

О секторальном распределении зависимости УЭПР от параметров атмосферного пограничного слоя

Е.И. Поплавский, Н.С. Русаков, О.С. Ермакова, Ю.И. Троицкая, Д.А. Сергеев, Г.Н. Баландина
poplavsky7@gmail.com
ИПФ РАН, Нижний Новгород



В настоящее время особенно перспективным представляется использование микроволновых методов для восстановления касательного турбулентного напряжения, поскольку именно оно связано с мелкомасштабной шероховатостью поверхности, определяющей рассеяние СВЧ сигнала. Однако, существующие алгоритмы восстановления геофизических параметров неприменимы при ураганных скоростях ветра в связи с явлением насыщения УЭПР водной поверхности на прямой поляризации и насыщением коэффициента сопротивления. В данной работе предложен подход для восстановления турбулентного напряжения на основе совмещенных спутниковых кросс-поляризованных данных PCA и результатов измерений с падающих GPS-зондов.

Sentinel-1 acquisition modes

IWS mode

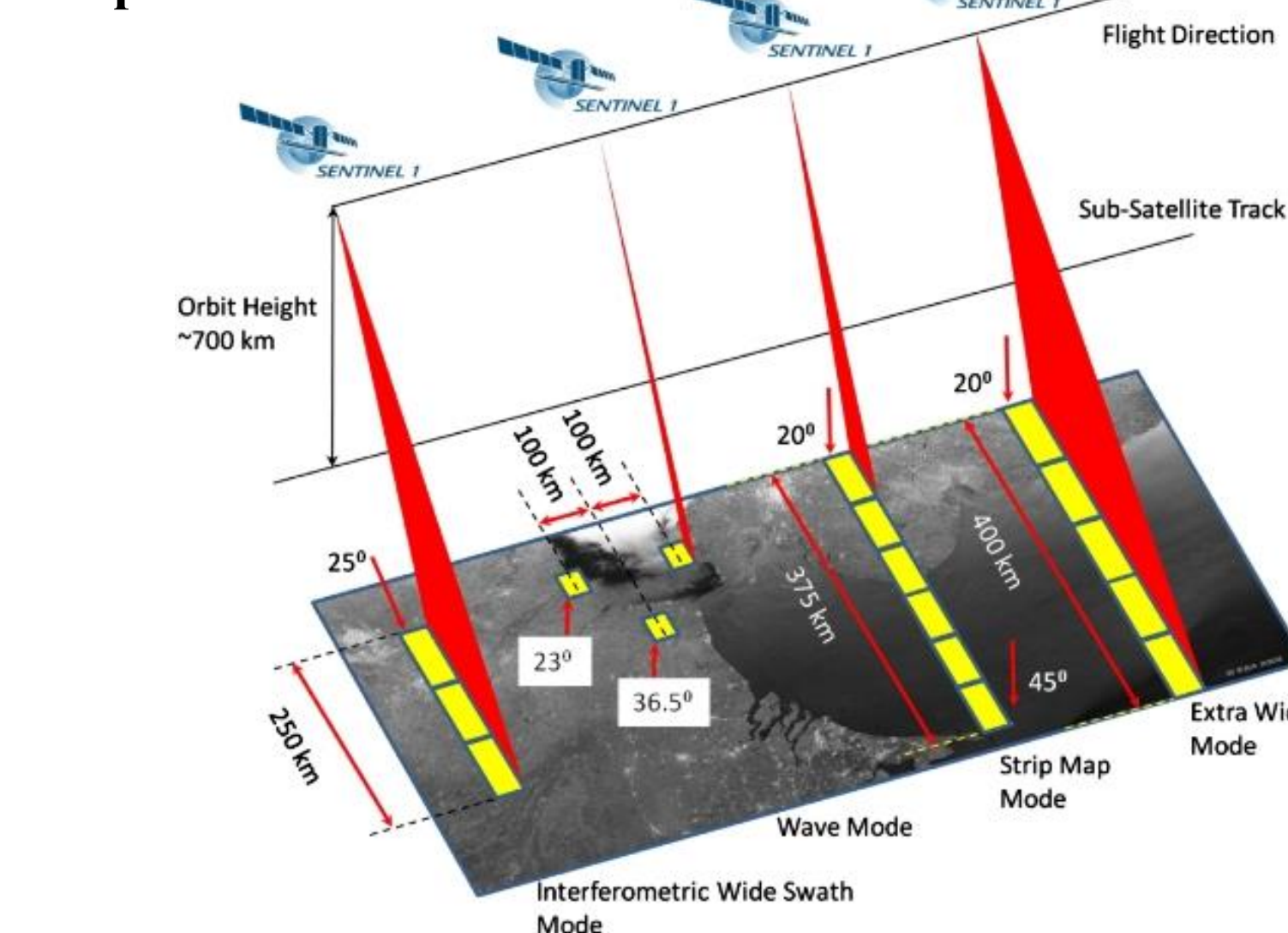
Поляризация: VH, HV
Разрешение: 10 м
Диапазон углов падения: 29.1° - 46.0°
Центральная частота: 5.405 ГГц
Ширина полосы: 250 км

