

Особенности динамики метеорологических и радиоярких полей в Мексиканском заливе в районах зарождения местных ураганов

А.Г. Гранков¹, Е.П. Новичихин¹, Н.К. Шелобанова¹

¹ Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 141190 Фрязино Московской области, пл. Введенского, д. 1
E-mail: agrankov@inbox.ru

На основе данных о яркостной температуре (архивы NSIDC и HURSAT) и потоках явного и скрытого тепла на поверхности океана (архив HOAPS) проведен анализ их пространственной изменчивости в периоды времени, предшествующие зарождению тропических ураганов Lorenzo и Bret в Мексиканском заливе. Результаты анализа указывают на локализацию яркостной температуры и тепловых потоков в определенных областях залива – районах их зарождения. Приведены оценки влияния слепых зон, образующихся в результате расхождением полос сканирования СВЧ-радиометров спутников DMSP в нижних широтах океана, на представительность данных о тепловых потоках архива HOAPS в Мексиканском заливе. Ключевые слова: спутниковая СВЧ-радиометрия, Мексиканский залив, зарождение ураганов, поверхностные потоки тепла, яркостная температура

Features of the dynamics of meteorological and radiobrightness fields in the Gulf of Mexico in the areas of the origin of local hurricanes

A.G. Grankov¹, E.P. Novichikhin¹, N.K. Shelobanova¹

¹ Fryazino Branch of the Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics, RAS

Based on data on brightness temperature (NSIDC and HURSAT archives) and fluxes of sensible and latent heat at the ocean surface (HOAPS archive), an analysis of their spatial variability in the time periods preceding the origin of tropical hurricanes Lorenzo and Bret in the Gulf of Mexico was carried out. The results of the analysis indicate the localization of brightness temperature and heat fluxes in certain areas of the bay – the areas of their origin. Estimates of the effect of blind spots (gaps) formed as a result of the divergence of scan lines of microwave radiometers of DMSP satellites in the low latitude areas of the ocean on the representativeness of data on heat fluxes of the HOAPS archive in the Gulf of Mexico are presented.

Key words: satellite microwave radiometry, Gulf of Mexico, hurricane origin, surface heat fluxes, brightness temperature

Введение

Разработка технологий диагностики зарождения тропических ураганов (ТУ) с помощью спутниковых радиофизических средств является актуальной задачей; одним из перспективных путей ее решения является мониторинг общего влагосодержания атмосферы (ОВА), о чем свидетельствует ряд полученных в последнее время результатов [1–3]. Установлено, например, по данным спутниковых СВЧ-радиометрических измерений в разные годы, что существует тесная связь между процессами зарождения ТУ в Мексиканском заливе и пространственно-временной изменчивостью поля ОВА над его акваторией [3].

Такой результат можно объяснить влиянием тропических волн (восточных) волн, формирующихся в тропической Атлантике в период с апреля-мая по октябрь-ноябрь, распространяющихся от западного побережья Африки к Карибскому морю и

Мексиканскому заливу и несущих массы теплого воздуха на запад преобладающими восточными ветрами вдоль тропиков и субтропиков вблизи экватора. Иллюстрацией может служить приход в Мексиканский залив тропической волны во время зарождения ТУ Lorenzo в сентябре 2007 г. (рис. 1). Здесь представлены наблюдаемая с помощью радиометра AMSR-E спутника EOS Aqua (архив NSIDC – National Snow & Ice Data Center) временная динамика пространственных распределений среднесуточных значений ОВА в Мексиканском заливе в области $20.75\text{--}28^\circ$ с.ш., $97.75\text{--}85.5^\circ$ з.д. в период 22–27 сентября 2007 г., предшествующий зарождению ТУ Lorenzo.

