

Множественная генерация тропического циклогенеза в Южном Индийском океане

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

¹ *Институт космических исследований РАН,
Москва 117997, Профсоюзная ул., 84/32*

E-mail: e.sharkov@mail.ru

² *Научный центр аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС»,
105064 Москва, Гороховский пер., 4*

E-mail: kim@isintech.ru

В работе проведен детальный анализ энергетических особенностей последовательности связанных тропических циклонов (множественный циклогенез) в океанических акваториях Южного полушария (Южный Индийский океан и юго-западная часть Тихого океана) за февраль 2008 г. на основе метода «слияния» разно- масштабным данным спутникового оптического и радиотеплового дистанционного зондирования. Были использованы данные ИК тепловых каналов геостационарного ИСЗ Meteosat-7, а также продуктов восстановления интегрального водяного пара по данным микроволнового комплекса AMSR-E ИСЗ Aqua. По результатам анализа наблюдательных данных показано, что наиболее эффективным каналом перекачки энергии скрытой теплоты из тропиков в средние широты является область водяного пара повышенной интегральной концентрации, захваченной каждым из циклонов в тропической зоне и сохраненной им на протяжении всего этапа его эволюции при помощи джетового спирального «моста». Принципиально новым результатом, полученным в данном исследовании, являются количественные оценки скрытой энергии центральной экваториальной области водяного пара во внутритропической зоне конвергенции Индийского и Тихого океанов, а также обнаружение значительных временных вариаций скрытой теплоты, связанной с выбросом в высокие широты множественным циклогенезом связанных областей водяного пара.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 09-05-01019-а.

Ключевые слова: тропические циклоны, интегральный водяной пар, микроволновое дистанционное зондирование.

Введение

Одним из важнейших климатообразующих факторов на Земле считается много- масштабное (в пространстве и времени) взаимодействие океана и атмосферы, складывающееся из многообразных процессов обмена энергией, импульсом и веществом. При этом одним из важных элементов при перекачке энергии из тропической зоны системы океан – атмосфера в средние и высокие широты является эволюция интенсивных вихревых возмущений (тропические циклоны – ТЦ), при поддержке которых происходит формирование своеобразных каналов перекачки энергии, в первую очередь, в виде компактных областей скрытой теплоты водяного пара. Эта проблема тесно связана с задачей изучения возможных вариаций климата планеты.

Впервые этот эффект был обнаружен авторами работы [Шарков и др., 2008], в которой при мультиспектральном дистанционном изучении эволюции тропического циклона Gonu (Аравийское море, Северный Индийский океан; 31.05.2007–08.06.2007) было показано, что компактная область водяного пара была захвачена самим ТЦ из экваториальной зоны водяного пара внутритропической зоны конвергенции (своего рода «эффект захвата») и «вброшена» во фронтальную зону умеренных широт, простирающуюся от пустыни Руб-эль-Хали до Иранского плоскогорья. Аналогичный результат был получен несколько позже авторами работы [Ким и др., 2009] при выявлении основного энергетического источника функционирования тропического циклона Hondo в акватории Южного

Индийского океана в гидрометеорологических условиях, принципиально отличающихся от условий эволюции ТЦ Gonu.

Целью настоящей работы является исследование механизма переброса скрытой теплоты экваториальной зоны водяного пара в средние широты при помощи множественного тропического циклогенеза океанических акваторий Южного полушария (Южный Индийский океан и юго-западная часть Тихого океана) по данным спутниковых наблюдений.

Эволюция множественного тропического циклогенеза

Множественный циклогенез в Южном Индийском океане за февраль 2008 г. был сформирован тремя сильными тропическими циклонами (ТЦ Hondo-I, Ivan, Nicholas) и тремя формами тропических возмущений (TD 17S, Hondo-II, TL), значительно более слабых по своим динамическим свойствам, чем вышеупомянутые ТЦ, но которые, тем не менее, внесли свой заметный вклад в общую картину переброса скрытой теплоты. Хронология и траектории тропических циклонов и возмущений, возникших в Южном Индийском океане и юго-западной части Тихого океана в период с 25 января по 14 марта 2008 г. (по данным официальных источников), представлены на рис. 1, и на фоне глобального поля водяного пара (за 5 февраля 2008 г.) – на рис. 2. Основные характеристики ТЦ и ТВ в Южном Индийском океане за февраль 2008 г. представлены в таблице, которая была заимствована из электронной базы данных «Глобал-ТЦ» и сформирована с использованием методик препроцессинга [Покровская, Шарков, 2006] для исходных («сырых») данных, представленных на международном сайте <http://www.solar.ifa.hawaii.edu>).

