

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ОБНАРУЖЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ
В ПЕРЕМЕЖАЕМЫХ РЕЖИМАХ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЦ ALBERTO
ПРИ ЕГО ЭВОЛЮЦИИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО
МИКРОВОЛНОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

© 2013 г. Д. М. Ермаков^{1, 2*}, Е. А. Шарков^{2**}, И. В. Покровская², А. П. Чернушич¹

¹ Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязинский филиал, Фрязино Московской обл.

² Институт космических исследований РАН, Москва

*E-mail: dima@ire.rssi.ru

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

Поступила в редакцию 22.01.2013 г.

На основе программно-алгоритмического комплекса построения глобальных радиотепловых полей системы океан–атмосфера высокой пространственно-временной детальности по микроволновым спутниковым измерениям, разработанного ранее авторами и позволяющего получать глобальные анимированные радиотепловые поля с шагом по времени 1.5 ч и пространственным разрешением 0.2°, детально проанализированы траекторные особенности и эволюция интенсивности тропического циклона (ТЦ) Alberto в поле интегрального водяного пара. Основное внимание уделено проблеме выявления энергетических источников при последовательной трехкратной его интенсификации. На основе анализа спутниковых данных по авторской анимационной методике впервые показано, что такими источниками являются зоны водяного пара повышенного интегрального содержания (выше критического уровня), расположенные в различных географических областях, через которые прошла сложная траектория движения меняющего свою интенсивность ТЦ. Первая область находилась в экваториальной внутритропической зоне конвергенции, вторая – над акваторией течения Гольфстрима, и третья – в зоне действия Азорского максимума.

Ключевые слова: спутниковое микроволновое зондирование, интегральное паросодержание атмосферы, тропический циклогенез, интенсификация тропического циклона

DOI: 10.7868/S0205961413040039

ВВЕДЕНИЕ

Дистанционное изучение первичных форм тропических циклонов (ТЦ) и окружающей их геофизической среды занимает особое место в программах дистанционного мониторинга атмосферных катастроф (Шарков, 2010; Sharkov, 1998, 2012). В первую очередь надо отметить задачи прогнозирования резкой интенсификации первичных форм ТЦ, что само по себе сложно как в научном понимании проблемы, так и в административно-хозяйственном смысле. Достаточно планомерное (в течение нескольких десятилетий) изучение ТЦ в оптическом и ИК-диапазонах в глобальном и региональных масштабах с геостационарных ИСЗ с хорошим временным разрешением (от получаса до двух минут) позволили получить представление о временной эволюции ТЦ и окружающих его облачных масс. Однако они не дают информацию о внутренней структуре тропического циклона и водяном паре (скрытом тепле), содержащемся в окружающей его тропосфере

и непосредственно в атмосфере ТЦ. Общая энергетическая картина эволюции ТЦ как внутри тела циклона, так и в окружающих его областях остается неизвестной. И прежде всего остаются неизвестными источники энергии, приводящие к чрезвычайно быстрой (и достаточно неожиданной для наблюдателей) интенсификации первичной формы ТЦ, как это произошло, например, в случае печально знаменитого ТЦ Katrina. Решить эти задачи только при помощи ИК- и оптических методов не представляется возможным в принципе в силу особенностей взаимодействия электромагнитных волн ИК- и оптического диапазонов с газовой и дисперсной средами земной тропосферы (см., например, (Sharkov, 2003)).

Принципиально новым шагом в изучении дистанционных критериев генезиса ТЦ следует считать результаты комплексных многочастотных оптических, ИК и микроволновых спутниковых исследований эволюции оптического образа ТЦ в поле интегрального водяного пара, при анализе

которых обнаружен фундаментальный вклад малоинерционного, с одной стороны, и, с другой стороны, мощного источника энергии, за счет которого происходит формирование зрелых форм тайфунов. Этим источником оказалось поле интенсивно мигрирующего интегрального водяного пара тропической зоны земной атмосферы. Горизонтальный перенос водяного пара осуществляется потоками глобальной циркуляции в западном направлении (в районе экватора), а джетовыми компонентами этого потока осуществляется поддержка функционирования зрелых форм ТЦ (Шарков, 2010; Шарков и др., 2008, 2011а, 2011б, 2011в; Ким и др., 2009). Полученный результат для проблемы генезиса ТЦ и формирования зрелых форм ТЦ, разумеется, имеет принципиальное значение.

Для полновесного экспериментального доказательства этого положения необходимо исследование эволюции множественного тропического циклогенеза в поле интенсивно мигрирующего интегрального водяного пара тропической зоны и зоны умеренных широт 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, 2012); второй — как пространственное глобальное поле интегрального водяного пара со значительной пространственно-временной вариабельностью. Анализ двух указанных процессов должен быть произведен на минимальном временном интервале (в данном случае, на суточном временном пикселе) и только в режиме анимационного видеоряда. Более того, в работах (Шарков и др., 2011, 2012) экспериментально показано, что существует критическое значение интегрального водяного пара (необходимое условие), при котором формируется зрелая форма тропического циклона с временем жизни, превышающем сутки.

В работе (Ермаков и др., 2011) авторами предложена методика построения анимированных карт поля интегрального паросодержания атмосферы (далее поля W). Развитие этой методики лежит в русле принятого авторами ранее анимационного подхода (Ермаков и др., 2007) к анализу спутниковых дистанционных данных. Подобный анимационный подход находит все более широкое применение при исследовании быстро развивающихся процессов в атмосфере (Wimmers, Velden, 2007, 2011). Суть его заключается в применении различных интерполяционных моделей для построения по спутниковым данным карт

восстанавливаемых атмосферных параметров высокой дискретизации по пространству и времени.

Принципиальным отличием предложенной авторами методики от известных, цитированных выше, аналогов является замкнутость алгоритма относительно входных данных спутниковых измерений. В предложенной авторами методике для расчета эволюции поля W на коротких интервалах времени (порядка 1.5–3 ч) применена известная модель оценки и компенсации движения (Richardson, 2003), позволяющая избежать привлечения дополнительных спутниковых данных и модельных расчетов. Методика была успешно опробована на практике при анализе данных SSM/I формата GRID (данные на регулярной градусной сетке с шагом 0.5°), полученных за период наблюдений 23 августа–03 сентября 2005 г. (ТЦ Katrina) со спутников F13, F14, F15 серии DMSP. На основе разработанного программно-алгоритмического подхода была решена важная задача о нахождении “мгновенного” источника скрытой энергии при интенсификации ТЦ Katrina (2005) по данным микроволнового спутникового зондирования комплекса SSM/I миссии DMSP (NASA) (Ермаков и др., 2012а, 2012б). Аналогичный эффект образования высокоэнергетического купола в поле водяного пара в момент интенсификации ТЦ был обнаружен ранее (Шарков и др., 2011в) при анализе эволюции ТЦ Francisco (2001). Из анализа этой серии работ следует, что повышение пространственного разрешения опорных ежесуточных карт и уменьшение временной дискретизации при построении глобального поля водяного пара являются принципиальными моментами для выполнения комплексного анализа эволюции мигрирующих полей W и траекторной стохастики ТЦ на качественно более высоком уровне.

