

Измерение дисперсии наклонов крупномасштабного волнения и восстановление скорости приводного ветра в полосе обзора двухчастотного дождевого радиолокатора

Панфилова М. А., Караев В.Ю., Баландина Г.Н.
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
e-mail: marygo@mail.ru

Введение

Спутник миссии GPM (Global Precipitation Measurement) был запущен в феврале 2014 года. На борту установлено два сканирующих радиолокатора Ка- и Ки-диапазонов. Треки спутника покрывают Земной шар от 65° СШ до 65° ЮШ. Основная задача спутника – измерение пространственного распределения осадков. Данные над океаном, в областях, где осадки отсутствуют, возможно использовать для определения параметров волнения и скорости приповерхностного ветра. В работе описан метод определения дисперсии наклонов в полосе обзора радиолокатора. Использовались данные Ки-диапазона. Также предлагается алгоритм определения скорости ветра по данным Ки- и Ка-диапазонов.

Алгоритм определения дисперсии наклонов и сечения обратного рассеяния при нулевом угле падения

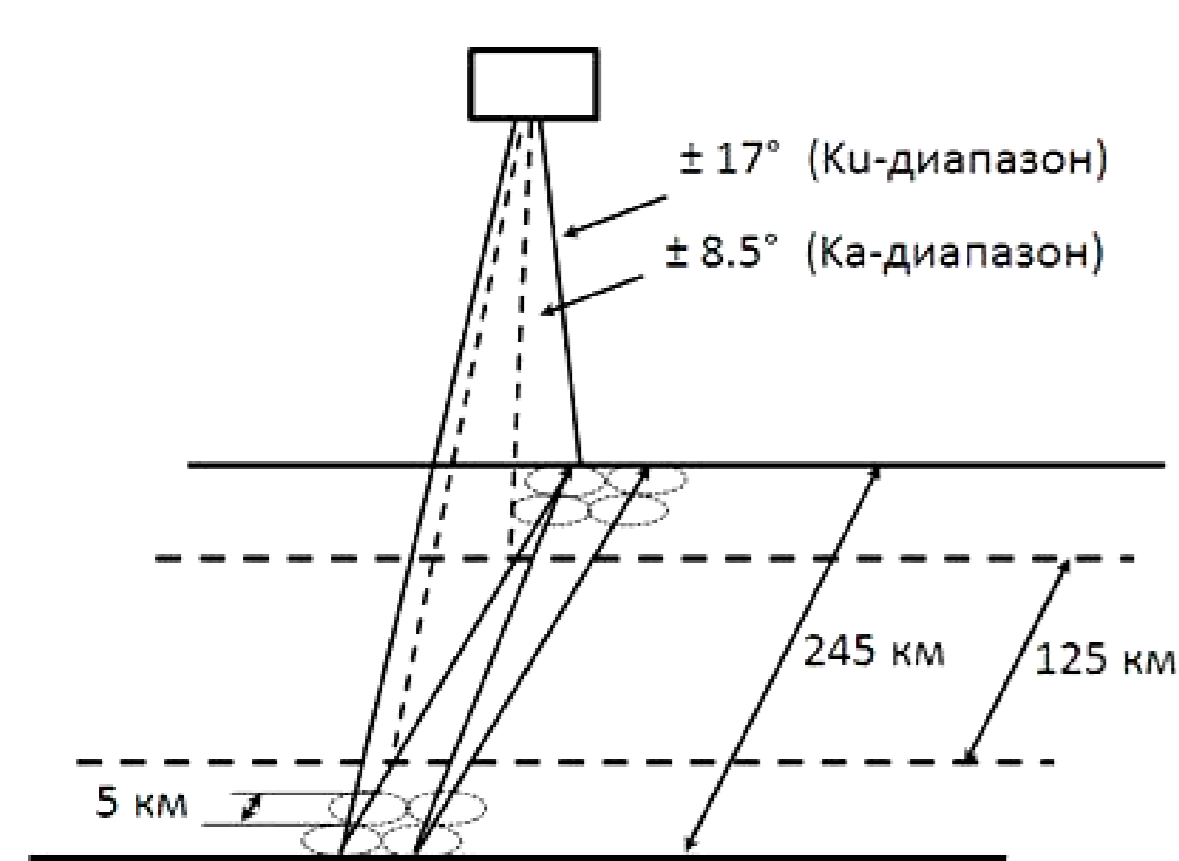
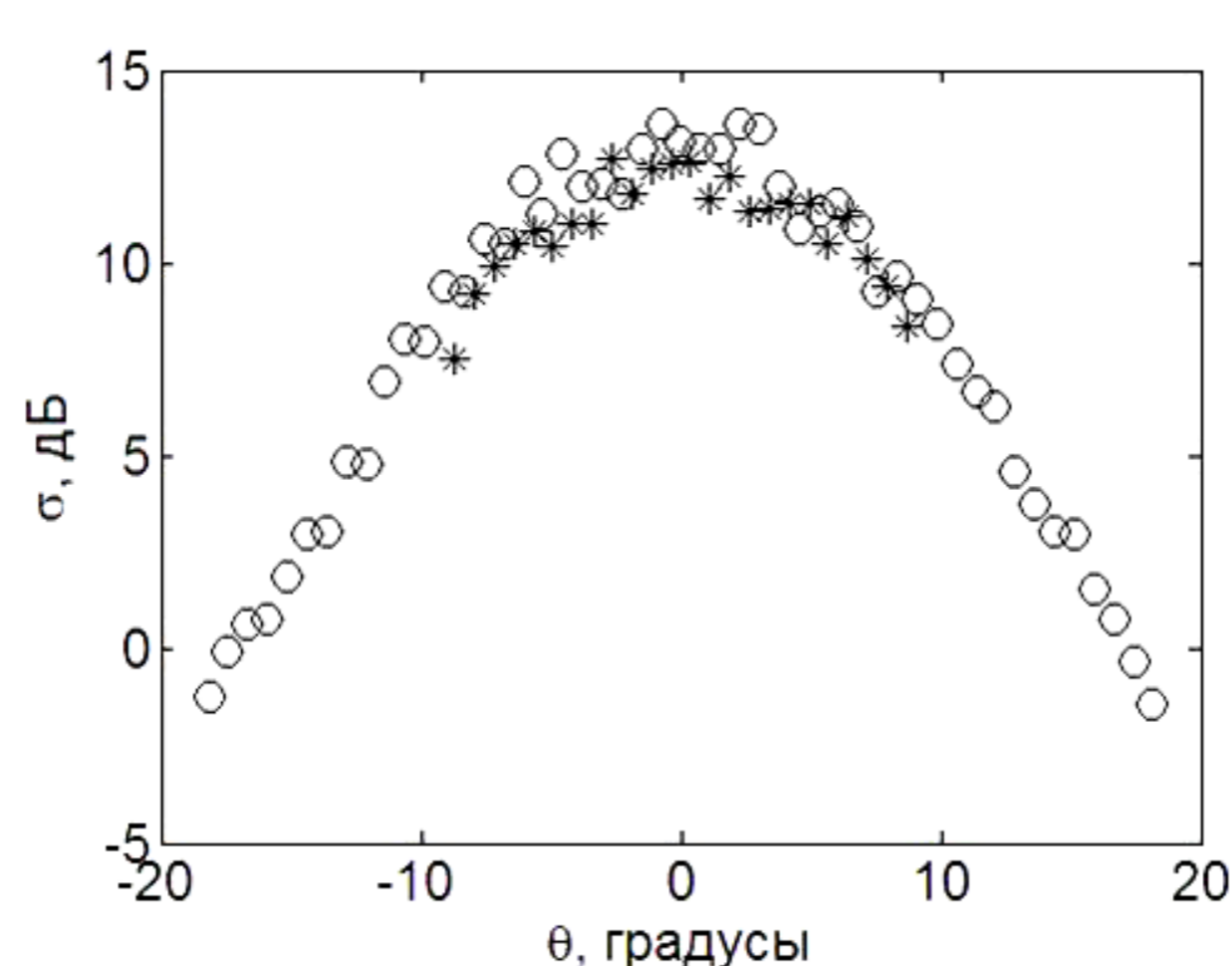


Схема сканирования дождевого радиолокатора



Зависимость сечения обратного рассеяния от угла падения для Ка- и Ки-диапазонов (* и о)

Зависимость сечения обратного рассеяния от угла падения при малых углах падения в приближении Кирхгофа

$$\sigma(\theta) = \frac{|R_{eff}(0)|^2}{\sqrt{2} \cos^4 \theta} \cdot \frac{\exp[-\tan^2 \theta \cdot b]}{\sqrt{\sigma_{yy}^2}} \cdot \sqrt{b}, \quad b = \frac{1}{2\sigma_{xx}^2}$$

