

Спутниковые исследования тропического циклогенеза: особенности и достижения современного этапа

Е.А. Шарков

*Институт космических исследований РАН,
117997 Москва, Профсоюзная 84/32
E-mail: e.sharkov@mail.ru*

Генерация и эволюция атмосферных катастроф – тропических циклонов – представляет для человечества очень серьезную и пока неразрешенную проблему. В настоящей работе представлен краткий критический анализ существующих физических гипотез и теоретических подходов, на основе которых формулируется целый ряд космических программ по исследованию физических условий генезиса и эволюции тропических циклонов. Отмечены наиболее значимые этапы истории развития научных взглядов и представлений о тропических циклонах, которые нашли впервые свое отражение в материалах Всероссийских открытых конференций «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Проанализированы значение и роль дистанционного (оптического, ИК- и микроволнового) зондирования в эволюции научных взглядов. Подчеркивается принципиальный вклад, который внесли в современное научное понимание проблемы российские исследователи, а также российские разработчики космических миссий и дистанционной аппаратуры в формировании современного научного облика микроволнового дистанционного зондирования «возбужденной» атмосферы. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-05-01019_a) и программы фундаментальных исследований РАН «Радиоэлектронные методы в исследованиях природной среды и человека» (ОФН-15).

Ключевые слова: тропические циклоны, дистанционное зондирование, локальный и множественный циклогенезы, ионосфера, поверхностная температура океана.

Введение

Хорошо известно, что тропическая зона глобальной системы океан – атмосфера играет ключевую роль в динамике и эволюции синоптических и климатических метеорологических процессов на Земле. При этом система океан-атмосфера тропической зоны Земли обладает совершенно уникальным свойством генерации достаточно организованных и устойчивых мезомасштабных вихревых структур – тропических циклонов (ТЦ). В течение значительного времени человеческое сообщество рассматривало тропические циклоны как наиболее деструктивные элементы системы океан-атмосфера, вызывающие значительные материальные потери и человеческие жертвы. Были предприняты серьезные (и отметим совершенно безрезультативные) усилия с тем, чтобы подавить теми или иными техническими средствами этот вид активности системы океан-атмосфера.

В течение длительного времени процесс генерации этих вихревых систем в земной атмосфере рассматривался как чисто метеорологический феномен при рассмотрении его на базе стандартных метеорологических подходов. И только после серии работ, начиная с 1983 г., выполненных под руководством академика Сагдеева Р.З. и профессора Моисеева С.С. [Моисеев и др., 1983а; б], стало понятным, что серьезный про-

гресс при изучении таких сложных систем может быть получен только при использовании новых физических подходов как в теоретическом, так и экспериментальном плане. Более того, мы с большой долей вероятности можем говорить об определяющей роли тропических циклонов в формировании глобального массо- и энергообмена в глобальной системе океан – атмосфера и установлении благоприятного для биологической жизни (в том числе, и для человеческого сообщества) на Земле парникового эффекта. Таким образом, глобальный тропический циклогенез, скорее всего, является необходимым и, возможно, определяющим фактором в экологическом равновесии как в геофизической системе океан-атмосфера, и так и в экосистемах Земли. Катастрофические атмосферные вихри представляют собой своеобразный механизм эффективного сброса избыточного тепла в атмосфере в условиях, когда действие обычных механизмов, основным из которых является турбулентная конвекция и глобальная циркуляция, становится явно недостаточным. Таким образом, катастрофические явления играют важную (и, как это не парадоксально звучит, полезную для человечества) роль при установлении климатического температурного режима Земли (парниковый эффект), отводя излишнее тепло и способствуя предотвращению чрезмерного перегрева планеты в тропической зоне.

С другой стороны, важнейшим вопросом при первоначальном циклогенезе и интенсификации различных форм тропических циклонов является выявление малоинерционного источника энергии, за счет которого чрезвычайно быстро происходит интенсификация и формирование зрелых форм тропических циклонов. Точка зрения, что этим источником может быть только акватория океана с высокой поверхностной температурой, имеет длительную историю и множество приверженцев. Однако за последнее время появились явные признаки неудовлетворительности такой точки зрения, например, в связи с катастрофически быстрой интенсификацией тропического циклона Katrina с последующим ударом по прибрежным районам США.

Впервые идеи о том, что исследования взаимодействия ТЦ с системой океан – атмосфера не могут ограничиваться тропосферой и должны базироваться на рассмотрении крупномасштабного кризисного состояния как глобального явления, затрагивающего различные геофизические среды, начиная с океанической поверхности и тропосферы и кончая озоносферой и ионосферой, были высказаны в 1996 г. сотрудниками ИКИ РАН [Балебанов и др., 1996; Valebanov et al., 1996]. Изучение кинематических, термодинамических и электродинамических связей между элементами системы океан – тропосфера – верхняя атмосфера – ионосфера в кризисных состояниях несомненно должно явиться важнейшей компонентой космических исследований, и в настоящее время предпринимаются попытки

организации комплексных исследований при помощи ракетного, радиолокационного ионосферного зондирования и оптических съемок собственного (ночного) излучения верхней атмосферы.

Цель настоящей работы – представить краткий критический анализ существующих физических гипотез и теоретических подходов, на основе которых формулируется целый ряд космических программ по исследованию физических условий генезиса и эволюции атмосферных катастрофических явлений (тропических циклонов), отметить наиболее значительные этапы истории развития научных взглядов и представлений о тропических циклонах и рассмотреть значение и роль дистанционного зондирования в эволюции научных взглядов.

Современные подходы

В настоящее время исследование генезиса и эволюции устойчивых вихревых систем на фоне особенностей глобальной циркуляции и турбулентного хаоса тропической атмосферы развивается в двух принципиальных направлениях [Sharkov, 2000]:

- «локальный» подход (индивидуальный циклогенез), используемый при исследовании образования единичной (индивидуальной) вихревой структуры из волновых движений в атмосфере и турбулентного хаоса в условиях локальной и достаточно сильной неравновесности системы океан – атмосфера; и
- «глобальный» подход (множественный циклогенез), рассматривающий образование вихревых систем в акватории Мирового океана как совокупности центров генерации вихревых систем активной среде природной системы океан – атмосфера (при этом последняя рассматривается в глобальном масштабе). Этот подход предложен сотрудниками ИКИ РАН в 1993 г. [Покровская, Шарков, 1993б] и успешно развивается в настоящее время [Sharkov, 2000].

