

**Лабораторное исследование особенностей  
радиолокационного рассеяния Ка-  
диапазона гравитационно-капиллярными волнами на  
поверхности воды, покрытой полиэтиленовой пленкой**

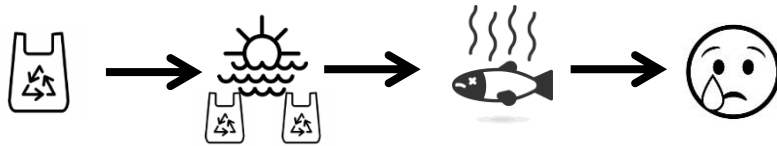
**Доброхотов В.А., Ермаков С.А.,  
Сергиевская И.А.**

**ИПФ РАН, 2023**

Загрязнение океана пластиковым мусором (ПМ) и дистанционная диагностика последнего является сегодня одной из актуальных экологических проблем. Важную роль в развитии методов дистанционной диагностики играют спутниковые радиолокаторы микроволнового диапазона.

Макропластик, т.е. плавающие на поверхности или в приповерхностном слое воды пластиковые предметы с размерами порядка единиц – десятков см и более может оказывать существенное влияние на распространение мелкомасштабных ветровых волн см-дм-диапазона длин, в том числе, на их затухание, что может служить физической основой для развития методов радиолокационной (РЛ) диагностики ПМ.

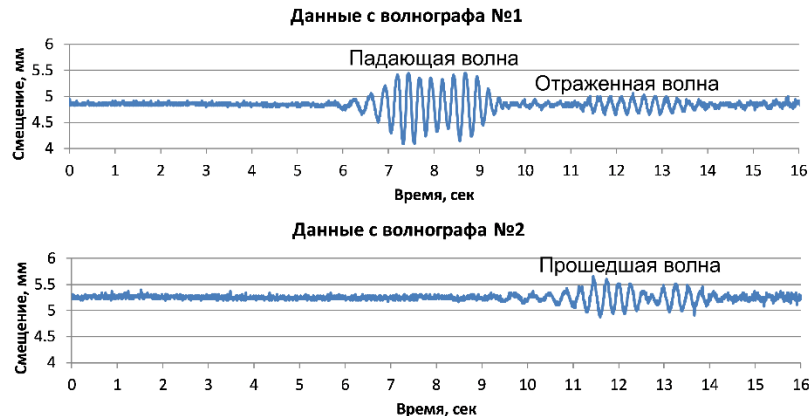
Настоящая работа посвящена лабораторному моделированию влияния ПМ, а именно полиэтиленовой (ПЭ) пленки, на затухание гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) на поверхности воды, а также особенностям обратного РЛ рассеяния микроволн Ка-диапазона гравитационно-капиллярными волнами, распространяющимися в области пленки.



Исследования проводились в ветро-волновом бассейне ИПФ РАН, в котором с помощью механического волнопродуктора возбуждались ГКВ с различной крутизной. ГКВ распространялись через область поверхности воды, покрытую ПЭ пленками различной толщины и структуры, а именно, тонкой стрейч-пленкой (толщина 20 мкм), толстой пленкой (толщина 200 мкм) и “пузырчатой” пленкой с толщиной 2 мм. Измерения амплитуд волн выполнялись струнными волнографами. РЛ зондирование ГКВ проводилось с использованием скаттерметра Кадиапазона, работающего на вертикальной и горизонтальной поляризациях, угол падения микроволн составлял  $55^{\circ}$ .



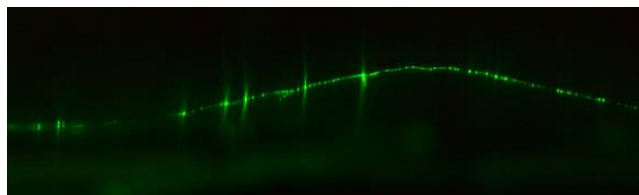
Схема эксперимента по затуханию гравитационно-капиллярных волн при прохождении области, покрытой полиэтиленовой пленкой



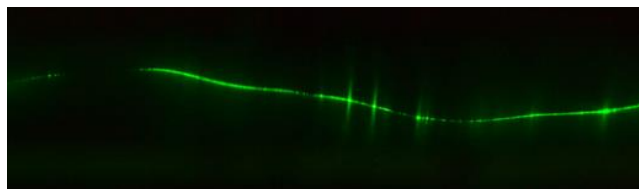
Пример цугов гравитационно-капиллярных волн