σ_{xx}^2 и σ_{yy}^2 – дисперсии уклонов вдоль и поперёк направления сканирования

$R_{eff}(0)$ – эффективный коэффициент отражения

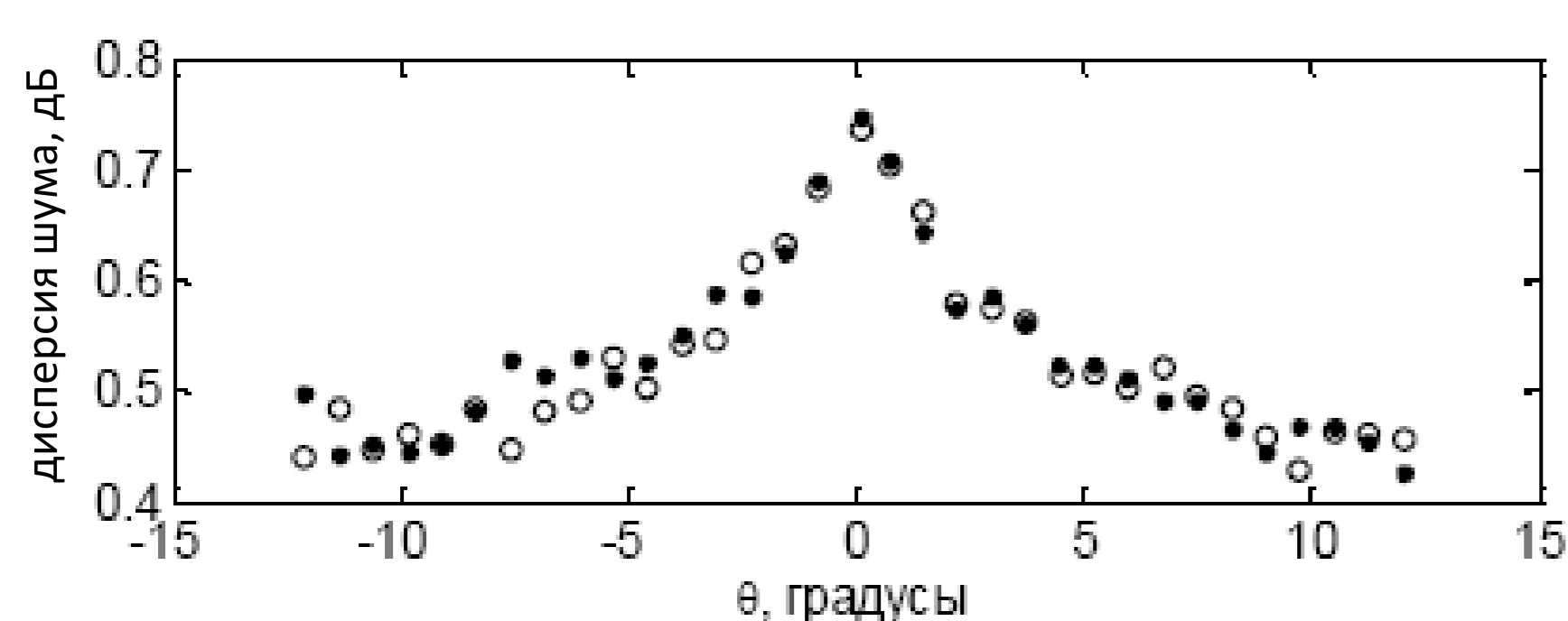
$$\sigma(0) = \frac{|R_{eff}(0)|^2}{2\sqrt{\sigma_{xx}^2 \sigma_{yy}^2}} - \text{сечение обратного рассеяния, которое было бы измерено при нулевом угле падения}$$

Обозначим $a = \ln(\sigma(0))$, тогда $\ln(\sigma(\theta) \cos^4 \theta) = a - b \tan^2 \theta$

