fedosenko, D.V. Recognition of early signs of typhoon nucleation based on publicly available sources of satellite images // High Availability Systems. - 2021. - Т. 17, № 2. - С. 58-66. - DOI 10.18127/j20729472-202102-05 (rus)
2. Trufanov M.I., Smakhtin A.P., Gazov A.I., Fedosenko D.V. Method of early detection of typhoon nucleation based on the processing of satellite images of clouds and assessment of the dynamics of meteorological conditions on the basis of public resources // Information Technologies and Mathematical Modeling of Systems 2020: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Odintsovo, Moscow region, November 16-19, 2020. - Odintsovo, Moscow Region: Federal State Budgetary Institution of Science Center for Information Technologies in Design of the Russian Academy of Sciences, 2020. - С. 75-80. - DOI 10.36581/CITP.2020.69.64.019 (rus)
3. Gridin V.N., Smakhtin A.P. Physical modeling of magnetohydrodynamic processes of the development of powerful tropical cyclones // Proc. of MAI. - 2019. - № 109. - P. 7. - DOI 10.34759/trd-2019-109-7. (rus)
4. Poplavskiy E.I., Kuznetsova A.M., Troitskaya Y.I. Verification of Hurricane Irma calculations in the atmospheric model by GPS-probe data // Processes in geospheres. - 2022. - № 4(34). - С. 1860-1868. (rus)
5. National Oceanic and Atmospheric Administration [Electronic resource]. URL: <https://www.noaa.gov/> (checked on 06.07.2024).
6. Krynetsky B.A., Danilova V.A., Paramonov A.A., Smolentseva T.E., Kalach A.V. "Program for determination of almost-periods in empirical data with the ordered argument on the basis of shift function" - Certificate of state registration of computer program No. 2024663550 Russian Federation. Shift function on the basis of multiprocessing: № 2024663550: avt. 21.05.2024: publ. 07.06.2024; Applicant Federal State Educational Institution of Higher Education "Voronezh Institute of the Federal Service for the Execution of Punishments". (rus)

#### Информация об авторах

**Парамонов Александр Александрович**, аспирант второго курса, старший преподаватель кафедры прикладной математики МИРЭА – Российского технологического университета (Российская Федерация, 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78), ORCID: 0000-0002-8504-2108, e-mail: [paramonov\\_a\\_a99@mail.ru](mailto:paramonov_a_a99@mail.ru)

#### Information about the authors

**Alexander A. Paramonov**, second-year postgraduate student, Senior Lecturer of Department of Applied Mathematics of MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo Ave., Moscow 119454, Russian Federation), ORCID: 0000-0002-8504-2108, e-mail: [paramonov\\_a\\_a99@mail.ru](mailto:paramonov_a_a99@mail.ru)