

## Критический параметр генезиса тропических циклонов в глобальном поле интегрального водяного пара

Е.А. Шарков, Я.Н. Шрамков, И.В. Покровская

*Институт космических исследований РАН,  
117997, Москва, Профсоюзная, 84/32  
E-mail: e.sharkov@mail.ru*

С помощью базы данных (БД) EVA-00 с элементами объектно-реляционного типа за 2001 г. выполнена проверка гипотезы взаимосвязи интегральной концентрации водяного пара (по данным микроволновых спутниковых систем) и множественного тропического циклогенеза в циклогенерирующих акваториях Мирового океана. В работе экспериментально показано, что существует критическое значение интегрального водяного пара (своего рода необходимое условие), при котором формируется зрелая форма тропического циклона со временем жизни, превышающем сутки. При этом экспериментально показано, что в этот же промежуток времени существует другой массив тропических циклонов с кратким периодом жизни (менее суток), которые не обладают ярко выраженным граничным значением интенсивности водяного пара и могут формироваться в большом диапазоне ее значений. Выявленные связи областей водяного пара повышенной концентрации и генезиса тропических циклонов стали очевидны только при применении объектно-реляционных компьютерных технологий.

Работа поддержана РФФИ (проект № 09-05-01019-а).

**Ключевые слова:** тропические циклоны, интегральное поле водяного пара, критические геофизические параметры генезиса.

### Введение

Изучение геофизической среды при формировании первичных форм тропических циклонов (ТЦ) всегда занимало особое место в программах дистанционного мониторинга тропических возмущений. В первую очередь надо отметить задачи прогнозирования возникновения первичных форм возмущения и последующего перехода индивидуального первичного тропического возмущения в развитую форму ТЦ, а также детального дистанционного исследования структурных, динамических и термодинамических особенностей тропического возмущения непосредственно в момент образования зрелой формы ТЦ.

Уже достаточно давно сложилось представление о наборе так называемых «необходимых» (и в значительной степени феноменологических) геофизических параметров, при которых должна происходить генерация мезомасштабных вихревых устойчивых систем в тропической атмосфере (в климатологическом аспекте). Этот набор считается своего рода классическим и является неременным атрибутом большинства изданий, касающихся обсуждения вопросов генерации тропических циклонов. Один из главных пунктов этого набора (и его часто называют «первым необходимым условием для возникновения тайфунов») – высокие значения поверхностной температуры, превышающие (обязательно)  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $26,3\text{--}26,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (так называемая критическая температура или температура «отсечки») при глубоком верхнем квазиоднородном слое океана (глубоком термоклине). Геофизической основой этой концепции является так называемая «конвективная гипотеза», которая гласит, что основной источник энергии при генезисе ТЦ – конвективный поток водяного пара с фиксированной, нагретой до критической, температуры поверхности океана.

Однако попытки дистанционного исследования первичных форм тропических возмущений сталкиваются с целым рядом трудностей, и в первую очередь отсутствием общепризнанной физической модели этого сложного геофизического явления и соответственно необходимых геофизических параметров, подлежащих измерению. Несмотря на значительные усилия исследователей по наблюдению и регистрации отдельных (и фрагментарных) оптических и ИК-изображений тропических вихревых возмущений в различных фазах (см., например, [Шарков, 2006, 2010; Sharkov, 1998, 2000]), общепринятых дистанционных критериев «близости» геофизической среды к генерации индивидуального тропического возмущения и к кризисному моменту перехода в развитую форму пока не существует. Принципиально новым шагом в изучении дистанционных критериев генезиса ТЦ следует считать результаты комплексных многочастотных оптико-ИК-микроволновых спутниковых исследований эволюции оптического образа ТЦ в поле экваториального интегрального водяного пара, при анализе которых обнаружен фундаментальный вклад малоинерционного источника энергии, за счет которого происходит формирование зрелых форм тайфунов, а также горизонтального переноса водяного пара глобальной циркуляцией и джетовыми потоками для поддержания функционирования зрелых форм ТЦ [Шарков, 2010; Шарков и др., 2010; Ким и др., 2010]. Этот результат для проблемы генезиса ТЦ, разумеется, имеет принципиальный характер, однако он получен при исследовании всего трех отдельных ТЦ. Для полновесного экспериментального доказательства этого положения необходимо исследование эволюции множественного тропического циклогенеза (например, во временном интервале порядка года) в поле интенсивно мигрирующего интегрального водяного пара тропической зоны земной атмосферы.

