

Исследование вклада обрушений ветровых волн в рассеяние СВЧ сигнала на ортогональной поляризации в рамках лабораторного моделирования

Байдаков Г.А., Русаков Н.С., Троицкая Ю.И.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН

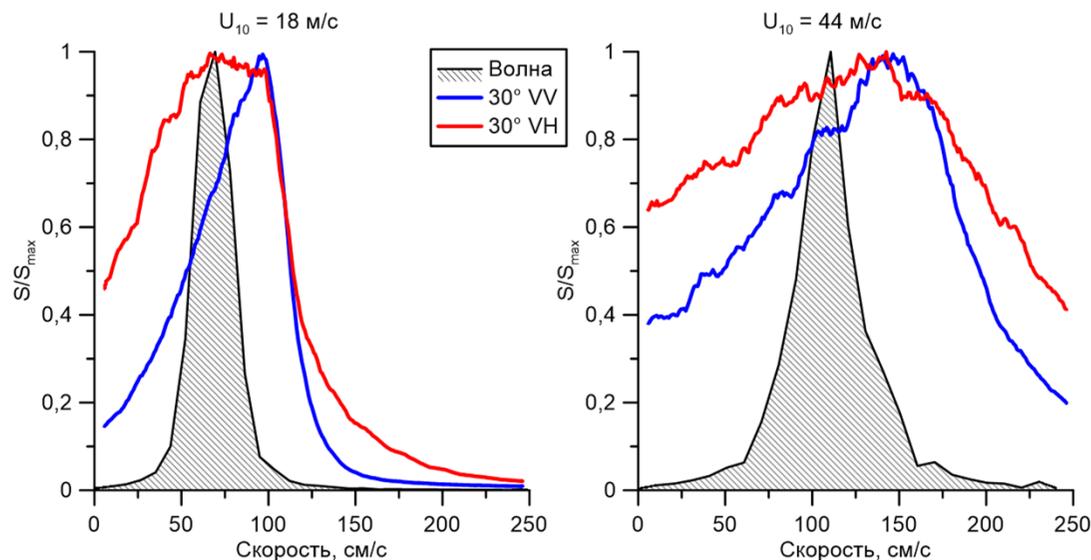
**Двадцать первая международная конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2013 г.**

В докладе рассматриваются результаты серии лабораторных экспериментов, направленных на исследование влияния обрушений поверхностных волн на обратное рассеяние СВЧ сигнала.

Эксперимент проводился на ветро-волновом канале WiWaT Института прикладной физики РАН, где в контролируемых лабораторных условиях создавался искусственно обрушающийся гребень поверхностной волны, фрагментация которого при различных скоростях ветра фиксировалась с помощью сложной техники визуализации, а так же исследовалась с использованием доплеровского радиоскаттерометра X-диапазона с длиной волны 3,2 см.