Локальный подход

Тропический циклон представляет собой явление природы крупного масштаба, и естественно считать, что его генезис (образование) обусловлен крупномасштабной гидродинамической неустойчивостью, т. е. состоянием физической системы, при котором ее физические параметры подвержены резкому изменению благодаря появлению внутренних источников энергии в системе. Попытки обнаружения такого рода неустойчивости в гидродинамике атмосферы (наряду с теми примитивными моделями, о которых мы уже упоминали) привели к построению так называемой модели условной неустойчивости второго

рода (Conditional Instability Second Kind), или в английской сокращенной аббревиатуре CISK [Charney, Eliassen, 1964]. Эта, в значительной мере феноменологическая, модель считалась основной последние четыре десятилетия и обусловила появление целой плеяды дочерних моделей. Модель была построена на основе уравнений несжимаемой жидкости и состояла в том, что возмущения в тропической зоне и возмущения масштаба кучевого облака взаимодействуют посредством (на первый взгляд, странного) механизма поверхностного трения воздушных потоков о морскую поверхность. Основным элементом в модели CISK стала методика специального математического приема – так называемой параметризации мелкомасштабной конвекции, – обусловившая обратную связь крупномасштабной неустойчивости за счет усиления геострофического течения при увеличении давления в обозначившейся тропической депрессии. Несмотря на явно искусственные введенные представления и приемы, было показано, что модель CISK описывает крупномасштабную неустойчивость. Однако при выходе за пределы приближения несжимаемой атмосферы модель теряла все свои достижения. За прошедшие 40 лет явных экспериментальных результатов, которые доказывали в явной форме справедливость этой теории, так и не было получено, и в настоящее время она стремительно теряет своих сторонников.

Наконец, к началу 1980-х гг. стало ясно, что в решении этой сложнейшей задачи надо исходить из основных **физических законов** термогидродинамики без включения феноменологических (т. е. внешних по отношению к рассматриваемой теории) представлений и параметров. Преимущества такого подхода (и, надо сказать, очень сложного в реализации) очевидны, поскольку они позволят оправдать уже существующие эмпирические правила обработки спутниковых данных и сформулировать новые недостающие правила, исходя из первых физических принципов. Отметим, что необходимость такого концептуального перехода впервые была осознана (и реализована) физиками Института космических исследований РАН.

Результаты авторов этого направления на сегодняшний день включает теорию генерации крупномасштабных вихрей типа тропических циклонов на основе мелкомасштабной спиральной турбулентности, т. е. турбулентности воздушных потоков с особыми геометрическими (винтообразными) свойствами. Эти работы были выполнены в ИКИ РАН под руководством академика Р.З. Сагдеева и профессора С.С. Моисеева [Моисеев и др., 1983а, б]. Они положили начало исследованиям по генерации и развитию атмосферных катастроф на основе новой для гидродинамики концепции – спиральности мелкомасштабной турбулентности атмосферы. Это направление успешно развивается в целом ряде институтов РАН. Концепция спиральности параметризует нелинейность, силу Кориолиса и энергетику системы, и поэтому оказалась столь успешной для модельного описания ге-

нерации крупномасштабного вихря. Были проведены специализированные экспедиции в активные зоны циклогенеза Тихого океана в 1989 и 1990 гг., в ходе которых проводилась проверка существующей на то время теории, и были получены данные метеорологического зондирования западной акватории Тихого океана [Zimin et al., 1991; Клепиков и др., 1995]. Однако после длительного этапа осознания роли спиральной концепции было понято, что мелкомасштабная турбулентность не является основным фактором, определяющим энергетику вихревой системы (хотя на некоторых этапах эволюции она, возможно, и играет заметную роль). Из богатого наблюдательного опыта было известно, что основным энергетическим элементом тропических штормов является выделение скрытой теплоты фазовых переходов атмосферной влаги. Другого столь мощного энергетического источника (рассматриваемого в мезомасштабах) в земной атмосфере просто не существует. Таким образом, встал вопрос о термодинамической формулировке гидродинамики влажного воздуха, поскольку если для решения метеорологических вопросов типа образования облаков в атмосфере можно было ограничиться феноменологическими подходами, то для обнаружения новой неустойчивости, лежащей в основе генерации крупномасштабной вихревой структуры в атмосфере, этого могло оказаться явно недостаточно. Требовалось исходить из основных физических принципов термодинамики влажного воздуха с явным учетом выделения скрытой теплоты фазовых переходов. Ранние примитивные модели имеют варианты как «сухого» так и «влажного» вихрей и отличаются только своими энергетическими характеристиками, и роль фазовых превращений влаги в атмосфере для этих моделей не выходит за рамки вспомогательного элемента. Таким образом, по существу рассматриваются модели сухой атмосферы с феноменологическим подключением водяного пара в виде энергетического источника. При этом упускается из рассмотрения возможность, что процессы фазовых превращений атмосферной влаги могут приводить к принципиальным изменениям динамики атмосферы.

