

Двадцать вторая международная конференция “СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА” Москва, 2024 г.

Эксперименты по зондированию пластикового мусора в воде в Ka-/X-/C-/S диапазонах

С.А. Ермаков, В.А. Доброхотов, Л.М. Плотников, О.А. Даниличева, Г.В.
Лещев, Г.Е.Хазанов, А.В. Купаев, И.А. Сергиевская

Институт прикладной физики РАН



Пластиковый мусор в океане

“The practice of remote sensing in the detection of litter debris in water is a relatively new field, and the potential and capabilities of SAR are yet to be fully understood“ - M.Simpson et.al. Monitoring of Plastic Islands in River Environment Using Sentinel-1 SAR Data. Remote Sens. **2022**.

Most particles found in the net (with plastic litter) were made of polyethylene (63%), followed by polypropylene (32%). Suaria et.al. MPB, **2023**

ПМ концентрируется на конвергентных течениях и в ветровых полосах (“windrows”), см. например, Kikaki et.al. Remote Sens. 2020, I. Ruiz et.al. Frontiers Mar. Sci., 2020

Проявления **микропластика** предположительно связывают с биопленками, на морской поверхности, связанными с развитием микроводорослей на плавающих в воде частицах пластика и с соответствующими сликовыми структурами (см. *N. Davaasuren et.al.*, DETECTING MICROPLASTICS....USING SAR. *IGASRSS*, 2018

Механизмы РЛ рассеяния на ПМ в воде

Возможные механизмы РЛ рассеяния

- Подавление ветровых волн био-пленками на ПМ (развиваются алгоритмы обнаружения микропластика)
- Рассеяние на пластиковых макро объектах, включая отражение от смоченных водой поверхностей пластикового мусора, либо от внутренних поверхностей пластиковых объектов на границах с водой
- Рассеяние на ветровом волнении в условиях его трансформация макро пластиком

Цели работы

- Экспериментальное исследование влияния ПМ на волны (затухание волн дм-м-диапазона)
- Рассеяние микроволн из **области ПМ** :
 - а) выступающий ПМ (поролон, рассеяние на воздушных пузырях под ПЭ пленками, на неровностях выступающего ПМ)
 - б) притопленный ПМ (рассеяние “вторичной” ряби, возбуждаемой колебаниями пластика в поле ПВ, пузыри под пленкой и пр.)
- **“РЛ след” вне области ПМ** (каскадное подавление мелкомасштабных рассеивателей микроволн ПКР/bulge при затухания дм-м-волн)

Плавсредства



УИС ВГУВТ «Петр Андрианов» - радар X-/C-/S-диапазонов



Плавучая гидрофизическая лаборатория ИПФ РАН «Геофизик»



Моторная лодка Волжанка-46

Эксперименты с УИС “Петр Андрианов”

Пластик :