Расположение снимков на перекрестной поляризации со спутника Sentinel-1 за 2014 год (слева) и за 2015 год (справа), области снимков выделены красными прямоугольниками.



В данной работе, было произведено совмещение данных с падающих GPS-зондов и PCA-изображений на ортогональной поляризации со спутника Sentinel-1 (ESA).

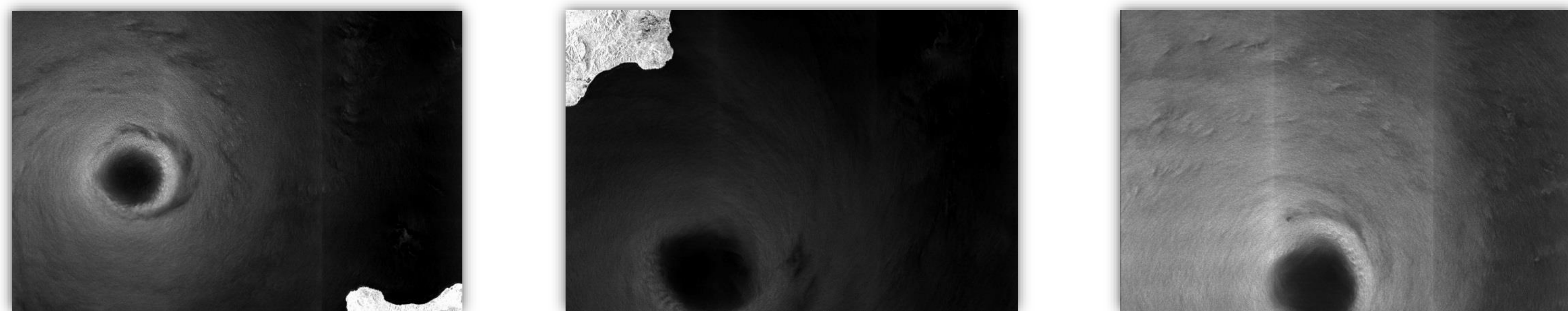
Был произведен анализ снимков на Interferometric Wide Swath mode над водной поверхностью при углах падения 29.1° - 46.0° в сезон ураганов 2017 в Атлантическом бассейне.



«Глаз» урагана на PCA-изображениях был обнаружен для следующих тропических циклонов:

Irma	(2017/09/03 - 2017/09/10, 5 category (SSHs))
Maria	(2017/09/18 - 2017/09/27, 5 category (SSHs))
Jose	(2017/09/09 - 2017/09/20, 4 category (SSHs))

Для совмещения данных дистанционного зондирования и данных натуральных измерений был использован массив данных GPS-зондов NOAA в сезон ураганов 2017 года в Атлантическом бассейне. В результате было обнаружено, что такое совмещение можно произвести для ураганов Irma и Maria, т.к. только в этих случаях снимки ураганов и сброс GPS-зондов наиболее близки по времени и пространству.