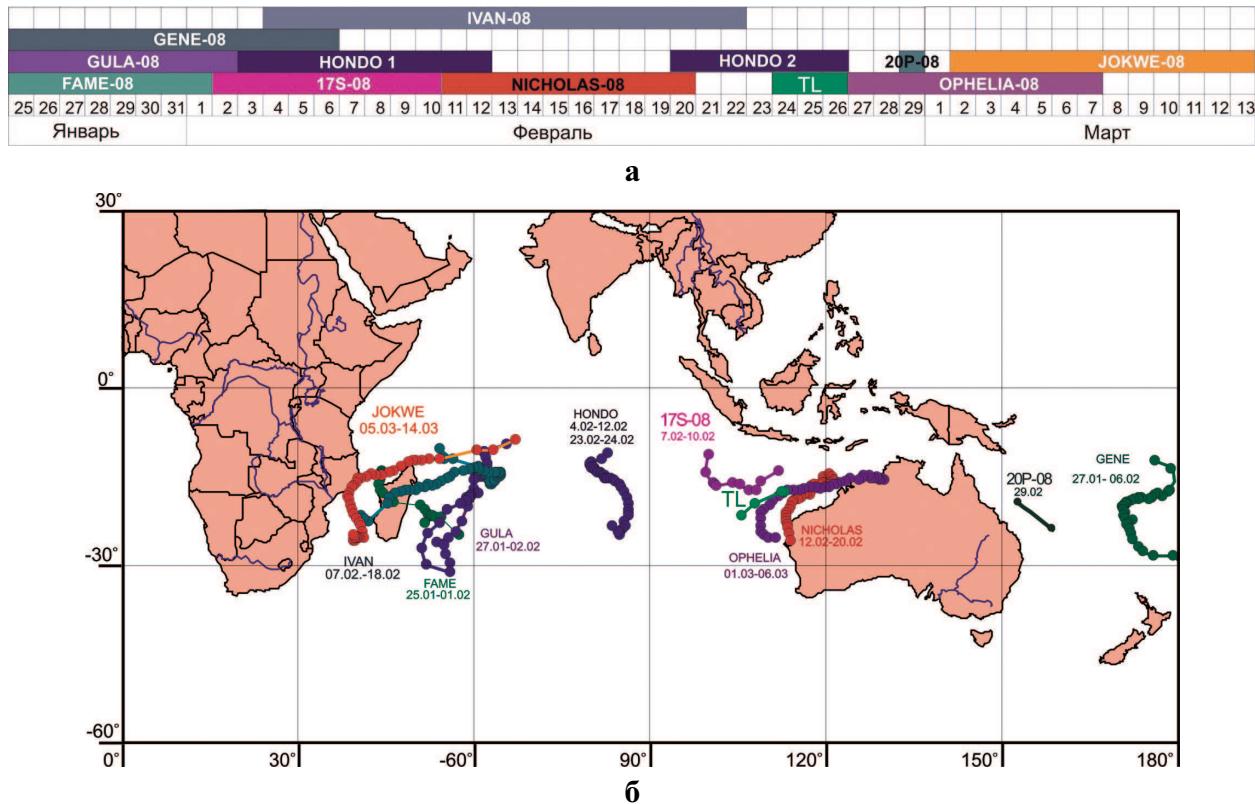


Рис. 1. Хронология (а) и траектории (б) тропических циклонов, возникших в Южном Индийском океане и юго-западной части Тихого океана в период с 25 января по 14 марта 2008 г. (по данным официальной версии с сайта <http://www.solar.ifa.hawaii.edu>)

Основные характеристики тропических возмущений в Южном Индийском океане (февраль 2008 г.)

№ н/н	Номер классификаци и и имя возмущения	Даты существовани я возмущения	Дата переход а в стадию ТЦ	Координаты перехода в стадию ТЦ		Дата диссипации возмущени я	Координаты диссипации возмущения	Максимальная стадия развития и период ее существования	Скорость ветра в период максимальной стадии развития, м/с
				широта	долгота				
1	SIO 08-3 17 S	2.02–10.02	—	—	—	10.02	13,8	112,2	TD 4.02–10.02 15
2	SIO 0803 Hondo-I	2.02–12.02	5.02	-13,4	80,4	12.02	-23,1	83,9	T 5.02–10.02 62
3	SIO 0804 Ivan	4.02–22.02	7.02	-13,9	61,3	22.02	-21,8	41,6	T 15.02–17.02 51
4	SIO 0805 Nicholas	10.02–20.02	13.02	-14,9	119,8	20.02	-25,6	114,2	T 16.02–18.02 41
5	SIO 0803 Hondo-II	20.02–26.02	—	—	—	26.02	-31,1	56,2	TD 21.02–24.02 15
6	SIO 08-6 TL	24.02–26.02	—	—	—	26.02	-21,3	105,9	TL 24.02–26.02 11

Причина. Номера классификации ТЦ даны в соответствии с международной классификацией. Номера классификации ТД и ТЛ даны в соответствии с методологией работы [Покровская, Шарков, 2006]. Стадии развития возмущения: ТД — тропическая депрессия, ТЛ — первичное тропическое возмущение, Т — тайфун.