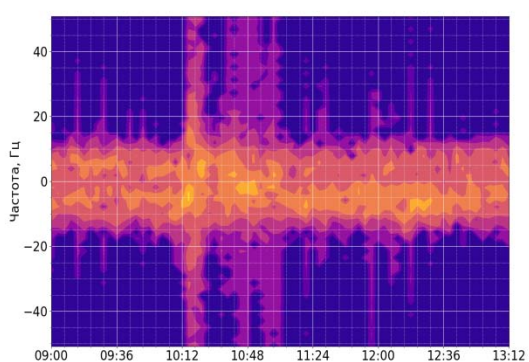
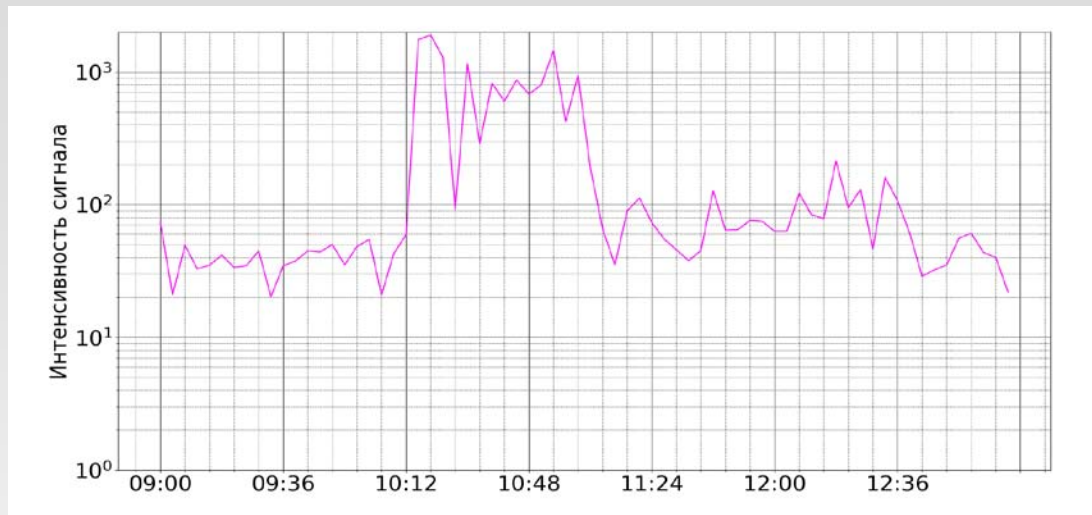
- “пузырчатая пленка”, толщина 2 мм,

-ПЭ- пакеты,

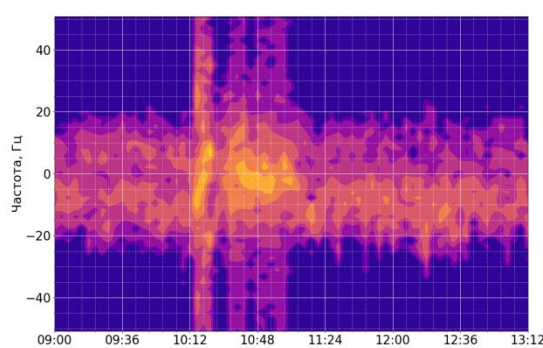


Зондирование ПМ в X-/C-/S-диапазонах

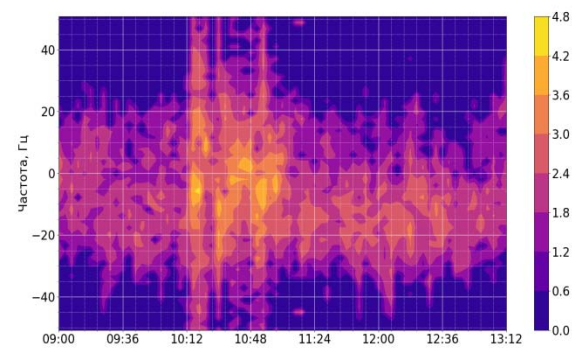
Эксперименты с УИС “Петр Андрианов”, пленки дрейфуют по ветру мимо РЛ



S- (3 ГГц VV)

