

Алгоритм определения скорости приводного ветра по данным радиолокатора Ku-диапазона при малых углах падения

М.А. Панфилова, В.Ю. Караев, Ю.А. Титченко

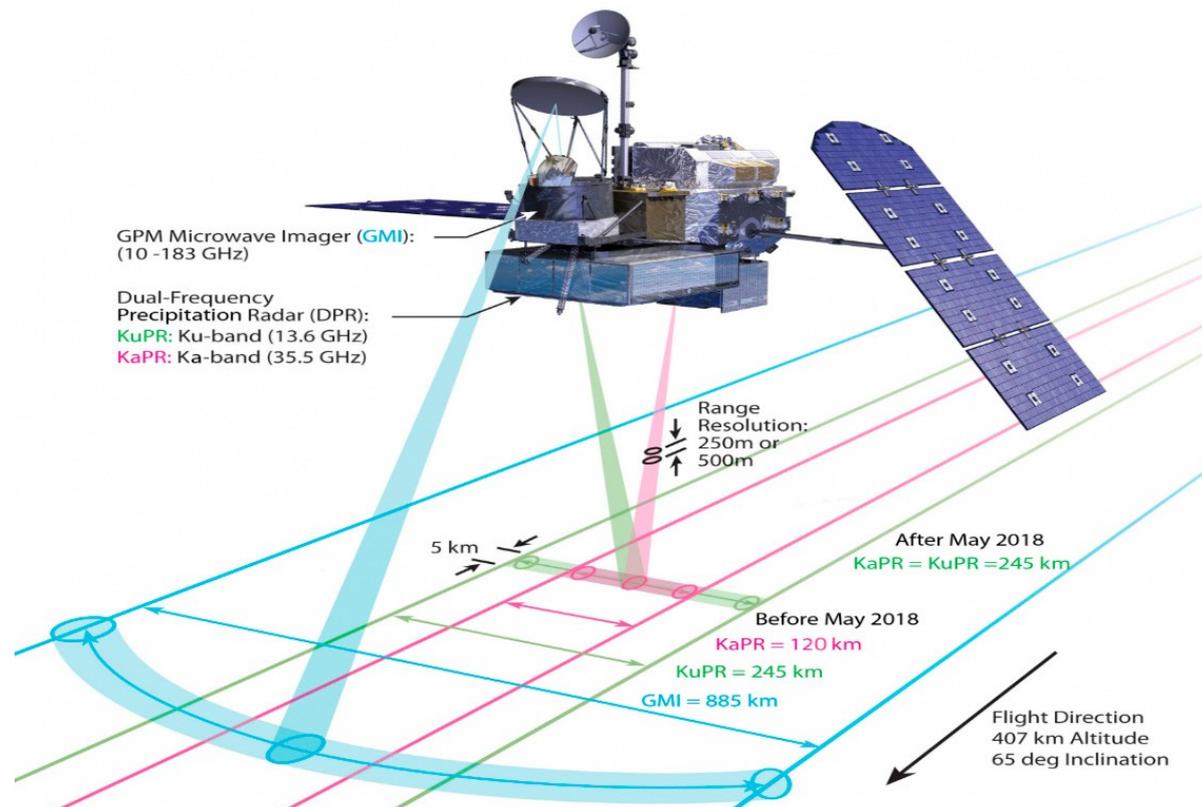
ИПФ РАН, Нижний Новгород



План доклада

1. Обзор алгоритмов определения скорости ветра при малых углах падения
 2. Алгоритм определения скорости ветра по данным DPR для скоростей ветра до 16 м/с
 3. Продление модели для больших скоростей ветра: 16-27 м/с
 4. Пример определения скорости ветра в тропических циклонах
- Презентация подводит итог цикла работ по построению алгоритма определения скорости ветра по данным радиолокатора DPR на борту спутника GPM

DPR на спутнике GPM



Радиолокатор создавался для измерения пространственного распределения осадков, но по его данным доступна также информация о сигнале, рассеянном подстилающей поверхностью.

Радиолокаторы Ku- и Ka-диапазона: ширина луча 0.7°, разрешение 5 км, ширина полосы обзора 245 км.

Скорость ветра при малых углах падения

Альтиметры

$U_{10}(H_s, NRCS)$: (Guorrion et. al., 2002); (Karaev et. al., 2002)

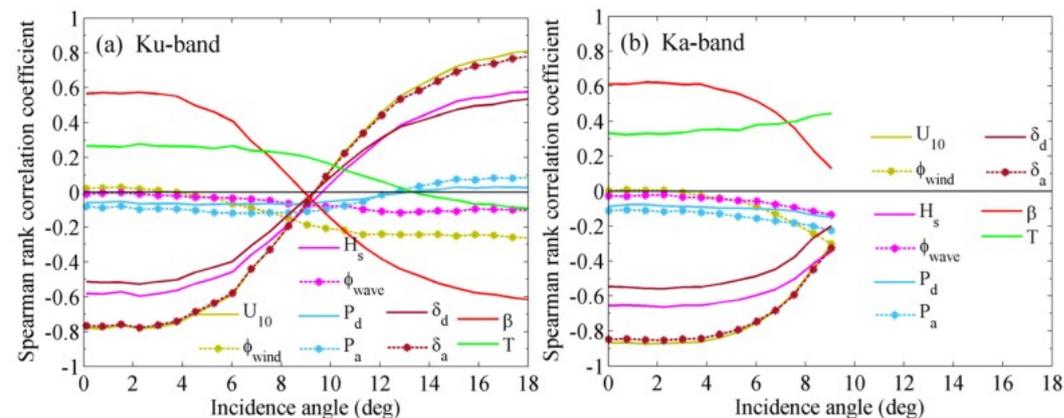
$U_{10}(NRCS)$: (Abdalla, 2012)

Ku-band precipitation radar onboard TRMM (0°-18°), SWIM onboard CFOSAT (0°-10°)

Геофизические модельные функции для каждого угла падения

(Бао et. al., 2016); (Ren et. al., 2017); (Ren et. al., 2021)

Но, как показано в (Chu et. al. 2012; Yan et. al., 2019), корреляция между УЭПР и скоростью ветра при 8°-10° для обоих диапазонов низкая.



