

Эволюция и энергетические особенности тропического циклона GONU с использованием метода «слияния» разномасштабных дистанционных данных

Е.А. Шарков¹, Г.А. Ким², И.В. Покровская¹

¹*Институт космических исследований РАН
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mail: easharkov@iki.rssi.ru*

²*Центр аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС»
105064 Москва, Гороховский пер., 4
E-mail: kim@isintech.com*

Авторами проведен детальный анализ энергетических особенностей тропического циклона “GONU” (Аравийское море, Северный Индийский океан; 31.05.2007 – 08.06.2007) на основе метода «слияния» (Data Merging Method), представляющий собой развитие методики формирования и накопления информации по разномасштабным данным спутникового дистанционного зондирования. На основе исследования эволюции тропического циклона, проведенного по дистанционным данным с использованием модифицированного авторами метода «слияния», экспериментально выявлен один из главных энергетических источников функционирования тропического циклона. По результатам анализа выявлено, что таковым источником может быть область водяного пара повышенной интегральной концентрации, захваченной циклоном из тропической зоны с муссонной циркуляцией атмосферы и сохраненной им на протяжении всего этапа его эволюции. Диссипация тропического циклона произошла над Ормузским проливом в результате разрушения его внутренней структуры при соприкосновении с сушей и высотными гребнями расположенными к западу - над Аравийским полуостровом, и к востоку – над Пакистаном.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект 06-05-64276-а.

Введение

Одним из важных аспектов исследования системы океан-атмосфера является изучение вклада интенсивных вихревых возмущений (типа тропических циклонов) в термодинамику и кинематику атмосферы на различных этапах эволюции атмосферных катастроф. Эта проблема тесно связана с задачей изучения возможных вариаций климата планеты [1-3]. С другой стороны, важнейшим вопросом первоначального циклогенеза и интенсификации различных форм тропических циклонов является выявление источника энергии, за счет которого чрезвычайно быстро (порядка нескольких часов на акватории с площадью порядка 40-100 тыс. кв. км) происходит интенсификация и формирование зрелых форм тропических циклонов. Точка зрения о том, что этим источником может быть только океан, имеет длительную историю и множество приверженцев. Однако за последнее время появились явные признаки неудовлетворительности такой точки зрения, например, в связи с катастрофически быстрой перестройкой и интенсификацией тропического циклона «Катрина» [2]. При этом специальные космические и наземные службы наблюдения США оказались не способны зарегистрировать сколько-нибудь заблаговременно этот процесс, поскольку были ориентированы на стандартные процедуры, направленные на поиск термодинамических особенностей акваторий (т.н. модель «теплой» воды), над которыми проходит тропический циклон.

Целью настоящей работы является попытка выявить главный энергетический источник функционирования тропического циклона “GONU”. Выбор обоснован тем, что в северных акваториях Индийского океана интегральное содержание водяного пара гораздо ниже, чем в тропической зоне, поэтому исключается режим натекания («засоса») водяного пара с акватории, окружающей тропический циклон.

Эволюция тропического циклона “GONU”

Тропический циклон пятой категории “GONU” развивался, функционировал и диссипировал в акватории Аравийского моря и Оманского залива в непосредственной близости от аравийской пустыни Руб-эль-Хали и индостанской пустыни Тар.

Первичное тропическое возмущение было зарегистрировано 31 мая к западу от побережья Индии с координатами 13.2° с.ш., 72.6° в.д. (см. таблицу 1, которая была сформирована по методике, представленной в [4]). Скорость ветра в центре возмущения составляла 15 м/с, давление 1006 мб. 2 июня тропическое возмущение перешло в тропический шторм, скорость ветра составила 21 м/с, давление в центре упало до 1000 мб. Наибольшей силы тропический циклон достиг 4 июня,

Таблица 1. Эволюция ТЦ “GONU”