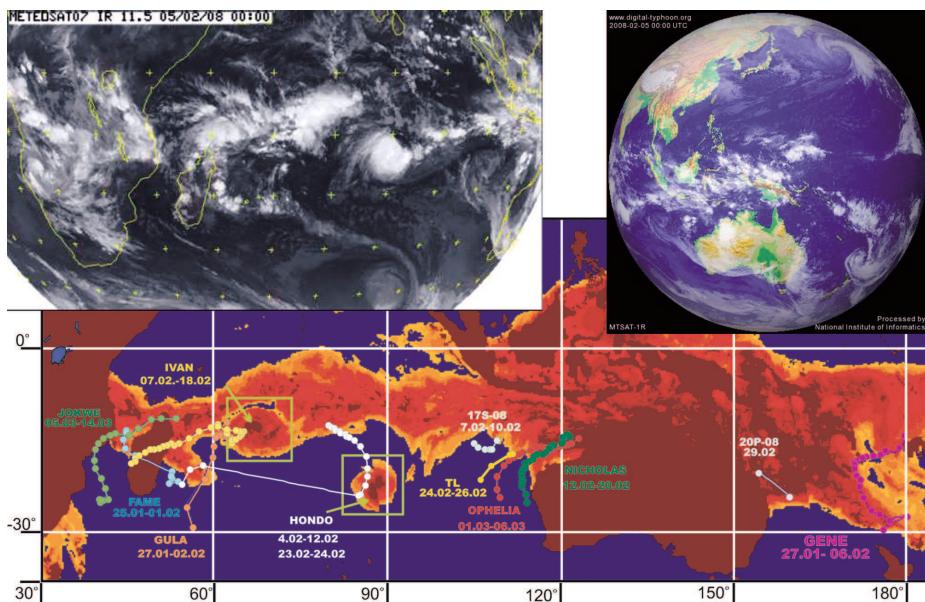


Рис. 2. Глобальное поле водяного пара в акваториях Индийского и Тихого океанов за 5 февраля 2008 г. с нанесенными на него траекториями ТЦ за период с 25 января по 14 марта 2008 г.

На вставках: слева вверху – фрагмент (в области экватора) ИК-изображения геостационарного ИСЗ Meteosat-7 за 5 февраля 2008 г.; справа вверху – полное оптическое изображение Земли с геостационарного ИСЗ MTSAT-1M за 5 февраля 2008 г.

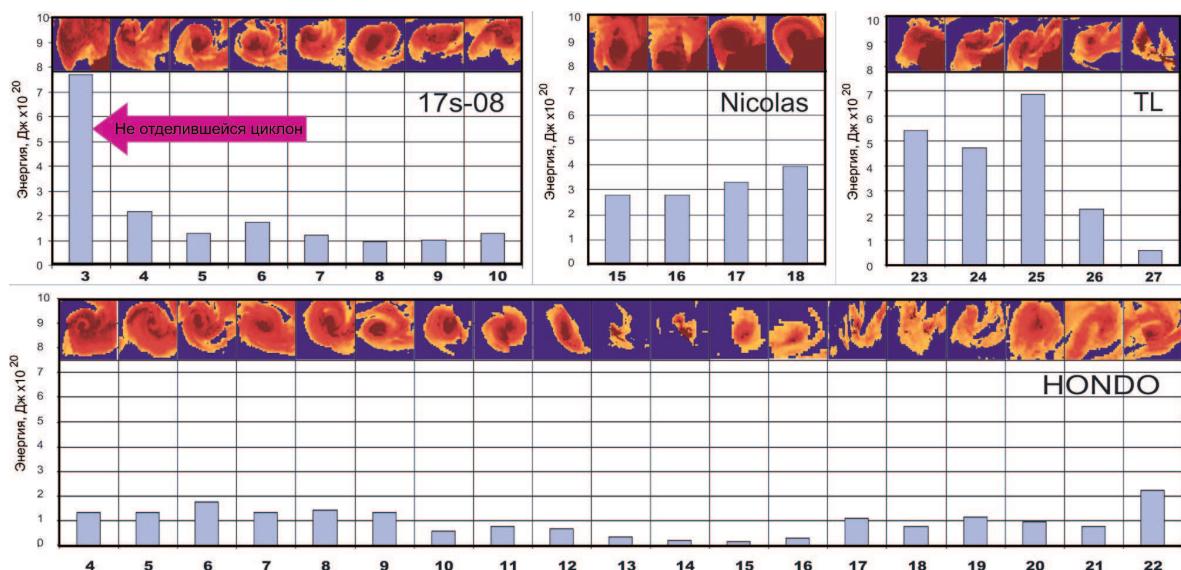


Рис. 3. Временная эволюция скрытой теплоты в дочерних зонах водяного пара, приуроченных к ТЦ Hondo-I (4–16 февраля 2008 г.) и тропической депрессии Hondo-II (17–22 февраля 2008 г.); ТЦ Nicholas (15–18 февраля 2008 г.); тропическая депрессия 17S-08 (3–10 февраля 2008 г.); первичное тропическое возмущение TL (24–27 февраля 2008 г.). Цветные фрагменты сверху каждого графика демонстрируют области водяного пара, по которым выполнено интегрирование

Тропическая депрессия SIO 08-3 (см. табл.) образовалась в восточной части Индийского океана 2 февраля и, медленно перемещаясь в восточном направлении, просуществовала до 10 февраля, диссирировав в районе Тиморского моря.