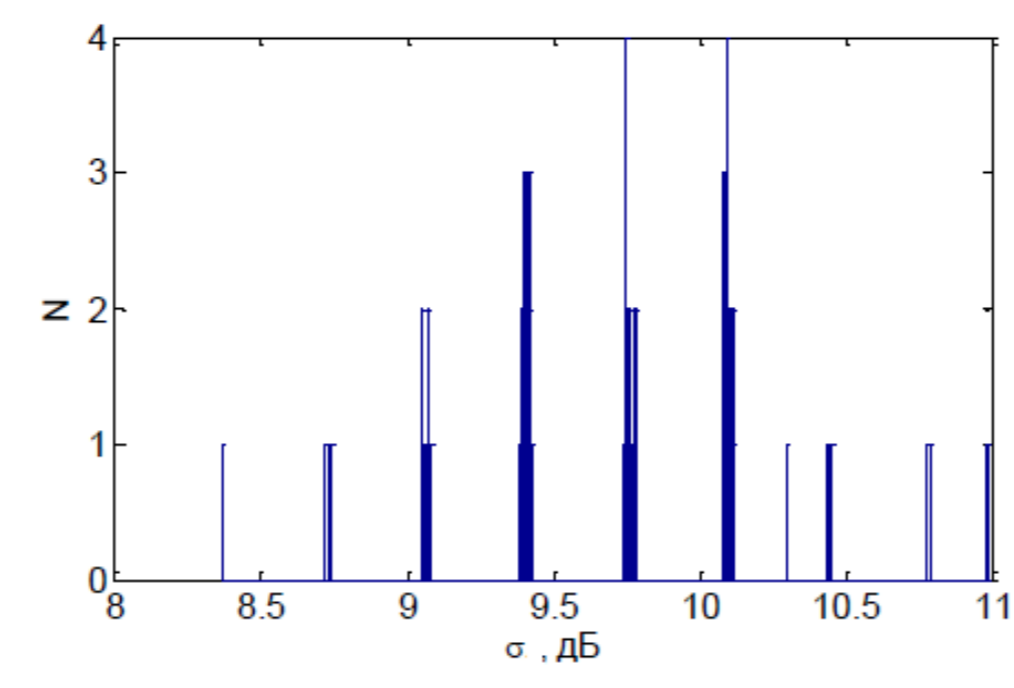
$\sigma(0)$ и σ_{xx}^2 можно определить при помощи линейной регрессии.

Обработка полосы обзора. Численное моделирование

Обрабатывались данные для Ки-диапазона. Учитывались углы падения меньше 12° – область применимости приближения Кирхгофа. Была оценена дисперсия шумов дождевого радиолокатора в зависимости от угла падения.



Дисперсия шумов дождевого радиолокатора в зависимости от угла падения при среднем $\sigma(0)=12$ дБ



Гистограмма распределения сечения обратного рассеяния для одного из углов падения

Углы падения, меньшие 2° исключались из обработки, поскольку уровень шума велик по сравнению с изменением сигнала.

Моделировалось распределение сечения обратного рассеяния в полосе обзора. Был добавлен гауссов шум с дисперсией 0.6 дБ. Также учитывалось, что измеренные значения σ следуют не непрерывно, а дискретно (гистограмма справа).

Обработка полосы проводится окном $m \times n$ элементов разрешения со сдвигом на одну ячейку. Для центральной точки окна определяются σ_{xx}^2 и $\sigma(0)$.

Был выбран размер окна поперёк полосы – 5 ячеек (около 25 км), вдоль полосы – 9 ячеек (около 40 км).

