

О групповом отклике метеорологических и радиоярких полей атмосферы в Мексиканском заливе на зарождение тропических ураганов

А.Г. Гранков, А.А. Мильшин, Е.П. Новичихин, Н.К. Шелобанова

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

На основе данных спутниковых СВЧ-радиометрических измерений проведен анализ характеристик пространственно-временной изменчивости полей яркостной температуры и общего влагосодержания атмосферы и их отклика на зарождение ураганов Bret и Katia в Мексиканском заливе. Анализируется возможность использования спутниковых данных для изучения связи между процессами циклогенеза над заливом и переносом тепла из Атлантики в виде внутритропических зон конвергенции и тропических волн.

Ключевые слова: тропические ураганы, яркостная температура, общее влагосодержание атмосферы

On the group response of meteorological and radiobrightness fields of the atmosphere in the Gulf of Mexico to the origin of tropical hurricanes

A.G. Grankov, A.A. Milshin, E.P. Novichikhin, N.K. Shelobanova

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

Based on the data of satellite microwave radiometric measurements, the characteristics of the spatial and temporal variability of the brightness temperature fields and the total moisture content of the atmosphere and their response to the origin of hurricanes Bret and Katia in the Gulf of Mexico were analyzed. The possibility of using satellite data to study the relationship between the processes of cyclogenesis over the gulf and heat transfer from the Atlantic in the form of intra-tropical convergence zones and tropical waves is analyzed.

Keywords: tropical hurricanes, brightness temperature, total moisture content of the atmosphere

Введение

Одним из перспективных направлений решения задач диагностики зарождения ураганов в тропических широтах океана является использование данных спутниковых измерений интенсивности собственного СВЧ-излучения – яркостной температуры (ЯТ) системы океан-атмосфера в окрестности линии 1.35 см (22.235 ГГц) спектра резонансного излучения (поглощения) водяного пара в атмосфере. В этой области СВЧ-диапазона наблюдаются тесная связь ЯТ с общим (интегральным) содержанием водяного пара в атмосфере (ОВА) для различных физико-географических зон Мирового океана.

В докладе приведены результаты анализа пространственно-временной изменчивости яркостной температуры системы океан-атмосфера в области поглощения собственного радиоизлучения системы в водяном паре атмосферы, а также интегрального (общего) содержания водяного пара в атмосфере в периоды зарождения и развития тропических ураганов (ТУ) Bret и Katia в Мексиканском заливе. Анализируется групповой отклик (усредненных по акватории залива) суточных значений ЯТ и ОВА и их стандартных отклонений на развитие данных тропических образований и переход в стадию урагана.

Нами используются архивы NSIDC (National Snow&Ice Data Center), RSS (Remote Sensing Systems), JAXA Data Providing Service глобальных данных о яркостной температуре и продуктах ее тематической обработки на основе данных измерений радиометров SSM/I (Scanning Sensor Microwave Imager), SSMIS (Special Sensor Microwave Imager Sounder) метеорологических спутников DMSP и радиометра AMSR-2 спутника GCOM-W1 (Global Change Observation Mission). Данные архивов представлены в виде сеточных значений для квадратов $0.25 \times 0.25^\circ$ на поверхности земного шара с суточным разрешением.

На основе данных измерений радиометра SSMIS спутника DMSP F17 (архивы RSS и NSIDC) и радиометра AMSR 2 спутника GCOM (архив JAXA Data Providing Service) исследована возможность использования спутниковых оценок общего влагосодержания атмосферы и скорости приводного ветра для изучения связи между процессами циклогенеза над заливом и переносом тепла от западного побережья Африки к Мексиканскому заливу в виде внутритропических зон конвергенции и тропических волн.

Отклик поля яркостной температуры в Мексиканском заливе на зарождение ТУ Bret и Katia

Ураган Bret образовался из тропической депрессии в заливе Кампече (южной части Мексиканского залива) 18 августа 1999 г. [1]. Утром 22 августа Bret, набрав максимальную силу, стал приближаться к южному побережью Техаса со скоростью ветра около 230 км/ч, что соответствует 4-ой категории интенсивности по шкале Саффира-Симпсона.

Ураган Katia зародился в виде тропической депрессии в полдень 5 сентября 2017 г. в заливе Кампече [2]. Утром 6 сентября достиг статуса тропического шторма и вечером того же дня трансформировался в ураган, распространяющийся к мексиканскому побережью со скоростью около 170 км/ч.

