

Определение дисперсии уклонов и скорости ветра над Чёрным морем по данным радиолокатора Ки-диапазона на спутнике GPM

Панфилова М. А. (1), Караев В.Ю. (1), Митник Л.М. (1,2)

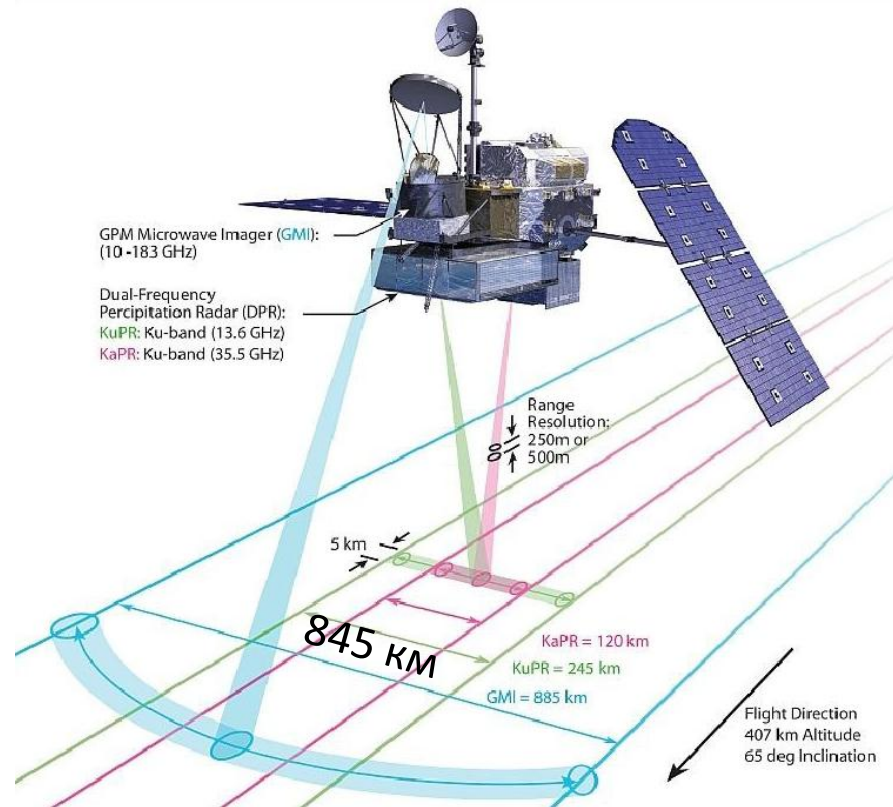
(1) Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

(2) Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

Радиолокатор космического базирования

Двухчастотный дождевой радар Dual Frequency Precipitation Radar (**DPR**) установлен на спутнике Global Precipitation Measurement (**GPM**) (запущен в 2014 г). DPR зондируют Землю на частотах $\nu = 13,6$ ГГц (Ka-диапазон) и 35,5 ГГц (Ku-диапазон) от 67° северной до 67° южной широты.

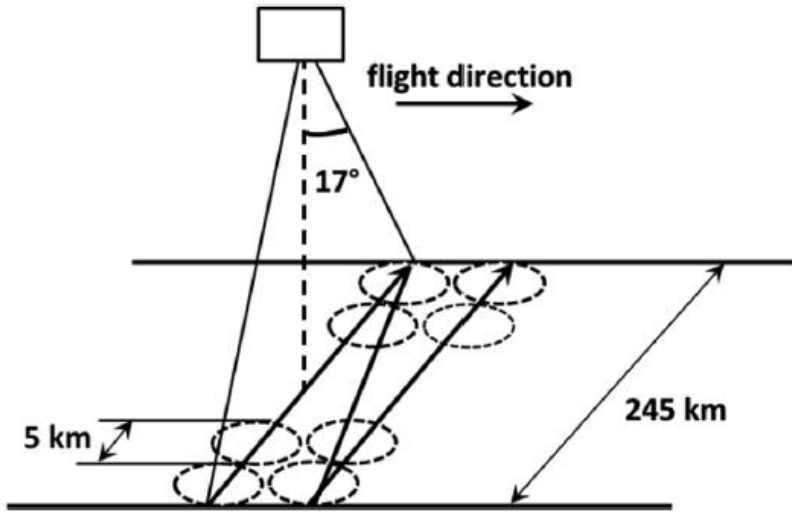
На GPM установлен также сканирующий микроволновый имаджер GPM Microwave Imager (**GMI**), измеряющий яркостные температуры уходящего излучения Земли на 8 частотах в диапазоне от 10 до 183 ГГц.