Первичное тропическое возмущение **ТЦ Ivan** (SIO 0804) (см. табл.) было зафиксировано 4 февраля в 03 ч в районе $11,7^{\circ}$ ю.ш., $55,3^{\circ}$ в.д. и представляло собой размытую, плохо организованную облачную систему. Давление в центре составляло 1003 мб, скорость приземного ветра около 10 м/с. В течение 5 и 6 февраля появились признаки усиления возмущения и

в 18 ч 6 февраля было зафиксировано возникновение тропической депрессии. Облачный массив стал более плотным и организованным (рис. 3; кадры видимого диапазона). 7 февраля в 12 ч тропическая депрессия перешла в стадию тропического шторма. К этому времени облачный массив представлял собой плотную продолговатую окружность, обособленную с запада и соединенную на востоке и северо-востоке размытой линией облачности с зоной конвергенции. Интенсификация происходила достаточно быстро и к 18 ч возмущение перешло в стадию сильного тропического шторма. В облачной системе появились облачные хвосты. В течение 11–14 февраля интенсивность шторма периодически менялась, то усиливаясь, то ослабевая, при этом он сохранял очень слабое западное направление движения. 12 февраля был зафиксирован облачный глаз. 13 февраля облачный массив приобрел неясные очертания, интенсивность снизилась до стадии тропического шторма. 14 февраля облачный диск вновь приобрел четкие очертания с хорошо выраженным облачными хвостами. 15 февраля, медленно приближаясь к северо-восточному побережью Мадагаскара, смещаясь над островами в открытом теплом океане, в области со слабым сдвигом ветра в средней атмосфере, шторм усилился до стадии тайфуна, вновь появился облачный глаз. В течение 16 февраля в стадии тайфуна скорость ветра составляла около 50 м/с. ТЦоказал катастрофическое влияние на экологию северо-восточного побережья Мадагаскара. 17 февраля положение облачного глаза было зафиксировано в районе города Мананара на восточном побережье острова. Смещаясь над островом к западу-юго-западу по северо-западной периферии субтропического гребня, система быстро теряла свою интенсивность и к 18 февраля превратилась в стадию тропической депрессии, скорость ветра уменьшилась до 15 м/с. В течение 19–20 февраля, смещаясь в юго-западном, а затем в юго-восточном направлениях над водами пролива в стадии слабого тропического возмущения, облачная система циркуляции увеличилась в размерах, но стала плохо организованной. В течение трех последующих суток система медленно смещалась в юго-юго-восточном направлении, трансформируясь в систему умеренных широт и окончательно диссирировала в районе 30° ю.ш.

Первичное тропическое возмущение ТЦ **Hondo-I** (SIO 0803) (см. табл.) возникло 2 февраля в 15 ч (по Гринвичу) на южной периферии внутритеческой зоны конвергенции в районе 11° ю.ш., 83° в.д. и представляло собой размытый плохо организованный облачный массив. Давление на уровне моря составляло 1004 мб, скорость ветра около 10 м/с. В течение следующих суток происходило усиление грозовой активности, давление в центре системы упало на 4 мб, что способствовало интенсификации возмущения и переходу его в стадию тропической депрессии. Облачный диск приобрел более четкие очертания. 5 февраля при благоприятных окружающих условиях произошло усиление ветра и переход возмущения в тропический шторм. Давление упало до 997 мб, скорость ветра возросла до 18 м/с. В течение суток возмущение быстро усиливалось, появилось плотное центральное ядро небольших размеров с хорошо выраженным облачными хвостами. 6 февраля в 00 ч возмущение достигло стадии тайфуна, давление в центре продолжало быстро падать, образовался облачный глаз. Слабый сдвиг ветра под высотным гребнем расположенным на уровне поверхностей 700 и 500 мб, высокий уровень дивергенции создавали благоприятные условия для дальнейшего усиления возмущения. 7 февраля в 18 ч возмущение достигло пика своей интенсивности. Давление в центре упало до 906 мб, скорость ветра достигла 62 м/с. В течение суток тайфун продолжал смещаться с небольшой скоростью в юго-восточном направлении.

В течение 8 и 9 февраля интенсивность тайфуна менялась мало, давление оставалось на уровне 925 мб, скорость ветра была 54–51 м/с. Общий размер системы оставался

небольшим. Двигаясь на юго-юго-запад, тайфун смещался в район с холодной морской поверхностью, где температура составляла 25–26 °С. 10 и 11 февраля происходило постепенное ослабление возмущения, давление в центре быстро росло, скорость ветра уменьшилась до 23 м/с, глубокая конвекция ослабела. 12 февраля, смещаясь западу-северо-западу вдоль периферии субтропического гребня, вся система сильно ослабела, глубокая конвекция в системе отсутствовала, возмущение разрушилось.