С помощью данных архивов NSIDC и RSS проведен анализ статистических характеристик пространственной изменчивости полей яркостной температуры в различных участках СВЧ-диапазона в области $21.75^\circ\text{--}28^\circ$ с.ш., $85.5^\circ\text{--}95.75^\circ$ з.д. Мексиканского залива в интервалы времени, охватывающие синоптические истории ТУ Bret и Katia, детально описанные в [1, 2]. Для данной области, покрывающей значительную часть залива, сформированы массивы данных в виде матриц 42×26 , элементами которой являются суточные значения ЯТ в пространственных ячейках $0.25 \times 0.25^\circ$.

Результаты анализа для ТУ Bret показаны на рис 1 в виде вариаций средних для акватории залива значений m и дисперсии (стандартного отклонения) полей яркостной температуры, измеренной различными каналами радиометров SSM/I спутника F13 в период зарождения и развития ТУ данного урагана. Из приведенных иллюстраций видно, что развитие тропического образования Bret сопровождается нарастанием и последующим снижением средних значений и дисперсии ЯТ (стрелочками обозначен момент его перехода в стадию тропического урагана). При этом наиболее отчетливый отклик ЯТ имеет место для стандартного отклонения яркостной температуры от среднего σ в форме импульса, временное положение которого совпадает с началом стадии урагана. Амплитуда импульса варьирует от 1–1.5 Кельвина в канале 22V радиометра SSM/I, реагирующего преимущественно на содержание водяного пара в атмосфере, до 4–5 К в канале 19V и 8–10 К в канале 19H, которые чувствительны не только к величине ОВА, но и скорости приводного ветра.

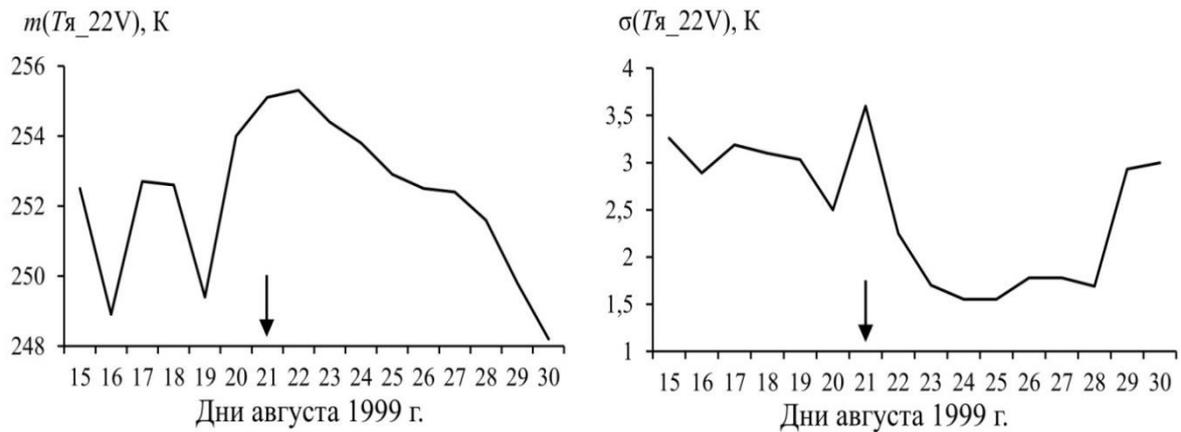


Рис. 1а. Канал радиометра SSM/I 22V (частота 22.235 ГГц, вертикальная поляризация)