Зависимость УЭПР от угла падения

В рамках приближения геометрической оптики

$$\sigma_0(\theta) = \frac{R_{eff}(0)^2}{\cos^4 \theta} \exp\left[\frac{\tan^2 \theta}{2\sigma_x^2}\right] \frac{1}{2\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}},$$

где $R_{eff}(0)^2$ – эффективный коэффициент отражения, θ – угол падения, σ_x^2 и σ_y^2 – дисперсии уклонов вдоль осей X и Y , где X – направление сканирования, Y – перпендикулярное направление.

УЭПР при нулевом угле падения равен

$$\sigma_0(0) = \frac{R_{eff}(0)^2}{2\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}}$$

Его легко получить, проведя линейную регрессию, если есть измерения при нескольких углах падения:

$$\ln(\sigma_0(\theta) \cos^4 \theta) = A + B \tan^2(\theta), \quad \sigma_0(0) = \exp(A).$$

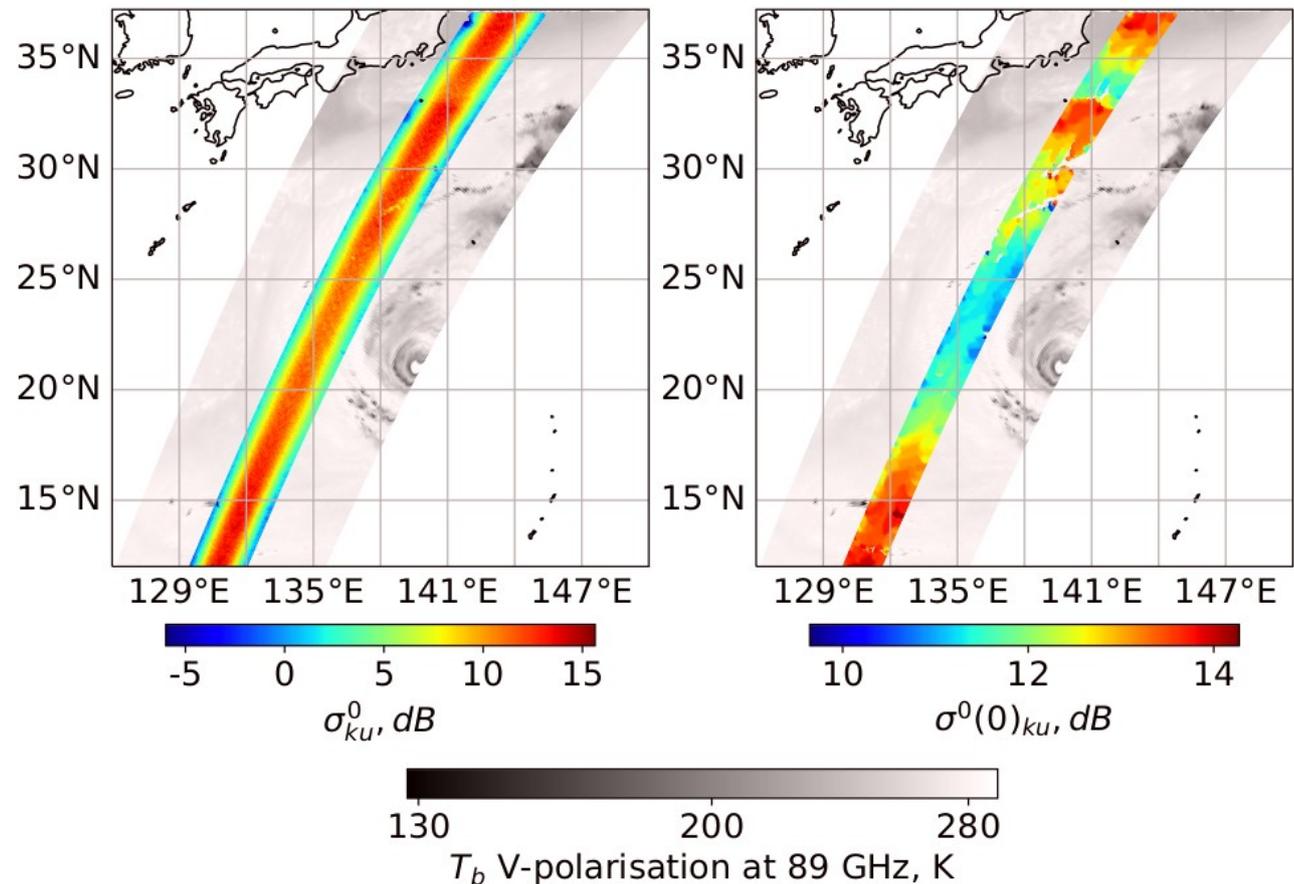
Методика обработки данных в полосе обзора детально изложена в работе (Panfilova et. al., Oil Slick Observation at Low Incidence Angles in Ku-Band, 2018, JGR)

УЭПР при надире в полосе обзора

УЭПР при нулевом угле падения вычислен в районе тайфуна Хагибис.

Убран угловой тренд: в сигнале проявляется изменение шероховатости морской поверхности.

