ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2024, том 518, № 1, с. 179–184

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

УДК 551.465:551.521

ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ АТЛАНТИКИ В ПЕРИОДЫ ЗАРОЖДЕНИЯ УРАГАНОВ

© 2024 г. А. Г. Гранков

Представлено академиком РАН С.А. Никитовым 28.03.2024 г.
Поступило 28.03.2024 г.
После доработки 02.05.2024 г.
Принято к публикации 08.05.2024 г.

Приводятся результаты анализа полученных на основе данных спутниковых СВЧ- и ИК-радиометрических измерений изображений поверхностных тепловых потоков в районах зарождения ряда ураганов в Мексиканском заливе и тропической Атлантике. Отмечается нарастание в течение 4–6 суток потоков скрытого и явного тепла в периоды времени, предшествующие зарождению ураганов, и локализация в определённых областях – их очагах. Максимальные значения тепловых потоков достигается одновременно с переходом тропических образований из стадии тропического шторма в стадию тропического урагана.

Ключевые слова: зарождение ураганов, тропическая Атлантика, поверхностные тепловые потоки, градиенты потоков, спутниковые изображения, архив HOAPS

DOI: 10.31857/S2686739724090189

ВВЕДЕНИЕ

Разработка технологий диагностики зарождения тропических ураганов (ТУ) с помощью спутниковых радиофизических средств является актуальной задачей; одним из перспективных путей её решения является мониторинг общего влагосодержания атмосферы (ОВА), о чём 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. Обнаружен эффект снижения пространственной дисперсии (выглаживания) поля водяного пара атмосферы в заливе за несколько суток перед переходом тропических образований из стадии тропического шторма в стадию ТУ [4].

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, например, в теории горения и взрыва Н.Н. Семенова появление нестационарного режима — теплового взрыва — формулируется как условие исчезновения стационарного режима (экзотермической реакции с тепловыделением в условиях теплоотвода), когда процессы тепловыделения не уравновешиваются процессами теплоотвода [5]. При этом следует ожидать, что в нашем случае в момент зарождения ТУ будут наблюдаться максимальные значения теплового потока на границе раздела океана и атмосферы, который является чётким индикатором изменений теплового баланса между океаном и атмосферой.

На ряде примеров анализируются особенности формирования полей вертикальных турбулентных потоков явного и скрытого тепла на поверхности океана в районах зарождения ТУ. Оцениваются возможности их использования не только для диагностики времени зарождения ураганов, но и для определения местоположения их очагов.

В качестве исходных данных используются значения поверхностных потоков скрытого (латентного) и явного тепла в Мировом океане

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова, Фрязино, Россия
E-mail: agrankov@inbox.ru

с 6-часовым временным разрешением на сетке 0.5 °×0.5 ° из глобального архива HOAPS (The Hamburg Ocean Atmosphere Parameters and Fluxes from Satellite) [6]. Архив базируется на данных долговременных СВЧ-радиометрических измерений со спутников DMSP и ИК-радиометрических измерений со спутников NOAA: первые используются для определения температуры, влажности воздуха и скорости ветра в приводном 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.

Области интересов включают акватории тропической Атлантики, отличающиеся высокой циклонической активностью благодаря регулярному влиянию тропических волн, распространяющихся от западного побережья Африки к Карибскому морю и Мексиканскому заливу, а также Мексиканский залив, где мы ставим задачу достижения лучшего понимания региональных механизмов зарождения местных ураганов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предварительный анализ данных архива HOAPS показывает, что отдельные временные выборки спутниковых изображений полей поверхностных тепловых потоков в Мексиканском заливе представлены в архиве неполно (фрагментарно), что можно объяснить наличием слепых зон, образующихся в результате расхождением полос сканирования СВЧ-радиометров спутников DMSP в нижних (тропических) широтах, которые и являются областью интересов в нашем исследовании. Данная особенность учитывается при анализе пространственно-временной изменчивости тепловых потоков в районах зарождения рассмотренных ниже тропических ураганов Lorenzo, Bret и Ivan. Необходимое качество количественного описания полей тепловых потоков при этом достигается путем селекции (отбора) изображений с минимальным влиянием слепых зон в исследуемых акваториях.

