

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МНОЖЕСТВЕННОГО ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА ПО МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫМ СПУТНИКОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

© 2011 г. Е. А. Шарков<sup>1,\*</sup>, Г. А. Ким<sup>2</sup>, И. В. Покровская<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН, Москва

<sup>2</sup> Научный центр аэрокосмического мониторинга “АЭРОКОСМОС”, Москва

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

Поступила в редакцию 01.06.2010 г.

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” разномасштабных данных спутникового ИК и радиотеплового 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 из тропической зоны 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 зоны 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.

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

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших климатообразующих факторов на Земле считается многомасштабное (в пространстве и времени) взаимодействие океана и атмосферы, складывающееся из многообразных процессов обмена энергией, импульсом и веществом. При этом одним из фундаментальных вопросов является вопрос выявления роли и вклада во взаимодействие океан-атмосфера интенсивных вихревых тропических возмущений (ТВ) и в первую очередь наиболее мощных из них — тропических циклонов (ТЦ) (Шарков, 1997, 2010; Henderson-Sellers et al., 1998; Sharkov, 1998, 2000; Trenberth, Fasullo, 2007; Vecchi, Soden, 2007; Webster et al., 2005). В подавляющем количестве работ, посвященных этой тематике, в качестве основного механизма при взаимодействии ТЦ с океанической средой рассматривается формирование потоков скрытой теплоты с поверхностного слоя океана при помощи конвективной активности в циркуляционной системе урагана. Такая постановка вопроса (т.н. “конвективная гипотеза”), являющаяся исторически традиционной и имеющая большое количество приверженцев, в конечном итоге приводит к проблеме пространствен-

но-временной эволюции поля поверхностной температуры Мирового океана (ТПО) и его влияния на тропический циклогенез (Голицын, 2008; Грей, 1985; Палмен, Ньютон, 1973; Тараканов, 1980; Шарков, Покровская, 2010; Hassim, Walsh, 2008; Semmler et al., 2008; Trenberth, Fasullo, 2007; Vecchi, Soden, 2007; Webster et al., 2005). Другими словами, “конвективная гипотеза” в качестве главного энергетического источника для функционирования тропического циклогенеза рассматривает энергозапас верхнего слоя Мирового океана.

Однако за последнее время появились явные признаки неудовлетворительности такой точки зрения, например, в связи с катастрофически быстрой перестройкой и интенсификацией ТЦ Katrina. Фундаментальным вопросом при первоначальном циклогенезе и интенсификации различных форм ТЦ является выявление мощного и (главное) малоинерционного источника энергии, за счет которого чрезвычайно быстро происходят интенсификация и формирование зрелых форм ТЦ. В работах (Ким и др., 2009; Шарков и др., 2008) экспериментально показана возможность существования принципиально иного механизма интенсификации ТЦ и пе-

реброса энергии из тропической зоны системы океан–атмосфера в средние и высокие широты в виде формирования своеобразных компактных областей интегрального водяного пара повышенной интенсивности, захваченных ТЦ из экваториальной области (зона ВЗК) глобального поля водяного пара.

Впервые этот эффект был обнаружен авторами работы (Шарков и др., 2008), в которой при мультиспектральном спутниковом дистанционном наблюдении эволюции ТЦ Gopu (Аравийское море, Северный Индийский океан; 31.05.2007–08.06.2007) было показано, что компактная область водяного пара была захвачена самим ТЦ Gopu 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 позднее этим же коллективом авторов (Ким и др., 2009) при выявлении основного энергетического источника функционирования мощного ТЦ Hondo в акватории Южного Индийского океана в гидрометеорологических условиях, принципиально отличающихся от условий эволюции ТЦ Gopu.

Цель настоящей работы – исследование по данным мультиспектральных спутниковых наблюдений 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-западной часть Тихого океана).

### ЭВОЛЮЦИЯ МНОЖЕСТВЕННОГО ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА

Множественный циклогенез в Южном Индийском океане за февраль 2008 г. был сформирован тремя сильными ТЦ (Hondo-I, Ivan, Nicholas) и тремя формами ТВ (TD 17S, Hondo-II, TL), значительно более слабых по своим динамическим свойствам, чем перечисленные выше ТЦ, но, тем не менее, внесших свой заметный вклад в общую картину переброса скрытой теплоты. Хронология и траектории ТЦ 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 (см. на цветн.вклейках) и на фоне глобального поля водяного пара (5 февраля 2008г.) – на рис. 2 (на цветн. вклейках). 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 сайте <http://www.solar.ifa.hawaii.edu>.

**Тропическая депрессия 17S (SIO 08-3)** (см. таблицу) как первоначальное ТВ было зарегистрировано 2 февраля в 21:00 GMT (далее везде время указано по Гринвичу (GMT)) в акватории южного Индийского океана к югу от о. Ява. Скорость приводного ветра составляла 8–11 м/с, давление 1008 мб. Смещаясь в юго-юго-западном направлении, к 4 февраля возмущение усилилось до стадии тропической депрессии (ТД), скорость ветра возросла до 15 м/с, давление упало до 996 мб. В течение 4–9 февраля ТД оставалась в стационарном состоянии, медленно смещаясь в юго-восточном направлении, давление колебалось в пределах 1002–992 мб, скорость ветра оставалась постоянной. 9 февраля, достигнув 17° ю.ш., возмущение сменило направление движения на северное и 10 февраля в стадии ТВ в районе 14° ю.ш. разрушилось.