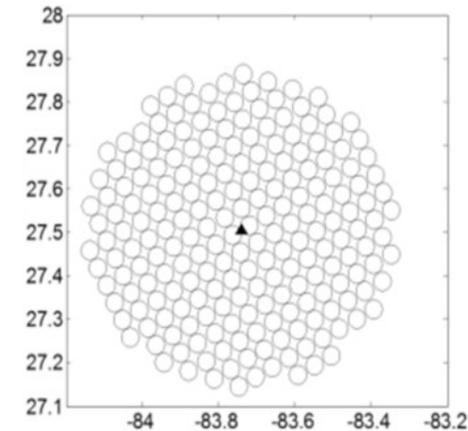
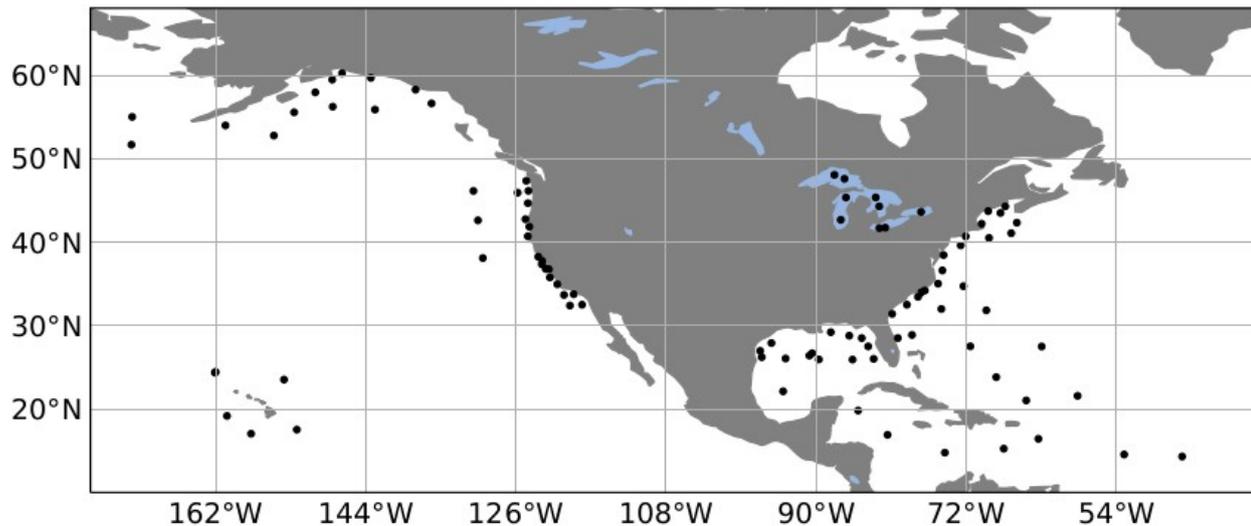
Получено радиолокационное изображение при нулевом угле падения аналогичное РСА изображению при средних углах падения.



Определение скорости ветра

- 1) Определение УЭПР при нулевом угле падения в широкой полосе
(высокая корреляция со скоростью ветра)
- 2) Вычисление скорости ветра по регрессионной модели, построенной по данным буев и DPR

Объединение с данными NDBC буев



Идеи для QC: (Ribal et. al. 2019, Sci. data)

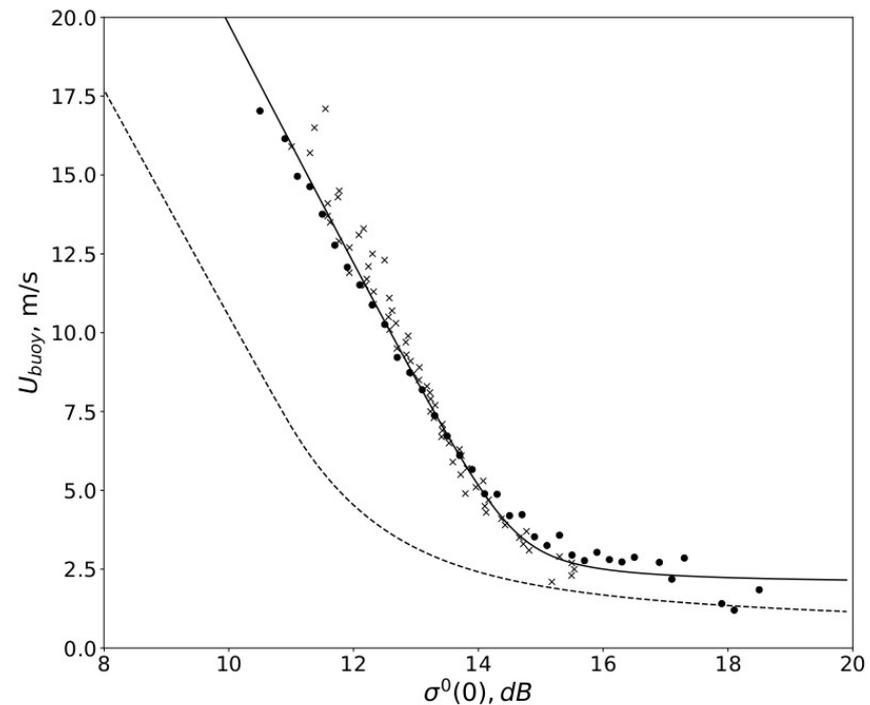
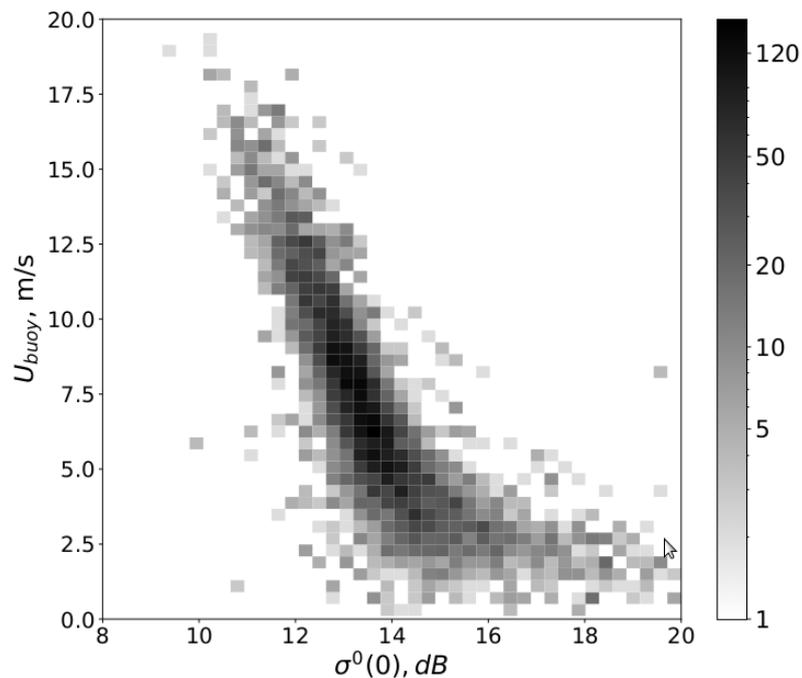
Данные 157 NDBC (National Data Buoy Center) буев были объединены с измерениями УЭПР при надире в широкой полосе обзора. Расстояние от буя до центра пятна засветки не более 25 км, $dt < 15$ минут.

