

Обработка данных дождевого радиолокатора с целью восстановления параметров волнения и ветра

Панфилова М. А.

Караев В. Ю.

Баландина Г. Н.

ИПО РАН, отдел 220

Актуальность

- Угловая зависимость сечения рассеяния позволяет восстановить дисперсию наклонов водной поверхности вдоль направления зондирования.
- Для восстановления скорости приповерхностного ветра знать только сечение обратного рассеяния недостаточно. Только спектральная плотность мелкой ряби тесно связана с локальным ветром. Наклоны же крупных волн зависят от условий формирования волнения и прихода волн зыби. Поэтому скорость ветра правильнее восстанавливать исходя из сечения рассеяния и дисперсии наклонов.

$$\sigma_0(u_{10})$$

$$u_{10}(\sigma_0)$$

$$\sigma_0(u_{10}, \sigma_{tot}^2)$$

$$u_{10}(\sigma_0, \sigma_{tot}^2)$$

План доклада

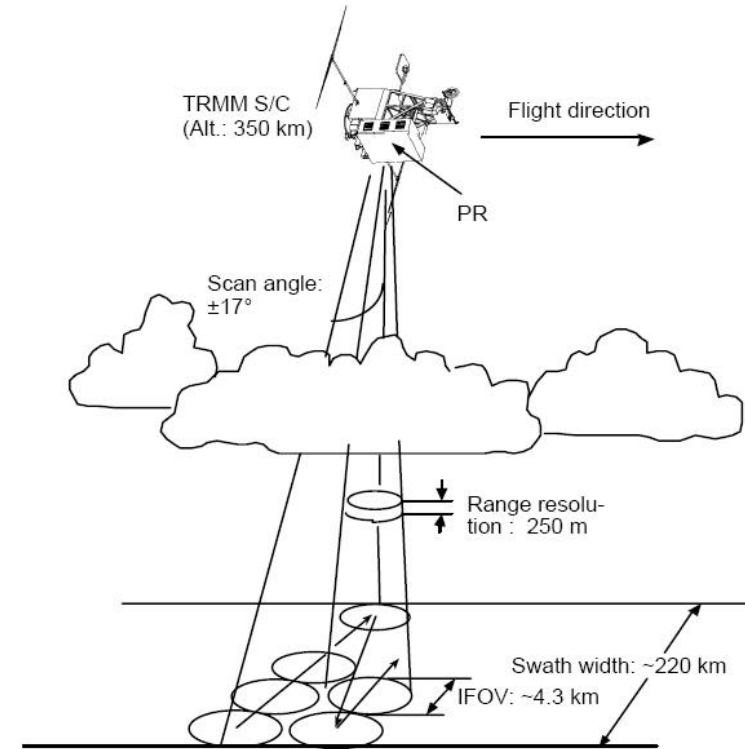
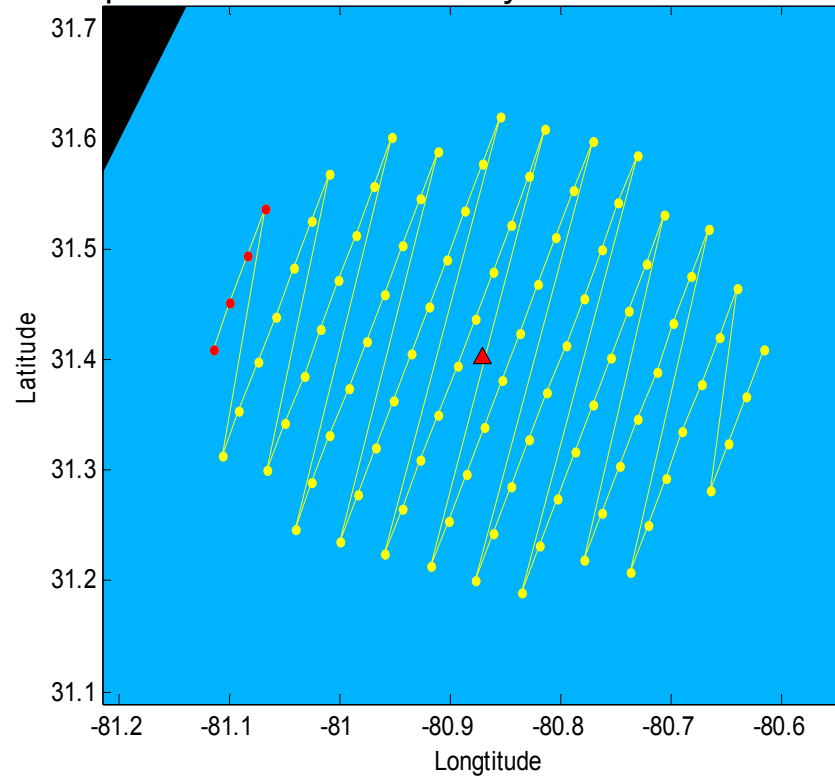
1. Источник данных
2. Методика восстановления дисперсии наклонов и обработка данных
3. Двухпараметрическая зависимость сечения рассеяния от дисперсии наклонов и от скорости ветра.
4. эмпирическое выражение для восстановления дисперсии наклонов по сечению обратного рассеяния при нулевом угле падения.

Источник данных

Схема сканирования:

жёлтым – положение рассеивающие ячейки

Красным – положение буйя



Буйковые данные: National Data Buoy Center (NDBC). NDBC буи обеспечивают измерения скорости и направления ветра каждые 10 минут на высоте 5 м над морской поверхностью.