План

- Алгоритм определения дисперсии уклонов по данным DPR
- Алгоритм определения скорости ветра по данным DPR
- Применение алгоритмов к акватории Черного моря, сравнение с данными реанализа и скоростью ветра по данным GMI

Определение УЭПР в надире и полной дисперсии уклонов



$$\sigma^0(\theta) = \frac{|R_{eff}(0)|^2 \exp[-\tan^2 \theta / 2\sigma_x^2]}{\cos^4 \theta \cdot 2\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}}$$

σ_x^2 дисперсия уклонов крупномасштабного волнения вдоль направления сканирования

σ_y^2 дисперсия уклонов крупномасштабного волнения поперек направления сканирования

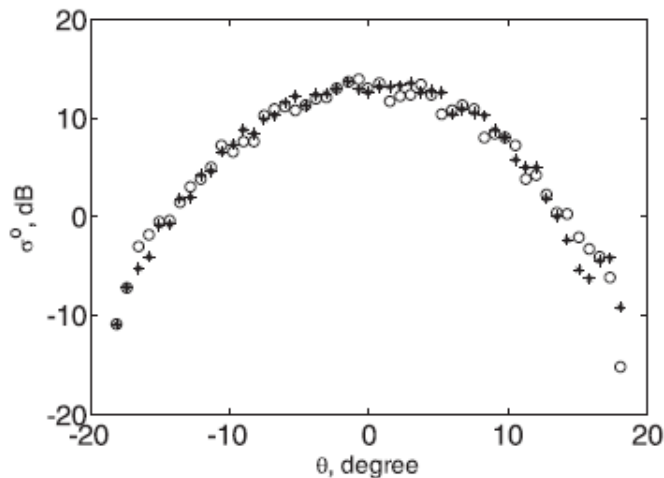
$|R_{eff}(0)|^2$ эффективный коэффициент отражения

θ угол падения

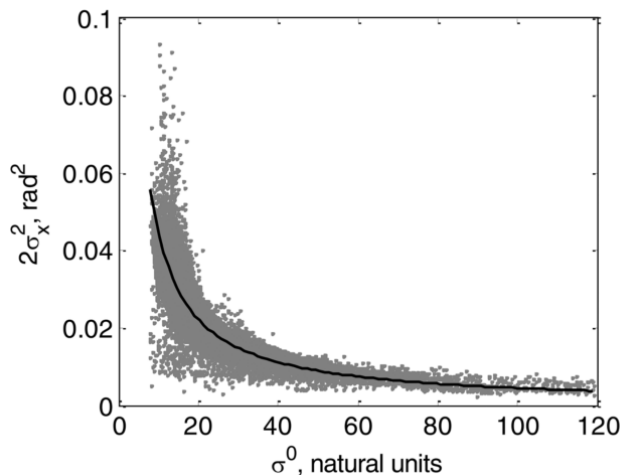
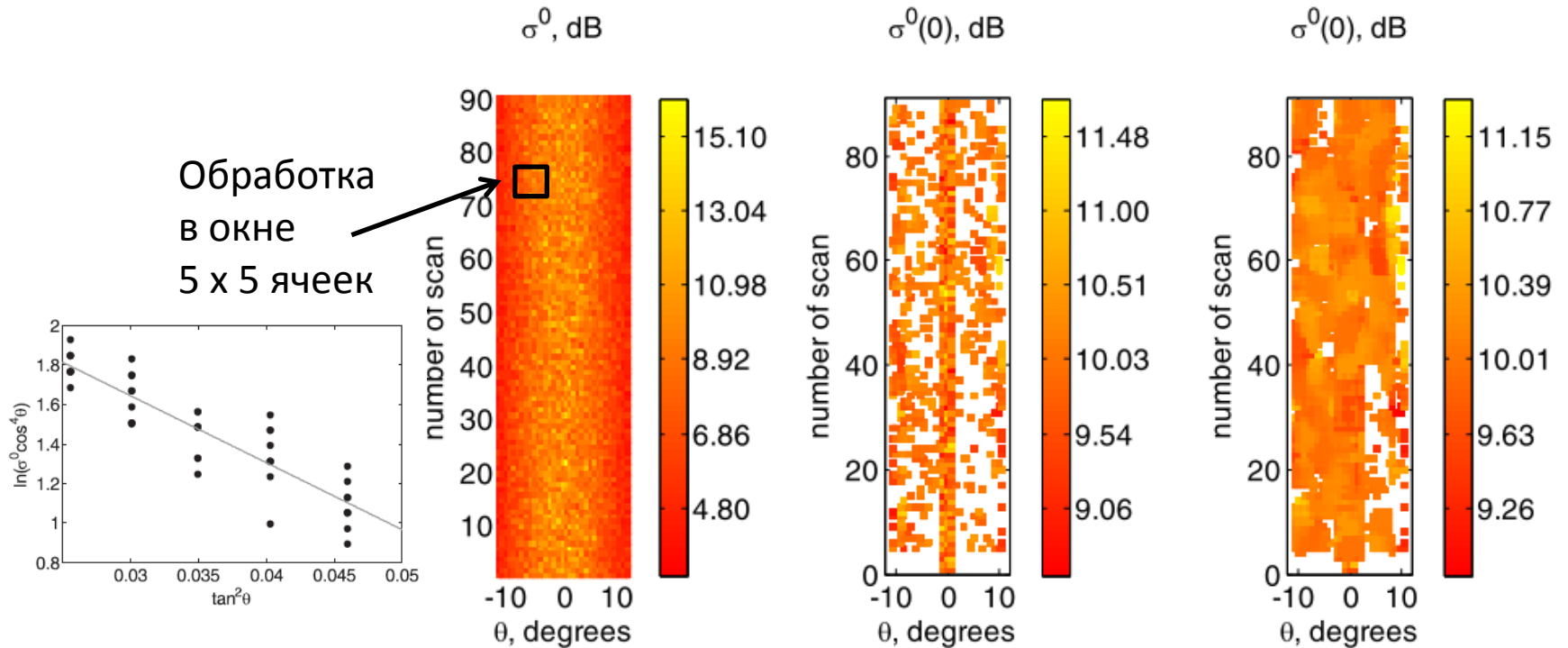
$$\ln(\sigma^0(\theta) \cos^4 \theta) = \ln(\sigma^0(0)) - \tan^2 \theta / 2\sigma_x^2$$

