

Исследование рассеяния микроволнового излучения на обрушающихся волнах с использованием оптических методов

Русаков Н.С. (1), Байдаков Г.А. (1,2), Кандауров А.А. (1), Троицкая Ю.И. (1)

(1) Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия
(2) Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН, Москва, Россия

Эксперимент на уникальной установке Высокоскоростной ветро-волновой канал ИПФ РАН (входит в реестр ЦКП /УНУ РФ)

- 1 - доплеровский скаттерометр X-диапазона
 - 2 - радиопрозрачное окно 40x40 см
 - 3 - наклонная пластина, имитирующая выход на мелководье
 - 4 - волнопродуктор
 - 5 - струнный волнограф, установленный на расстоянии 1.5 м до исследуемой области
- D - расстояние от начала канала до края пластины



Условия эксперимента на канале:
Поперечные размеры канала – от 0.7x0.7 м в начале канала до 0.7x0.9 м в конце
Длина канала - 12 м
Размер окна наблюдения – 40x40 см
Угол падения $\Theta = 30^\circ - 50^\circ$
Скорость ветра $U_{10} = 12 - 50$ м/с
Расстояние до водной поверхности – $R = 3.16$ м
Радио-прозрачная крышка рабочей секции
~30 циклов работы волнопродуктора на каждую комбинацию параметров эксперимента (скорость ветра и заглубление подводной пластины, угол зондирования)

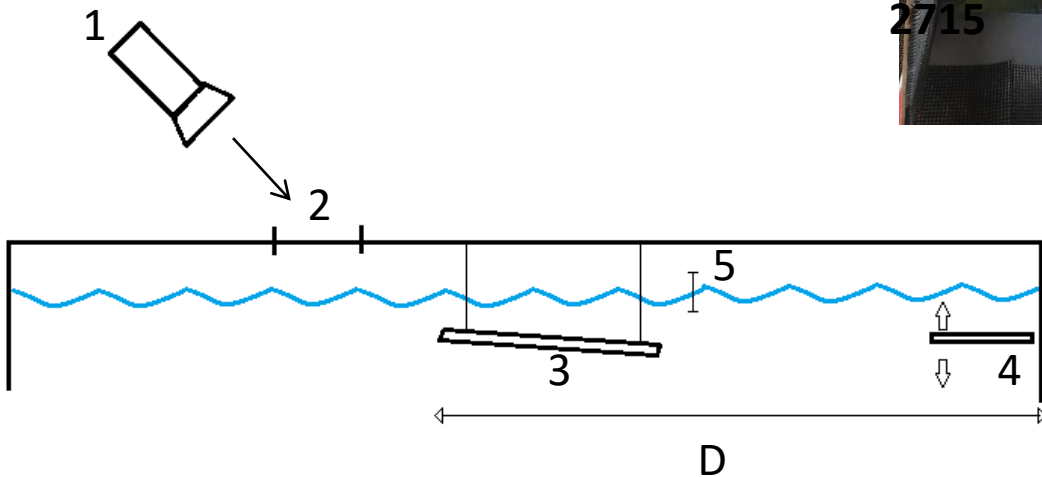
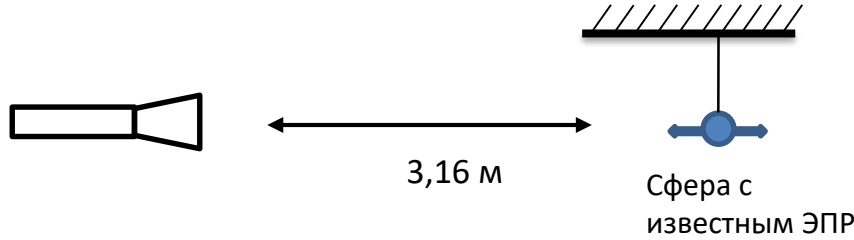


Схема проведения эксперимента:
Для получения площади водной поверхности, покрытой обрушениями, использовались камеры с частотой съемки 50 Гц, $D = 884$ см
Радиолокационные измерения производились при положении подводной пластины $D = 781$ см