Поскольку анемометры установлены на разных высотах, скорость ветра пересчитывалась на высоту 10 м

$$U_{10} = U_z \sqrt{\frac{\kappa^2}{C_d} \ln^2 \left(\frac{z}{z_0} \right)}$$

при условии нейтральной стратификации: $T_{air} - T_{water} < 5^\circ$

Регрессионная модель



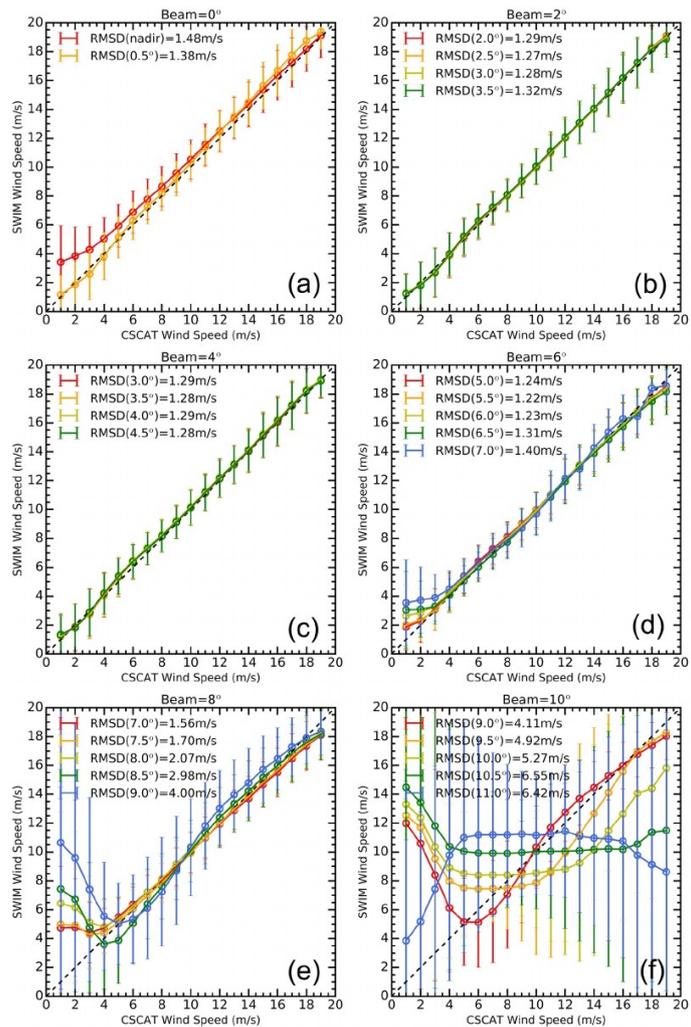
Данные за 2017-2019, всего 9634 точек. Для получения зависимости скорости ветра от УЭПР при нулевом угле падения отталкивались от методики в работе (Abdalla, S. *Ku-Band Radar Altimeter Surface Wind Speed Algorithm. Marine Geodesy 2012, 35, 276–298.*) Проведен биннинг по обеим переменным.

Предложили более лаконичную параметризацию (4 коэффициента против 9):