Первичное тропическое возмущение ТЦ **Nicholas** (SIO 0805) было зафиксировано 10 февраля в 21 ч в районе 15,8° ю.ш., 122,6° в.д. у северо-западного побережья Австралии в Тиморском море и представляло собой очень размытую облачную систему, расположенную на южной стороне внутритеопической зоны конвергенции (ВЗК). 12 февраля в 12 ч тропическое возмущение перешло в стадию тропической депрессии, образовалось плотное облачное ядро с размытыми краями. Отметим, что близость Австралийского побережья (менее 300 км) не препятствовала усилию возмущения. 13 февраля возмущение усилилось до стадии тропического шторма и продолжало существовать в этой стадии в течение 14 февраля. Скорость ветра составила 21 м/с, давление 980 мб. В облачной системе вихря стали видны плотный облачный центральный массив и изогнутые облачные хвостовые полосы в юго-восточном секторе, которые распространились на территорию Австралии.

15 февраля шторм усилился до стадии сильного тропического, скорость ветра в центре достигла 28 м/с, давление – 966 мб. 16 февраля шторм усилился до стадии тайфуна и просуществовал в ней до 18 февраля. Максимальная скорость ветра составила 44 м/с, давление упало до 944 мб. Облачный диск увеличил свои размеры, появились хорошо выраженные хвостовые изогнутые облачные полосы в северо-западном секторе. Вся вихревая система находится на близком расстоянии от побережья. В течение 17–18 февраля произошло некоторое ослабление шторма, который продолжал смещаться вдоль западного побережья Австралии. Облачный массив размылся, и тайфун перешел в стадию сильного тропического шторма. 19 февраля вихревая система ТЦ продолжала медленно смещаться в южном направлении с непосредственным выходом на сушу и последующей диссипацией 20 февраля.

Как было показано в работе [Ким и др., 2009], остаточная форма ТЦ **Honda-I** 20 февраля была втянута в область влияния ТЦ **Ivan** и, благодаря возникновению двух джетовых спиральных мостов с основным полем водяного пара, произошла ее трансформация в форму тропической депрессии **Hondo-II** (SIO 0803) (см. табл.). Указанная облачная система сопровождалась активными грозовыми штормами. Смещение в северо-западном направлении по периферии субтропического гребня способствовало усилию приземного ветра до 15 м/с и возникновению тропической депрессии. В течение 22–23 февраля ослаблению возмущения препятствовал теплый океан и благоприятные атмосферные условия. 24 февраля, продолжая свое движение к югу, система переместилась на холодную морскую поверхность с температурой 26° С и ослабела. 25–26 февраля, двигаясь в юго-юго-восточном направлении вокруг субтропического гребня, возмущение медленно трансформировалось в систему умеренных широт в районе 30° ю.ш. и 60° в.д. Указанная достаточно необычная эволюционная история ТЦ **Hondo** была зафиксирована на международном сайте <http://www.solar.ifa.hawaii.edu>, и авторами настоящей работы воспроизведена в художественной форме на рис. 1 работы [Ким и др., 2009].

Исходные данные спутникового зондирования

Исходными данными для работы послужили данные микроволновых комплексов AMSR-E ИСЗ Aqua с сайта <http://www.remss.com> (Remote Sensing Systems) с, обновляющиеся в реальном режиме времени, а также ИК-изображений акватории Южного Индийского океана и части Тихого океана с геостационарного ИСЗ Meteosat-7. На основе временной серии микроволновых изображений был сформирован анимационный фильм по эволюции глобального поля интегрального водяного пара экваториальной области, который был представлен авторами на Седьмой Всероссийской открытой ежегодной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» [Шарков и др., 2009]

В работе были использованы пространственно-временные комбинации изображений продуктов восстановления интегрального содержания водяного пара в атмосфере и ИК-изображений облачных систем, приведенные к одинаковому масштабу методом слияния, поскольку только в таком случае наиболее полно отражаются процессы энергетических преобразований, проходящие в тропической зоне.

Полный алгоритм восстановления данных о полном содержании влаги в атмосфере подробно описан на сайте www.ssmi.com/amsr/amsr_data_description.html#amsre_data. 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 глобального поля интегрального водяного пара экваториальной зоны Индийского и Тихого океанов при возникновении в нем тропических возмущений на основе пространственно-временного метода «слияния». Метод представляет собой развитие методики формирования и накопления информации по разномасштабным данным спутникового дистанционного зондирования, которая применяется для исследования практически стационарных объектов и полей на земной поверхности. В случае же его использования для таких быстропротекающих процессов как пространственно-временная эволюция глобального поля водяного пара и эволюция тропических циклонов требуется существенная корректировка метода, которая впервые проведена авторами при анализе эволюции ТЦ Gonu и Hondo [Шарков и др., 2008; Ким и др., 2009] и в настоящей работе усовершенствована.