Первичное ТВ в стадии TL ТЦ Ivan (SIO 0804) (см. таблицу) было зафиксировано 4 февраля в 03:00 в районе 11.7° ю.ш., 55.3° 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 6 февраля в 18:00 было зафиксировано возникновение ТД. Облачный массив стал более плотным и организованным (рис. 3 на цветн. вклейках). 7 февраля в 12:00 ТД перешла в стадию тропического шторма. Интенсификация происходила достаточно быстро и к 18:00 возмущение перешло в стадию сильного тропического шторма. 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 выраженными облачными хвостами. 15 февраля, медленно приближаясь к северо-восточному побережью о. Мадагаскар, 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. ТЦ оказал катастрофическое влияние на экологию северо-восточного побережья о. Мадагаскар. 17 февраля положение облачного глаза было зафиксировано в районе г. 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 ТД, скорость ветра уменьшилась до 15 м/с, в течение 19–20 февраля смещаясь в юго-западном, а затем в юго-восточном направлениях. В течение трех последующих суток система медленно смещалась в юго-юго-восточном направлении,

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

№ п/п	Номер и имя возмущения	Даты существования возмущения	Координат генезиса ТВ		Дата перехода в стадию ТЦ	Координаты перехода в стадию ТЦ		Дата диссипации возмущения	Координаты диссипации возмущения		Максимальная стадия развития и период ее существования	V <sub>max</sub> , м/с
			φ	λ		φ	λ		φ	λ		
1	SIO 08-3 17 S	02.02–10.02	-11.0	100.3	-	-	-	10.02	-13.8	112.2	TD 04.02–10.02	15
2	SIO 0803 Hondo-I	02.02–12.02	-10.9	83.1	05.02	-13.4	80.4	12.02	-23.1	83.9	T 05.02–10.02	62
3	SIO 0804 Ivan	04.02–22.02	-11.7	55.3	07.02	-13.9	61.3	22.02	-21.8	41.6	T 15.02–17.02	51
4	SIO 0805 Nicholas	10.02–20.02	-15.8	122.6	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	-17.6	61.1	-	-	-	26.02	-31.1	56.2	TD 21.02–24.02	15
6	SIO 08-6 TL	24.02–26.02	-17.4	113.2	-	-	-	26.02	-21.3	105.9	TL 24.02–26.02	11

Примечание. Номера ТЦ даны в соответствии с международной классификацией. Номера классификации TD и TL даны в соответствии с методологией работы (Покровская, Шарков; 2006). Стадии развития возмущения: TD – тропическая депрессия, TL – первичное тропическое возмущение, T – тайфун. V<sub>max</sub> – скорость ветра в период максимальной стадии развития, φ – широта, λ – долгота – в град.

трансформируясь в систему умеренных широт, и окончательно диссипировало в районе  $30^{\circ}$  ю.ш.

Первичное ТВ **ТЦ Hondo-I (SIO 0803)** (см. таблицу) возникло 2 февраля в 15:00 на южной периферии внутритропической зоны конвергенции в районе  $11^{\circ}$  ю.ш.,  $83^{\circ}$  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 ТД. Облачный диск приобрел более четкие очертания. 5 февраля при благоприятных окружающих условиях произошли 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 выраженными облачными хвостами. 6 февраля в 00:00 возмущение достигло стадии тайфуна, давление в центре продолжало быстро падать, образовался облачный глаз. 7 февраля в 18:00 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 равнялась 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  $25^{\circ}$ – $26^{\circ}$ 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 диссипировало.

Первичное ТВ **ТЦ Nicholas (SIO 0805)** было зафиксировано 10 февраля в 21:00 в районе  $15.8^{\circ}$  ю.ш.,  $122.6^{\circ}$  в.д. у северо-западного побережья Австралии в Тиморском море и представляло собой очень размытую облачную систему, расположенную на южной стороне внутритропической зоны конвекции (ВЗК). 12 февраля в 12:00 ТВ перешло в стадию ТД, образовалось плотное облачное ядро с размытыми краями. Отметим, что близость Австралийского побережья (менее 300 км) не препятствовала усилению 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. 15 февраля шторм усилился до стадии сильного тропического шторма, скорость ветра в центре до 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 находилась на близком расстоянии от побережья. 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 Hondo-I была втянута 20 февраля в область влияния ТЦ Ivan и, благодаря установлению двух джетовых спиральных мостов с основным полем водяного пара, произошла ее трансформация в форму ТД **Hondo-II (SIO 0803)** (см. таблицу). Указанная облачная система сопровождалась активными грозовыми штормами. Смещение в северо-западном направлении по периферии субтропического гребня способствует усилению приземного ветра до 15 м/с и возникновению ТД. В течение 22–23 февраля ослаблению возмущения препятствовали теплый океан и благоприятные атмосферные условия. 24 февраля, продолжая свое движение к югу, система переместилась на холодную морскую поверхность с температурой  $26^{\circ}$ С и ослабела. 25–26 февраля, двигаясь в юго-юго-восточном направлении вокруг субтропического гребня, возмущение медленно трансформировалось в систему умеренных широт в районе  $30^{\circ}$  ю.ш.,  $60^{\circ}$  в.д. Указанная достаточно необычная эволюционная история ТЦ Hondo была зафиксирована на сайте <http://www.solar.ifa.hawaii.edu>, и авторами настоящей работы воспроизведена в художественной форме на рис. 1 в работе (Ким и др., 2009).