Физическая основа такого подхода состоит в использовании влажной гидродинамики, основанной на термодинамике насыщенного влажного воздуха, допускающего фазовые превращения атмосферной влаги [Rutkevich, 2002; Руткевич, Шарков, 2004]. Физическая суть предлагаемого подхода состоит в том, что роль фазовых превращений атмосферной влаги не сводится только лишь к энергетическому фактору (или термодинамической фазе процесса), как это принято в примитивных моделях циклогенеза, а также к появлению принципиальных изменений в динамике тропической атмосферы (динамической фазы процесса), обусловленных аномальным поведением вертикального профиля скорости звука в насыщенном влажном воздухе. Дело в том, что в «нормальных» атмосферных условиях скорость звука (это своего рода критический масштаб скорости динамических

процессов в атмосфере, наподобие того, как таким же масштабом является скорость света в электродинамике) пропорциональна температуре и с высотой падает также как и температура (до стратосферы). Однако в полностью насыщенном водяным паром слоях атмосферы может произойти обратный процесс – скорость звука будет возрастать с понижением температуры и, тем самым, соотношение динамических процессов в газовой среде может быть совсем иным, чем в «обычных» условиях. В ИКИ РАН была построена [Rutkevich, 2002; Руткевич, Шарков, 2004] теория генерации крупномасштабных вихрей в насыщенном влажном воздухе, которая описывает генерацию реальных тропических циклонов из первых термодинамических принципов, поскольку из нее исключены все феноменологические факторы, и характеристики решения описываются реальными термодинамическими параметрами. Отметим, что экспериментальное (и, в первую очередь, дистанционное) доказательство существования рассматриваемой неустойчивости в природных условиях может существенно изменить наши представления о генезисе атмосферных катастроф и повлечь за собой принципиально иные тактико-технические требования к дистанционным космическим и самолетным комплексам.

Глобальный подход

Тропический циклогенез, рассматриваемый же в глобальном аспекте, пока еще остается достаточно слабо изученным физическим процессом, но, тем не менее, на основе предложенной концепций множественного циклогенеза сотрудниками ИКИ РАН уже получены серьезные и нетривиальные результаты [Sharkov, 2000]. Очевидно, что структурным фундаментом исследований множественного циклогенеза должны служить методика построения временного ряда глобального тропического циклогенеза – физического процесса, рассматриваемого одновременно на всей акватории Мирового океана (или по акваториям полушарий). И здесь выясняется, что ответ на этот казался бы простой вопрос – как сформировать временную последовательность ТЦ – является совсем не таким простым как кажется и, более того, он является принципиально важным, поскольку от его решения зависит физическая значимость конечного результата.

Экспериментальные геофизические данные о возникновении, временной и пространственной эволюции ТЦ по акваториям Мирового океана были сформированы в систематизированной базе данных «Глобал-ТЦ» [Покровская, Шарков, 2001; 2006], где хронологические, гидрометеорологические и кинематические характеристики крупномасштабных тропических возмущений на всей акватории Мирового океана представлены в виде последовательности событий с учетом времени жизни каждого события за период

с 1983 по 2005 г. Удалось впервые показать, что сформированный указанным способом случайный процесс представляет собой так называемый телеграфный процесс (на суточных масштабах) [Покровская, Шарков, 1993б; 1994а–г; 1996б–г]. Дальнейшие исследования показали, что вероятностная структура флуктуаций амплитуды исследуемого потока действительно близка к структуре так называемого потока пуассоновского типа, другими словами возникающий циклон ничего не «знает» о предыдущем (что, собственно говоря, и следовало ожидать). Однако были обнаружены и весьма симптоматичные отклонения от пуассоновского модели при увеличении временного масштаба наблюдения. Именно эти отклонения, как оказалось, и несут на себе важнейшую информацию о неравновесности и нелинейности системы [Шарков, 1996; Sharkov, 2000].

На основе результатов корреляционного анализа временного потока интенсивности глобального тропического циклогенеза (сформированного по данным космических наблюдений) показана [Шарков, 1996; Sharkov, 2000] возможность описания процессов глобального циклогенеза в системе океан – атмосфера как релаксационной генерации кинетико-диффузионного (ланжевенковского) типа в слабонеравновесной среде. Пользуясь этой аналогией, в работе [Шарков, 1996] предложен и обоснован (с использованием спутниковых экспериментальных данных) кинетико-диффузионный подход для описания глобального тропического циклогенеза, где последний описывается как дискретный марковский процесс.

При этом выявление степени неравновесности активной среды системы океан – атмосфера по отношению к генерации когерентных структур имеет важное экологическое значение, поскольку связано с возможной перестройкой режима генерации последовательности индивидуальных ТЦ в глобальный синхронный катастрофический режим генерации супертайфуна подобно тому, как это происходит в атмосфере планеты Венера. Подобный сценарий событий принес бы человечеству колоссальный ущерб, или даже поставил бы вопрос о возможности существования жизни на Земле вообще. И, тем не менее, в работах [Sharkov, 1999; 2000] показано, что волнения преждевременны, поскольку глобальная система океан – атмосфера (в том числе и тропическая зона) находится в условиях весьма слабой неравновесности и, таким образом, возможность принципиальной перестройки режима пуассоновской генерации тропических циклонов в глобальный синхронный катастрофический режим генерации «супертайфуна» исчезающе мала [Sharkov, 1999].

Представленные в работе [Sharkov, 2000] результаты дают возможность принципиально по-новому подойти к решению проблемы временного темпа генерации и эволюции атмосферных катастроф – тропических циклонов – в климатических масштабах. На базе предложенного подхода, связанного с формированием временного потока событий тропи-

ческих циклонов как импульса единичной амплитуды со случайной длительностью и со случайными моментами появления и рассмотренного за 25-летний период (1983–2007), выявлен устойчивый интегральный режим генерации множественного циклогенеза как в циклогенерирующих акваториях Мирового океана, так и в акваториях Северного и Южного полушарий [Sharkov, 2000; Шарков, 2009]. Интенсивность процесса циклогенеза, рассматриваемая как в глобальном масштабе, так и в масштабе полушарий, является универсальной постоянной генерации, которая не зависит от телекоммуникационных связей в климатической системе Земли. Явная зависимость от эпизодов ENSO выявлена только для региональных циклогенезов (Северная Атлантика), причем в своеобразном режиме годового накопления. Но эта телекоммуникационная связь полностью отсутствует для глобального циклогенеза при рассмотрении интегрального режима генерации за 25-летний период. Так, за такой временной цикл глобальный циклогенез представляет собой практически строго однородный процесс с универсальной постоянной интенсивности процесса как в глобальном масштабе ($dF/dt = 1,64$ 1/сут), так и в масштабе циклогенезов, развивающихся в акваториях полушарий [Шарков, 2009]. Например, для циклогенеза в Северном полушарии интенсивность составит 1,14 1/сут, а в Южном – 0,5 1/сут. Отметим, что никакого влияния на ход глобального циклогенеза особенности телекоммуникационных связей в климатической системе Земли не оказывают, и универсальная постоянная циклогенеза остается постоянной величиной.

