

Детализация фаз развития ТЦ Katrina по интерполированным глобальным полям водяного пара

Д.М. Ермаков ^{1,2}, А.П. Чернушич ¹, Е.А. Шарков ²

¹Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники РАН

141190 Фрязино, пл. Введенского, 1

E-mails: dima@ire.rssi.ru; andrey@ire216.msk.su

²Институт космических исследований РАН

117997 Москва, Профсоюзная, 84/32

E-mail: e.sharkov@mail.ru

На основе предложенного авторами метода пространственно-временной интерполяции спутниковых данных построены карты эволюции поля водяного пара над акваторией Атлантического океана, захваченной процессом формирования, развития и ухода в высокие широты ТЦ Katrina. Карты детализируют состояние исследованной области атмосферы с шагом по времени 6 часов и менее в расчетном интервале с 23 августа по 04 сентября 2005 г. Расчеты по методу пространственно-временной интерполяции приведены в сопоставлении с регистрационными записями БД GLOBAL-TC, содержащими информацию о траектории и фазах развития ТЦ Katrina по данным независимых наблюдений.

Ключевые слова: ТЦ Katrina, поле водяного пара, пространственно-временная интерполяция.

Введение

При анализе состояния и эволюции системы океан-атмосфера по данным спутникового мониторинга возникают известные трудности, связанные с пропусками информации в результате расхождения спутниковых трасс и низкой частотой обзора заданной области по сравнению с требованиями ряда задач дистанционного зондирования Земли. Такая «фрагментарность» спутниковых данных мешает исследовать разномасштабные атмосферные структуры в динамике и, в частности, наблюдать и прогнозировать их эволюцию. Предпринимают многочисленные попытки восполнить пропуски спутниковой информации. Эти попытки основываются на методике комбинирования данных нескольких однотипных приборов, интерполяции и/или усвоении спутниковых данных в различных моделях системы океан-атмосфера (Ермаков и др., 2012). Авторами ранее предложен свой метод пространственно-временной интерполяции спутниковых данных (Ермаков и др., 2011), основанный на подходе «оценки и компенсации движения», известном из задач технического зрения и обработки видео-поток (MPEG компрессия). Метод позволяет, в приближении простых кинематических уравнений, оценить глобальное, непрерывное в пространстве и времени поле скоростей, характеризующее наблюдаемый процесс, и восстановить состояния изучаемой системы в промежуточные моменты времени и в областях пропуска данных (лакунах). Изначально метод был применен для исследования динамики глобального распределения водяного пара в атмосфере в течение длительных интервалов времени (Ермаков et al., 2011; Ермаков и др., 2011). Однако в настоящей работе внимание сосредоточено на ограниченной выборке спутниковых данных, охватывающих акваторию Мексиканского залива и прилегающую область Центральной Атлантики в интервале времени с 23 августа по 04 сентября 2005 г. Цель работы – исследование возможностей предложенного авторами метода пространственно-временной интерполяции для детализированного анализа процессов зарождения, развития, интенсификации и ослабления тропического циклона на примере ТЦ Katrina, обрушившегося на Новый Орлеан и восточное побережье США 29 августа 2005 г.

Данные

Данные спутникового мониторинга, использованные в работе, были получены из базы данных GLOBAL-FIELDS (ИКИ РАН), содержащей информацию о глобальных полях радиояркостных температур (Ермаков и др., 2007), полученных с помощью микроволнового семиканального радиометра SSM/I, принимающего линейно поляризованное излучение на частотах 19.35, 22.235, 37.0 и 85.5 ГГц. По радиотепловым полям вертикально поляризованного излучения на частотах 22.235 и 37.0 ГГц были рассчитаны суточные (шаг по времени – 24 часа) поля интегрального содержания водяного пара (далее «паросодержания») атмосферы над акваторией Мексиканского залива и прилегающей областью Центральной Атлантики в интервале наблюдения с 23.08.2005 по 04.09.2005. К построенным полям был применен метод пространственно-временной интерполяции, в результате получили карты паросодержания без пространственных лагун, с компенсацией сдвиговых искажений, связанных с объединением измерений нескольких спутников, и с шагом по времени 3–6 часов, согласованным с временным разрешением в записях базы данных GLOBAL-TC.

