

# Особенности сечения обратного рассеяния при малых углах падения для внутренних водоемов



М.А. Панфилова, В.Ю. Караев

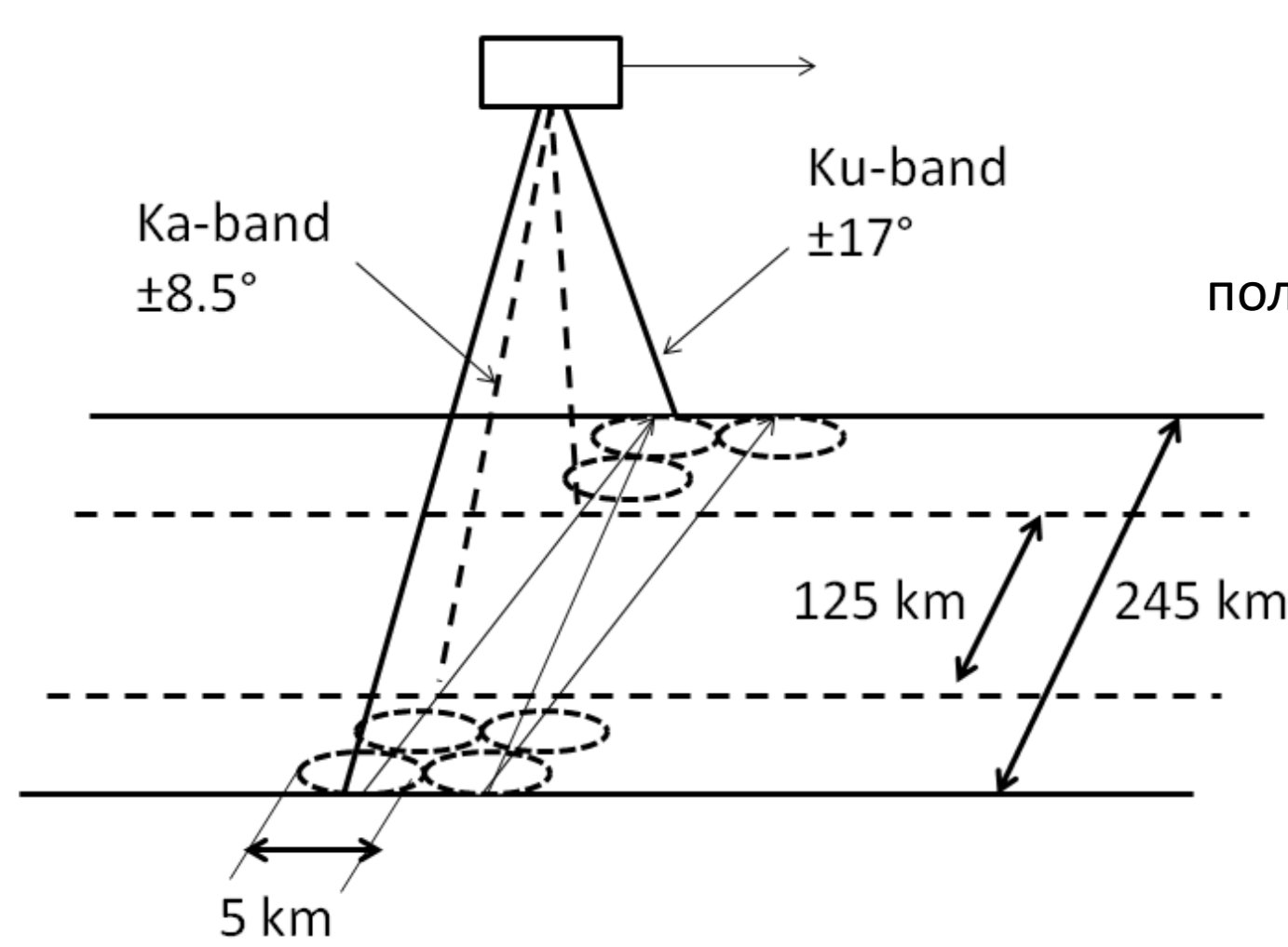
(ИПФ РАН, Нижний Новгород)