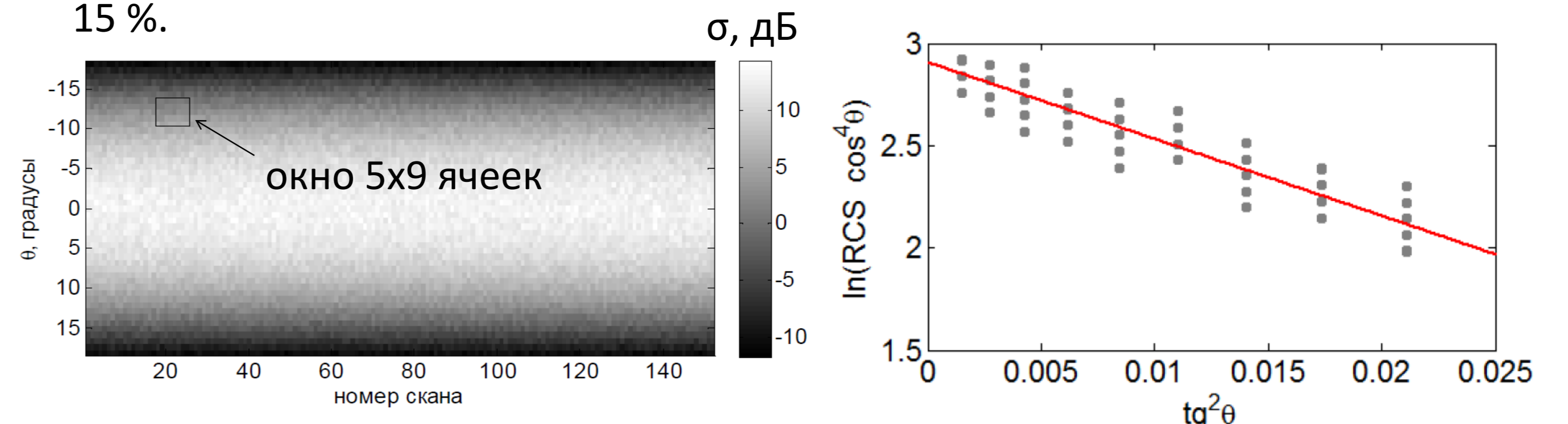
Для улучшения качества данных из массива убирались выбросы и оценивался коэффициент корреляции при проведении регрессии. Высокий по модулю коэффициент корреляции говорит об однородности волнения в пределах рассматриваемого участка. (В данном примере, если коэффициент корреляции по модулю меньше 0.5, σ_{xx}^2 и $\sigma(0)$ не определяются).

После удаления выбросов количество углов падения и количество измерений при одном и том же угле должно быть достаточным для проведения регрессии. (При обработке задавалось: 4 угла, 4 измерения). Если данных недостаточно, значения σ_{xx}^2 и $\sigma(0)$ не определяются.

Для уменьшения шумов полученное распределение σ_{xx}^2 и $\sigma(0)$ сглаживается скользящим средним (в данном случае с окном 5 x 5). Значения в пропущенных ячейках также доопределяются как среднее в окне, если заполненные на первом этапе ячейки занимают не меньше половины всего окна.

Было проведено численное моделирование полосы обзора радиолокатора и определены σ_{xx}^2 и $\sigma(0)$ для значений σ_{xx}^2 от 0.005 рад² до 0.025 рад².

Показано, что относительная ошибка определения σ_{xx}^2 и $\sigma(0)$ не превышает 15%.



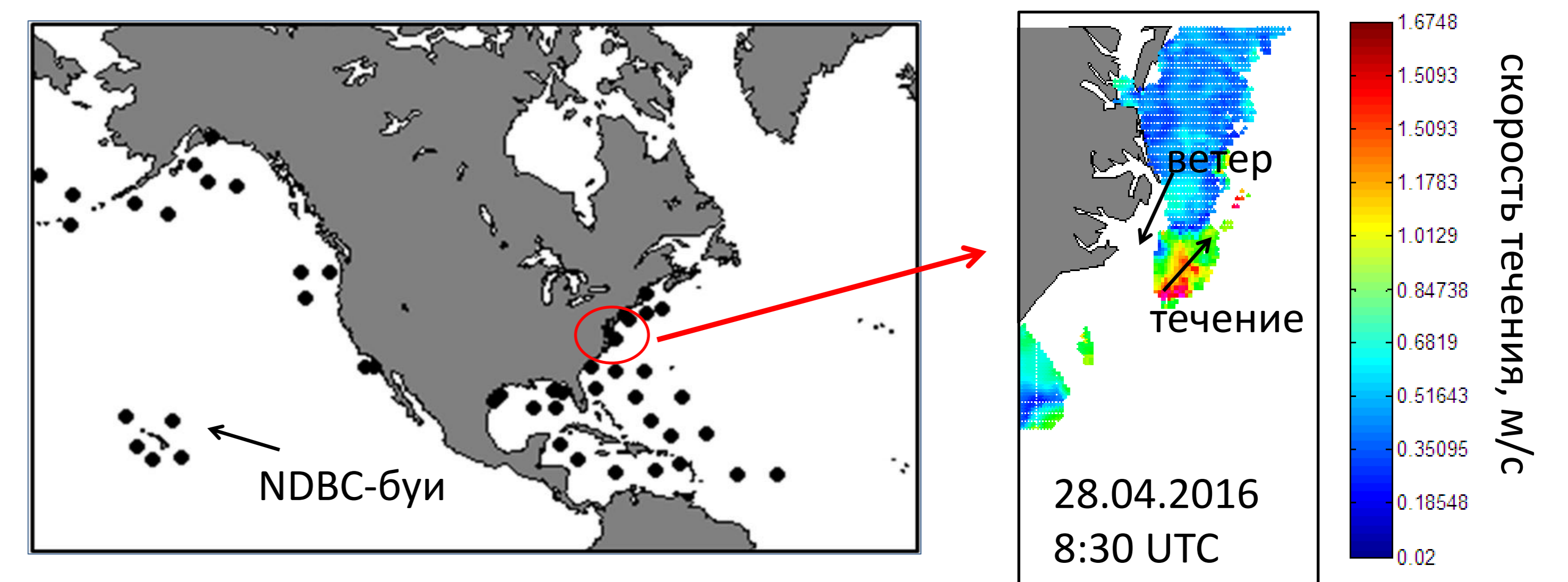
Пример распределения сечения обратного рассеяния в полосе обзора.