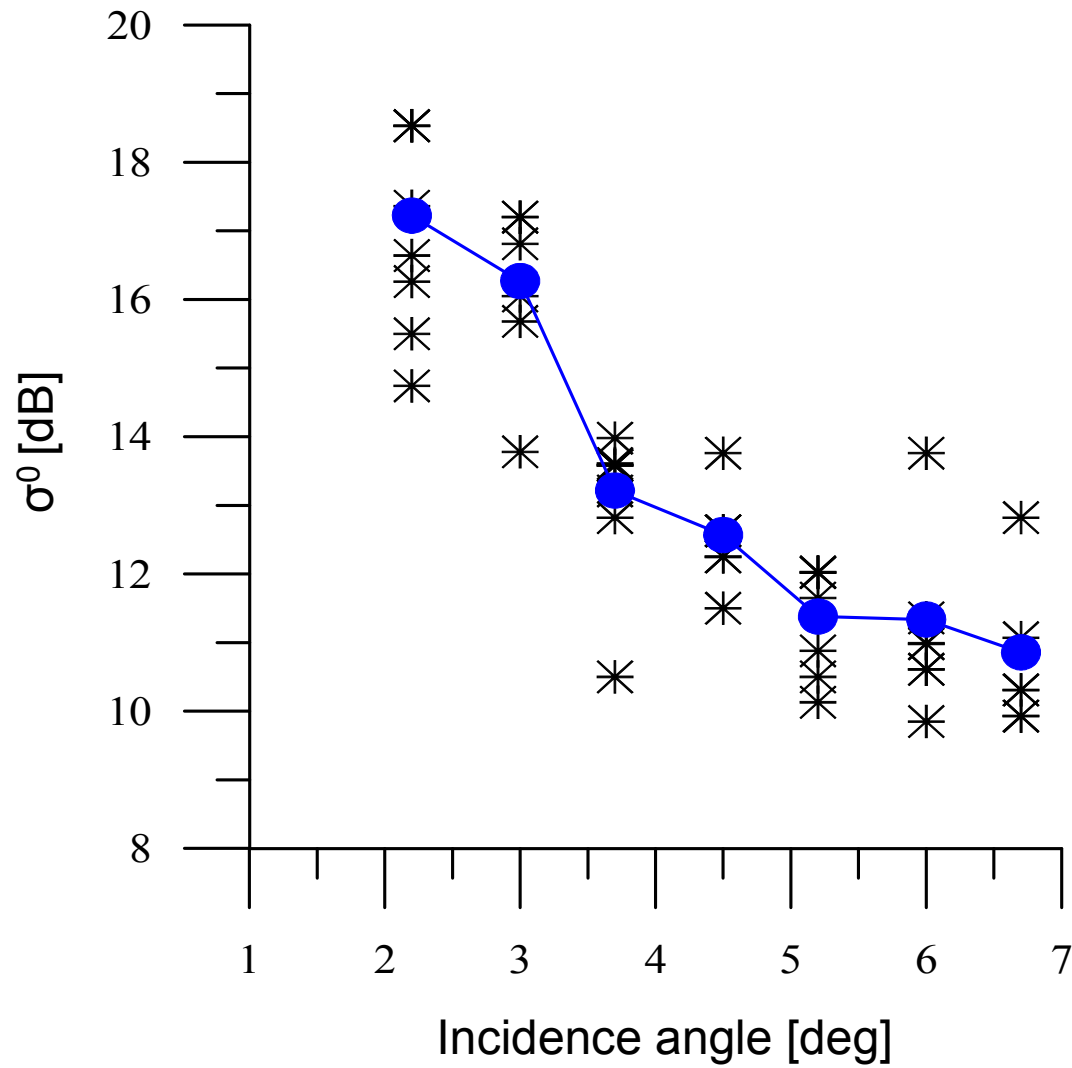
Радиолокационные данные : Goddard Distributed Active Archive Center и извлечены из стандартного продукта 2A21 (версия-6).

Данные собраны в период с 2001 по 2009 годы.

- 1) расстояние между буюм и рассеивающей ячейкой не превосходит 25 км;
- 2) временной интервал между радиолокационными и буйковыми измерениями не более 10 минут.

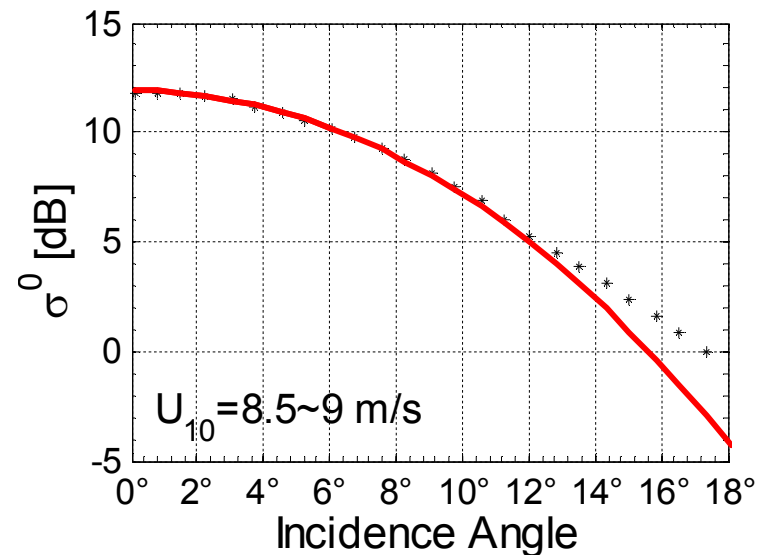
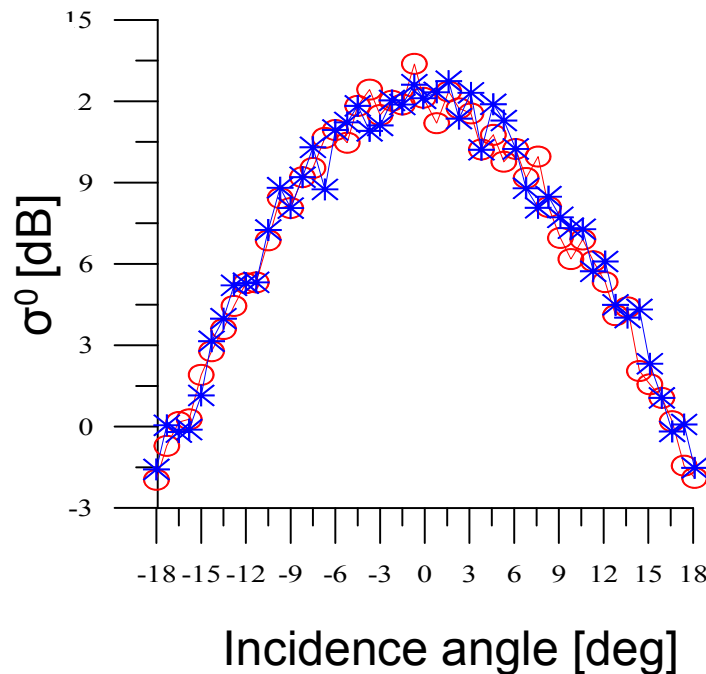
отсеяны измерения в области дождя.