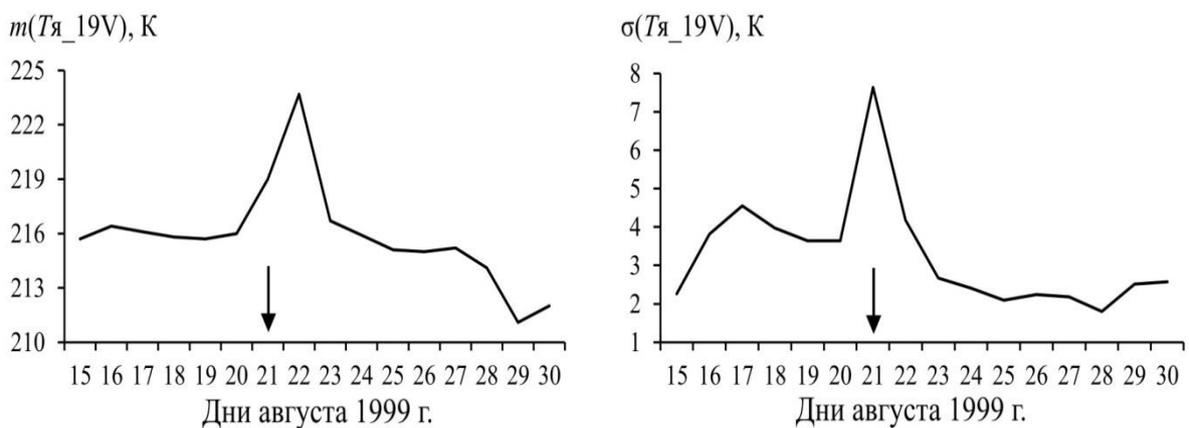


Рис. 1б. Канал радиометра SSM/I 19V (частота 19.35 ГГц, вертикальная поляризация)

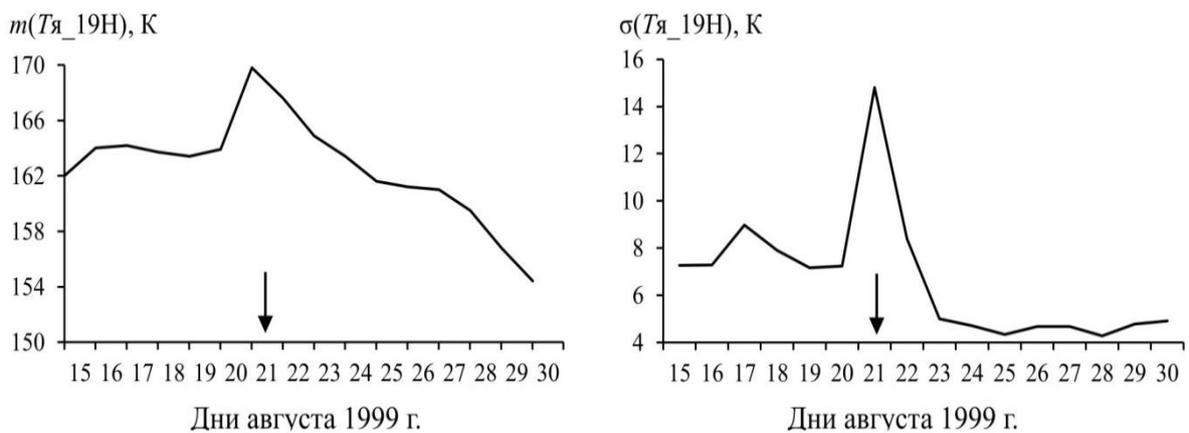


Рис. 1в. Канал радиометра SSM/I 19H (частота 19.35 ГГц, горизонтальная поляризация)

Результаты анализа для ТУ Katia приведены на рис 2 в виде вариаций средних для залива значений (m) и стандартного отклонения (σ)ЯТ, измеренной различными каналами радиометров SSMIS спутника F17 в период зарождения и развития ТУ данного урагана.

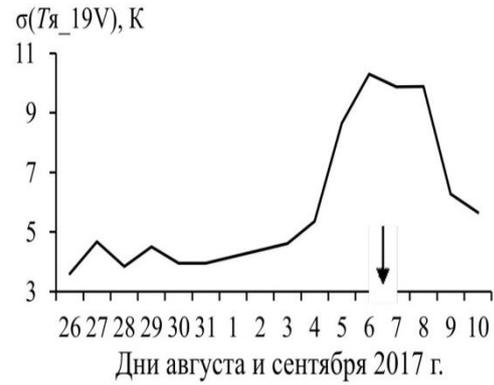
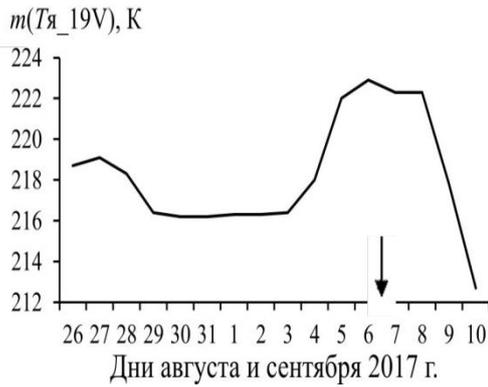


