

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

# ПОВЫШЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ ТРОПИЧЕСКИХ ШИРОТ КАК НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ГЕНЕЗИСА ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ

© 2012 г. Е. А. Шарков\*, Я. Н. Шрамков, И. В. Покровская

Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН, Москва

\*E-mail: e.sharkov@mail.ru

Поступила в редакцию 03.10.2011 г.

С помощью сформированной авторами базы данных EVA-01 (ИКИ РАН) с элементами объектно-реляционного типа выполнена проверки гипотезы о взаимосвязи интегральной концентрации водяного пара (по данным микроволновых спутниковых систем) и множественного тропического циклогенеза в циклоногенерирующих акваториях Мирового океана за 2001 г. В работе экспериментально показано, что существует критическое значение содержания интегрального водяного пара (своего рода необходимое условие), при котором формируется зрелая форма тропического циклона со временем жизни, превышающим 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 его значений. Выявленные связи областей водяного пара повышенной концентрации и генезиса тропических циклонов стали очевидными только при применении объектно-реляционных компьютерных технологий.

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

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в проблеме дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) формируется своеобразное направление, цель которого заключается в детальном исследовании параметров окружающей геофизической среды по отношению к различным временным фазам эволюции природных катастроф. И в первую очередь это относится к атмосферным катастрофам, таким как тропические циклоны (ТЦ), воздействие которых приводит к значительным материальным ущербам.

Изучение геофизической среды при формировании первичных форм 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 (Sharkov, 2000).

Однако попытки дистанционного исследования первичных форм тропических возмущений сталкиваются с целым рядом трудностей, и,

прежде всего, с 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, окончательных дистанционных критериев “близости” геофизической среды к генерации индивидуального тропического возмущения и к кризисному моменту перехода в развитую форму пока не существует.

С другой стороны, 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 генезиса ТЦ (Грей, 1985; Хаин, Сутырин, 1983). Одним из главных пунктов этого набора (и его часто называют “первым необходимым условием для возникновения тайфунов”) являются высокие значения поверхностной температуры, превыша-

ющие (строго)  $26^{\circ}\text{C}$  ( $26.3^{\circ}\text{C}$ – $26.8^{\circ}\text{C}$ ) (так называемая критическая температура, или температура “отсечки”) при глубоком верхнем квазиоднородном слое океана (глубоком термоклизе). На базе этого впоследствии была выработана концепция критического значения потока скрытой теплоты как количественного критерия возникновения ТЦ (Голицын, 2008).

Однако детальный анализ (Шарков, Покровская, 2006) пространственно-временных полей генерации начальных форм и циклогенеза зрелых форм в поле поверхностной температуры по океаническим акваториям двух полушарий Земли показал наличие достаточно широкого диапазона поверхностных температур, при которых происходят процессы генерации первичных форм и их трансформации в зрелые формы, и отсутствие “критической” (пороговой) температуры и соответственно отсутствие жесткой границы при их генерации в поле поверхностной температуры океана. Как и следовало ожидать, региональные циклогенезы (Шарков, Покровская, 2010) обладают очень своеобразными диапазонами поверхностных температур, при которых происходит процессы генерации первичных форм ТЦ (“размытые” диапазоны, “экстремумы с хвостами”, “дельтообразные” формы). Таким образом, широко распространенная концепция критического значения температуры поверхности океана при изучении генезиса ТЦ остается экспериментально необоснованной.

Попытки дистанционного исследования генезиса 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, 1997, 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 интегрального водяного пара, при анализе которых обнаружен фундаментальный вклад малоинерционного источника энергии, за счет которого происходит формирование зрелых форм тайфунов, а горизонтального переноса водяного пара глобальной циркуляцией и джетовыми потоками для

поддержания функционирования зрелых форм ТЦ (Шарков, 2010; Шарков и др., 2008, 2009; 2011a, 2011b; Ким и др., 2010). Полученный результат для проблемы генезиса ТЦ, разумеется, достаточно принципиальный. Однако он получен при исследовании трех отдельных выборочных ТЦ. Для полновесного экспериментального доказательства 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 ТЦ (Sharkov, 2000), и второй – как пространственное глобальное поле интегрального водяного пара со значительной пространственно-временной вариабельностью (Шарков и др., 2009; 2011a, 2011b). Сочленение двух указанных баз должно быть произведено на минимальном временном интервале (в данном случае – на точном временном пикселе). В случае же увеличения временного интервала сочленения 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 современных структур баз данных (БД) 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 БД.