Целью работы, как было сказано выше, являлась оценка общей энергетики материнской области водяного пара ВЗК и областей интегрального водяного пара, «сопровождающего» тропический циклон и тропические возмущения («дочерние» поля), с применением готовых продуктов обработки спутниковых данных. Как было сказано выше, в работе были использованы данные ИК-каналов геостационарного ИСЗ Meteosat-7 и продукт восстановления интегрального водяного пара по данным микроволнового комплекса AMSR-E ИСЗ Aqua, которые были обработаны по предлагаемому авторами алгоритму. Детальный анализ разработанной авторами системы обработки исходной информации представлен в работе [Ким и др., 2009]. Здесь же остановимся на дополнительных особенностях, связанных с исследованием множественного циклогенеза, тогда как в предыдущих работах авторов речь была о индивидуальном циклогенезе [Шарков и др., 2008; Ким и др., 2009].

Для восстановления полной картины водяного пара применялись процедуры «слияния» информации, получаемые с витков на нисходящих и восходящих орбитах (ИСЗ Aqua) с последующим устранением лакун с помощью метода линейной интерполяции данных по координатам и времени. Таким образом был получен массив данных содержания водяного пара для всей акватории Мирового океана, где один пиксель соответствовал площади земной поверхности от 10 до 28 км (из-за особенностей проекции). В качестве примера на рис. 2 приведена глобальная карта интегрального содержания водяного пара по акваториям Мирового океана, усредненная за сутки, с выделением исследуемых ТЦ и ТВ в Южном Индийском океане и юго-западной части Тихого океана.

Следующей задачей в расчете было выделение областей интегрирования, т. е. распознавание образа глобального поля водяного пара (материнское поле) и областей интегрального водяного пара, приуроченных к каждому этапу эволюции циклона (устойчивые «дочерние» зоны). Авторы посчитали оптимальным выделить вручную области интегрирования в поле водяного пара по целому ряду причин. Это определялось прежде всего необходимостью выделения зоны повышенного содержания водяного пара для каждого конкретного изображения, что соответствовало конкретному этапу в эволюции каждого возмущения. Поскольку на каждом этапе эволюции ТЦ сопровождающее его поле водяного пара сложным образом эволюционировало (см. рис. 3), выполнить процедуру распознания автоматизированными методами идентификации пока не представляется возможным. Кроме того, при выделении области интегрирования на ранних этапах генезиса тропического циклона идентификация области водяного пара, сопровождающей его, трудновыполнима в зоне водяного пара внутритропической зоны конвергенции, т. е. в области своего энергетического «питания». Для того чтобы разрешить эту задачу, авторы использовали изображения ИК-диапазона, полученные с геостационарного спутника Meteosat-7, поскольку в ИК-области спектра циклон распознается по структурным особенностям облачных масс. Временной ряд композиций (кадров) попарных ИК-изображений ИЗС Meteosat-7 и поля интегрального водяного пара, приведенные к одинаковому масштабу и отображающие различные стадии эволюции и трансформации тропических циклонов и тропических возмущений за февраль 2008 г., представлены на рис. 3.

Вторым критерием выделения циклона послужило пороговое значение водяного пара, ниже которого интересующее нас образование не давало значительного вклада. Таким образом, на основании вышеперечисленных критериев выбиралась область интегрирования, по которой производился расчет интегрального содержания водяного пара с получением общего содержания пара в зоне водяного пара области ВЗК Индийского и Тихого океанов (см. рис. 2) и областей, сопровождающих тропический циклон и тропическое возмущение (см. рис. 3).

Перевод полученных значений количества влаги в величину скрытой энергии проводился исходя из следующих предположений: осажденный водяной пар толщиной 1 мм (по исходным данным) соответствует, с учетом плотности воды $1 \text{ г}/\text{см}^3$, массе воды 1 кг на площади 1 м^2 . С другой стороны, известно, что удельная теплота фазового перехода пар – вода составляет $2,5 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$. Таким образом, при толщине осажденного пара 1 мм величина скрытой теплоты конденсации составит $2,5 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$ на площади 1 км^2 . Площадь зоны интегрирования из пикселей, в которых она была представлена в исходном массиве данных, переведена в квадратные километры, для чего рассчитан массив перевода площади. В результате всех этих шагов получены значения энергии скрытой теплоты материнского

поля водяного пара для ВЗК и сопровождающих тропические циклоны областей водяного пара (Дж) на всех стадиях их эволюции, которые представлены на рис. 3–5.

Пространственно-временная эволюция тропического циклогенеза в глобальном поле водяного пара

Прежде всего укажем на то, что, ввиду высокой пространственно-временная вариабельности оптических полей и полей водяного пара и в глобальном (см. рис. 2) и в региональном масштабах, отсутствует полная тождественность в облачном поле и поле водяного пара при суточном временном усреднении. Это хорошо видно при сопоставлении глобального поля водяного пара Индийского и Тихого океанов с изображениями в ИК и видимом диапазонах с геостационарных ИСЗ (см. рис. 2).