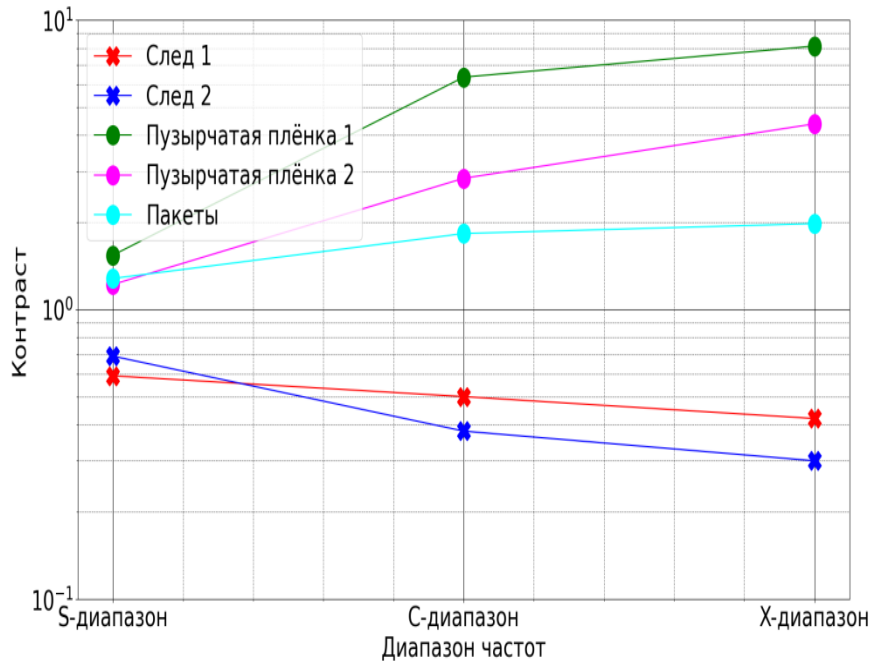


C- (6 ГГц VV)

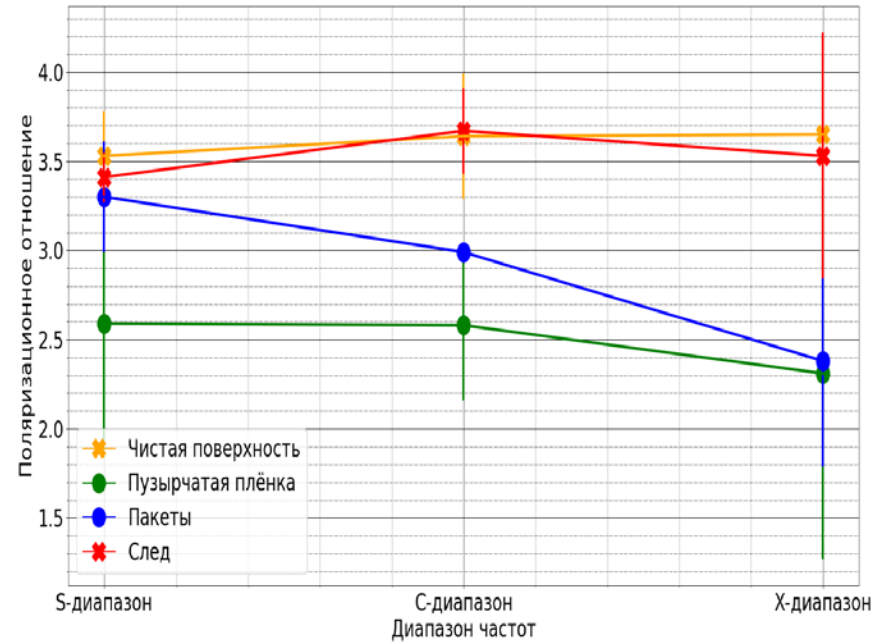


X- (10 ГГц, VV)

Зондирование ПМ в X-/C-/S-диапазонах



Контрасты



Поляризационное отношение

Пузырчатая пленка: контраст растет с k , доплер сдвиги соответствуют скорости дрейфа пленки. ПО –мало: значителен вклад небрэгговской компоненты

Пакеты (притоплены): контрасты незначительны, ПО в S- как для фонового волнения, в X- \approx как для пузыр пленки (рост вклада неполяризованного рассеяния)

След: пузырчатая пленка, пакеты - нет

Эксперименты с плавучей лаборатории “Геофизик”, (скаттерометры Ka- и X- диапазонов)