Сложность проблемы заключается в том, что необходимо провести синхронный анализ дистанционной спутниковой информации двух стохастических процессов, обладающих принципиально различными пространственно-временными масштабными и структурными характеристиками. Первый процесс – тропический циклогенез – рассматривается как стохастический набор случайных событий (объектов), а именно, стохастический генезис тропических циклонов [Sharkov, 2000]; второй – как пространственное глобальное поле интегрального водяного пара со значительной пространственно-временной вариабельностью [Шарков и др., 2010]. Соединение двух указанных баз должно производиться на минимальном временном интервале (в данном случае, на суточном временном пикселе). В случае же увеличения временного интервала соединения двух процессов эффективность предлагаемого метода резко падает из-за конечного времени жизни тропических возмущений и высокой пространственно-временной вариабельности поля водяного пара. Анализ методологии построения необходимых для данной задачи баз данных показал [Шарков и др., 2010], что необходимое временное сочетание данных двух стохастических процессов возможно при использовании активно развивающейся в настоящее время объектно-реляционной технологии построения сложных комплексных баз данных.

Цель настоящей работы – на основе преимуществ объектно-реляционной базы данных сформировать усовершенствованный вариант базы данных EVA-01 с элементами объектно-реляционной технологии, которая включает в себя дистанционную спутниковую информацию о двух упомянутых выше стохастических процессах. На основе синхронного анализа этих стохастических полей показано, что образование множественного тропического циклогенеза в течение годового интервала (2001) (и в Северном, и в Южном полушариях) происходит в поле повышенной концентрации интегрального водяного пара. Эта взаимосвязь становится очевидной только при применении объектно-реляционных технологий обра-

ботки спутниковой информации. Таким образом, речь идет о выявлении принципиально нового критического параметра генезиса ТЦ, а именно — значения интенсивности интегрального водяного пара в экваториальном поле.

### **Данные наблюдений и методика их обработки**

Мультимедийные типы данных, такие как спутниковые изображения, разномасштабные карты, видеоклипы, обычно обрабатываются специализированным программным обеспечением.

Сложность настоящей задачи заключается в том, что приложения этих созданных новых типов данных должны оперировать абстракциями, свойственными данной предметной области (эволюция тропических циклонов как стохастический набор случайных событий и эволюция пространственно-временного поля водяного пара).

Блок-схема первого варианта базы данных EVA-00 с элементами объектно-реляционной технологии, включающей дистанционную спутниковую информацию о двух упомянутых выше стохастических процессах, впервые представлена в работе [Шрамков и др., 2010].

База данных EVA-00 использует информацию от своих предшественниц: баз данных Global-TC и Global-Fields. Первая представляет собой хранилище систематизированных дистанционных данных о глобальном тропическом циклогенезе, т. е. содержит информацию о физическом процессе, рассматриваемом на всей акватории Мирового океана [Покровская, Шарков, 2006]. Прежде всего информация была систематизирована по отдельным регионам, в каждом из которых проведены временная и пространственная привязки; были проверены правильность и полнота сообщений, связанных с характерными климатическими особенностями каждого региона, проведен препроцессинг поступающей сырой информации. Каждый вновь образующийся тропический циклон или тропическое возмущение, в дальнейшем неперешедшее в развитую форму ТЦ, составляет в базе данных отдельный файл информации.

База данных Global-Fields содержит информацию о глобальных полях радиоярких температур, [Ермаков и др., 2007] полученных с помощью комплекса SSM-I — семиканального радиотеплового прибора, принимающего линейно поляризованное излучение на частотах 19,35; 22,235; 37,0 и 85,5 ГГц. На всех частотах, кроме 22 235 ГГц, измеряется как вертикальное, так и горизонтальное поляризованное излучение. На частоте 22,235 ГГц — только вертикальное. Пространственное поле зрения измерений на поверхности Земли составляет 12,5 км для канала 85,5 ГГц и 25 км для других каналов. Для получения информации о содержании водяного пара необходимы данные о радиоярких температурах на двух каналах: 22,235 и 37,0 ГГц. База данных EVA-00 представляет собой комплекс программ, которые вычисляют все необходимые, на данный момент, функции обработки глобальных полей водяного пара и информации о тропических циклонах. Прежде всего происходит последовательная обработка данных из базы Global-TC с помощью языка программирования Microsoft Visual Studio, при этом создается текстовый файл, содержащий данные о географическом положении возмущения, времени возникновения и существования, и некоторую метеорологическую информацию за 2001 год.