Цель настоящей работы – на основе преимуществ объектно-реляционной базы данных сформировать усовершенствованный вариант БД EVA-01 с элементами объектно-реляционной технологии, которая включает в себя тематическую обработку дистанционной спутниковой информации о двух упомянутых выше стохастических процессах. На основе синхронного анализа этих стохастических полей удастся показать, что образование множественного тропического циклогенеза в течение годового интервала (2001 г.) (и в Северном и Южном полушариях одновременно) происходит в поле повышенной концентрации интегрального водяного пара. Эта взаимосвязь становится очевидной только при применении объектно-реляционных технологий обработки спутниковой информации. Таким образом, речь

идет о выявлении действительно критического (необходимого) параметра, а именно, значения интенсивности интегрального водяного пара, только при превышении которого возможен генезис ТЦ.

### ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДИКА ИХ ОБРАБОТКИ

Мультимедийная обработка спутниковых данных обычно содержат два основных этапа – корректное представление пространственно-временных данных и тематическая обработка. В нашем случае первый этап заключается в формировании анимационных видеоклипов в результате специализированной обработки последовательности спутниковых изображений с включением систематизированных данных о глобальном тропическом циклогенезе. На втором этапе информация подвергается тематической обработке специализированным программным обеспечением, сформированным на базе физических моделей исследуемых процессов. Сложность настоящей задачи заключается в том, что приложения этих созданных новых типов данных должны оперировать моделями (абстракциями), свойственными данной предметной области (эволюция ТЦ как стохастический набор случайных событий и эволюция и миграция пространственно-временного поля водяного пара). Каждая из этих областей обладает специфическими физическими и геофизическими особенностями, которые должны быть учтены при тематической обработке. Для удовлетворения этих потребностей была выработана объектно-реляционная технология, которая обеспечивает достаточно простые методы разработки, развертывания и управления приложениями, оперирующими со сложными данными.

Первый вариант БД EVA-00 с элементами объектно-реляционной технологии, которая включает в себя дистанционную спутниковую информацию о двух упомянутых выше стохастических процессах, впервые представлен в работе (Шрамков и др., 2010).

Усовершенствованный вариант БД EVA-01 использует информацию от своих предшественниц: БД GLOBAL-TC и GLOBAL-FIELDS с элементами тематической обработки. Первая представляет собой хранилище систематизированных дистанционных данных о глобальном тропическом циклогенезе, т.е. содержит информацию о физическом процессе, рассматриваемом на всех акваториях 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 регио-

на, проведен препроцессинг поступающей сырой информации. Каждый вновь образующийся ТЦ, или тропическое возмущение, в дальнейшем не перешедшее в развитую форму ТЦ, составляет в БД отдельный файл информации. Таблицы 1 и 2 сформированы на БД GLOBAL-TC за 2001 г.

БД GLOBAL-FIELDS содержит информацию о глобальных полях радиоярких температур (Ермаков и др., 2007), полученных с помощью микроволнового комплекса SSM-I – семиканального радиотеплового прибора, принимающего линейно поляризованное излучение на частотах 19.35, 22.235, 37.0 и 85.5 ГГц (миссия DMSP). На всех частотах, кроме 22.235 ГГц, измеряется как вертикальное, так и горизонтальное поляризованное излучение. На 22.235 – 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. БД EVA-01 представляет собой комплекс программ, который выполняет все необходимые на данный момент функции для обработки глобальных полей водяного пара и информации о ТЦ. 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 г.

Поля радиоярких температур, полученные на двух частотах – 22.235 и 37.0 ГГц – и заимствованные из базы данных GLOBAL-FIELDS, обрабатываются с помощью языка программирования IDL посредством 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  $\text{кг}/\text{м}^2$  (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