Первичное ТВ в стадии **TL (SIO 08-6)** было зарегистрировано 24 февраля в 02:00 в акватории южного Индийского океана к западу от северо-западного побережья Австралии. Скорость приводного ветра составляла 11–13 м/с, давление 1004 мб. В течение 25–26 февраля смещаясь в западно-юго-западном направлении возмущение постепенно ослабевало, скорость ветра уменьшилась до 5–7 м/с, давление возросло до 1006 мб и достигнув  $21^{\circ}$  ю.ш. возмущение разрушилось.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Исходными данными для работы послужили данные микроволновых комплексов AMSR-E ИСЗ Aqua, обновляющиеся в реальном режиме времени (<http://www.remss.com> (Remote Sensing Systems)), 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 эк-

ваториальной области, который и был представлен авторами на Седьмой всероссийской открытой ежегодной конференции (Шарков и др., 2009).

В работе были использованы пространственно-временные комбинации изображений 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.

Алгоритм восстановления данных о полном содержании влаги в атмосфере подробно описан на сайте — [www.ssmi.com/amsr/amsr\\_data\\_description.html#amsre\\_data](http://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 ТВ на основе пространственно-временного метода “слияния”. Метод представляет собой развитие методики формирования и накопления информации по разномасштабным данным спутникового ДЗ, которая применяется для исследования практически стационарных объектов и полей на земной поверхности. В случае же его использования для таких быстротекающих процессов, как пространственно-временная эволюция глобального поля водяного пара и эволюция ТЦ, требуется существенная корректировка метода, которая впервые проведена авторами при анализе эволюции ТЦ Goni и Hondo (Шарков и др., 2008; Ким и др., 2009), а в настоящей работе усовершенствована.

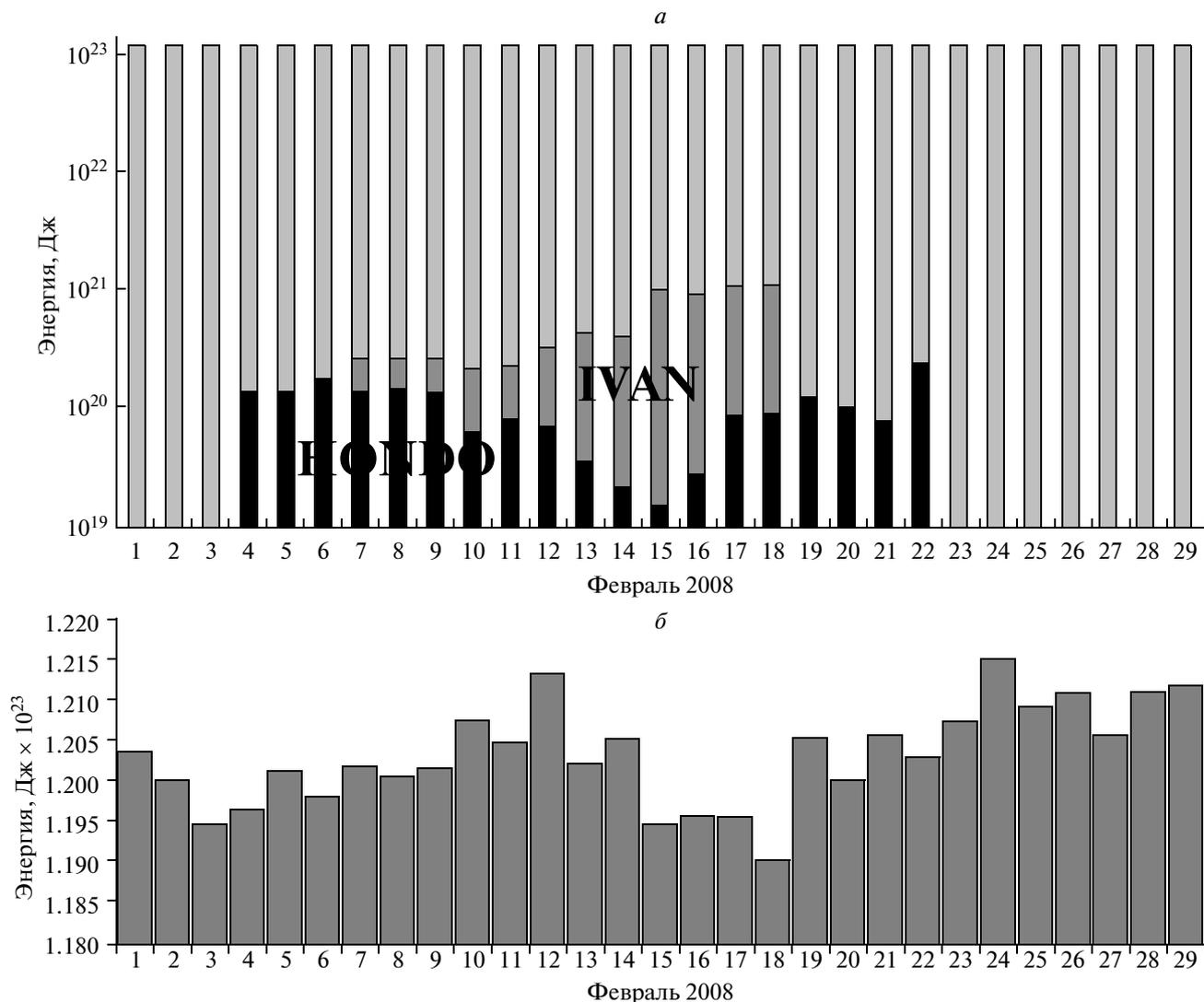
Целью работы, как было сказано выше, являлась оценка общей энергетики материнской области водяного пара ВЗК и областей интегрального водяного пара, “сопровождающего” ТЦ и ТВ (“дочерние” поля), с использованием готовых продуктов обработки спутниковых данных. Как было сказано выше, в работе использовались 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 шла об индивидуальном циклогенезе (Шарков и др., 2008; Ким и др., 2009).