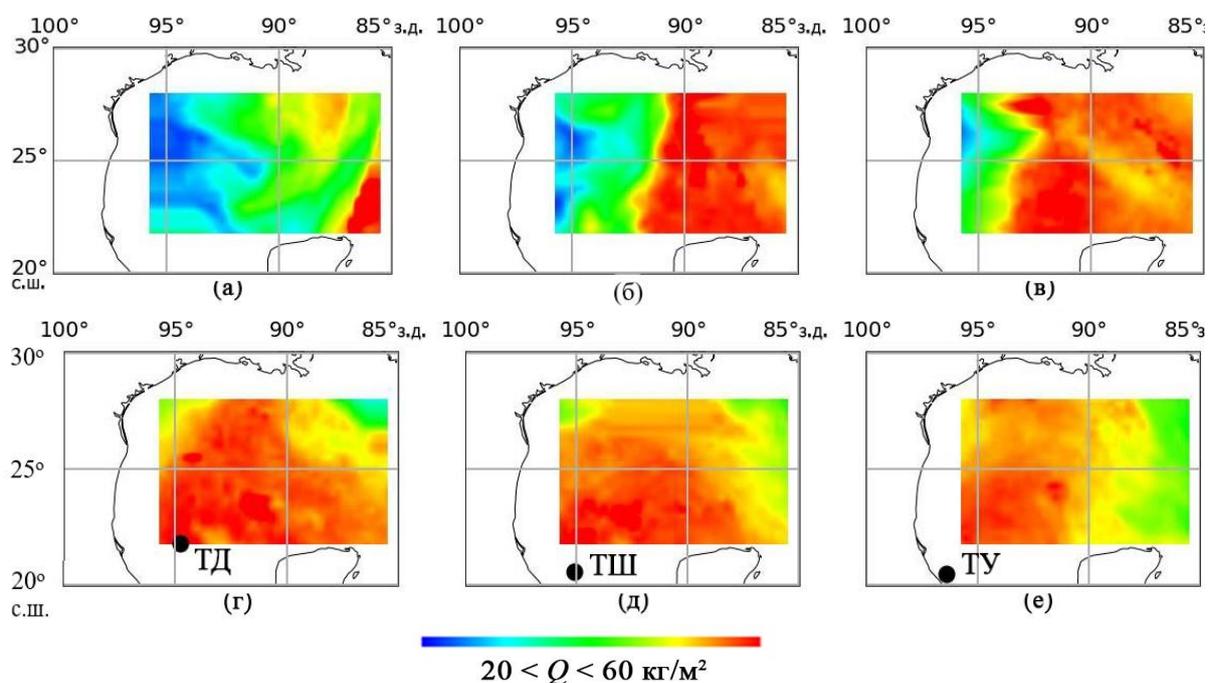


Рис. 1. Динамика ОВА (Q) в Мексиканском заливе: (а) – 22.09; (б) – 23.09; (в) – 24.09; (г) – 25.09; (д) – 26.09; (е) – 27.09. Время прихода тропической волны к Мексиканскому заливу 21 сентября. ТД – начало стадии тропической депрессии; тропический шторм; ТУ – начало стадии тропического урагана

Как видно из иллюстрации, спутниковый мониторинг ОВА хотя и дает общее представление о развитии ТУ Lorenzo, но не позволяет определять местоположение района его зарождения; для решения такой задачи степень пространственной локализации поля ОВА является недостаточной.

В данной работе рассмотрен подход к процессам циклогенеза, основанный на рассмотрении зарождения тропического урагана как результат прекращения условий существования стационарного режима в процессах теплообмена между океаном и атмосферой, подобно тому как в теории Н.Н. Семенова появление нестационарного режима – взрыва – формулируется как условие исчезновения стационарного режима, когда процессы тепловыделения не уравниваются процессами теплоотвода. При этом следует ожидать, что в районе зарождения ТУ будут наблюдаться максимальные значения тепловых потоков на границе раздела океана и атмосферы.

На примерах ТУ Lorenzo и Bret анализируются особенности формирования полей вертикальных турбулентных потоков явного и скрытого тепла в Мексиканском заливе и оцениваются возможности их использования для определения местоположения районов их зарождения.