**Таблица 1.** Основные характеристики длиннопериодных тропических циклонов в Мировом океане в 2001 г.

№ п/п	Регион, номер и имя ТЦ	Дата существования ТЦ	Дата перехода в стадию ТЦ	Координаты перехода в стадию ТЦ		Максимальная стадия развития ТЦ	Продолжительность максимальной стадии, ч
				широта	долгота		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	SIN 0101 "Bindu"	02.01–14.01	07.01	–11.9	73.9	Т	132
2	SIN 0102 "Charly"	11.01–26.01	19.01	–14.2	84.4	То же	60
3	SIN 0104 "Vincent"	06.02–15.02	12.02	–14.9	112.5	TS	54
4	SWP 0105 "Paula"	24.02–05.03	26.02	–12.6	164.8	Т	84
5	SWP 0106 "Rita"	28.02–05.03	01.03	–19.7	–136.0	STS	6
6	SIN 0105 "Dera"	04.03–13.03	09.03	–20.9	40.5	Т	48
7	SIN 0107 "Walter"	02.04–08.04	03.04	–10.1	103.9	То же	72
8	SWP 0107 "Sose"	03.04–11.04	05.04	–14.0	165.8	»	12
9	SIN 0106 "Evariste"	31.03–08.04	04.04	–13.7	62.8	STS	42
10	SIN 0109 "Alistair"	15.04–23.04	16.04	–9.3	132.9	Т	6
11	NWP 0101 "Cimaron"	04.05–14.05	10.05	13.6	119.1	STS	24
12	NIN 0101 "01 A"	08.05–28.05	22.05	13.9	70.6	Т	78
13	NEP 0101 "Adolph"	04.05–05.06	26.05	13.9	–100.4	То же	96
14	NEP 0102 "Barbara"	18.06–24.06	20.06	13.2	–131.0	STS	6
15	NWP 0102 "Chebi"	18.06–24.06	20.06	13.0	133.6	Т	42
16	NWP 0104 "Durian"	29.06–04.07	30.06	16.6	115.7	То же	30
17	NWP 0103 "Utor"	22.06–08.07	02.07	10.7	137.3	»	54
18	NWP 0105 "Trami"	03.07–12.07	10.07	20.0	124.2	TS	36
19	NEP 0104 "Erick"	16.07–26.07	21.07	16.5	–120.8	То же	36
20	NEP 0105 "Dalila"	18.07–30.07	21.07	12.6	–96.1	Т	12
21	NWP 0106 "Kong-Rey"	21.07–29.07	21.07	24.6	151.3	То же	102
22	NWP 0107 "Yutu"	21.07–27.07	23.07	20.3	121.4	»	36
23	NWP 0108 "Toraji"	24.07–01.08	26.07	16.8	128.1	»	66
24	ATL 0102 "Barry"	02.08–06.08	02.08	26.3	–84.8	STS	20
25	NWP 0109 "Man-yi"	31.07–09.08	02.08	11.2	152.0	Т	114
26	NWP 0111 "Pabuk"	13.08–23.08	14.08	18.7	145.7	То же	126
27	NEP 0106 "Flossie"	25.08–03.09	26.08	20.2	–111.1	»	72
28	NWP 0112 "Sepat"	19.08–31.08	27.08	24.0	165.1	TS	36

Таблица 1. Окончание

№ п/п	Регион, номер и имя ТЦ	Дата существования ТЦ	Дата перехода в стадию ТЦ	Координаты перехода в стадию ТЦ		Максимальная стадия развития ТЦ	Продолжительность максимальной стадии, ч
				широта	долгота		
1	2	3	4	5	6	7	8
29	NWP 0113 “Wutip”	25.08–02.09	27.08	17.5	140.8	Т	108
30	ATL 0105 “Erin”	27.08–15.09	02.09	13.4	–38.5	То же	126
31	NEP 0108 “Gil”	03.09–12.09	04.09	15.7	–123.7	»	54
32	NWP 0116 “Danas”	02.09–12.09	04.09	18.5	152.8	»	138
33	NWP 0115 “Nari”	31.08–21.09	06.09	26.2	127.1	»	210
34	ATL 0106 “Felix”	06.09–23.09	11.09	18.9	–47.5	»	102
35	ATL 0107 “Gabrielle”	10.09–19.09	13.09	25.2	–85.2	»	18
36	NWP 0117 “Francisco”	15.09–25.09	19.09	14.6	161.5	»	72
37	NEP 0111 “Juliette”	19.09–04.10	21.09	13.4	–94.2	»	132
38	NEP 0110 “Kiko”	19.09–29.09	22.09	17.0	–119.8	»	6
39	Atl 0108 “Humberto”	20.09–27.09	22.09	29.0	–67.0	»	72
40	NWP 0119 “Lekima”	19.09–30.09	22.09	19.3	124.1	»	66
41	NIN 0102 “02 A”	23.09–28.09	26.09	17.9	67.0	TS	36
42	NEP 0112 “Lorena”	29.09–05.10	02.10	12.1	–103.5	STS	6
43	NWP 0120 “Krosa”	03.10–09.10	04.10	14.9	144.1	Т	84
44	ATL 0109 “Jerry”	04.10–12.10	07.10	11.1	–54.1	TS	36
45	ATL 0111 “Karen”	11.10–15.10	12.10	33.9	–66.5	Т	18
46	NWP 0121 “Haiyan”	07.10–18.10	12.10	17.2	130.5	То же	78
47	NWP 0122 “Podul”	15.10–28.10	19.10	5.7	156.3	»	144
48	NEP 0114 “Narda”	17.10–25.10	20.10	11.9	–127.0	»	24
49	SIN 0112 “Alex”	23.10–02.11	26.10	–8.2	94.4	STS	36
50	Nep 0115 “Octave”	29.10–05.11	31.10	12.8	–124.5	Т	18
51	NWP 0125 “Pabling”	16.11–24.11	21.11	6.2	112.5	TS	42
52	ATL 0115 “Olga”	24.11–06.12	26.11	31.5	–56.0	Т	48
53	SIN 0115 “Bessi”	24.11 - 06.12	27.11	–8.3	93.0	То же	36
54	NWP 0127 “Faxai”	10.12–25.12	15.12	5.0	162.0	»	108
55	SWP 0110 “Waka”	27.12–02.01	29.12	–11.9	–174.8	»	60