Одной из ключевых задач при использовании и дальнейшем развитии авторской методики является удовлетворение требования к качеству опорных (ежесуточных) карт W : при их построении необходимо минимизировать (в идеале — устранить) как области, не покрытые измерениями, так и артефакты, связанные с асинхронностью измерений приборами, размещенными на разных спутниках. В результате проведенных исследований (Ермаков и др., 2013) авторами создан алгоритм, позволяющий строить по две опорные карты полей W на каждые сутки измерений с пространственным разрешением 0.2° при полном покрытии поверхности Земли, с привлечением исключительно данных SSM/I нескольких спутников серии DMSP. Алгоритм отработан и проиллюстрирован на примере обработки периода измерений SSM/I за 28.07–26.08 2000 г. (ТЦ Alberto). Полученные опорные карты после дальнейшей временной интерполяции по авторской методике (Ермаков и др., 2011, 2012а, 2012б) позволили создать анимированную

карту поля W глобального покрытия с дискретизацией 0.2° и шагом по времени 1.5 ч, что сопоставимо с параметрами анимационных продуктов, развитых в алгоритмах локальной (Wimmers, Velden, 2007) и региональной (Wimmers, Velden, 2011) интерполяции.

Цель настоящей работы – изучение “быстрых” вариаций поля интегрального водяного пара как единственного энергоемкого источника в земной атмосфере. Наибольший интерес представляют атмосферные катастрофы со сложным характером эволюции, включающей периоды интенсификации и диссипации. Практически эволюция каждого ТЦ содержит указанные черты, но наиболее эффективно они выявились у ТЦ Alberto (2000) с длительным временем жизни (Покровская, Шарков, 2006, 2011; Шарков, 2010). Для исследования поля атмосферного водяного пара в моменты промежуточной интенсификации ТЦ Alberto использован ранее созданный авторами и описанный выше анимационный продукт (анимированная карта W в интервале 28.07–26.08.2000 г. с временной дискретностью 1.5 ч и пространственным разрешением 0.2°). Основная задача настоящего исследования заключается в экспериментальном доказательстве необходимого присутствия полей высокого паросодержания при интенсификации кинематического тела ТЦ как в тропической зоне, так в зоне умеренных широт.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Исследование проведено на основе информации двух баз данных (БД): БД GLOBAL-TC и GLOBAL-RT-FIELDS (ИКИ РАН). 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). Каждый вновь образующийся тропический циклон или тропическое возмущение, в дальнейшем не перешедшее в развитую форму ТЦ, составляет в базе данных отдельный файл информации.

База данных GLOBAL-RT-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; 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 не-

обходимы данные о радиоярких температурах на двух каналах 22.235 и 37.0 ГГц. По ним, в соответствии с формулой, приведенной в (Ruprecht, 1996), рассчитывается интегральное паросодержание атмосферы

$$W = 131.95 - 39.50 \ln(280 - T^{22V}) + 12.49 \ln(280 - T^{37V}), \quad (1)$$

где W – значение интегрального водяного пара в $\text{кг}/\text{м}^2$ (или в мм) в пространственном пикселе прибора SSM/I; T^{22V} и T^{37V} – значения радиоярких температур в градусах Кельвина по каналам 22.235 и 37.0 ГГц (вертикальная поляризация) в пикселе SSM/I.

В основу обработки информации указанных БД положен последовательно развиваемый авторами (Ермаков и др., 2007, 2011; Шарков и др., 2011б, 2011в) анимационный подход, при котором глобальные дистанционные данные трактуются как протяженные ряды регулярных пространственно-временных наблюдений. Наиболее интересные результаты такого подхода следует ожидать при совместном анализе независимой разнотипной информации из нескольких источников (БД). Стадии обработки и конечные результаты наиболее естественно представлять в виде серий композитных изображений (кадров) или видеоклипов.

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ

В работе использованы данные измерений SSM/I в формате SWATH, структурной единицей хранения которых в БД является полоса – совокупность измерений, полученных на пролете спутником половины орбиты (восходящем или нисходящем витке). Внутреннее представление данных в файлах соответствует стандарту HDF, для работы с которым можно использовать разнотипное программное обеспечение сторонних разработчиков, а также создавать собственные специализированные приложения, см., например (Ермаков и др., 2007). Так, в настоящей работе при организации потоковой обработки архивных данных SSM/I была использована консольная утилита hdp разработчиков HDFGroup (www.hdfgroup.org), которая позволяет избирательно экспортировать данные из файлов hdf в файлы других форматов.

На начальном этапе обработки из БД GLOBAL-RT-FIELDS извлекались поля радиоярких температур в каналах T^{22V} (22 ГГц, вертикальная поляризация) и T^{37V} (37 ГГц, вертикальная поляризация) и восстанавливались поля интегрального паросодержания атмосферы (далее – поля W) по формуле (1). Поскольку для заданного интервала наблюдений (август 2000 г.) были доступны дан-

ные измерений SSM/I с нескольких спутников серии DMSP, все они (в различной степени) были привлечены к дальнейшему анализу.

Пространственно-временная интерполяция спутниковых данных

Для детального анализа эволюции полей W в период существования ТЦ Alberto (август 2000 г.) к данным SSM/I была применена интерполяционная методика, подробно описанная в (Ермаков и др., 2013), позволившая построить глобальную анимированную карту W с шагом по времени 1.5 ч и пространственным разрешением 0.2° в интервале 28 июля–26 августа 2000 г. Интерполяция данных осуществлялась в два этапа. На первом этапе были построены опорные карты полей W , по две карты на каждые сутки. На втором этапе была выполнена их временная интерполяция и получен анимационный продукт с указанными выше характеристиками.

При построении опорных карт W применялись в первую очередь данные спутников F14 и F15 серии DMSP, так как было установлено, что для выбранного интервала наблюдений они наилучшим образом согласованы по времени – на композитных картах W , построенных при объединении этих данных, практически отсутствуют эффекты, связанные с асинхронностью измерений с разных спутников (Ермаков и др., 2013). Данные со спутника F13 привлекались эпизодически, при обнаружении существенных пропусков информации в данных со спутников F14 и F15.

Карты суточного покрытия формировались независимо для восходящих и нисходящих витков спутниковых орбит (с целью минимизировать влияние асинхронности измерений), что обеспечивало получение двух опорных карт в сутки (с шагом по времени около 12 ч). При этом в качестве начала суточных интервалов во всех случаях выбирали момент времени, соответствующий пролету спутников над Африкой и западной частью Евразии. Поскольку формально оцененные над континентами значения W не имели физического смысла и исключались из дальнейшего анализа, такой выбор “начала суток” позволил игнорировать проблему асинхронности измерений, возникающую на суточных картах в области соприкосновения первой (наиболее ранней) и последней (полученной примерно на 24 часа позднее) скановых полос.

