

П.А. Голубкин, Е.В. Заболотских, Б. Шапрон, В.Н. Кудрявцев

О СЛЕДАХ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ В ПОЛЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

P.A. Golubkin, E.V. Zabolotskikh, B. Chapron, V.N. Kudryavtsev

ON SEA SURFACE TEMPERATURE WAKES OF TROPICAL CYCLONES DERIVED FROM SATELLITE DATA

В работе рассмотрены следы трех тропических циклонов в полях температуры поверхности океана (ТПО). Проанализирована связь между величиной аномалии ТПО в следе со скоростью ветра в циклоне и параметрами вертикальной стратификации океана.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, тропический циклон, температура поверхности океана, радиометр AMSR2.

Sea surface temperature (SST) anomalies in the wake of three tropical cyclones are examined. Dependence of the SST anomalies on wind speed and stratification of the upper ocean are investigated.

Key words: remote sensing, tropical cyclone, sea surface temperature, AMSR2.

Введение

Активное турбулентное и волновое перемешивание под воздействием ураганных ветров вызывает эрозию термоклина и вовлечению более холодных вод в верхний перемешанный слой океана, что приводит к падению его температуры [см., например, 6]. Таким образом, тропические циклоны (ТЦ), скорости ветра в которых достигают ураганных значений, двигаясь над океаном, могут оставлять за собой след, в котором температура поверхности океана (ТПО) будет на несколько градусов ниже, чем в соседних областях, незатронутых циклоном.

Известно также, что интенсивность ТЦ сильно зависит от величины ТПО [3], поскольку теплая поверхность океана служит источником энергии для ТЦ [5] за счет высвобождения скрытой теплоты от конденсации поднятого с поверхности океана водяного пара. Уменьшение ТПО на 1 °С может приводить к увеличению давления в центре циклона приблизительно на 20 гПа [9]. Это означает, что имеет место отрицательная обратная связь, т.е. появление вызванных циклоном отрицательных аномалий ТПО ведет к его же ослаблению. Таким образом, анализ изменений ТПО при прохождении ТЦ актуален как для изучения взаимодействия океана и атмосферы при ураганных ветрах, так и для оперативной метеорологии с целью прогноза эволюции и интенсивности ТЦ.

В данной работе рассматриваются три ТЦ, проходивших над западной частью Тихого океана в сентябре 2012 г. Первым из них является тайфун Sanba, сформировавшийся 10 сентября к востоку от Филиппин и ставший наиболее интенсивным ТЦ в 2012 г. К 13 сентября система достигла пика интенсивности, атмосферное давление в центре составило 900 гПа, а максимальная скорость ветра, усредненная по десятиминутным интервалам – 57 м/с (по одномоментным – 79 м/с). Достигнув максимальной, пятой, категории по шкале ураганов Саффира-Симпсона [7], интенсивность циклона стала постепенно ослабевать по мере продвижения на север, и 17 сентября он обрушился на берега Южной Кореи в качестве тайфуна 1-ой категории.

Следующим ТЦ в регионе стал тайфун Jelawat, сформировавшийся 20 сентября восточнее острова Гуам. 24 сентября Jelawat также достиг 5-ой категории по шкале ураганов Саффира-Симпсона. На пике интенсивности давление в центре равнялось 905 гПа, а максимальная усредненная десятиминутная скорость ветра – те же 57 м/с, что и у предшествующего тайфуна. Одномоментная же скорость оказалась немногим меньше – 72 м/с. Интенсивность тайфуна стала уменьшаться лишь спустя почти двое суток. 29 сентября Jelawat прошел над островами японской префектуры Окинава, как тайфун 2-ой категории (максимальная скорость ветра, усредненная по десятиминутным интервалам – 46 м/с), а 30 сентября достиг и основной части Японии, уже в ранге тропического шторма (28 м/с).

Третьим рассмотренным циклоном является тропический шторм Ewiniar, образовавшийся 24 сентября к западу от Гуама и просуществовавший до 29 сентября с максимальной достигнутой за это время скоростью ветра, равной 26 м/с.