В качестве исходных данных используются значения поверхностных потоков скрытого (латентного) и явного тепла в Мировом океане с 6-часовым временным разрешением на сетке $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ из глобального архива HOAPS (The Hamburg Ocean Atmosphere Parameters and Fluxes from Satellite) [4]. Архив базируется на данных долговременных СВЧ-радиометрических измерений со спутников DMSR и ИК-радиометрических измерений со спутников NOAA: первые используются для определения температуры, влажности воздуха и скорости ветра в приземном слое атмосферы, а вторые – для определения температуры поверхности океана; те и другие параметры в совокупности позволяют рассчитать поверхностные потоки явного и скрытого тепла по формулам тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой – балк-формулам.

Динамика полей тепловых потоков в районах зарождения ТУ Lorenzo и Bret

В соответствии с историей развития [5] тропический ураган Lorenzo образовался из тропической волны, которая прошла через западное побережье Африки 11 сентября 2007 г., и сформировался первоначально в виде тропической депрессии в юго-западной части Мексиканского залива 25 сентября 2007 г. в точке 21.8° с.ш., 94.8° з.д., достигнув стадии урагана 28 сентября в точке 20.5° с.ш., 96.3° з.д.

С помощью архива HOAPS проведен анализ пространственной изменчивости полей потоков явного и скрытого тепла в акватории Мексиканского залива, прилегающей к району зарождения ТУ Lorenzo на различных стадиях его развития.

Установлено, что в период времени, предшествующий зарождению урагана наблюдается значительный градиент потока скрытого тепла в направлении к району зарождения урагана, где локализуются максимальные значения тепловых потоков.

На рис. 2 этот вывод иллюстрируется на примере одной из 6-часовых временных выборок спутниковых изображений поля потоков скрытого тепла за 18 часов до его зарождения.

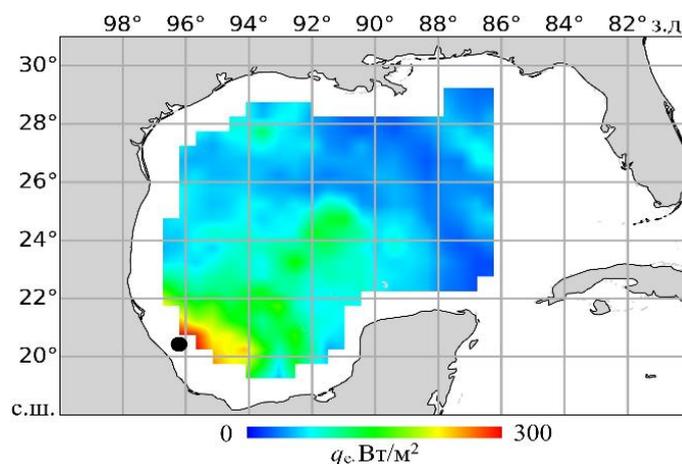


Рис. 2. Пространственное распределение потоков скрытого тепла в Мексиканском заливе на стадии зарождения ТУ Lorenzo, 27 сентября 2007 г., 6 часов утра. Точка – район зарождения урагана

Согласно результатам анализа данных архива HOAPS интенсивность потоков *явного* тепла в области формирования ТУ Lorenzo на порядок ниже интенсивности потоков скрытого тепла; при этом в их пространственном распределении наблюдаются такие же особенности, как у распределений потоков скрытого тепла.

Ураган Bret образовался под воздействием тропической волны, пришедшей с западного побережья Африки в Атлантический океан, и сформировался первоначально в виде тропической депрессии у берегов полуострова Юкатан в Мексиканском заливе 18 августа 1999 г. в точке 19.5° с.ш., 94.4° з.д.) [6]. ТУ Bret примечателен тем, что он является самым мощным ураганом из числа зародившихся в Мексиканском заливе за всю историю наблюдений.

На рис. 3 приведен пример пространственного распределения потоков скрытого тепла в Мексиканском заливе в 12 часов дня 20 августа 1999 г. – за 12 часов до зарождения ТУ Bret. Здесь, как и в случае с ТУ Lorenzo наблюдается значительный градиент потока скрытого тепла в направлении к району зарождения урагана, где локализуются максимальные значения тепловых потоков.