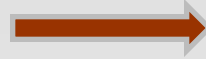
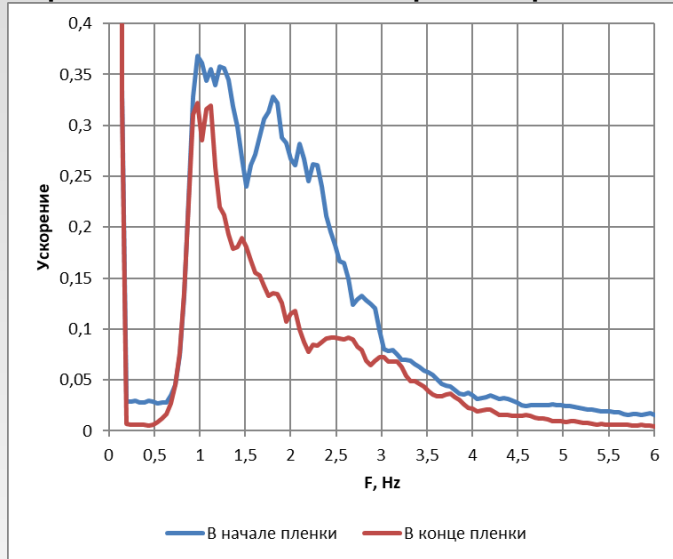
Тонкая (“парниковая”) ПЭ-пленка,
200 мкм, притапливание



Гирлянды из поролона (куски
0.5м x0.5 м), удерживаются
буйком)

Затухание ветровых волн на фрагментированном ПМ (поролон)