Данные и методы

Работа основывается на использовании пассивных микроволновых данных, полученных с радиометра Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2), находящегося на борту японского спутника Global Change Observation Mission 1st – Water (GCOM-W1). Для восстановления геофизических параметров применен нейронно-сетевой алгоритм, обладающий более высокой точностью по сравнению со стандартными алгоритмами и позволяющий уменьшить области маскирования в зонах ураганных ветров [1, 2, 8]. Дополнительно привлечены данные ODYSSEA, представляющие собой мультисенсорный анализ с временным разрешением в 1 сутки, где объединены как микроволновые, так и инфракрасные данные с нескольких инструментов, а области отсутствующих значений заполнены методом оптимальной интерполяции.

Для получения представления о вертикальной структуре океана использовались данные реанализа ISAS_13 [4], основанного на *in situ* данных программы Argo, насчитывающей в своем составе более 3-х тысяч профилирующих буев. Большую часть времени эти буи дрейфуют на глубине 1000 м, а раз в 10 суток, изменяя свою плавучесть путем манипуляций с объемом резинового пузыря, находящимся на дне буя (закачивания или выкачивания гидравлической жидкости), погружаются на глубину в 2000 м, после чего всплывают на поверхность, откуда, с помощью спутниковой антенны, и передают собранные профили температуры и солёности.

Траектории рассматриваемых ТЦ были построены по данным объединенного американского военно-морского центра по предупреждению тайфунов (Joint Typhoon

Warning Center), предоставляющего координаты центра циклонов с шестичасовым временным интервалом. На рис. 1 представлены траектории анализируемых здесь циклонов «на фоне» поля глубины залегания термоклина.

Формирование, эволюция и передвижение ТЦ детально рассмотрены по инфракрасным снимкам, полученным с японского геостационарного спутника Multifunctional Transport Satellite 2 (MTSAT2). Временное разрешение снимков составляет 15–30 мин, что позволило в некоторых случаях уточнить траектории движения ТЦ.

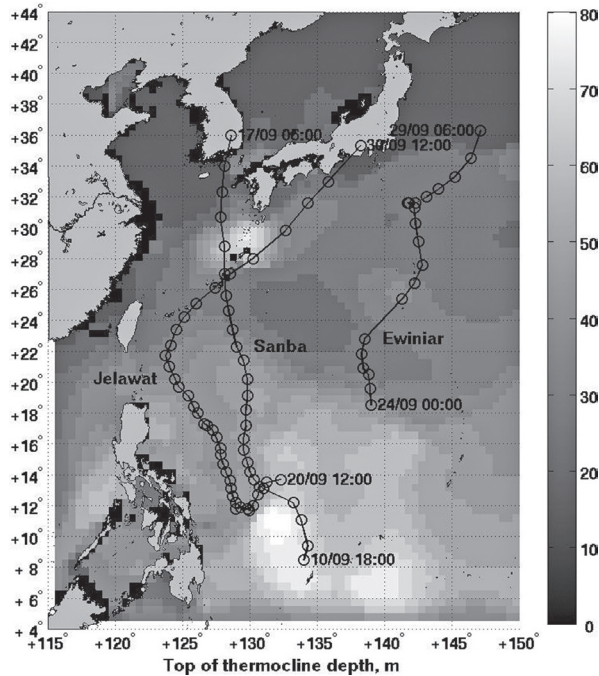


Рис. 1. Поле глубины залегания термоклина в западной части Тихого океана. Поверх наложены траектории движения трех циклонов, указаны дата и время их формирования и диссипации или выхода на сушу, кругами обозначены местоположения центров циклонов с временным интервалом в 6 ч.

Результаты

После наложения траекторий ТЦ, в полях ТПО в окрестности каждой из траекторий были обнаружены отрицательные аномалии температуры, достигающие величины в -4°C . Пример подобных аномалий представлен на рис. 2. Отметим, что аномалии ТПО смещены вправо от траектории (по направлению движения циклона), что согласуется с ранее проведенными исследованиями [см., например, 6]. Это объясняется тем, что в Северном полушарии, где циркуляция воздуха в циклонах происходит против часовой стрелки, скорость ветра справа от направления движения циклона выше за счет добавления скорости передвижения самого циклона.