Численное моделирование

Обработка реальных данных

Была выбрана область вдоль восточного побережья Северной Америки, для которой доступны данные HF-радаров о скорости и направлении течений, а также данные морских буёв о скорости и направлении ветра.

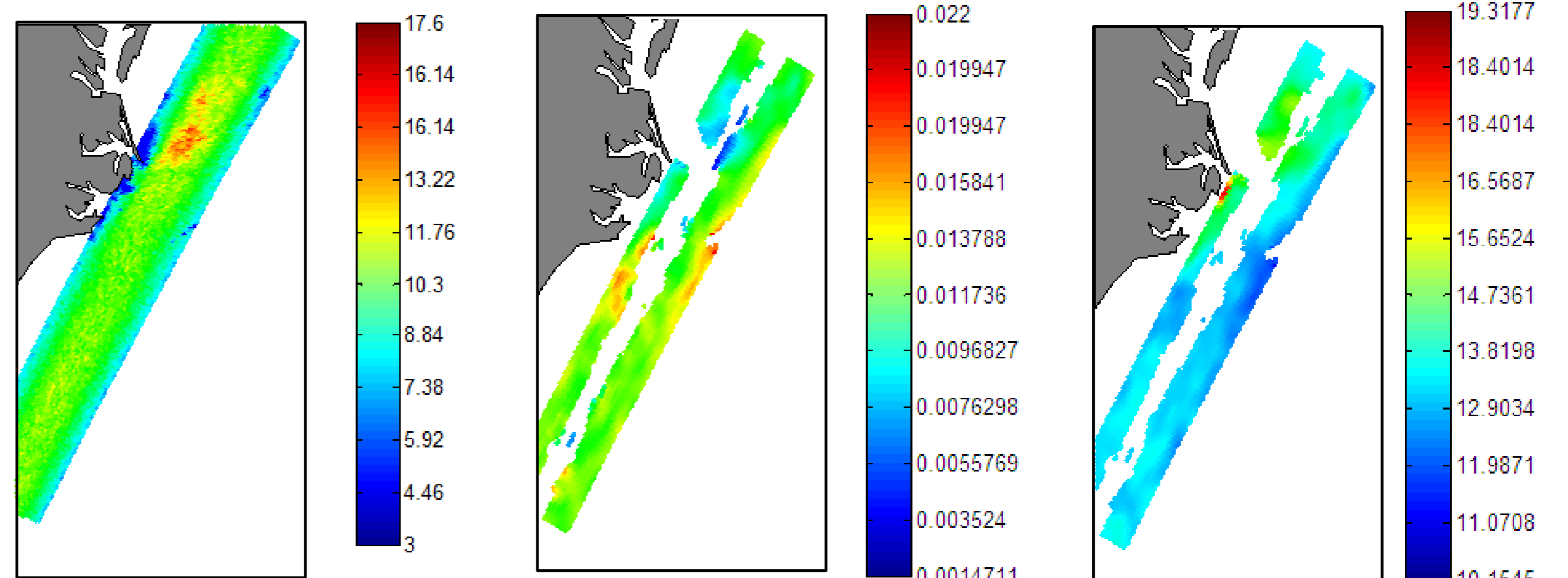
Сайты: течения - <http://hfrnet.ucsd.edu/>, данные буёв - <http://www.ndbc.noaa.gov/>



σ , дБ ($\theta < 12^\circ$)