Калибровка скаттерометра

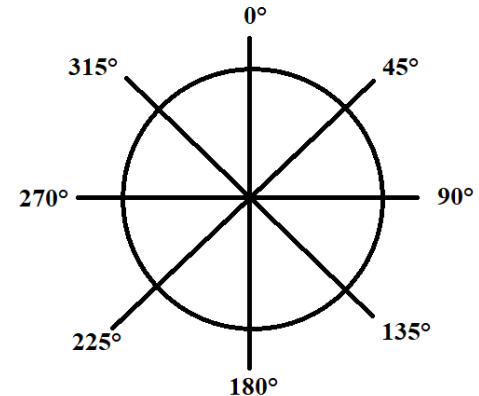


$$P_r = \frac{P_t A_e^2 \sigma}{4\pi\lambda^2 R^4} \quad \text{- мощность принятого сигнала при использовании общей антенны}$$

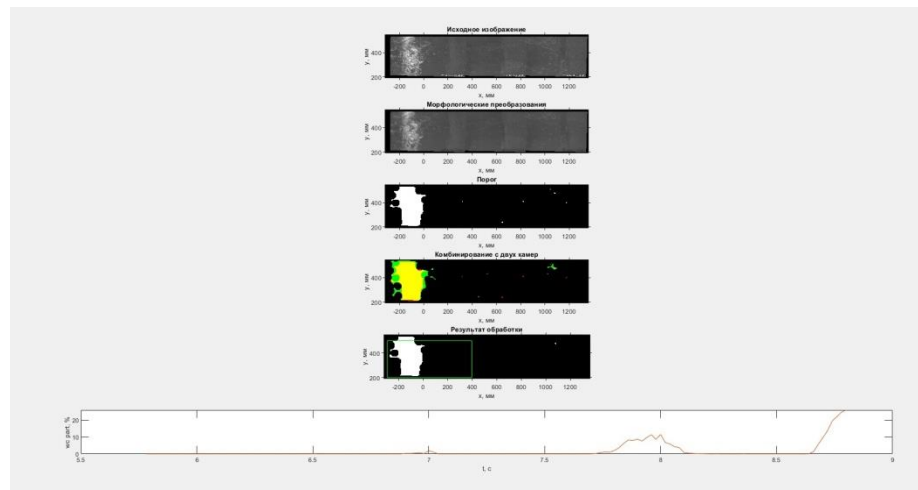
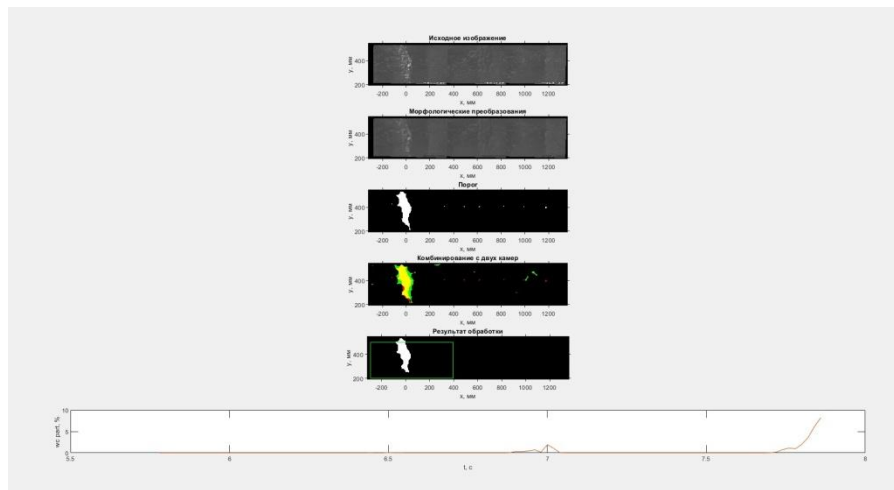
$$\sigma_{co-pol}^{water} = \frac{P_r^{water}}{P_r^{sphere}} * \sigma_{co-pol}^{sphere} \quad \text{- ЭПР водной поверхности, где } \sigma^{sphere} = 1.295\pi a^2$$