Рис. 2а. Канал радиометра SSMIS 19V (19.35 ГГц, вертикальная поляризация)

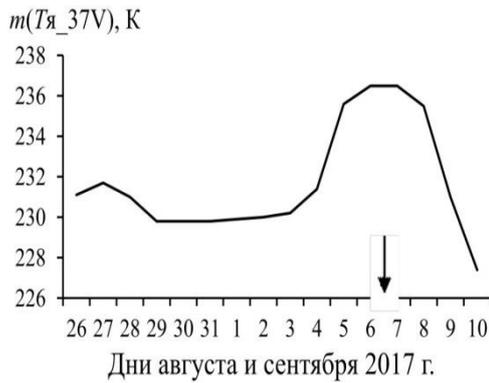


Рис. 2б. Канал радиометра SSMIS 37V (37.0 ГГц, вертикальная поляризация)

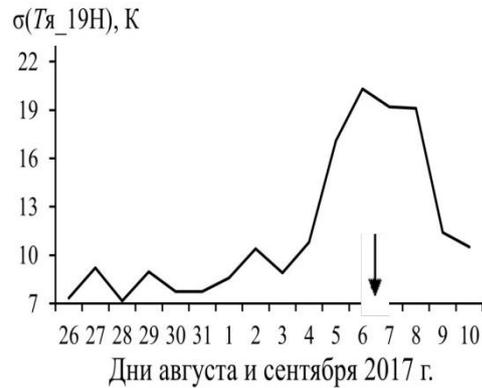


Рис. 2в. Канал радиометра SSMIS 19H (19.35 ГГц, горизонтальная поляризация)

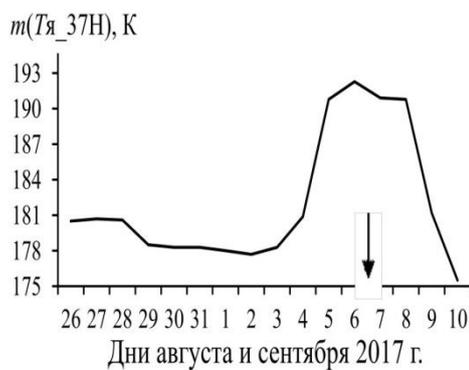


Рис. 2г. Канал радиометра SSMIS 37H (37.0 ГГц, горизонтальная поляризация)

Как видно, в период зарождения ТУ Katia также наблюдается нарастание и последующее снижение яркостной температуры, измеряемой каналами радиометра SSMIS спутника F17, включая каналы 37V и 37H, реагирующие на общее (интегральное) содержание жидкокапельной влаги в облаках. Однако характер отклика в данном случае несколько отличается от предыдущего, что, видимо, объясняется различиями синоптических историй ТУ Bret и Katia.

Отклик поля ОВА в Мексиканском заливе на зарождение ТУ Bret и Katia

С помощью данных архивов NSIDC и JAXA Data Providing Service проведен анализ статистических характеристик пространственной изменчивости полей общего влагосодержания атмосферы Q (дисперсии и средних значений) в области 21.75° – 28° с.ш., 85.5° – 95.75° з.д. Мексиканского залива в периоды времени, охватывающие синоптические истории ТУ Bret и Katia. Исходными данными служат данные измерений радиометров SSM/Испутников F11, F13, F14 для урагана Bret и радиометров SSM/Испутника F15, SSMIS спутника F17, AMSR 2 спутника GCOM-W1 для урагана Katia. Результаты анализа для ТУ Katia приведены в качестве примера в табл. 1.

Таблица 1. Статистические характеристики полей ОВА в период наблюдений за ураганом Katia – средние (m) и стандартные отклонения (σ) (в $кг/м^2$) для восходящих (A) и нисходящих (D) витков спутников

