

Лабораторное исследование обратного рассеяния излучения X-диапазона нелинейными гравитационно-капиллярными волнами

С.А. Ермаков^(1,2), И.А. Сергиевская^(1,2), В.А. Доброхотов⁽¹⁾, Г.Е. Хазанов⁽¹⁾, О.А. Даниличева⁽¹⁾, Т.Н. Лазарева⁽¹⁾

(1) Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

(2) Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Анализ физических механизмов рассеяния микроволнового излучения на гравитационно-капиллярных волнах (ГКВ) является важной частью проблемы радиолокационной диагностики морской поверхности. Несмотря на значительное число исследований по данной проблеме, имеется ряд пока не до конца выясненных вопросов, касающихся, в частности, природы рассеяния на ГКВ с длинами в диапазоне от 4-5 см до 20-30 см. Обратное рассеяние СВЧ излучения при средних углах падения на ГКВ малой амплитуды, когда профиль волн является квазисинусоидальным, отсутствует, если не выполняется условие брэгговского рассеяния, что подтверждается экспериментом. Однако, с ростом амплитуды (крутизны) ГКВ интенсивность рассеяния резко возрастает даже в отсутствие брэгговского резонанса для см-дм-длин. Причиной этого является то, что на профиле см-дм-ГКВ достаточно большой крутизны формируется т.наз. паразитная капиллярная рябь, а также валообразные (bulge/toe) структуры вблизи гребня волн. Паразитная рябь вблизи гребня имеет длину порядка 0.5-0.6 см, которая уменьшается при распространении вниз по переднему склону ГКВ. Для такой ряби выполняется условие брэгговского резонанса при зондировании в Ка-диапазоне, что, как было показано в наших предыдущих экспериментах, и определяет значительный вклад брэгговской компоненты в рассеяние. Bulge/toe структуры имеют масштаб около 1 см и более, давая вклад в неполяризованную компоненту рассеяния. Последнее было подтверждено тем, что пленки поверхностно-активного вещества подавляют паразитную рябь сильнее, чем bulge/toe, в результате чего рассеяние становится практически неполяризованным. При зондировании в X-диапазоне паразитная рябь не обеспечивает брэгговский резонанс и, как можно ожидать, рассеяние должно определяться только bulge/toe структурами. Целью данной работы является экспериментальное исследование механизма обратного рассеяния излучения X-диапазона на ГКВ см-дм-длин.

