

## Сравнительный анализ характеристик внетропических циклонов в северной Атлантике и северной части Тихого океана по данным реанализа ERA-Interim и спутникового радиометра AMSR-E

П. В. Васильева<sup>1</sup>, Е. В. Заболотских<sup>1</sup>, Б. Шапрон<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> *Российский государственный гидрометеорологический университет  
Санкт-Петербург, 195196, Россия*

*E-mail: p.vasilyeva@rshu.ru*

<sup>2</sup> *Французский научно-исследовательский институт по эксплуатации  
морских ресурсов, Плузане, 29280, Франция*

*E-mail: bchapron@ifremer.fr*

Работа посвящена исследованию характеристик внетропических циклонов (ВТЦ) над северными частями Атлантического и Тихого океанов с июня 2002 по май 2004 г. на основе данных реанализа ERA-Interim и полей параметров, восстановленных по данным измерений спутникового микроволнового радиометра AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer — Earth Observing System). Идентификация ВТЦ производилась по данным реанализа ERA-Interim на основе анализа полей приводного ветра и давления на уровне моря. По данным AMSR-E для каждого ВТЦ была определена максимальная скорость приводного ветра, которая сравнивалась с максимальной скоростью по данным реанализа. Значения скоростей приводного ветра получены по данным AMSR-E с помощью алгоритма, валидированного для широкого диапазона условий, включая сильные ветра (со скоростями выше 15 м/с). Отдельно проведён анализ характеристик ВТЦ с ураганным ветром (со скоростями выше 32,7 м/с). Результаты сравниваются с результатами работ, посвящённых изучению параметров ВТЦ по данным спутниковых скаттерометров. Определены основные особенности пространственного и сезонного распределения характеристик ВТЦ в Атлантическом и Тихом океанах в Северном полушарии. Выявлено занижение максимальных скоростей ветра в большинстве ураганных ВТЦ данными ERA-Interim по сравнению со скоростями ветра, восстановленными по данным измерений AMSR-E.

**Ключевые слова:** внетропические циклоны, поля приводного ветра, циклоны с ураганным ветром, ERA-Interim, спутниковые микроволновые радиометры, AMSR-E

Одобрена к печати: 11.04.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-236-248

### Введение

Внетропические циклоны (ВТЦ) — это циклоны, формирующиеся в течение года в умеренных и полярных широтах Северного и Южного полушарий. За год в Северном полушарии может формироваться более двухсот ВТЦ с масштабами до нескольких тысяч километров в диаметре. Энергия, необходимая для развития ВТЦ, обусловлена бароклинной нестабильностью, возникающей за счёт температурных контрастов в атмосфере и океане (полярные и арктические фронты, крупные морские течения). Помимо непосредственного зарождения в средних широтах в зонах бароклинной неустойчивости, ВТЦ могут формироваться за счёт трансформации тропического циклона при его переходе в умеренные широты в другие атмосферные условия. Было доказано, что около 45–50 % тропических циклонов в северо-западной части Атлантического и Тихого океанов претерпевают так называемый «внетропический переход» (extratropical transition) (Jones et al., 2003). В зимнее время в интенсивных ВТЦ

развиваются ветра со скоростями, достигающими ураганных значений (более 32,7 м/с). Эти циклоны часто сопровождаются сильными осадками, являются причиной высоких ветровых волн и штормовых нагонов, причиняя огромный ущерб как при выходе на сушу, так и в открытом море, представляя угрозу для безопасности береговой и морской инфраструктуры и жизнедеятельности. Количество наиболее интенсивных ВТЦ с ураганным ветром может составлять, по оценкам разных авторов, от 20 (Businger et al., 2015) до более 50 (Jelenak et al., 2009; Von Ahn et al., 2005). Кроме того, по сравнению с тропическими циклонами, экстремальные ветра в ВТЦ обычно развиваются на большей площади (Dickinson, Brown, 1996) и не ослабевают в течение более длительного времени (Willis et al., 2004).

Результаты работ, посвящённых исследованию ВТЦ, достаточно противоречивы. В одних исследованиях отмечается снижение частоты и интенсивности ВТЦ с ураганным ветром в зимние сезоны (Geng, Sugi, 2003), тогда как другие авторы приводят аргументы, свидетельствующие об увеличении количества и интенсивности ВТЦ (Stroeve et al., 2011). Причина расхождений кроется в анализе разных данных, временных периодов и критериев, используемых разными авторами для идентификации циклонов и оценки их характеристик. Публикации по климатологии ВТЦ с ураганным ветром в настоящее время ограничиваются небольшим числом исследований, среди которых работы (Jelenak, Chang 2008; Jelenak et al., 2009, 2012; Von Ahn et al., 2005), где представлены статистические данные о географическом распределении, скорости углубления, центральном давлении и среднем распределении скорости ветра в ВТЦ. Фактически для изучения ВТЦ и их характеристик чаще всего применяются данные реанализов NCEP/NCAR и ERA-Interim, ретроспективный анализ MERRA (NASA), а также данные полей ветра, восстановленных по данным скаттерометра SeaWinds со спутника QuikSCAT.

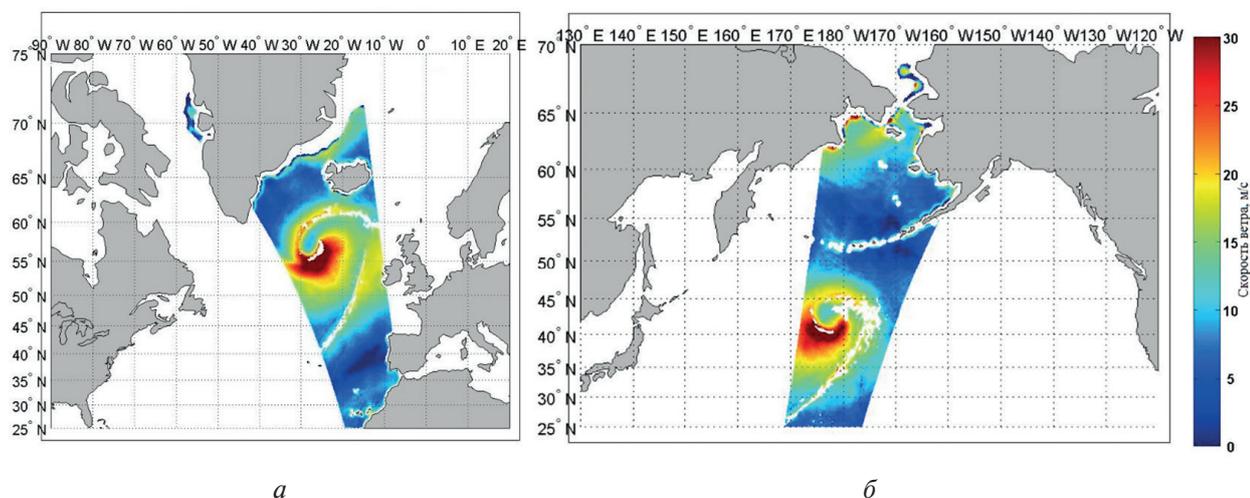
Начиная с октября 2001 г. исследователи из Национального управления океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) и Национальной метеорологической службы (Ocean Prediction Center, OPC) занимаются изучением ВТЦ, используя анализ полей ветра по данным QuikSCAT и сравнивая результаты с различными реанализами. Общий вывод этих исследований заключается в том, что все реанализы недооценивают как максимальные скорости ветра, так и радиусы сильных, штормовых и ураганных ветров. При этом достоверность оценок высоких скоростей ветра по данным традиционных скаттерометров по-прежнему вызывает серьёзные дискуссии (Jelenak et al., 2012; Sienkiewicz et al., 2009). Насыщение сигнала обратного рассеяния уже при ветрах со скоростью более 12 м/с — основная причина некорректных геофизических модельных функций при сильных ветрах. В работе (Zabolotskikh et al., 2014) описаны основные источники ошибок в алгоритмах восстановления скорости приводного ветра по данным активных и пассивных микроволновых измерений. Показано, что вследствие отсутствия насыщения микроволнового излучения радиометрические оценки ветра в экстремальных погодных условиях ВТЦ обладают меньшими погрешностями относительно скаттерометрических. В лаборатории спутниковой океанографии Российского государственного гидрометеорологического университета (ЛСО РГГМУ) был разработан метод, позволяющий восстанавливать скорости приводного ветра по данным спутникового микроволнового радиометра AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer — Earth Observing System) на борту спутника AQUA с высокой точностью (Zabolotskikh et al., 2014). Разработанный алгоритм использует измерения радиометра на каналах С- и Х-диапазона, на которых атмосфера остаётся частично прозрачной даже в условиях осадков, позволяя получать информацию о скорости приводного ветра в экстремальных условиях ВТЦ.