TC Number= NIN 0702

TC Name= GONU

All Points= 28

№	Стадия развития возмущения**	Дата, ММ_ДД	Время, UT	Широта, °	Долгота, °	Давление, мбар	Скорость ветра в центре возмущения, м/с	Направление смещения возмущения, румбы	Скорость смещения, узлы***
1	TL	05_31	12	13.2	72.6	1006	8	W	10
2	TL	06_01	0	13.6	71.4	1006	11	WNW	10
3	TD	06_01	12	14.6	69.7	1000	13	WNW	10
4	TD	06_01	18	15.1	68.8	1000	13	WNW	8
5	TS	06_02	0	15.4	67.7	1000	21	W	7
6	TS	06_02	6	15.4	67.5	1000	18	W	2
7	STS	06_02	12	15.3	67.1	987	28	WNW	3
8	STS	06_02	18	15.6	66.9	984	28	WNW	3
9	STS	06_03	0	15.8	66.7	987	26	NW	6
10	STS	06_03	6	16.8	67.4	980	31	NNW	8
11	T	06_03	12	17.2	66.1	976	33	WNW	10
12	T	06_03	18	17.5	66.6	954	46	NE	8
13	T	06_04	0	18.5	65.5	927	60	NW	7
14	T	06_04	6	19.2	64.9	-	68	NW	7
15	T	06_04	12	19.9	64.1	-	73	NW	10
16	T	06_04	18	20.5	63.2	-	73	WNW	10
17	T	06_05	0	20.9	62.5	-	70	WNW	8
18	T	06_05	6	21.3	61.9	-	65	NW	7
19	T	06_05	12	21.9	61.1	940	54	NW	10
20	T	06_05	18	22.1	60.4	954	46	NW	7
21	T	06_06	0	22.6	60.0	962	41	NW	8
22	T	06_06	6	23.1	59.5	966	38	NW	7
23	T	06_06	12	23.9	59.4	971	36	N	8
24	STS	06_06	18	24.7	58.8	980	31	NNW	10
25	TS	06_07	0	25.1	58.4	991	23	NNW	7
26	TS	06_07	6	24.9	58.1	997	18	SW	4
27	TD	06_07	12	25.1	58.3	1000	13	NE	3
28	TL	06_08	0	25.9	57.5	1002	8	NW	6

* ТЦ разрушился над территорией Ирана.

** Стадии развития возмущения: TL – первичное тропическое возмущение (замкнутая область низкого приземного давления тропической зоны); TD — тропическая депрессия; TS — тропический шторм; STS — сильный тропический шторм; T – тайфун (ураган).

*** 1 узел = 0,51 м/с = 1,85 км/ч

В точках 7 – 28 давление рассчитано в соответствии с методикой представленной на сайте «<http://www.ssd.noaa.gov/PS/TROP/CI-chart.html>»

когда была зарегистрирована скорость ветра 140 узлов (73 м/с) и находился он в этот момент к юго-востоку от побережья Омана. Усилению циклона способствовал благоприятный высотный отток и малый сдвиг высотного ветра. 5 июня при соприкосновении с сушей циклон начал ослабевать и смещаться в северном направлении к южному побережью Ирана вдоль юго-западной периферии сильного высотного гребня расположенного над юго-западом Пакистана. Диссипация тропического циклона произошла 8 июня над Ормузским проливом и южным Ираном в результате разрушения его внутренней структуры при соприкосновении с сушей, а также дальнейшим поглощением всей структуры (включая и унесенную циклоном область водяного пара) крупномасштабной циркуляцией умеренных широт, которая простиралась от пустыни Руб-эль-Хали до Иранского плоскогорья.

Исходные данные космического зондирования

Исходными данными для работы послужили изображения с сайта www.nrlmry.navy.mil (NRL Monterey Marine Meteorology Division) с микроволновых комплексов SSM/I и AMSR-E, обновляющиеся в реальном режиме времени.

Таблица 2. Характеристики аппаратуры

ИЗС	Прибор	Спектральный диапазон	Пространственное разрешение	Полоса обзора
Aqua	AMSR-E Улучшенный микроволновый сканирующий радиометр	Микроволновый: 6.925, 10.65, 18.7, 23.8, 36.5, 89.0 ГГц	5-50км (Зависит от частоты)	1445 км
DMSP	SSM/I Микроволновый специальный сенсор	19.36 (В), 22.23 (В), 85.5 (В), 37.0 (Г) ГГц	(15.7км x 13.9км)- (68.9 x 44.3км) Зависит от частоты	1400 км

В работе были использованы продукты восстановления интегрального содержания водяного пара в атмосфере методом слияния по данным приборов SSM/I и AMSR-E, поскольку они наиболее полно отражают процессы энергетического преобразования, проходящие в тропической зоне.