Воздействие особенностей телекоммуникационных связей в климатической системе Земли на тропический циклогенез не просто заметно, но и может быть определяющим для региональных циклогенезов. Задача состоит в правильном подборе параметров и их адекватном представлении. Поскольку известно [McPhaden et al., 2006], что телекоммуникационные связи явления Эль-Ниньо – Южное колебание (ENSO) и циркуляционные особенности Северной Атлантики достаточно сильно выражены, то следует ожидать аналогичной ситуации и для регионального североатлантического циклогенеза. В работе [Шарков, 2009] показано, что активные фазы ENSO очень сильно подавляют значения функции накопления и, более того, можно указать даже некоторое критическое значение функции накопления ($F = 66$), выше которого функция накопления не принимает своих значений в активной фазе ENSO.

Тропический циклогенез и поле поверхностной температуры

Изучение геофизической среды при формировании первичных форм ТЦ всегда занимало особое место в программах дистанционного (а ранее, контактного) мониторинга тропических возмущений. В первую очередь, надо отметить задачи прогнозирования воз-

никновения первичных форм возмущения и последующего перехода индивидуального первичного тропического возмущения в развитую форму ТЦ, а также детального дистанционного исследования структурных, динамических и термодинамических особенностей тропического возмущения непосредственно в момент образования зрелой формы ТЦ.

Однако попытки дистанционного исследования первичных форм тропических возмущений сталкиваются с целым рядом трудностей, в первую очередь – отсутствием общепризнанной физической модели этого сложного геофизического явления и соответственно необходимых геофизических параметров, подлежащих измерению. Несмотря на значительные усилия исследователей по наблюдению и регистрации отдельных (и фрагментарных) оптических и ИК-изображений тропических вихревых возмущений в различных фазах, окончательных дистанционных критериев «близости» геофизической среды к генерации индивидуального тропического возмущения и к кризисному моменту перехода в развитую форму пока не существует.

Указанная проблема (поиск «критической» температуры), разумеется, достаточно актуальна (особенно в свете активизации атлантического циклогенеза в 2004–2005 гг.), поскольку при доказательстве наличия «резкой отсечки» в поле поверхностной температуры возможно создание своего рода автоматических дистанционных обнаружителей, которые могли бы существенно упростить решение проблем предсказуемости кризисных ситуаций.

В работе [Шарков, Покровская, 2006] на основе пространственно-временного сопоставления пространственно-временных полей генерации начальных форм и циклогенеза зрелых форм в поле поверхностной температуры, определенных (а) при помощи стандартных океанологических измерений (*in situ* – на глубине 1 м) и (б) по дистанционным ИК-тепловым данным (поле температуры в поверхностном скин-слое) по океаническим акваториям двух полушарий Земли, представлены экспериментальные результаты, указывающие на наличие очень своеобразного диапазона поверхностных температур, при которых происходят процессы генерации первичных форм ТЦ («размытые» диапазоны, «экстремумы с хвостами», «дельта-образные» формы), а также достаточно широкого диапазона поверхностных температур, при которых происходят процессы генерации первичных форм и их трансформация в зрелые формы, а также на отсутствие «критической» (пороговой) температуры и, соответственно, отсутствие жесткой границы при их генерации в поле поверхностной температуры океана, рассматриваемой как среднемесячной многолетней, так и при трехмесячном усреднении каждого конкретного наблюдаемого года. Показан устойчивый характер статистических гистограмм распределения температуры поверхности океана в момент перехода в зрелые формы тропических возмущений при выборке как за 21 год (1983–2003), так за 5 лет (1999–2003) в акваториях Мирового океана. Важно отметить, что как и по качественной форме, так и по ко-

личественным характеристикам циклогенезы акваторий Северного и Южного полушария в отношении температурного поля достаточно близки друг к другу, хотя этого нельзя сказать по интенсивности стохастического процесса (дифференциальная интенсивность циклогенеза акваторий Южного полушария в три раза слабее Северного).

Циклогенез и глобальное радиотепловое поле

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. Основным средством получения мгновенных характеристик этого взаимодействия (температуры атмосферы и поверхности океана, скорости приповерхностного ветра, общего влагосодержания атмосферы, интенсивности осадков и т. д.) в глобальных масштабах является спутниковая микроволновая радиометрия. Значение информации о глобальном радиотепловом поле системы океан – атмосфера для многообразия работ в области климатологии и исследовании атмосферы и океана, ведущихся в ИКИ РАН, сделало актуальным создание специализированной базы дистанционных данных SSM/I. В основу ее построения положен принцип рассмотрения дистанционных данных как длинных рядов наблюдений: пространственных (глобальный охват Земли с возможностью зонирования) и временных (многолетние ежедневные наблюдения отдельных зон и всего земного шара) [Ермаков и др., 2007]. Длинная последовательность радиотепловых измерений рассматривается при этом не как механическое объединение данных из нескольких файлов, соответствующих последовательным моментам съемки или соседним точкам на поверхности Земли, а является, с точки зрения пользователя, основной структурной единицей, генерируемой по запросу пользователя и позволяющей применение дальнейших операций обработки. Наиболее естественным методом визуализации полученных данных представляется формирование серии изображений в форме видеоклипа (анимационный метод).

С использованием указанной базы данных была сформирована электронная коллекция GLOBAL-Field (<http://www.iki.rssi.ru>) глобальных радиотепловых полей [Астафьева и др., 2008] на основе данных спутникового мониторинга Земли в рамках программы DMSP. Установленные на спутниках серии DMSP микроволновые радиотепловые комплексы SSM/I принимают излучение на частотах 19,35; 22,24; 37,0 и 85,5 ГГц, которые характеризуют интегральный влаго- и водозапас тропосферы. Полученные глобальные радиотепловые поля пригодны для изучения термодинамических процессов в системе океан – атмосфера с масштабами от сотен километров до планетарных и изменяющихся на

короткопериодных (синоптических, мезометеорологических), внутритрогодных и междугодных временных масштабах.