Цель данного исследования — проанализировать характеристики ВТЦ над Северной Атлантикой и северной частью Тихого океана, основываясь на оценках скорости ветра по данным радиометра AMSR-E и реанализа ERA-Interim. Главной задачей работы является использование более точных данных по скорости ветра за ограниченный период времени и сравнение их с оценками характеристик ВТЦ по данным реанализа, а также с результатами, полученными ранее другими авторами, использующими в своих работах анализ полей ветра по данным скаттерометра SeaWinds на спутнике QuikSCAT.

## Исходные материалы и методика исследований

Для оценки характеристик ВТЦ в Северной Атлантике и северной части Тихого океана за два временных периода протяжённостью в один год — июнь 2002 — май 2003 г. и июнь 2003 — май 2004 г. — использовались отдельно данные реанализа ERA-Interim и данные радиометра AMSR-E. Данные реанализов ERA-Interim и NCEP/NCAR по приводному ветру считаются достаточно надёжными для определения центров и траекторий таких крупномасштабных систем, как ВТЦ (Рудева, 2008; Dacre et al., 2012; Gulev et al., 2001). Поэтому данные реанализа ERA-Interim с пространственным разрешением  $0,75 \times 0,75^\circ$  (<https://www.ecmwf.int/>) по скорости и направлению ветра и давлению над уровнем моря использовались для создания первичной базы данных ВТЦ. Сначала были построены поля вектора ветра и давления, по которым идентифицировались все ВТЦ за исследуемый период времени. Для каждого циклона была определена траектория движения. Всего за два года наблюдений обнаружено 596 ВТЦ с полным циклом жизни в двух исследуемых районах. Затем для каждого уже определённого по данным реанализа циклона к данным AMSR-E уровня Level 1R был применён алгоритм восстановления приводного ветра, основанный на использовании низкочастотных измерений AMSR-E (на каналах 6,9 и 7,3 ГГц). Этот алгоритм был валидирован для широкого диапазона погодных условий, включая высокие скорости ветра ( $>15$  м/с), и обладает более высокой точностью при восстановлении экстремальных ветров, чем скаттерометрический спутниковый продукт по ветру (Zabolotskikh et al., 2015). Таким образом, по данным AMSR-E также были построены поля приводного ветра в северных частях Тихого и Атлантического океанов за весь исследуемый временной период. По построенным полям определялись максимальные скорости ветра для уже идентифицированных ранее циклонов. Примеры полей приводного ветра в ВТЦ над Северной Атлантикой и северной частью Тихого океана, восстановленных по данным AMSR-E, представлены на *рис. 1*.

Следует отметить, что в процессе поиска максимальных скоростей в ВТЦ пространственно-временное совмещение данных реанализа и радиометра не проводилось. Данные реанализа ERA-Interim предоставляются четыре раза в сутки с интервалом в 6 ч, и временное совмещение с измерениями спутникового радиометра AMSR-E возможно только несколько раз в сутки. Время измерений AMSR-E над Северной Атлантикой приходится на 12:00–14:00 GMT днём и на 04:00–06:00 GMT ночью. Таким образом, для измерений на восходящих витках возможно совмещение с данными реанализа за 12:00 GMT, а на нисходящих — с данными реанализа за 06:00 GMT. Над северной частью Тихого океана измерения AMSR-E приходятся на 00:00–02:00 GMT на восходящей орбите и на 13:00–15:00 GMT на нисходящей.



*Рис. 1.* Поля скоростей приводного ветра, восстановленных по радиояркостным температурам AMSR-E уровня Level 1R с помощью низкочастотного алгоритма: *a* — над Северной Атлантикой 14 января 2003 г. в ~13:31 GMT; *б* — в Северной части Тихого океана 26 октября 2002 г. в ~23:25 GMT

Очень редко измерения над ВТЦ в Тихом океане близки к 13 часам, поэтому дневное совмещение AMSR-E и реанализа в этом районе проблематично, хотя и возможно с существенной разницей во времени, превышающей 1 ч. Но, несмотря на возможность пространственно-временного совмещения, его частота недостаточна, поскольку на момент сравнения (1–2 раза в сутки в каждом из регионов) циклон может и не достигать своего максимального развития.

Пространственное разрешение AMSR-E зависит от частоты (канала) измерений. Алгоритм восстановления скорости ветра, при помощи которого обрабатывались данные AMSR-E, использует измерения на частотах 6,9 и 10,65 ГГц, поэтому разрешение результирующих полей ветра соответствует разрешению каналов на 6,9 ГГц, т.е. составляет порядка 60 км, что примерно соответствует разрешению используемых данных ERA-Interim ~80 км. Несмотря на то что размер пикселя AMSR-E для используемых каналов, обусловленный частотой сканирования, составляет около 10 км, при применении алгоритма проводится сглаживание по шести пикселям для приведения разрешения полей ветра к реальному разрешению прибора. Следовательно, различия в масштабе усреднения данных AMSR-E и ERA-Interim не должны оказывать существенного влияния на результаты сравнения максимальных скоростей ветра.