По линейной регрессии определяем

$$\sigma^0(0) = \frac{|R_{eff}(0)|^2}{2\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}} \quad \text{и} \quad \sigma_x^2$$



УЭПР в надире и полная дисперсия уклонов



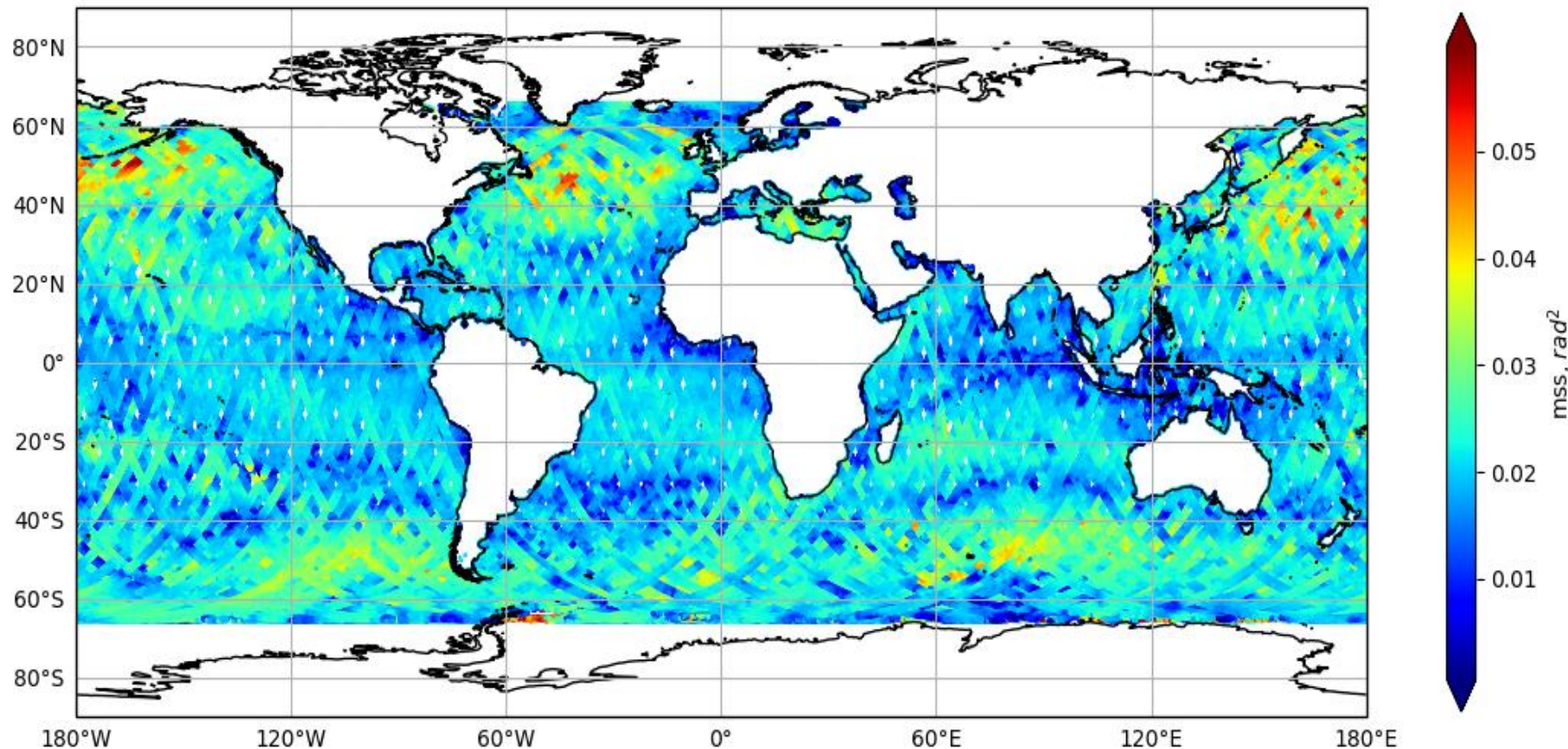
Полная дисперсия уклонов:

$$\sigma_{tot}^2 = 0.4465 / \sigma^0 \pm 0.0049$$

$$\sigma_{tot}^2 = \sigma_{x'}^2 + \sigma_{y'}^2$$

(Panfilova, JGR, 2018)

Карта дисперсии уклонов поверхности Мирового океана 24-31 декабря 2019 г.



Алгоритм определения скорости ветра

Алгоритмы определения скорости ветра по данным радиолокатора Ku-диапазона на спутнике TRMM (Li, Li et. al., 2004; Q. Bao et. al., 2016; L. Ren et. al., 2017) основаны на построении геофизических модельных функций для каждого угла падения отдельно.

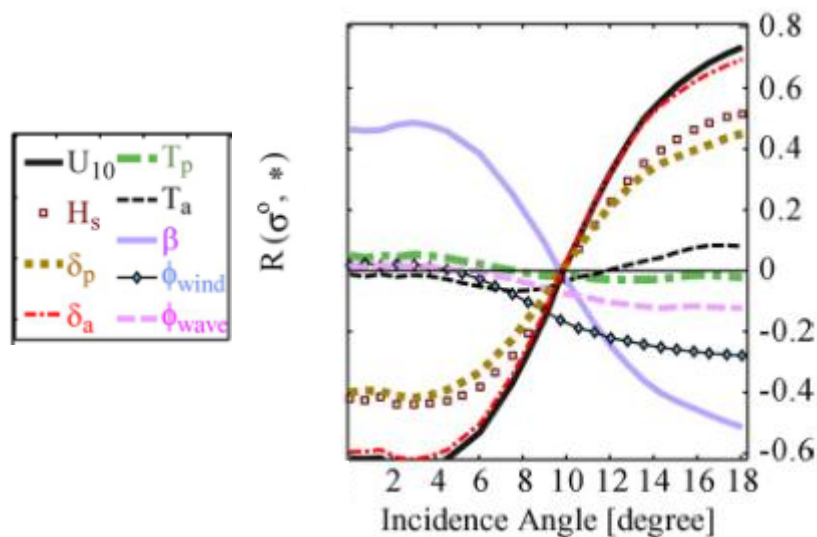
Недостаток: низкая корреляция УЭПР и скорости ветра при углах падения, больших нуля.

Наш подход:

1) Определение УЭПР при нулевом угле падения в широкой полосе обзора

Преимущество: высокая корреляция УЭПР при нулевом угле падения со скоростью ветра

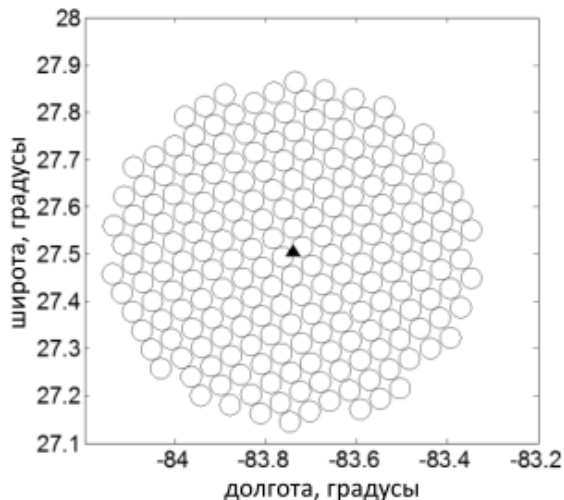
2) Регрессионный алгоритм определения скорости ветра по УЭПР при нулевом угле падения