Измерения ГКВ: акселерометры в начале и в конце области ПМ

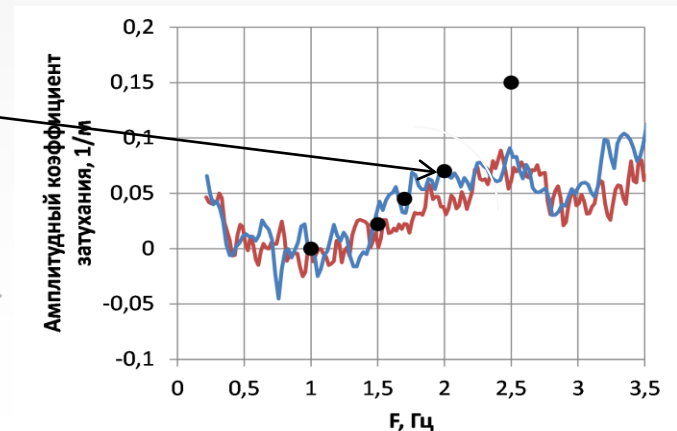


Спектры ускорения в ветровых волнах.
Поролон, скорость ветра 2.5-3 м/с

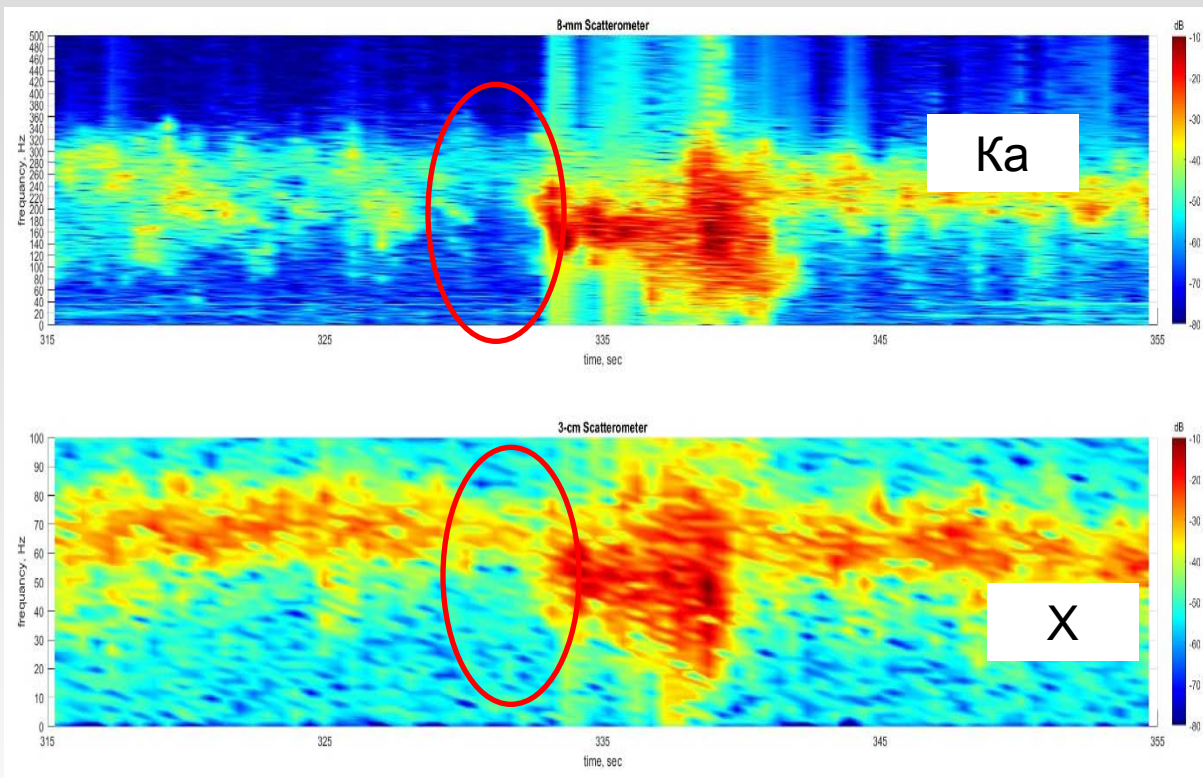
Коэффициент затухания ГКВ на гирляндах из поролона (**max** при $\lambda/l \approx 1$)

$$\delta = \sqrt{\frac{v\omega k^2}{8}} / C_g(k)$$

Сравнение. Коэффициент затухания ГКВ на пузырьчатой пленке (Ермаков и др. СПДЗЗиК, 2023) в $3 \rho <$, чем на поролоне