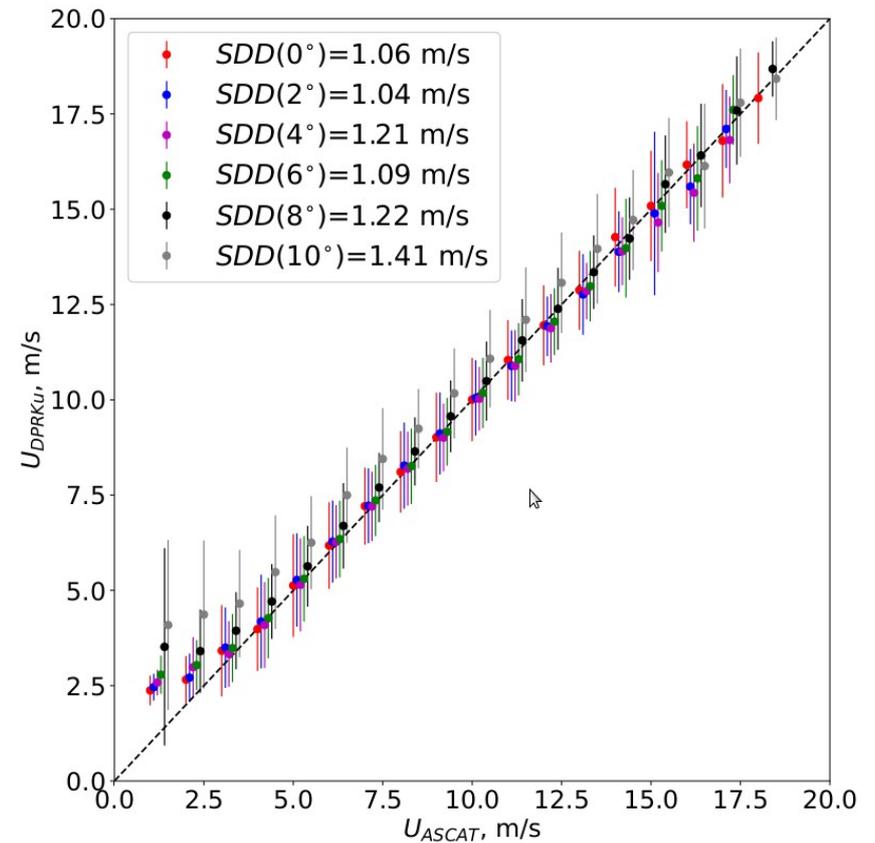
$$U_{10} = -(a\sigma^0 + b) + \sqrt{(a\sigma^0 + b)^2 + c^2} + d$$

Валидация модели

GMF подход (данные SWIM)

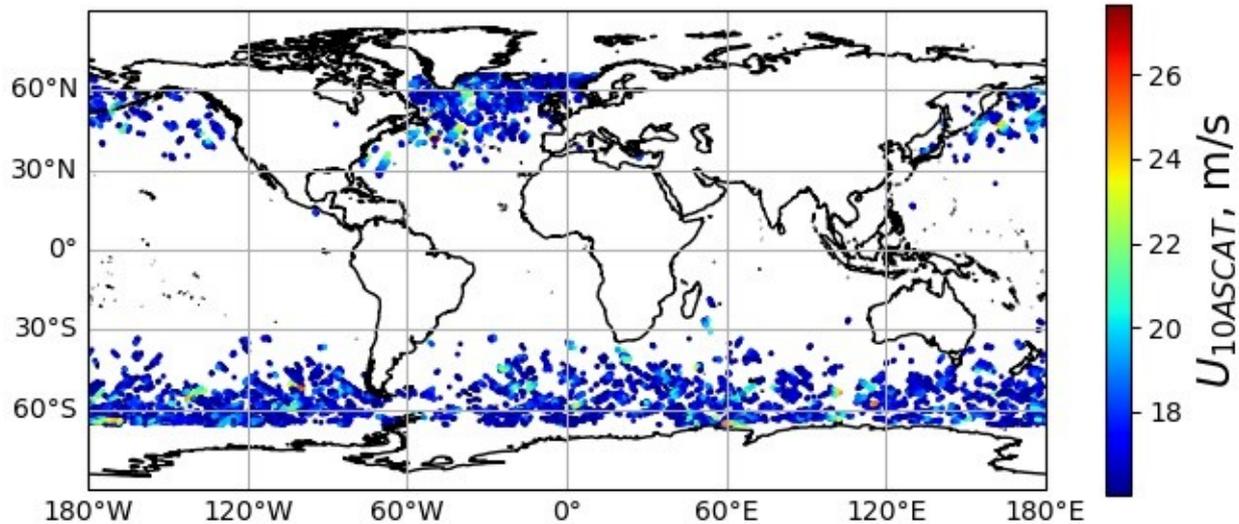


Наш подход (данные DPR)