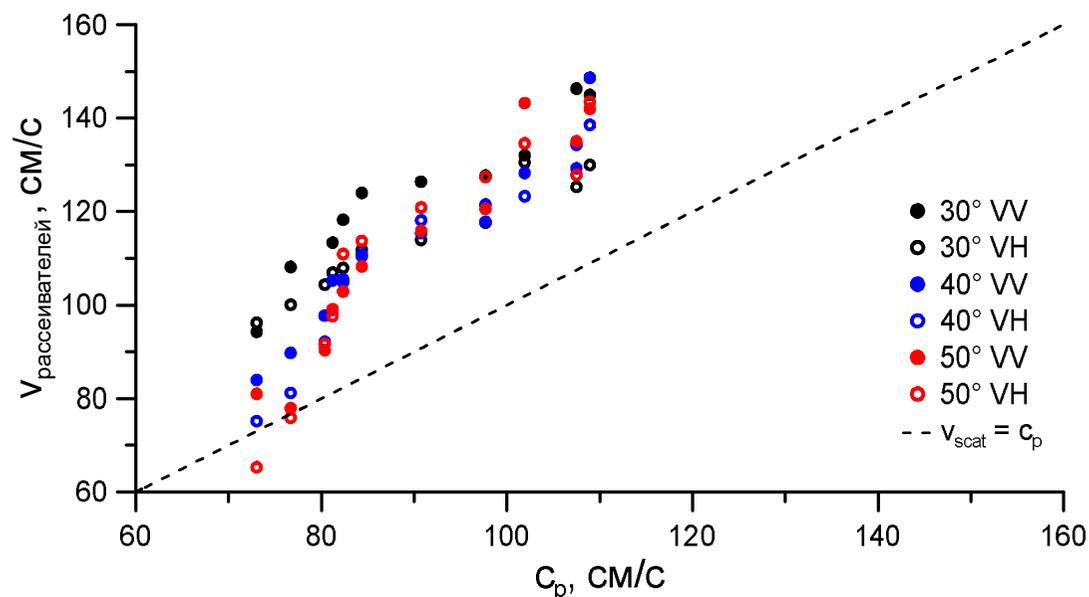
Были проведены измерения рассеяния микроволнового излучения на области обрушения волны на соосных (HH, VV) и ортогональных (HV, VH) поляризациях при различных скоростях ветра (U_{10} от 15 до 42 м/с) и углах зондирования (от 30° до 50° от надира). Непосредственно перед исследуемым участком была установлена подводная наклонная пластина, имитирующая выход на мелководье. Это обеспечивало регулярное обрушение создаваемых волнопродуктором длинных волн в зоне радиолокационной засветки и оптических наблюдений.

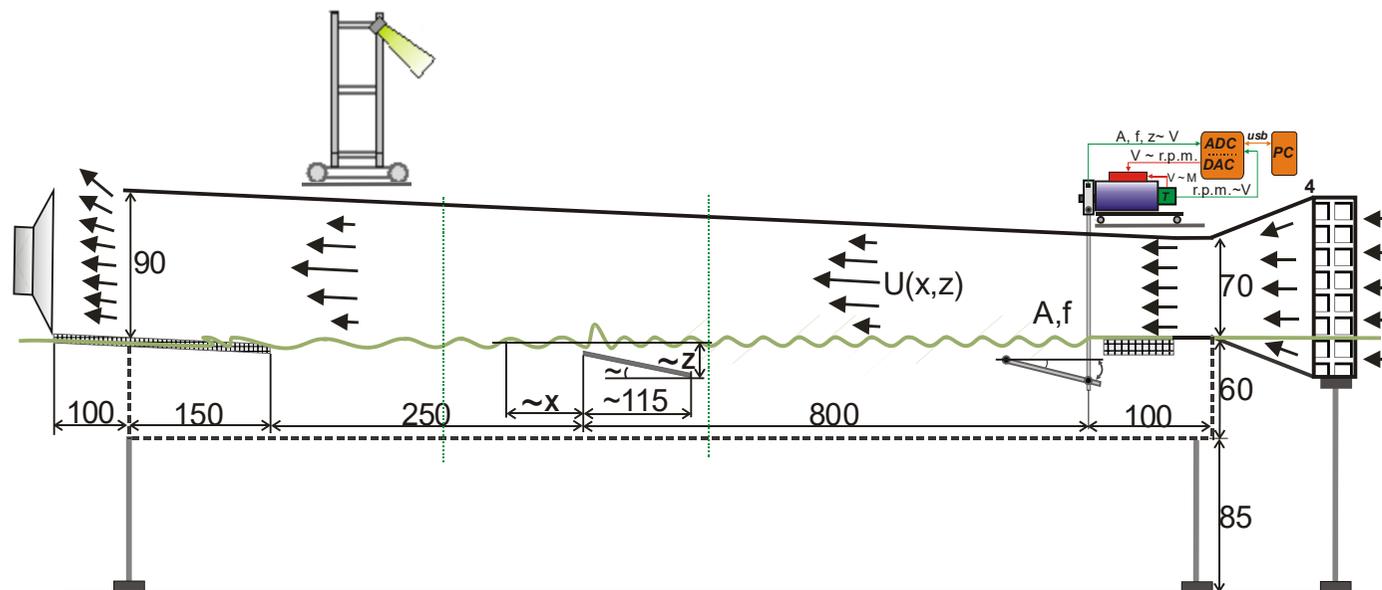
Ранее анализ доплеровских спектров рассеянного сигнала и их сопоставление со спектральным распределением по фазовым скоростям поверхностных волн продемонстрировал, что скорость рассеивателей на 10-15% превышает фазовую скорость энергонесущей волны. Это говорит о том, что основным рассеивателем являются обрушающиеся гребни ветровых поверхностных волн.