Отметим, что именно водяной пар (и поле радиояркостной температуры в соответствующем диапазоне частот) можно рассматривать как очень репрезентативный трассер атмосферных движений, поскольку водяной пар вморожен в атмосферное движение и его распределение в тропосфере контролируется крупномасштабными и мелкомасштабными перемещениями. При этом, однако, практически полностью отсутствуют физические измерения в теле ТЦ в натуральных океанических условиях, несмотря на сравнительно длительное существование циклона в земной атмосфере. В работе [Астафьева, Шарков, 2008] представлены результаты детального изучения передвижения тропических циклонов из тропической зоны в средние и средневысокие широты по данным микроволновой спутниковой радиометрии на примере ТЦ Alberto (03–23 августа 2000 г.). Официальный прогноз ТЦ Alberto в целом был удовлетворительным. Исключением явились два периода, когда ошибки установления циклона 72-часового прогноза составляли более 925 км и от 1110 до 1740 км, соответственно. В эти периоды ТЦ Alberto находился под определяющим влиянием своего крупномасштабного атмосферного окружения – метеорологической обстановки в достаточно далеких от него атмосферных центрах действия (Азорском максимуме и Исландской депрессии). Крупномасштабное атмосферное окружение оказывало заметное, практически определяющее влияние и на траекторию Alberto и на изменения его интенсивности.

В работе [Шарков и др., 2008] проведен детальный анализ траектории и эволюции интенсивности тропического циклона Gonu (Аравийское море, Северный Индийский океан; 31.05–08.06.2007) в поле интегрального водяного пара (продукт по данным SSM/I) на основе метода «слияния», представляющего собой развитие методики формирования и накопления информации по разномасштабным данным спутникового дистанционного зондирования в инфракрасном и микроволновом диапазонах. 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 протяженными высотными гребнями давления, расположенными к западу над Аравийским полуостровом, и к востоку – над Пакистаном.

Детальный анализ энергетических особенностей тропического циклона Hondo (Южно-Индийский океан) в течение его необычной эволюции на основе метода «слияния»

по разномасштабным данным спутникового дистанционного зондирования показывает [Ким и др. 2008], что тропический циклон пятой категории Hondo сформировался и развивался в акватории Южного Индийского океана в сложных условиях взаимодействия с циркуляционными системами мощного тропического циклона Ivan. 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 заметно превышающая его размеры, стандартно определяемые из данных оптических и ИК-наблюдений. Только из этой зоны тропический циклон может достаточно быстро черпать энергию в виде скрытой теплоты, тогда как механизм испарения с поверхности океана достаточно медленный. Такой механизм «захвата» тропическим циклоном области водяного пара авторы предложили именовать «моделью верблюда», имея в виду известное свойство жизнедеятельности коренных обитателей пустынь.

Однако принципиально новым результатом, полученным в работе [Ким и др., 2008], является обнаружение джетовой структуры поля водяного пара, которая соединяет область водяного пара, приуроченного к облачному телу циклона, и центральную экваториальную зону водяного пара во внутритропической зоне конвергенции. Нарушение этой джетовой структуры быстро приводит к диссипации ТЦ. Формирование такой джетовой структуры приводит к повторной интенсификации ТЦ и его посттайфунных форм. Интересно отметить, что подобного вида эффект повторной интенсификации был также зафиксирован при эволюции тропических циклонов в северной Атлантике при анализе динамики поля микроволнового собственного излучения в диапазоне 22,2 ГГц (линия собственного излучения водяного пара), правда, без восстановления поля интегрального водяного пара и, соответственно, энергетики процесса [Астафьева, Шарков, 2008]. По-видимому, все тропические циклоны обладают указанным свойством и благодаря этому эффекту (эффекту «захвата») выбрасывают огромное количество скрытой тепла в средние и высокие широты, чем и обуславливают свою несомненно кардинальную роль в формировании климатических процессов в земной атмосфере.

Таким образом, на основе исследования эволюции тропического циклона, проведенного по дистанционным данным с использованием модифицированного метода слияния [Шарков и др., 2008; Ким и др., 2008], экспериментально выявлен один из основных 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 при помощи подпитки от основной экваториальной области водяного пара через потоковые структуры –

«джеты». Разрыв питающего джета приводит к быстрой (2...3 сут) диссипации циклона. Однако формирование новых джетов из центральной экваториальной области дает возможность вторичного генезиса практически распавшегося тела ТЦ Hondo и формирования нового тропического образования до уровня тропической депрессии с последующей диссипацией при разрыве питающего его джета.

Циклогенез и ионосфера

Исследования волновых возмущений и вариаций состояния ионосферы с точки зрения чисто аэрономических позиций ведется уже достаточно длительное время. При этом поиск физических особенностей обычно проводится в виде выявления длиннопериодных (20...50 и более суток) волновых возмущений и синоптических вариаций и, как правило, обсуждения влияния физических космических источников ионосферных возмущений. Возможность тропосферных источников в аэрономических работах не исключалась, однако и не детализировалась. Удивительным образом совершенно не рассматривались как возможные источники возбуждения ионосферы самые мощные тропосферные катастрофы – тропические циклоны, которые могут формировать и совершенно другие («быстрые») механизмы, связанные с мощными выбросами заряженных частиц и нейтронов и излучением акусто-гравитационных волн из зоны стратосферного «выброса» тропического циклона на значительные высоты.

В работах [Ванина-Дарт и др., 2007а, б; 2008] представлены результаты комплексной обработки данных ракетного зондирования экваториальной ионосферной области D со специального ракетного полигона «Гумба» (Индия) в районе действия сильных тропосферных вихревых возмущений – тропических циклонов, наблюдения за которыми проводилось по данным спутникового зондирования в северной части Индийского океана. Показано, что возможным крупномасштабным откликом состояния области D ионосферы может быть резкое понижение (в 2...4 раза) электронной концентрации в диапазоне высот 50...80 км в период функционирования активной фазы тропического циклона, что является впервые выявленным экспериментальным фактом непосредственного «быстрого» влияния мощных вихревых систем в тропосфере на вышележащую нижнюю ионосферу. Предложены варианты физических механизмов «быстрых» взаимодействий тропосферных возмущений с состоянием ионосферы.