База данных GLOBAL-TC, разработанная и постоянно поддерживаемая в ИКИ РАН (Покровская, Шарков, 2006), содержит в унифицированном виде информацию о глобальном тропическом циклогенезе, систематизированную по отдельным регионам, в каждом из которых проведены пространственная и временная привязки, проверены правильность и полнота поступающих сообщений о тропических возмущениях и тропических циклонах, выполнена доработка исходных данных. Содержащаяся в БД GLOBAL-TC информация позволяет описать процесс формирования и эволюции каждого ТЦ в виде временного ряда характеризующих его геофизических параметров и дать единообразную универсальную классификацию всех стадий эволюции ТЦ, как на этапе его зарождения, так и после перехода в развитую форму.

В настоящей работе информация БД GLOBAL-TC использовалась для уточнения географического положения глаза ТЦ Katrina (независимая информация о треке циклона) и для сопоставления стадий развития ТЦ Katrina по БД GLOBAL-TC с оценками, полученными на основе анализа интерполированных полей паросодержания атмосферы, построенных по данным БД GLOBAL-FIELDS. ТЦ Katrina зародился 23 августа 2005 г. в районе Багамских островов в форме размытой облачной системы с отдельными плотными кластерами. В течение нескольких суток возмущение быстро усиливалось, смещаясь на запад, и достигло стадии урагана (давление в центре 985 мб, максимальная скорость ветра 33 м/с), выйдя 25 августа к побережью Флориды. Пройдя над Флоридой и оказавшись в акватории Мексиканского залива, ураган испытал вторичное усиление в течение 27-28 августа и достиг максимальной стадии развития (давление 902 мб, скорость ветра 76-78 м/с). Он резко поменял направление смещения с запад-северо-западного на северное и 29 августа обрушился на побережье США (г. Новый Орлеан). Пройдя над его территорией и продолжая смещаться на север, ураган разрушился над полуостровом Лабрадор в сентябре 2005 г.

Совместная обработка данных

Пространственно-временная интерполяция суточных композитных полей паросодержания атмосферы позволила существенно детализировать картину эволюции системы океан-атмосфера в исследованной акватории Атлантики за счет моделирования ее внутрисуточной динамики с заполнением пространственных лагун и наилучшим (в рамках примененного метода) согласованием по времени дистанционных данных, полученных с разных спутников. На всех интерполированных полях были выделены структуры повышенного паросодержания (резкие локальные максимумы), соответствовавшие областям, вовлеченным во взаимодействие с ТЦ Katrina. Положения этих областей сопоставлялись с зарегистрированными в соответствующие моменты положениями центра ТЦ Katrina путем наложения на интерполированные поля трека ТЦ по БД GLOBAL-TC.

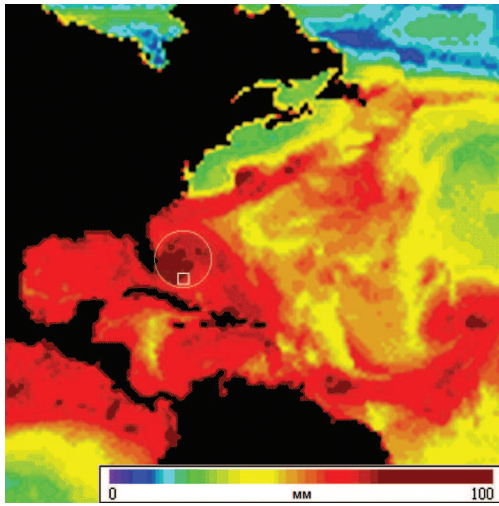
Для количественной оценки «энергетического ресурса» выявленных областей повышенного паросодержания была применена следующая методика. Для каждой записи БД GLOBAL-TC брали интерполированное поле содержания водяного пара, привязанное к тому же моменту времени. В ближайшей окрестности зарегистрированного по БД GLOBAL-TC центра ТЦ Katrina выделяли круговую область радиусом 3.5° пиковых значений интерполированного поля и пересчитывали интегральное содержание водяного пара в этой области в количество скрытого тепла Q , т.е. в запасенную энергию, способную перейти в энергию урагана. В результате получили временной ряд Q , характеризующий эволюцию ТЦ Katrina по интерполированным полям водяного пара (убыванием и возрастанием величины Q), который сопоставили с описанием развития ТЦ Katrina в геофизических терминах по информации БД GLOBAL-TC.