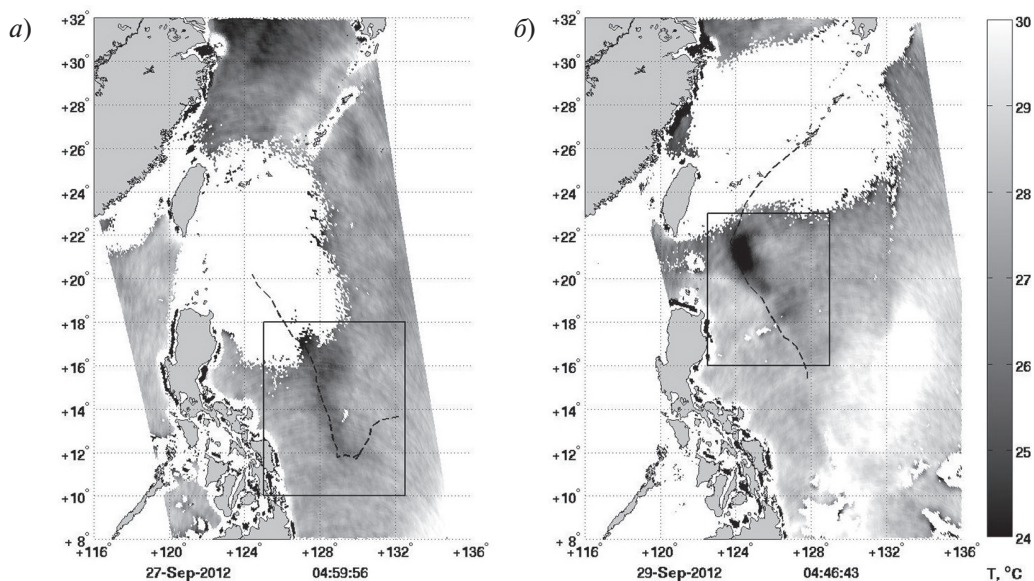


Рис. 2. Поля ТПО: а) 27 сентября и б) 29 сентября по данным радиометра AMSR2. Выделены аномалии ТПО. Пунктирной линией обозначена траектория циклона. Отмеченные белым области, в которых заканчиваются траектории, соответствуют местоположению циклона и зонам ураганных ветров, в которых ТПО не подлежит восстановлению.

Зависимости величины аномалии ТПО в следе от максимальной скорости ветра в ТЦ представлены на рис. 3 для трех рассматриваемых случаев. В целом, данные измерений показывают, что глубина аномалии ТПО в следе увеличивается с увеличением скорости ветра. Однако значительный разброс данных также указывает на возможную зависимость аномалий ТПО от других факторов. Кроме того, рис. 3 хорошо иллюстрирует, что по данным радиометра AMSR2 абсолютные значения аномалий приблизительно на 1,5–2 °С больше, чем по данным мультисенсорного анализа ТПО ODYSSEA. Аномалии ТПО по данным AMSR2, очевидно, ближе к истинным значениям, поскольку они получены при использовании усовершенствованного алгоритма, который обладает более высокой точностью, чем усредненные и сглаженные поля ТПО ODYSSEA [8].

Очевидно, что кроме ветра, аномалии ТПО в следе должны также зависеть от параметров стратификации верхнего слоя океана, которые изменялись по ходу движения циклонов. На рис. 4а показана зависимость аномалии температуры, нормированной на скорость ветра, от глубины залегания верхней границы термоклина. Логично было бы предположить, что аномалия должна быть тем больше, чем ближе к поверхности залегает термоклин (чем меньше его глубина). Однако в данном случае такой обратной зависимости не прослеживается. Вероятно, что в рассматриваемых случаях большее влияние оказывает не глубина залегания термоклина, а градиент температуры в нем. Эта зависимость представлена на рис. 4б. По ней видно, что нормированная на скорость ветра аномалия температуры действительно тем выше, чем больше градиент температуры в термоклине.