Ren et al., Earth and Space Science, 2021

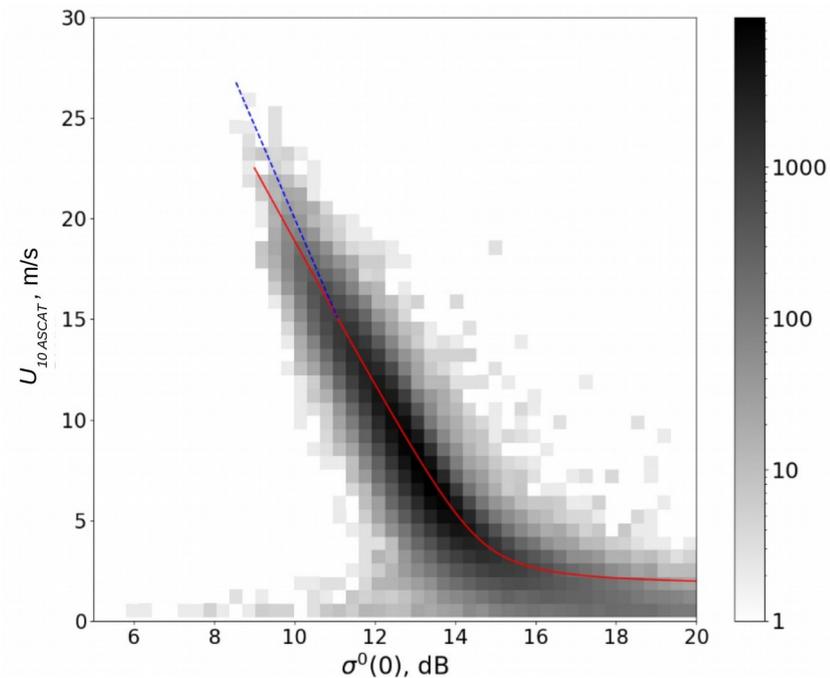
Модель для высоких скоростей ветра



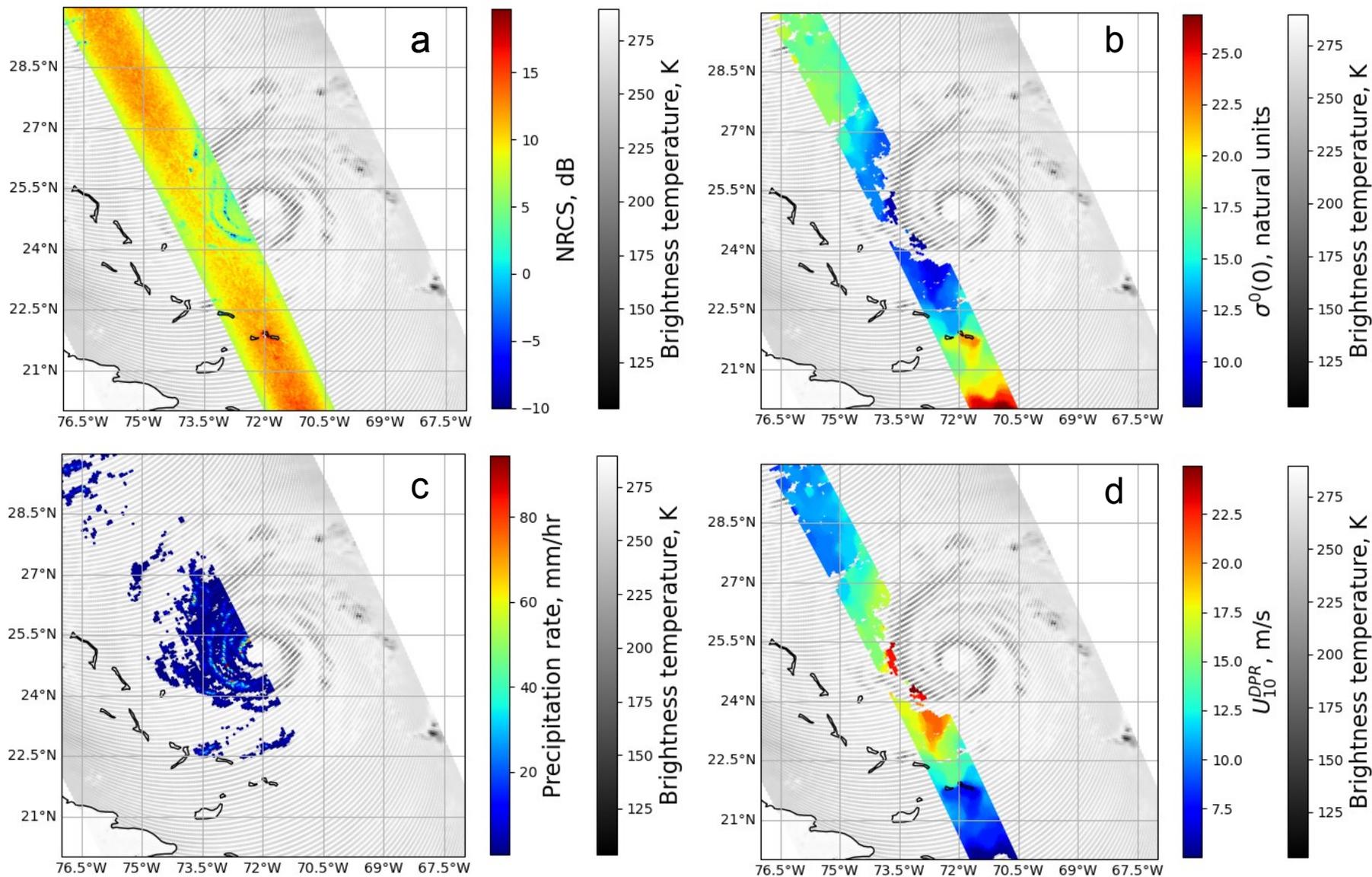
Области объединения данных двух радиолокаторов

Для скоростей ветра выше 16 м/с среднее отклонение и СКО составляют соответственно 0.04 м/с и 1.9 м/с.

Объединенный массив данных DPR и скаттерометра ASCAT скоростей ветра выше 16 м/с содержит 22,787 пар точек.