Обсуждение результатов

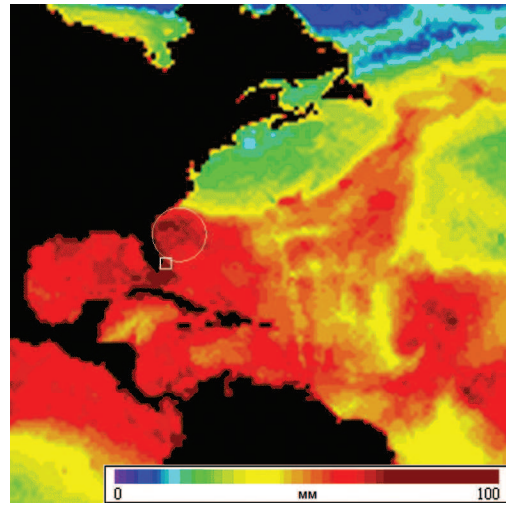
На рис. 1 представлено несколько интерполированных полей паросодержания атмосферы, построенных на основе данных БД GLOBAL-FIELDS, к которым был применен предложенный авторами метод пространственно-временной интерполяции. Для иллюстрации отобраны лишь некоторые характерные моменты времени: *a)* тропическое возмущение в начальной стадии развития; *b)* выход урагана к побережью Флориды; *c)* пересечение Флориды с одновременным ослаблением; *d)* выход в Мексиканский залив; *e)* дрейф в западном направлении; *f)* смена направления смещения урагана на северное одновременно с его максимальным усилением. Поля водяного пара охватывают область между 60° с. ш. и 5° ю. ш., 100° з. д. и 35° з. д., цветовая шкала значений паросодержания в мм ($\text{кг}/\text{м}^2$) приведена в нижней части рисунков. Текущее положение центра ТЦ обозначено маленьким белым квадратом. Автоматически найденные границы области интегрирования поля паросодержания (для расчета величины Q) показаны тонкими белыми окружностями. Как видно из рисунков, примененный алгоритм расчета Q может давать заметные ошибки при автоматической локализации области интегрирования. Это происходит потому, что примененная методика расчета паросодержания (Ruprecht, 1996) позволяла надежно восстанавливать его значения только над поверхностью воды, значения над сушей полагались равными нулю для того, чтобы области интегрирования «вытеснялись» от суши к воде. Тем не менее, указанная проблема требует более тонкого подхода только в отдельных случаях, когда циклон оказывается над сушей (см. рис. 1*b*, 1*c*). В большинстве исследованных случаев эта проблема не возникает, и временной ход Q качественно верно рассчитывается с помощью описанного простого алгоритма.

Результаты расчетов величины Q скрытого тепла в указанных областях локальных максимумов приведены на графике рис. 2. Оценки, относящиеся к перечисленным выше моментам времени, помечены на графике соответствующими латинскими буквами. Как видно, нескольким моментам времени соответствуют локальные минимумы и максимумы Q . Отметим, что оценки Q после 29.08.2005 не следует рассматривать с точки зрения «баланса энергии» между ТЦ Katrina и скрытым теплом атмосферы. Дальнейшее убывание величины Q , как указано выше, отчасти происходит вследствие ухода урагана на побережье.