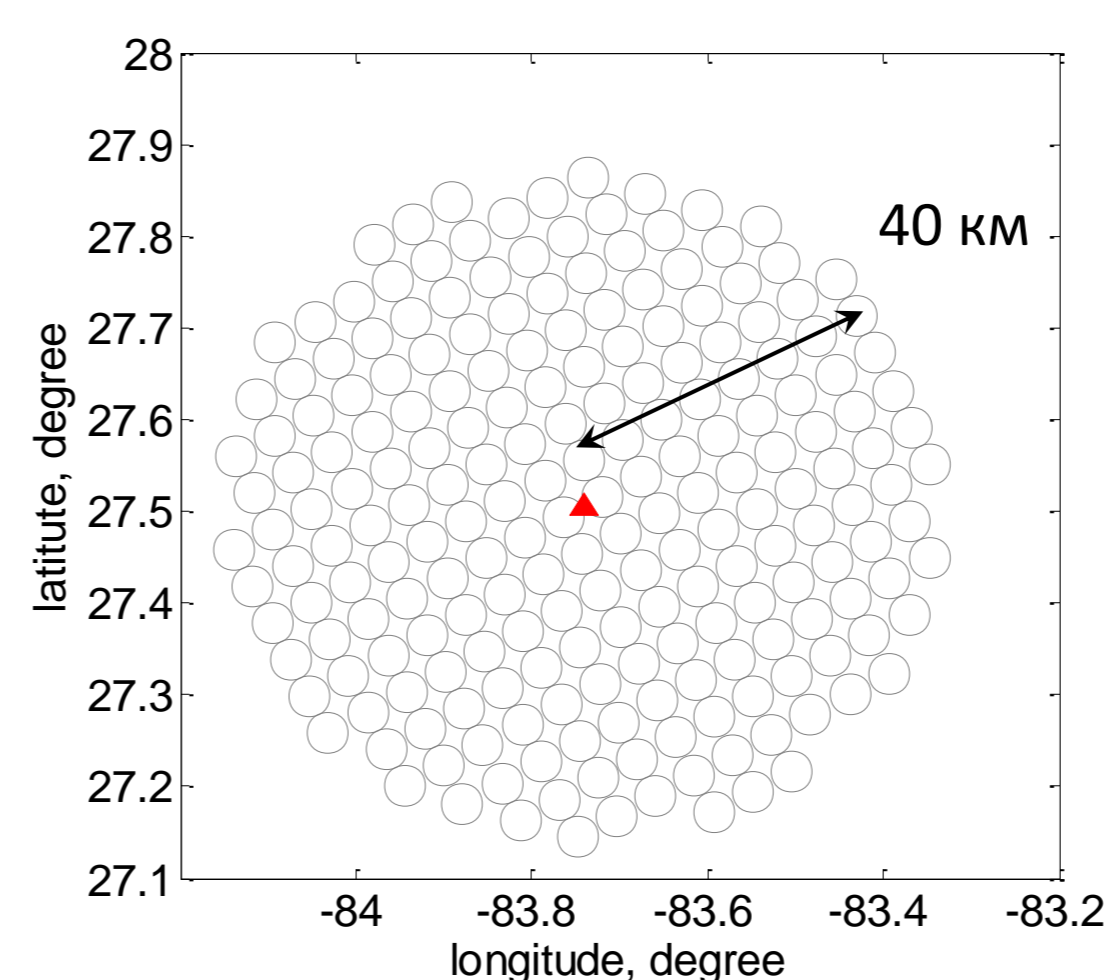
σ_{xx}^2 , рад²

$\sigma(0)$, дБ

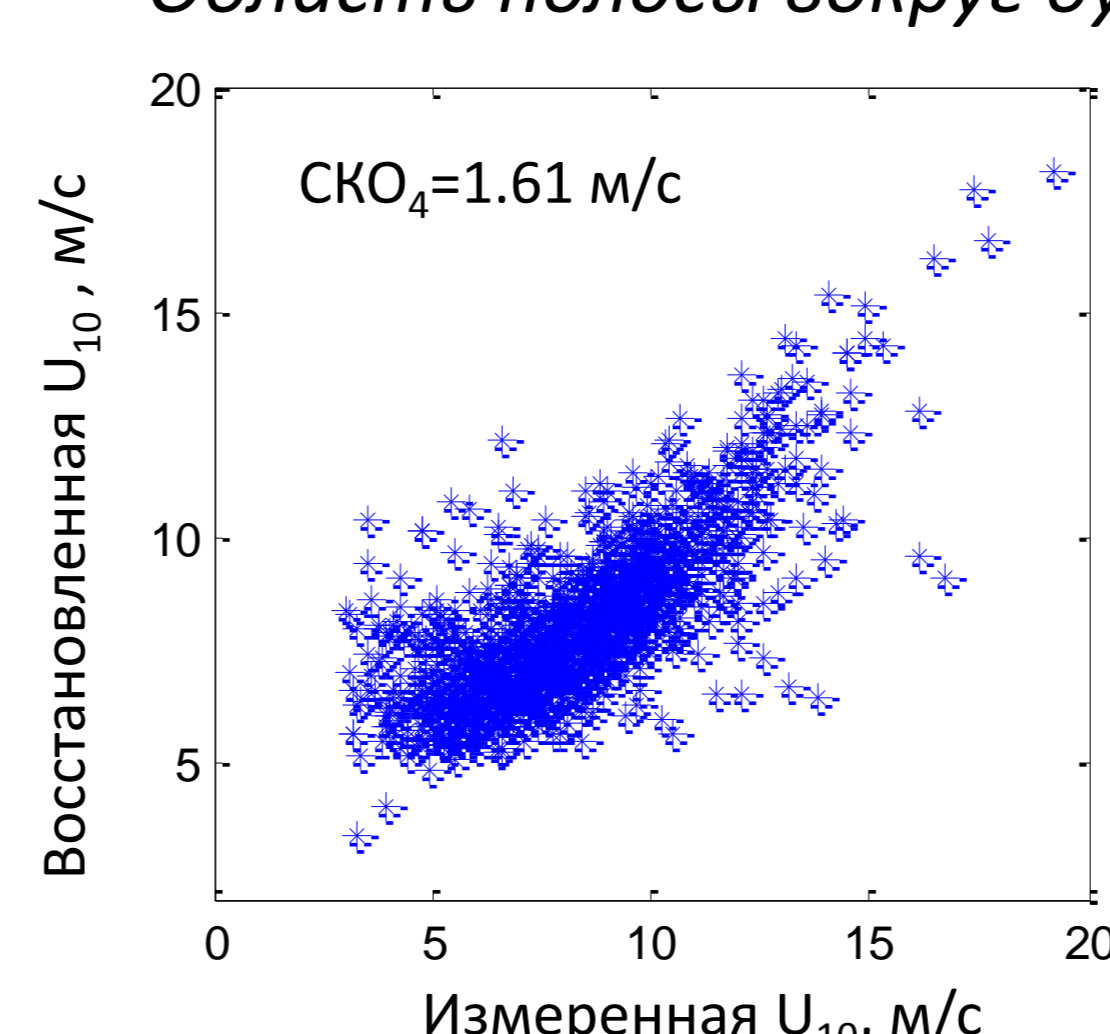


Изменения дисперсии наклонов в полосе можно объяснить трансформацией спектра волнения на течениях. Поскольку на встречном течении спектр волнения возрастает, возрастает и дисперсия наклонов, а $\sigma(0)$ убывает.

Определение скорости ветра по данным дождевого радиолокатора



Область полосы вокруг буя



Был собран массив данных морских буёв и данных дождевого радиолокатора для Ка- и Ки-диапазона за 2015 год. В результате обработки получен массив (σ_{xx}^2 (Ka), $\sigma(0)$ (Ka), σ_{xx}^2 (Ku), $\sigma(0)$ (Ku), U_{10}), состоящий из 1030 элементов.

При помощи искусственных нейронных сетей была получена функция, аппроксимирующая зависимость скорости ветра от четырёх параметров:

$U_{10} = f(\sigma_{xx}^2(Ka), \sigma(0)(Ka), \sigma_{xx}^2(Ku), \sigma(0)(Ku))$. В работе (Chu et. al. 2010) была предложена зависимость $U_{10} = f(\sigma_{xx}^2(Ku), \sigma(0)(Ku))$

Для данного массива точность алгоритма по двум параметрам - $SKO_2 = 1.75$ м/с, по четырём параметрам - $SKO_4 = 1.61$ м/с

Вывод

Разработан алгоритм определения дисперсии наклонов в полосе обзора радиолокатора. Показаны перспективы использования данных дождевого радиолокатора для наблюдения за интенсивностью волнения, а также предложен алгоритм определения скорости приповерхностного ветра.