Поля радиоярких температур, полученные на двух частотах — 22,235 и 37,0 ГГц и заимствованные из базы данных GLOBAL-FIELDS, обрабатываются на языке программирования IDL с помощью линейного алгоритма обратных задач, представленного в работе [Ruprecht, 1996], по формуле

$$W=131,95 - 39,50\ln(280-T_{22V})+12,49\ln(280-T_{37V}),$$

где  $W$  – значение интегрального водяного пара в кг/м<sup>2</sup> (или в мм) в пространственном пикселе разрешения прибора SSM/I;  $T_{22V}$  и  $T_{37V}$  – значения радиоярких температур по каналам 22,235 и 37,0 ГГц (вертикальная поляризация) в пространственном пикселе разрешения прибора SSM/I. Специальная валидация, выполненная в этой работе между восстановленными значениями водяного пара и измеренными по данным радиозондирования (250 профилей) в акватории Атлантического океана и с разновременностью измерений между спутниками и радиозондами лучше, чем два часа, показала, что среднеквадратичное отклонение результатов составляет около 2,58 кг/м<sup>2</sup>. В результате получаются глобальные поля водяного пара, которые и участвуют в дальнейшей обработке.

В основу обработки и устройства полей водяного пара положен принцип рассмотрения глобальных дистанционных данных как длинных рядов пространственно-временных наблюдений. При этом длительная последовательность полей водяного пара рассматривается не как механическое объединение данных из нескольких файлов, соответствующих моментам съёмки, а является с точки зрения пользователя основной структурной единицей базы данных, генерируемой по запросу пользователя, и позволяющей применение к себе дальнейших операций обработки. Выходные данные могут быть записаны в один или несколько файлов. Наиболее естественный метод визуализации полученных данных – формирование серий изображений либо видеоклипа.

На основе полученной комплексной базы данных сформирован демонстрационный анимационный ролик, представленный на сайте отдела исследования Земли из космоса ИКИ РАН ([http://www.iki.rssi.ru/asp/dep\\_coll.htm](http://www.iki.rssi.ru/asp/dep_coll.htm)) и наглядно демонстрирующий связь областей повышенной концентрации водяного пара и генезиса тропических циклонов.

### Результаты обработки данных

В качестве примера продуктов настоящей базы данных в работе [Шрамков и др., 2010] приведем фрагменты анимации глобального поля водяного пара и тропического циклогенеза, а также временной последовательности из анимации локальных полей и детализированных фрагментов отдельных циклонов. Анализ ТЦ за 2001 г. показал, что все тропические циклоны со временем жизни более 1 сут попадают в «багровые» области содержания водяного пара, т. е. в области с интенсивностью водяного пара выше 60 кг/м<sup>2</sup> (рис. 1). Содержание водяного пара не представлено в атмосфере над материками в виду сложностей решения обратной задачи над континентами. При этом отметим, что анализ анимации глобального поля интегрального водяного пара показал, что поле обладает очень сильной пространственно-временной вариабельностью. Западный перенос поля водяного пара может составлять 300–400 км/сут и при этом со значительным изменением формы изолиний различной интенсивности. Именно с этим, скорее всего, связано достаточно высокое значение среднеквадратического отклонения между данными, восстановленными из спутниковых, и измеренными методом радиозондирования значениях поля водяного пара. Подчеркнем, что речь идет о временных масштабах порядка суток, необходимых для исследования эволюции в энергосодержании поля водяного пара в процессе циклогенеза. Если исследования ведутся в масштабах месячных и сезонных усреднений [Ruprecht, 1996], то подобной

проблемы не возникает. Кроме того, экспериментально показано, что в этот же промежуток времени (2001) существует другой массив тропических циклонов с малым периодом жизни (менее суток), которые не обладают ярко выраженным граничным значением интенсивности водяного пара (рис. 2), и этот вид циклонов может формироваться в очень большом диапазоне значений интенсивности.