Кросс-поляризованный сигнал был калиброван с использованием струны, закрепленной в различных положениях.

$$\sigma_{cross-pol}^{wire} (45^\circ) = \sigma_{co-pol}^{wire} (45^\circ) = \frac{1}{4} \sigma_{vv}^{wire} (0^\circ, 180^\circ) = \frac{1}{4} \sigma_{hh}^{wire} (90^\circ, 270^\circ)$$

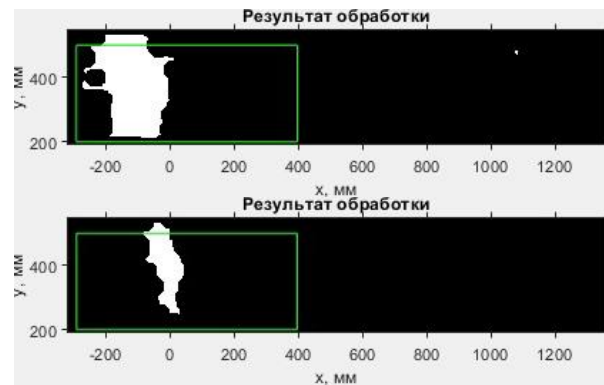


Оптическая обработка зоны обрушений

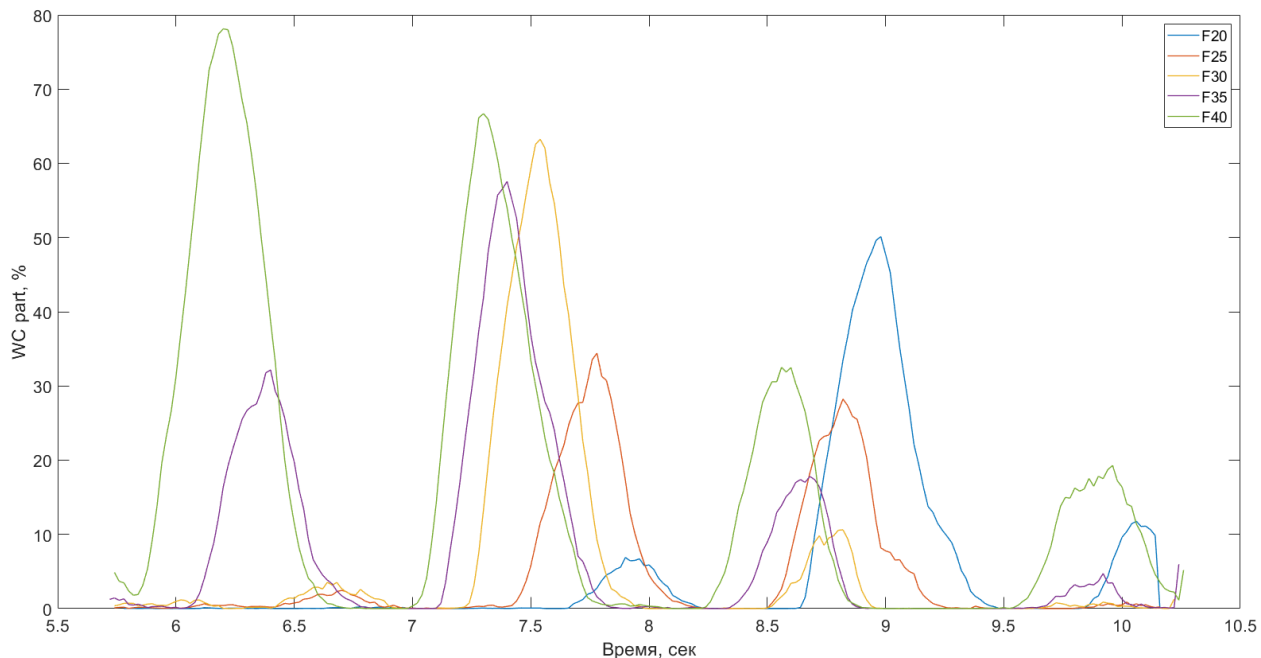


Последовательность детектирования области обрушений: исходное изображение; результат морфологического преобразования; пороговая обработка; комбинация изображений (зеленый – первая камера, красный – вторая, желтый – пересечение); результат работы – белым показана область с обрушением.