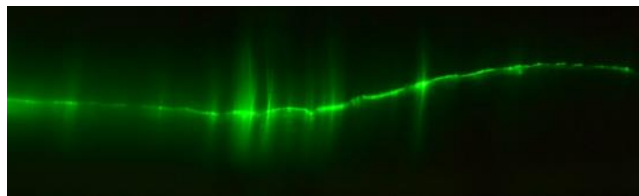
Чистая поверхность



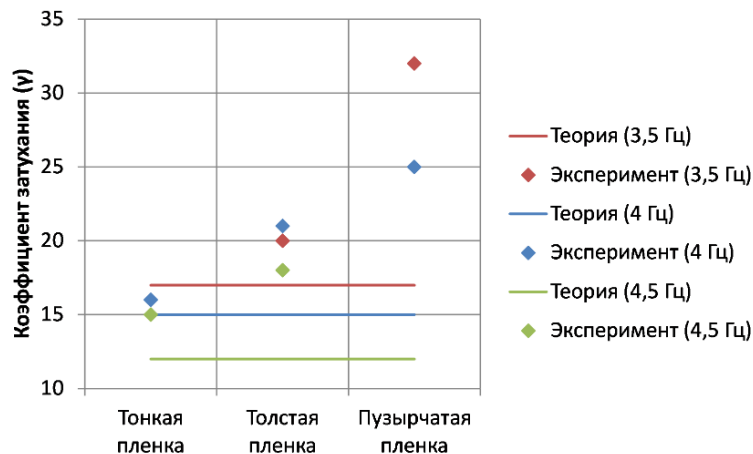
Тонкая стрейч-пленка



Толстая парниковая пленка



Пузырчатая пленка



$$\gamma^{\text{экс}} \approx \frac{\ln \left( \frac{A_{\text{пр}}}{A_{\text{пад}} * \sqrt{(1 - K_{\text{отр}}^2)}} \right) * \frac{v_{\text{гп}}}{L}}{2vk^2}$$

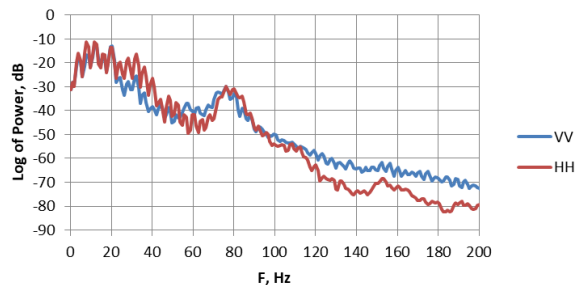
$$\gamma^{\text{теор}} = \sqrt{\frac{v\omega k^2}{8}} = \sqrt{\frac{\omega}{32vk^2}}$$

$A_{\text{пр}}$  – амплитуда прошедшей волны,  
 $A_{\text{пад}}$  – амплитуда падающей волны,  
 $K_{\text{отр}}$  – коэффициент отражения от границы пленки,  $v_{\text{гп}}$  – групповая скорость волн,  $L$  – длина пленки,  $k$  – волновое число,  $\omega$  – частота волны,  $\nu$  – вязкость воды

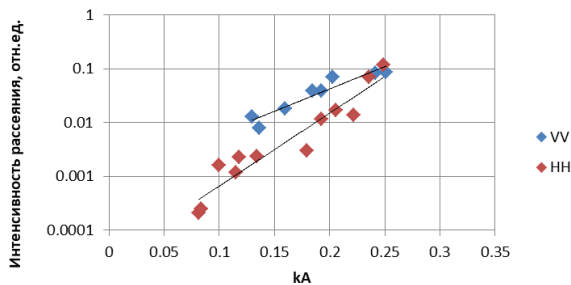
Примеры профилей ГКВ на чистой поверхности и в области, покрытой пленкой (слева).

Сравнение полученных экспериментально коэффициентов затухания и теоретических для модели затухания на абсолютно нерастяжимой упругой пленке с нулевыми изгибными напряжениями (сверху).

