

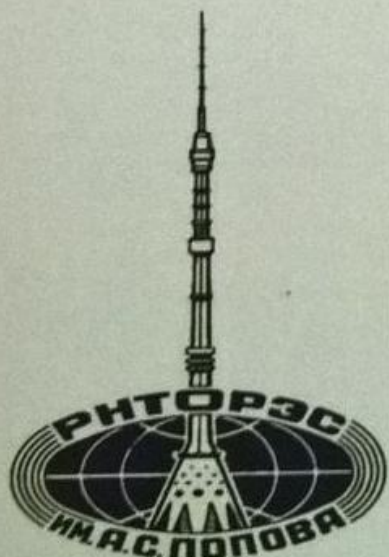
К. 216 1.209

# ДОКЛАДЫ

## РОССИЙСКОГО научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова

Серия: ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Выпуск: IX



МОСКВА - 2017

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
РОССИЙСКОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО  
РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ ИМ. А.С. ПОПОВА**

**ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ ИМ. В.А.  
КОТЕЛЬНИКОВА РАН**

**FEDERAL AGENCY SCIENTIFIC ORGANIZATIONS  
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
THE RUSSIAN SCIENCES ENGINEERING A.S. POPOV SOCIETY FOR  
RADIO, ELECTRONICS AND COMMUNICATION**

**V.A. KOTELNIKOV'S INSTITUTE OF RADIOENGINEERING &  
ELECTRONICS, RAS**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА**

**ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ - 2017**

**МОСКВА, 5-7 ДЕКАБРЯ 2017 г.**

**PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM**

**ENGINEERING ECOLOGY - 2017**

**MOSCOW, 5- 7 DECEMBER, 2017**

**МОСКВА, 2017**

**MOSCOW, 2017**

---

УДК 504(075.8) 504.064.4(075.8)

**Международный симпозиум «Инженерная экология – 2017»,  
Москва, Россия, доклады.**

**Под редакцией д.ф.-м.-н., проф. Мкртчяна Ф.А.**

УДК 504(075.8) 504.064.4(075.8)

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

д.т.н., проф.	Самхарадзе Т.Г.
д.т.н., проф.	Громов Ю.Ю.
д.ф.-м.н.	Амбросимов А.К.
к.т.н.	Потапов И.И.

ISBN 978-5-905278-31-0

**«Мероприятие проведено при финансовой поддержке Российского фонда  
фундаментальных исследований, Проект № 17-07-20583»**

© Авторы докладов  
© РНТОРЭС им. А.С. Попова

## **МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

**Председатель Международного организационного комитета академик  
Гуляев Юрий Васильевич**

**Председатель Международного программного комитета академик  
РАЕН, д.ф.-м.н., проф. Крапивин Владимир Феодорович**

**Заместитель председателя Международного организационного  
комитета  
член корр. РАЕН, иностранный член НАН Армении, д.ф.-м.-н., проф.  
Мкртчян Ферденант Анушаванович**

## **ПРОГРАММНАЯ ГРУППА МЕЖДУНАРОДНОГО ОРГКОМИТЕТА**

член-корр. Розенберг Г.С. (Россия), член-корр. Черепенин В.А. (Россия), д.ф.-м.н. Смирнов В.М. (Россия), академик Као Ван Фыонг (Вьетнам), проф. Нгуен Хуан Ман (Вьетнам), академик НАН Армении Хачатрян Г.Г. (Армения), д.ф.-м.н., проф. Полищук Ю.М. (Россия), д.т.н., проф. Д. Келли (США), проф. Варостос С.А. (Греция), проф. Рошон Г. (США), проф. Филипс Г. (США), проф. Ясумото К. (Япония), проф. Ширасава К. (Япония), проф. Ниту К. (Румыния), проф. Геворкян С.А. (Армения), доц. Калантарян П.А. (Армения), проф. Ку Тхань Шон (Вьетнам), проф. Нгуен Куанг Тан (Вьетнам), проф. Курковский А.П. (Россия, США), академик РАЕН, д.т.н., проф. Сидоров Ю.Е. (Россия).