Результат детектирования области обрушений для двух моментов времени при прохождении второго (сверху) и третьего (снизу) гребней волны: белым показана выделенная область с обрушением, зеленая рамка – граница обрабатываемой подобласти.

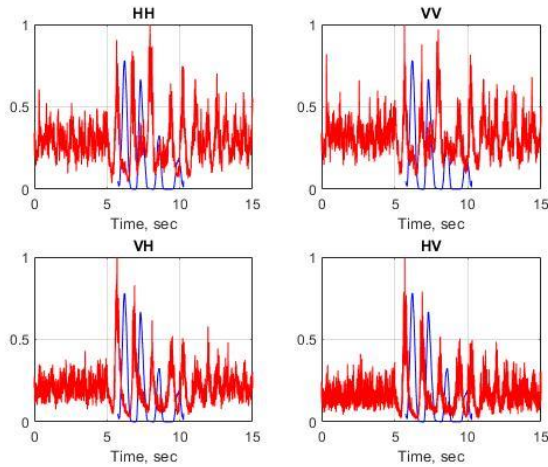


Результаты обработки оптических измерений



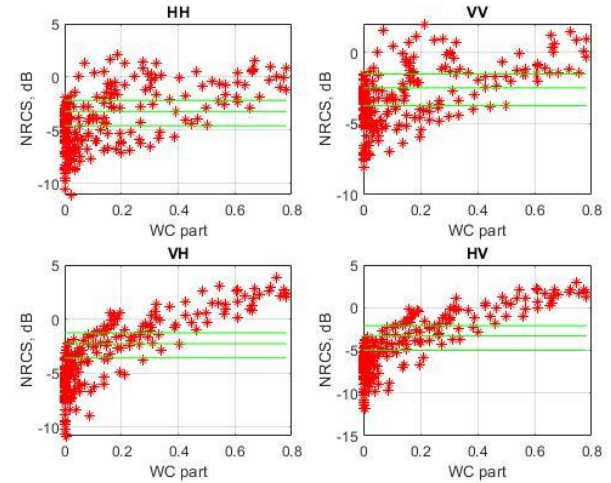
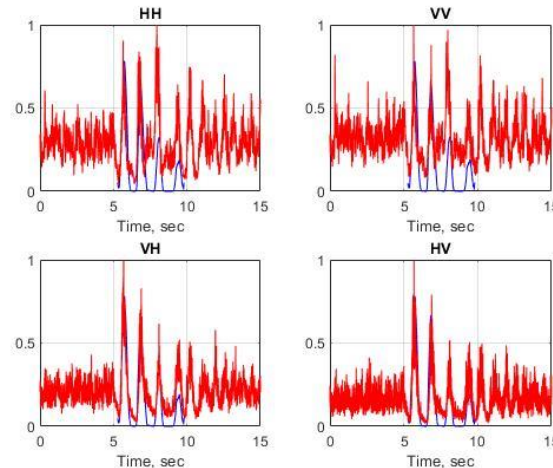
Зависимость площади обрушений для разных скоростей ветра (частот вращения вентилятора), отсчет времени идет от начала работы волнопродуктора, генерирующего цуг из 3-х волн. Наблюдается уменьшение времени прихода обрушений в исследуемую область с увеличением скорости ветра.