В результате применения модифицированного авторами метода слияния данных были получена временная серия сдвоенных кадров за весь цикл эволюции пяти тропических возмущений (см. табл.), скомбинированных в одном масштабе и включавших в себя изначально разномасштабные космические ИК-изображения, полученные с ИСЗ Meteosat-7, а также изображения областей интегрального водяного пара как продукта по микроволновым данным ИСЗ Aqua. По полям интегрального водяного пара (см. рис. 3) производились дальнейшие энергетические расчеты. Из анализа скомбинированных изображений непосредственно следует, что область повышенного содержания интегрального водяного пара соответствует облачному массиву тропического циклона. Эта область в поле водяного пара как бы приурочена к центру действия циклона. Однако сама область водяного пара имеет пространственные размеры существенно большие, чем отражено облачными структурами в видимом диапазоне. Отметим, что данное утверждение относится к ситуации, когда тропическое возмущение «вышло» из области интегрального водяного пара ВЗК и связано с этой областью джетовым спиральным мостом. Как мы уже отмечали в работах [Шарков и др., 2008; Ким и др., 2009], именно этот элемент поля водного пара, скорее всего, ответственен за энергозапас скрытого тепла ТЦ, который циклон «несет» на себе. Важно отметить, что анализ данных рис. 3 и 2 показывает, что аналогичная ситуация имеет место и при эволюции первичных тропических возмущений и тропических депрессий. И самое интересное заключается в том, что энергозапас дочерней области водяного пара ТВ и ТД вполне сопоставим с энергозапасом ТЦ, а в ряде случаев и превышает его (см. диаграммы TL и 17 S на рис. 3). На это обстоятельство указывает и диаграмма Hondo (см. рис. 3), где приведены одновременно в одинаковом масштабе энергозапасы ТЦ Hondo-I и ТД Hondo-II.

Теперь рассмотрим эволюцию суточного значения энергии скрытой теплоты поля водяного пара, сопровождающего структуры ТЦ, ТД и ТВ с 3 по 27 февраля 2008 г. Если предположить, что энергетическое взаимодействие рассматриваемых (см. табл.) тропических структур не происходит, то их общий вклад в энергетику скрытого тепла Южного Индийского океана (на суточном интервале), вынесенного в средние широты из ВЗК, можно представить как сумму их составляющих (см. рис. 4). Анализ данных рис. 4 показывает, что общий ежесуточный вынос скрытого тепла тропическими системами значителен и обладает большими суточными вариациями — от $1,5 \cdot 10^{20}$ до $1,4 \cdot 10^{21}$ Дж, т. е. практически на порядок. При этом с 4 по 14 февраля перенос скрытой теплоты практически не менялся и составлял около $4 \cdot 10^{20}$ Дж.

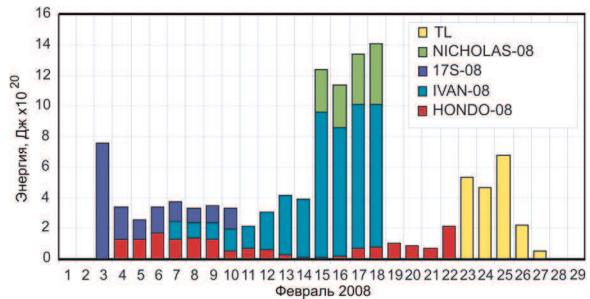


Рис. 4. Временная эволюция скрытой теплоты множественного циклогенеза Южного Индийского океана за февраль 2008 г., который включал в себя ТД 17 S-08, ТЦ Hondo-I, ТД Hondo-II, ТЦ Ivan, ТЦ Nicholas и ТВ TL

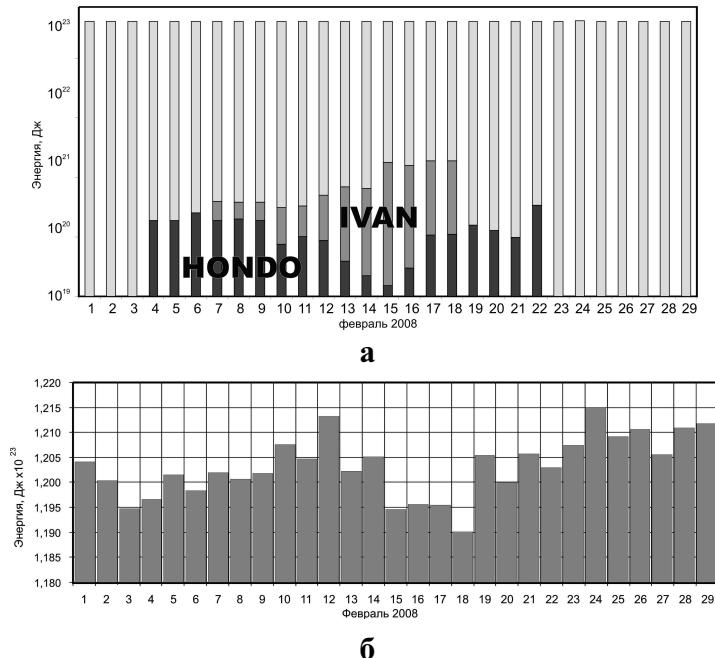


Рис. 5. Временная эволюция скрытой теплоты поля водяного пара материнского поля ВЗК и двух ТЦ – Hondo и Ivan: а – график в полулогарифмическом масштабе; б – временной ряд энергии скрытой теплоты материнского поля зоны ВЗК в Индийском и Тихом океанах в линейном масштабе