Белые пиксели на *рис. 1* относятся к областям с оптически плотной атмосферой, где точность восстановления ветра уменьшается. Для минимизации влияния погрешностей на оценку максимального ветра в ВТЦ данные области были изъяты из рассмотрения.

Все идентифицированные ВТЦ были разбиты на группы по максимально развиваемым скоростям ветра по шкале Бофорта (см. *табл. 2* ниже).

### Сравнение максимальной скорости ветра по данным радиометра AMSR-E и реанализа ERA-Interim

Для каждого идентифицированного циклона была определена максимальная скорость ветра за весь его жизненный цикл и по данным реанализа ERA-Interim, и по данным радиометра AMSR-E. Среднемесячные максимальные скорости ветра рассчитывались усреднением максимальных скоростей ветра для каждого циклона за месяц наблюдений; они представлены на *рис. 2* (см. с. 240).

Как было отмечено ранее, алгоритм для восстановления полей скорости ветра для радиометра, разработанный в ЛСО РГГМУ, верифицирован в том числе для диапазона сильных ветров. Верификация проводилась с использованием данных измерений ветра, полученных с нефтяных платформ, считающихся одним из источников наиболее достоверных данных для ветров со скоростями, превышающими 15 м/с. Поэтому мы считаем, что данные по скорости ветра, восстановленные с использованием этого алгоритма, являются квазинатурными, и точность данных реанализа ERA-Interim мы оцениваем сравнением с этими данными. На *рис. 2* представлены среднемесячные значения максимальных скоростей ветра в ВТЦ за 24 месяца по данным реанализа ERA-Interim и по данным AMSR-E. На рисунке отчетливо видно занижение интенсивности ВТЦ (значений максимального ветра) по данным ERA-Interim для зимних месяцев исследуемого периода. При этом в летнее время максимальный ветер, обнаруженный по данным ERA-Interim, достигает более высоких значений, чем по данным AMSR-E, особенно в Тихом океане.

В работе (Li et al., 2013), где проводится оценка точности скорости приводного ветра по разным данным, в том числе и по данным реанализа ERA-Interim, показано, что ERA-Interim переоценивает скорости ветра при слабых и умеренных ветрах и недооценивает в условиях сильных ветров, что подтверждают и полученные нами результаты. Таким образом, общее число ВТЦ с ураганым ветром, обнаруженное по данным ERA-Interim, составило 37, а по данным AMSR-E — 116.

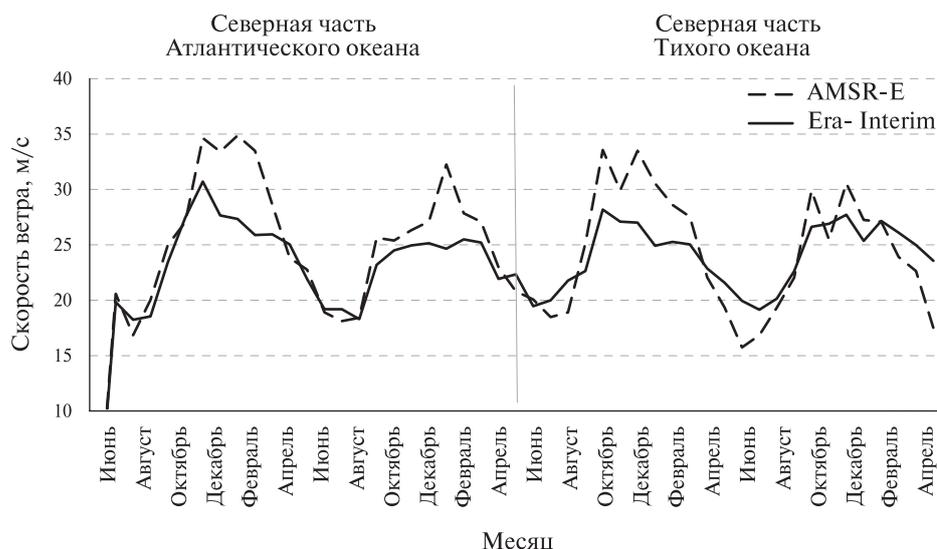


Рис. 2. Среднемесячные значения максимальных скоростей ветра во ВТЦ с июня 2002 по май 2004 г. по данным реанализа ERA-Interim и по данным AMSR-E

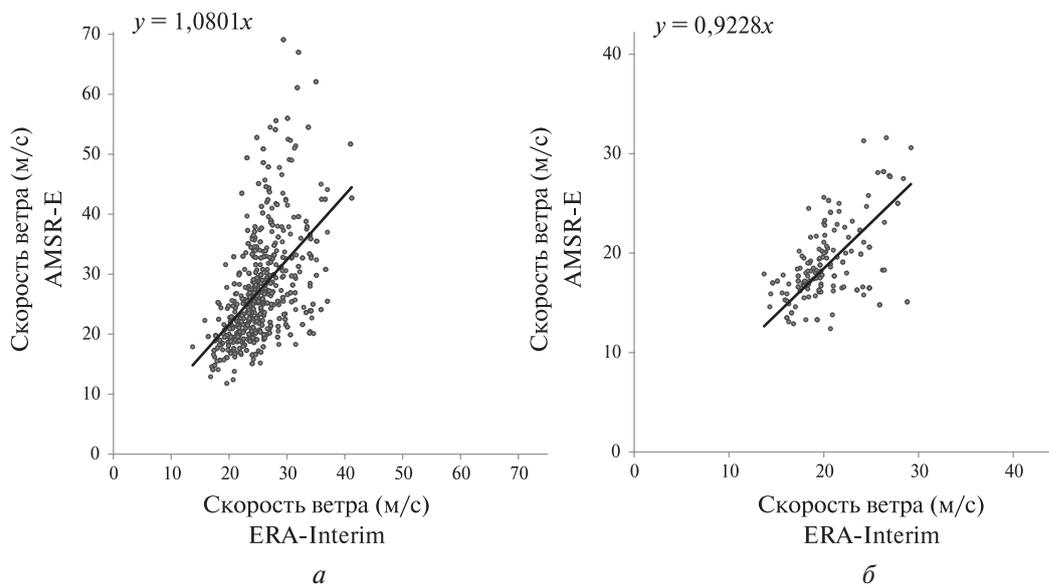


Рис. 3. Диаграммы разброса скоростей максимального ветра для всех обнаруженных ВТЦ по данным радиометра AMSR-E и реанализа ERA-Interim: а — для осенне-зимних месяцев (сентябрь — апрель); б — для весенне-летних месяцев (май — август)

Также были построены диаграммы разброса скоростей максимального ветра для всех идентифицированных ВТЦ по данным радиометра AMSR-E и реанализа ERA-Interim отдельно для осенне-зимних (сентябрь — апрель) (рис. 3а) и весенне-летних (май — август) (рис. 3б) месяцев. По диаграммам также видно занижение максимальных скоростей ветра данными реанализа ERA-Interim в зимнее время и завышение — в летнее.