Совмещение оптических и радиолокационных измерений



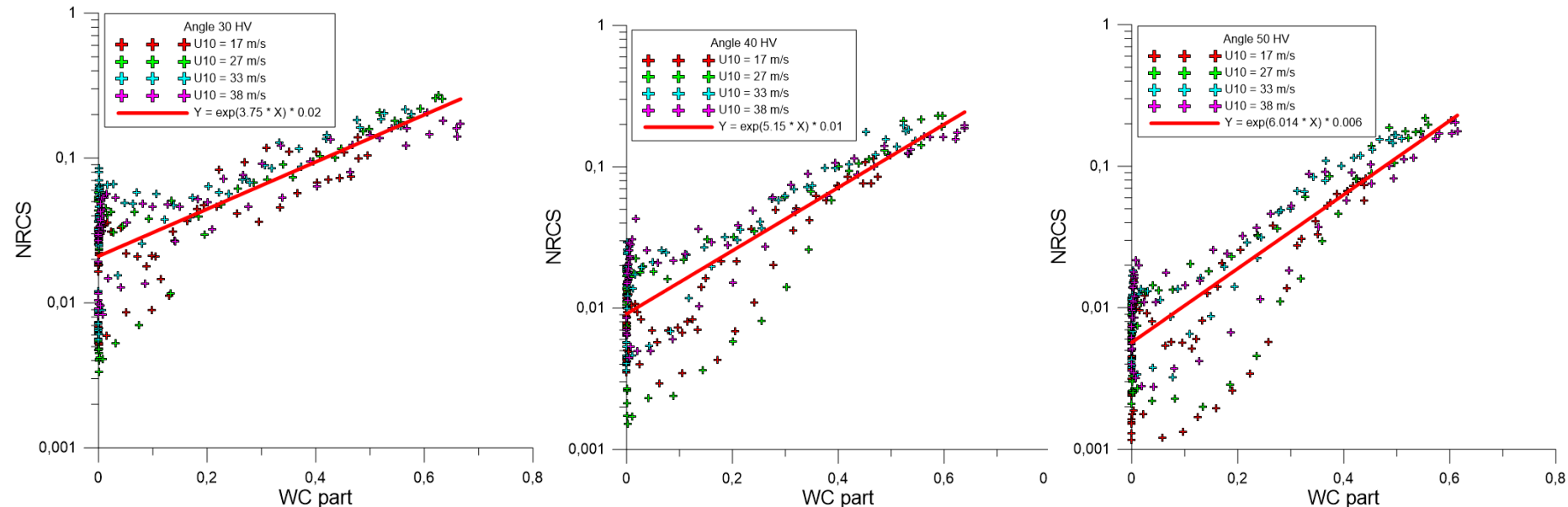
Зависимости мгновенной мощности р/л сигнала (красный) и площади водной поверхности, покрытой обрушениями (синий) от времени

Аналогичные зависимости, синхронизированные по времени с помощью использования корреляционной функции, видно спадание мощности принятого сигнала ниже фонового уровня при прохождении длинных обрушающих волн



Зависимость мощности принятого сигнала от площади покрытия обрушениями

УЭПР водной поверхности в присутствии обрушений



Экспериментальные точки группируются возле одной кривой независимо от того, при каких скоростях ветра они были получены, красная линия – экспоненциальная аппроксимация

Заключение

При анализе экспериментальных данных было обнаружено увеличение мощности принятого сигнала на перекрестной поляризации наряду с увеличением доли поверхности воды, покрытой обрушениями. Это свойство указывает на то, что обрушения вносят существенный вклад в рассеянный сигнал и могут быть определяющим фактором, обеспечивающим чувствительность кросс-поляризованного УЭПР к изменению скорости ветра в экстремальных условиях. После достижения пиковой мощности при максимальной площади обрушений значение мощности падает ниже фонового, наблюдаемого при наличии только ветрового волнения, что связано со выглаживанием водной поверхности после прохождения длинной обрушающейся волны. Полученные результаты являются предварительными и позволят определить вклад обрушений в рассеянный сигнал, и можно ожидать, что они позволят построить теоретическую модель рассеяния сигнала на поверхности, частично покрытой обрушениями.