Отобранные из БД GLOBAL-RT-FIELDS данные SSM/I группировали по суточным интервалам с учетом отмеченных выше соображений и интерполировали на регулярную градусную сетку с шагом 0.2° . Однако объем имеющихся измерений SSM/I, как правило, недостаточен, чтобы обеспечить полное покрытие поверхности Земли,

особенно при использовании только данных восходящих или нисходящих витков. Наиболее остро эта проблема возникает в экваториальной области вследствие расхождения спутниковых трасс. Хотя не покрытые измерениями области поверхности составляют малую долю от общей площади, они вносят в опорные карты W особенности (разрывы с резкими границами), которые препятствуют эффективному применению временной интерполяции (Ермаков и др., 2011, 2012б) и, как следствие, детальному анализу эволюции ТЦ в поле тропосферного водяного пара. В настоящей работе для обеспечения дальнейшей эффективной временной интерполяции авторы применили к опорным картам оригинальную методику сшивки лакун (Ермаков и др., 2013). Ее смысл заключается в гладком доопределении поля W в областях лакун с целью устранения резких границ и разрывов на опорных картах, вносящих возмущающие эффекты в дальнейшие расчеты по методике временной интерполяции. Подчеркнем, что основной целью процедуры сшивки лакун является обеспечение максимально полного использования имеющихся спутниковых данных, а не попытка оценки (прогнозирования) поля W в областях лакун с некоторой известной точностью.

В совокупности описанные выше методики интерполяции позволили построить по две опорные карты W с пространственным разрешением 0.2° за каждые сутки наблюдений при полном покрытии поверхности Земли. К ним была применена ранее предложенная методика временной интерполяции (Ермаков и др., 2011, 2012а, 2011б), позволившая построить глобальную анимированную карту W с указанным разрешением и шагом по времени 1.5 ч. Таким образом, была обеспечена возможность получить для каждого события в интервале 28 июля–26 августа 2000 г. квазисинхронный ему (с точностью около 1 ч) кадр построенного анимационного продукта, отражающий текущее состояние поля водяного пара над исследуемой акваторией. В качестве примера на рис. 1а, в (см. на цветн. вклейке) приведены фрагменты таких кадров для района Северной Атлантики. Кадры 1–6 на рис. 1а подобраны для следующих моментов времени: 1) 05.08.2000 11:00 UTC; 2) 07.08.2000 17:00 UTC; 3) 09.08.2000 14:00 UTC; 4) 11.08.2000 11:00 UTC; 5) 12.08.2000 21:00 UTC; 6) 14.08.2000 17:00 UTC. Кадры 7–11 на рис. 1в подобраны для следующих моментов времени: 7) 16.08.2000 06:00 UTC; 8) 19.08.2000 08:00 UTC; 9) 19.08.2000 21:00 UTC; 10) 22.08.2000 17:00 UTC; 11) 23.08.2000 03:00 UTC. Справа на кадрах приведена цветовая шкала значений W в мм. Черным цветом маскированы области суши, исключенные из анализа.

Использование независимой информации БД GLOBAL-TC

В качестве источника независимой актуальной информации об эволюции ТЦ Alberto была использована БД GLOBAL-TC (Покровская, Шарков, 2006). Содержащиеся в ней данные по каждому ТЦ позволяют изучить эволюцию циклона в нескольких аспектах. В частности, для анализа изменения траекторных особенностей ТЦ и его локализации в заданный момент времени могут быть использованы данные о текущих географических координатах глаза циклона. Траектория ТЦ Alberto за период времени с 03 по 23 августа 2000 г. приведена на рис. 1в, слайд 12 (таблица). Разные цвета траекторной линии соответствуют разным стадиям ТЦ по классификации, приведенной в работе (Покровская, Шарков, 2006). Более детальную информацию о развитии ТЦ обеспечивают данные о текущей максимальной скорости в стене глаза и давлении в центре глаза циклона. По этим данным для ТЦ Alberto были построены графики на рис. 1б, г. Синими стрелками на графиках отмечены моменты времени, представляющие наибольший интерес для анализа многократной интенсификации и диссипации ТЦ Alberto, который приведен ниже. Для этих же моментов времени подобраны квазисинхронные карты *W*, фрагменты которых приведены на рис. 1а, в.

Задача дальнейшего совместного анализа данных в настоящей работе – поиск и выявление связи между крупномасштабными особенностями поля *W* в окрестности действующего ТЦ Alberto и характером эволюции ТЦ (интенсификацией, диссипацией, стабильным функционированием).

ЭВОЛЮЦИЯ ТЦ ALBERTO И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ

Как мы уже отмечали, наиболее интересным при анализе поставленной задачи представляется ТЦ Alberto (03–23 августа 2000 г.), трижды менявший свою интенсивность в процессе следования по долгой, длинной и довольно сложной траектории (таблица). ТЦ “Alberto” № ATL 0001 (систематика ТЦ дается в соответствии с методологией, предложенной в работе (Покровская, Шарков, 2006)) пересек практически всю акваторию Атлантики и был третьим длиннопериодным тропическим циклоном в этой акватории, начиная с 1957 г.

На глобальных радиотепловых полях из электронной коллекции GLOBAL-Field (ИКИ РАН) и в поле интегрального водяного пара ТЦ Alberto можно наблюдать еще дольше – со 02 до 27 августа. Теряя и заново набирая силу, ТЦ Alberto трижды достигал стадии Т (тайфуна) с максимальными значениями скорости ветра в 41, 65 и 49 м/с соответственно, ослабляясь в промежутках до

стадии TS (тропического шторма) (таблица). Его траектория включает большую пятидневную антициклоническую петлю и довольно длинную внетропическую траекторию (рис. 1в, слайд 12).

Первые признаки зарождения ТЦ Alberto были зафиксированы по спутниковым оптическим наблюдениям над африканским побережьем Гвинеи. Так, 30 июля 2000 г. облачная система мощных кучевых облаков была компактна и быстро смещалась в западном направлении. Давление на уровне моря составляло 1010 мбар, скорость ветра 5–7 м/с со скоростью перемещения всей системы около 10–15 узл (стадия TL). При пересечении береговой линии и выхода в открытый океан система резко активизировалась. За сутки (4 августа) тропическое возмущение прошло две стадии TD (тропическая депрессия) и TS (тропический шторм) и вечером этого дня (4 августа) перешло в стадию STS (сильный тропический шторм), давление быстро падало, скорость ветра возросла до 26 м/с. Физической причиной такой быстрой эволюции ТЦ может служить его “попадание” в область с резко повышенным содержанием водяного пара, расположенного к югу-западу от о-вов Зеленого мыса (рис. 1а, слайд 1). И к концу суток 5 августа ТЦ, смещаясь в западном-северо-западном направлении и усиливаясь под благоприятным оттоком в верхних слоях атмосферы в зоне повышенного содержания водяного пара, достиг стадии Т (тайфуна) с давлением 990 мбар и скоростью ветра 33 м/с в 425 милях к западу от о-вов Зеленого мыса. Смещаясь к западу-северо-западу 6 и 7 августа и находясь при этом в зоне повышенного влагосодержания (более 60 мм), ТЦ продолжал усиливаться. Скорость ветра возросла до 41 м/с и достигла своего первого максимума; давление упало до 979 мбар. Отметим, что при этом 6–7 августа образовался мощный грибовидный вброс области повышенного паросодержания из экваториальной (материнской) зоны, расположенной над Малыми Антильскими о-вами в направлении Бермудских о-вов, где и была сформирована обширная (порядка 1000 × 2000 км) зона повышенного содержания (60–65 мм) водяного пара, которая в последствии окажется второй зоной энергозапаса и энергопитания для ТЦ Alberto (рис. 1а, слайд 5).