Для восстановления полной картины водяного пара были произведены 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 пиксел соответствовал площади на 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, то есть 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 (рис. 3), то выполнить процедуру распознавания автоматизированными методами идентификации пока не представляется возможным. Кроме того, при выделении области интегрирования на ранних этапах генезиса ТЦ идентификация области водяного пара, сопровождающая его, трудно распознаваема в зоне водяного пара ВЗК, то есть от области своего энергетического “питания”. Для того чтобы решить эту задачу, авторы использовали изображения ИК-диапазона, полученные с геостационарного ИСЗ Meteosat-7, поскольку в ИК-области спектра ТЦ распознается по структурным особенностям облачных масс. Временной ряд композиций (кадров) попарных ИК-изображений ИСЗ Meteosat-7 и поля интегрального водяного пара, приведенных к одинаковому масштабу и отображающих различные стадии эволюции и трансформации ТЦ и ТВ за февраль 2008 г., представлен 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 перечисленных выше критериев выбиралась область интегрирования, по которой производился расчет интегрального содержания водяного пара с



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

получением общего содержания пара в зоне водяного пара области ВЗК Индийского и Тихого океанов (рис. 2) и областей, сопровождающих ТЦ и ТВ (рис. 3).

Перевод полученных значений количества влаги в величину скрытой энергии проводился исходя из следующих предположений: осажденный водяной пар с толщиной в 1 мм (по исходным данным) соответствует, с учетом плотности воды в  $1 \text{ г/см}^3$ , массе воды в 1 кг на площади в  $1 \text{ м}^2$ . С другой стороны, известно, что удельная теплота фазового перехода пар–вода составляет  $2.5 \times 10^6 \text{ Дж/кг}$ . Таким образом, при толщине осажденного пара в 1 мм величина скрытой теплоты конденсации составит  $2.5 \times 10^{12} \text{ Дж}$  на площади в  $1 \text{ км}^2$ . Площадь зоны интегрирования из пикселей, в которых она была пред-

ставлена в исходном массиве данных, была переведена в квадратные километры, для чего был рассчитан массив перевода площади. В результате всех этих шагов были получены значения энергии скрытой теплоты материнского поля водяного пара для ВЗК и сопровождающих ТЦ областей водяного пара (Дж) на всех стадиях их эволюции и представлены на рис. 3–5.

#### ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА В ГЛОБАЛЬНОМ ПОЛЕ ВОДЯНОГО ПАРА

Прежде всего, укажем на то, что ввиду высокой пространственно-временной вариабельности оптических полей и полей водяного пара в глобальном

(рис. 2) и 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 видимом и ИК-диапазонах с гео-стационарных ИСЗ (рис. 2).

В результате применения модифицированного авторами метода слияния данных была получена временная серия сдвоенных кадров за весь цикл эволюции пяти ТВ (см. таблицу), скомбинированных в одном масштабе и включивших в себя изначально разномасштабные космические ИК-изображения ИСЗ Meteosat-7, и изображения областей интегрального водяного пара как продукта выполненного по микроволновым данным ИСЗ Aqua. По полям интегрального водяного пара (рис. 3) производились дальнейшие энергетические расчеты. Из анализа скомбинированных изображений непосредственно следует, что область повышенного содержания интегрального водяного пара соответствует облачному массиву ТЦ. 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 ТВ “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 водяного пара, скорее всего, ответственен за энергозапас скрытого тепла ТЦ, который циклон «несет» на себе. Важно отметить, что анализ данных рис. 3 и рис. 2 показывает, что аналогичная ситуация имеет место и при эволюции первичных ТВ и ТД. 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 17S на рис. 3). На это обстоятельство указывает и диаграмма Hondo (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 за период 3–27 февраля 2008 г. Если предположить, что энергетическое взаимодействие рассматриваемых (см. таблицу) 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 (рис. 4 на цветн. вклейках). Анализ данных, представленных на рис. 4, показывает, что общий ежесуточный вынос скрытого тепла тропическими системами значителен и обладает большими суточными вариациями — от  $1.5 \times 10^{20}$  Дж до  $1.4 \times 10^{21}$  Дж, то есть практически

на порядок. При этом в период 4–14 февраля 2008 г. перенос скрытой теплоты практически не менялся и составлял около  $4 \times 10^{20}$  Дж.