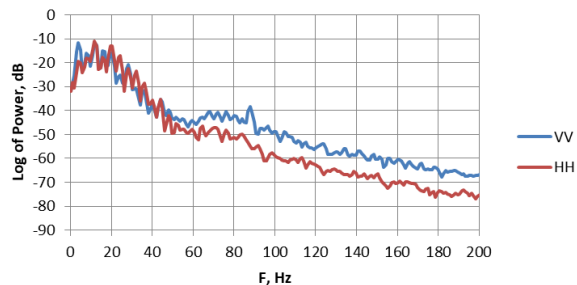
Читая поверхность,  $kA = 0.25$



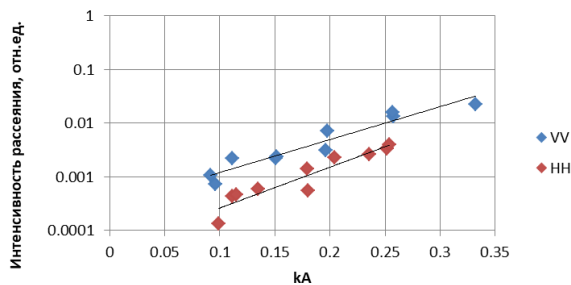
Чистая поверхность



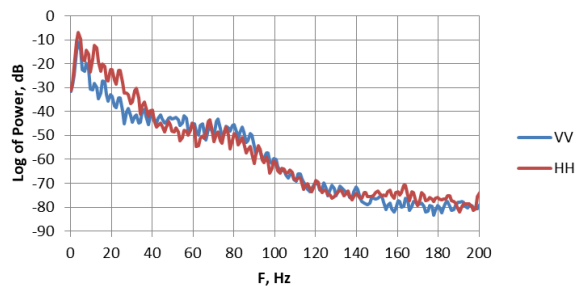
Тонкая пленка,  $kA = 0.25$



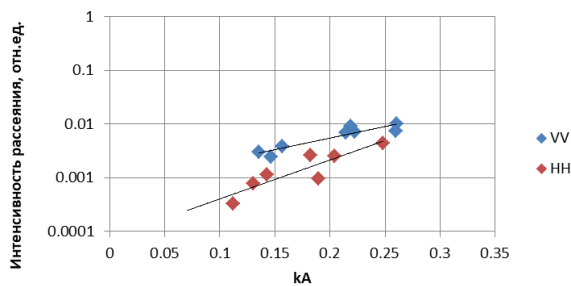
Тонкая пленка



Толстая пленка,  $kA = 0.26$

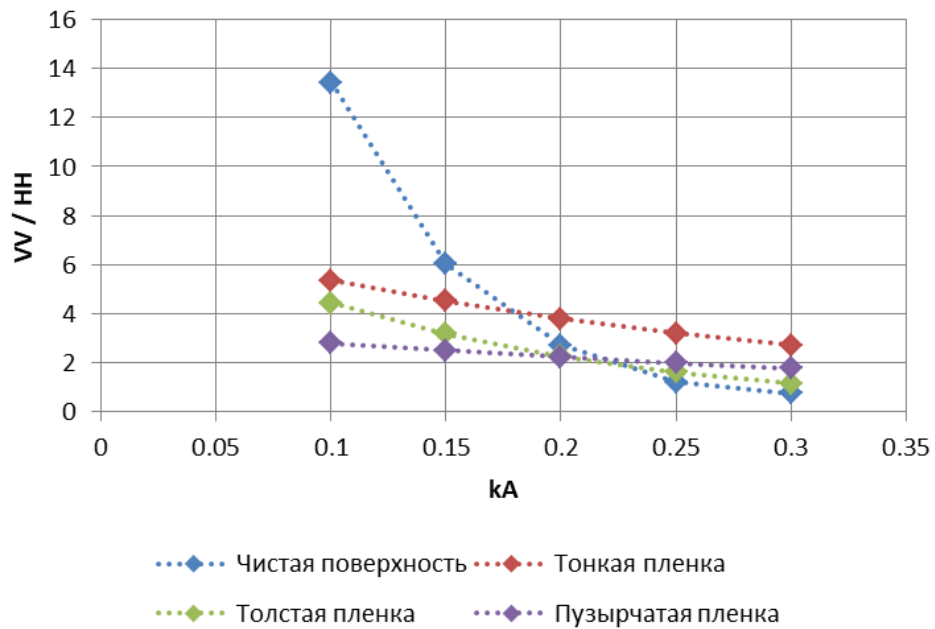


Толстая пленка



Примеры спектров радиолокационного рассеяния на чистой поверхности и в области, покрытой пленкой.

Графики интенсивности радиолокационного рассеяния по полученным спектрам в диапазоне частот от 45 Гц до 100 Гц для различных крутизн падающих волн.



Поляризационное отношение ( $V/V_{HH}$ ) в зависимости от крутизны волны по данным интенсивности радиолокационного рассеяния

# Заключение

- Гравитационно-капиллярные волны затухают при прохождении области, занятой полиэтиленовой пленкой, коэффициент затухания растет с ростом толщины пленки.
- Полиэтиленовую пленку с толщинами порядка десятков мкм можно описывать как абсолютно нерастяжимую упругую пленку с нулевыми изгибными напряжениями.
- Паразитная капиллярная рябь и bulge-структуры, которые возникают на профиле гравитационно-капиллярных волн большой крутизны, являясь основной причиной рассеяния излучения в Ка-диапазоне, существенно подавляются полиэтиленовыми пленками, при этом соответственно уменьшается и интенсивность радиолокационного сигнала.
- Радиолокационное рассеяние в присутствии пленки становится более неполяризованным по сравнению с рассеянием от гравитационно-капиллярных волн на чистой воде.
- Воздушные пузырьки под пленкой и капли воды на пленке приводят к увеличению интенсивности радиолокационного рассеяния.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-17-00167).