## **АДМИНИСТРАТИВНАЯ ГРУППА МЕЖДУНАРОДНОГО ОРГКОМИТЕТА:**

Вице президент, директор Исполнительной дирекции РНТОРЭС им. А.С. Попова к.т.н., доц. Самсонов Г.А., д.ф.-м.н. Амбросимов А.К., д.т.н. Калечиц И.К., д.т.н., проф. Самхарадзе Г.Т., д.т.н. Ковалев В.И., д.ф.-м.н. Гранков А.Г., д.т.н., проф. Громов Ю.Ю., к.ф.-м.н., доц. Климов В.В., к.т.н. Потапов И.И., к.ф.-м.н. Солдатов В.Ю., к.ф.-м.н. Агаджанян М.Г., Зав. отделом РНТОРЭС им. А.С. Попова Алексеева Л.И., ст. инж. Красножен Л.А., инж. Алешина О.В.



# ТРОПИЧЕСКИЕ УРАГАНЫ: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИХ ЗАРОЖДЕНИЯ СО СПУТНИКОВ

д.ф.-м.н. Гранков А.Г.

Фрязинский филиал ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова  
Российской академии наук

Рассмотрены некоторые подходы к поиску источников тепловой энергии, способствующих зарождению тропических ураганов по данным СВЧ-радиометрического зондирования системы "океан-атмосфера" со спутников. Среди них: уравнения притока тепла и баланса турбулентной тепловой энергии, аппарат сопряженных дифференциальных уравнений, уравнения газовой динамики из теории взрывов и горения, аппарат "вирусной теории" природных ано-малий.

## Введение

Тропические ураганы (ТУ) относятся к явлениям с синоптическим "временем жизни" и являются одним из результатов взаимодействия океана и атмосферы, а также влияния ряда других факторов. Изучению условий их формирования и последующего развития посвящены многие научные проекты и программы, однако, до сих пор не решена основная задача их раннего обнаружения, когда отсутствуют видимые признаки их зарождения. Для ее решения большое значение придается использованию дистанционных радиофизических методов, в частности, спутниковых СВЧ-радиометрических методов [1, 2], функциональные возможности которых (точность измерений, пространственное разрешение, а главное, продолжительность срока их эксплуатации) в последнее время непрерывно улучшаются. Например, американские метеорологические спутники серии DMSP проводят непрерывные СВЧ-радиометрические измерения интенсивности собственного радиотеплового (СВЧ) излучения Земли с полусуточным временным разрешением на протяжении последних 30 лет, обеспечивая специалистов глобальной и регулярной метеорологической и океанографической информацией.

В докладе рассматриваются некоторые подходы к поиску источников тепловой энергии, способствующих зарождению ТУ по данным СВЧ-радиометрического зондирования системы "океан-атмосфера" (СОА) со спутников. Характеристики СОА, влияющие на энерго(тепло)-обмен между океаном и атмосферой, одновременно участвуют в формировании и трансформации характеристик собственного радиотеплового (СВЧ)-излучения всей системы, сама природа радиотеплового излучения предопределяет их тесную взаимосвязь.

## 1. Современные средства прямых наблюдений в циклонических зонах океана

Основным источником регулярных данных о параметрах поверхности океана и приподного слоя атмосферы в районах возникновения и распространения тропических ураганов является американский Центр NOAA – National Data Buoy Center (NDBC).



Рис. 1. Сеть наблюдательных станций в Мексиканском заливе

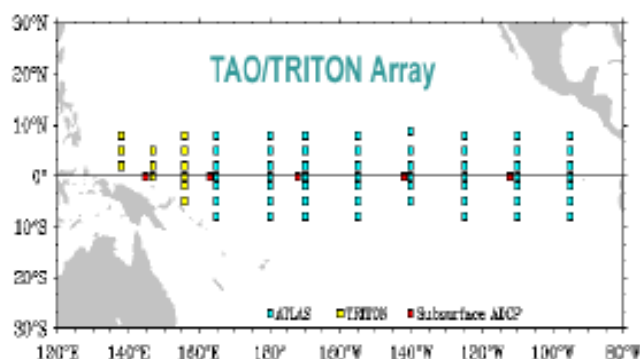


Рис. 2. Схема расположения буйковых средств на полигоне TAO/TRITON в Тихом океане

Существующие наблюдательные средства охватывают акватории Мексиканского залива и экваториального пояса Мирового океана (рис. 1, 2) и оборудованы частой сетью буйковых и

метеорологических станций, проводящих регулярные измерения температуры поверхности океана, температуры и давления приводного воздуха, скорости ветра приводного ветра.

## 2. Возмущение характеристик СОА в циклонических зонах

В зонах зарождения тропических ураганов (ТУ) наблюдаются сильные возмущения характеристик СОА, на примере ТУ Humberto иллюстрируется их изменчивость в период его зарождения в сентябре 2007 г. в Мексиканском заливе в районе буйковой станции 42019 (рис. 3–5).