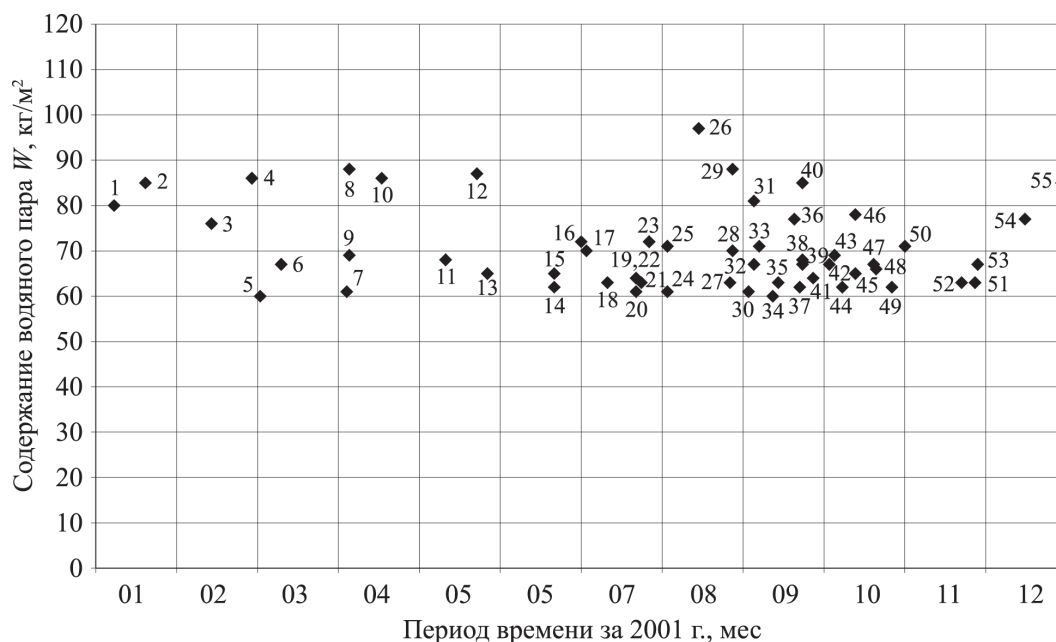


Рис. 1. Годовой ход формирования зрелых форм ТЦ за 2001 г. (55 ТЦ) при значении содержания водяного пара экваториальной материнской зоны водяного пара в момент интенсификации данного ТЦ

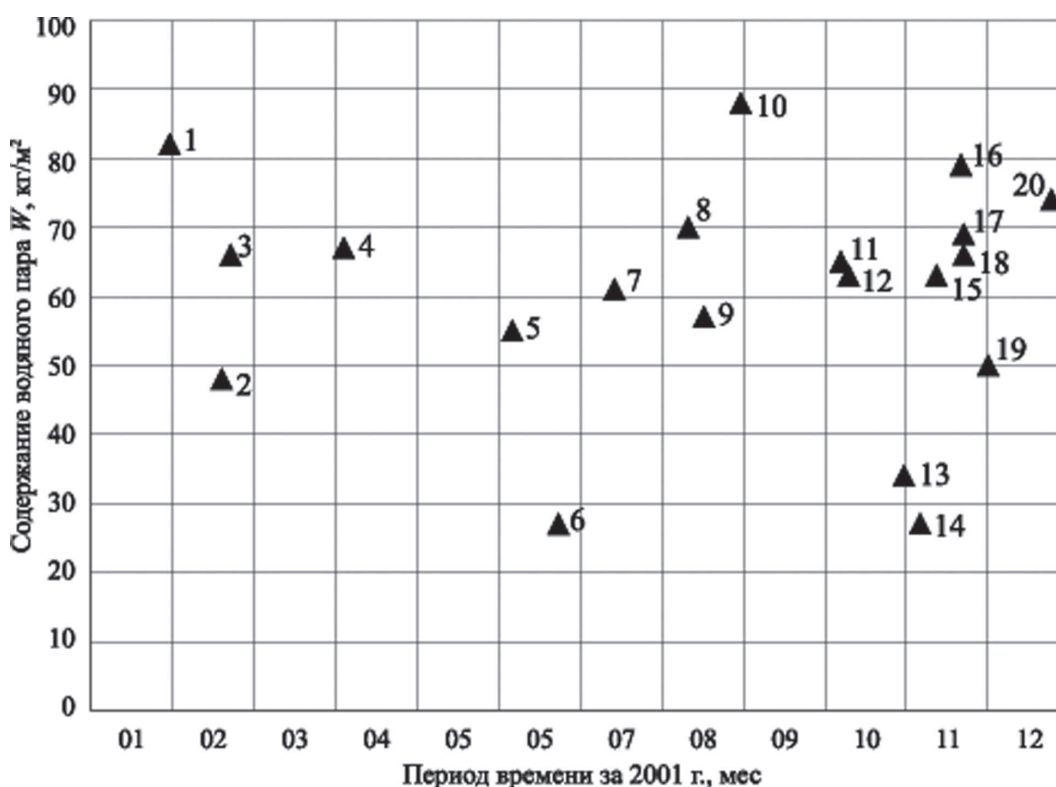


Рис. 2. Годовой ход формирования односуточных форм ТЦ за 2001 г. (20 ТЦ) при значении содержания водяного пара экваториальной материнской зоны водяного пара в момент интенсификации данного ТЦ