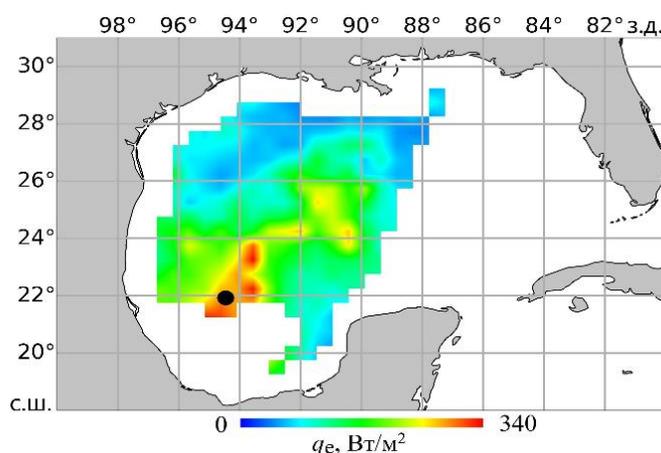


Рис. 3. Пространственное распределение потоков скрытого тела в Мексиканском заливе 20 августа 1999 г., 12 часов дня. Точка – район зарождения ТУ Bret

Интенсивность потоков *явного* тепла в области формирования ТУ Bret на порядок ниже интенсивности потоков скрытого тепла; при этом в их пространственном распределении наблюдаются такие же особенности, как и у распределений потоков скрытого тепла.

Полученный результат – четкая пространственная локализация полей поверхностных потоков явного и скрытого тепла в районах зарождения тропических ураганов – следует выделить особо, т.к. он позволяет положительно ответить на важный вопрос: можно ли с помощью данной характеристики определять положение их очагов?

Динамика полей яркостной температуры в районах зарождения ТУ Lorenzo и Bret

Получены оценки пространственных распределений яркостной температуры (ЯТ) в окрестности зарождения ТУ Lorenzo с использованием данных измерений ЯТ радиометра AMSR-E спутника EOS Aqua из архива NSIDC. В качестве примера на рис. 4 приведено изображение ЯТ на нисходящем витке спутника EOS Aqua по данным измерений канала 19V (на частоте 18.7 ГГц на вертикальной поляризации) радиометра AMSR-E.

Следует отметить, что данный частотный канал радиометра AMSR-E реагирует на ключевые параметры тепло- и влагообмена между поверхностью океана и атмосферой, такие как температура, влажность воздуха и скорость ветра в приводном слое атмосферы, а также температура водной поверхности.

Из иллюстрации следует, что в период времени, предшествующий зарождению урагана, наблюдается значительный градиент величины T_{19V} в направлении к району зарождения урагана, где локализуются максимальные значения ЯТ.

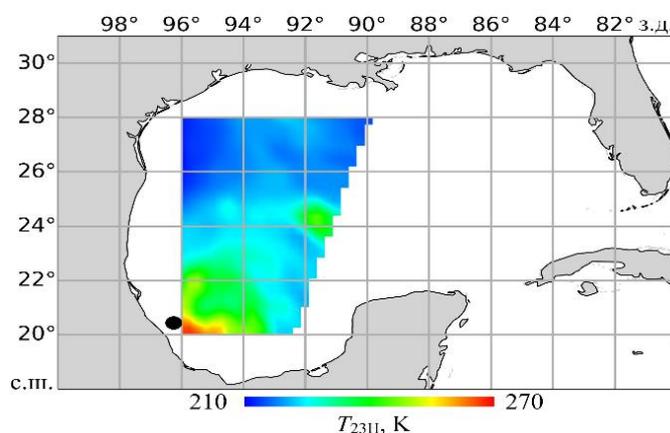


Рис. 4. Пространственное распределение ЯТ по данным измерений канала 19V радиометра AMSR-E в окрестности зарождения ТУ Lorenzo, 27 сентября 2007 г., 1:30 ч. Точка – район зарождения урагана Lorenzo