Принципиально иной подход рассматривается в работе [Черниговская и др., 2008], где с помощью специальной методики поиска периодичностей для временных рядов были проанализированы короткопериодные (порядка десятков минут, часов) временные вариации максимальных наблюдаемых частот (МНЧ) сигналов наклонного радиозондирования

вдоль среднеширотной трассы Магадан – Иркутск (средняя точка трассы находится южнее Якутска) для сентября 2005–2007 гг. Проведенный анализ выявил временные интервалы короткопериодных колебаний характерной формы (волновой пакет) с повышенной энергетикой. Эти колебания можно интерпретировать как проявление крупномасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), источниками которых являются внутренние гравитационные волны (ВГВ) с периодами 1...5 ч. Исследована возможность связи обнаруженных ПИВ с повышением гелио-геомагнитной возмущенности и с метеорологическими источниками в тропосфере. Установлено, что не всегда прохождения ПИВ связано с ростом гелио-геомагнитной возмущенности, а также с прохождением местных метеорологических фронтов. Не связаны эти возмущения и с прохождением солнечного терминатора, так как эти возмущения интенсивно проявляются в течение длительных временных периодов (порядка суток и более). Ряд выявленных ПИВ, для которых не удалось идентифицировать возможный источник (из традиционно обсуждаемых источников ВГВ), можно связать с откликами ионосферы на тропические циклоны, действовавшие в активной фазе в северо-западной акватории Тихого океана в рассматриваемые временные периоды. Поскольку тропические циклоны оказывают мощное импульсное воздействие на атмосферу, они являются источниками генерации ВГВ. При благоприятных условиях эти возмущения в виде волновых пакетов разных частот по наклонным траекториям могут распространиться на значительные горизонтальные расстояния от места их генерации.

Анализ событий повышенной энергетике короткопериодных колебаний МНЧ для сентября 2005–2007 гг. показал различия в амплитудах мощности спектров вариаций МНЧ в полтора-два раза для разных лет. Подобные различия энергетике исследуемых короткопериодных колебаний для разных лет могут быть, на наш взгляд, связаны с возможными различиями в условиях распространения волновых возмущений в атмосфере, а также с особенностями формирования, развития, перемещения конкретных тропических циклонов в рассматриваемые периоды времени, и как следствие этих особенностей – различными эффектами воздействия ТЦ на вышележащую атмосферу.

Заключение

Исследования атмосферных катастроф находятся в настоящее время на серьезном переломном этапе, связанном с предложением и разработкой принципиально новой термогидромеханики сжимаемой (конечное значение скорости звука) воздушной среды с насыщенным водяным паром. Это обстоятельство скорее всего существенно изменит наши представления о генезисе и эволюции атмосферных катастроф, а также повлияет на облик

и структуру дистанционных систем. В качестве потенциальных направлений необходимо отметить: поиск методик построения по существующим дистанционным данным реального поля давления на различных высотах; разработку методик существенного улучшения восстановления профиля концентрации водяного пара как в нижней, так и верхней тропосфере; поиск нестандартных решений по проектированию дистанционных систем диагностики различных геофизических блоков атмосферных катастроф. Необходимо также продолжать исследования по выяснению роли и вкладу атмосферных катастроф в динамику и эволюцию глобального климата планеты и региональных его составляющих.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-05-01019-а) и Программы фундаментальных исследований РАН «Радиоэлектронные методы в исследованиях природной среды и человека» (ОФН-13).

Литература

1. [Анфимов и др., 1995] *Анфимов Н.А., Гордеев С.П., Сенкевич В.П., Моисеев С.С., Цибульский Г.А., Шарков Е.А.* Проект «Зодиак»: Контактное зондирование кризисных состояний атмосферы с помощью ракетно-космической техники // Исслед. Земли из космоса. 1995. № 2. С.12-21.
2. [Астафьева, Шарков, 2008] *Астафьева Н.М., Шарков Е.А.* Траектория и эволюция урагана Alberto от тропических до средних и средневысоких широт: спутниковая микроволновая радиометрия // Исслед. Земли из космоса. 2008. № 6. С. 60–66.
3. [Астафьева и др., 1994а] *Астафьева Н.М., Покровская И.В., Шарков Е.А.* Масштабные свойства глобального тропического циклогенеза // Доклады АН. 1994. Т.337. № 4. С.517-520
4. [Астафьева и др., 1994б] *Астафьева Н.М., Покровская И.В., Шарков Е.А.* Иерархическая структура глобального тропического циклогенеза // Исслед. Земли из космоса. 1994. № 2. С. 14–23.
5. [Астафьева и др., 2007а] *Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А.* Внутри- и межгодовые изменения влагозапаса тропосферы по данным спутникового мониторинга Земли // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса: Физ. основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. научн. статей. Вып. 4.Т. 2. М.: Азбука-2000, 2007. С. 20–26.
6. [Астафьева и др., 2007б] *Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А.* Изучение полярного переноса в атмосфере Земли методами дистанционного зондирования // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса: Физ. основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. научн. статей. Вып. 4.Т. 2. М.: Азбука-2000, 2007. С. 27–32.