Пространственная динамика тепловых потоков в районах зарождения ТУ Lorenzo и Bret

В соответствии с историей развития [7] тропический ураган Lorenzo 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 проведён 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. 1 этот вывод иллюстрируется на примере одной из 6-часовых временных выборок спутниковых изображений поля потоков скрытого тепла за 18 часов до его зарождения.

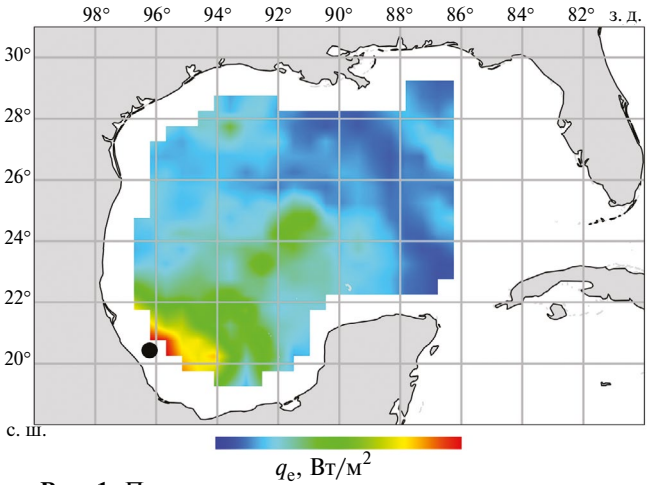

Рис. 1. Пространственное распределение потоков скрытого тепла в Мексиканском заливе, 27 сентября 2007 г., 6 часов утра. Точка – район зарождения ТУ Lorenzo.

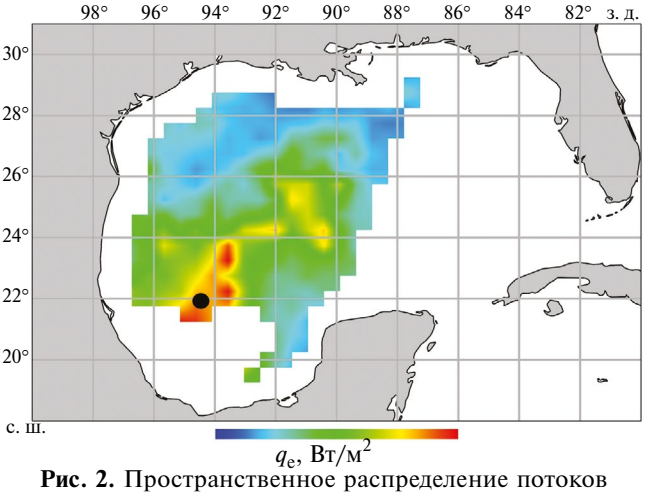

Рис. 2. Пространственное распределение потоков скрытого тепла в Мексиканском заливе 20 августа 1999 г., 12 часов дня. Точка – район зарождения ТУ Bret.

Ураган Bret сформировался первоначально в виде тропической депрессии у берегов полуострова Юкатан в Мексиканском заливе 18 августа 1999 г. в точке 19.5 ^{o} с. ш., 94.4 ^{o} з. д. [8]. ТУ Bret примечателен тем, что он является самым мощным ураганом из числа зародившихся в Мексиканском заливе за всю историю наблюдений.

На рис. 2 приведён 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.

Согласно данным архива HOAPS интенсивность потоков явного тепла в области формирования ТУ Lorenzo и Bret на порядок ниже интенсивности потоков скрытого тепла. Данный результат согласуется с известными сведениями о доминировании в тропических широтах процессов влагообмена между поверхностью океана и атмосферой над процессами теплообмена.

У пространственного распределения потоков явного тепла наблюдаются такие же основные особенности, как у распределений потоков скрытого тепла: например, в поле потоков явного тепла также наблюдается значительный градиент в направлении к районам зарождения ураганов, а также отчётливо выделяются сами области их зарождения.

Полученный результат – чёткая 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?

Временная динамика тепловых потоков в районах зарождения ТУ Lorenzo и Bret

На основе данных архива HOAPS проведён анализ временной изменчивости потоков явного и скрытого тепла на различных стадиях развития тропических образований Lorenzo и Bret в районах зарождения; в качестве примеров на рис. 3 и 4 приведены результаты для временной динамики потоков скрытого тепла.