### Внетропические циклоны в Северном полушарии

В табл. 1 приводится общее число обнаруженных ВТЦ за два исследуемых периода для каждого из исследуемых районов. В табл. 2 представлено распределение циклонов по максимальной скорости ветра по шкале Бофорта.

Таблица 1. Общее число обнаруженных ВТЦ в северных частях Тихого и Атлантического океанов за два исследуемых временных периода (2002–2003, 2003–2004 гг.)

	2002–2003	2003–2004	Общее число
Северная часть Атлантического океана	138	148	286
Северная часть Тихого океана	148	152	300

Таблица 2. Распределение всех обнаруженных ВТЦ в северных частях Тихого и Атлантического океанов за два исследуемых временных периода (2002–2003, 2003–2004 гг.) по шкале Бофорта

Район исследования	Временной промежуток	Умеренный ветер (17,2 м/с)	Сильный ветер (17,2–24,4 м/с)	Штормовой ветер (24,5–32,6 м/с)	Ураганный ветер (>32,7 м/с)
Северная часть Атлантического океана	2002–2003	12	45	44	37
	2003–2004	14	70	42	22
Северная часть Тихого океана	2002–2003	12	39	64	33
	2003–2004	24	35	67	26

Видно, что в северной части Атлантического океана общее число ВТЦ увеличилось; количество циклонов с ураганной силой уменьшилось на 15 циклонов, тогда как число ВТЦ с сильным ветром увеличилось на 25 циклонов. В северной части Тихого океана общее число ВТЦ в первый и второй исследуемые сезоны примерно равны. Произошло уменьшение числа ВТЦ с ураганной силой на девять циклонов и увеличение числа ВТЦ со штормовыми (24,5–32,6 м/с) и умеренными (<17,2 м/с) ветрами.

На рис. 4 представлена гистограмма распределения максимальных скоростей ветра в ВТЦ по данным радиометра AMSR-E для северной части Атлантического океана для двух исследуемых периодов времени. Для распределения характерна многомодальность (табл. 3). Модальность, как известно, определяет наиболее устойчивые состояния характеристики. Таким образом, из табл. 3 видно, что моды примерно соответствуют основным типам максимального ветра по шкале Бофорта, при этом чаще всего за период 2002–2003 гг. наблюдается значение максимальной скорости ветра, равное 25,6 м/с, а за 2003–2004 гг. — 20,7 м/с.

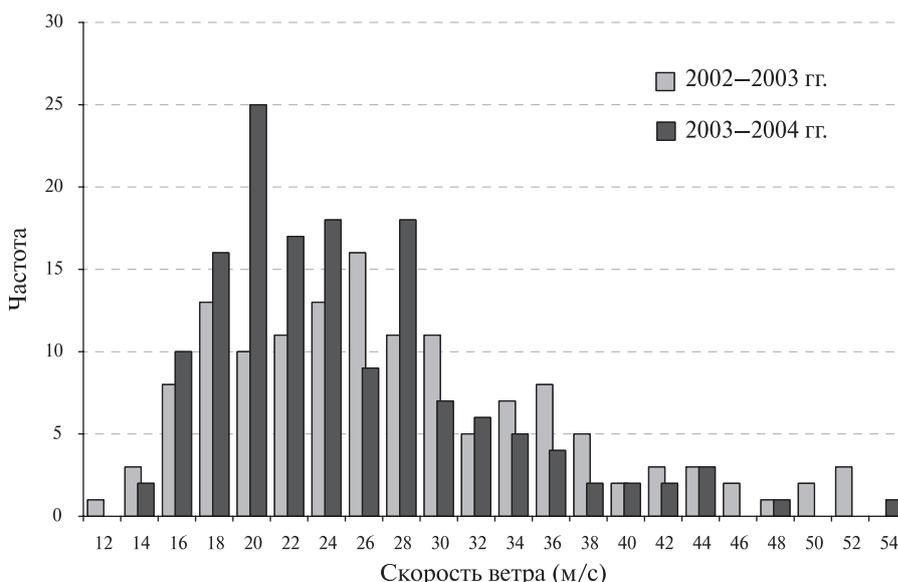


Рис. 4. Гистограмма распределения значений максимальных скоростей ветра в ВТЦ по данным радиометра AMSR-E для северной части Атлантического океана для двух временных периодов (2002–2003, 2003–2004 гг.)

Таблица 3. Моды (км/ч), определённые по гистограммам распределения числа ВТЦ по значениям максимальной скорости ветра для северной части Атлантического и Тихого океанов для двух временных периодов (2002–2003, 2003–2004 гг.)

Северная часть Атлантического океана		Северная часть Тихого океана	
2002–2003 гг.	2003–2004 гг.	2002–2003 гг.	2003–2004 гг.
25,6	20,7	17,2	19,5
16,9	27,1	25,4	21,6
18,3	18,7	20,4	–
33,9	–	–	–

Средняя максимальная скорость ветра в ВТЦ для двух временных периодов (2002–2003, 2003–2004 гг.) составила 27,82 и 25,08 м/с соответственно (табл. 4); наибольшее значение максимальной скорости ветра в циклоне за весь период наблюдений — 54,50 м/с.

Таблица 4. Параметры для максимальных скоростей ветра для северной части Атлантического и Тихого океанов для двух временных периодов (2002–2003, 2003–2004 гг.), км/ч

Параметр	Северная часть Атлантического океана		Северная часть Тихого океана	
	2002–2003 гг.	2003–2004 гг.	2002–2003 гг.	2003–2004 гг.
Среднее	27,82	25,08	27,25	24,33
Медиана	25,80	23,25	24,40	22,50
Минимум	11,80	14,10	13,30	12,40
Максимум	52,50	54,50	69,10	54,10

Для северной части Тихого океана также была построена функция распределения числа ВТЦ по интенсивностям в виде гистограммы (рис. 5), из которой видно, что чаще всего в первый временной период исследования (2002–2003) наблюдаются ВТЦ с максимальной скоростью ветра в 20 м/с, а во второй (2003–2004) — 19,5 м/с. Средняя максимальная скорость ветра в циклонах составила 27,25 и 24,33 м/с для 2002–2003 и 2003–2004 гг. соответственно. Максимальная скорость ветра, которая была обнаружена в циклонах за весь период наблюдений, составила 69,10 м/с.