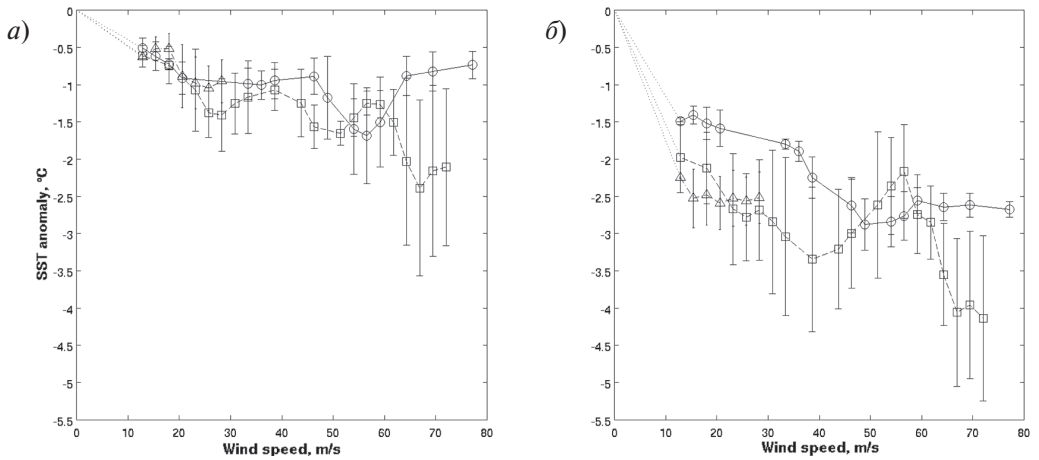
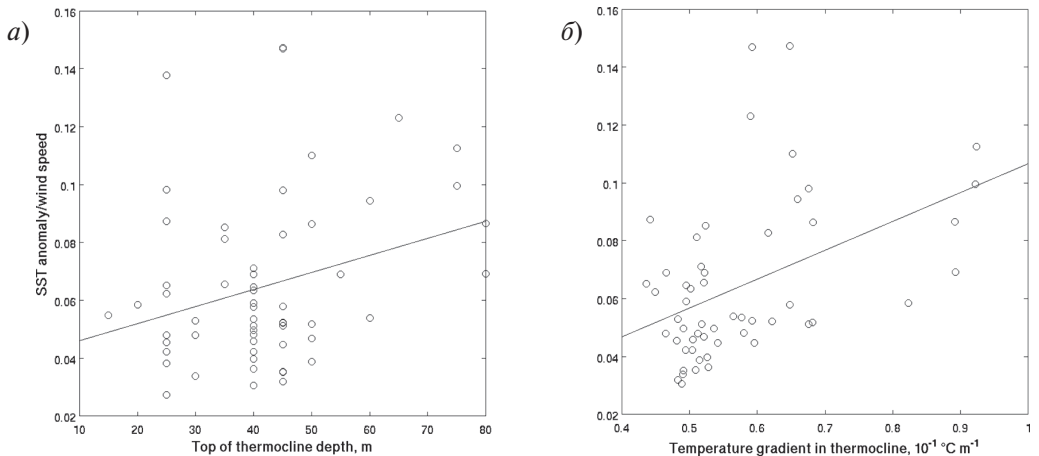


Рис. 3. Зависимость аномалии ТПО от скорости ветра по данным *а)* мультисенсорного анализа ТПО ODYSSEE и *б)* радиометра AMSR2. В обоих случаях кругами, соединенными сплошной линией, обозначены значения для тайфуна Sanba; квадратами с пунктирной линией — для тайфуна Jelawat; треугольниками с пунктирной линией с точками — для тропического шторма Ewiniar. Линиями из точек обозначена экстраполяция до нулевого значения скорости ветра. Данные сглажены скользящей средней, линии ошибок показывают стандартное отклонение.

Оценив вертикальную структуру исследуемой части Тихого океана, можно утверждать, что в регионе сложились такие условия, когда увеличение глубины залегания верхней границы термоклина сопровождается увеличением градиента температуры в самом термокLINE. Это подтверждается данными, представленными на рис. 4*в*. Так как глубина залегания термоклина во всех случаях не превышала 80 м, то можно предположить, что активное турбулентное и волновое перемешивание, вызванное сильными ветрами при прохождении ТЦ, было вполне способным эродировать термоклин и вовлечь тем самым в верхний перемешанный слой относительно холодные воды.