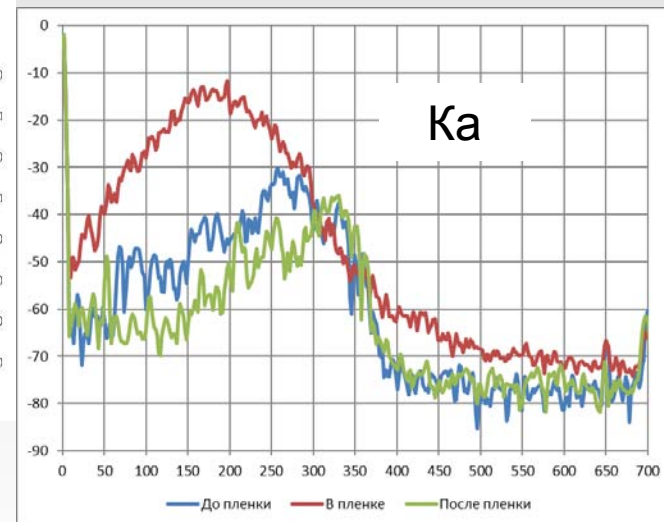


Рассеяние на ПМ (поролон) в Ka- и X-диапазонах



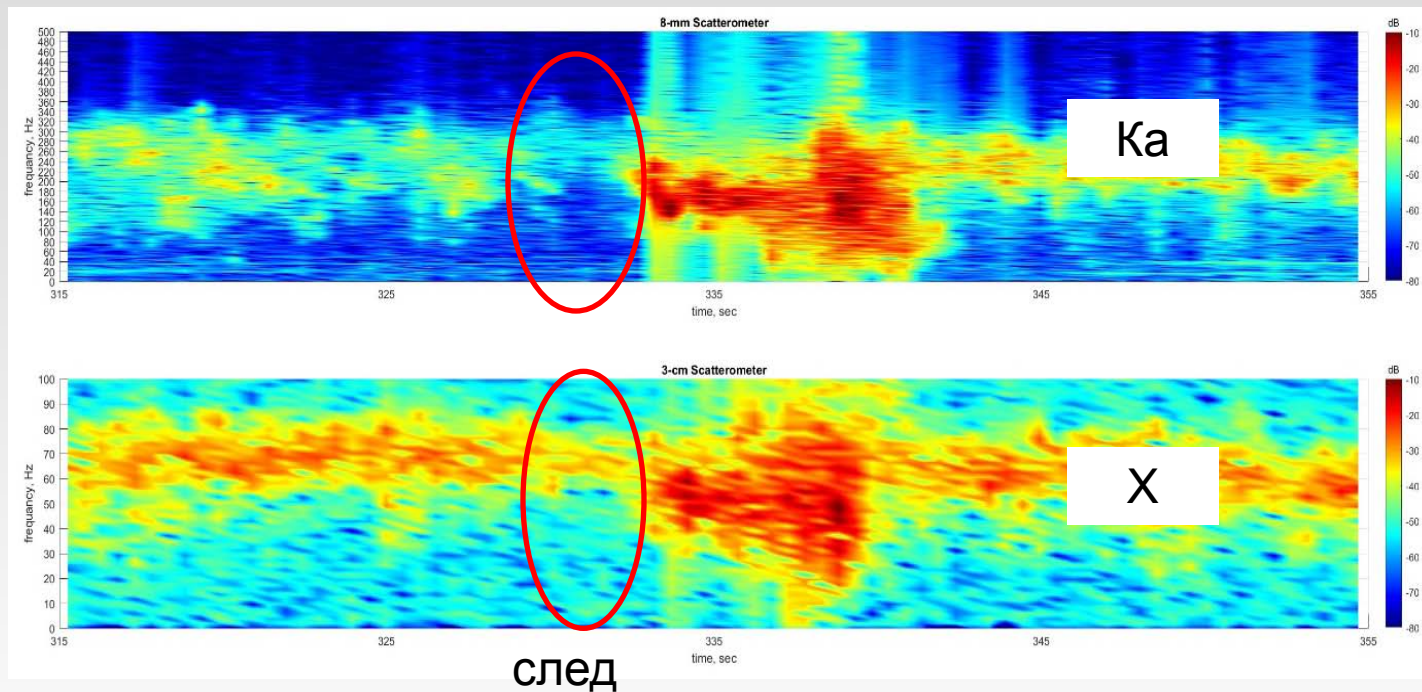
← Ветер, волны

Спектрограммы РЛ сигнала для 8 мм и 3 см скаттерметров. 8 мм-НН, азимутальный угол – **45 градусов**. Движение против ветра. Скорость ветра – 3 м/с.



Доплеровские спектры РЛ рассеяния на поролоне, VV, азимутальный угол 45 град.

Рассеяние в Ka /X диапазонах (поролон II)