Примечание. Наименование регионов и номера ТЦ даны в соответствии с международной классификацией: NWP – северо-западный регион Тихого океана; NEP – северо-восточный регион Тихого океана; ATL – северный Атлантический океан; NIN – северный регион Индийского океана; SIN – южный регион Индийского океана; SWP – юго-западный регион Тихого океана. Стадии развития возмущения: Т – тайфун; STS – сильный тропический шторм; TS – тропический шторм. Широта и долгота указаны в градусах.

**Таблица 2.** Основные характеристики короткопериодных тропических циклонов в Мировом океане в 2001 г.

№ п/п	Регион, номер и имя ТЦ	Дата существования ТЦ	Дата перехода в стадию ТЦ	Координаты перехода в стадию ТЦ		Максимальная стадия развития ТЦ	Продолжительность максимальной стадии, ч
				широта	долгота		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	SIN 0103 "Terri"	27.01–01.02	30.01	–17.5	119.7	STS	12
2	SWP 0102 "No name"	15.02–18.02	17.02	–19.1	162.7	TS	24
3	SWP 0103 "Oma"	18.02–22.02	20.02	–23.0	–162.0	STS	6
4	SIN 0108 "No name"	02.04–05.04	03.04	–15.0	83.1	TS	18
5	ATL 0101 "Allison"	05.06–17.06	05.06	27.4	–94.8	STS	2
6	SIN 0110 "No name"	21.06–23.06	22.06	–25.08	39.2	TS	12
7	NEP 0103 "Cosme"	10.07–18.07	13.07	16.0	–110.5	То же	18
8	NWP 0110 "Usagi"	08.078–11.08	10.08	17.8	108.7	TS	12
9	ATL 0103 "Chantal"	12.08–22.08	16.08	12.9	–54.0	STS	72
10	NWP 0114 "Fitow"	26.08–31.08	30.08	20.7	108.7	TS	12
11	SIN 0111 "No name"	02.10–08.10	06.10	–11.2	83.3	То же	6
12	NIN 0103 "03 A"	07.10–13.10	09.10	18.6	68.4	»	6
13	ATL 0112 "Lorenzo"	26.10–31.10	30.10	28.7	–45.0	TS	18
14	ATL 0114 "Noel"	05.11–06.11	05.11	38.0	–50.0	T	6
15	NIN 0104 "04 B"	06.11–12.11	11.11	15.4	84.1	TS	12
16	NWP 0124 "Ondoy"	14.11–25.11	20.11	14.1	134.2	То же	18
17	SIN 0113 "No name"	19.11–24.11	21.11	–13.2	83.3	»	24
18	SIN 0114 "No name"	19.11–21.11	21.11	–6.9	128.9	»	12
19	SWP 0108 "Trina"	30.11–03.12	30.11	–22.2	–159.8	»	10
20	SWP 0109 "Vicky"	22.12–27.12	24.12	–12.9	–156.2	»	12

Примечание. Наименование регионов и номера ТЦ даны в соответствии с международной классификацией: NWP – северо-западный регион Тихого океана; NEP – северо-восточный регион Тихого океана; ATL – северный Атлантический океан; NIN – северный регион Индийского океана; SIN – южный регион Индийского океана; SWP – юго-западный регион Тихого океана. Стадии развития возмущения: STS – сильный тропический шторм, TS – тропический шторм. Широта и долгота указаны в градусах.

2.58 кг/м<sup>2</sup>. В результате получают глобальные поля водяного пара только над акваториями Мирового океана, 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, соответствующим моментам съемки, а является, с точки зрения пользователя, основной структурной единицей БД, генерируемой по запросу пользователя и позволяющей применение к себе дальнейших операций обработки. Выходные данные могут быть записаны в один или несколько файлов. Наиболее естественным методом является метод визуализации полученных данных — он представляется формированием серий изображений видеоклипа.

На основе полученной комплексной БД сформирован демонстрационный анимационный ролик, представленный на сайте отдела Исследование 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 ТЦ. Отметим при этом, что содержание водяного пара не представлено на материках в виду сложностей решения обратной задачи над континентами.