| дата | тип орбиты | F15 | | F17 | | GCOM-W1 | |
|-------|------------|------|----------|------|----------|---------|----------|
| | | m | σ | m | σ | m | σ |
| 26.08 | A | | | 55.3 | 3.11 | 56.3 | 1.95 |
| | D | 53.7 | 1.52 | 56.1 | 1.6 | | |
| 27.08 | A | | | | | | |
| | D | | | 55.9 | 2.32 | 55.4 | 2.21 |
| 28.08 | A | | | 55.5 | 3.49 | 54.5 | 4.94 |
| | D | | | 54.7 | 3.34 | | |
| 29.08 | A | 47.5 | 5.08 | 51 | 6.2 | | |
| | D | | | 52.6 | 4.99 | 53.0 | 5.43 |
| 30.08 | A | | | | | 47.5 | 6.66 |
| | D | 42.1 | 5.17 | | | 49.4 | 5.26 |
| 31.08 | A | 45.7 | 6.34 | | | | |
| | D | 44.3 | 6.21 | | | | |
| 01.09 | A | | | | | 50.9 | 7.03 |
| | D | 48.7 | 6.00 | | | 50.4 | 7.90 |
| 02.09 | A | | | | | 48.0 | 6,79 |
| | D | | | 47.2 | 7.05 | | |
| 03.09 | A | | | 47.3 | 7.52 | | |
| | D | | | 48.6 | 5.92 | 47.7 | 7.14 |
| 04.09 | A | 50.2 | 2.06 | 50.4 | 5.87 | 53.9 | 3.02 |
| | D | | | 52.5 | 3.24 | | |
| 05.09 | A | 48.7 | 2.61 | 53.8 | 3.2 | | |
| | D | 48.3 | 1.84 | 54.9 | 2.93 | 54 | 3.07 |
| 06.09 | A | 48.6 | 3.29 | | | 54.6 | 4.74 |
| | D | 49.5 | 2.78 | 54.5 | 4.83 | | |
| 07.09 | A | | | | | | |
| | D | 50.7 | 4.58 | 53.9 | 3.23 | 53.7 | 4.82 |

Пропуски данных в табл. 1 обусловлены наличием слепых зон в зонах обзора спутников, образующихся в результате расхождения полос сканирования радиометров [3].

Результаты анализа изменчивости пространственной дисперсии полей влажности атмосферы в Мексиканском заливе на различных стадиях возникновения и развития тропических образований Bret и Katia показывают общую особенность – усиление в течение нескольких дней пространственной дисперсии ОВА над акваторией залива и дальнейшее ее ослабление перед финальной стадией – появлением урагана (рис. 3).

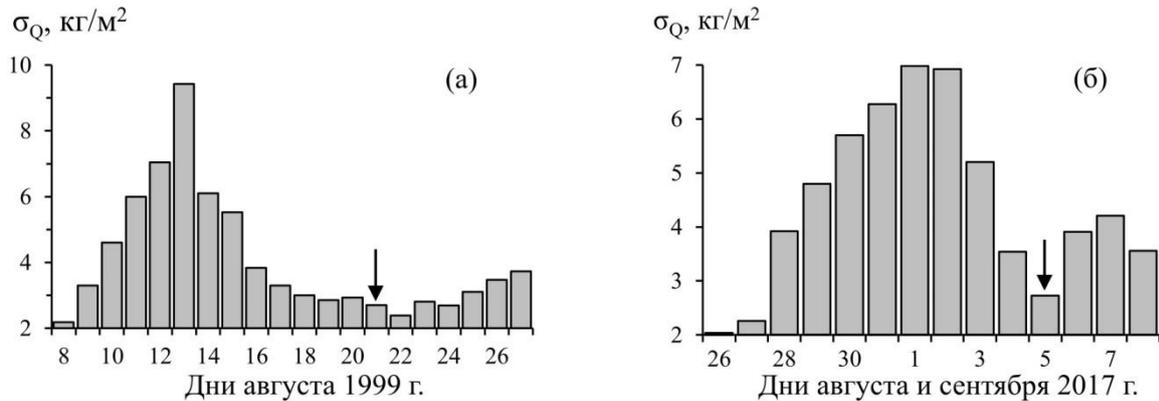


Рис. 3. Вариации стандартных отклонений ОВА в периоды зарождения и развития ТУ Bret (а) и Katia(б). Стрелками отмечены моменты перехода тропических образований в стадию урагана

На рис. 4 иллюстрируется групповой отклик полей общего водозапаса облаков (средних значений и стандартных отклонений) над Мексиканским заливом на зарождение ТУ Bret.

