

## **Метод раннего обнаружения зарождения тайфунов на основе обработки спутниковых изображений облачности и оценки динамики метеоусловий на базе общедоступных ресурсов**

**М.И. Труфанов, А.П. Смахтин, А.И. Газов, Д.В. Федосенко**  
ФГБУН Центр информационных технологий в проектировании РАН  
РФ, г. Одинцово

В работе представлены результаты построения математической модели и алгоритмического обеспечения для раннего выявления тропических циклонов посредством анализа спутниковых снимков облачности и параметров метеоусловий. Предложенное решение отличается от известных возможностью получения данных в реальном времени с общедоступных источников, реализацией гибкого алгоритма к многофакторному анализу первичной информации и решением задачи отслеживания перемещения и динамики развития мощности тайфуна.

**Ключевые слова:** ураган, анализ изображений, облачность, характерная точка, движение, оценка

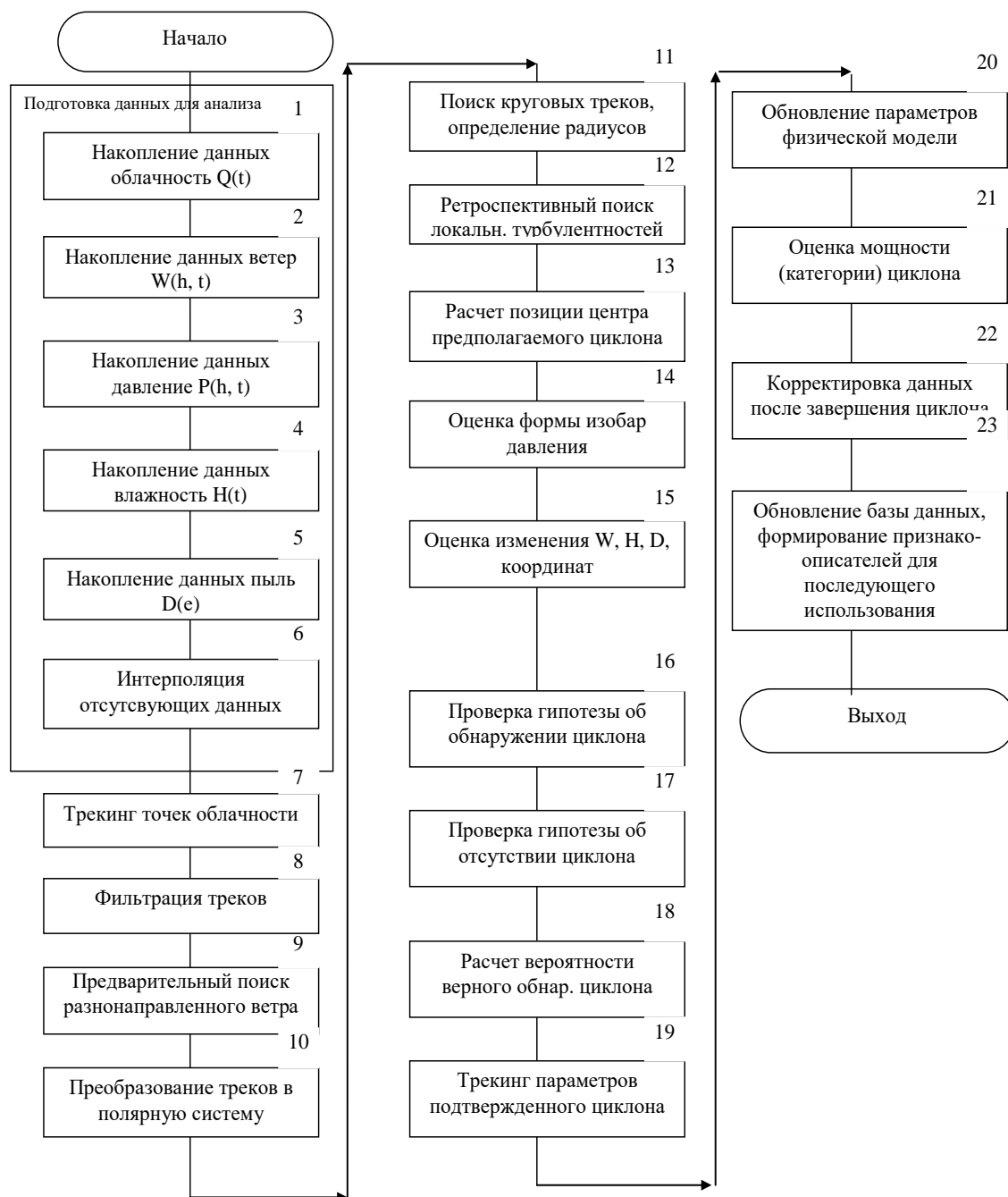
Одной из ключевых задач в проблеме обнаружения и оценки динамики развития тропических циклонов является построение физико-математической модели возникновения метеорологических предпосылок к формированию начальных условий, достаточных для зарождения тайфуна.