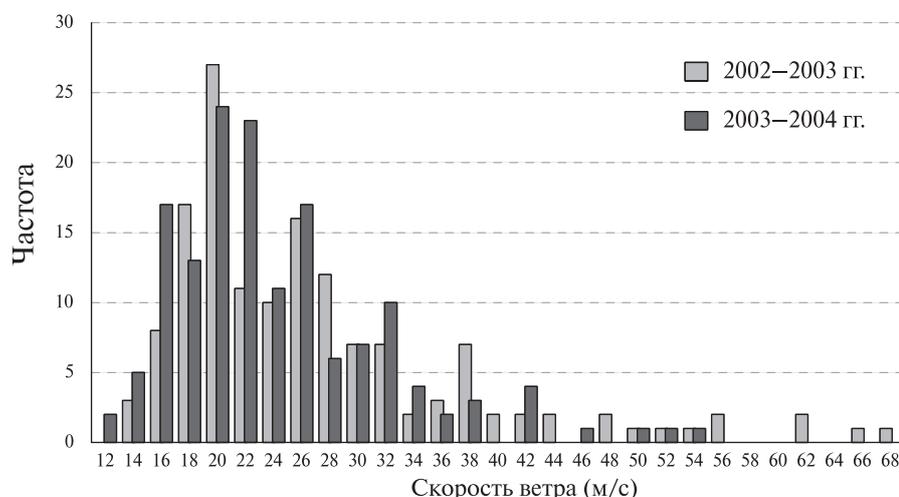


Рис. 5. Гистограмма распределения значений максимальных скоростей ветра в ВТЦ по данным радиометра AMSR-E для северной части Тихого океана для двух временных периодов (2002–2003, 2003–2004 гг.)

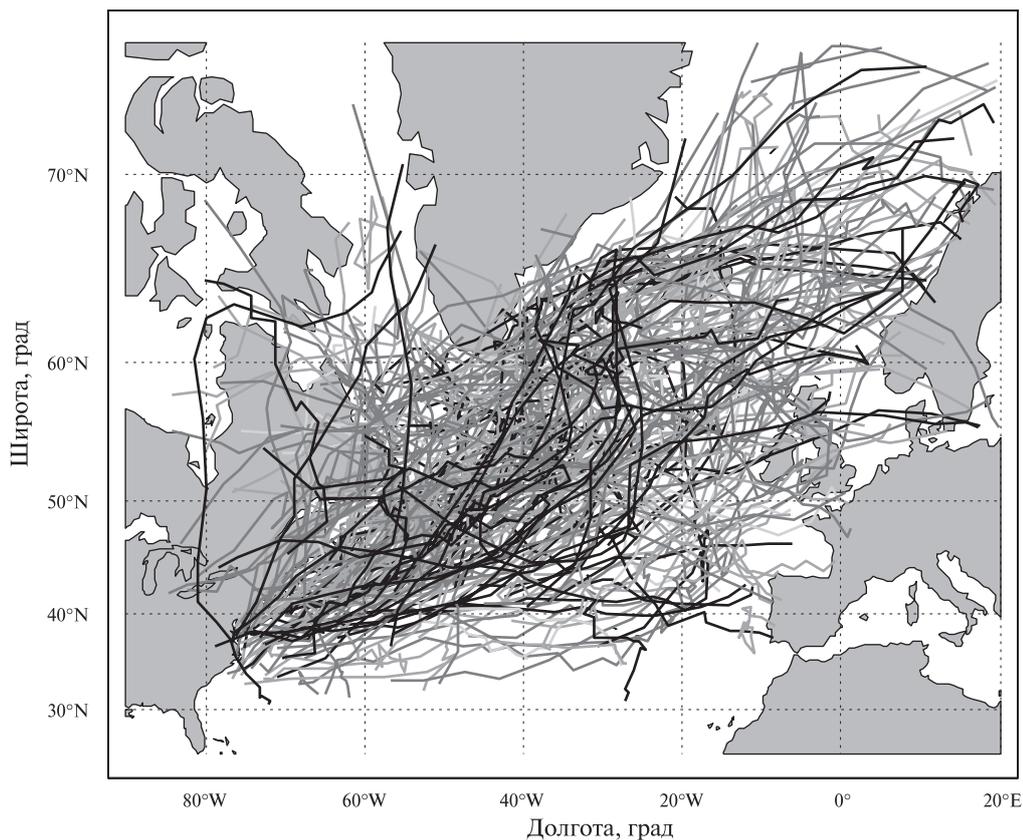


Рис. 6. Траектории движения ВТЦ в Северной части Атлантического океана с июня 2002 по май 2004 г., построенные по географическим координатам, определённым по данным реанализа ERA-Interim (интенсивность цвета линии траектории циклона увеличивается с максимальной скоростью во ВТЦ (по шкале Бофорта), определённой по данным AMSR-E)

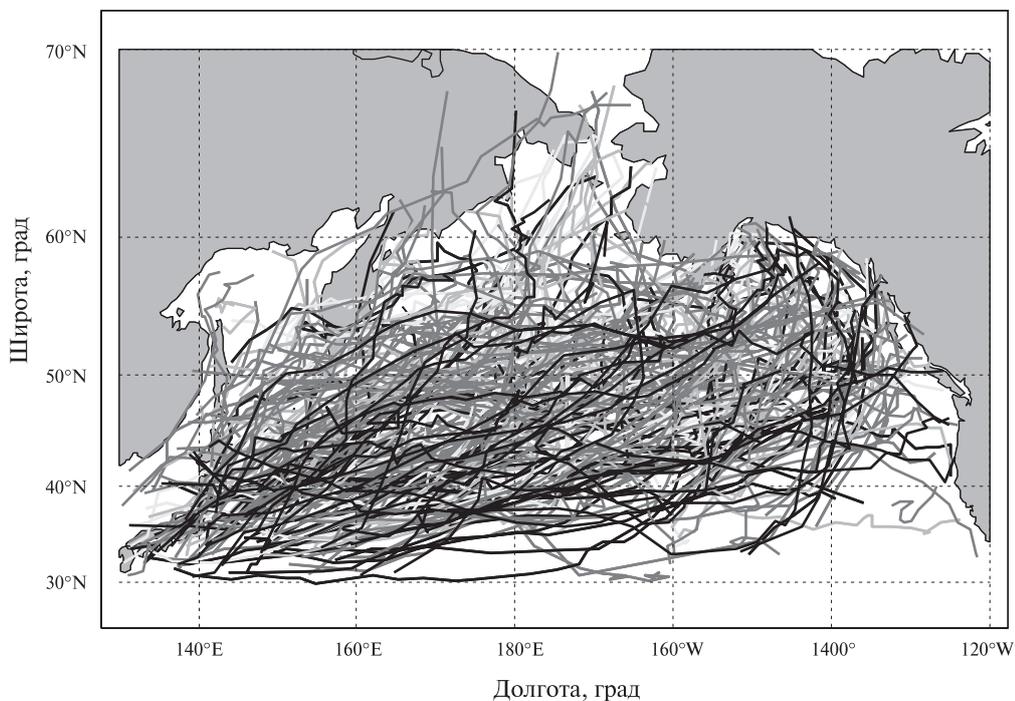


Рис. 7. Траектории движения ВТЦ в Северной части Тихого океана с июня 2002 по май 2004 г., построенные по географическим координатам, определённым по данным реанализа ERA-Interim (интенсивность цвета линии траектории циклона увеличивается с максимальной скоростью во ВТЦ (по шкале Бофорта), определённой по данным AMSR-E)

Траектории ВТЦ, построенные по географическим координатам, определённым по данным реанализа ERA-Interim, позволяют оценить пространственное распределение и установить очаги зарождения циклонов. На *рис. 6* (см. с. 243) представлены траектории движения всех выявленных ВТЦ в северной части Атлантического океана за исследуемый период. Траектории циклонов со скоростями ветра, превышающими ураганные ( $>32,7$  м/с), изображены интенсивной чёрной линией, и по мере уменьшения максимальной скорости ветра, найденной в циклоне, интенсивность цвета линии всей траектории уменьшается. Таким образом, все траектории циклонов разделены по максимальной скорости ветра на четыре типа по шкале Бофорта и представлены с разной толщиной линии траектории. Видно, что наибольшая часть ВТЦ в данном регионе начинает своё развитие в бароклинные воды в районе течения Гольфстрим и далее распространяется в открытые воды Северной Атлантики в нескольких направлениях: в сторону юго-западной части острова Гренландия, к западному побережью Британских островов, к западному побережью Норвегии или же продвигается в более высокие широты с интенсификацией в районе Исландского минимума.