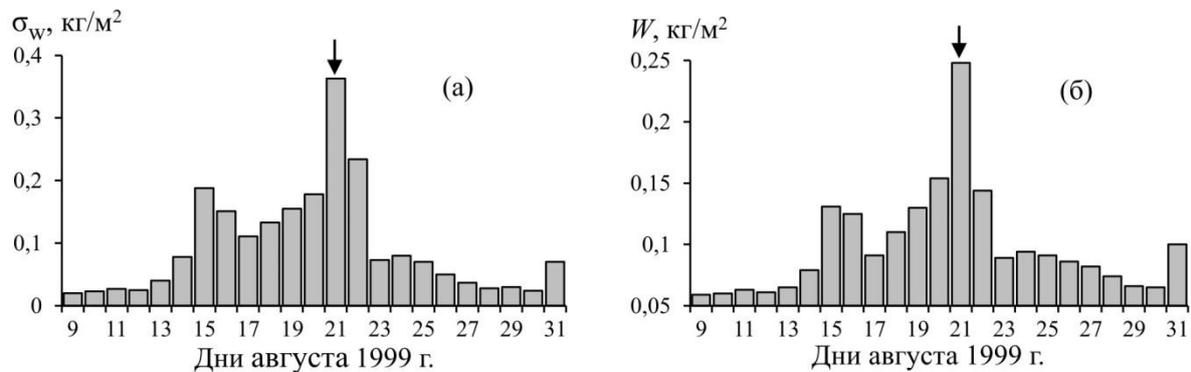


Рис. 4. Вариации стандартных отклонений σ_w (а) и средних значений W (б) общего водозапаса облаков W над Мексиканским заливом в период зарождения и развития ТУ Bret. Стрелкой отмечен момент перехода тропического образования в стадию урагана

Рисунок иллюстрирует следующую особенность: процесс пространственно-временной изменчивости данного параметра W в период зарождения и развития ТУ Bret близок к классу процессов с постоянным коэффициентом вариации (отношением стандартного отклонения σ_w к среднему значению W).

Циклогенез над Мексиканским заливом и перенос тепла из Атлантики

Согласно синоптическим историям ураганов Bret и Katia [1, 2], их происхождение можно связывать с тропическими волнами, пришедшими к Мексиканскому заливу от западного побережья Африки. В связи с этим важной задачей представляется исследование возможностей использования спутниковых СВЧ-

радиометрических измерений для мониторинга тепловых процессов в данных акваториях Атлантики и их возможного влияния на циклогенез над Мексиканским заливом.

На данном этапе исследований нами выявлено существование внутритропической зоны конвергенции, характеризующейся высокими значениями общего влагосодержания атмосферы и штилевыми значениями приводного ветра, перемещающейся в Атлантике от западного побережья Африки по направлению к Мексиканскому заливу в период, предшествующий зарождения урагана Katia (рис. 5).