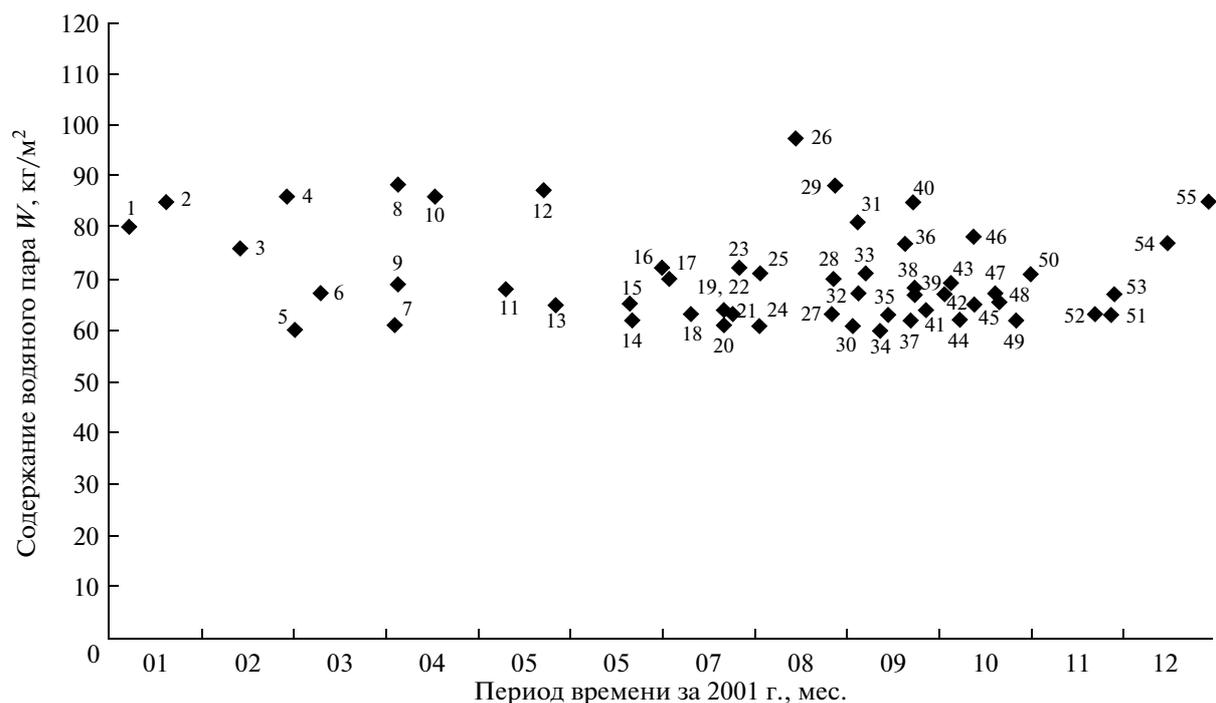
## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В качестве примера продуктов настоящей БД приведем примеры фрагмента анимации глобального поля водяного пара и тропического циклогенеза. На рис. 1 (см. на цветн. вклейках) представлено глобальное поле интегрального водяного пара на акваториях Мирового океана за 5 сентября 2001 г. Цветовая схема интенсивностей водяного пара представлена внизу рисунка, при этом максимальным значениям концентрации водяного пара соответствуют багровые области. Данные изображения получены с дискретизацией раз в сутки. В нижнем левом углу представлена текущая дата снимка в формате месяц—день—год. Синими квадратами на рисунке отображаются ТЦ в зрелой форме. 05.09.2001 наблюдалось одновременно в циклогенерирующих акваториях Мирового океана четыре тропических циклона — Dansas, Erin, Gil, Henriette — в различных стадиях своего развития (табл. 1). Стоит отметить, что все эти ТЦ (за срок 05.09.2001) находятся в зрелых формах ТЦ и попадают в багровые области содержания водяного пара, т.е. в областях водяного пара с интенсивностью выше 60 кг/м<sup>2</sup>. Содержание водяного пара не представлено атмосфере над мате-