Траектории, построенные для северной части Тихого океана (*рис. 7*, см. с. 243), свидетельствуют о развитии большей части ВТЦ в районе Японских островов, где они подпитываются энергией в бароклинном районе крупнейшего тёплого течения Куроисио, продвигаются далее в сторону полуострова Камчатка или в направлении Берингова пролива. Как правило, наиболее интенсивные ВТЦ пересекают Тихий океан и достигают западного побережья Северной Америки.

Данные реанализа над сушей при расчёте среднемесячных значений максимальных скоростей ветра в ВТЦ не использовались. В том случае, когда траектория ВТЦ частично проходила над сушей, максимальные скорости ветра оценивались над морем.

Сравнение числа обнаруженных нами ВТЦ с ураганным ветром с результатами работ других авторов (исследующих ВТЦ по данным QuikSCAT) показало, что за зимний сезон 2002–2003 гг. в северной Атлантике было обнаружено на 10 циклонов, а в северной части Тихого океана — на 13 циклонов с ураганным ветром больше, чем в (Jelenak et al., 2012); на 9 циклонов — в северной Атлантике и на 12 — в Тихом океане больше, чем в (Sienkiewicz et al., 2009). Для зимнего сезона 2003–2004 гг. число обнаруженных нами ВТЦ с ураганным ветром оказалось на семь больше в северной Атлантике и на три больше в Тихом океане по сравнению с результатами работ (Jelenak et al., 2012; Sienkiewicz et al., 2009). В исследовании (Jzyk, 2010) за зимний сезон 2003–2004 гг. было обнаружено 96 ВТЦ с ураганным ветром в северной части Тихого океана, что в 3,7 раза превышает количество ВТЦ по результатам настоящей работы (26 ВТЦ для данного района и промежутка времени), а также значительно превосходит количество ВТЦ по результатам других исследователей. Авторы (Jzyk, 2010) использовали данные QuikSCAT *Science-level* с разрешением 12,5 км, и, предположительно, более низкий порог по скорости ветра для идентификации ВТЦ (точное описание методологии в работе не представлено), поскольку обнаружили существенно большее количество циклонов, чем авторы (Jelenak et al., 2012; Sienkiewicz et al., 2009). Мы упоминаем результаты исследования (Jzyk, 2010) для того, чтобы подчеркнуть, что использование различных методик обработки данных и критериев идентификации ВТЦ может являться причиной существенных различий в полученных результатах.

Анализ сезонной изменчивости ВТЦ показал, что наибольшая часть ВТЦ с умеренным ветром ( $<17,2$  м/с) образуется в летнее время, когда циклон не получает достаточного количества энергии для интенсификации. Наиболее интенсивные ВТЦ с ураганным ветром развиваются только в зимний сезон за счёт энергии бароклинных областей крупных тёплых течений, где в холодное время года преобладают большие контрасты температур в атмосфере. Максимальное количество ВТЦ с ураганным ветром для северных частей Атлантического и Тихого океанов было обнаружено в декабре и январе (*рис. 8*, см. с. 245). Данный вывод согласуется с результатами анализа сезонной изменчивости ВТЦ с ураганным ветром за четыре зимних сезона (2001–2005) в работе (Sienkiewicz et al., 2009). Главным отличием в результатах (Sienkiewicz et al., 2009) является наличие циклонов в мае и апреле и отсутствие их в сентябре. Наибольшее число ВТЦ с ураганным ветром и в северной части Тихого океана, и в северной Атлантике обладало минимальным давлением в 960–970 гПа (*рис. 9*, см. с. 245), что соответствует результатам (Sienkiewicz et al., 2009).

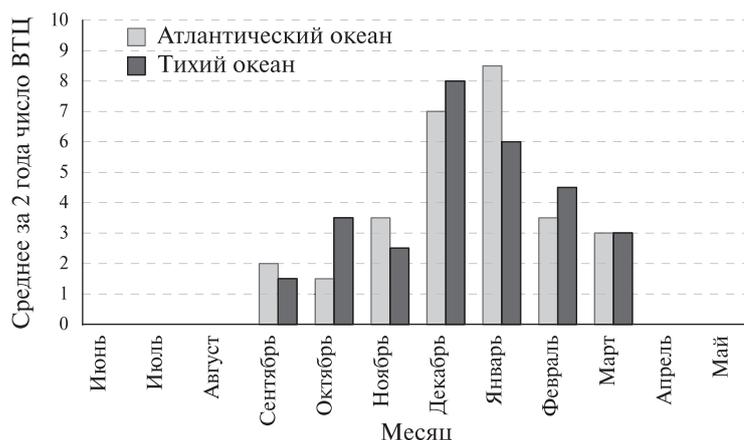


Рис. 8. Среднемесячное количество ВТЦ с ураганным ветром (>32,7 м/с) в северных частях Тихого и Атлантического океанов по данным AMSR-E

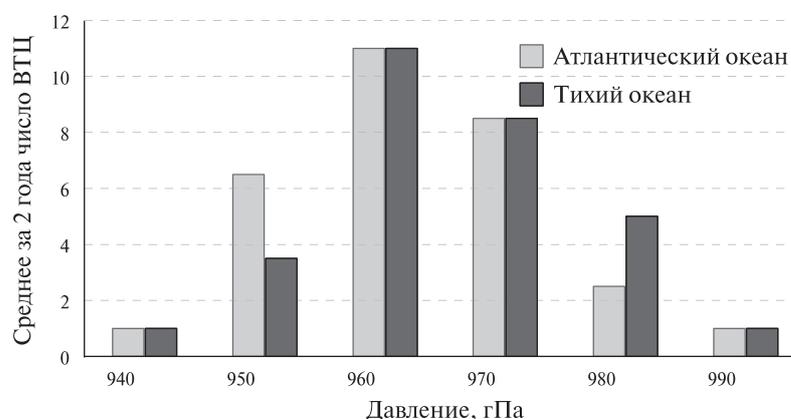


Рис. 9. Распределение по минимальному давлению в центре циклона среднего за два года количества ВТЦ по данным реанализа ERA-Interim