Построение по принятой авторами методике глобального поля водяного пара Индийского и Тихого океанов позволяет давать важные оценки скрытой энергии центральной экваториальной зоны водяного пара в ВЗК Индийского и Тихого океанов (Южное полушарие), а также обнаруживать вариаций скрытой теплоты, связанной с переносом в высокие широты множественным циклогенезом связанных областей водяного пара. Оценка энергосодержания скрытой теплоты материнской экваториальной зоны ВЗК (Южное полушарие в феврале 2008 г. с суточным усреднением) проводилась по той же методике, что и для индивидуальных ТВ. 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%. Оценка энергопереноса скрытой теплоты одним ТЦ и ТВ из материнского поля (рис. 5) составляет 0.1–1% от общей энергии материнского поля. Важно отметить, что восстановление глобального материнского поля интегрального водяного пара происходит за счет механизмов широтного переноса (западный перенос в тропиках) из районов Меланезии за срок порядка 1 сут.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам анализа полученных 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, являются оценки скрытой энергии центральной экваториальной зоны водяного пара в ВЗК 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%. Оценка энергопереноса скрытой теплоты одним ТЦ и ТВ из материнского поля составляет от 0.1 до 1% от общей энергии материнского поля. Восстановление глобального материнского поля интегрального водяного пара происходит механизмами широтного переноса (западный перенос в тропиках) за срок порядка 1 сут.

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

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Голицын Г.С. Ураганы, полярные и тропические, их энергия и размеры, количественный критерий возникновения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 5. С. 579–590.
- Грей У. Генезис и интенсификация тропических циклонов // Интенсивные атмосферные вихри. М.: Мир, 1985. С. 10–31.
- Ким Г.А., Шарков Е.А., Покровская И.В. Эволюция и энергетическая структура тропического циклона Hondo 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 / Под. ред. Е.А. Лупяна, О.Ю. Лавровой Вып. 6. Т. 2. М.: Азбука-2000, 2009. С. 126–136.
- Палмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. Л. Гидрометеоздат, 1973. 398 с.
- Покровская И.В., Шарков Е.А. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Вер. 3.1. (1983-2005). М.: Полиграф-сервис, 2006. 728 с.
- Покровская И.В., Руткевич П.Б., Шарков Е.А. Сценарный принцип усвоения спутниковой и наземной информации в контексте задач исследования атмосферных катастроф // Исслед. Земли из космоса. 2004. № 3. С. 32–42.
- Тараканов Г.Г. Тропическая метеорология. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 220 с.
- Шарков Е.А. Аэрокосмические исследования тропических циклонов // Исслед. Земли из космоса. 1997. № 6. С. 87–111.
- Шарков Е.А. Дистанционные исследования атмосферных катастроф // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 1. С. 52–68.
- Шарков Е.А., Покровская И.В. Региональные тропические циклогенезы в поле поверхностной и температуры Мирового океана // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 2. С. 54–62.
- 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. Множественная генерация тропических циклонов в Южном Индийском океане // 7-я Всерос. открытая ежегодная конф. “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”. 16–20 ноября 2009 г. Москва: ИКИ РАН, Электрон. ресурс, 2009. С. 179.
- Hassim M.E.E., Walsh K.J.E. Tropical cyclone trends in the Australian region // *Geochimistry. Geophys. Geosyst.* (G<sup>3</sup>). 2008. V. 8. № 7. P. 1–17. Q07V07. doi: 10.1029/2007GC001804.
- Henderson-Sellers A., Zhang H., Berz G., Emanuel K., Gray W., Landsea C., Holland G., Lighthill J., Shieh S.-L., Webster P. McGuffie K. Tropical cyclones and global climate change: A post-IPCC Assessment // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1998. V. 79. № 1. P. 19–38.
- Semmler T., Varghese S., McGrath R., Nolan P., Wang S., Lynch P., O’Dowd C. Regional model simulation of North Atlantic cyclones: Present climate and idealized response to increased sea surface temperature // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113. № D02107. doi: 10.1029/2006JD008213.
- Sharkov E.A. Remote sensing of tropical regions. Chichester, N.Y., etc.: John Wiley and Sons / PRAXIS, 1998. 320 p.
- Sharkov E.A. Global tropical cyclogenesis. L., B., N.Y. etc: Springer / PRAXIS, 2000. 370 p.
- Tremberth K.E., Fasullo J. Water and energy budgets of hurricanes and implications for climate change // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. № D23107. doi:10.1029/2006JD008304.
- Vecchi G.A., Soden B.J. Effect of remote sea surface temperature change on tropical cyclone potential intensity // *Nature.* 2007. V. 450. № 7172. P. 1066–1070.
- Webster P.J., Holland G.J., Curry J.A., Chang H.R. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment // *Science.* 2005. V. 309. № 5742. P. 1844–1846.