7. [Балебанов и др., 1996] *Балебанов В.М., Моисеев С.С., Шарков Е.А., Луян Е.А., Калмыков А.И., Забышиный А.И., Кузьмин А.К., Смирнов Н.К., Цымбал В.Н., Чиков К.Н.* Проект «Геликс»: космический мониторинг системы океан – тропосфера – верхняя атмосфера в условиях крупномасштабного кризисного состояния // Исслед. Земли из космоса. 1996. № 5. С. 126–134.
8. [Барышникова и др., 1989] *Барышникова Ю.С., Заславский Г.М., Луян Е.А., Моисеев С.С., Шарков Е.А.* Фрактальная размерность ИК-изображений облачности и свойства турбулентной атмосферы // Исслед. Земли из космоса. 1989. № 1. С. 17–26.
9. [Белецкий и др., 2009] *Белецкий А.Б., Михалев А.В., Черниговская М.А., Шарков Е.А., Покровская И.В.* Проявления деятельности тропических циклонов в собственном свечении атмосферы на высотах мезосферы-нижняя термосфера в регионе юга Восточной Сибири // «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов». Сб. научных статей. Выпуск 6. Том II.- М.: ООО «Азбука-2000», 2009. С. 82-88.
10. [Ванина-Дарт, Шарков, 2009] *Ванина-Дарт Л.Б., Шарков Е.А.* Влияние тропических циклонов на ионосферу и атмосферу в целом как один из наиважнейших составляющих климатических процессов // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса: Физ. основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. научн. статей. Вып. 6. Т. 2. М.: Азбука-2000, 2009. С. 269–273.
11. [Ванина-Дарт и др., 2007а] *Ванина-Дарт Л.Б., Покровская И.В., Шарков Е.А.* Исследование взаимодействия нижней экваториальной ионосферы с тропическими циклонами по данным дистанционного и ракетного зондирования // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 2. С. 19–27.
12. [Ванина-Дарт и др., 2007б] *Ванина-Дарт Л.Б., Покровская И.В., Шарков Е.А.* Отклик экваториальной нижней ионосферы на тропические катастрофы в годы различной солнечной активности // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса: Физ. основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. научн. статей. Вып. 4. Т. 2. М.: Азбука-2000, 2007. С. 46–55.
13. [Ванина-Дарт и др., 2008] *Ванина-Дарт Л.Б., Покровская И.В., Шарков Е.А.* Реакция нижней экваториальной ионосферы на сильные тропосферные возмущения // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т. 48. № 2. С. 255–260.
14. [Ермаков и др., 2007] *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 // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 1. С. 7–13.
15. [Зимин и др., 1992] *Зимин В.Г., Клепиков И.Н., Лазарев А.А., Моисеев С.С., Семенов С.С., Черный И.В., Шарков Е.А.* Исследование крупномасштабных вихревых по-

- токов экологически опасного характера в земной атмосфере // Исслед. Земли из космоса. 1992. № 1. С. 3–10.
16. [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. научн. статей. Вып. 6. Т. 2. М.: Азбука-2000, 2009. С. 126–136.
 17. [Клепиков и др., 1993] *Клепиков И.Н., Покровская И.В., Шарков Е.А.* Структура базы данных космических и гидрометеорологических наблюдений мезомасштабных тропических наблюдений // Исслед. Земли из космоса. 1993. № 3. С. 58–65.
 18. [Клепиков и др., 1995] *Клепиков И.Н., Покровская И.В., Шарков Е.А.* Спутниковые и радиодистанционные исследования мезомасштабной атмосферной турбулентности в предтайфунных ситуациях // Исслед. Земли из космоса. 1995. № 3. С. 13–24.
 19. [Моисеев и др., 1983а] *Моисеев С.С., Сагдеев Р.З., Тур А.В., Хоменко Г.А., Шукуров А.М.* Физический механизм усиления вихревых возмущений в атмосфере // Докл. АН СССР. 1983. Т. 273. № 3. С. 549–553.
 20. [Моисеев и др., 1983б] *Моисеев С.С., Сагдеев Р.З., Тур А.В., Хоменко Г.А., Яновский В.В.* Теория возникновения крупномасштабных структур в гидродинамической турбулентности // ЖЭФТ. 1983. Т. 85. № 6. С. 1979–1987.
 21. [Покровская, Шарков, 1991] *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Воздействие тропических циклонов на термическую стратификацию тропической атмосферы по данным космического зондирования // Исслед. Земли из космоса. 1991. № 2. С. 85–98.
 22. [Покровская, Шарков, 1993а] *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Дистанционные исследования термической стратификации тропической атмосферы в процессе циклогенеза // Исслед. Земли из космоса. 1993. № 1. С. 59–66.
 23. [Покровская, Шарков, 1993б] *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Глобальный тропический циклогенез как случайный пуассоновский процесс // Докл. АН СССР. 1993. Т. 331. № 5. С. 625–627.
 24. [Покровская, Шарков, 1994а] *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Исследование пространственно-очаговой структуры тропического циклогенеза применительно к задачам спутникового мониторинга // Исслед. Земли из космоса. 1994. № 6. С. 3–12.
 25. [Покровская, Шарков, 1994б] *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Внутригодовая изменчивость глобального тропического циклогенеза // Метеорология и гидрология. 1994. № 4. С. 20–28.
 26. [Покровская, Шарков, 1994в] *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Пуассоновские свойства глобального тропического циклогенеза по спутниковым данным // Исслед. Земли из космоса. 1994. № 2. С. 24–33.

27. [Покровская, Шарков, 1996а] *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Дистанционные исследования пространственных полей влагосодержания в тропической атмосфере в процессе циклогенеза // Исслед. Земли из космоса. 1996. № 6. С. 18–27.
28. [Покровская, Шарков, 1996б] *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Исследование первоначальных форм тропических возмущений Тихоокеанского бассейна по данным дистанционного зондирования // Исслед. Земли из космоса. 1996. № 5. С. 73–84.
29. [Покровская, Шарков, 1996в] *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Исследование временной перемежаемости тропического циклогенеза Тихоокеанского бассейна применительно к задачам спутникового мониторинга // Исслед. Земли из космоса. 1996. № 1. С. 15–25.
30. [Покровская, Шарков, 1996г] *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Межгодовая изменчивость тропического циклогенеза в Тихоокеанском бассейне // Метеорология и гидрология. 1996. № 3. С. 40–49.
31. [Покровская, Шарков, 2001] *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 2.1. (1983–2000). М.: Полиграф сервис, 2001. 548 с.
32. [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.
33. [Покровская и др., 1993] *Покровская И.В., Шарков Е.А., Клепиков И.Н., Карасева И.А.* Структура базы данных дистанционных наблюдений глобального тропического циклогенеза // Исслед. Земли из космоса. 1993. № 6. С. 57–62.
34. [Покровская и др., 2004] *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.
35. [Руткевич, Шарков, 2004] *Руткевич П.Б., Шарков Е.А.* Физический механизм генезиса вихревых возмущений в сжимаемой и насыщенной водяным паром атмосфере: Препринт. Пр-2102. М.: ИКИ РАН, 2004. 11 с.
36. [Черниговская и др., 2008] *Черниговская М.А., Шарков Е.А., Куркин В.И., Орлов И.И., Покровская И.В.* К Исследования временных вариаций ионосферных параметров в регионе Сибири и Дальнего Востока. // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса: Физ. основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. научн. статей. Вып. 5. Т. 1. М.: Азбука-2000, 2008. С. 567–574.
37. [Черниговская и др., 2009] *Черниговская М.А., Шарков Е.А., Куркин В.И., Орлов И.И., Покровская И.В.* Совместный анализ короткопериодных временных вариаций ионосферных параметров в регионе Сибири и Дальнего Востока процессов тропического циклогенеза // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса: Физ. ос-