Вопросам раннего обнаружения и оценки потенциальной мощности циклона, в том числе с учетом прогнозирования потенциальной траектории движения тайфуна и критериев увеличения его мощности на основе объективной численной модели, учитывающей различные факторы при движении в экваториальном бассейне уделяется внимания в работах [3 -:- 5], однако значимых результатов не получено. Вместе с тем, отметим, что разрушительные циклоны присутствуют не только в экваториальной области, но и характерны для островов Великобритании, северо-западных и западных побережий Европы, восточных прибрежных регионов России.

Образование циклонов нужно рассматривать не только с метеорологической физической модели, но и с электромагнитной электродинамической модели [1] в которой важным фактором являются электромагнитные силы [8].

В данной части работы уделим основное внимание построению средства обнаружения на основе анализа облачности (видимый, инфракрасный спектр), как наиболее объективному источнику данных.

Алгоритм оценки признаков зарождения циклона представлен на рис 1. Основным источником данных являются спутниковые снимки оптического, инфракрасного диапазонов и данные о метеорологических параметрах от сервиса windy.com или любого другого аналогичного.



**Рис. 1.** Алгоритм анализа облачности, выявления признаков зарождения циклона

Рассмотрим алгоритм, представленный на рисунке 2. Основная часть алгоритма базируется на сопровождении точек облаков посредством выделения и последующего трекинга характерных точек на спутниковых снимках. Первоначально согласно алгоритму производится накопление данных за необходимый временной промежуток (глубиной от 6 часов до 3 дней от текущего анализируемого момента), а также интерполяция необходимых данных, если они отсутствуют.

Затем выполняется формирование треков точек облачности. После построения треков – выполнения операций детекции на основе детектора surf,

как наиболее оптимального для детекции точек, характеризующихся плавными изменениями яркости окрестности, производится фильтрация треков по критериям допустимости диапазона скорости движения точек облачности и непосредственно переход к задаче распознавания признаков формирования циклона и последующего развития тропического катастрофического тайфуна.

Среди основанных на анализе облачности и ветра признаков выделены следующие первичные признаки:

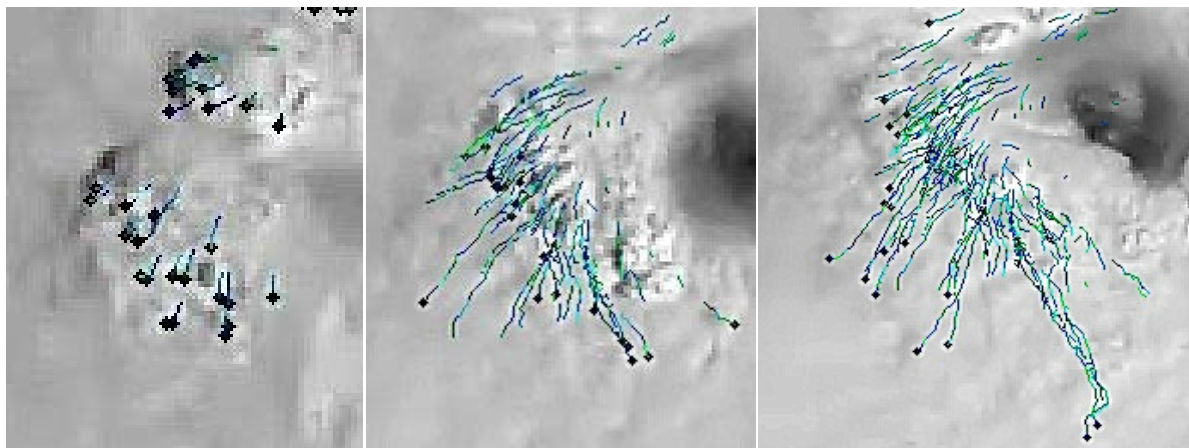
- наличие разнонаправленных, предположительно циклических, движений характерных точек либо направлений ветра при отсутствии сформировавшейся облачности,