Алгоритм определения скорости ветра



Объединение с измерениями радара:
 $dt < 10$ минут и $dR < 40$ км. Вычисляется
среднее значение УЭПР вокруг буя



Скорость ветра для каждого буя
пересчитана на стандартную высоту
10 м

$$U(z) = \frac{U_{fr}}{0.4} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

Получен объединенный массив

$$(\sigma^0(0), U_{10})$$

Вид модели для определения
скорости ветра был получен в
(Abdalla, 2012) по данным альтиметра
и реанализа. Данные буев
использовались для уточнения.
В настоящей работе для
получения коэффициентов
модели используются данные
буев за два года.

S. Abdalla, Ku-band radar altimeter surface wind speed algorithm, Marine Geod. 2012.

Алгоритм определения скорости ветра

$$U_{10} = \alpha - \beta \sigma^0(0), \quad \sigma^0(0) \leq \sigma_b$$

$$U_{10} = \gamma \exp(-\delta \sigma^0(0)), \quad \sigma^0(0) > \sigma_b$$

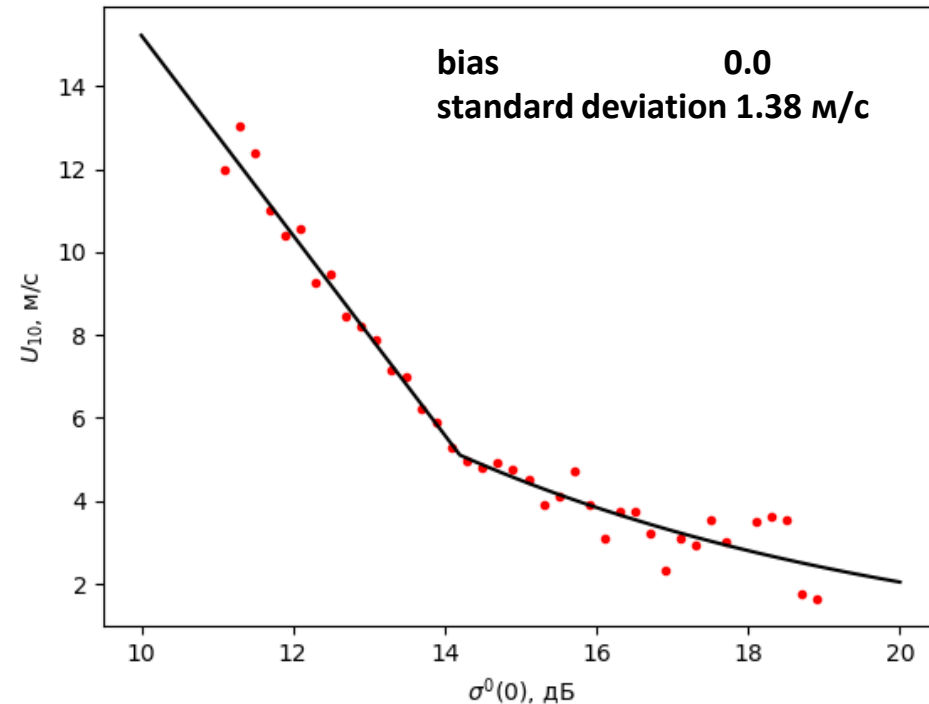
Binning:

массив разбивается на сегменты с шагом по УЭПР $\Delta\sigma^0 = 0,2$ дБ.

Скорость ветра в каждом сегменте усредняется (**красные точки**).

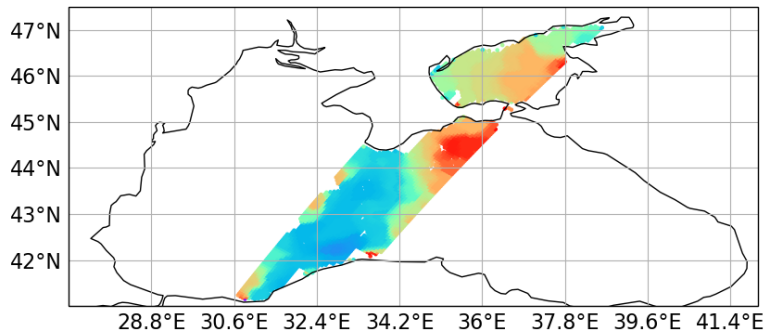
Параметры модели подбираются для этого нового массива (Abdalla, 2012)

Данные за 2017-2018 годы,
1868 областей вокруг буев.