Экспериментальная установка- Овальный ветроволновой бассейн ИПФ РАН

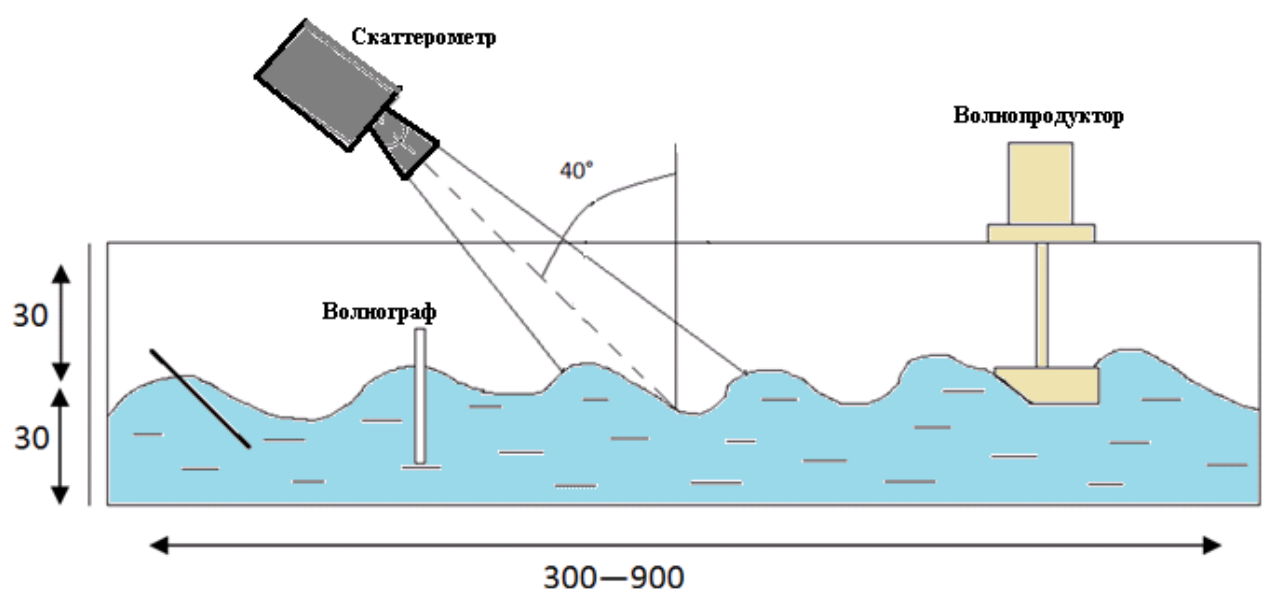
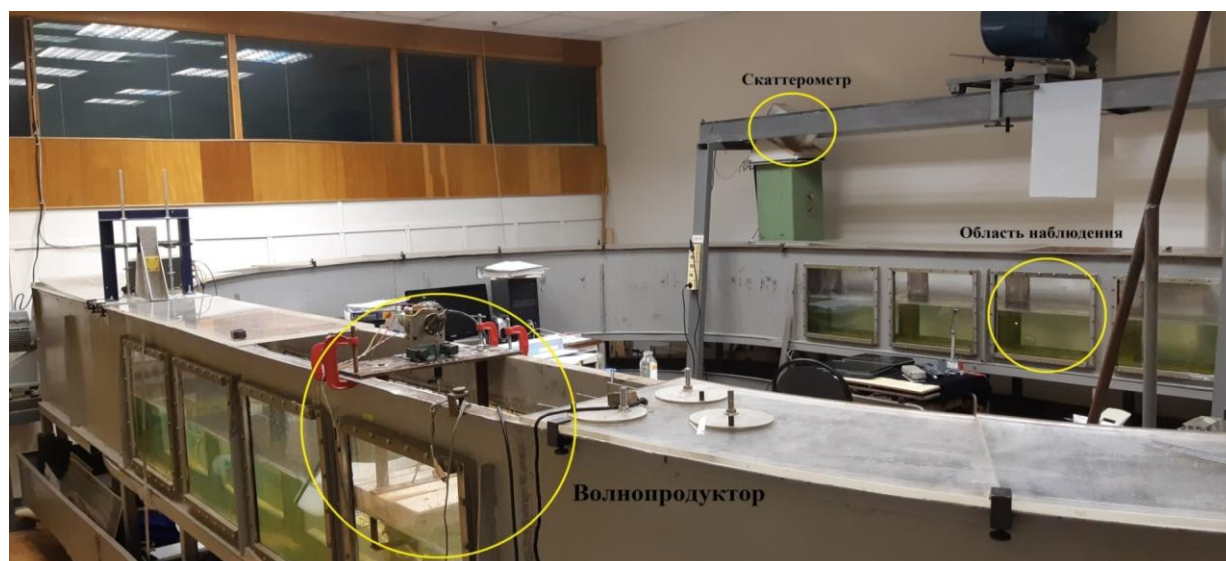
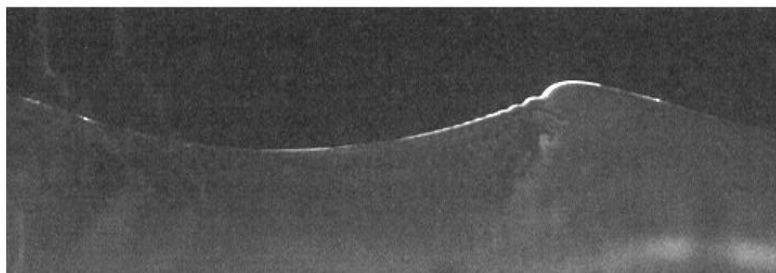


Рис.1. Схема эксперимента

Скаттерометр: рабочая длина волны 8.7 мм, угол падения СВЧ-излучения 57 град. (брэгговская длина волны 2 см)

ГКВ возбуждались механическим волнопродуктором на частотах 3 Гц и 4 Гц. Регистрация профиля ГКВ проводилась с использованием фотосъемки со специальной подсветкой. Размеры бассейна в см.

Профиль сильно нелинейных (крутых) дециметровых волн (частоты 3-4 Гц)



Фотография 4Гц-волны с паразитной капиллярной рябью на переднем склоне

Схема профиля крутых ГКВ

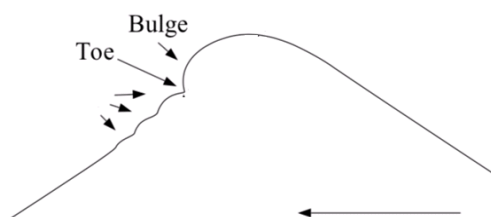


Рис.2. Профиль крутой ГКВ

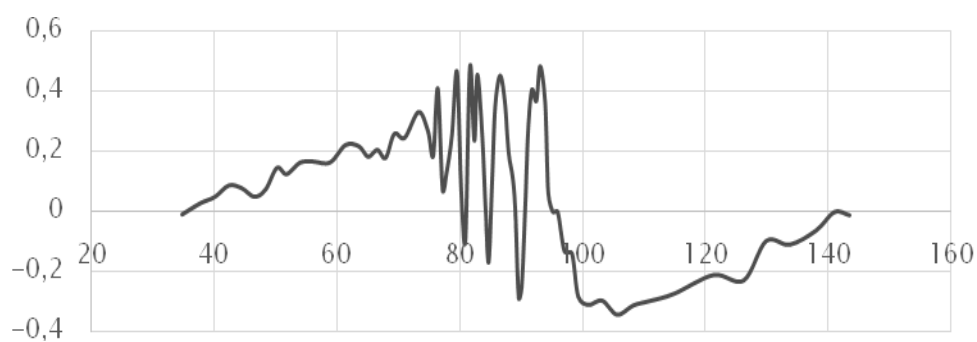


Рис.3. Оцифрованное изображение профиля ГКВ с частотой 4 Гц.
Чистая поверхность воды