Пример данных для одной области



Предварительная подготовка данных

- Отсеиваются данные, где:
- Мало точек на зависимости $\sigma^\circ(\theta)$
- углы зондирования $\theta < 3^\circ$ и $\theta > 12.2^\circ$, так как при малых углах падения сечение рассеяния слабо зависит от угла зондирования, а при больших углах вкладом брэгговского рассеяния нельзя пренебречь и формула в приближении Кирхгофа будет занижать сечение обратного рассеяния.



- скорость ветра ниже, чем 3 м/с.

Исходные данные

Исходные данные:

- скорость и направление ветра на высоте 10 м-----U10
- высота значительного волнения -----SWH
- сечение обратного рассеяния
- угол падения----- θ
- направление сканирования
- координаты буя и
элементарной рассеивающей ячейки.

Восстановленные величины:

Сечение обратного рассеяния
при нулевом угле зондирования-----RCS

Дисперсия наклонов-----mss

Формула для сечения обратного рассеяния в приближении Кирхгофа

Для расчётов используется формула

$$\sigma_0(\theta) = \frac{|R_{эфф}(0)|^2}{2 \cos^4 \theta} \cdot \frac{\exp\left[-\frac{\operatorname{tg}^2 \theta}{2\sigma_{xx}^2}\right]}{\sqrt{\sigma_{xx}^2 \sigma_{yy}^2}}.$$

x - направление вдоль сканирования,

y – направление поперёк сканирования

Два алгоритма восстановления дисперсии наклонов

$$\sigma_0(\theta) = \frac{|R_{\text{эфф}}(0)|^2}{\sqrt{2} \cos^4 \theta} \cdot \frac{\exp[-\text{tg}^2 \theta \cdot b]}{\sqrt{\sigma_{yy}^2}} \cdot \sqrt{b}, \quad \text{где } b = \frac{1}{2\sigma_{xx}^2}$$

$$\ln(\sigma_0 \cos^4 \theta) = \ln\left(\frac{|R_{\text{эфф}}(0)|^2 \sqrt{b}}{\sqrt{2} \sqrt{\sigma_{yy}^2}}\right) - \text{tg}^2 \theta \cdot b$$

Регрессионный алгоритм

$$\ln(\sigma_0 \cos^4 \theta) = a - b \cdot \text{tg}^2 \theta$$

$$b = \frac{1}{2\sigma_{xx}^2} \quad \sigma_{xxR}^2 = -\frac{1}{2b}$$

$$\sigma_0(0) = \exp(a)$$

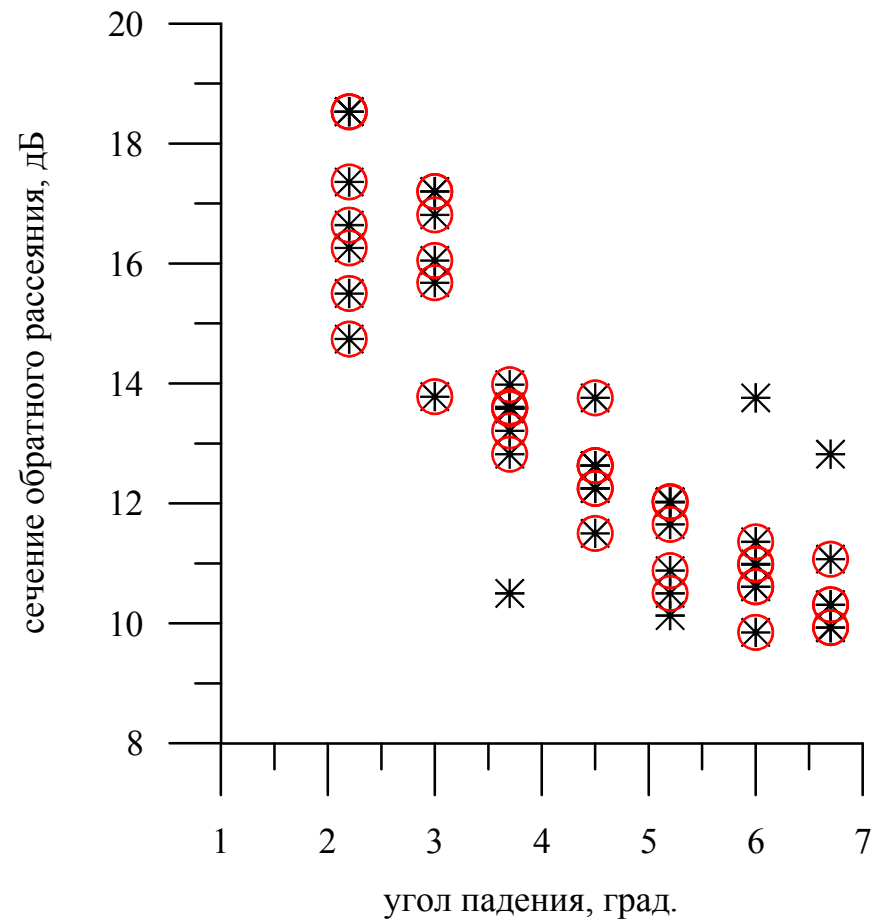
Двухточечный алгоритм

$$b = \frac{\ln\left(\frac{\sigma_0(\theta_1) \cdot \cos^4 \theta_1}{\sigma_0(\theta_2) \cdot \cos^4 \theta_2}\right)}{\text{tg}^2 \theta_2 - \text{tg}^2 \theta_1}$$

$$\sigma_{xx2}^2 = \left\langle \frac{1}{2b} \right\rangle \quad \sigma_{xx1}^2 = \frac{1}{2\langle b \rangle}$$

$$\sigma_0(0) = \sigma_0(\theta) \cdot \cos^4 \theta \cdot \exp(\text{tg}^2 \theta \cdot b)$$