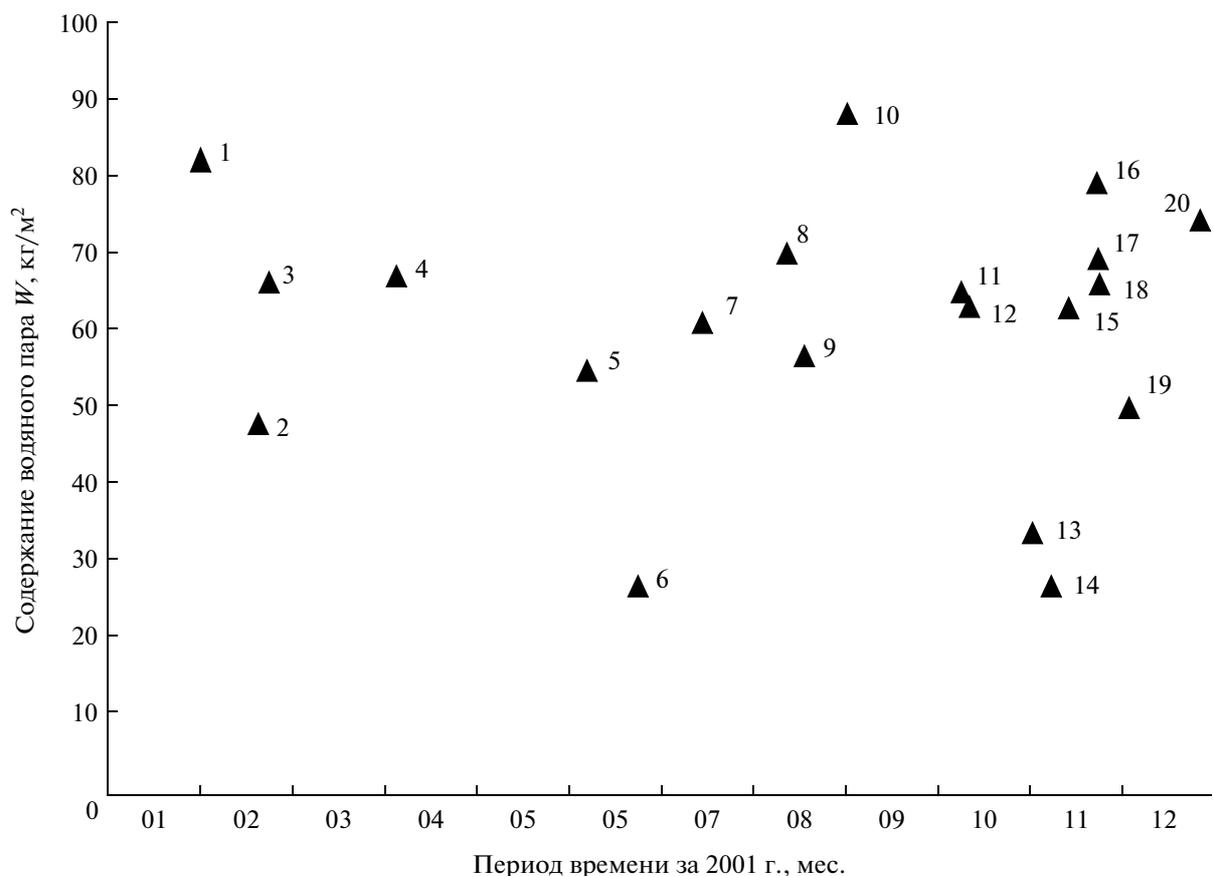
риками в виду сложностей решения обратной задачи над континентами.

Тематическая часть программного обеспечения базы данных EVA-01 обеспечила возможность проведения сложной процедуры при обработке мигрирующего поля водяного пара и стохастического процесса эволюции глобального циклогенеза — а именно, нахождение и сопоставление моментов генезиса ТЦ и величины интегрального значения поля водяного пара в этот же момент времени и в этом же географическом месте. Такой комплексный анализ ТЦ за весь период 2001 г. показал, что все ТЦ со временем жизни более 1 сут (табл. 1 и рис. 2) попадают в “багровые” области содержания водяного пара, т.е. в областях водяного пара с интенсивностью выше 60 кг/м<sup>2</sup> (рис. 1). Нетрудно видеть, что это значение содержания водяного пара является по существу своего рода критическим значением при генезисе ТЦ. При этом отметим, что трудности выполнения такого комплексного анализа заключается в том, что поле водяного пара обладает очень сильной пространственно-временной вариабельностью. Западный перенос поля водяного пара в районе тропиков может составлять 300–400 км в сутки и при этом со значительным изменением формы изолиний различной интенсивности. Именно с этим, скорее всего, связано достаточное высокое значение среднеквадратического отклонения между восстановленными из спутниковых данных и измеренными методом радиозондирования значениях поля водяного пара (Ruprecht, 1996). По этим же причинам восстановление поля водяного пара с использованием отдельных (фрагментарных) точек радиозондирования (с островных и корабельных станций) с последующим формированием поля согласно метеорологическим правилам не может дать приемлемых результатов на временных масштабах порядка одних суток в процессе циклогенеза (Покровская, Шарков, 1996). Подчеркнем, что в настоящем исследовании речь идет о временных масштабах порядка суток, необходимых для исследования эволюции в энерго-содержании поля водяного пара в процессе циклогенеза. Если исследования ведутся в масштабах месячных и сезонных усреднений (Ruprecht, 1996), то подобных проблем не возникает.