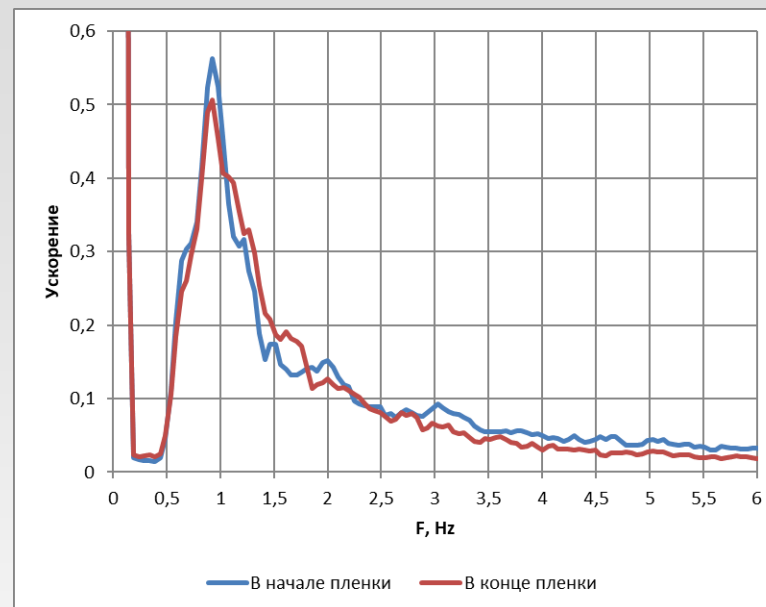


Спектрограммы интенсивности обратного РЛ рассеяния по данным 8 мм и 3 см скаттерометров. VV поляризация, азимутальный угол – 45 град. Движение навстречу ветру. Скорость ветра – 3.5 м/с.

Затухание ветровых волн на тонкой ПЭ-пленке

Измерения ГКВ: акселерометры в начале и в конце области ПМ

Свободная с одного конца, может как иметь воздушные пузыри над поверхностью, так и притапливаться под воздействием ветрового волнения.

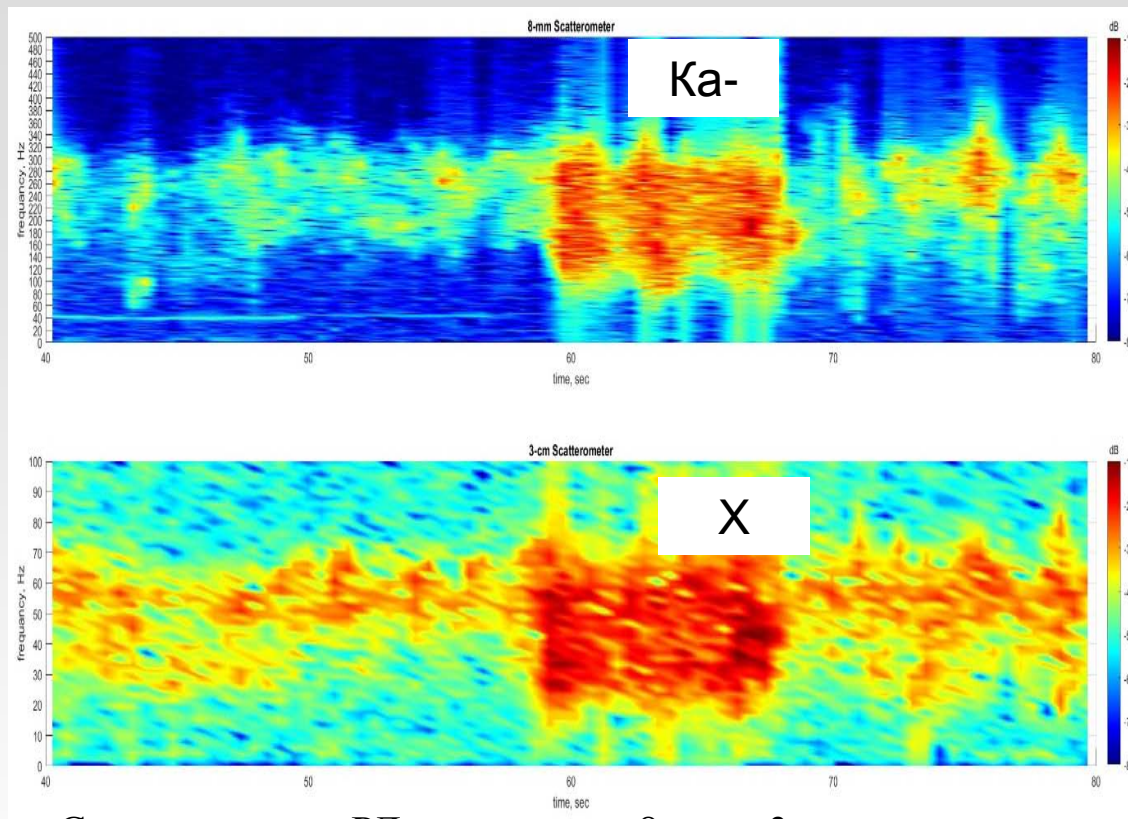


Спектры ускорения в ветровых волнах на пленке 200 мкм . Измерения акселерометрами.