Полный алгоритм восстановления данных о полном содержании влаги в атмосфере подробно описан на сайте - www.ssmi.com/papers/rain.pdf. Данные с приборов SSM/I и AMSR-E обрабатывались в соответствии с традиционными методами восстановления параметров атмосферы по спутниковым микроволновым данным.

Методика и алгоритмы обработки информации

Авторами проведен детальный анализ энергетических особенностей тропического циклона GONU на основе метода «слияния» (Data Merging Method), представляющий собой развитие методики формирования и накопления информации по разномасштабным данным спутникового дистанционного зондирования. Указанный метод в настоящее время активно развивается для исследования практически стационарных объектов и полей, таких как, например, поле содержания хлорофилла на океанической поверхности [5]. В случае же его использования для таких быстропротекающих процессов, как эволюция тропических циклонов, требуется существенная корректировка метода, которая и проведена авторами.

Целью работы, как было сказано выше, являлась оценка общей энергетики циклона с использованием готовых продуктов обработки спутниковых данных.

Поскольку исходными данными служили растровые изображения (см. рис. 1А), то, для того чтобы с ними проводить цифровую обработку, была написана специальная программа (рис. 2), задача которой – попиксельное считывание изображения из выделенного участка и получение данных в соответствии с цветовой шкалой (рис. 1В) изображения в виде пятимерного массива данных (по трем цветам и двум координатам) о каждом изображении. В качестве участка, по которому будет

производиться расчет, визуально выбрано изображение с циклоном (рис. 1Б). Для получения численных значений количества влаги в мм, была взята шкала цветового кодирования. Каждый пиксель изображения соотносился с ней по методу наименьших квадратов для каждого из каналов.

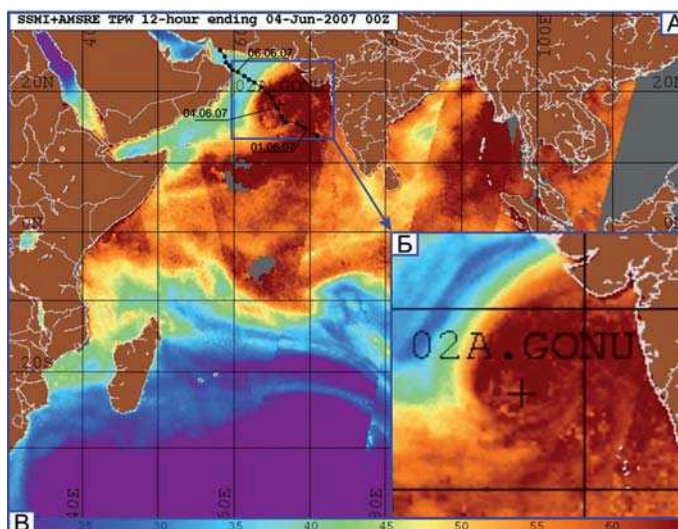


Рис. 1. Траектория тропического циклона GONU.

A - Исходное изображение (NRL Monterey Marine Meteorology Division Total_Precip Water_(TPW) - Полное содержание влаги в атмосфере);

Б - Фрагмент изображения, выбранный для расчета, в который попадает тропический циклон;