Однако расположенный к востоку от траектории ТЦ среднеуровенный гребень атмосферы в Центральной Атлантике способствовал 8–9 августа повороту системы в своем движении к северо-западу и притоку большой области сухого (20–30 мм) воздуха из района Канарских о-вов (рис. 1а, слайд 3). Это вызвало оттеснение ТЦ Alberto от материнского поля, формирование джетовой перемычки с материнским полем, что привело в итоге к ослаблению интенсивности системы: скорость ветра упала до 33–36 м/с, давление выросло до 987 мбар. В течение 9 августа произо-

Эволюция ТЦ Alberto по (Покровская, Шарков, 2006)

№	Стадия развития возмущения	Дата, мм_дд	Время, UT, ч	Широта, град	Долгота, град	Давление, мбар	Скорость ветра в центре возмущения, м/с	Направление смещения возмущения, румбы	Скорость смещения, узлы*
1	TL	08_03	15	10.0	-17.0	1010	5	W	10
2	TL	08_03	21	11.0	-19.0	1010	5	WNW	15
3	TL	08_04	3	12.0	-21.0	1012	5	WNW	15
4	TD	08_04	9	12.2	-22.7	1007	15	W	16
5	TS	08_04	15	12.4	-25.0	1005	18	W	15
6	STS	08_04	21	12.9	-25.9	999	26	W	15
7	STS	08_05	3	13.4	-27.5	999	26	WNW	14
8	STS	08_05	9	13.7	-28.7	994	28	WNW	13
9	STS	08_05	15	14.4	-30.7	1000	26	WNW	13
10	T	08_05	21	14.7	-32.1	990	33	W	13
11	T	08_06	3	14.6	-34.1	994	33	W	15
12	T	08_06	9	14.4	-35.4	988	36	W	15
13	T	08_06	15	14.9	-36.0	987	36	W	11
14	T	08_06	21	15.4	-37.2	983	38	WNW	10
15	T	08_07	3	16.0	-38.8	983	38	WNW	12
16	T	08_07	9	16.2	-40.3	979	41	WNW	13
17	T	08_07	15	16.3	-41.7	979	41	W	13
18	T	08_07	21	16.6	-42.8	979	41	W	12
19	T	08_08	3	16.7	-44.0	981	38	W	11
20	T	08_08	9	17.1	-45.6	984	36	WNW	13
21	T	08_08	15	17.4	-45.9	984	36	WNW	11
22	T	08_08	21	17.8	-47.0	987	33	WNW	11
23	STS	08_09	3	20.0	-47.6	990	31	NW	12
24	STS	08_09	9	20.8	-48.7	990	31	NW	12
25	STS	08_09	15	22.4	-50.5	990	31	NW	15
26	T	08_09	21	24.0	-52.0	987	33	NW	9
27	T	08_10	3	25.7	-53.5	987	33	NW	19
28	T	08_10	9	26.9	-54.6	987	33	NW	18
29	T	08_10	15	28.1	-56.1	987	33	NW	18
30	T	08_10	21	29.5	-57.3	987	33	NW	18
31	T	08_11	3	30.6	-58.1	981	38	NNW	13
32	T	08_11	9	31.6	-58.7	981	38	NNW	16
33	T	08_11	15	32.7	-58.7	981	38	N	12
34	T	08_11	21	33.8	-58.3	970	46	N	12
35	T	08_12	3	35.2	-57.2	965	49	NNE	16
36	T	08_12	9	35.7	-56.0	960	51	NE	13
37	T	08_12	15	36.3	-54.4	950	57	NE	15
38	T	08_12	21	37.1	-53.0	950	65	ENE	15
39	T	08_13	3	37.8	-51.0	960	51	ENE	16
40	T	08_13	9	38.3	-49.3	970	46	ENE	16
41	T	08_13	15	38.7	-47.4	978	46	ENE	16
42	T	08_13	21	38.9	-45.8	979	38	E	15
43	T	08_14	3	39.1	-43.9	982	36	E	14

Таблица. Окончание

№	Стадия развития возмущения	Дата, мм_дд	Время, УТ, ч	Широта, град	Долгота, град	Давление, мбар	Скорость ветра в центре возмущения, м/с	Направление смещения возмущения, румбы	Скорость смещения, узлы*
44	T	08_14	9	39.0	-41.2	988	33	E	20
45	STS	08_14	15	39.0	-40.0	990	31	E	18
46	STS	08_14	21	39.0	-38.7	997	26	E	14
47	TS	08_15	3	38.6	-38.5	998	23	S	6
48	TS	08_15	9	37.8	-38.4	998	23	S	7
49	TS	08_15	15	36.9	-38.6	998	23	S	9
50	TS	08_15	21	36.4	-39.2	1000	21	SW	8
51	TS	08_16	3	35.8	-39.6	1000	21	SW	7
52	TS	08_16	9	35.2	-40.6	1000	21	SW	8
53	TS	08_16	15	34.3	-41.9	1000	21	SW	11
54	TS	08_16	21	33.6	-43.2	1000	21	WSW	13
55	TS	08_17	3	33.2	-44.2	998	23	WSW	11
56	TS	08_17	9	32.9	-44.4	998	23	W	6
57	TS	08_17	15	32.9	-45.3	998	23	W	8
58	STS	08_17	21	33.1	-46.4	994	28	W	9
59	STS	08_18	3	33.4	-46.8	994	28	WNW	6
60	STS	08_18	9	33.7	-47.4	994	28	WNW	6
61	T	08_18	15	34.5	-47.8	989	33	NNW	7
62	T	08_18	21	35.1	-48.3	986	38	NNW	7
63	T	08_19	3	35.2	-48.3	986	36	NNW	5
64	T	08_19	9	35.6	-48.4	974	44	NNW	4
65	T	08_19	15	36.0	-48.3	970	46	N	6
66	T	08_19	21	36.5	-48.1	966	49	N	6
67	T	08_20	3	36.7	-48.1	970	46	N	4
68	T	08_20	9	37.0	-48.0	970	46	N	5
69	T	08_20	15	37.5	-47.9	975	44	N	6
70	T	08_20	21	37.9	-47.7	970	44	N	6
71	T	08_21	3	38.1	-47.4	975	44	NNE	5
72	T	08_21	9	38.8	-47.3	979	38	NNE	5
73	T	08_21	15	39.3	-47.1	975	38	NNE	5
74	T	08_21	21	40.6	-46.4	975	38	NNE	10
75	T	08_22	3	41.8	-45.7	981	38	NNE	12
76	T	08_22	9	43.3	-44.9	983	33	NNE	15
77	T	08_22	15	45.0	-43.4	985	33	NNE	17
78	L	08_22	21	47.2	-41.4	983	33	NNE	24
79	L	08_23	3	49.7	-37.8	986	31	NE	32
80	L	08_23	9	52.3	-34.7	986	26	NE	40
81	L	08_23	15	54.6	-34.1	994	23	NE	32

Примечание. * 1 узел = 0.51 м/с = 1.85 км/ч.

шло окончательное “отключение” присоединенной к телу ТЦ области водяного пара от материнского поля (разрыв джета), и ТЦ потерял значительную часть своей интенсивности – стадия STS со скоростью ветра 31 м/с и давлением 990 мбар.