## Заключение

С помощью усовершенствованной базы данных EVA-01 с элементами объектно-реляционного типа выполнена проверка гипотезы о взаимосвязи интегральной концентрации водяного пара (по данным микроволновых спутниковых систем) и генезиса множественного тропического циклогенеза в циклоногенерирующих акваториях Мирового океана за 2001 г. В работе экспериментально показано, что существует критическое значение интегрального водяного пара (своего рода необходимое условие или критический параметр), при котором формируется зрелая форма тропического циклона со временем жизни, превышающем сутки. При этом экспериментально показано, что в этот же промежуток времени (2001) существует другой массив тропических циклонов с кратким периодом жизни (менее суток), которые не обладают ярко выраженным граничным значением интенсивности водяного пара и могут формироваться в большом диапазоне значений интенсивности. Выявленные связи областей водяного пара повышенной концентрации и генезиса тропических циклонов стали очевидны только при применении объектно-реляционных компьютерных технологий. На основе базы данных сформирован демонстрационный анимационный ролик (за 2001 г.), наглядно демонстрирующий связь областей повышенной концентрации водяного пара и генезиса тропических циклонов.

## Литература

1. [Ермаков и др., 2007] Ермаков Д.М., Раев М.Д., Суслов А.И., Шарков Е.А. Электронная база многолетних данных глобального радиотеплового поля Земли в контексте многомасштабного исследования системы океан-атмосфера // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 1. С. 7–13.
2. [Ким и др., 2010] Ким Г.А., Шарков Е.А., Покровская И.В. Особенности взаимодействия тропических циклонов Hondo и Ivan в поле интегрального водяного пара // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 4. С. 287–295.
3. [Покровская, Шарков, 2006] Покровская И.В., Шарков Е.А. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 3.1. (1983–2005). М.: Полиграф сервис, 2006. 728 с.
4. [Шарков, 2010] Шарков Е. А. Дистанционные исследования атмосферных катастроф // Исслед. Земли из космоса. 2010. №1. С. 52–68.
5. [Шарков и др., 2010] Шарков Е.А., Ким Г.А., Покровская И.В. Множественная генерация тропического циклогенеза в Южном Индийском океане // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 75–85.
6. [Шрамков и др., 2010] Шрамков Я.Н., Шарков Е.А., Покровская И.В., Раев М.Д. База данных тропического циклогенеза и глобального поля водяного пара с использованием объектно-реляционных технологий // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 6. С. 52–58.
7. [Ruprecht, 1996] Ruprecht E. Atmospheric Water Vapour and Cloud Water: an Overview // Advances in Space Research. 1996. Vl. 18. N. 7. P. 5–16.
8. [Sharkov, 1998] Sharkov E.A. Remote sensing of tropical regions. Chichester, N. Y. etc.: John Wiley and Sons/PRAXIS., 1998. 310 p.
9. [Sharkov, 2000] Sharkov E.A. Global Tropical Cyclogenesis. Berlin, Heidelberg, L., N. Y. etc.: Springer/PRAXIS, 2000. 361 p.

# Boundary Parameter of Tropical Cyclones Genesis in the Global Integral Water Vapor Field

E.A. Sharkov, Ya.N. Sharmkov, I.V. Pokrovskaya

*Space Research Institute,  
117997, Moscow, Profsouznaya Str., 84/32  
E-mail: e.sharkov@mail.ru*

The hypothesis about the interaction between the integral concentration of equatorial water vapor and plural tropical cyclogenesis in basins of the World ocean during 2001 using data base EVA-01 with elements of the object-relation type. It was experimentally shown that the boundary value of integral water vapour exists when the mature form of tropical cyclone with the date of TC life more than one day has formed. In this case it was experimentally shown that the another set of TCs with the date of TC life less than one day. These TCs do not exhibit prominent value of boundary parameters. The interaction between the integral concentration of equatorial water vapor and plural tropical cyclogenesis in basins of the World Ocean have emerged from using data base EVA-01 with elements of the object-relation type.

**Keywords:** tropical cyclones, integral water vapor field, boundary geophysical genesis parameters.