maria.p@ipfran.ru

## Введение

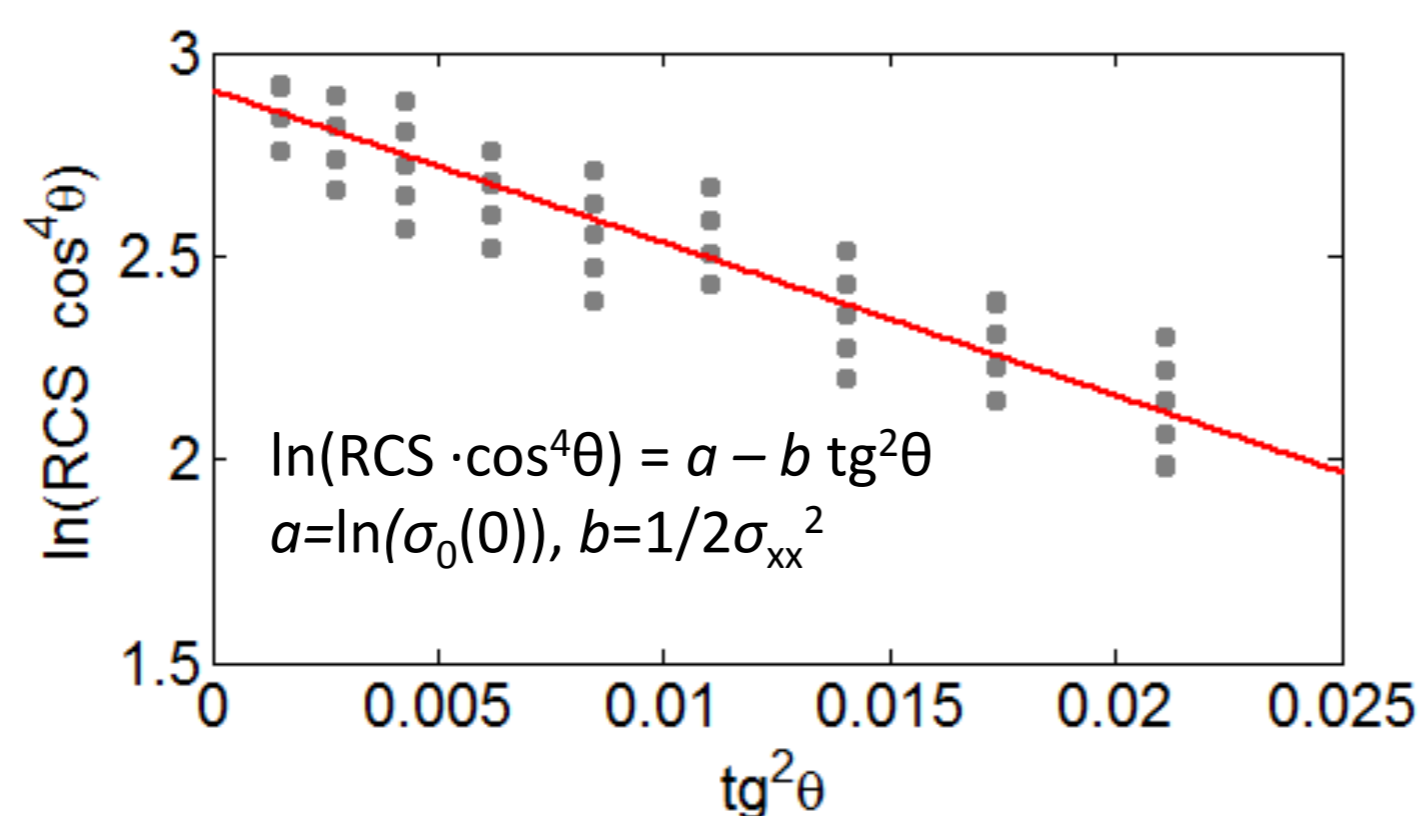
Дождевой радиолокатор на борту спутника миссии по измерению осадков Global Precipitation Measurement (GPM), который был запущен в 2014 году, работает в режиме сканирования при малых углах падения. Радиолокатор работает на двух частотах, в Ku- и Ka-диапазонах. В рамках приближения Кирхгофа по алгоритму, изложенному в [1], по данным дождевого радиолокатора определяется дисперсия наклонов и сечение обратного рассеяния при нулевом угле падения. В настоящей работе внимание уделено случаю внутренних водоемов. Волнение во внутренних водоемах характеризуется отсутствием зыби и короткими ветровыми разгонами, при этом преобладает развивающееся волнение. Целью работы было, во-первых, проверить методику классификации типов волнения [2]; во-вторых, исследовать, как для развивающегося волнения коррелируют сечение обратного рассеяния и скорость ветра. В качестве полигона были выбраны Великие озера, где установлены буи (National Data Buoy Center - NDBC) для измерения параметров волнения и скорости ветра. Был собран совместный массив данных о сечении обратного рассеяния, дисперсии наклонов крупномасштабного волнения (по сравнению с длиной волны зондирующего излучения), скорости ветра и параметрах волнения за 2015-2017 годы. Для сравнения был составлен аналогичный массив для Тихого и Атлантического океанов.