Построение по принятой авторами методике глобального поля водяного пара Индийского и Тихого океанов позволяет дать важные оценки скрытой энергии центральной экваториальной зоны водяного пара во внутритропической зоне конвергенции Индийского и Тихого океанов (Южное полушарие), а также обнаружение вариаций скрытой теплоты, связанной с переносом в высокие широты множественным циклогенезом связанных областей водяного пара. Оценка энергосодержания скрытой теплоты материнской экваториальной ВЗК (Южное полушарие в феврале 2008 г. с суточным усреднением) проводилось по той же методике, что и для индивидуальных тропических возмущений. Из анализа данных рис. 5, приведенных в линейном масштабе, следует, что среднее значение скрытой теплоты материнской экваториальной ВЗК составляет достаточно стабильную величину около 10^{23} Дж с небольшими временными суточными вариациями около 1 процента. Оценка энергопереноса скрытой теплоты одним ТЦ и ТВ из материнского поля (см. рис. 5) составляет от 0,1 до 1 процента от общей энергии материнского поля. Важно отметить, что восстановление глобального материнского поля интегрального водяного пара происходит механизмом широтного переноса (западный перенос в тропиках) из районов Меланезии за срок порядка суток.

Заключение

По результатам анализа наблюдательных данных показано, что эффективным каналом перекачки энергии скрытой теплоты из тропиков в средние широты является область водяного пара повышенной интегральной концентрации, захваченной каждым из циклонов из тропической зоны и сохраненной им на протяжении всего этапа его эволюции при помощи джетового спирального «моста» (эффект «выброса»). Принципиально новым результатом, полученным в данном исследовании, является оценки скрытой энергии центральной экваториальной зоны водяного пара во внутритерапической зоне конвергенции Индийского и Тихого океанов (Южное полушарие), а также обнаружение вариаций скрытой теплоты, связанной с выбросом в высокие широты множественным циклогенезом связанных областей водяного пара. Оценка энергосодержания скрытой теплоты материнской экваториальной ВЗК (Южное полушарие в январе – марте) составляет около 10^{23} Дж с временными суточными вариациями около 1 процента. Оценка энергопереноса скрытой теплоты одним ТЦ и ТВ из материнского поля составляет от 0,1 до 1 процента от общей энергии материнского поля. Восстановление глобального материнского поля интегрального водяного пара происходит механизмом широтного переноса (западный перенос в тропиках) за срок порядка суток.

Литература

1. [Ким и др., 2009] Ким Г.А., Шарков Е.А., Покровская И.В. Эволюция и энергетическая структура тропического циклона Hondo по данным оптико-микроволнового спутникового зондирования // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса: Физ. основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. науч. статей. Вып. 6. Т. 2. М.: Азбука-2000, 2009. С. 126–136.
2. [Покровская, Шарков, 2006] Покровская И.В., Шарков Е.А. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 3.1. (1983–2005). М.: Полиграф сервис, 2006. 728 с.
3. [Шарков и др., 2008] Шарков Е.А., Ким Г.А., Покровская И.В. Эволюция и энергетические особенности тропического циклона “GONU” с использованием метода «слияния» разномасштабных дистанционных данных // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса: Физ. основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. науч. статей. Вып. 5. Т. 1. М.: Азбука-2000, 2008. С. 530–538.
4. [Шарков и др., 2009] Шарков Е.А., Ким Г.А., Покровская И.В. Множественная генерация тропических циклонов в Южном Индийском океане // 7-я Всерос. открытая ежегодная конф. «Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 16–20 ноября 2009 г.: Сб. тез. конф. [Электрон. ресурс]. М.: ИКИ РАН, 2009. С. 179.

The Plural Generation of Tropical Cyclogenesis in the South Indian Ocean

E.A. Sharkov¹, G.A. Kim², I.V. Pokrovskaya¹

¹ *Space Research Institute RAS,
Moscow 117997, Profsouznaya str., 84/32*

E-mail: easharkov@iki.rssi.ru

² *Scientific Center of Aerospace Monitoring “Aerocosmos”
105064 Moscow, Gorochovski by-str., 4*

E-mail: kim@isintech.com

In the paper, the detailed analysis of tropical cyclogenesis energy evolution in South Indian Ocean (January – March 2008) in the global water vapor field by IR and microwave multi-scale satellite data has been studied. On the base of TC evolution investigation it was experimental detected one of main energy sources of functioning of the tropical cyclone. As a result of studies it was shown that the only feasible source is the precipitable water vapor field that TC captured from tropical zone with monsoonal circulation and conserved during all evolution stage. The estimations of the global water vapor latent energy and its temporal variations were performed. The estimation of latent energy capture by TC from the global water vapor equatorial field was first carried out.

Keywords: tropical cyclones, precipitable water vapor, microwave remote sensing.