Дальнейшее исследование показало, что в этот же промежуток времени (2001 г.) существует другой массив ТЦ с малым периодом жизни (менее суток), которые не обладают ярко выраженным граничным значением интенсивности водяного пара (рис. 3), и этот вид циклонов может формироваться в очень большом диапазоне значений интенсивности водяного пара. Отметим, что при таких исследованиях поля водяного пара, а также в случае резкой интенсификации тропических систем (как, например, это произошло в случае с



**Рис. 2.** Годовое (за 2001 г.) распределение содержания интегрального водяного пара в экваториальном материнском поле в географическом месте и в момент интенсификации данного тропического возмущения и перехода его в зрелую стадию длиннопериодных ТЦ (стадия TS). Номера при ромбах соответствуют порядковому номеру ТЦ в табл. 1.



**Рис. 3.** Годовое (за 2001 г.) распределение содержания интегрального водяного пара в экваториальном материнском поле в географическом месте и в момент интенсификации данного тропического возмущения и перехода его в зрелую стадию короткопериодных ТЦ (стадия TS). Номера при треугольниках соответствуют порядковому номеру ТЦ в табл. 2.

интенсификацией ТЦ Katrina в августе 2005 г.) необходимо рассматривать эволюцию тропического возмущения во временных масштабах порядка 3–6 ч (а, возможно, и менее). Получить такие поля в настоящее время с существующей дистанционной микроволновой аппаратурой невозможно по целому ряду принципиальных причин (в первую очередь – это баллистика космического аппарата и тактико-технические характеристики антенного микроволнового комплекса). Поэтому в настоящее время разрабатываются специализированные структуры обработки изображений и соответствующие программные продукты для формирования краткосрочных (3–6 ч) радиотепловых полей на базе полученных к настоящему времени спутниковых микроволновых данных (Ермаков и др., 2011).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью усовершенствованной БД EVA-01 с элементами объектно-реляционного типа и тематической обработкой 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 период 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 ТЦ со временем жизни, превышающем сутки. При этом экспериментально показано, что в этот же промежуток времени (2001 г.) существует другой массив ТЦ с кратким периодом жизни (около и менее суток), которые не обладают ярко выраженным граничным значением интенсивности водяного пара и могут формироваться в большом диапазоне значений интенсивности водяного пара. Выявленные связи областей водяного пара повышенной концентрации и генезиса ТЦ 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 ТЦ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Голицын Г.С. Ураганы, полярные и тропические, их энергия и размеры, количественный критерий возникновения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 5. С. 579–590.
- Грей У. Генезис и интенсификация тропических циклонов // Интенсивные атмосферные вихри. М.: Мир, 1985. С. 10–31.
- Ермаков Д.М., Раев М.Д., Сулов 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.
- Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А., Шрамков Я.Н. Возможности построения краткосрочных глобальных радиотепловых изображений системы океан–атмосфера на базе программной платформы Stream Handler // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 9–16.
- Ким Г.А., Шарков Е.А., Покровская И.В. Особенности взаимодействия тропических циклонов Hondo и Ivan в поле интегрального водяного пара // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 4. С. 287–295.
- Палмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 398 с.
- Покровская И.В., Шарков Е.А. Дистанционные исследования пространственных полей влагосодержания в тропической атмосфере в процессе циклогенеза // Исслед. Земли из космоса. 1996. № 6. С. 18–27.
- Покровская И.В., Шарков Е.А. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Вер. 3.1. (1983–2005). М.: Полиграфсервис, 2006. 728 с.
- Хаин А.П., Сутырин Г.Г. Тропические циклоны и их взаимодействие с океаном. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 270 с.
- Шарков Е.А. Дистанционные исследования атмосферных катастроф // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 1. С. 52–68.
- Шарков Е.А., Покровская И.В. Генезис тропических возмущений в поле поверхностной температуры Мирового океана по данным дистанционного и контактного зондирования // Исслед. Земли из космоса. 2006. 6. С. 3–9.
- Шарков Е.А., Покровская И.В. Региональные тропические циклогенезы в поле поверхностной температуры Мирового океана // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 2. С. 54–62.
- Шарков Е.А., Ким Г.А., Покровская И.В. Множественная генерация тропического циклогенеза в Южном Индийском океане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 75–85.
- Шарков Е.А., Ким Г.А., Покровская И.В. Эволюция тропического циклона Hondo в поле экваториального водяного пара с использованием мультиспектрального подхода // Исслед. Земли из космоса. 2011. № 1. С. 22–29.
- Шарков Е.А., Ким Г.А., Покровская И.В. Энергетические особенности множественного тропического циклогенеза по мультиспектральным спутниковым наблюдениям // Исслед. Земли из космоса. 2011. № 2. С. 18–25.
- 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.

*Gray W.M.* Hurricanes: their formation, structure and likely role in the tropical circulation // *Meteorology over the tropical oceans* / Ed. Shaw D.B. BMS, Berkshire: James Glaisher House, 1979. P. 155–218.

*Ruprecht E.* Atmospheric water vapour and cloud water: an overview // *Adv. Space Res.* 1996. V. 18. № 7. P. 5–16.