## Данные дождевого локатора



$$\sigma_0(\theta) = \frac{|R_{eff}(0)|^2 \exp[-\tan^2\theta/2\sigma_{xx}^2]}{\sqrt{2\cos^4\theta} \sqrt{2\sigma_{xx}^2\sigma_{yy}^2}} \quad \sigma_0(0) = \frac{|R_{eff}(0)|^2}{2\sigma_{xx}^2\sigma_{yy}^2}$$

полная дисперсия наклонов  $\sigma_{tot}^2 = 0.46855/\sigma_{0Ku}(0) \pm 0.0045$   
 $\sigma_{xx}^2$  - дисперсия наклонов вдоль направления сканирования  
 $\sigma_{yy}^2$  - дисперсия наклонов поперек направления сканирования  
 $\theta$  - угол падения  
 $R_{eff}(0)$  - эффективный коэффициент отражения



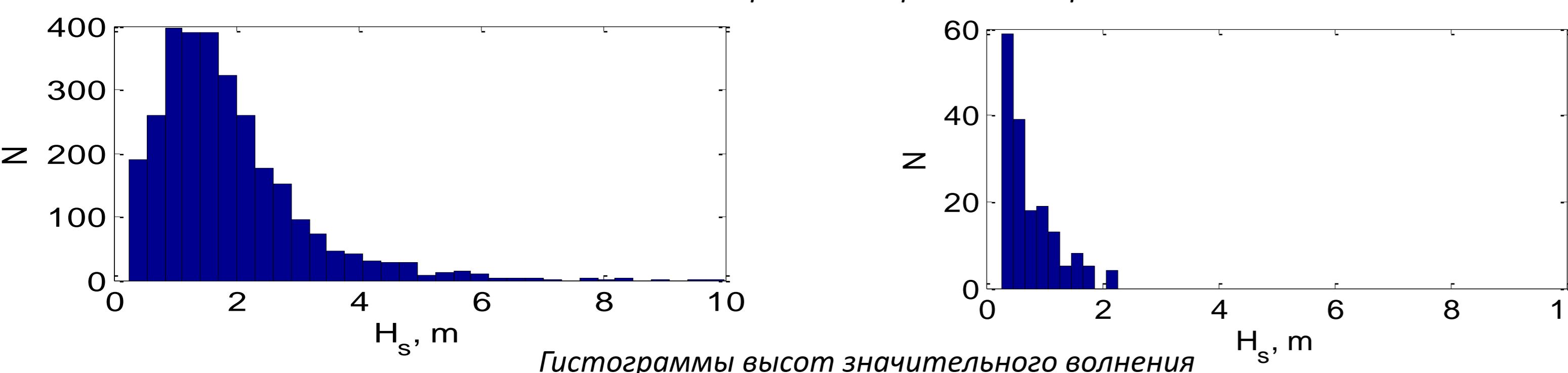
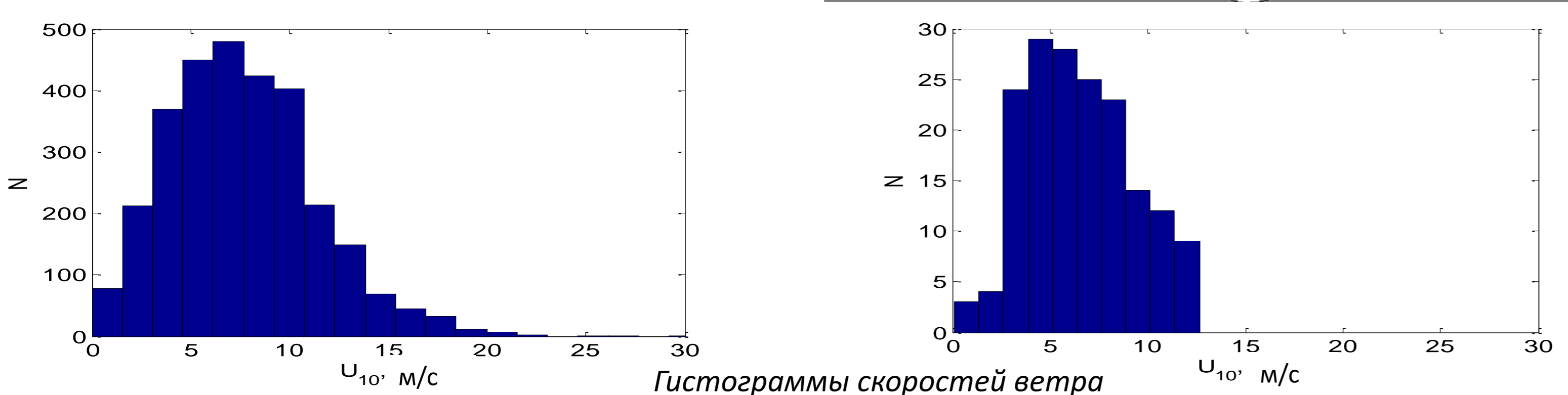
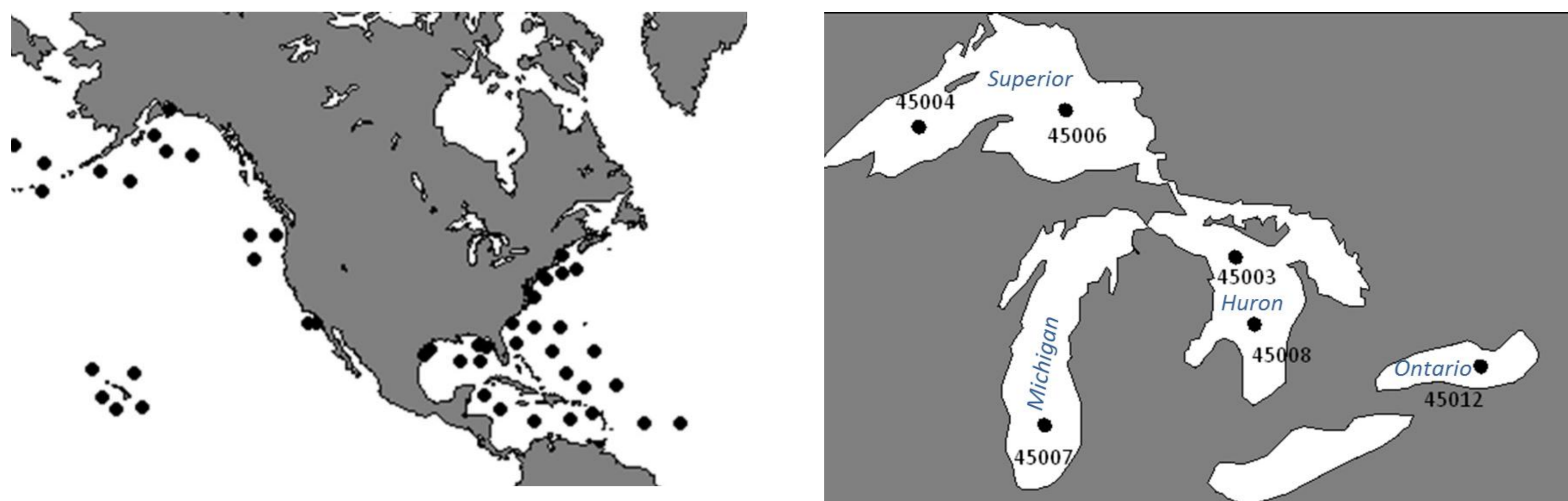
Определение сечения рассеяния при нулевом угле падения и дисперсии наклонов крупномасштабного волнения. Пример данных для одного окна