Однако в течение двух последующих дней 10 и 11 августа ТЦ Alberto продолжал быстро двигаться в северо-западном направлении и вступил в контакт с обширной областью повышенного водяного пара при помощи двух спиральных джетов и широкой области в западном направлении (рис. 1а, слайд 4). Именно получение этого скрытого тепла от второго энергетического источника позволило с утра 10 августа вернуть ТЦ ураганную силу, чему способствовали массы влажного теплого воздуха, втянутые самим ТЦ из зоны повышенного влагосодержания над Гольфстримом и Бермудскими островами. Второго и наивысшего пика интенсивности (65 м/с) ураган достиг 12 августа. В это время в его структуре присутствовал широкий “глаз” диаметром более 90 км. Попав в западный зональный поток, ТЦ медленно двигался на северо-восток (13 и 14 августа) и при этом ослабевал.

На рис. 1а, слайд 5 хорошо видна обширная область очень сухого (около 10 мм) и холодного воздуха на севере, в районе Исландской депрессии, препятствующая продвижению ТЦ Alberto на северо-восток. Наконец, 15 августа область расширилась и тем самым практически “оторвала” его от второго энергетического источника и отбросила в южном направлении (рис. 1а, слайд 6) – ТЦ резко поменял направление движения с северо-восточного на юго-восточное. В ближайшие дни (от 15 по 17 августа) он двигался сначала на юг, затем на юго-запад, начав формировать антициклоническую петлю траектории.

Нетрудно видеть (рис. 1в, слайд 7), что такая сложная траекторная особенность (“возвратная антициклоническая траектория”) ТЦ Alberto сформировалась благодаря взаимодействию двух спиральных структур и центральной области ТЦ с резко различным содержанием водяного пара и, следовательно, с резко различными удельными плотностями. Отметим, что в отличие от общепринятой точки зрения, подобные “возвратные траектории” достаточно часто встречаются при циклогенезе как в циклогенерирующих акваториях Северного полушария, так и, особенно, Южного полушария (см. детальные данные по траекториям ТЦ в работах (Покровская, Шарков, 2006, 2011)). Однако выявление физических механизмов таких процессов до сих пор является нерешенной проблемой.

На слайде от 16 августа (рис. 1в, слайд 7) четко прослеживается тот факт, что сухой (около 20 мм) и холодный воздух из района Исландского минимума внедряется в структуру поля водяного пара ТЦ, отсекает его центральное ядро водяного пара

от основного поля (питающего) водяного пара, значительно ослабляя “скрытую” энергетику и кинематические характеристики ТЦ. В эти дни (16–17 августа) ТЦ достиг второго минимума интенсивности – максимальная скорость ветра составила 21 м/с, а давление – 1000 мбар (таблица). Практически ТЦ Alberto находился в режиме полной диссипации (окончание стадии TS). Удивительно то обстоятельство, что полной диссипации ТЦ Alberto, однако, не произошло, а произошла прямо противоположная ситуация. В течение 18 августа и начала суток 19 августа основному полю водяного пара “удалось” отбросить поле сухого и холодного воздуха от центральной зоны ТЦ Alberto, охватить и практически замкнуть кольцо влажного воздуха вокруг этой зоны и, более того, присоединив к себе эту центральную зону через сравнительно небольшой южный джет (рис. 1в, слайд 8), таким образом влить в центральную зону ТЦ значительную скрытую энергию, которая пошла на увеличение кинематических характеристик “умирающего” циклона. Это же поле пробило в поле сухого воздуха своего рода “коридор” влажного воздуха со средним значением интенсивности (около 40 мм) к северу от ТЦ. В конце суток 19 августа ТЦ перешел в стадию T со скоростью ветра 49 м/с и давлением 966 мбар, которая явилась третьим пиком интенсивности ТЦ Alberto (таблица; рис. 1в, слайд 9; рис. 1з). Сложная кинематическая структура ТЦ Alberto к этому моменту уже прекратила существование, и соответственно закончились условия для формирования и удержания “возвратной” ветви траектории ТЦ. ТЦ медленно (со скоростью 5–6 узл) стал входить в глобальную циркуляцию северо-восточного направления внутри “пробитого коридора”. В это же самое время (19–20 августа) от основного поля водяного пара отделяется значительная часть водяного пара из основного поля в направлении о-вов Мадейра.

В течение 20–22 августа связь ТЦ с основным полем начинает ослабевать. Пробитый коридор поля средней влажности раздваивается: значительная часть скрытой энергии уходит в направлении Азорских о-вов на образование мощного циклона у берегов Испании (рис. 1в, слайды 10–11). Ввиду отсутствия внешних энергетических источников ТЦ Alberto 23 августа резко ослаб, перейдя в стадию L (область низкого приземного давления умеренных широт) и потеряв основные черты тропического циклона и запасенную собственную скрытую теплоту в виде присоединенного поля водяного пара. Официальные органы наблюдения за состоянием циклогенеза в Северной Атлантике сообщили о полной диссипации ТЦ Alberto 23 августа. Однако поля водяного пара, построенные по радиотепловым данным, говорят о том, что остатки ТЦ Alberto (внетропиче-

ский циклон), включая ослабленные присоединенные поля водяного пара, продолжали двигаться на север-северо-восток и прошли вблизи Исландии 24 августа, и ТЦ Alberto окончательно распался 26–27 августа в акватории Норвежского моря.

Важно отметить, что непосредственно в эти же временные сроки и в этой же акватории функционировали два ТЦ разной интенсивности: достаточно слабый ТЦ Chris № ATL 0003 (16.08–21.08.2000 г.), достигший стадии TS на период 6 ч и с координатами (16.7° с.ш., 55.5° з.д.), и достаточно сильный ТЦ Debby № ATL 0004 (16.08–25.08.2000 г.), достигший стадии T (тайфун) на период 22–23 августа с координатами (17.7° с.ш., 62.6° з.д.) и (19.7° с.ш., 68.7° з.д.) (Покровская, Шарков, 2006). Указанные тропические возмущения хорошо идентифицируются в цветовой гамме на рис. 1в, слайды 7–11. Интересно отметить, что, как и следовало ожидать, эти тропические системы и окружающее их пространство сыграли свою роль в исторической эволюции ТЦ Alberto, хотя, разумеется, и в разной степени. Так, ТЦ Chris произвел 19 августа заметное вливание интегрального водяного пара из ВЗК (материнское поле) в зону, питающую ТЦ Alberto на третьем этапе его интенсификации. Этот процесс вброса водяного пара существенно помог “отбить атаку” со стороны сухих и холодных областей исландского минимума на центральную область ТЦ Alberto. Также часть области с повышенным содержанием водяного пара, захваченная ТЦ Debby из внутритропической зоны конвергенции (ВЗК), была вброшена в зону третьего этапа интенсификации. Вся эта сложная динамическая и быстро эволюционирующая картина хорошо прослеживается на рис. 1в, слайды 8–11. Это еще раз говорит о том, что удаленное влияние на состояние и эволюцию ТЦ может быть осуществлено через единственный материальный источник – быстро мигрирующие области повышенного паросодержания как в тропической зоне, так и в зоне умеренных широт.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Набор предложенных авторами и описанных выше алгоритмов был программно реализован и опробован при обработке данных SSM/I спутников F13, F14 и F15, полученных за период наблюдений 28.07.2000–26.08.2000 (ТЦ Alberto).