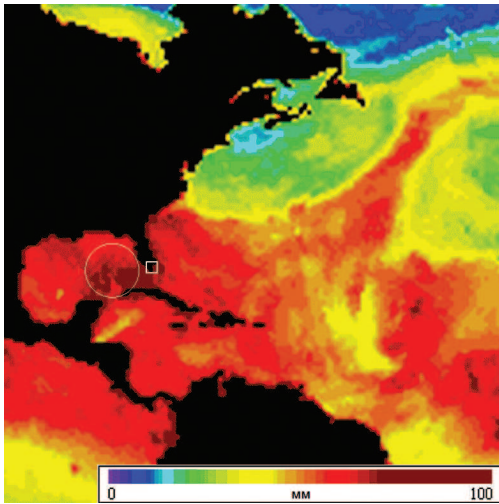
В таблице 1 частично воспроизведены записи из БД GLOBAL-TC по ТЦ Katrina (к номеру записи в первой колонке таблицы добавлена соответствующая латинская буква, если запись относится к одному из рассмотренных выше моментов времени). Приведены минимальное давление, максимальная скорость ветра и стадии развития ТЦ по классификации (Покровская, Шарков, 2006): TL – первичное тропическое возмущение (замкнутая область низкого приземного давления тропической зоны); TD – тропическая депрессия; TS – тропический шторм; STS – сильный тропический шторм; T – тайфун (ураган), L – область низкого приземного давления умеренных широт. Для удобства сопоставления таблица дополнена колонкой значений Q (см. рис. 2).



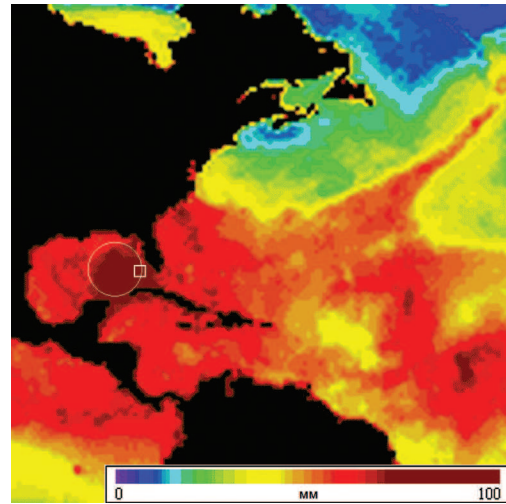
a)



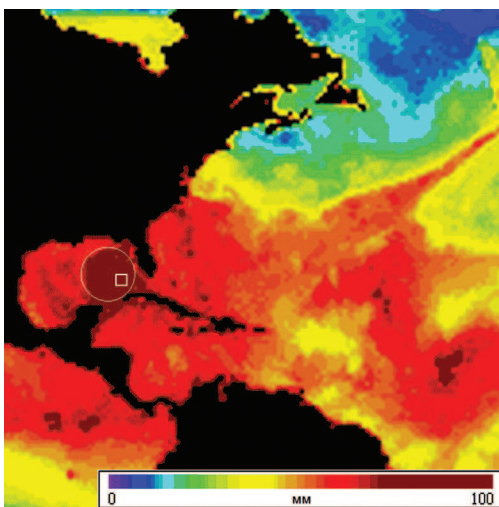
b)



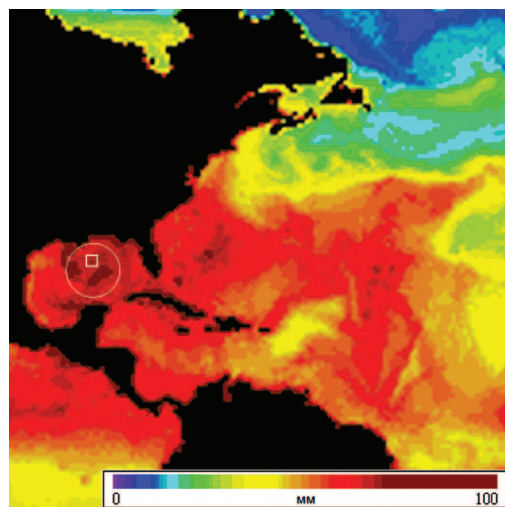
c)



d)



e)



f)