- наличие множественных центров образования турбулентностей (рисунок 2), распознаваемых посредством детекции хаотично движущихся, но возникающих из единых центров, как правило, короткоживущих треков,

- наличие циклических множественных треков с близкими радиусами, а также спиралеобразно расходящихся треков, имеющих начальные радиусы близкие к множественным циклическим трекам, но с постоянно увеличивающимися радиусами (рисунок 2),

- формирование центра циклона с минимальным относительно смежных областей количеством облачности, формирование, так называемого «глаза» циклона (рисунки 3, 8).

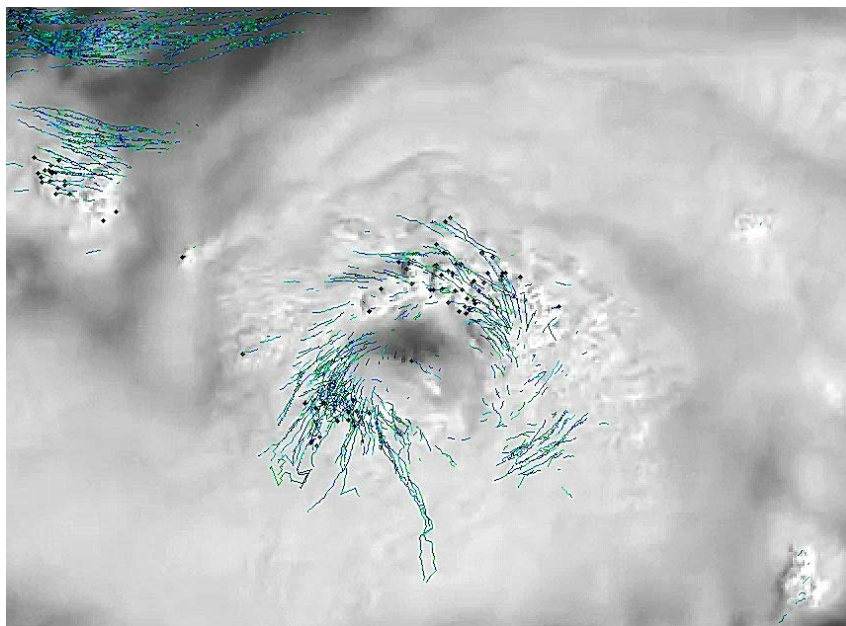
Перечисленные критерии обеспечивают обнаружение турбулентностей, обнаружение циклического движения воздуха и радиальное удаление находящихся вблизи центра образования циклона облаков, что как установлено экспериментально и подтверждено исследованиями сторонних авторов, является характерными визуальными признаками зарождения циклона.



**Рис. 2.** Возникновение и развитие локальных турбулентностей (на примере зарождения урагана Дориан)

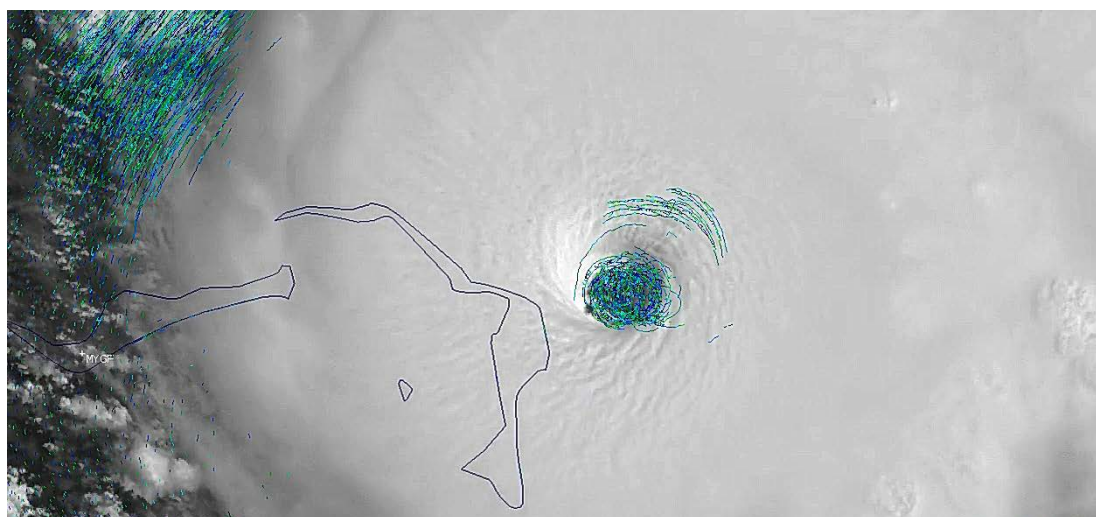
После формирования устойчивого «глаза», хорошо распознаваемого, как темной области, вокруг которой стабильно определяются замкнутые циклические непрерывные движения облачности, наблюдается развитие