### Обработка в окне:

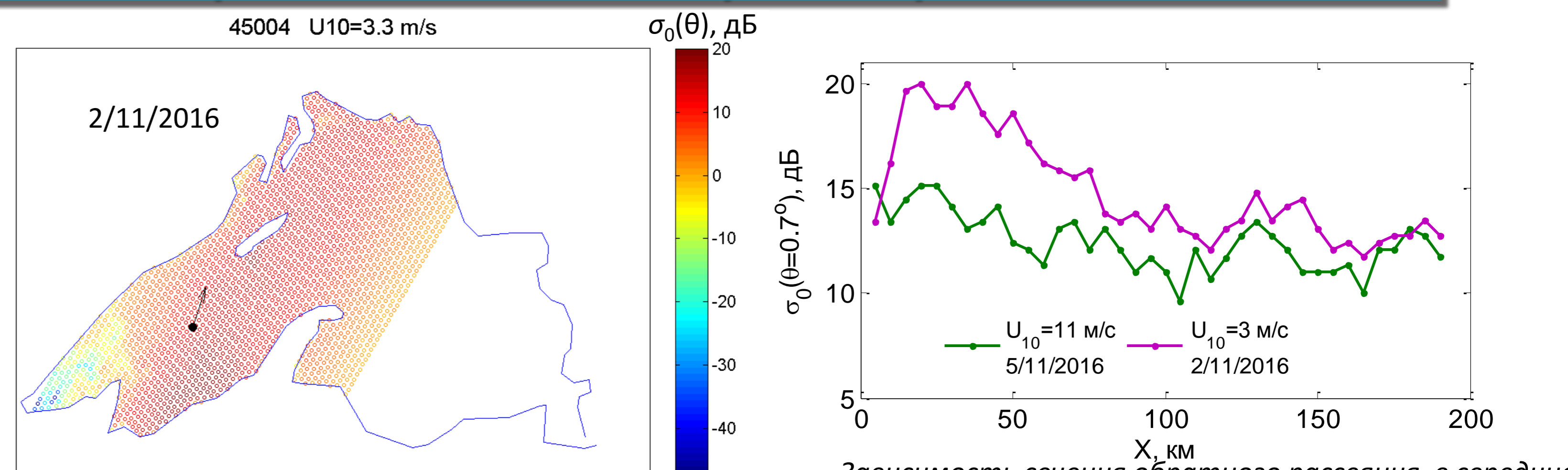
- удаление выбросов
- коэффициент корреляции  $|R| > 0.7$ ,
- $\theta > 2^\circ$
- Как минимум 4 различных угла падения в каждом окне;
- Как минимум 4 значения сечения рассеяния при каждом угле падения