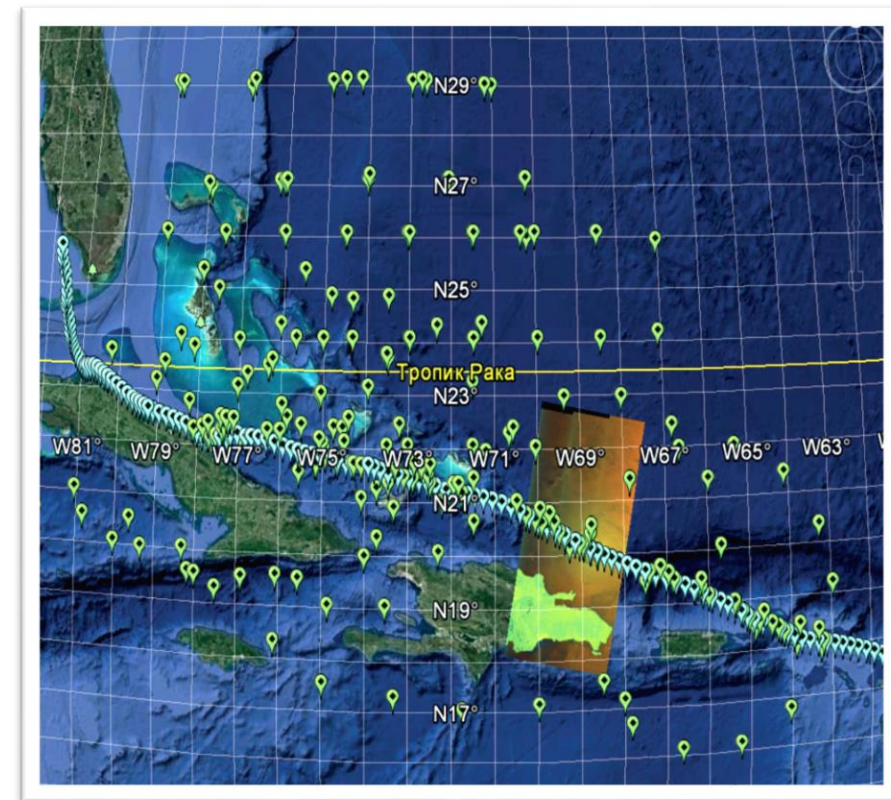


(a) Irma 2017/09/07

(b) Maria 2017/09/21

(c) Maria 2017/09/23

Совмещение PCA изображений и данных с GPS-зондов NOAA



Для каждого снимка было произведено совмещение с данными GPS-зондов по времени и пространству. Стоит отметить, что зонды сбрасывались в течение некоторого периода времени (6-10 часов), не совпадающего точно со временем снимков. Чтобы произвести корректное совмещение данных, было сделано предположение о квазистационарности характеристик сформировавшегося урагана в некоторый период времени. Для проверки этого предположения, мы проанализировали динамические характеристики ураганов: минимальное давление на уровне моря (MSLP), максимальная скорость приземного ветра (MWS). Из графиков ниже видно, что эти характеристики менялись незначительно в период запуска GPS-зондов. Это делает возможным совмещение спутниковых данных и данных с GPS-зондов в течение этого периода.