Авторам впервые удалось получить глобальные анимированные радиотепловые поля с шагом по времени 1.5 ч и пространственным разрешением 0.2°, что позволило также впервые детально проанализировать траекторные особенности и эволюцию интенсивности ТЦ Alberto, рассматриваемого в поле интегрального водяного пара.

В работе полностью были подтверждены основные положения модели “верблюда” и модели “джетовой” подпитки (Шарков и др., 2008; 2011а, 2011б, 2011в) основной кинематической составляющей ТЦ из основного поля водяного пара, которое может быть, как выяснилось, не только экваториальным полем водяного пара во внутритропической зоне конвергенции (ВЗК), как это считалось ранее (Шарков и др., 2008; Шарков и др., 2011а, 2011б, 2011в), но и может быть сформировано в умеренных широтах, от 25° до 50° широты (рис. 1а, слайд 5) за счет очень сложных перестроек глобальной циркуляции. При этом отметим, формирование поля подпитки ТЦ может осуществляться абсолютно различными способами. Это могут быть, как мы показали, выбросы полей водяного пара из зоны ВЗК; могут быть поля водяного пара, присоединенные к слабым и быстро затухающим тропическим возмущениям; могут быть сформированы в результате взаимодействия мезомасштабных полей сильно различающихся влажностей; это может быть результат формирования крупномасштабных циклонических систем в умеренных широтах. По-видимому, существуют и другие метеорологические процессы и способы формирования мезомасштабных полей повышенного паросодержания в средних и умеренных широтах.

Существование такого вида полей (как показано выше) может принципиально менять структуру самого ТЦ, так и траекторию его движения. Отметим, однако, что в существующих математических моделях эволюции ТЦ и его траекторий подобные компоненты не рассматриваются, что, конечно, ставит результативность существующих моделей под сомнение.

Достигнутую авторами настоящей работы пространственно-временную дискретизацию радиотепловых полей (с шагом по времени 1.5 ч и пространственным разрешением 0.2°) на данном этапе исследований взаимодействий тропических возмущений с окружающей средой можно считать в известном смысле оптимальной. Что же касается изучения детальной пространственной структуры атмосферных катастроф, то полученную пространственную дискретизацию нельзя признать полностью удовлетворительной. Это также относится и к исследованию детальных профилей водяного пара (и температуры), поскольку именно отклонения экспериментальных профилей от стандартного (экспоненциального) профиля (по ряду теоретических представлений) может привести мезомасштабную систему к неустойчивому состоянию (Руткевич, Шарков, 2005).

Отметим также, что в связи с необходимостью повышения пространственного разрешения радиотепловых наблюдений и получением детальных данных о вертикальном распределении водя-

ного пара активно ведутся методические и расчетные работы по возможному созданию радиотепловых спутниковых комплексов нового поколения с использованием линий излучения 22, 183 и 325 ГГц (Кузьмин и др., 2005; Семин и др., 2012, 2013).

Важной особенностью представленного авторами компьютерного продукта является тот факт, что расчет анимированной карты производится для всей акватории Мирового океана, а не в локальном (ядро и спиральная система тропического циклона) или региональном (отдельная акватория) масштабе. Это дает возможность для исследования глобального тропического циклогенеза как единого процесса, с учетом влияния удаленных особенностей метеорологических полей на тропические возмущения.

Помимо самостоятельной ценности предлагаемого подхода, следует подчеркнуть необходимость развития различных “высокоскоростных” анимационных методик для дальнейшего сопоставления и контроля качества продуктов, полученных при применении каждой из них, и, потенциально, для комплексирования их результатов в задачах тематического анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе программно-алгоритмического комплекса построения глобальных радиотепловых полей системы океан–атмосфера высокой пространственно-временной детальности по микроволновым спутниковым измерениям, разработанного ранее авторами и позволяющего получать глобальные анимированные радиотепловые поля с шагом по времени 1.5 ч и пространственным разрешением 0.2°, детально проанализированы траекторные особенности и эволюция интенсивности ТЦ Alberto в поле интегрального водяного пара. Основное внимание уделено проблеме выявления энергетических источников при последовательной трехкратной его интенсификации. Впервые показано, что такими источниками являются зоны повышенного интегрального содержания водяного пара, расположенные в географических областях тропических и умеренных широт, через которые прошла сложная траектория движения меняющего свою интенсивность ТЦ. Первая область заключалась во внутритропической зоне конвергенции, вторая — над акваторией течения Гольфстрима, и третья — в зоне действия Азорского максимума. Анализ спутниковых данных на основе авторского анимационного подхода показал, что удаленное влияние на состояние и эволюцию ТЦ может быть осуществлено через единственный материальный источник — быстро мигрирующие области повышенного паросодержания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. 2011. Т. 8. № 3. С. 9–16.
- Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А., Покровская И.В.* Поиск источника энергии при интенсификации ТЦ Katrina по данным микроволнового спутникового зондирования // Исслед. Земли из космоса. 2012а. № 4. С. 47–56.
- Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А.* Детализация фаз развития ТЦ Katrina по интерполированным глобальным полям водяного пара // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. 2012б. Т. 9. № 2. С. 207–213.
- Ким Г.А., Шарков Е.А., Покровская И.В.* Эволюция и энергетическая структура тропического циклона Non-do по данным оптико-микроволнового спутникового зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. 2009. Вып. 6. Т. 2. С. 126–136.
- Минина Л.С.* Тропические циклоны: Руководство по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды / Под ред. И.П. Ветлова, Н.Ф. Вельтишева. Л.: Гидрометеиздат, 1982. С. 253–285.
- Покровская И.В., Шарков Е.А.* Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 3.1. (1983–2005). М.: Полиграфсервис, 2006. 728 с.
- Покровская И.В., Шарков Е.А.* Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция (2006–2010). Версия 4.1. М.: КДУ, 2011. 212 с.
- Ростовцева В.В., Гончаренко И.В.* Временная и пространственная статистика температурно-влажностного критерия зарождения тропических циклонов по данным спутниковой микроволновой радиометрии // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 4. С. 32–40.
- Семин А.Г., Кузьмин А.В., Хапин Ю.Б., Шарков Е.А.* О возможности восстановления вертикального распределения водяного пара в атмосфере тропиков по измерениям в линии 183 ГГц из космоса // Исслед. Земли из космоса. 2012. № 2. С. 41–52.
- Семин А.Г., Кузьмин А.В., Хапин Ю.Б., Шарков Е.А.* Использование резонансных линий 22.2, 183 и 325 ГГц для восстановления детальных вертикальных профилей водяного пара в тропической атмосфере // Исслед. Земли из космоса. 2013. № 1. С. 3–8.