В - шкала цветового кодирования изображения

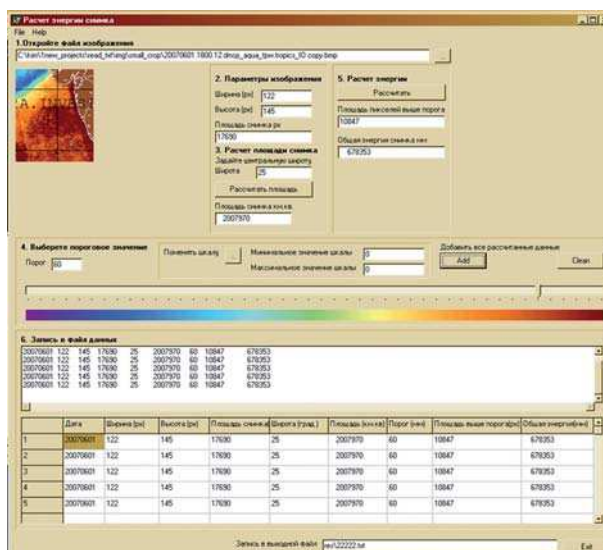


Рис. 2. Принтскрин программы по оценке энергии циклона

На рис. 3 представлено наложение двух изначально разномасштабных изображений при помощи метода слияния: космический снимок, полученный с ИСЗ METEOSAT-7 (черно-белая составляющая на изображении), и изображения, по которым производился расчет (продукт Aqua и DMSP по микроволновым данным). Из рисунка непосредственно видно, что область содержания интегрального водяного пара строго соответствует облачному массиву (по ИК данным) тропического циклона , как бы приурочена к центру действия циклона. Однако сама область водяного пара имеет пространственные размеры существенно большие, чем отражено облачными структурами в ИК-диапазоне. Поэтому эмпирически было оценено и подобрано пороговое значение, меньше которого облачность не считалась циклоном.

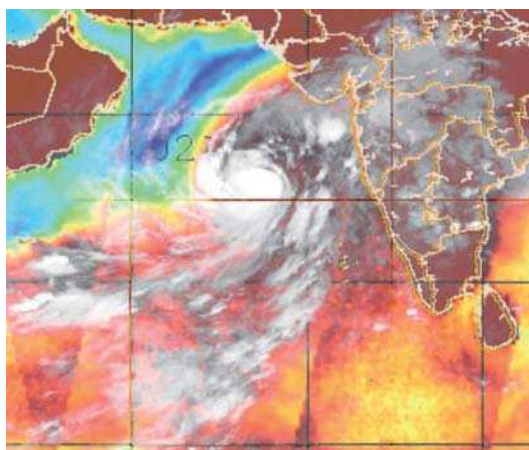


Рис. 3. Наложение изображения в ИК-диапазоне на полное содержание водяного пара

Далее производился расчет с учетом размеров выбранного участка, особенностей проекции и учетом ошибок измерения.

Перевод полученных значений количества влаги в величину скрытой энергии проводился исходя из следующих предположений: осажденный водяной пар с толщиной в 1мм соответствует с учетом плотности воды в 1 г/см^3 массе воды в 1 кг на площади в 1 м^2 или 10^6 кг на площади в 1 км^2 . С другой стороны, известно [6], что удельная теплота фазового перехода воды составляет $2,5 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$. Таким образом, при толщине осажденного пара в 1 мм величина скрытой теплоты конденсации составит $2,5 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$ на площади в 1 км^2 .

Результаты расчета представлены на рис. 4, из которого следует, что с нарастанием интенсивности тропического циклона, в частности скорости ветра в стене глаза, за период 01.06 – 03.06.2007 (см. пп. 4-11 таблицы 1) постепенно увеличивается и суммарная скрытая энергия в области водяного пара за счет «вытягивания» массы водяного пара из экваториальной области (о чем свидетельствуют анимация, приведенная в докладе). К концу 03.06 и в начале суток 04.06 происходит резкая интенсификация тропического циклона (см. пп. 12-16 таблицы 1и рис.4) и в момент максимальной стадии развития, энергия в области водяного пара понижается приблизительно на $0,5 \cdot 10^{20} \text{ Дж}$. Можно предположить, что именно это количество скрытой энергии пошло на увеличение кинетической энергии циклона, поскольку в окрестности циклона отсутствует какой – либо другой источник энергии с равнозначной мощностью. После чего, в процессе снижения интенсивности циклона и диссипации, область водяного пара диффундирует, занимая достаточную площадь, и с дальнейшим поглощением всей структуры (включая и унесенную циклоном область водяного пара) крупномасштабной циркуляцией умеренных широт, которая простиралась от пустыни Руб-эль-Хали до Иранского плоскогорья.