Из иллюстраций следует, что зарождению ТУ Lorenzo и Bret предшествует нарастание в течение 5–6 суток потоков скрытого тепла, максимальные значения которых знаменуют начало стадии тропического урагана. После ухода ураганов из районов зарождения величина qe начинает снижаться, возвращаясь к своим первоначальным значениям, наблюдаемым до начала процессов циклогенеза.

Аналогичные особенности наблюдаются у временной динамики потоков явного тепла в районах зарождения ТУ Lorenzo и Bret, что можно объяснить высокой корреляцией

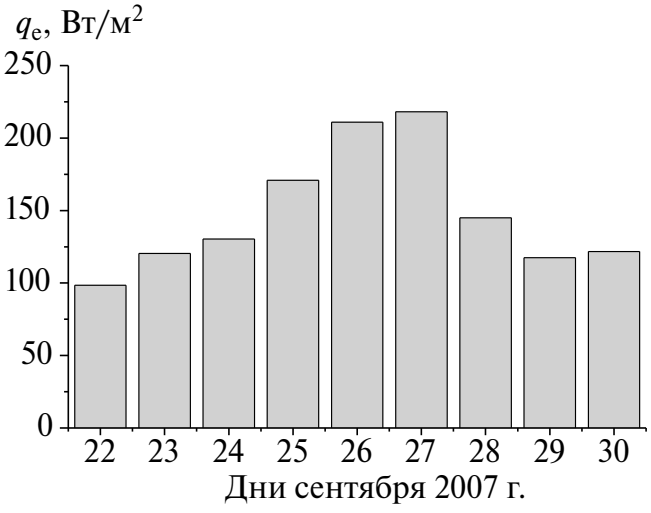

Рис. 3. Динамика нарастания суточных потоков скрытого тепла в районе зарождения ТУ Lorenzo — квадрате 1 ^{o}×1^{o} с координатами центра 20.5 ^{o} с. ш., 96.3 ^{o} з. д. Начало стадии тропического урагана 27 сентября.

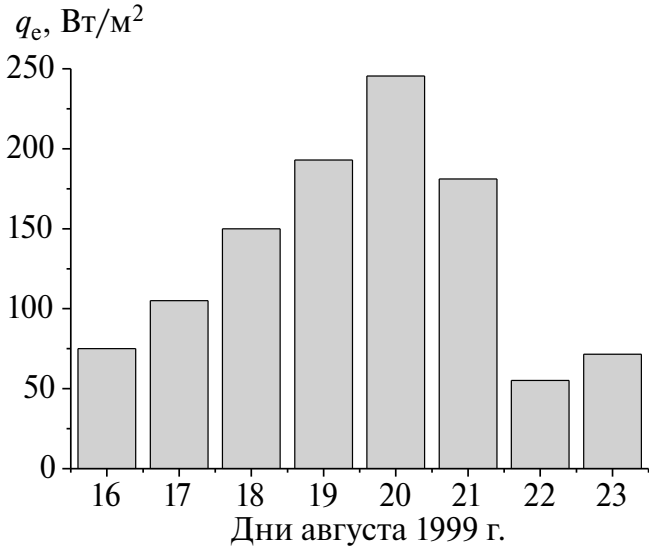

Рис. 4. Динамика нарастания суточных потоков скрытого тепла в районе зарождения ТУ Bret – квадрате 1 ^{o}×1 ^{o} с координатами центра 21.9 ^{o} с. ш., 94.5 ^{o} з. д. Начало стадии тропического урагана 20 августа.

в тропических широтах синоптических полей температуры и влажности воздуха в приводном (10-метровом) слое – ключевом для формирования турбулентных потоков тепла и влаги.

Временная динамика тепловых потоков в районе зарождения атлантического урагана Ivan

По данным оптических и ИК-изображений, полученных с геостационарных спутников GOES-12 и MODIS, ТУ Ivan сформировался в тропической зоне Атлантики 5 сентября 2004 г. в точке 9.5 ^{o} с. ш., 43.4 ^{o} з. д. [8]. Ураган соответствует 5-ой категории интенсивности по шкале Саффира-Симпсона с максимальной скоростью ветра 270 км/ч.