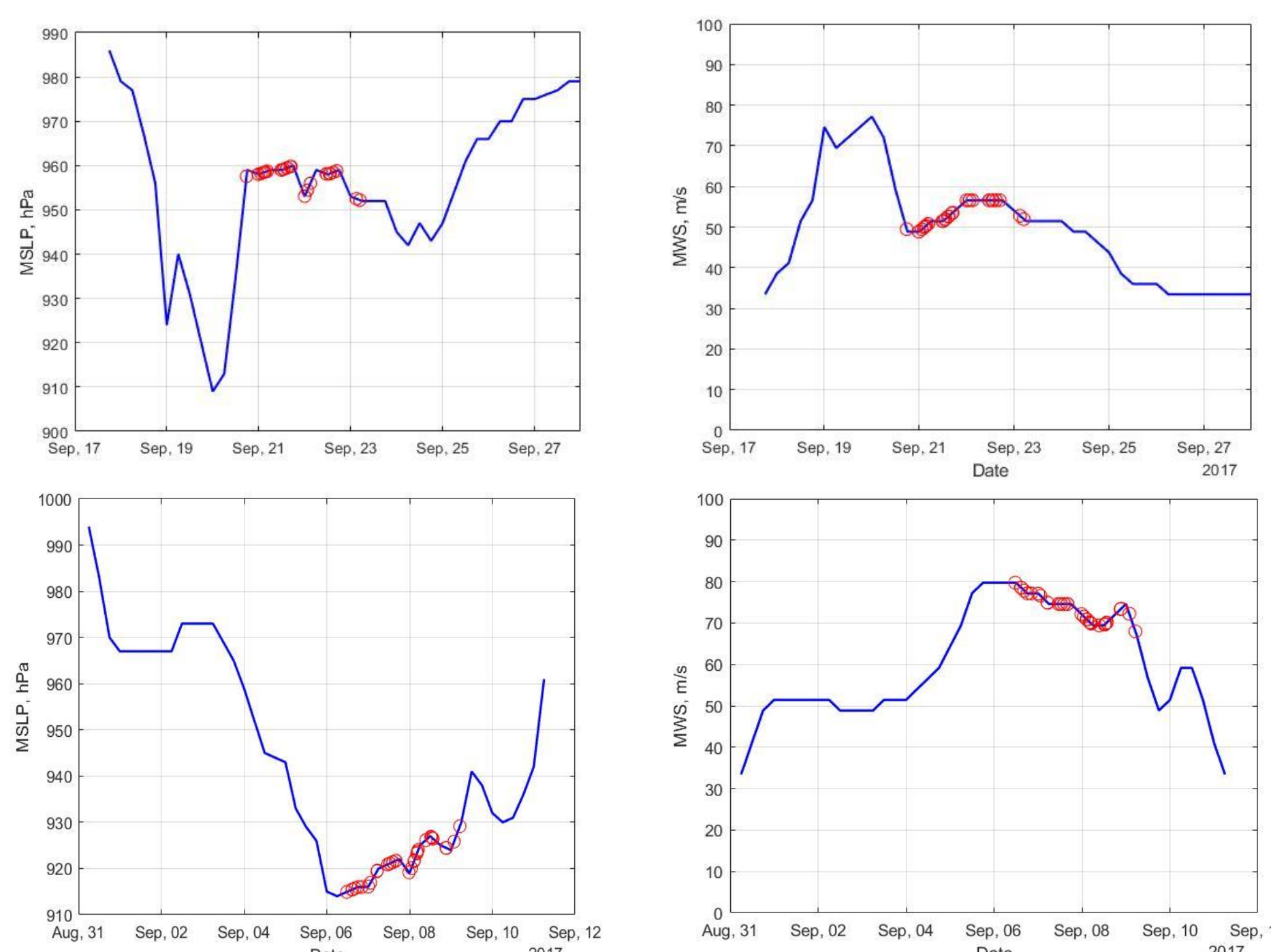
В связи с этим использовался массив данных GPS-зондов, сброшенных над ураганами за 36 часов до и после времени снимка, в то время как сохранение структуры ураганов отслеживалось по динамическим характеристикам.

GPS-зонды измеряют вертикальные профили скорости ветра, давления, температуры и влажности с частотой 2 Гц.