## Данные буев

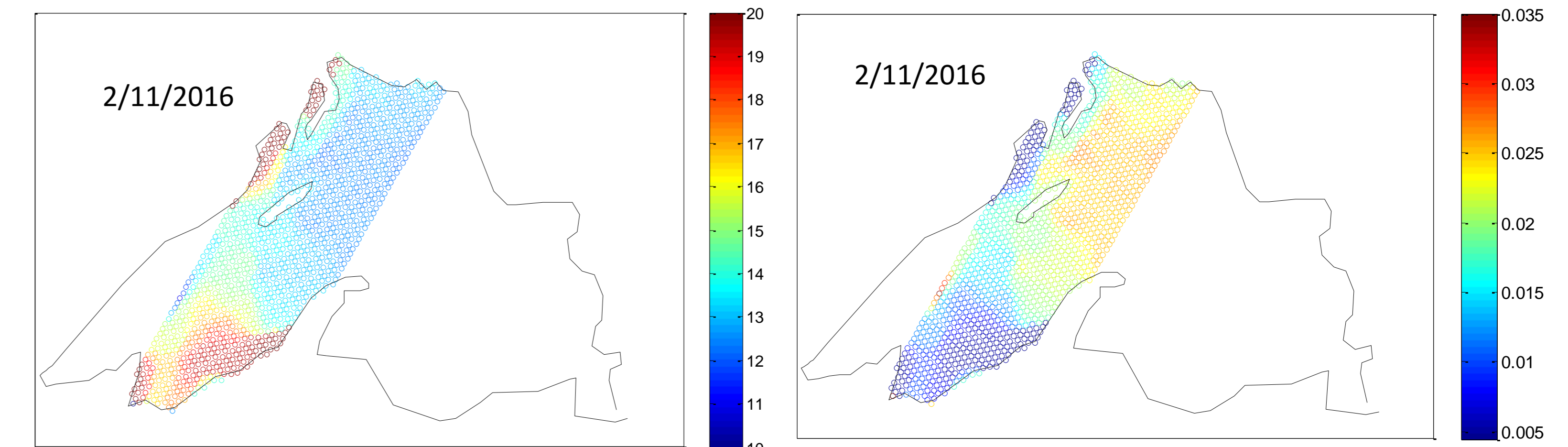
Обрабатывались данные 63 NDBC буев в Тихом и Атлантическом океанах, а также данные 7 буев, установленных в Великих озерах за 2015-2017 годы. Данные буев были объединены с измерениями дождевого радиолокатора таким образом, чтобы расстояние от пятна засветки до буя не превышало 20 км, время между измерением буя и радиолокатора не превышает 30 минут. В областях вокруг буев радиусом 20 км определены сечение обратного рассеяния при надире и полная дисперсия наклонов.