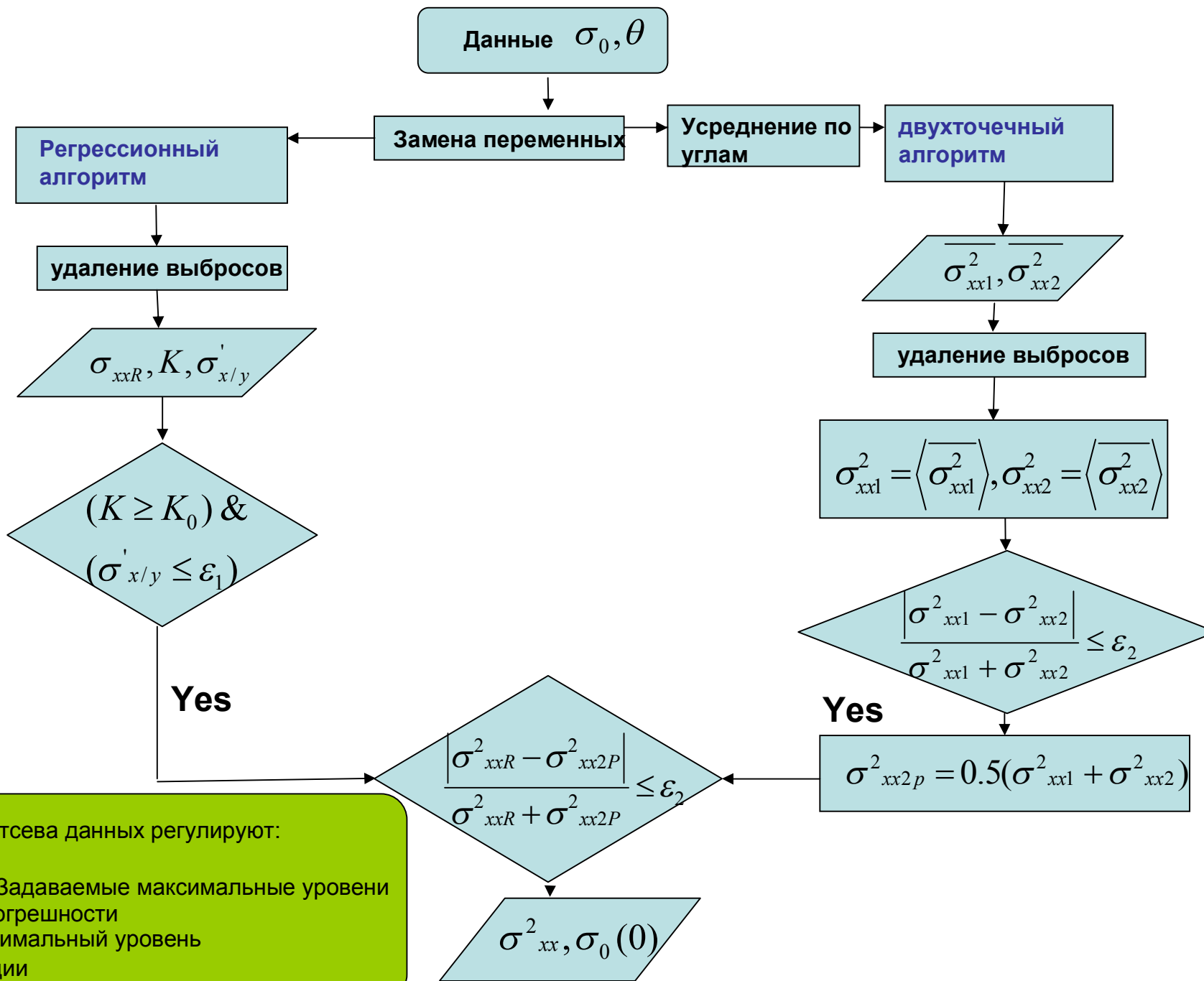
Пример удаления выбросов для регрессионного алгоритма



Удаление выбросов

Название критерия	Условие удаления выброса
Стандартный критерий	$v_1 = \frac{y_{\max} - \langle y \rangle}{\sigma} \sqrt{\frac{N}{N-1}} \quad v_2 = \frac{\langle y \rangle - y_{\min}}{\sigma} \sqrt{\frac{N}{N-1}}$ $v_1 > \lambda, v_2 > \lambda$
Критерий Граббса	$ y_i - \langle y \rangle > \lambda \sigma$
Критерий Ирвина	$\lambda = \frac{(y_{i+1} - y_i)}{\sigma}, \text{ где } y_1 < y_2 < \dots < y_n$
Критерий Романовского	$ y_i - \langle y \rangle > \lambda \cdot \sigma$

Где значение $\lambda = \lambda(N)$ своё для каждого критерия

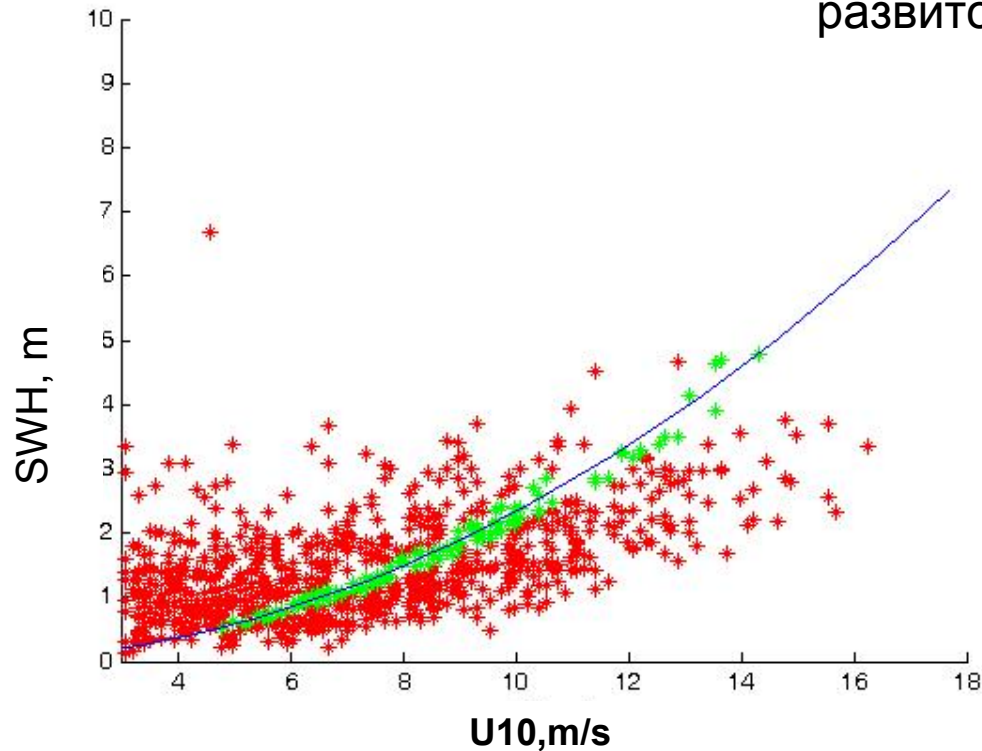


Жёсткость отсева данных регулируют:
 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ - Задаваемые максимальные уровни погрешности
 K_0 — минимальный уровень корреляции