## Выводы

На основе данных реанализа ERA-Interim и данных спутникового микроволнового радиометра AMSR-E был проведён анализ ряда характеристик внетропических циклонов в Атлантическом и Тихом океанах в Северном полушарии за период с июня 2002 по май 2004 г. В Северном полушарии в первый временной промежуток (с июня 2002 по май 2003 г.) было обнаружено 300 ВТЦ, во второй (с июня 2003 по май 2004 г.) — 290 ВТЦ. Особое внимание в работе уделено анализу ВТЦ с ураганным ветром (со скоростью >32,7 м/с). Основное отличие данной работы от аналогичных исследований — использование полей скорости ветра, восстановленных по данным AMSR-E с помощью метода, прошедшего надёжную верификацию для широкого диапазона условий, включающих экстремальные ветра. Количество ВТЦ с ураганным ветром оказалось большим по сравнению с результатами работ авторов, использующих для изучения циклонов данные QuikSCAT. По данным реанализа было выявлено примерно в три раза меньше ВТЦ с ураганным ветром, чем по данным AMSR-E. Данные реанализа ERA-Interim недооценивают интенсивность циклонов в зимнее время и переоценивают в летнее. Установлено, что наибольшая часть ВТЦ образуется в бароклинических районах тёплых крупных течений, таких как Гольфстрим и Кюросио, где связанные с ними высокоградиентные фронтальные зоны обеспечивают достаточно энергии для развития и укрепления циклона. ВТЦ с умеренным ветром развиваются в основном в летние месяцы, когда не получают достаточно энергии; ВТЦ с сильным ветром наблюдаются в течение всего года,

а наибольшее число ВТЦ со штормовым ветром встречается в зимний сезон. ВТЦ с ураганным ветром развиваются только в зимнее время (с сентября по март), при этом максимальное их количество наблюдается в декабре и январе. Наибольшее число ВТЦ с ураганным ветром обладают минимальным давлением ~960 гПа. Анализ более длительного промежутка времени позволит проследить климатические тенденции в развитии ВТЦ над рассматриваемыми регионами.

Исследования, представленные в данной статье, выполнены за счёт гранта Российского научного фонда № 17-77-30019.

## Литература

1. Рудева И. А. Жизненный цикл атмосферных внетропических циклонов Северного полушария и его связь с процессами взаимодействия океана и атмосферы // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. С. 1–7.
2. Businger S., Yildiz S., Robinson T. E. The Impact of Hurricane Force Wind Fields on the North Pacific Ocean Environment // Weather and Forecasting. 2015. V. 30. No. 3. P. 742–753.
3. Dacre H. F., Hawcroft M. K., Stringer M. A., Hodges K. I. An extratropical cyclone atlas: A tool for illustrating cyclone structure and evolution characteristics // Bull. American Meteorological Society. 2012. V. 93. No. 10. P. 1497–1502.
4. Dickinson S., Brown R. A. A study of near-surface winds in marine cyclones using multiple satellite sensors // J. Applied Meteorology and Climatology. 1996. V. 35. No. 6. P. 769–781.
5. Geng Q., Sugi M. Possible change of extratropical cyclone activity due to enhanced greenhouse gases and sulfate aerosols — Study with a high-resolution AGCM // J. Climate. 2003. V. 16. No. 13. P. 2262–2274.
6. Gulev S. K., Zolina O., Grigoriev S. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data // Climate Dynamics. 2001. V. 17. P. 795–809.
7. Jelenak Z., Chang P. S. NOAA operational satellite ocean surface vector winds — QuikSCAT follow-on mission: User impact study report. 2008. 90 p. URL: [http://manati.orbit.nesdis.noaa.gov/SVW\\_nextgen/QFO\\_user\\_impact\\_study\\_final.pdf](http://manati.orbit.nesdis.noaa.gov/SVW_nextgen/QFO_user_impact_study_final.pdf).
8. Jelenak Z., Ahmad K., Sienkiewicz J., Chang P. S. A statistical study of wind field distribution within extratropical cyclones in North Pacific ocean from 7-years of QuikSCAT wind data // IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. Cape Town, South Africa, July 2009. 2009. V. 1. P. I-104–I-107.
9. Jelenak Z., Patoux J., Chang P., Sienkiewicz J. Hurricane force extratropical cyclones trends from ECMWF and Ocean Prediction Center Analysis // Intern. IOWVST Meeting. Utrecht, Netherlands. 2012.
10. Jones S. C., Harr P. A., Abraham J., Bosart L. F., Bowyer P. J., Evans J. L., Hanley D. E., Hanstrum B. N., Hart R. E., Lalaurette F., Sinclair M. R., Smith R. K., Thorncroft C. The extratropical transition of tropical cyclones: Forecast challenges, current understanding, and future directions // Weather and Forecasting. 2003. V. 18. No. 6. P. 1052–1092.
11. Jzyk P. QuikSCAT analysis of hurricane force extratropical cyclones in the Pacific Ocean // Senior Honors Projects. 2010. Paper 177. URL: <http://digitalcommons.uri.edu/srhonorsprog/177>.
12. Li M., Liu J., Wang Z., Wang H., Zhang Z., Zhang L., Yang Q. Assessment of Sea Surface Wind from NWP Reanalyses and Satellites in the Southern Ocean // J. Atmospheric and Oceanic Technology. 2013. V. 30. No. 8. P. 1842–1853.
13. Sienkiewicz J. M., Ahmad K., McFadden G. M. Hurricane force extratropical cyclones // Scatterometer and Climate Meeting. Arlington, VA. August 19–21, 2009.
14. Stroeve J. C., Serreze M. C., Barrett A., Kindig D. N. Attribution of recent changes in autumn cyclone associated precipitation in the Arctic // Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography. 2011. V. 63. No. 4. P. 653–663.
15. Von Ahn J., Sienkiewicz J., McFadden G. Hurricane Force Extratropical Cyclones Observed Using QuikSCAT Near Real Time Winds // Mariners Weather Log. 2005. V. 49. No. 1. URL: [http://www.vos.noaa.gov/MWL/april\\_05/cyclones.shtml](http://www.vos.noaa.gov/MWL/april_05/cyclones.shtml).
16. Willis M., Garces M., Hetzer C., Businger S. Infrasonic observations of open ocean swells in the Pacific: Deciphering the song of the sea // Geophysical Research Letters. 2004. V. 31. L19303.
17. Zabolotskikh E., Mitnik L., Chapron B. GCOM-W1 AMSR2 and MetOp-A ASCAT wind speeds for the extratropical cyclones over the North Atlantic // Remote Sensing of Environment. 2014. V. 147. P. 89–98.

18. Zabolotskikh E., Mitnik L., Reul N., Chapron B. New Possibilities for Geophysical Parameter Retrievals Opened by GCOM-W1 AMSR2 // IEEE J. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2015. V. 8. No. 9. P. 4248–4261.