## Energy Properties of the Plural Tropical Cyclogenesis in Global Water Vapor Field Using Multi-Spectral Satellite Observations

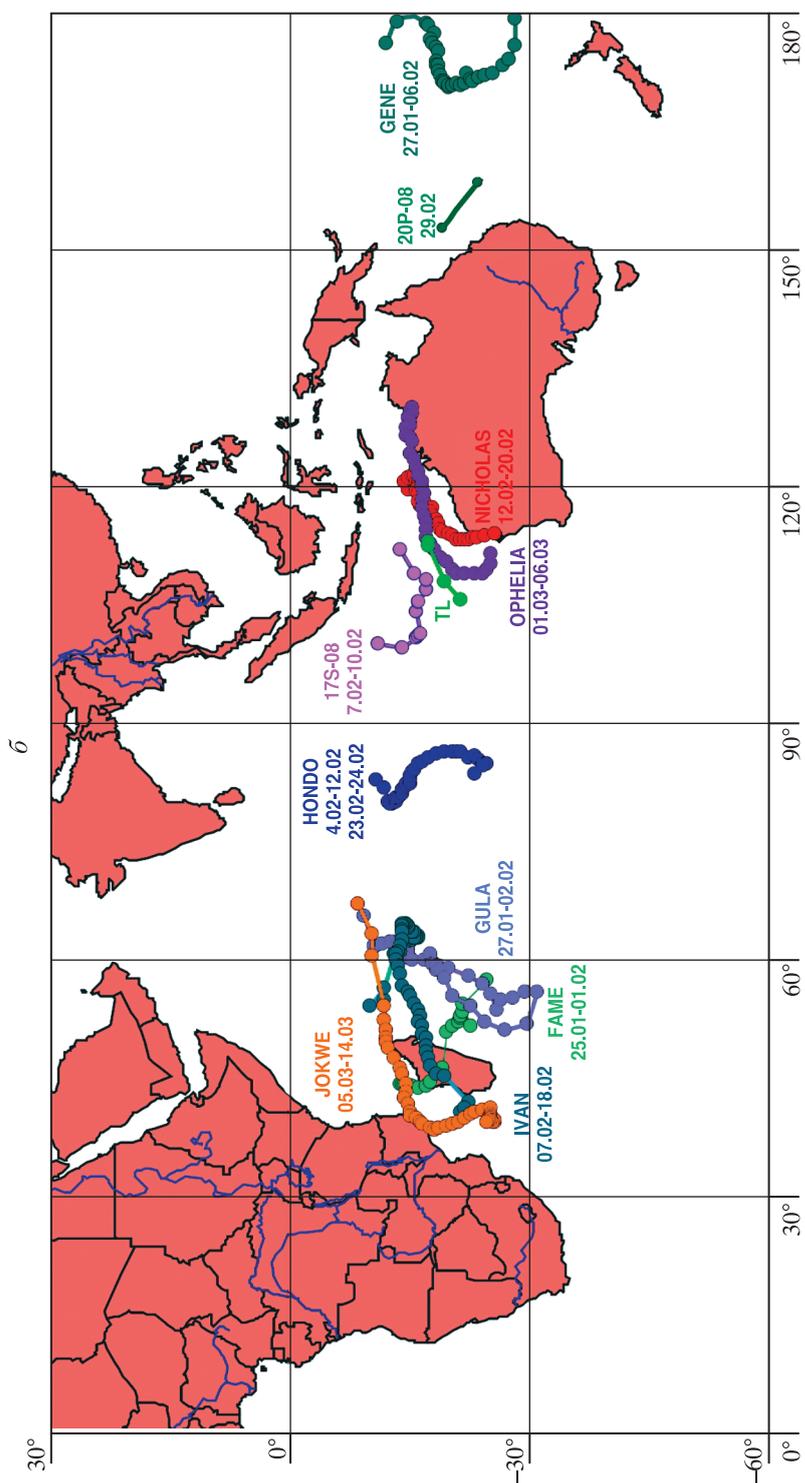
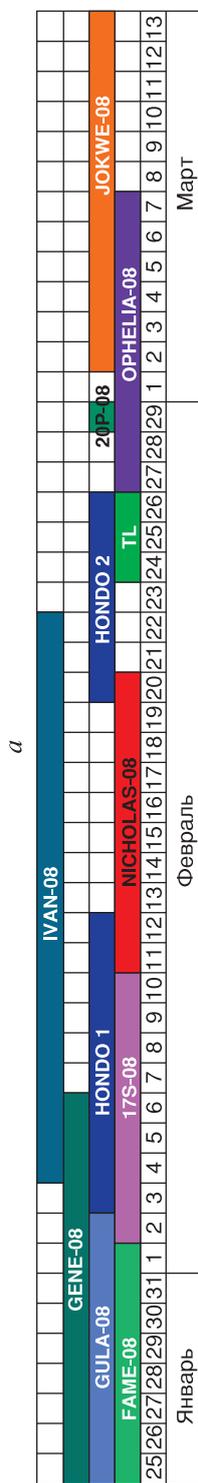
© 2011 E. A. Sharkov<sup>1</sup>, G. A. Kim<sup>2</sup>, I. V. Pokrovskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>2</sup> Scientific Center of Aerospace Monitoring “Aerocosmos”, Moscow