Зависимость высоты значительного волнения от скорости ветра

Выделим данные для случая полностью развитого волнения, такие, что:

$$\frac{|H - H_{dev}(u_{10})|}{H_{dev}(u_{10})} \leq 0.1$$



Красным – все данные

Зелёным – случай полностью развитого волнения

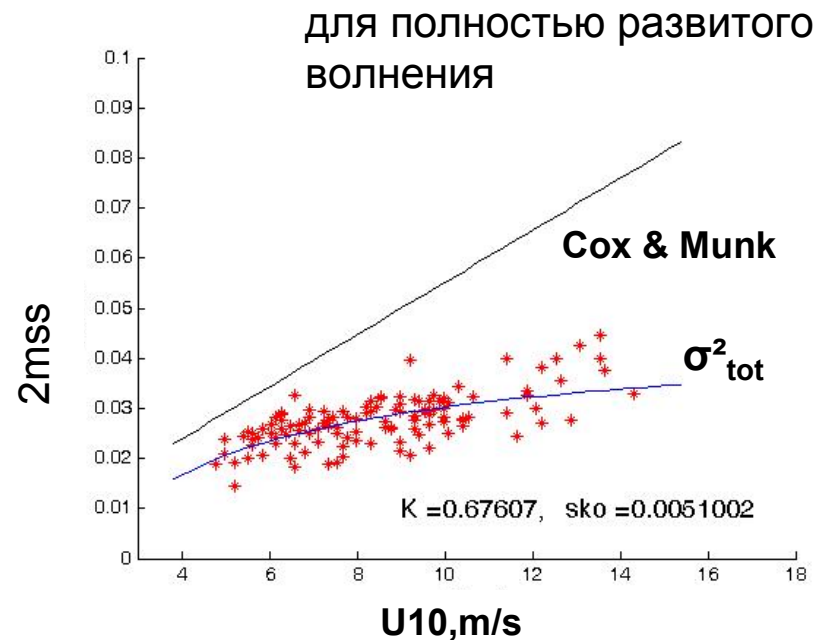
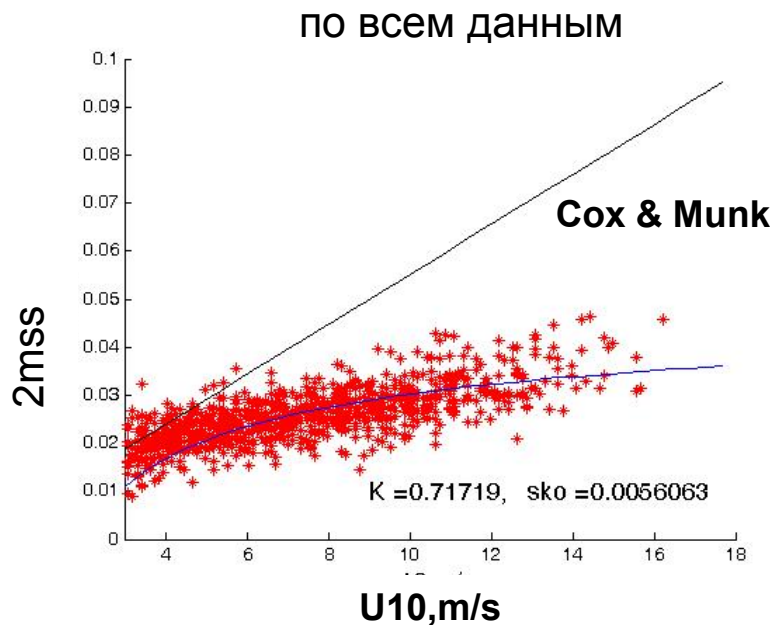
Здесь и далее u_{10} – скорость ветра на высоте 10м

Зависимость полной дисперсии наклонов крупных волн от скорости ветра для полностью развитого волнения

Теперь введём оси x – по ветру, y – поперёк ветра.

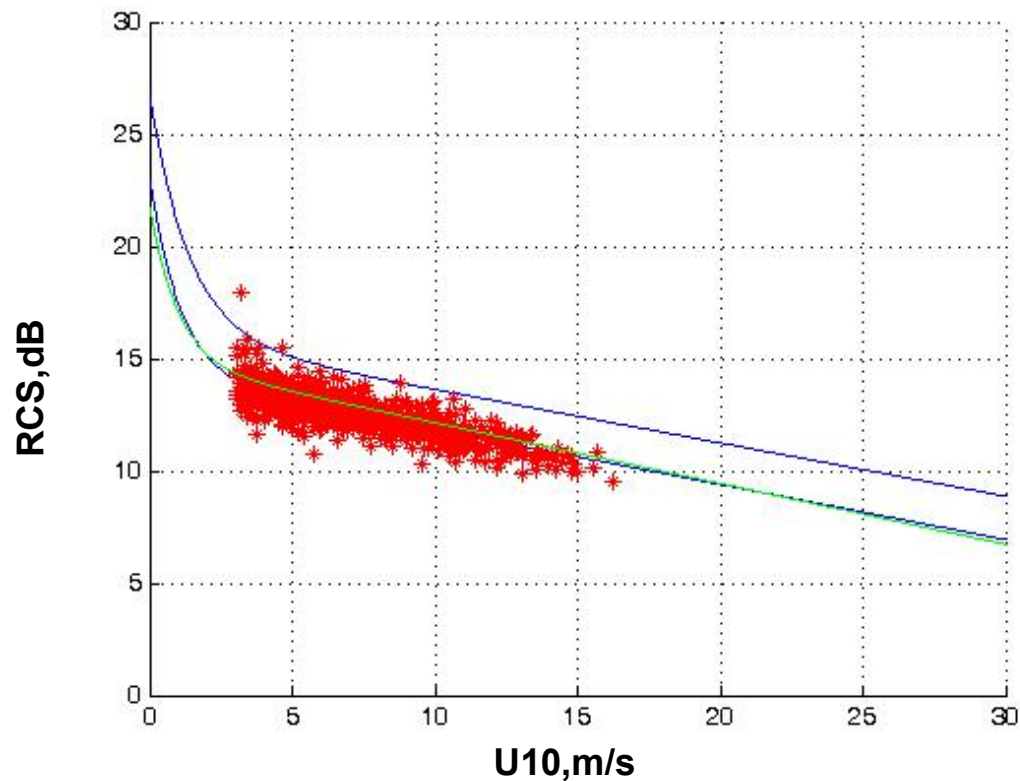
Переобозначим $\sigma_{xx}^2 = \sigma_{\text{exp}}^2$