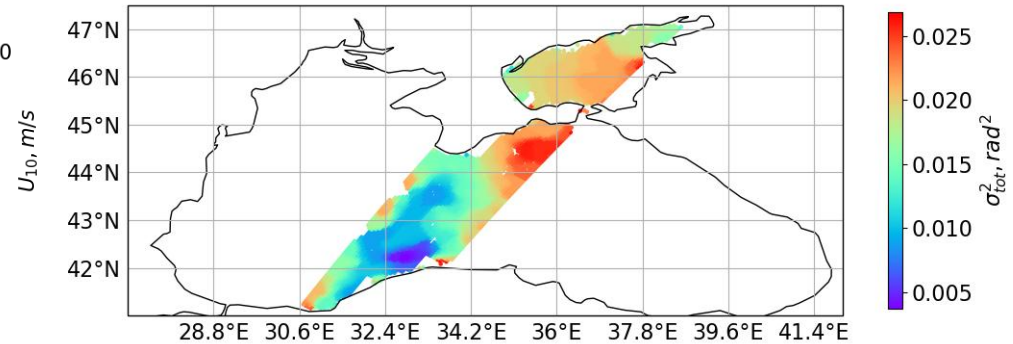


Алгоритм работает в следующих пределах:
 $2.5 < U_{10} < 15$ м/с
 $11.5 < \sigma^0 < 19$ дБ

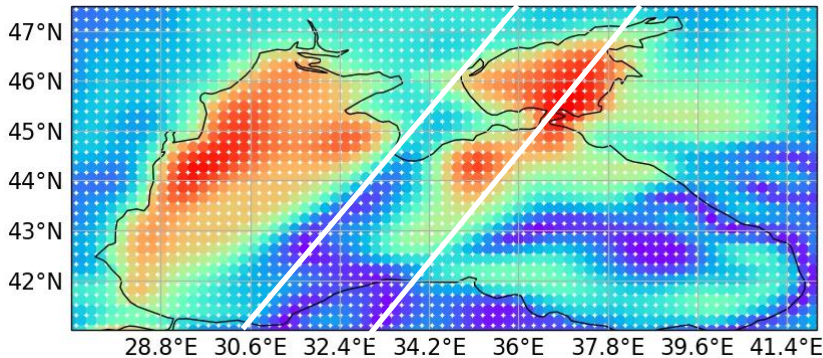
Распределение дисперсии уклонов и скорости ветра в Черном море



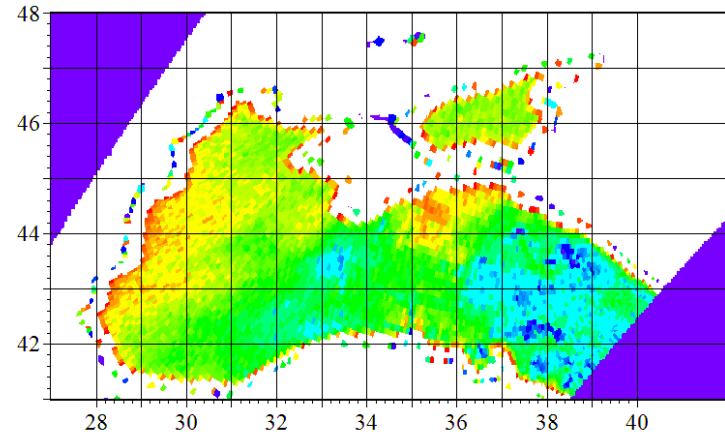
Скорость ветра по данным DPR 10.10. 2018, 3:30 UTC