- Шарков Е.А.* Дистанционные исследования атмосферных катастроф // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 1. С. 52–68.
- Шарков Е.А., Ким Г.А., Покровская И.В.* Эволюция тропического циклона Goni и его связь с полем интегрального водяного пара в экваториальной области // Исслед. Земли из космоса. 2008. № 6. С. 25–30.
- 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. 2011а. № 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. 2011б. № 2. С. 18–25.
- Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В.* Особенности экваториального поля водяного пара при эволюции тропического циклона (ТЦ) на примере ТЦ Francisco (2001) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. 2011в. Т. 8. № 3. С. 310–316.
- Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В.* Критический параметр генезиса тропических циклонов в глобальном поле интегрального водяного пара // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. 2011. Т. 8. № 1. С. 280–286.
- Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В.* Повышенное содержание водяного пара в атмосфере тропических широт как необходимое условие генезиса тропических циклонов // Исслед. Земли из космоса. 2012. № 2. С. 73–82.
- Dvorak V.F.* Tropical cyclone intensity analysis using satellite data. NOAA Tech. Rep. NESDIS 11. Washington, D.C.: NOAA/NESDIS, 1984. 47 p.
- Richardson I.E.G.* H.264 and MPEG-4 video compression. Chichester: John Wiley and Sons, 2003. 306 p.
- Ruprecht E.* Atmospheric water vapor 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. B., Heidelberg, L., N.Y. etc.: Springer/PRAXIS, 2000. 361 p.
- Sharkov E.A.* Global Tropical Cyclogenesis. The 2nd Edition. B., Heidelberg, L., N.Y. etc.: Springer/PRAXIS, 2012. 650 p.
- Velden Ch.S., Olander T.L., Zehr R.M.* Development of an Objective to Estimate Tropical Cyclone Intensity from Digital Geostationary Infrared Imagery // Weather and Forecasting. 1998. V. 13. № 13. P. 172–186.
- Wimmers A.J., Velden C.S.* MIMIC: A new approach to visualizing satellite microwave imagery of tropical cyclones // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2007. V. 88. № 8. P. 1187–1196.
- Wimmers A.J., Velden C.S.* Seamless advective blending of total precipitable water retrievals from polar-orbiting satellites // J. Appl. Meteor. Climatol. 2011. V. 50. № 5 P. 1024–1036.

Detection of Energy Sources in the Intermittent Modes of TC Alberto's Intensity by Satellite Microwave Data

D. M. Ermakov^{1,2}, E. A. Sharkov², I. V. Pokrovskaya², A. P. Chernushich¹

¹ Institute of Radioengineering and Electronics, Russian Academy of Sciences, Fryazino, Moscow Region

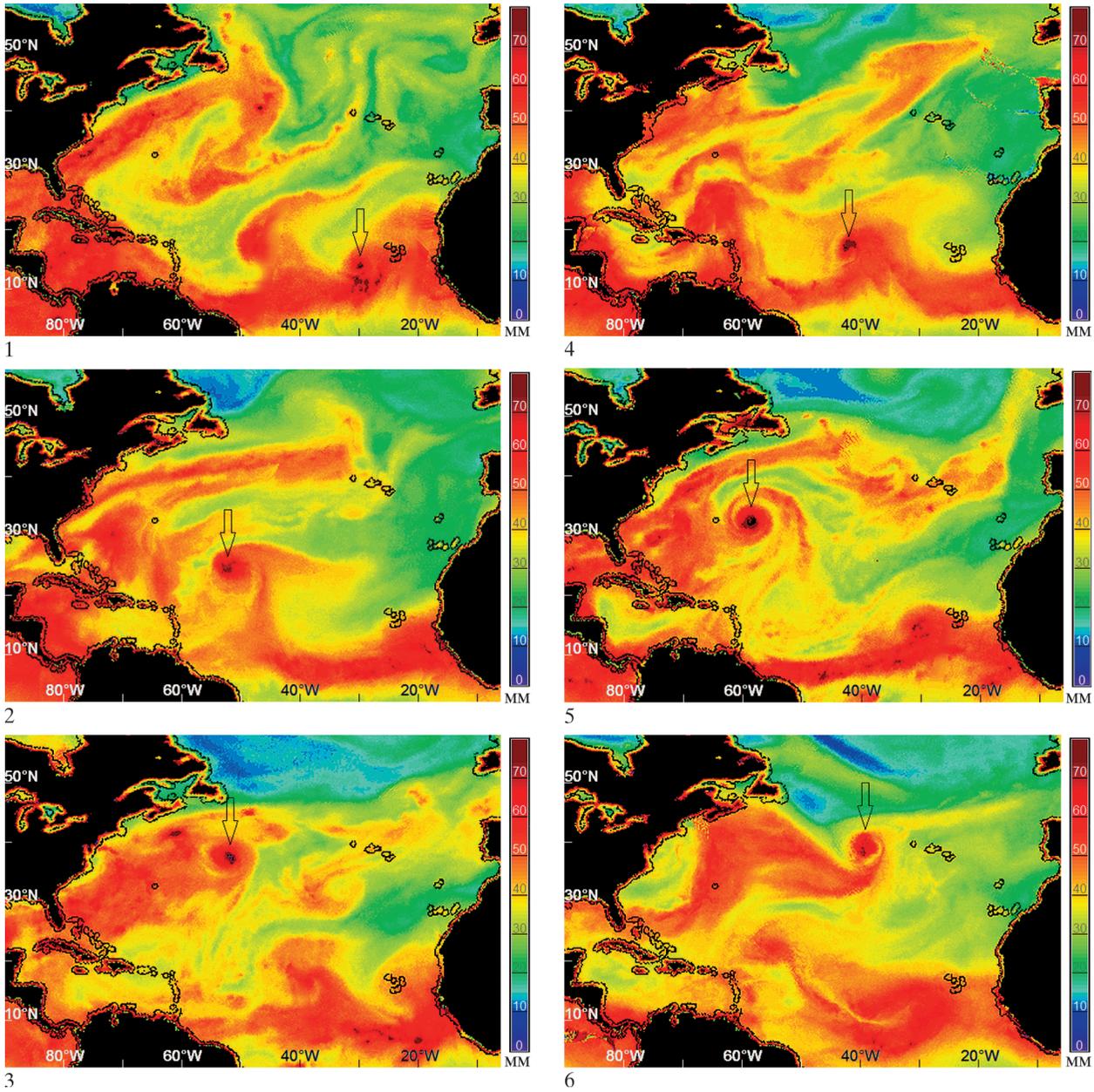
² Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

Based on software package for constructing global radiothermal fields of the ocean-atmosphere system of high spatiotemporal detail by microwave remote data, earlier developed by the authors and allowing obtaining global animated radiothermal fields with a time step of 1.5 hours and a spatial resolution of 0.2°, a thorough analysis has been carried out of the trajectory features and evolution of intensity of the tropical cyclone Alberto in the field of atmospheric total precipitable water. Main attention was drawn to detecting energy sources for its sequential triple intensification. It was shown for the first time that such sources are zones of high integral water vapor content (above critical level) located in different geographical areas, which were passed by a complex trajectory of TC. The first area was within Intertropical Convergence Zone, the second one – over the Gulf Stream basin, and the third one – in the zone of Azores maximum.