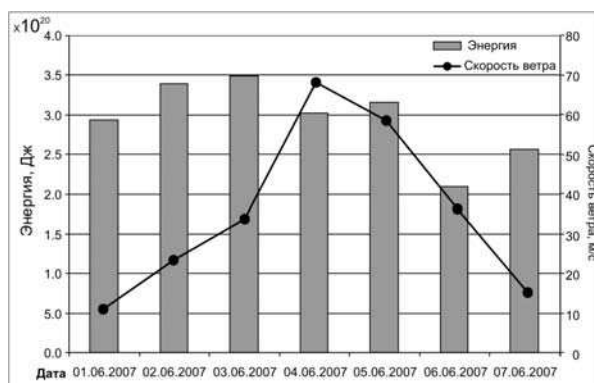


Рис. 4. Распределение энергии по времени жизни тропического циклона

Обсуждение результатов

Детальный анализ энергетических особенностей тропического циклона GONU на основе метода «слияния» по разномасштабным данным спутникового дистанционного зондирования показывает, что тропический циклон пятой категории “GONU”, сформировавшийся и развившийся в акватории Аравийского моря вблизи западного побережья Индии, и дальше и функционировал в непосредственной близости от аравийской пустыни Руб-эль-Хали и индостанской пустыни Тар в условиях достаточно «сухой» атмосферы над Аравийским морем. Единственным источником скрытой теплоты энергии для его функционирования и интенсификации может быть значительная область водяного пара, захваченная тропическим циклоном из тропической зоны с муссонной циркуляцией и значительно превышающая его размеры, стандартно определяемые из данных оптических и ИК наблюдений, т.е. оптически идентифицируемые облачные системы. Именно из этой зоны тропический циклон может достаточно быстро черпать энергию в виде скрытой теплоты, тогда как механизм испарения с поверхности океана достаточно медленный [2]. Такой механизм «захвата» тропическим циклоном области водяного пара может иметь условное наименование «модель верблюда», имея ввиду известное свойство жизнедеятельности коренных обитателей пустынь. Следует также иметь в виду, что подобного вида эффект был также зафиксирован при эволюции тропических циклонов в северной Атлантике при анализе динамики поля микроволнового собственного излучения в диапазоне 22.2 ГГц (линия излучения водяного пара), правда, без восстановления поля интегрального водяного пара и, соответственно, энергетика процесса [7 - 9]. Повидимому, все тропические циклоны обладают указанным свойством и благодаря этому эффекту выбрасывают огромное количество скрытой тепла в средние и высокие широты, чем и обуславливают свою несомненно кардинальную роль в формировании климатических процессов в земной атмосфере, хотя в этом есть у целого ряда исследователей сомнения [2].

Заключение

На основе исследования эволюции тропического циклона, проведенного по дистанционным данным с использованием модифицированного авторами метода, экспериментально выявлен один из главных энергетических источников функционирования тропического циклона. По результатам анализа таковым источником является область водяного пара повышенной интегральной концентрации, захваченной циклоном из тропической зоны с муссонной циркуляцией атмосферы и сохраненной им на протяжении всего этапа его эволюции. Именно из этой области тропический циклон поступает скрытая теплота, за счет которой и происходит его интенсификация.

Литература

1. *Sharkov E. A.* Global tropical cyclogenesis. // Berlin, Heidelberg, New York : Springer / PRAXIS, 2000. - 370 p.
2. *Tremberth K. E., Davis C. A., and Fasullo J.* Water and energy budgets of hurricanes: Case studies of Ivan and Katrina. // *J. Geophys. Research.* 2007. Vol. 112, D23106, doi:10.1029/2006JD008303 .
3. *Emanuel K., Sundararajan R., and Williams J.* Hurricanes and global warming. // *Bull. American Meteorological Society.* 2008. Vol. 89. N3. P. 347-367.
4. *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 3.1. (1983-2005 гг). // М.: Полиграф сервис, 2006 – 728с.
5. *Gregg W. (ed.)*. Ocean-Colour Data Merging. // Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group. 2007. N 6, IOCCG, Dartmouth, Canada. - 68 p.

6. Физический энциклопедический словарь. / Глав. ред. А.М. Прохоров.// М.: «Сов. энциклопедия», 1984. – 944 с.
7. *Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А.* Спутниковая СВЧ-радиометрия урагана ALBERTO : траектория и эволюция от тропических до средних широт. // «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов». Сб. научных статей. Выпуск 4.Том II. – М.: ООО «Азбука-2000», 2007 . С. 33-39.
8. *Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А.* Траектория и эволюция ураганов над Атлантикой : энергозапас ТЦ по данным спутникового мониторинга в микроволновом диапазоне // Пятая Юбилейная Открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12-16 ноября 2007г. Сб. тезисов конференции. [Электрон. ресурс]. Москва, 2007. С. 119.
9. *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 // Исследование Земли из космоса. 2007. № 1. С. 7-13.