На основе данных архива HOAPS проведён анализ временной изменчивости потоков явного и скрытого тепла на различных стадиях развития ТУ Ivan, а результаты в виде 6-часовых выборок значений q_h и q_e приведены на рис. 5 и 6.

Из иллюстраций следует, что зарождению ТУ Ivan предшествует нарастание в течение 5 суток потоков явного и скрытого тепла. Потоки q_h и q_e достигают максимальных значений в момент начала стадии тропического урагана. После ухода урагана из района зарождения значения q_h и q_e начинают снижаться, возвращаясь к своим первоначальным значениям, наблюдаемым до развития урагана.

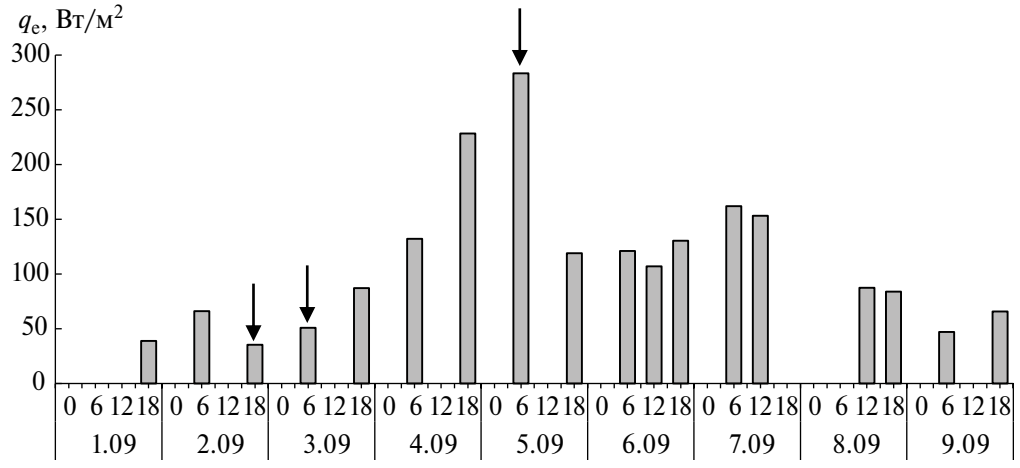

Рис. 5. Вариации поверхностных потоков скрытого тепла q_e в районе зарождения ТУ Ivan в период 1–9 сентября 2004 г. Стрелочками отмечены даты и время начала стадий тропической депрессии (2.09), тропического шторма (3.09) и тропического урагана (5.09). Пропуски отдельных 6-часовых выборок обусловлены отсутствием соответствующих данных в архиве HOAPS.