*Sharkov E.A.* Remote sensing of tropical regions. Chichester, N.Y. etc.: John Wiley and Sons/PRAXIS, 1998. 310 p.

*Sharkov E.A.* Global Tropical Cyclogenesis. Berlin, Heidelberg, L., N.Y. etc.: Springer/PRAXIS, 2000. 361 p.

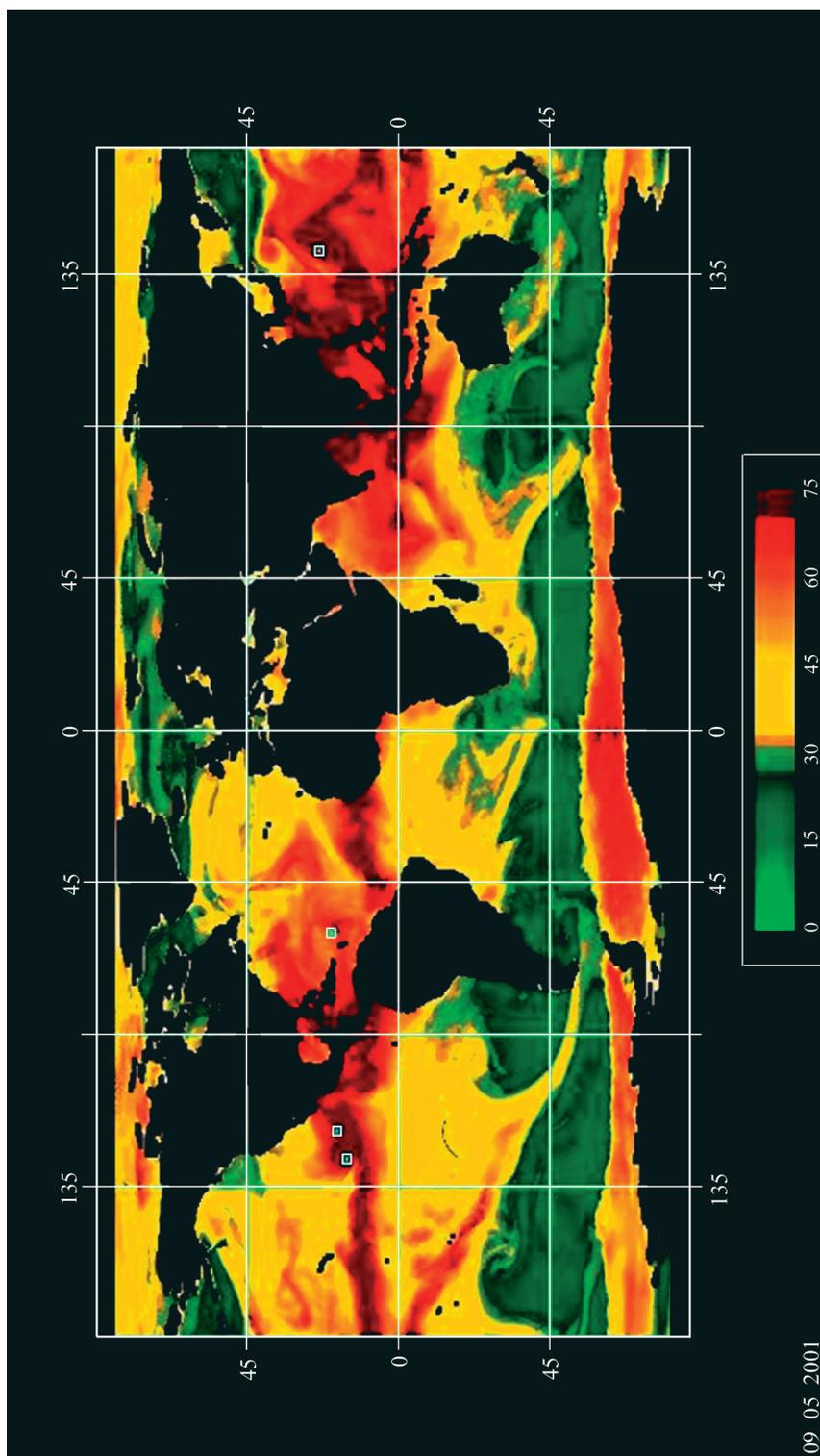
## **The Integral Water Vapor in Nropical Zone as the Necessary Condition for Atmospheric Catastrophes Genesis**

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

*Institute of Space Research Russian Academy of Sciences, Moscow*

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 basEVA-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



**Рис. 1.** Глобальное поле водяного пара в акваториях Мирового океана за 5 сентября 2001 г. Центры облачных структур четырех тропических циклонов, функционировавших в развитых формах за 5 сентября 2001 г., обозначены белыми квадратиками.