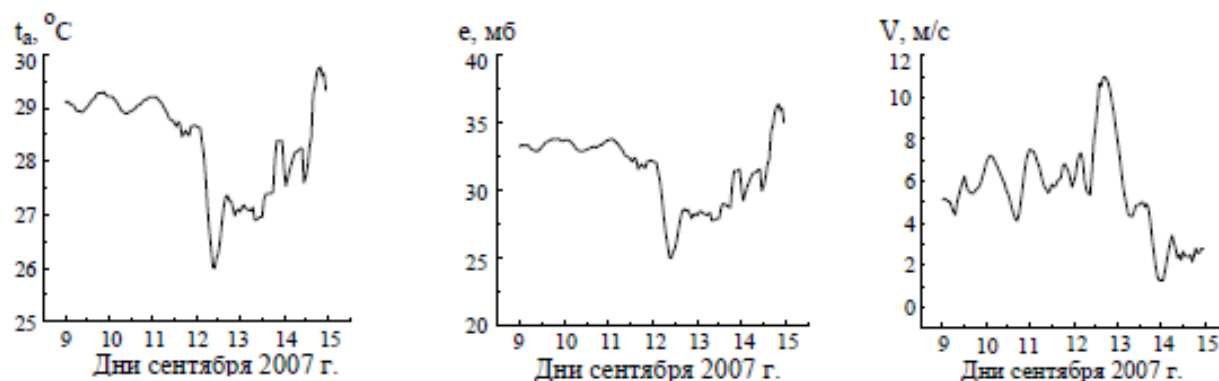


Рис. 3. Вариации температуры  $t_a$ , влажности  $e$  воздуха и скорости ветра  $V$  в приводном слое атмосферы по данным измерений на станции 42019 в Мексиканском заливе во время зарождения ТУ Humberto [3]