она имеет значения в пределах $2\sigma_{yy}^2 \leq 2\sigma_{\text{exp}}^2 \leq 2\sigma_{xx}^2$
 $\sigma_{\text{tot}}^2 = \sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2$, и $2\sigma_{yy}^2 \leq \sigma_{\text{tot}}^2 \leq 2\sigma_{xx}^2$



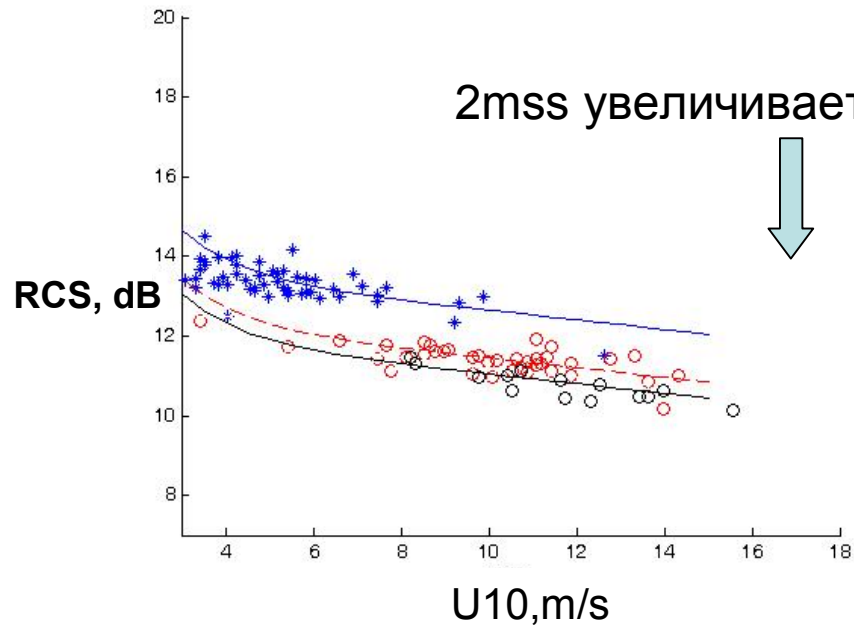
Зависимость сечения рассеяния при нулевом угле падения

Мы отталкивались от вида однопараметрической модели Freilich & Challenor (1994).



$${}_{dB} \sigma^0(u_{10}) = a_0 + a_1 u_{10} + a_2 \exp(a_3 u_{10})$$

Добавляем зависимость сечения рассеяния от дисперсии наклонов



Выделим интервалы различных дисперсий наклона

Синим $0.01 < 2m_{ss} < 0.025$

Красным $0.027 < 2m_{ss} < 0.3$

Чёрным $0.3 < 2m_{ss} < 0.5$

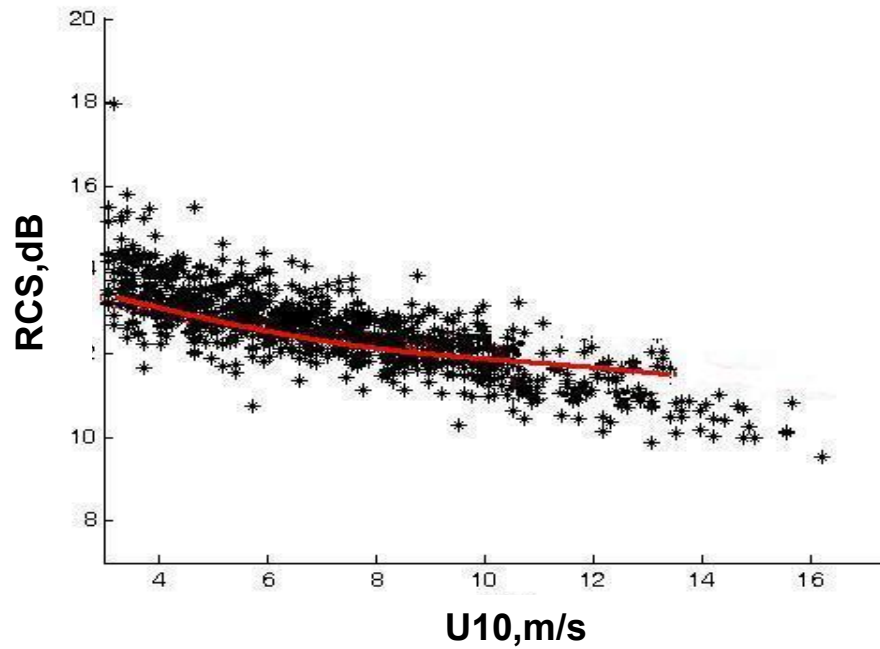
Подбираем коэффициенты a_0, a_1, a_2, a_3
одинаковые для всех дисперсий наклона