www.aoml.noaa.gov/hrd/



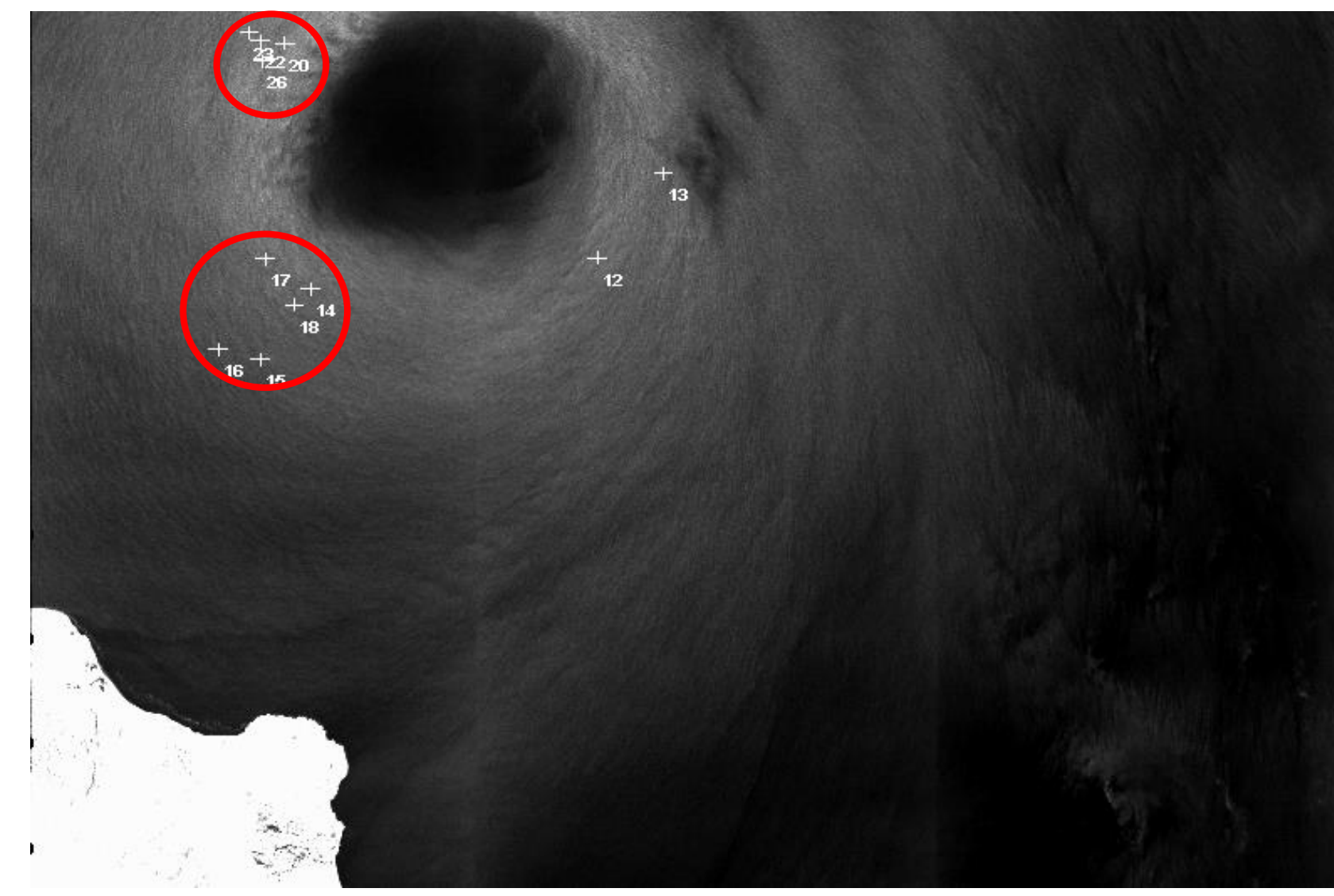
Минимальное давление на уровне моря и максимальная скорость приземного ветра



Ураган Maria

Ураган Irma

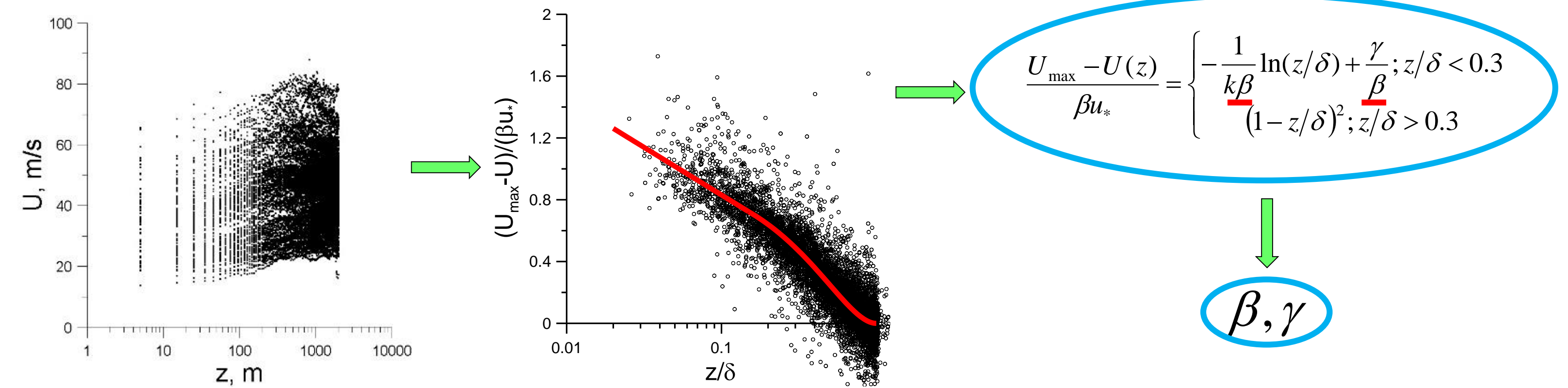
Иллюстрация группировки GPS-зондов на примере урагана Maria



Группировка происходила по пространственному признаку из близко расположенных GPS-зондов. Внутри каждой из этих групп профили, измеренные GPS-зондами, усреднялись. Из усредненных профилей были получены значения динамической скорости ветра u_* и скорости ветра на метеорологической высоте U_{10} на основе процедуры, описанной ниже.