Полная дисперсия уклонов по данным DPR 10.10. 2018, 3:30 UTC

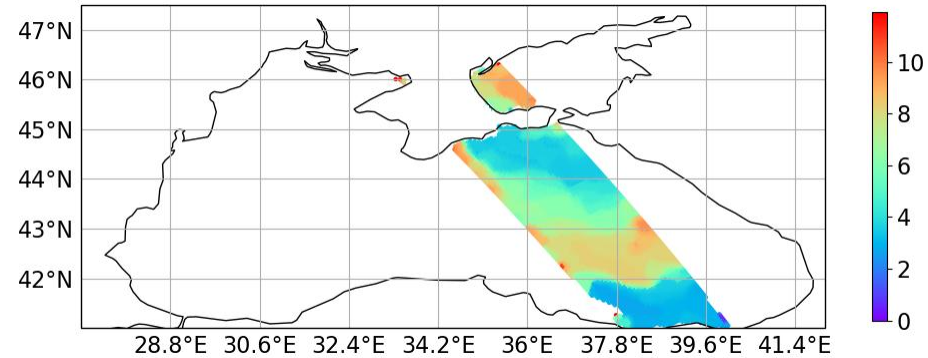


Скорость ветра по данным реанализа NCEP с сайта <https://rda.ucar.edu/>

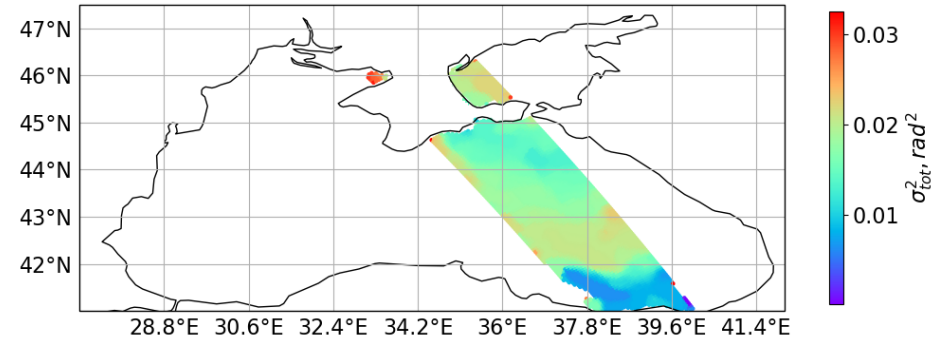


Скорость ветра по данным GMI 10.10. 2018, 3:30 UTC

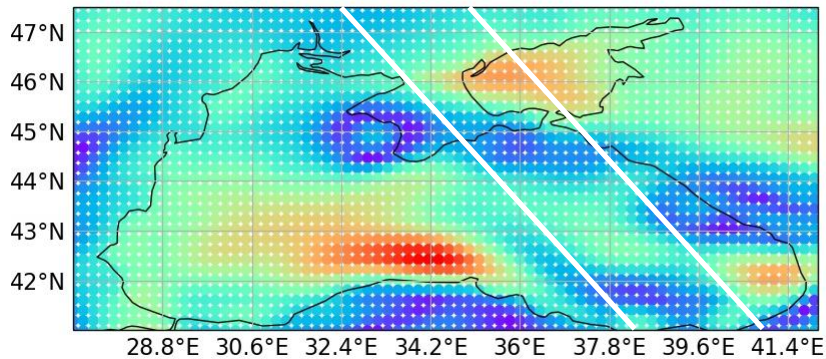
Распределение дисперсии уклонов и скорости ветра в Черном море



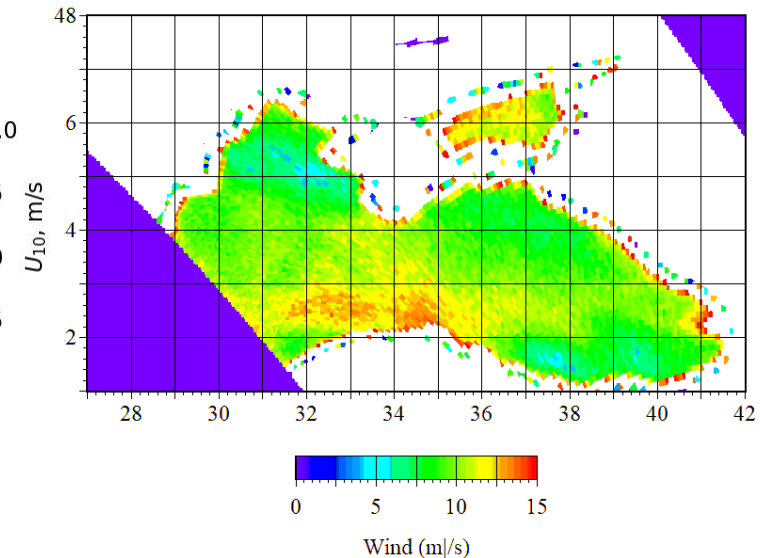
Скорость ветра по данным DPR 07.10.2018, 13:00 UTC