Добавим зависимость от дисперсии наклонов

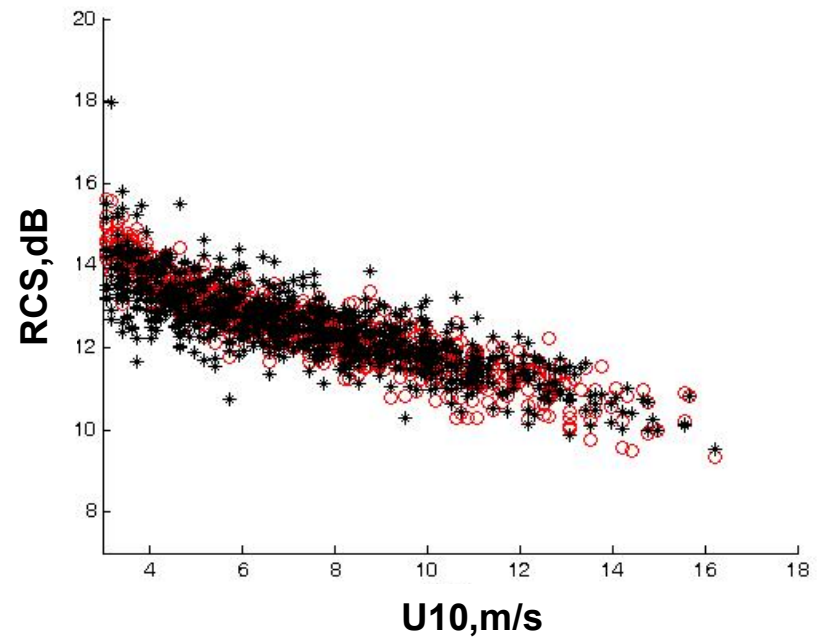
$${}_{dB}\sigma^0(u_{10}, \sigma_{\text{exp}}^2) = a_0 + au_{10} + a_2 \exp(a_3 u_{10}) - b\sigma_{\text{exp}}^2, b > 0$$

Восстановленные значения сечения рассеяния для одно- и двухпараметрических моделей

Чёрным – экспериментальные значения, красным - восстановленные значения сечения рассеяния



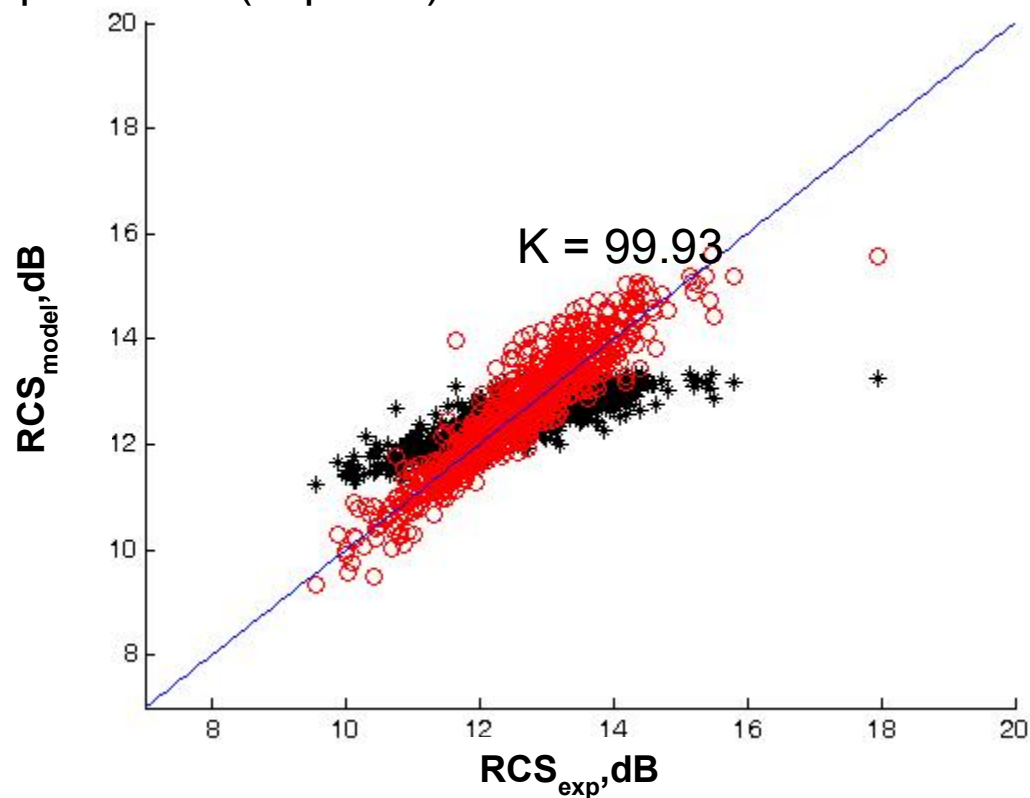
Однопараметрическая модель



двухпараметрическая модель

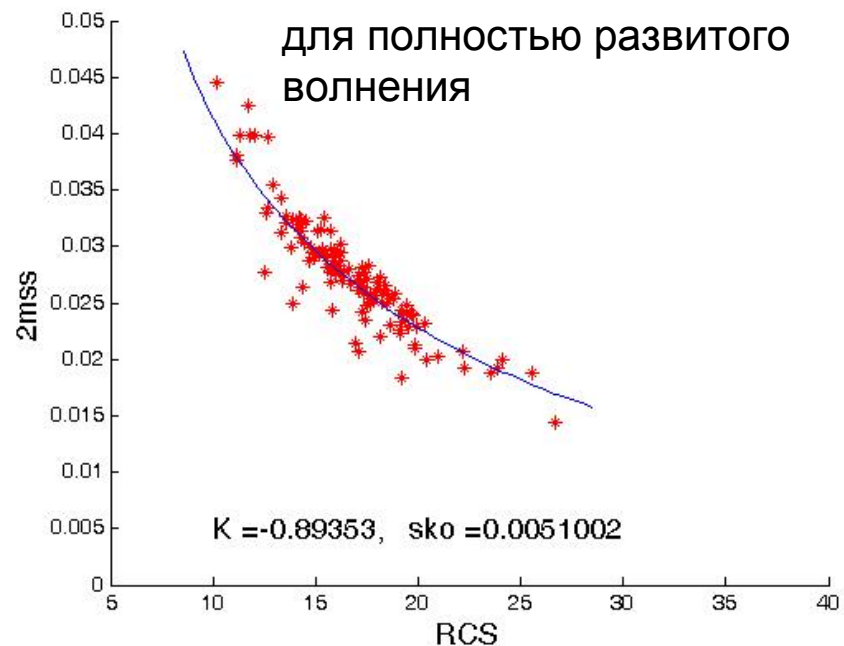
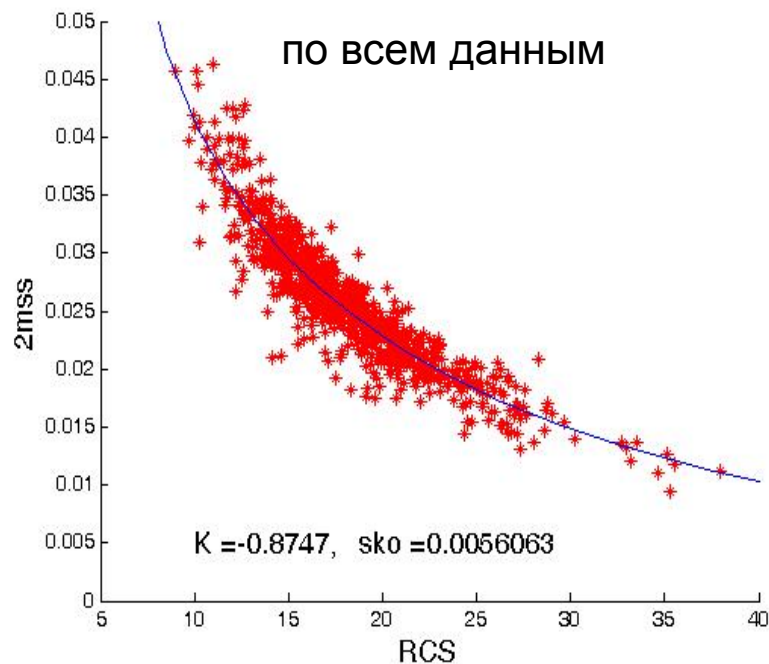
Корреляция с измеренными значениями