Анализ проводился в период 2017/09/20-2017/09/22

Вычисление динамической скорости ветра и скорости ветра на метеорологической высоте



$$\frac{U_{max} - U(z)}{\beta u_*} = \begin{cases} -\frac{1}{k\beta} \ln(z/\delta) + \frac{\gamma}{\beta}; & z/\delta < 0.3 \\ \frac{\beta}{(1-z/\delta)^2}; & z/\delta > 0.3 \end{cases}$$

β, γ

Профили, полученные с GPS-зондов

$$u_* = \sqrt{\tau_{turb} / \rho_{air}}$$

Динамическая скорость определяет турбулентный поток импульса в вертикальном направлении

Параболическая аппроксимация осредненных профилей в соответствии с модифицированным законом «следа»

$$U_{max} - U(z) = \beta u_* (1 - z/\delta)^2$$

Найдены u_* , U_{max} и δ

Логарифмический профиль: $U(z) = 2.5u_* \ln(z/z_0)$

Неизмеренная нижняя часть профиля описывается логарифмом $U_{max} - U(z) = u_* (-2.5 \ln(z/\delta) + \gamma)$

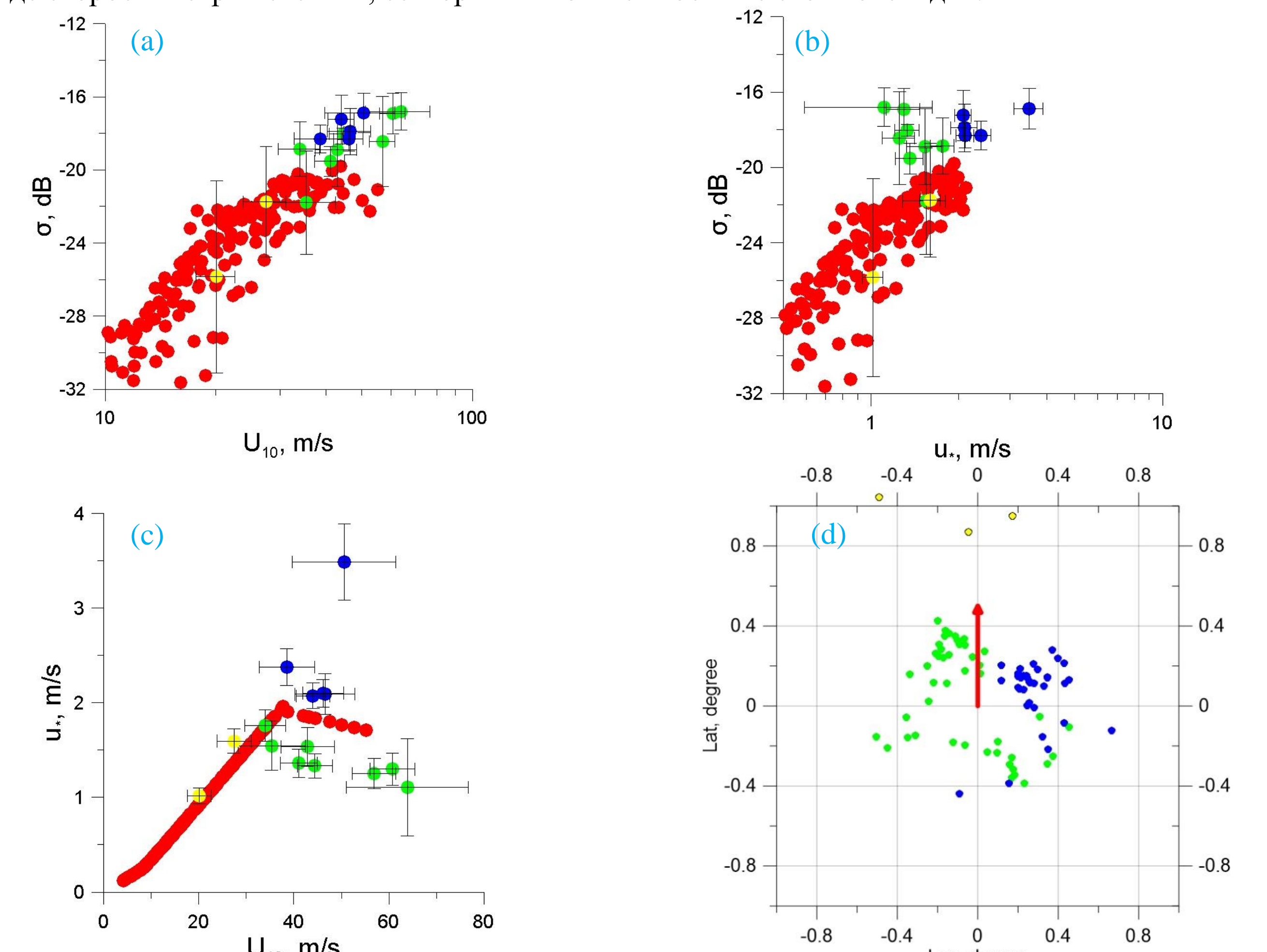
Параметр шероховатости: $z_0 = \delta \exp(-\kappa U_{max}/u_* + \gamma\kappa)$