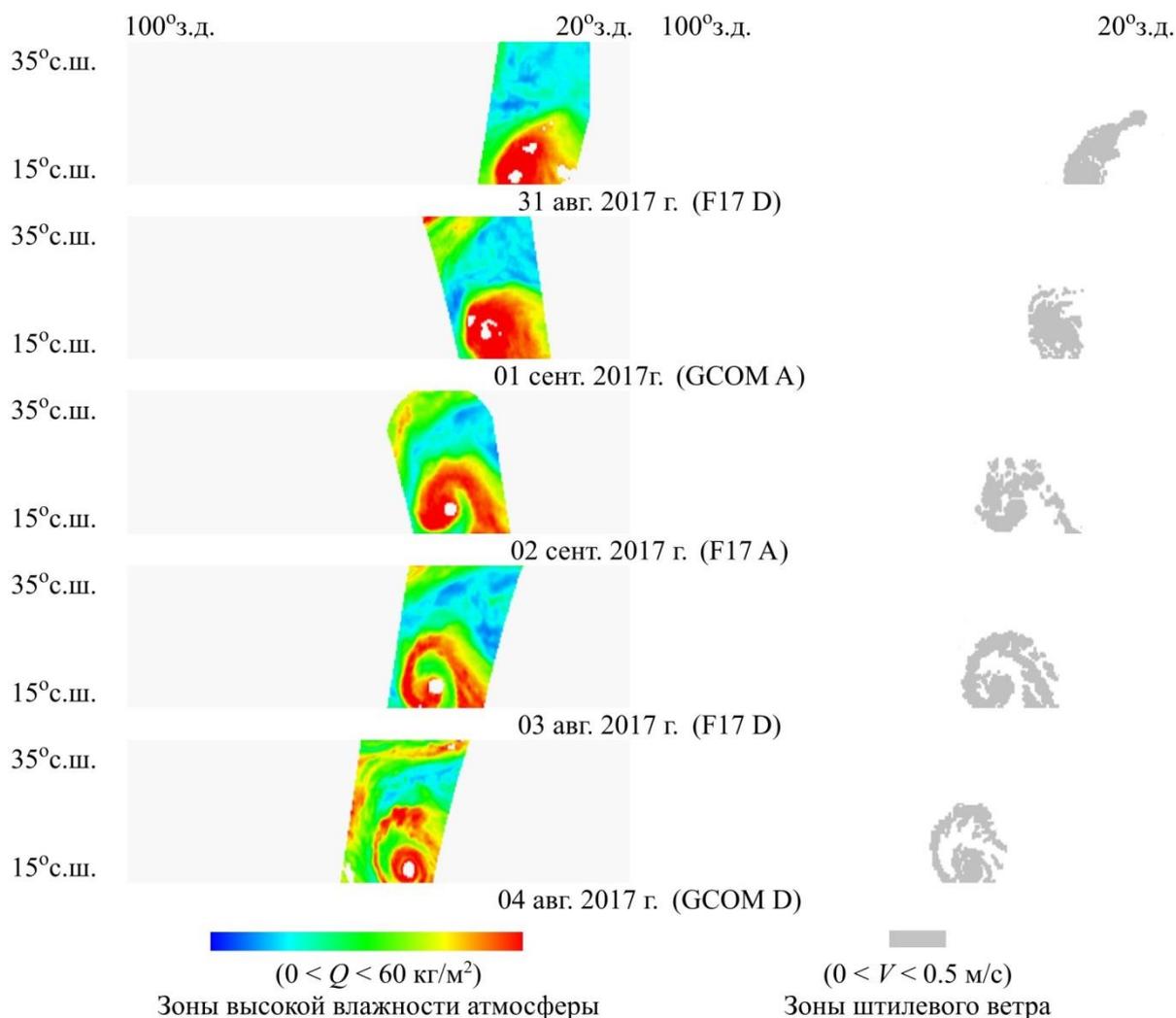


Рис. 5. Перемещение внутритропической зоны конвергенции от западного побережья Африки в сторону Мексиканского залива в период, предшествующий зарождения ТУ Katia. По данным измерений со спутников F17 и GCOM-W1 на восходящих (А) и нисходящих (D) витках.

Заключение

Результаты анализа синоптической изменчивости полей яркостной температуры и общего влагосодержания атмосферы в Мексиканском заливе со спутников DMSP и GCOM-W1 свидетельствуют о существовании отчетливого группового отклика их статистических характеристик к процессам зарождения и развития местных ураганов на примерах тропических образований Bret и Katia.

Данные проведенных наблюдений могут служить важными предпосылками для разработки технологий ранней диагностики зарождения ураганов в Мексиканском

заливе на основе данных спутникового СВЧ-радиометрического мониторинга пространственно-временной изменчивости радиояркостных и влажностных характеристик атмосферы.

Перспективность использования спутниковых СВЧ-радиометрических методов для изучения связи тепловых процессов в Атлантике с циклогенезом над Мексиканским заливом подтверждается на примере обнаружения ВЗК, перемещающейся от западного побережья Африки к Мексиканскому заливу в период, предшествующий зарождения урагана Katia. В задачи дальнейших исследований входит изучение крупномасштабных тепловых и динамических характеристик атмосферы в зонах распространения тропических волн и их связи с зарождением ураганов в Мексиканском заливе.

Работа проведена в ходе выполнения государственного задания № 0030-2019-0008 (шифр «Космос»).

Литература

1. Lawrence M.B., Kimberlain T.B. // Tropical Cyclone Report: Hurricane Bret, 18-25 August 1999. Miami: National Hurricane Center (Revised 26 February 2001).
2. Avila L.A. // Tropical Cyclone Report: Hurricane Katia, 5-9 September 2017. Miami: National Hurricane Center, 14 February 2019.
3. Гранков А.Г., Мильшин А.А. Об эффективности комплексирования спутниковых СВЧ-радиометрических средств мониторинга полей влажности атмосферы в зонах зарождения ураганов// Радиотехника и электроника. 2022. Т. 67, №6. С. 1–8.