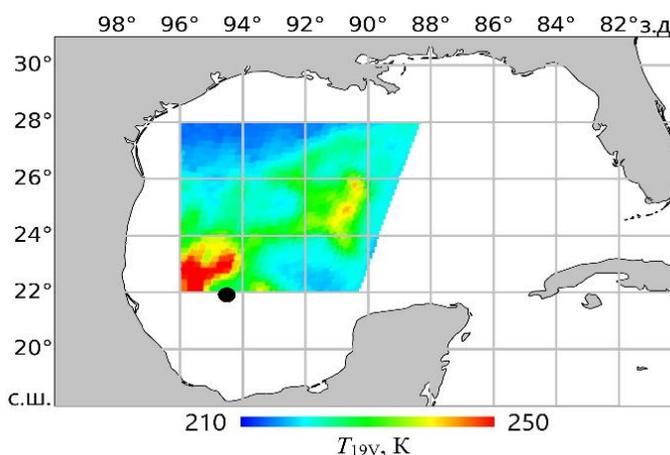


Рис. 5. Пространственное распределение ЯТ по данным измерений канала 19V радиометра SSM/I в окрестности зарождения ТУ Bret, 20 августа 1999 г., 15:30 ч. (восходящий виток спутника F14). Точка – район зарождения урагана Bret

Аналогичный результат наблюдается при анализе пространственного распределения ЯТ на частоте 19.35 ГГц на вертикальной поляризации в окрестности зарождения ТУ Bret с использованием данных измерений радиометра SSM/I спутника F14 из архива National Climatic Data Center (NCDC) Hurricane Satellite (HURSAT) Microwave data set (рис. 5).

Некоторые оценки возможностей использования архива HOAPS

Анализ данных архива HOAPS показывает, что отдельные временные выборки спутниковых изображений полей поверхностных тепловых потоков в Мексиканском заливе представлены в архиве неполно, фрагментарно (рис. 6).

Пропуски данных в архиве можно объяснить наличием слепых зон, образующихся в результате расхождением полос сканирования СВЧ-радиометров спутников DMSP в нижних (тропических) широтах, которые и являются здесь областью интересов. Необходимое качество количественного описания полей тепловых потоков при этом

достигается путем селекции (отбора) изображений с минимальным влиянием слепых зон.



Рис. 6. Доступные объемы данных архива HOAPS о параметре q_e в районе Мексиканского залива 18–30° с.ш., 86–97° з.д. (незаштрихованные области) 27 сентября 2007 г. (зарождение ТУ Lorenzo): (а) 0 ч; (б) 6 ч; (в) 18 ч; (г) 24 ч.

Выводы

1. Результаты анализа полученных на основе данных спутниковых измерений пространственных распределений тепловых потоков в районах формирования ураганов в Мексиканском заливе указывают на возможность определения местоположения районов их зарождения. На примерах формирования ТУ Lorenzo и Bret в Мексиканском заливе установлено, что в процессе их зарождения наблюдается значительный градиент потоков явного и скрытого тепла в направлении к районам зарождения ураганов, где они достигают максимальных значений.

2. Можно ожидать, что рассмотренный подход к зарождению тропических ураганов как результат прекращения условий существования стационарного режима в процессах теплообмена между океаном и атмосферой, позволит использовать данные спутникового мониторинга тепловых потоков не только для определения местоположения районов, но и времени зарождения ураганов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

Литература

1. Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В. Повышенное содержание водяного пара в атмосфере тропических широт как необходимое условие генезиса тропических циклонов // Исследование Земли из космоса. 2012. №2. С. 73–82.
2. Ermakov D. Satellite radiothermvision of atmospheric processes: method and applications. Springer: Chaim, 2021. 199 p.
3. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Новичихин Е.П. Спутниковая СВЧ-радиометрия тепловых и динамических процессов на поверхности океана и в атмосфере. М.: Российская Академия наук, 2022. 240 с.

4. Andersson A., Fennig K., Klepp C., Bakan S., Graßl H., Schulz J. The Hamburg Ocean Atmosphere Parameters and Fluxes from Satellite Data – HOAPS-3, *Earth Syst. Sci. Data*, 2. 2010. P. 215–234.
5. Franklin J.L. Tropical Cyclone Report: Hurricane Lorenzo, 22–28 September 2007. Miami: National Hurricane Center, 18 October 2007.
6. Lawrence M.B., Kimberlain T.B. Tropical Cyclone Report: Hurricane Bret, 18-25 August 1999. Miami: National Hurricane Center (Revised 26 February 2001).