Полная дисперсия уклонов по данным DPR 07.10.2018, 13:00 UTC



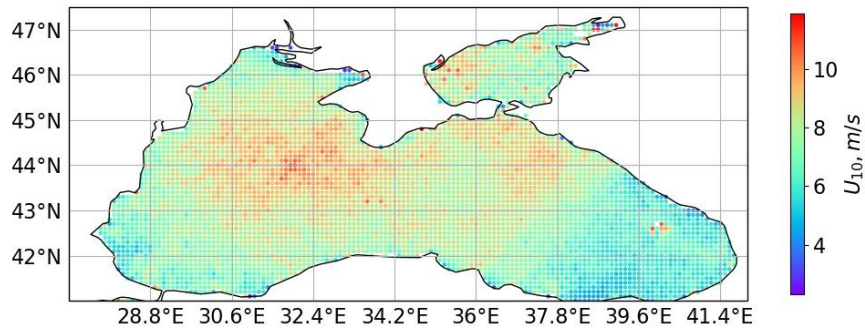
Скорость ветра по данным реанализа NCEP с сайта <https://rda.ucar.edu/>



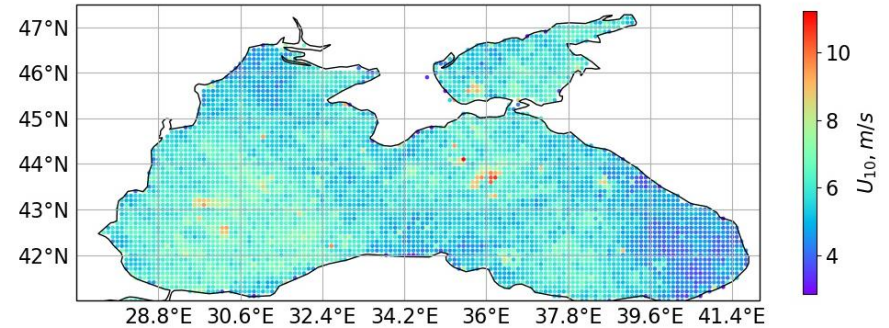
Скорость ветра по данным GMI 07.10. 2018, 13:00 UTC

Средний модуль скорости ветра в зависимости от сезона за 2017-2018 годы по данным DPR

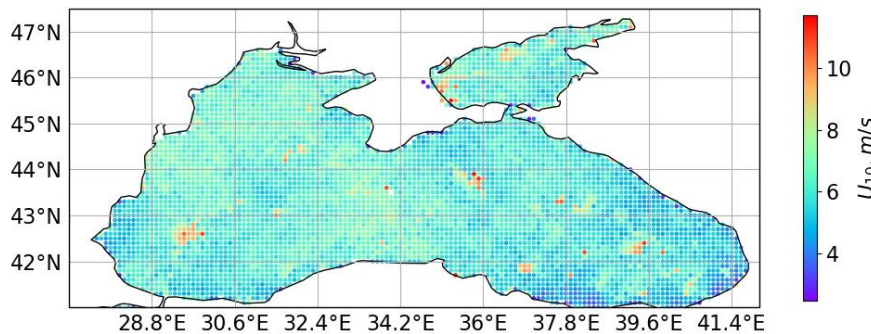
Зима



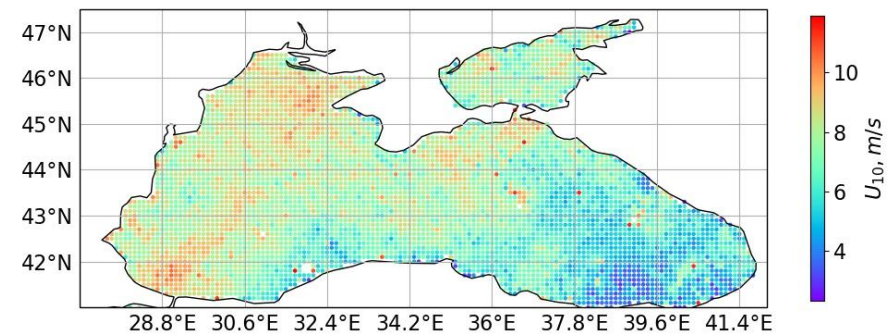
Лето



Весна



Осень



Анализ изменчивости поля ветра над Черным морем по данным скаттерометров:
Kubryakov A., et. al. 2019.

Заключение

- * Новый продукт для модуля скорости ветра и дисперсии уклонов крупномасштабного волнения получен при зондировании при малых углах падения в широкой полосе обзора.**
- * Показано хорошее соответствие радиолокационного продукта с данными реанализа и спутникового микроволнового радиометра.**
- * Преимущество DPR – корректное исключение областей осадков из рассмотрения.**