Рис. 1. Интерполированные поля паросодержания атмосферы (см. пояснения в тексте): а) 24.08.2005 в 9:00 UT; б) 25.08.2005 в 15:00 UT; в) 26.08.2005 в 3:00 UT; д) 26.08.2005 в 21:00 UT; е) 27.08.2005 в 9:00 UT; ж) 28.08.2005 в 21:00 UT

Таблица 1. Эволюция ТЦ Katrina по БД GLOBAL-ТС (фрагмент)

№	Стадия развития	Дата	Время, UT	Давление, мбар	Ветер, м/с	Q, 10 ¹⁸ Дж
1	TL	23.08.2005	09:00	1008	5	59.7
2	TL	23.08.2005	15:00	1009	11	60.0
3	TD	23.08.2005	21:00	1007	15	61.1
4	TD	24.08.2005	03:00	1007	15	62.3
5 (a)	TD	24.08.2005	09:00	1006	15	62.9
6	TS	24.08.2005	15:00	1006	18	62.3
7	TS	24.08.2005	21:00	1002	21	61.7
8	TS	25.08.2005	03:00	1001	23	61.8
9	TS	25.08.2005	09:00	1000	23	61.4
10 (b)	STS	25.08.2005	15:00	997	26	60.6
11	T	25.08.2005	21:00	985	33	61.1
12 (c)	T	26.08.2005	03:00	984	33	62.5
13	T	26.08.2005	09:00	987	33	63.7
14	T	26.08.2005	15:00	981	33	64.8
15	T	26.08.2005	16:00	971	44	-
16 (d)	T	26.08.2005	21:00	965	44	65.9
17	T	27.08.2005	03:00	965	46	67.4
18 (e)	T	27.08.2005	09:00	945	51	68.0
19	T	27.08.2005	15:00	940	51	67.3
20	T	27.08.2005	21:00	945	51	66.2
21	T	28.08.2005	03:00	939	51	66.4
22	T	28.08.2005	06:00	935	65	66.5
23	T	28.08.2005	09:00	935	65	65.6
24	T	28.08.2005	12:00	908	73	64.7
25	T	28.08.2005	15:00	907	78	63.9
26 (f)	T	28.08.2005	21:00	902	76	62.3
27	T	29.08.2005	03:00	904	73	61.4
28	T	29.08.2005	09:00	915	69	60.6

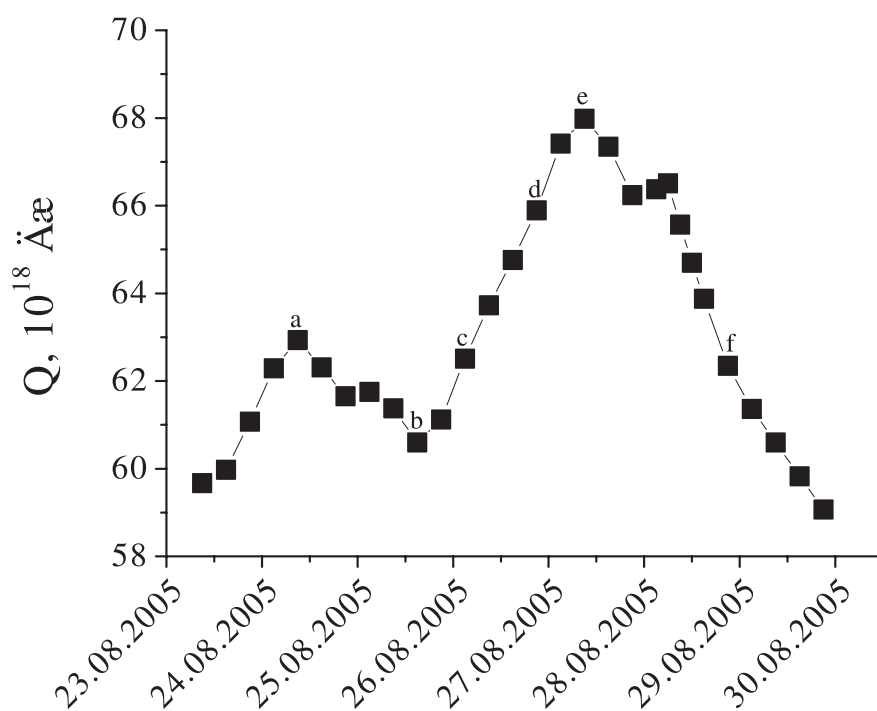


Рис. 2. Расчет временного хода Q (см. пояснения в тексте) по интерполированным полям водяного пара, единицы измерения – 10¹⁸ Дж; латинскими буквами помечены значения, полученные по полям на рис. 1