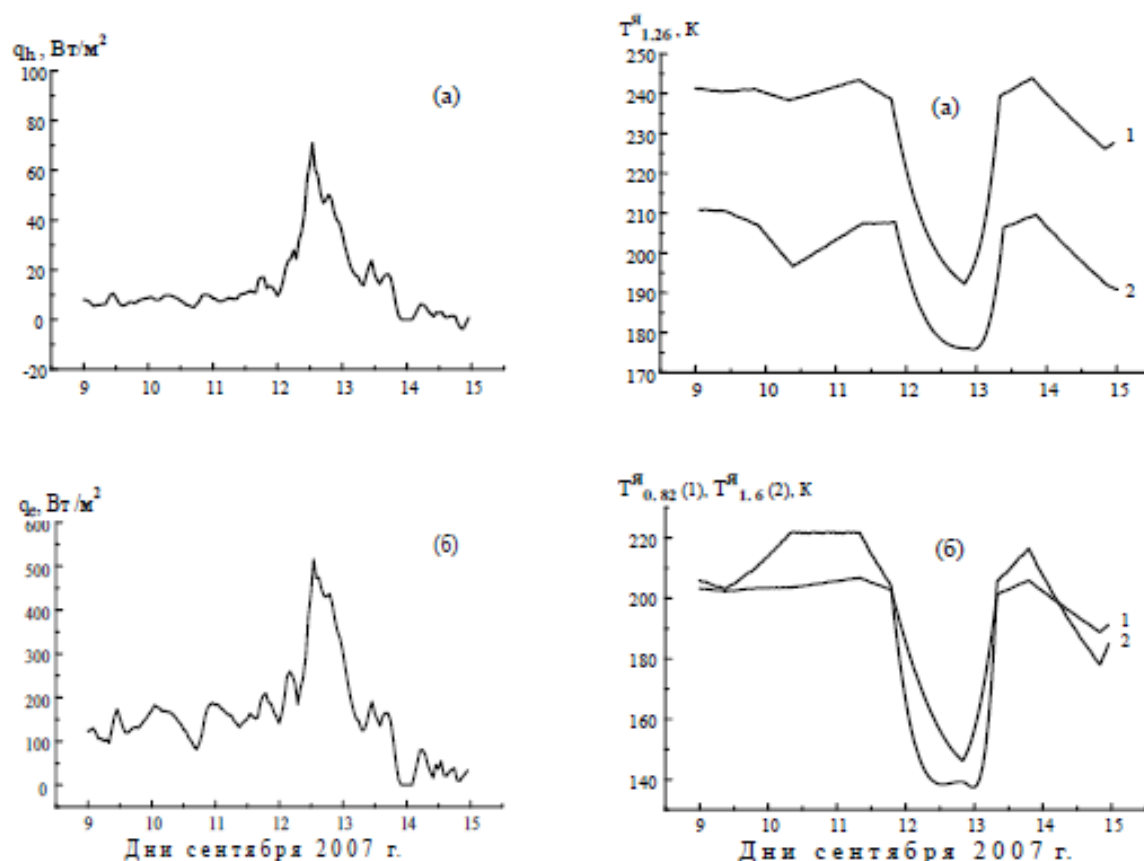


Рис. 4. Вариации потоков явного (а) и скрытого (б) тепла на поверхности океана в районе расположения станции 42019 в период зарождения и развития ТУ Humberto [3]

Рис. 5. Измеренные СВЧ-радиометром AMSR-E значения яркостной температуры СОА: (а) на длине волны 1.26 см на вертикальной (1) и горизонтальной (2) поляризациях; (б) на длинах волн 0.82 см (1) и 1.6 см (2) на вертикальной поляризации [3]

В период зарождения ТУ Humberto 12–13 сентября наблюдалось сильное уменьшение значений температуры и влажности приводного слоя воздуха, а также возрастание скорости приводного ветра; их контрасты составили  $-3^{\circ}\text{C}$ ,  $-8$  мб и  $6$  м/с, соответственно, что обусловило сильный всплеск



поверхностных тепловых потоков  $q_h$  на 50–60 Вт/м<sup>2</sup> и  $q_e$  на 350–400 Вт/м<sup>2</sup> (рис. 3 и 4). При этом радиометром AMSR-E спутника EOS Aqua зафиксирован "провал" на десятки Кельвинов яркостной температуры COA в линии резонансного поглощения собственного СВЧ-излучения в водяном паре атмосферы и ее окрестности (рис. 5).

Возмущения характеристик COA, проиллюстрированные на примере ТУ Humberto в Мексиканском заливе, свойственны и другим циклонически-активным зонам океана, где также отмечается высокая чувствительность измеряемой со спутников радиояркостной температуры системы "океан-атмосфера" в области резонансного поглощения излучения в водяном паре атмосферы к тепловым процессам на границе раздела системы [3].

### **3. Способы локализации источников тепловой энергии, способствующих зарождению тропических ураганов, по спутниковым данным**

#### **А. Использование уравнений притока тепла и баланса турбулентной энергии.**

В Институте радиотехники и электроники РАН накоплен положительный опыт использования уравнений притока тепла и баланса турбулентной энергии для моделирования вертикальных турбулентных потоков тепла и влаги на границе раздела системы "океан-атмосфера" и их связи с радиояркостной температурой системы, измеряемой с ИСЗ [3]. Результаты исследований показали, что модель вертикального турбулентного переноса тепла и влаги в атмосфере не отражает в полной мере связь процессов тепло- и влагообмена между поверхностью океана и атмосферой с интенсивностью собственного СВЧ-излучения COA. Удовлетворительное совпадение результатов моделирования и спутниковых СВЧ-радиометрических измерений достигается лишь с учетом механизма горизонтального адвективного переноса тепла и влаги в атмосфере.

Данные наработки, полученные для Ньюфаундлендской энергоактивной зоны Северной Атлантики, подверженной активному влиянию североатлантических циклонов, используются в настоящее время для анализа процессов и условий зарождения и развития урагана Humberto и ряда других ураганов в тропических широтах на основе данных измерений радиометра AMSR-E спутника EOS Aqua. В качестве источника энергии, возмущающего тепловое равновесие между океаном и атмосферой в районе зарождения ТУ Humberto, рассматривается поток (приток) коротковолновой солнечной радиации, падающий на поверхность океана, а его величина определяется из условия максимального приближения моделируемых геофизических и СВЧ-радиационных характеристик COA в этом районе к наблюдаемым *in situ*.

#### **Б. Использование сопряженных уравнений гидротермодинамики.**

Данный математический аппарат разработан академиком Г.И. Марчуком и его сотрудниками на основе теории возмущений [4] и был использован для локализации зон в океане, оказывающих наибольшее влияние на глобальные температурные и тепловые поля. В результате были выявлены так называемые энергоактивные зоны океанов, отличающиеся от других областей экстремальными показателями интенсивности теплового и динамического взаимодействия океана и атмосферы в широком диапазоне временных масштабов – от синоптических и сезонных до климатических. Результаты многолетних судовых экспедиционных исследований, проведенных в рамках программы "Разрезы" подтвердили теоретические (аналитические и прогностические) оценки, в частности, позволили установить важную роль Норвежско-Гренландской, Ньюфаундлендской и Гольфстримской энергоактивных зон Северной Атлантики в формировании температурных аномалий воздуха и короткопериодных колебаний климата [5].