$$U_{10} = 2.5u_* \ln(10/z_0)$$

Зависимости кросс-поляризованной УЭПР от скорости ветра и от динамической скорости в ураганах Irma and Maria.

Значения кросс-поляризованной УЭПР были получены из PCA-изображений со спутника Sentinel-1. Однако следует отметить, что каждое изображение характеризуется значительными флуктуациями УЭПР, связанными с наличием поверхностных волн. В связи с этим, значения УЭПР были усреднены по ячейкам 2×2 км с центром в точках, соответствующих координатам запуска GPS-зондов. После этого было произведено усреднение УЭПР по статистическим ансамблям GPS-зондов, продемонстрированным ранее.

Для сравнения мы использовали массив данных в широком диапазоне скоростей ветра из работы (Hwang et al., 2015). В (Troitskaya et al., 2018) использовались данные из (Hwang et al., 2015) для восстановления зависимости УЭПР от u_* (a, b). Очевидно, что настоящие данные согласуются с зависимостью (Hwang et al., 2015) и продолжают ее в область более высоких скоростей ветра. В то же время видно, что зависимость УЭПР от u_* становится неоднозначной при $u_* \sim 2$ м/с. Анализ зависимости u_* от U_{10} (c) и распределения GPS-зондов (d) показал, что данные, соответствующие различным ветвям зависимости, принадлежат GPS-зондам, упавшим в левом и правом секторах урагана. Следует отметить, что для данных, полученных вдали от центра урагана (желтые символы на рисунках), где скорость ветра невелика, секторальная зависимость не столь очевидна.



Красные символы – значения УЭПР, полученные по данным (Hwang et al., 2015, Troitskaya et al., 2018) (a), (б); красные символы на (c) показывают функциональную зависимость из (Troitskaya et al., 2018, Holthuijsen et al., 2012). Зеленые и синие символы – данные, полученные с левого и правого секторов урагана соответственно. Желтые символы – данные с GPS-зондов, упавших далеко от центра урагана. Иллюстрация секторального распределения в ураганах Maria и Irma (d), где красная стрелка показывает направление движения ураганов.

Заключение

В статье описан первый шаг к разработке ГМФ для восстановления скорости ветра и динамической скорости в ураганах на основе сопоставления кросс-поляризованных спутниковых данных Sentinel-1 с данными GPS-зондов NOAA. Была предложена процедура совмещения данных GPS-зондов и PCA-изображений, исходя из предположения, что форма урагана остается неизменной во время запуска GPS-зондов. На основе предварительной обработки данных получены зависимости кросс-поляризованной УЭПР от скорости ветра и динамической скорости. Зависимость УЭПР от u_* является неоднозначной, по-видимому, из-за зависимости u_* от сектора урагана. Обнаруженные особенности являются предметом дальнейшего исследования.

1. Yu. Troitskaya, V. Abramov, G. Baidakov, O. Ermakova, E. Zulkova, D. Sergeev, A. Ermoshkin, V. Kazakov, A. Kandaurov, N. Rusakov, E. Poplavsky, and M. Vdovin, "Cross-Polarization GMF For High Wind Speed and Surface Stress Retrieval", *J. Geophys. Res.*, vol. 123, no. 8, Aug. 2018
2. P. Hwang, A. Stoffelen, G.-J. van Zadelhoff, W. Perrie, B. Zhang, H. Li, and H. Shen, "Cross-polarization geophysical model function for C-band radar backscattering from the ocean surface and wind speed retrieval", *J. Geophys. Res.*, vol. 120, pp. 893-909, Feb. 2015