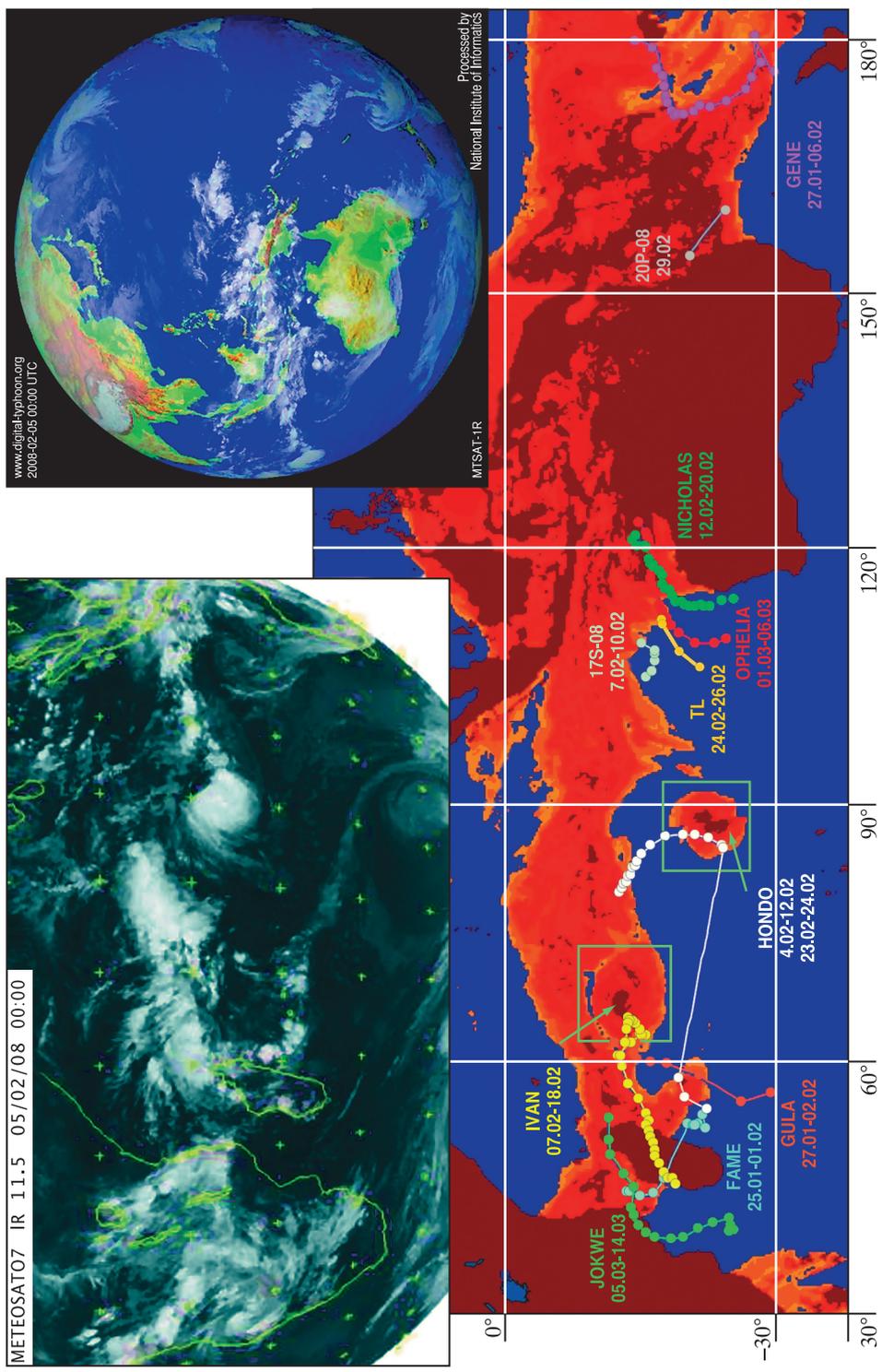
In the paper, the detailed analysis of tropical cyclogenesis energy evolution in South Indian ocean (January–March 2008) in the global water vapor field by IR and microwave multi-scale satellite data has been studied. On the base of tropical cyclone evolution investigation it was experimental detected 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 tropical cyclone 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 tropical cyclone from the global water vapor equatorial field was first carried out.