Скорость ветра 3-4 м/с
ПЛЕНКА ПРИТОПЛЕНА!

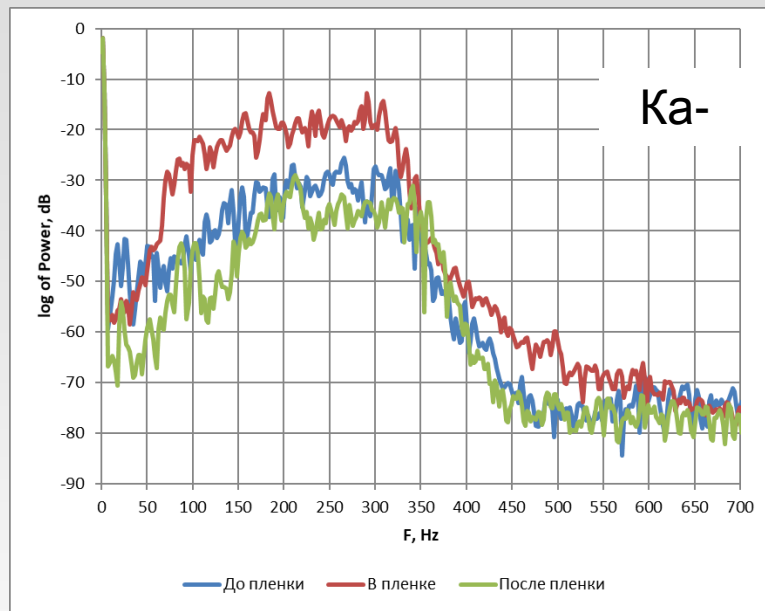
Коэффициент затухания ветровых волн на тонкой притопленной ПЭ-пленке мал

Рассеяние на тонкой (притопленной) ПЭ-пленке



Спектрограмма РЛ сигнала для 8 мм и 3 см скаттерометров. VV поляризация 8 мм радиолокатора, азимутальный угол – 45 градусов. Движение судна навстречу ветру. Скорость ветра – 3 м/с

Спектры РЛ рассеяния на тонкой (притопленной) ПЭ-пленке



Доплеровские спектры РЛ сигнала, VV поляризации, при азимутальном угле зондирования 45 градусов.

Доп сдвиг \approx не меняется,
рассеяние из области пленки
значительно, “следа” \approx нет

Рассеяние из области притопленной пленки связано с вторичными волнами, возбуждаемыми при колебаниях пленки в поле ветровых волн

Выводы

В ходе выполненных натуральных экспериментов по зондированию пластикового мусора в Ka-/X-/C-/S-диапазонах с разными типами ПМ получено, что

- ветровые волны дм-м-диапазонов могут существенно (в частности, для ПМ из поролона) подавляться при прохождении области ПМ, тонкая притопленная ПЭ-пленка слабо влияет на затухание ветровых волн
- в подветренной части области ПМ возможно формирование области РЛ тени (следа), обусловленной подавлением ветровых волн
- интенсивность рассеяния на фрагментированном ПМ, а также на плавающей (пузырчатой) ПЭ-пленке существенно превышает рассеяние на ветровых волнах,
- рассеяние из области притопленной пленки связано с вторичными ГКВ, возбуждаемыми колебаниями пленки в поле ветровых волн

Спасибо за внимание !

Работа выполнена при поддержке РФФ
Проект № 23-17-00167