Представляется целесообразным применение сопряженных уравнений для изучения предвестников зарождения таких экстремальных природных явлений как тропические ураганы. В настоящее время в ИРЭ РАН совместно с сотрудниками Института вычислительной математики РАН прорабатывается возможность использования данного аппарата для анализа временной динамики зарождения тропического урагана Humberto в Мексиканском заливе в сентябре 2007 г. на основе данных измерений радиометра AMSR-E спутника EOS Aqua. В качестве входных данных для дифференциальных сопряженных уравнений используются данные прямых океанографических и метеорологических измерений с буйковых станций, окружающих точку зарождения ТУ Humberto (станцию 42019) и данные одновременных измерений яркостной температуры COA радиометра AMSR-E с океанографического спутника EOS Aqua. Оценивается возможность использования метода для временной и пространственной локализации источника, возмущающего тепловое



равновесие между океаном и атмосферой в районе зарождения ТУ Humberto в зависимости от размеров области влияния (числа окружающих буйковых станций).

#### В. Применение методов и подходов теории горения и взрывов.

Учитывая лавинообразный, "взрывной" характер изменений океанографических, метеорологических и СВЧ-радиационных (радиояркостных) характеристик системы "океан-атмосфера" в периоды времени, предшествующие появлению тропических ураганов [3], в ИРЭ РАН прорабатывается возможность использования методов и подходов теории горения и взрывов [6] для поиска их предвестников. Критерием действенности такого подхода будет служить качество воспроизведения решениями уравнений газовой динамики наблюдаемых *in situ* (по данным буйковых измерений NDBC) эволюций температурных, влажностных и динамических характеристик СОА в периоды времени, предшествующие появлению ураганов, и на стадии их возникновения и развития. Важной задачей исследования является поиск прямых связей интенсивности собственного СВЧ-излучения СОА, измеряемой с океанографических и метеорологических спутников, с предвестниками возникновения ТУ.

#### Г. Использование "вирусной теории" природных аномалий.

Данная концепция, развитая в [7] и основанная на решении граничных задач математической физики, позволяет объяснить целый ряд труднообъяснимых природных феноменов, которые становятся в последнее время повторяющимися, устойчивыми и продолжительными – например, локализацию температуры в некоторых природных зонах, вызываемую сезонным изменением солнечного воздействия на поверхность (ненастье на одной территории и спокойствие на соседней). Соответствующий математический аппарат позволяет выявлять условия возникновения различных природных аномалий и представляет интерес для его применения в задачах поиска источников энергии при интенсификации тропических ураганов на основе данных прямых и спутниковых измерений.

### Литература

1. Sharkov E.A. Remote sensing of tropical regions. Chichester, N.Y. etc.: John Wiley and Sons/PRAXIS, 1998. 310 p.
2. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф. Космический мониторинг тропических циклонов. М.: Научный мир, 2014. 508 с.
3. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Новичихин Е.П. Радиоизлучение системы океан-атмосфера в ее энергоактивных зонах. LAMBERT, Academic Publishing, 2016, 314 p.
4. Марчук Г.И., Скиба Ю.Н. Роль сопряженных функций в изучении чувствительности модели теплового взаимодействия атмосферы и океана к вариациям входных данных // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1990, т. 26, №5, 451-460.
5. Лаппо С.С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана. Л.: Гидрометеониздат, 1990.
6. Физика взрыва / Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович и др. М.: Наука, 1975. 704 с.
7. Бабешко В.А., Ритцер Д., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. О локализации энергии природных процессов и природные вирусы // Доклады Академии наук, 2013, т. 448, №4, 406-409.

## TROPICAL HURRICANES: PERSPECTIVE APPROACHES FOR STUDYING ITS BEGINNING FROM SATELLITES

Ph. D. Grankov A.G.

Fryazino Branch of the Kotelnikov Institute of Radio engineering and Electronics, RAS

Some approaches to a search of the sources of heat energy contributing to beginning of tropical hurricanes with the data of microwave radiometric sensing the system "ocean-atmosphere" are considered. Namely, such means as equations for influx of heat and balance of turbulent heat energy, a mathematical tool of conjugate differential equations, gas dynamics equations from the theory of explosion and burning, means of the viral theory of natural anomalies are discussed.