турбулентностей на краях на значительном удалении от центра урагана, что подтверждает его дальнейшее развитие и усиление (рисунок 7).



**Рис. 3.** Детектирование турбулентностей на удалении от центра урагана

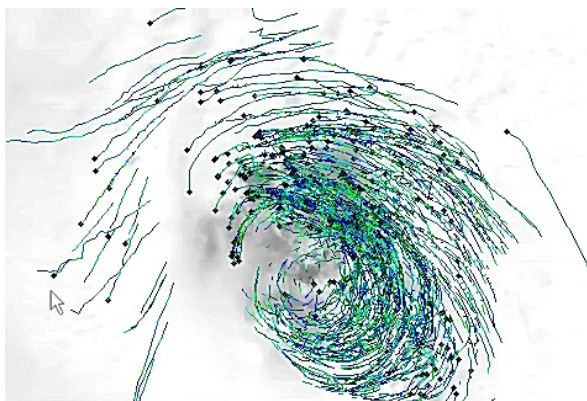
Дальнейшее развитие урагана характеризуется увеличением его радиуса при изменении структуры облачности на более равномерную, а также наличием выраженных периферических областей с малым количеством редких облаков (рисунок 4).



**Рис. 4.** Сформировавшийся ураган Дориан (1 сентября 2019)

Анализируемый набор спутниковых изображений (за время от 2 до 12 часов) разбивается на отдельные движущиеся окна, в которых производится выделение треков движения характерных точек облачности. В каждом окне производятся попытки обнаружения циклических движений треков, если такое условие выполняется, то среди найденных окон выбирается то окно, в котором

центр предполагаемой цикличности наиболее близок к центру окна. Затем производится подтверждение двух гипотез: 1) о циклических эллипсах (вследствие общего движения предполагаемого циклона наблюдаются не окружности, а эллипсы) с радиусами близкими друг к другу и не увеличивающимися со временем, 2) о наличии расширяющихся спиралеобразных треков с увеличивающимся радиусом (рисунок 5).



**Рис. 5.** Изображение движения облачности циклона Мария. Наблюдаются циклические замкнутые треки и треки, направленные на разбегание от центра облаков

Таким образом, представлен алгоритм распознавания зарождения тропического циклона на основе анализа облачности, применимый для практической реализации и позволяющий накопить данные для обнаружения циклонов в реальном масштабе времени на основе общедоступных данных космического зондирования Земли.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 19-07-00924 а*

## Литература

1. Гридин В.Н., Смахтин А.П. Физическое моделирование магнитогидродинамических процессов развития мощных тропических циклонов / Труды МАИ. Выпуск № 109. DOI: 10.34759/trd-2019-109-7
2. Marilu Meza-Ruiz, Alfonso Gutierrez-Lopez. Goes-13 IR Images for Rainfall Forecasting in Hurricane Storms Forecasting 2020, 2, 5; doi:10.3390/forecast2020005.
3. Chen S.; Hong Y.; Cao Q.; Kirstetter P.-E.; Yong, B.; Qi, Y.; Zhang, J.; Howard, K.; Hu, J.; Wang, J. Performance evaluation of radar and satellite rainfalls for Typhoon Morakot over Taiwan: Are remote-sensing products ready for gauge denial scenario of extreme events? J. Hydrol. 2013, 506, 4–13.
4. Lin G.-F., Wang T.-C., & Chen L.-H. (2016). A forecasting approach combining self-organizing map with support vector regression for reservoir inflow

during typhoon periods. *Advances in Meteorology*, 2016, Article ID 7575126. doi:10.1155/2016/7575126.

5. *Alpay B.A.; Wanik, D.; Watson P.; Cerrai D.; Liang G.; Anagnostou E.* Dynamic Modeling of Power Outages Caused by Thunderstorms. *Forecasting* 2020, 2, 151-162.