Спектральное распределение ветровых волн по фазовым скоростям и принятого РЛ сигнала по доплеровским скоростям рассеивателей

Основной вклад в рассеяние вносят элементы, скорость которых существенно превышает не только скорость энергонесущих волн, но и коротковолновой ряби, генерируемой на склонах длинных волн.





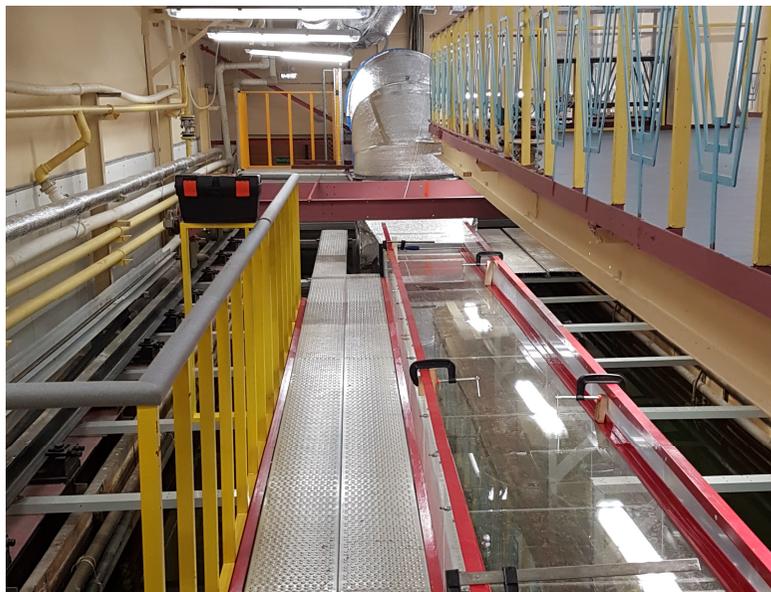
Поперечные размеры канала:
от 0.7x0.7 м до 0.7x0.9 м

Длина канала:
12 м

Углы падения:
 $\vartheta = 30^\circ - 50^\circ$

Скорость ветра:
 $U_{10} = 12-50$ м/с

Расстояние до поверхности воды:
 $R = 3.16$ м



Радиопрозрачное окно в рабочей секции

Волнопродуктор запускает цуг из 3 волн
с частотой 1,04 Гц. Для каждой
комбинации параметров (скорость ветра,
заглубление пластины и угол
зондирования) было выполнено
25 циклов.

Площадь покрытия пеной определялась
при помощи видеосъемки с частотой
50 кадров в секунду