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

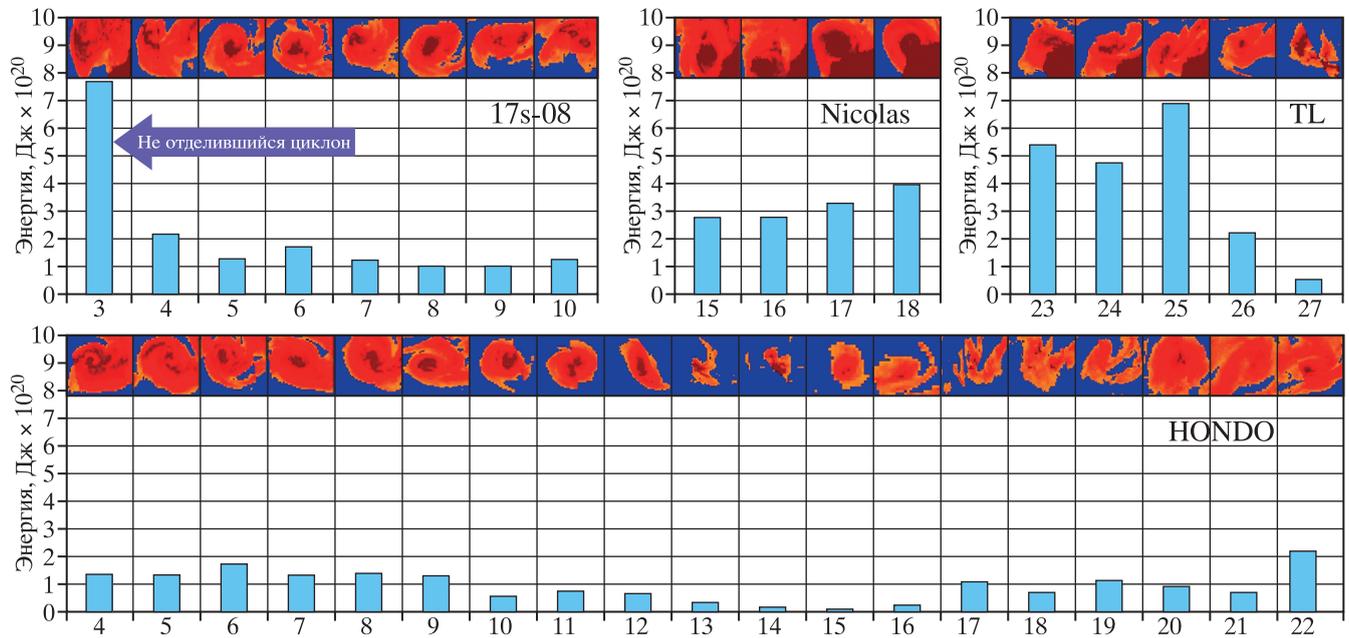


**Рис. 1.** Хронология (*a*) и траектории (*b*) ТЦ, возникших в Южном Индийском океане и юго-западной части Тихого океана в период с 25 января по 14 марта 2008 г. (по данным официальной версии с сайта <http://www.solar.hawaii.edu>).

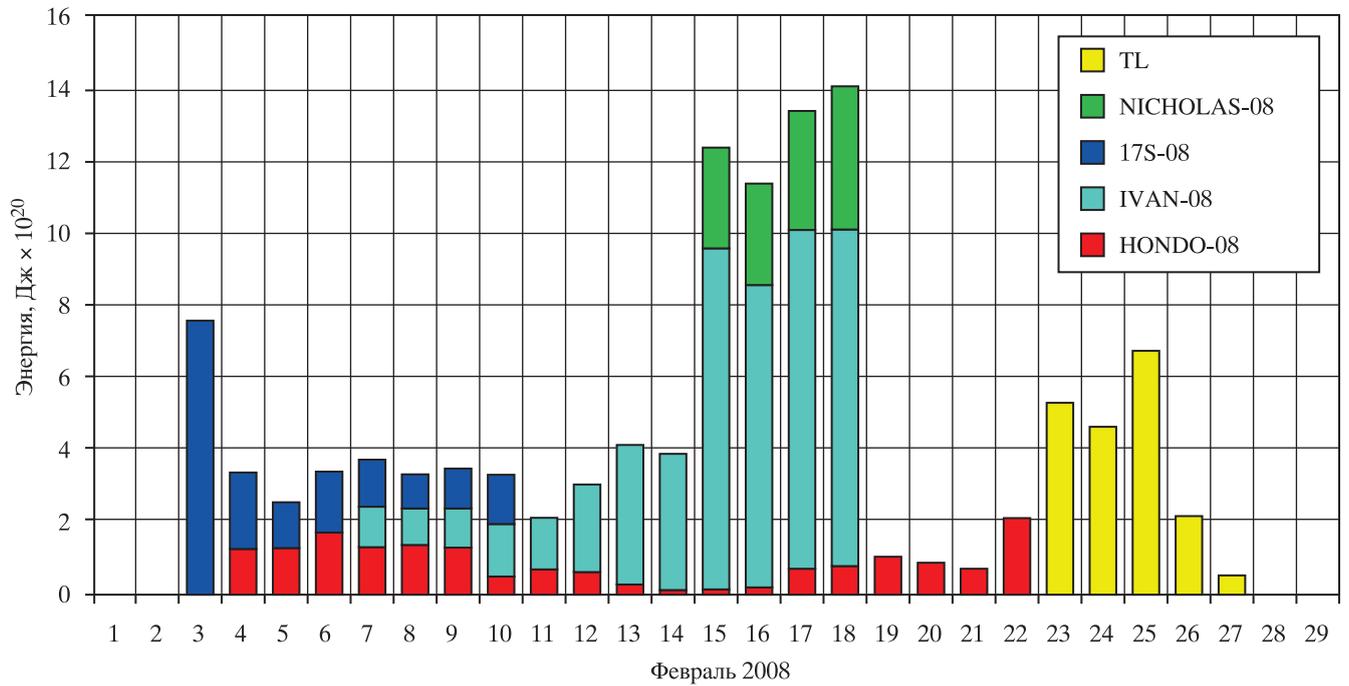




**Рис. 2.** Глобальное поле водяного пара в акваториях Индийского и Тихого океанов за 5 февраля 2008 г. с нанесенными на него траекториями ТЦ за период с 25 января по 14 марта 2008 г. На вставках: слева вверху – фрагмент (в области экватора) ИК-изображения геостационарного ИСЗ Meteosat-7 за 5 февраля 2008 г.; справа вверху – полное оптическое изображение Земли с геостационарного ИСЗ MTSAT-1R 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 ТД Hondo-II (17–22 февраля 2008 г.); ТЦ Nicolas (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.



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