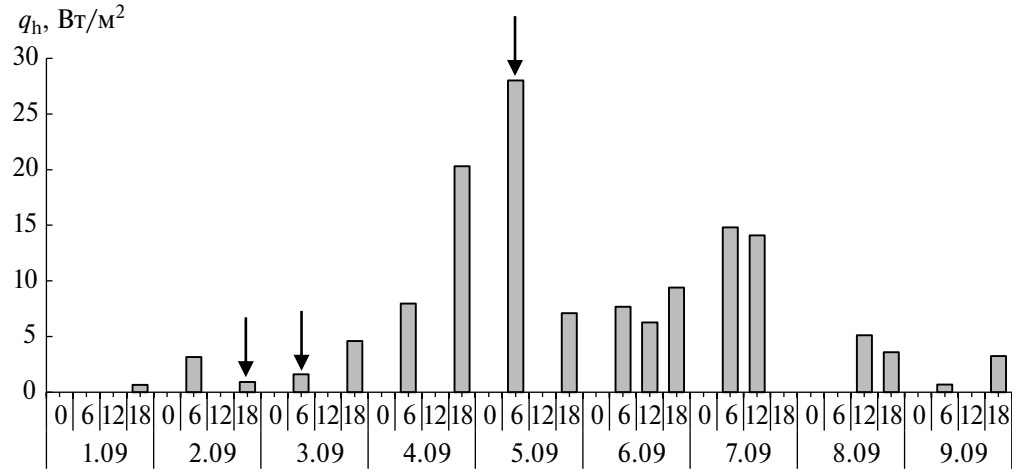

Рис. 6. Вариации поверхностных потоков явного тепла q_h в районе зарождения ТУ Ivan в период 1–9 сентября 2004 г. Стрелочками отмечены даты и время начала стадий тропической депрессии (2.09), тропического шторма (3.09) и тропического урагана (5.09). Пропуски отдельных 6-часовых выборок обусловлены отсутствием соответствующих данных в архиве HOAPS.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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. В качестве наиболее значимого результата следует отметить, что потоки явного и скрытого тепла достигают максимальных значений одновременно с началом стадии тропического урагана у ТУ Lorenzo, Bret, Ivan. Этот результат получен на основе данных анализа спутниковых наблюдений, не прибегая к физической интерпретации нестационарности процессов тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой при формировании ураганов и анализу условий их возникновения, что является задачей дополнительного исследования.

3. Зарождению ТУ Lorenzo, Bret и Ivan предшествует нарастание в течение 5–6 суток потоков явного и скрытого тепла, эта особенность их временной динамики может быть использована для диагностики начала развития тропических ураганов.

4. Наличие слепых зон, образующихся в результате расхождения полос сканирования СВЧ-радиометров спутников DMSP в тропических широтах океана, приводит к снижению цельности спутниковых изображений полей поверхностных тепловых потоков в архиве HOAPS и снижению их временной регулярности. В частности, как показано на примере ТУ Ivan, фактическая (с учётом пропусков в архиве) регулярность данных о потоках явного и скрытого тепла в районе его зарождения составляет 12 часов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Е.П. Новичихину и Н.К. Шелобановой за помощь в обработке спутниковых данных и Ф.А. Мкртчяну за содействие в выполнении работы. Спутниковые данные о глобальных полях потоков явного и скрытого тепла на поверхности океана получены из архива HOAPS (The Hamburg Ocean Atmosphere Parameters and Fluxes from Satellite).

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В.* Повышенное содержание водяного пара в атмосфере тропических широт как необходимое условие генезиса тропических циклонов // Исслед. Земли из космоса. 2012. № 2. С. 73–82.

2. *Ermakov D.* Satellite radiothermovision of atmospheric processes: method and applications. Chaim: Springer, 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. *Гранков А.Г.* О связи полей влажности атмосферы в Мексиканском заливе с процессами зарождения и развития ураганов // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2021. Т. 57. № 4. *С.* 495–506.

5. *Семёнов Н.Н.* Избранные труды: в 4 т. / отв. ред. А. Е. Шилов, Г. Б. Сергеев. Т. 2: Горение и взрыв М.: Наука, 2005. 703 с.

6. *Andersson A., Fennig K., Klepp C. et al.* The Hamburg Ocean Atmosphere Parameters and Fluxes from Satellite Data – HOAPS-3, Earth Syst. Sci. Data, 2. 2010. P. 215–234.

7. *Franklin J.L.* Tropical Cyclone Report: Hurricane Lorenzo, 22–28 September 2007. Miami: National Hurricane Center, October 18, 2007.

8. *Lawrence M.B., Kimberlain T.B.* Tropical Cyclone Report: Hurricane Bret, 18-25 August 1999. Miami: National Hurricane Center (Revised February 26, 2001).

9. *Stewart S.R.* Tropical Cyclone Report: Tropical Hurricane Ivan 2–12 September 2004. Miami: National Hurricane Center December 16, 2004 (Updated May 27, 2005 and August 11, 2011).

DYNAMICS OF SURFACE HEAT FLUXES IN THE TROPICAL ZONE OF THE ATLANTIC DURING THE PERIODS OF HURRICANE ORIGIN

A. G. Grankov

Presented by Academician RAS S.A. Nikitov March 28, 2024.
Fryazino Branch of the Kotelnikov Institute of Radioyngineering and Electronics, Russian Academy of Sciences, Fryazino, Russian Federation
E-mail: agrankov@inbox.ru

The results of the analysis of images of surface heat flows in the areas of origin of a number of hurricanes in the Gulf of Mexico and the tropical Atlantic, obtained with the satellite microwave and IR radiometric measurements, are presented. An increase in the intensity of latent and sensible heat fluxes during 4–5 days in the periods preceding the origin of hurricanes and their localization in certain areas, is discovered.

Keywords: hurricane origin, tropical Atlantic, surface heat fluxes, gradients of fluxes, satellite images, archive HOAPS