## Влияние разгона на сечения обратного рассеяния

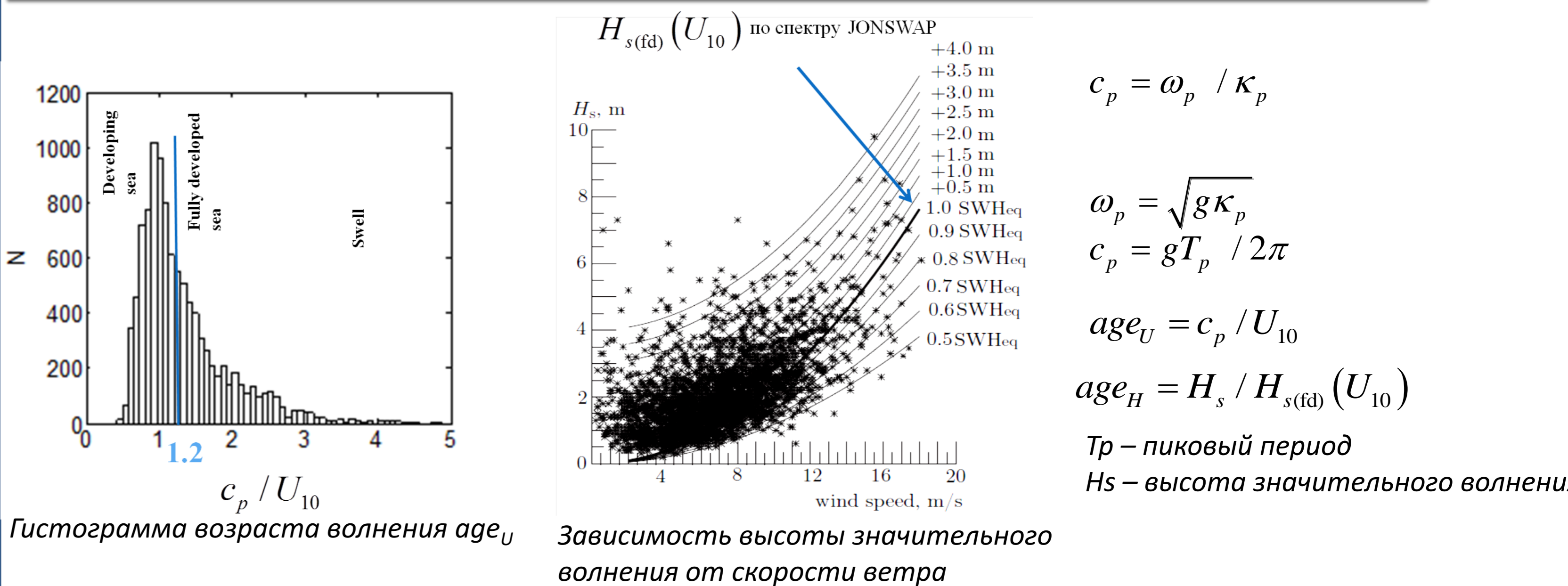


Распределение сечения обратного рассеяния в полосе обзора



Распределение сечения рассеяния при нулевом угле падения и полной дисперсии наклонов