Keywords: satellite microwave remote sensing, atmospheric total precipitable water, tropical cyclogenesis, hurricane intensification



a



б

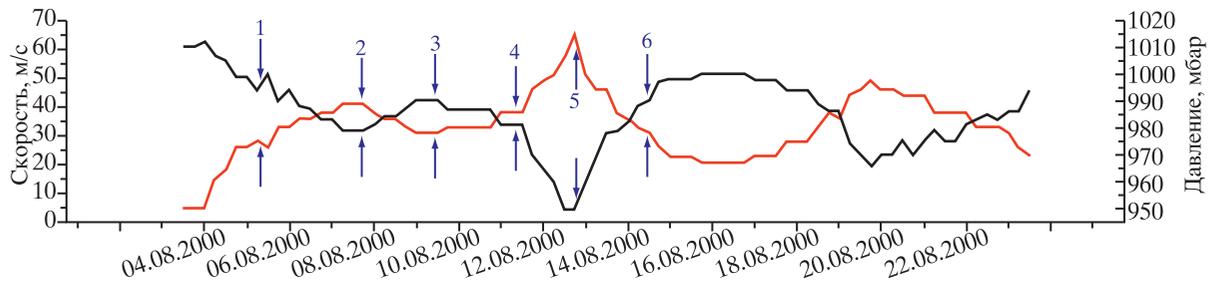
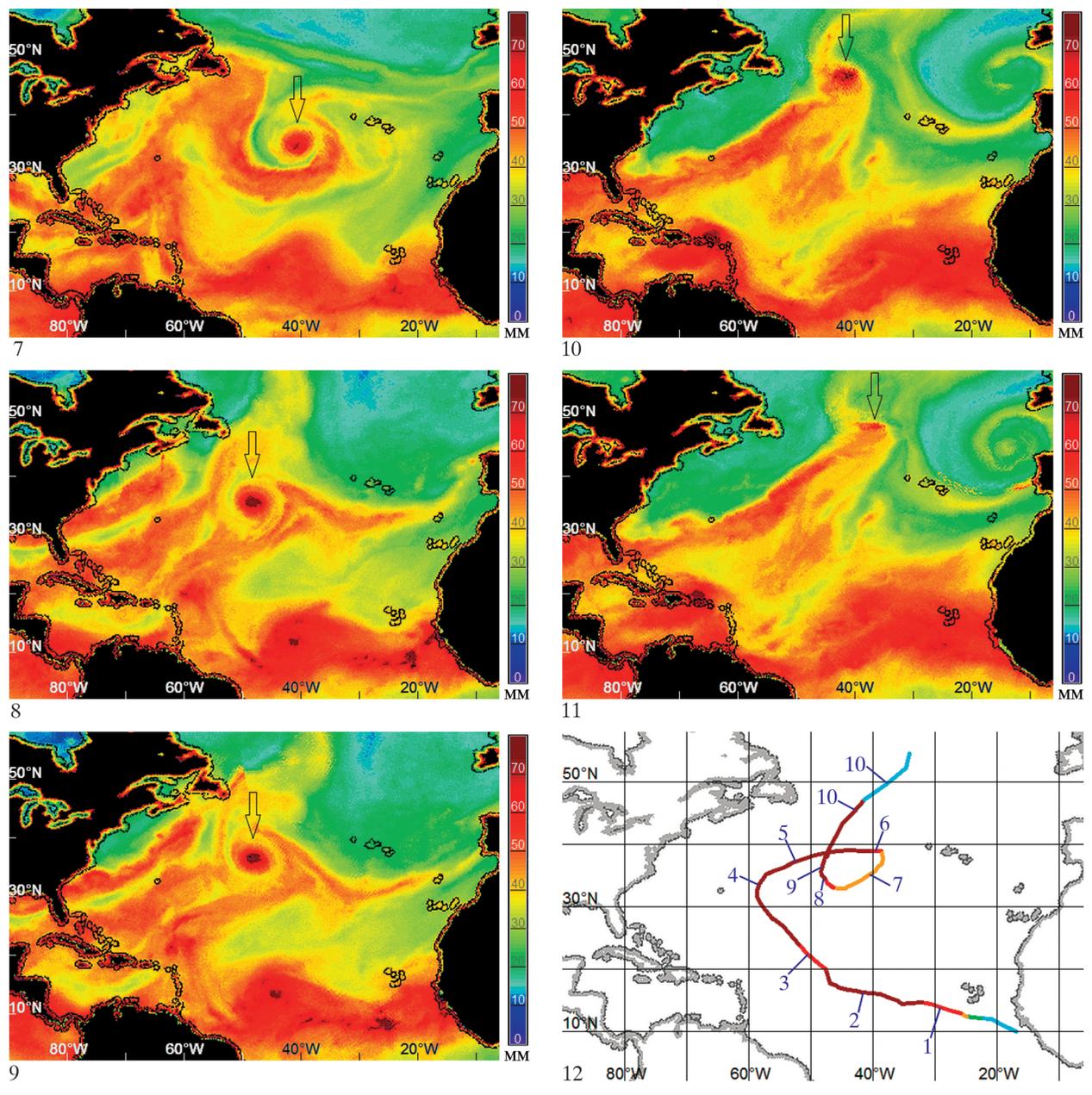


Рис. 1. *a* – После W (мм) над Атлантикой в моменты времени 1...6, отмеченные на рис. 1*б*, *з*, стрелка указывает положение ТЦ Alberto; *б* – максимальная скорость ветра V_r (красная линия) в стене глаза и минимальное давление P (черная линия) в центре глаза ТЦ Alberto. Стрелками показаны моменты времени, соответствующие полям W на рис. 1*а*.





6



2

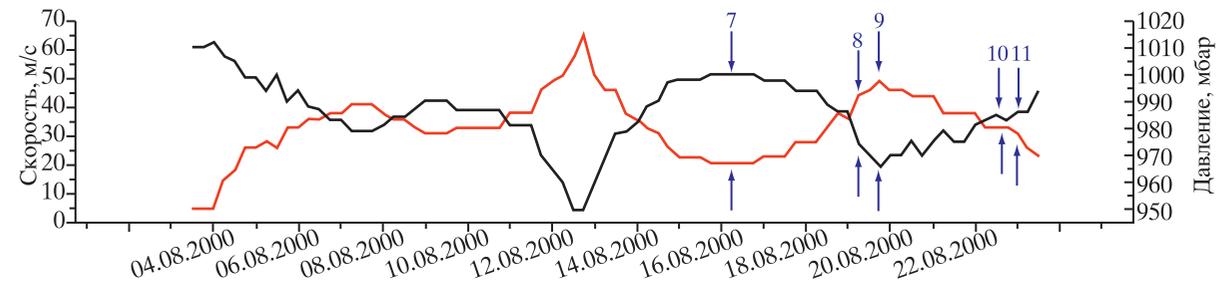


Рис. 1 (окончание). *в* – Поле W (мм) над Атлантикой в моменты времени 7...11, отмеченные на рис. 1*б*, *г* – эволюция ТЦ Alberto (см. таблицу), цветом обозначены стадии: TL и L – голубой, TD – зеленый, TS – оранжевый, STS – красный, T – темно-красный; *г* – максимальная скорость ветра V (красная линия) в стене глаза и минимальное давление P (черная линия) в центре глаза ТЦ Alberto. Стрелками показаны моменты времени, соответствующие полям W на рис. 1*в*.