Значения, восстановленные по двухпараметрической модели (красным) значительно лучше коррелируют с измеренными, чем по однопараметрической (черным).



Значит, для более корректного восстановления скорости ветра необходимо учитывать дисперсию наклонов.

Зависимость дисперсии наклонов от сечения рассеяния при надире, полученная по всем данным

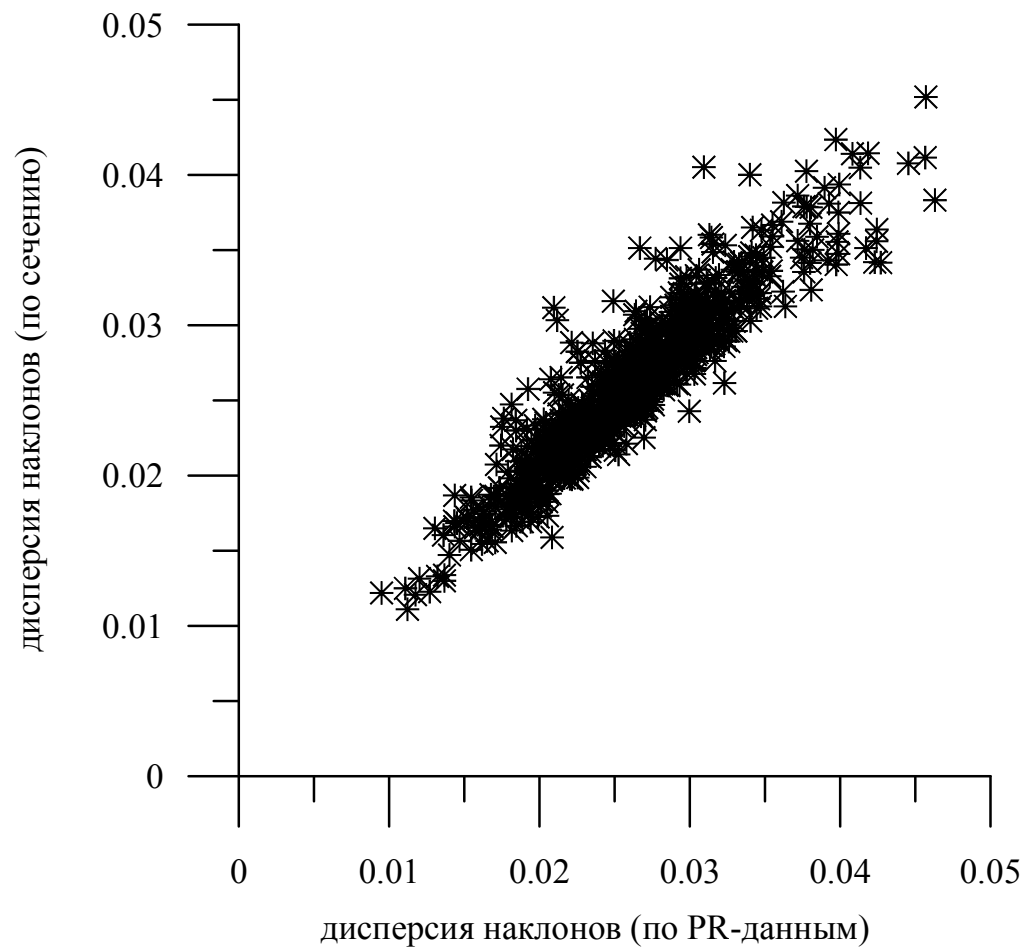


$$\sigma_{\text{накл}}^2 = A + B / \sigma_0(0) + C / \sigma_0^2(0) + D / \sigma_0^3(0)$$



Можно восстановить дисперсию наклонов крупных волн по накопленным ранее альтиметровым данным!

Корреляция с измеренными значениями



Выводы

- Подробно рассматривается процедура обработки. Особое внимание уделяется точности восстанавливаемых величин. Создан комплекс программ.
- Обработан массив совмещённых радиолокационных и буйковых данных.
- Получена зависимость дисперсии наклонов крупных волн от скорости ветра для электромагнитных волн длиной 2,1 см.
- Восстановлено сечение обратного рассеяния при надире, дисперсия наклонов вдоль направления зондирования.
- Предлагается двухпараметрическая зависимость сечения рассеяния от дисперсии наклонов крупных волн и скорости ветра.

План на будущее: двухпараметрический алгоритм восстановления скорости ветра, определение направление ветра.

- Впервые получено эмпирическое выражение для восстановления дисперсии наклонов по сечению обратного рассеяния при нулевом угле падения. Это позволит из накопленных ранее многочисленных альтиметровым данных восстановить информацию о наклонах крупных волн, что расширяет возможности построения и проверки климатических моделей.