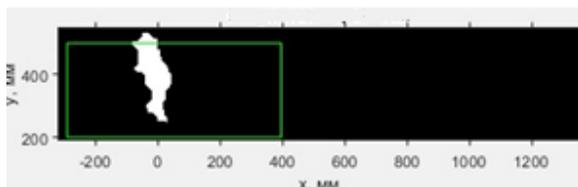
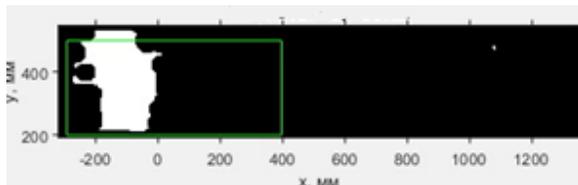
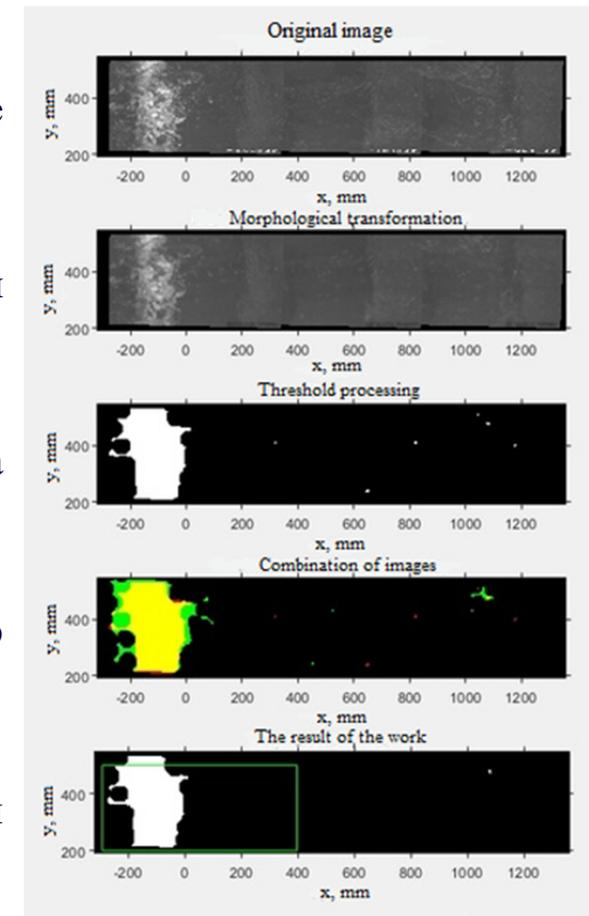
Исходное изображение

Результат морфологического преобразования

Пороговая обработка

Сочетание изображений. Цветом – результат с двух камер

Результат обработки. Обрушения показаны белым цветом

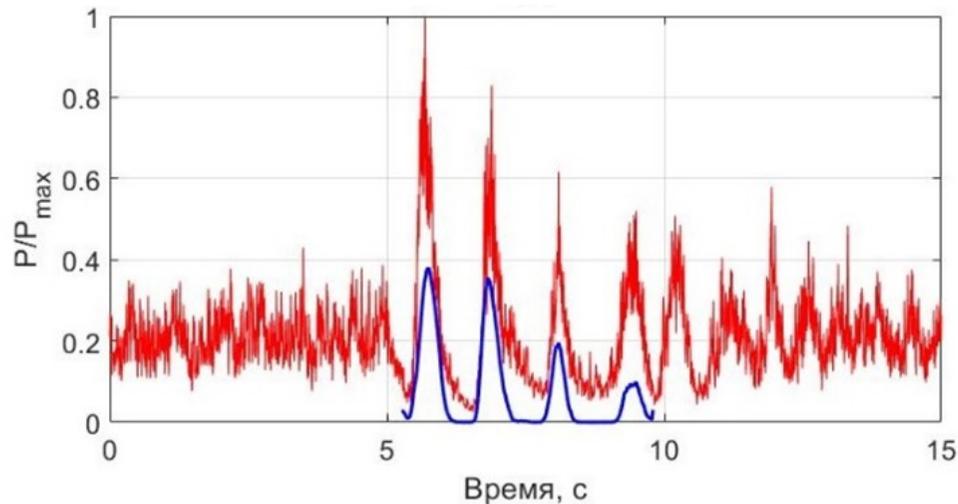


Результат обнаружения области обрушения для двух моментов времени при прохождении второго и третьего гребней волны.

Выделенная область с обрушением показана белым цветом.

Зеленая рамка – граница обрабатываемой подобласти.

После прохождения первой обрушающейся волны водная поверхность выглаживается, и вклад коротковолновой ветровой ряби в рассеянный сигнал почти исчезает. Этот эффект можно наблюдать для совмещенных зависимостей удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР) от доли пенного покрытия q при всех скоростях ветра.