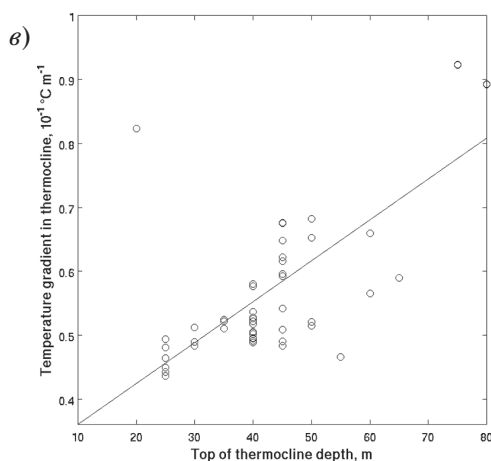


Рис. 4. Зависимость между нормированной на скорость ветра аномалией ТПО и а) глубиной залегания термоклина; б) градиентом температуры в термоклине; в) соотношением между градиентом температуры в термоклине и глубиной залегания термоклина. Все значения по данным радиометра AMSR2.

Заключение

В работе проанализированы аномалии температуры поверхности океана (ТПО), образовавшиеся при прохождении трех тропических циклонов (следы ТЦ в полях ТПО). Для этого использовались данные радиометра AMSR2 и поля мультисенсорного анализа ODYSSEA, представляющего собой усредненное и интерполированное совмещение инфракрасных и микроволновых данных.

Построены зависимости величины аномалии ТПО от скорости ветра. Показано, что для рассмотренных случаев аномалии ТПО зависят не только от скорости ветра, но и от градиента температуры в термоклине.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках гранта Правительства РФ (Договор №11.G34.31.0078) для поддержки исследований под руководством ведущих ученых. Авторы также с благодарностью отмечают поддержку ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., проекты №14.B37.21.0619 и №14.B37.21.0673.

Литература

1. *Заболотских Е.В., Митник Л.М., Шапрон Б., Анискина О.Г., Дикинис А.В., Смирнова Ю.Е.* Валидация модели переноса излучения на частотах микроволновых радиометров SSMIS и AMSR-E и её применение при анализе морских погодных систем с использованием усовершенствованных алгоритмов. // Ученые записки РГГМУ, 2013, № 29, с. 146–160.
2. *Заболотских Е.В., Митник Л.М., Шапрон Б., Анискина О.Г., Смирнова Ю.Е., Дикинис А.В.* Улучшенные модели поглощения атмосферы и излучения океана в диапазоне 5–100 ГГц для расчёта яркостных температур системы океан-атмосфера. // Ученые записки РГГМУ, 2013, № 29, с. 169–182.

3. Emanuel K.A. (1986). An air-sea interaction theory for tropical cyclones. Part I: Steady-state maintenance. *J. Atmos. Sci.*, 43, 585–604.
4. Gaillard F., Autret E., Thierry V., Galaup P., Coatsanoan C., Loubrieu T. (2009). Quality control of large Argo data sets. *JAOT*, vol. 26, No. 2, 337–351.
5. Ooyama K. (1969). Numerical simulation of the life cycle of tropical cyclones. *J. Atmos. Sci.*, 26, 3–40.
6. Price J.F. (1981). Upper ocean response to a hurricane, *J. Phys. Oceanogr.*, 11, 153–175, doi:10.1175/1520-0485(1981)011<0153:UORTAH>2.0. CO;2.
7. Simpson R.H., Saffir H. (1974). The Hurricane Disaster-Potential Scale. *Weatherwise*, American Meteorological Society, v. 27, No. 4, p. 169.
8. Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B. (2013). New approach for severe marine weather study using satellite passive microwave sensing. *Geophys. Res. Lett.*, vol. 40, 1–4, doi:10.1002/grl.50664.
9. Zhu T., Zhang D.-L. (2006). The impact of the storm-induced SST cooling on hurricane intensity, *Adv. Atmos. Sci.*, 23, 14–22, doi:10.1007/s00376-006-0002-9.