## Comparative analysis of the North Atlantic and North Pacific extratropical cyclone characteristics retrieved from ERA-Interim reanalysis and AMSR-E data

P. V. Vasilyeva<sup>1</sup>, E. V. Zabolotskikh<sup>1</sup>, B. Chapron<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg 195196, Russia  
E-mail: p.vasilyeva@rshu.ru

<sup>2</sup> Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, Plouzané 29280, France  
E-mail: bchapron@ifremer.fr

The study is aimed at the investigation of the extratropical cyclone (ETC) characteristics over the northern parts of the Atlantic and Pacific Oceans for a time period of two years (from June 2002 to May 2004), based on ERA-Interim re-analysis data and geophysical parameter fields retrieved from satellite passive microwave radiometer AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer — Earth Observing System) on the AQUA satellite. The ETCs were identified from ERA-Interim sea surface wind speed (SWS) and sea level pressure data. Maximum SWS values were determined for each ETC from AMSR-E retrieved SWS fields and compared with the maximum SWS from the reanalysis data. The SWS was obtained from the AMSR-E data by means of the application of the algorithm, extensively validated for high winds (SWS > 15 m/s). Special analysis is fulfilled for the hurricane force ETCs (SWS > 32.7 m/s). The results are compared with the results of the previous studies, based on satellite scatterometer data. The main features of the spatial and seasonal distribution of ETC characteristics over the North Atlantic and North Pacific for two time periods are determined. It is established that the ERA-Interim re-analysis data underestimates the maximum wind speeds in most hurricane-force ETCs as compared to the AMSR-E SWS data.

**Keywords:** Extratropical cyclones, sea surface wind speed, hurricane force cyclones, ERA-Interim, satellite passive microwave radiometer, AMSR-E

Accepted: 11.04.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-236-248

## References

1. Rudeva I. A., Zhiznennyi tsikl atmosferykh vnetropicheskikh tsiklonov Severnogo polushariya i ego svyaz' s protsessami vzaimodeistviya okeana i atmosfery (The life cycle of atmospheric extratropical cyclones in the Northern Hemisphere and its relationship with the processes of interaction between the ocean and the atmosphere), *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, 2008, Vol. 44, pp. 1–7.
2. Businger S., Yildiz S., Robinson T. E., The Impact of Hurricane Force Wind Fields on the North Pacific Ocean Environment, *Weather and Forecasting*, 2015, Vol. 30, No. 3, pp. 742–753.
3. Dacre H. F., Hawcroft M. K., Stringer M. A., Hodges K. I., An extratropical cyclone atlas: A tool for illustrating cyclone structure and evolution characteristics, *Bull. American Meteorological Society*, 2012, Vol. 93, No. 10, pp. 1497–1502.
4. Dickinson S., Brown R. A., A study of near-surface winds in marine cyclones using multiple satellite sensors, *J. Applied Meteorology and Climatology*, 1996, Vol. 35, No. 6, pp. 769–781.
5. Geng Q., Sugi M., Possible change of extratropical cyclone activity due to enhanced greenhouse gases and sulfate aerosols — Study with a high-resolution AGCM, *J. Climate*, 2003, Vol. 16, No. 13, pp. 2262–2274.
6. Gulev S. K., Zolina O., Grigoriev S., Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data, *Climate Dynamics*, 2001, Vol. 17, pp. 795–809.

7. Jelenak Z., Chang P. S., *NOAA operational satellite ocean surface vector winds — QuikSCAT follow-on mission: User impact study report*, 2008, 90 p., available at: [http://manati.orbit.nesdis.noaa.gov/SVW\\_nextgen/QFO\\_user\\_impact\\_study\\_final.pdf](http://manati.orbit.nesdis.noaa.gov/SVW_nextgen/QFO_user_impact_study_final.pdf).
8. Jelenak Z., Ahmad K., Sienkiewicz J., Chang P. S., A statistical study of wind field distribution within extra-tropical cyclones in North Pacific ocean from 7-years of QuikSCAT wind data, *IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp.*, Cape Town, South Africa, July 2009, Vol. 1, pp. I-104–I-107.
9. Jelenak Z., Patoux J., Chang P., Sienkiewicz J., Hurricane force extratropical cyclones trends from ECMWF and Ocean Prediction Center Analysis, *Intern. IOWVST Meeting*, 2012, Utrecht, Netherlands.
10. Jones S. C., Harr P. A., Abraham J., Bosart L. F., Bowyer P. J., Evans J. L., Hanley D. E., Hanstrum B. N., Hart R. E., Lalauette F., Sinclair M. R., Smith R. K., Thorncroft C., The extratropical transition of tropical cyclones: Forecast challenges, current understanding, and future directions, *Weather and Forecasting*, 2003, Vol. 18, No. 6, pp. 1052–1092.
11. Jzyk P., QuikSCAT analysis of hurricane force extratropical cyclones in the Pacific Ocean, *Senior Honors Projects*, 2010, Paper 177, available at: <http://digitalcommons.uri.edu/srhonorsprog/177>.
12. Li M., Liu J., Wang Z., Wang H., Zhang Z., Zhang L., Yang Q., Assessment of Sea Surface Wind from NWP Reanalyses and Satellites in the Southern Ocean, *J. Atmospheric and Oceanic Technology*, 2013, Vol. 30, No. 8, pp. 1842–1853.
13. Sienkiewicz J. M., Ahmad K., McFadden G. M., Hurricane force extratropical cyclones, *Scatterometer and Climate Meeting*, Arlington, VA, August 19–21, 2009.
14. Stroeve J. C., Serreze M. C., Barrett A., Kindig D. N., Attribution of recent changes in autumn cyclone associated precipitation in the Arctic, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 2011, Vol. 63, No. 4, pp. 653–663.
15. Von Ahn J., Sienkiewicz J., McFadden G., Hurricane Force Extratropical Cyclones Observed Using QuikSCAT Near Real Time Winds, *Mariners Weather Log*, 2005, Vol. 49, No. 1, available at: [http://www.vos.noaa.gov/MWL/april\\_05/cyclones.shtml](http://www.vos.noaa.gov/MWL/april_05/cyclones.shtml).
16. Willis M., Garces M., Hetzer C., Businger S., Infrasonic observations of open ocean swells in the Pacific: Deciphering the song of the sea, *Geophysical Research Letters*, 2004, Vol. 31, L19303.
17. Zabolotskikh E., Mitnik L., Chapron B., GCOM-W1 AMSR2 and MetOp-A ASCAT wind speeds for the extratropical cyclones over the North Atlantic, *Remote Sensing of Environment*, 2014, Vol. 147, pp. 89–98.
18. Zabolotskikh E., Mitnik L., Reul N., Chapron B., New Possibilities for Geophysical Parameter Retrievals Opened by GCOM-W1 AMSR2, *IEEE J. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2015, Vol. 8, No. 9, pp. 4248–4261.