## Возраст волнения



Гистограмма возраста волнения  $age_U$

Зависимость высоты значительного волнения от скорости ветра

$$c_p = \omega_p / \kappa_p$$

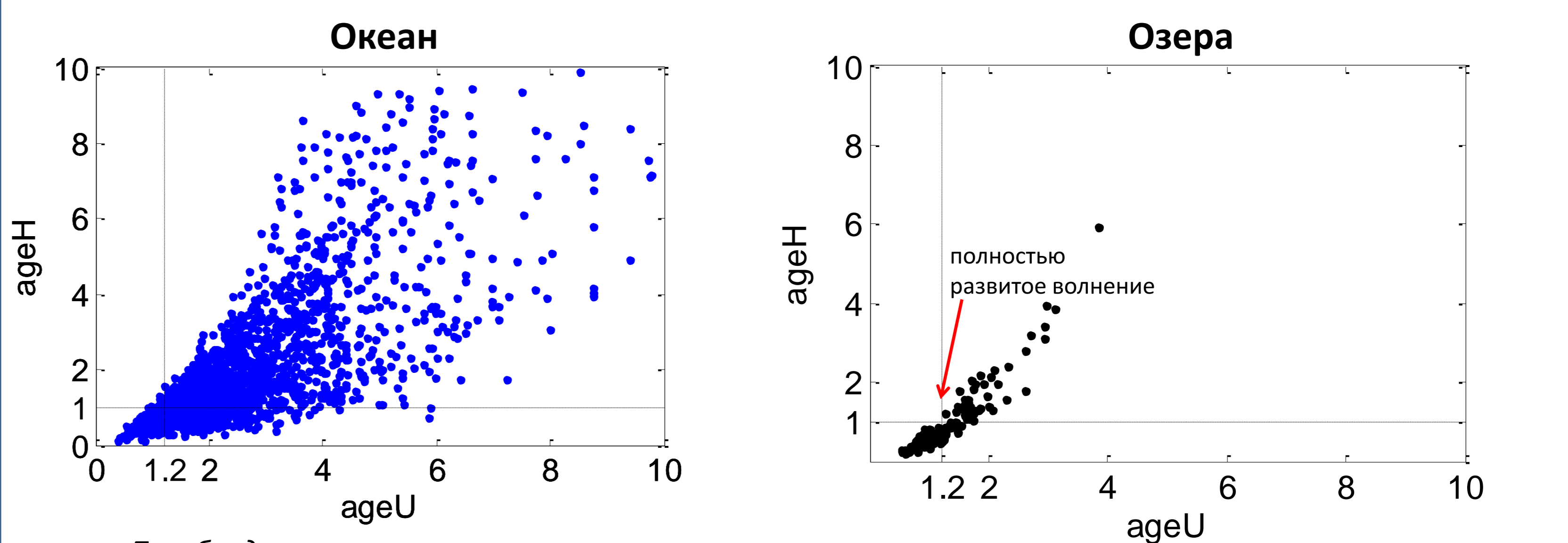
$$\omega_p = \sqrt{g\kappa_p}$$

$$c_p = gT_p / 2\pi$$

$$age_U = c_p / U_{10}$$

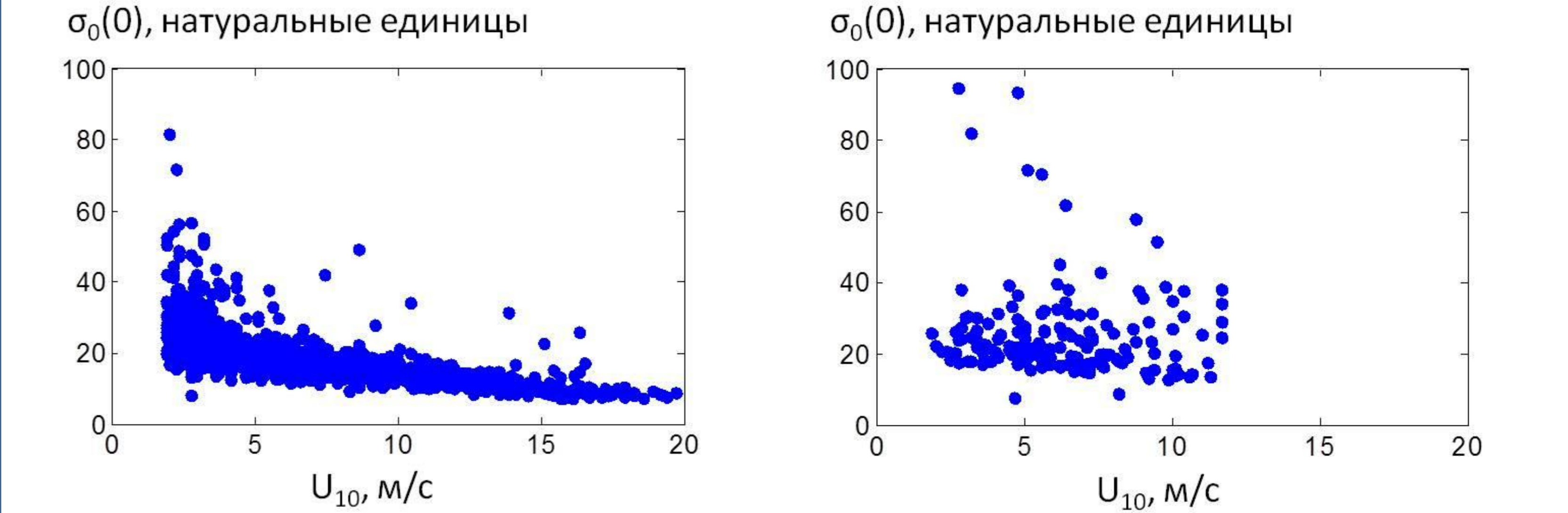
$$age_H = H_s / H_{s(st)}(U_{10})$$

$T_p$  – пиковый период  
 $H_s$  – высота значительного волнения



Преобладает смешанное волнение

Преобладает развивающееся волнение



Корреляция сечения рассеяния со скоростью ветра для озер слабая, что связано с сильной зависимостью сечения рассеяния от разгона при небольших расстояниях от берега

Методика, применяемая для классификации типов волнения в [2] хорошо выделяет развивающееся волнение. Алгоритм определения сечения обратного рассеяния при нулевом угле падения применен к случаю внутренних водоемов. Показано, что сечение рассеяния во внутренних водоемах слабо коррелирует со скоростью ветра. В алгоритмах определения скорости ветра по данным альтиметра в прибрежной зоне или во внутренних водоемах необходимо учитывать величину ветрового разгона.

Литература:  
 1. М.А. Панфилова, В.Ю. Караев, Jie Guo, Oil Slick Observation at Low Incidence Angles in Ku-Band, Journal of Geophysical Research, Oceans, March 2018, pp. 1-13.  
 2. В.Ю. Караев, Е.М. Мешков, К. Чу, Особенности классификации типов волнения в задачах радиолокационного зондирования, Исследование Земли из Космоса, 2013, № 4, с. 16-26.  
 Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00939.