- новы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. научн. статей. Вып. 6. Т. 2. М.: Азбука-2000, 2009. С. 324–332.
38. [Шарков, 1996] *Шарков Е.А.* Глобальный тропический циклогенез как слабонервно-весная геофизическая система // Исслед. Земли из космоса. 1996. № 6. С. 11–17.
39. [Шарков, 1997] *Шарков Е.А.* Аэрокосмические исследования тропических циклонов.// Исслед. Земли из космоса. 1997. № 6. С. 87–111.
40. [Шарков, 2005] Шарков Е.А. Радиотепловое аэрокосмическое зондирование Земли: прошлое, настоящее и планы на будущее // Исслед. Земли из космоса. 2005. № 6. С. 75–92.
41. [Шарков, 2009] *Шарков Е.А.* Интегральный и дифференциальный стохастические режимы генерации тропического циклогенеза к контексте климатических вариаций // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса: Физ. основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. научн. статей. Вып. 6. Т. 2. М.: Азбука-2000, 2009. С. 250–258.
42. [Шарков, Покровская, 2008] *Шарков Е.А., Покровская И.В.* Генезис тропических возмущений в поле поверхностной температуры Мирового океана по данным дистанционных и контактных измерений // Исслед. Земли из космоса. 2006. № 6. С. 3–9.
43. [Шарков, Покровская, 2009] *Шарков Е.А., Покровская И.В.* Особенности региональных тропических циклогенезов в поле поверхностной температуры Мирового океана по данным дистанционного зондирования // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса: Физ. основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. научн. статей. Вып. 6. Т. 2. М.: Азбука-2000, 2009. С. 259–265.
44. [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. научн. статей. Вып. 5. Т. 1. М.: Азбука-2000, 2008. С. 530–538.
45. [Anfimov et al., 1996] *Anfimov N.A., Gordeev S.P., Tsybouskii G.A., Moiseev S.S., Sharkov E.A.* Technique of Balloon Investigations of Tropical Disturbances on the Ballistic Missiles Transportation Base // Advances in Space Research. 1996. V. 17. N. 9. P. 95–98.
46. [Balebanov et al., 1996] *Balebanov V.M., Moiseev S.S., Sharkov E.A., Lupian E.A., Kuzmin A.K., Chikov K.N., Smirnov N.K., Zabyshnyi A.I., Kalmykov A.I., Zymbal V.N.* “Helix” Project: Space Monitoring of the Ocean-Troposphere-Upper Atmosphere System under the Large-Scale Hazard’s Situations // 31st COSPAR Scientific Assembly: Abstr. England. The University of Birmingham, 1996. P. 42.
47. [Baryshnikova et al., 1989] *Baryshnikova Yu.S., Zaslavsky G.M., Lupian E.A., Moiseev S.S.,*

- Sharkov E.A.* Fractal Analysis of the Pre-Hurricane Atmosphere from Satellite Data // Advances in Space Research. 1989. V. 9. N. 7. P. 405–408.
48. [Rutkevich, 2002] *Rutkevich P.B.* Convective and rotational instability in moist air // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2002. V. 315. N. 1-2. P. 215–221.
49. [Sharkov, 1998] *Sharkov E.A.* Remote Sensing of Tropical Regions. Chichester; N. Y. etc.: John Wiley and Sons/PRAXIS. 1998. 310 p.
50. [Sharkov, 1999] *Sharkov E.A.* Evolution of global tropical cyclogenesis: mankind in danger? // PACON 99. Symp. “Humanity and the World Ocean: Interdependence at the Dawn of the New Millennium”. The Russian Academy of Sciences: Abstr. 1999. P. 244.
51. [Sharkov, 2000] *Sharkov E.A.* Global Tropical Cyclogenesis. Berlin; Heidelberg; L.; N. Y. etc.: Springer/PRAXIS, 2000. 361 p.
52. [Sharkov, 2003] *Sharkov E.A.* Passive Microwave Remote Sensing of the Earth: Physical Foundations. Berlin; Heidelberg; L.; N. Y. etc.: Springer/PRAXIS, 2003. 613 p.

Remote Sensing of Tropical Cyclogenesis: Features and Scientific Advances in the Present State of the Art

E.A. Sharkov

*Space Research Institute, Russian Academy of sciences
117997 Moscow, Profsovnaya str., 84/32
E-mail: e.sharkov@mail.ru*

The problem of tropical cyclones genesis and evolution is complicated and unresolved for human needs. In the paper, the critical review of present physical hypothesizes and theoretical approaches on which to base satellite missions for investigating tropical cyclones genesis and evolution has been presented. The best-investigated cases in the history of scientific progression on tropical cyclones that had been originally published in the proceedings of All-Russian Open conferences “Modern Problems of Earth Remote Sensing from space” were noted. The role of optical, IR and microwave remote sensing was analyzed. The principal contribution of Russian investigators and developers of satellite missions and remote instruments in forming up-date scientific structure of microwave remote sensing for cyclone-excited atmosphere.

Keywords: tropical cyclones, remote sensing, local and plural cyclogenesises, ionosphere, sea surface temperature.