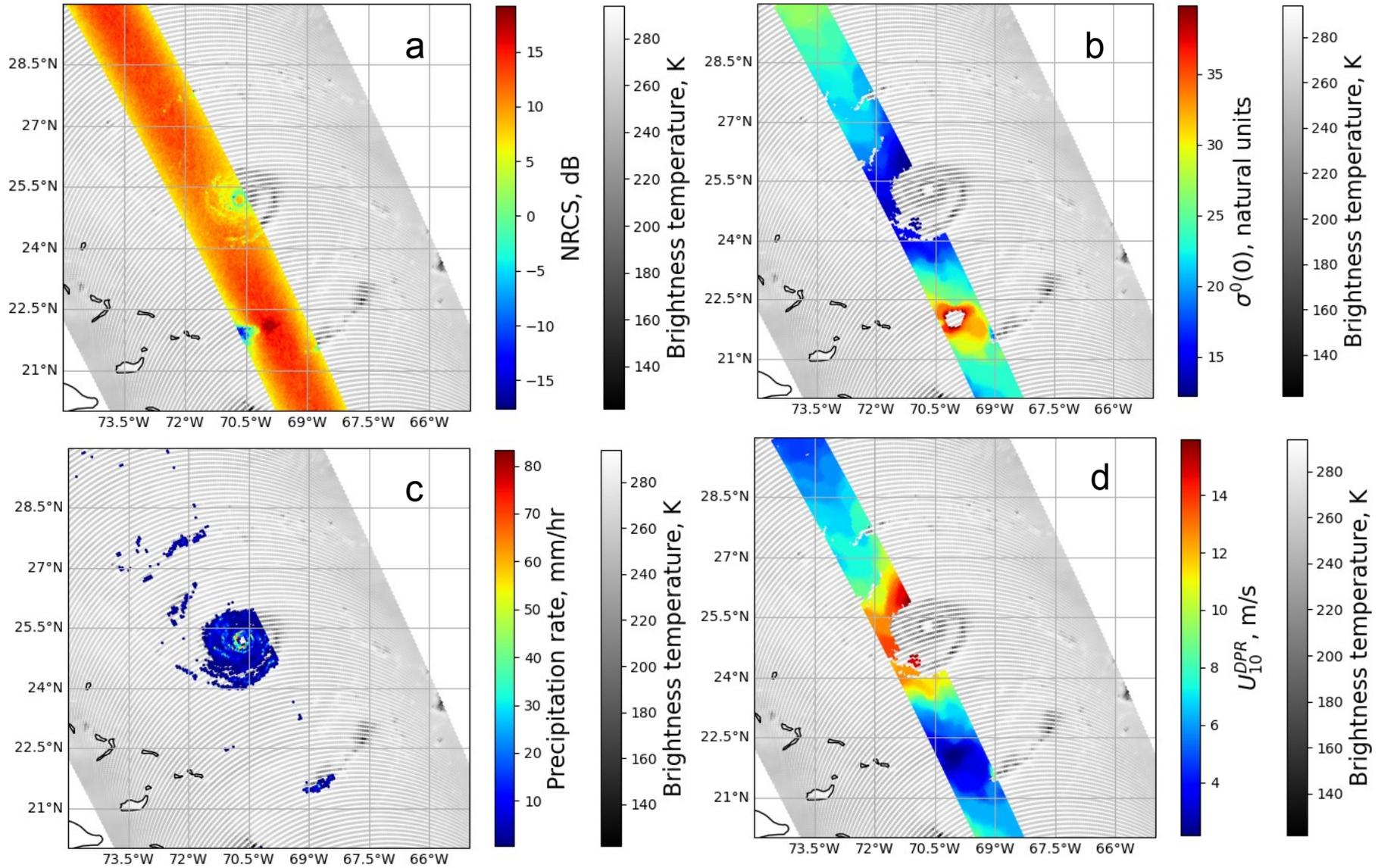


Ураган Maria



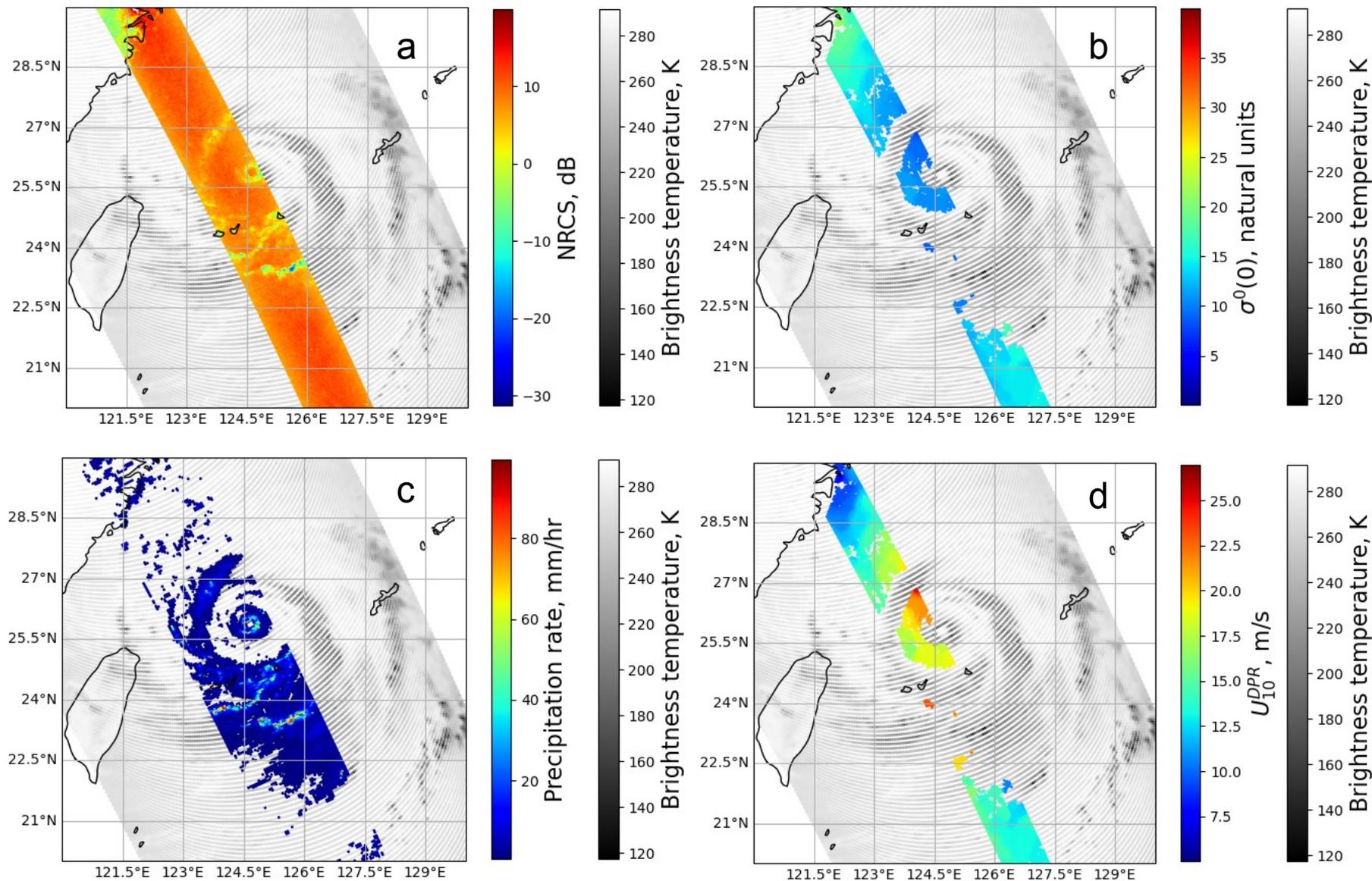
23 сентября 2017

Ураган Dorian



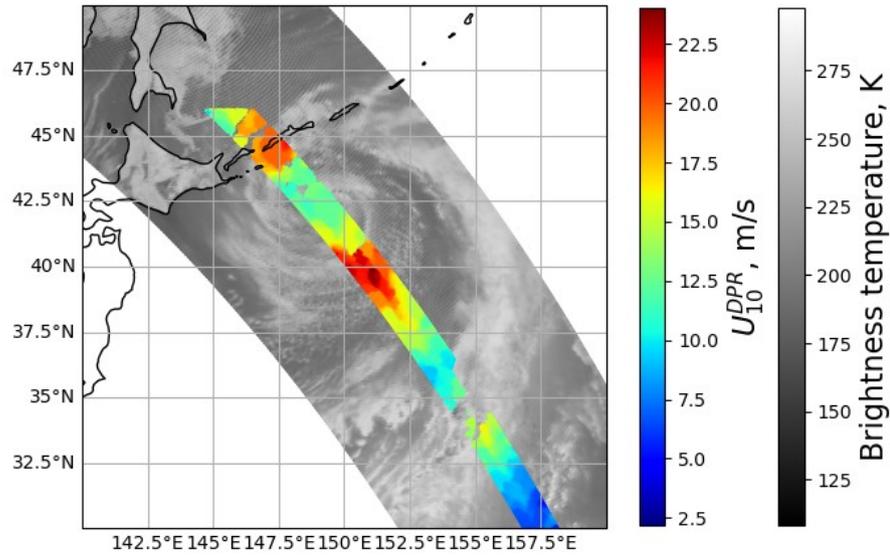
30 августа 2019

Тайфун Ниннамнор

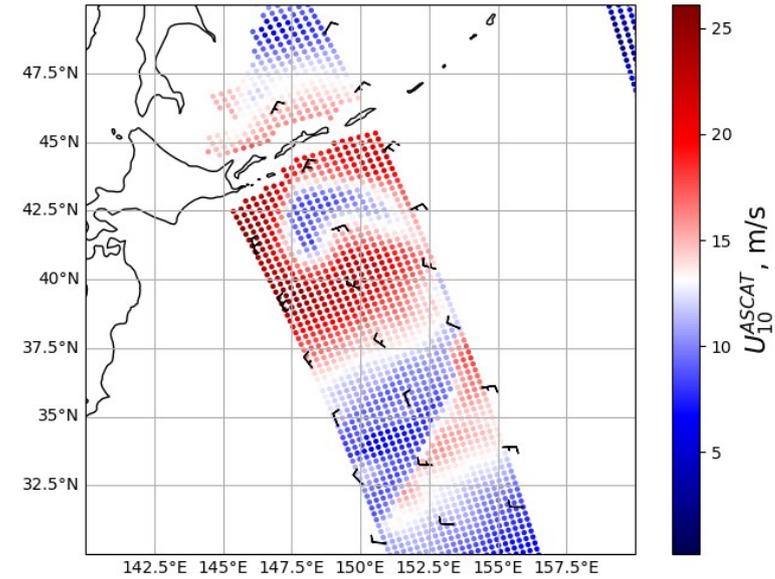


3 сентября 2022

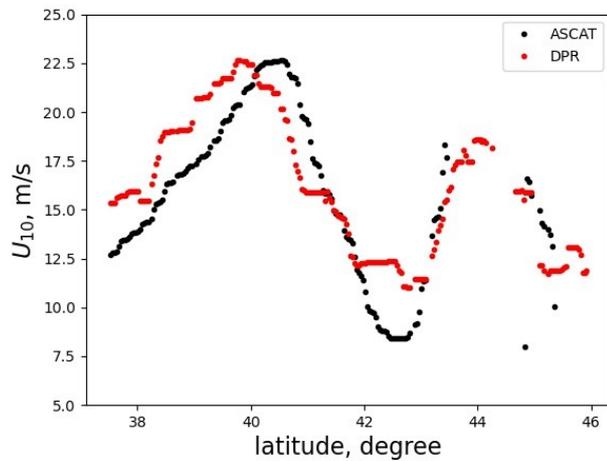
Сравнение с данными ASCAT



31 января 2015, 14:30 UTC



31 января 2015, 12:30 UTC



Заключение

- Разработан алгоритм определения скорости ветра по данным радиолокатора DPR:
 - 1) Определение УЭПР при надире в широкой полосе
 - 2) Вычисление скорости ветра по регрессионной модели
- Предложена более лаконичная регрессионная модель, которая может быть применена в альтиметрии. Построена зависимость для скоростей ветра до 27 м/с.
- Преимущество подхода – возможность определить скорость ветра при углах падения 8°-10°.
- Преимущество DPR – высокое разрешение, информация об осадках, возможность использовать данные вблизи от берега.

Публикации:

Panfilova, M.; Karaev, V. Wind Speed Retrieval Algorithm Using Ku-Band Radar Onboard GPM Satellite. *Remote Sens.* 2021, 13, 4565. <https://doi.org/10.3390/rs13224565>

Panfilova M, Karaev V. Gale Wind Speed Retrieval Algorithm Using Ku-Band Radar Data Onboard GPM Satellite. *Remote Sensing.* 2022; 14(24):6268. <https://doi.org/10.3390/rs14246268>

База данных о скорости ветра за 2017-2019 годы доступна по адресу https://sat.ipfran.ru/GPM_Ku_mss_U10