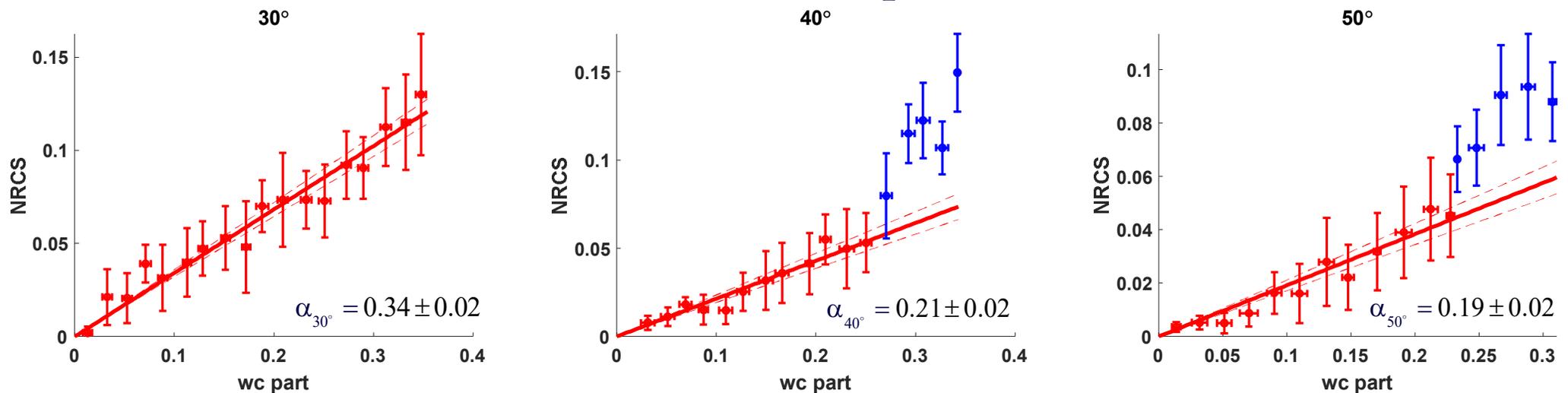


Сопоставление временных зависимостей мощности рассеянного сигнала (**красная линия**) и доли поверхности, занимаемой областью обрушившегося гребня волны (**синяя линия**) для ортогональной поляризации

Для дальнейшей обработки была выбрана вторая волна цуга, поскольку ее обрушение проходило на выглаженной откатом предыдущей волны водной поверхности, и таким образом практически исключалось влияние коротковолновой ряби на формирование рассеянного сигнала.

Зависимость УЭПР от доли обрушений не зависит от скорости ветра, а значит, и от параметров волнения, которое определяется скоростью ветра. Это связано с тем, что в данном эксперименте из-за ограниченности области засветки радиолокатора в нее попадает лишь часть гребня обрушивающейся волны, которая, окружена выглаженной поверхностью воды.

$$\sigma = \alpha \times q$$



Зависимости УЭПР водной поверхности для ортогональной поляризации от доли пенного покрытия q для трех углов зондирования

Для более пологих углов зондирования обнаружен резкий скачок зависимости УЭПР от q при увеличении доли обрушений выше **0.24 (синие точки)**, которые соответствуют непосредственно обрушению гребня волны в центре области наблюдения. Возможно, это связано с переотражениями сигнала на полостях внутри обрушений.

Поскольку характерные значения q в лабораторном эксперименте без искусственного обрушения волн редко достигали величины **0.2**, было принято решение учитывать при обработке линейную часть зависимости (**красные точки**).

Обнаружено, что основной вклад в рассеяние радиолокационного сигнала вносят обрушения гребней энергонесущих волн.

Обнаружена монотонная зависимость мощности принимаемого сигнала на ортогональной поляризации при увеличении доли поверхности воды, покрытой обрушениями (барашками).

Обнаружено, что после достижения пиковой мощности на максимальной площади доли покрытия барашком значение мощности падает ниже фона, что связано с выглаживанием водной поверхности на заднем склоне волн.

В предположении, что в эксперименте при интенсивном обрушении волны на выглаженной поверхности рассеянный сигнал формируется только на структурах обрушений, предложены зависимости УЭПР от площади обрушений для трёх углов зондирования, которые при совмещении с данными о зависимости доли покрытия обрушениями от скорости ветра, в дальнейшем позволит сконструировать геофизическую модельную функцию для ортогональной поляризации излучения X-диапазона.

Спасибо за внимание!