Интересно отметить следующую особенность величины Q , проявившуюся на обоих этапах усиления ТЦ Katrina (23–25 августа, до выхода к побережью Флориды и 26–28 августа, в Мексиканском заливе). В начале усиления ТЦ величина Q резко возрастает («стягивание» водяного пара к центру возмущения), а затем, достигнув максимума, так же резко падает («вбрасывание» скрытого тепла в энергию урагана). При этом, значения концентрации водяного пара вблизи развивающегося и действующего ТЦ существенно (до 1.5 раз) превосходят «фоновые» значения для той же акватории в этот момент времени (см. рис. 1).

Заключение

Предложенный авторами метод пространственно-временной интерполяции спутниковых данных успешно применен для решения «локальной» задачи детализации фаз развития ТЦ Katrina. Удалось в основных чертах восстановить динамику поля паросодержания атмосферы над акваторией Мексиканского залива и прилегающими областями Центральной Атлантики. Процесс эволюции ТЦ Katrina, в дополнение к имеющимся геофизическим параметрам, был охарактеризован величиной Q , показывающей величину скрытого тепла, способного перейти в энергию урагана. Следует отметить, что наблюдавшееся поэтапное, «колебательное» усиление ТЦ Katrina не является уникальным случаем, а зарегистрировано также и для ряда других тропических циклонов. В этой связи центральный интерес представляет пространственная детализация наблюдаемых полей водяного пара, для чего, в частности, следует рассмотреть возможность применения метода пространственно-временной интерполяции к спутниковым данным до наложения их на регулярную сетку 0.5° , приводящего к потере разрешающей способности прибора.

Литература

1. *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 // Иссл. Земли из космоса. 2007. № 1. С.7-13.
2. *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.
3. *Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А., Покровская И.В.* Поиск источника энергии при интенсификации ТЦ Katrina по данным микроволнового спутникового зондирования // Иссл. Земли из космоса. 2012. № 3. (в печати)
4. *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.
5. *Ermakov D., Chernushich A., Sharkov E., Shramkov Ya.* Stream handler system: an experience of application to investigation of global tropical cyclogenesis // Proceedings of 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Sydney. 2011. Electronic edition: <http://www.isprs.org/proceedings/2011/ISRSE-34/211104015Final00456.pdf>.
6. *Ruprecht E.* Atmospheric water vapour and cloud water: an overview // Adv. Space Res. 1996. Vol. 18. N7. P.5-16.

Detailing the developmental phases of TC Katrina on interpolated global fields of water vapor

D.M. Ermakov ^{1,2}, A.P. Chernushich ¹, E.A. Sharkov ²

¹*Fryazino dept. of Institute of radioengineering and electronics of RAS*

141190 Fryazino, 1 Vvedenskogo sq.

E-mails: dima@ire.rssi.ru; andrey@ire216.msk.su

²*Space Research Institute of RAS*

117997 Moscow, 84/32 Profsouznaya str.

E-mail: e.sharkov@mail.ru

Based on the method of spatiotemporal interpolation of satellite data proposed by authors created are the maps of evolution of water vapor field over the region of the Atlantic Ocean involved into the process of TC Katrina's formation, development and leaving to the high latitudes. The maps detail the state of the region under investigation with the temporal resolution of 6 hours and finer within the interval of calculation from August, 23 through September, 04 year 2005. The estimates by the method of spatiotemporal interpolation are given in comparison with the records of DB "Global-TC", which contain information on the trajectory and development phases of TC Katrina from independent observations.

Keywords: TC Katrina, water vapor field, spatiotemporal interpolation.