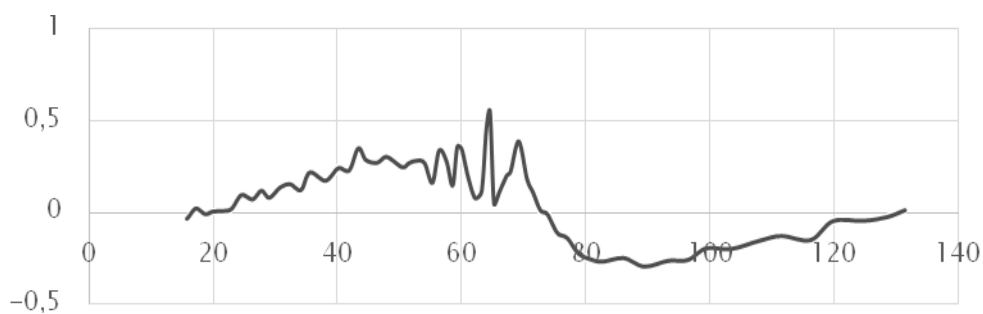


Рис.4. Оцифрованное изображение профиля ГКВ с частотой 4 Гц.
Поверхность воды с пленкой ПАВ

Кривизна bulge/toe - структур

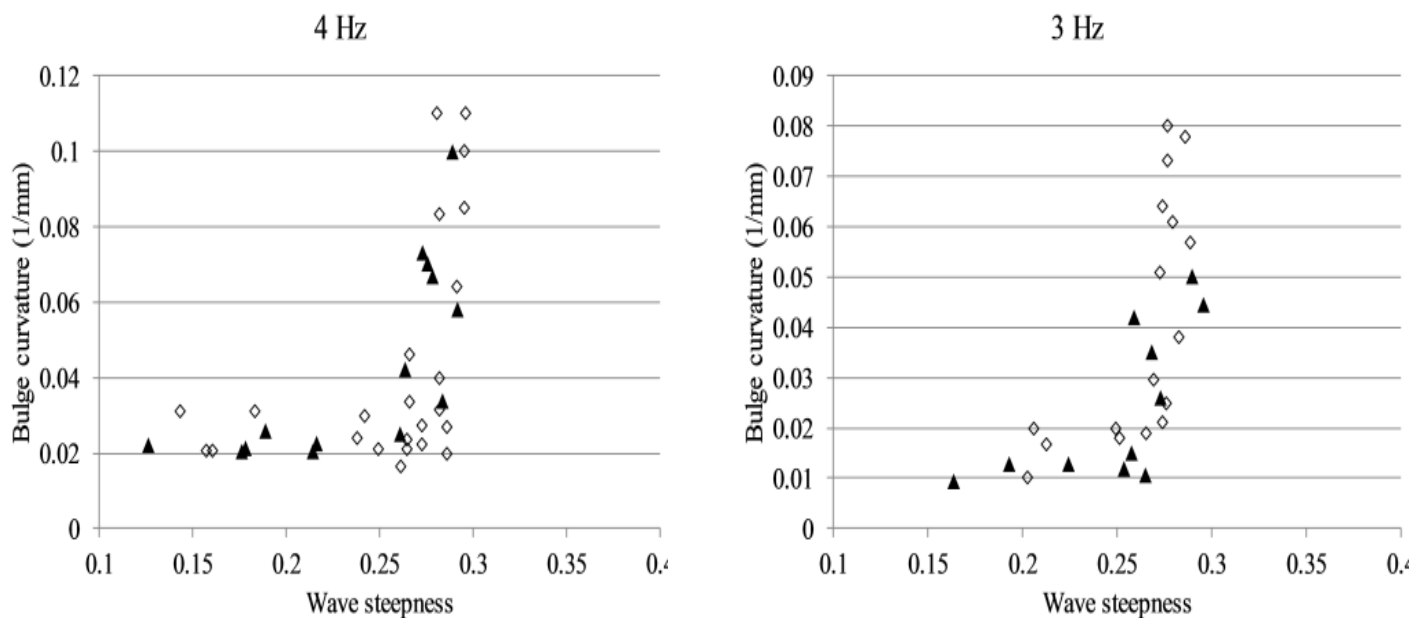


Рис. 5. Радиус кривизны bulge от крутизны переднего склона ГКВ для чистой воды (круги) и для воды с ПАВ (треугольники) [Ermakov et al., 2021]

Результат экспериментов (Ermakov et al., 2021): на профиле дм- ГКВ отсутствуют периодические структуры с масштабами порядка 2 см, т.е. брэгговские волны, кривизна bulge на гребне зависит от крутизны волны и слабо зависит от наличия пленки с достаточно малой концентрацией ПАВ, при этом паразитная рябь подавляется сильно.

Обратное рассеяние в X-диапазоне на коротких дециметровых волнах. Чистая поверхность и в присутствии пленки ПАВ

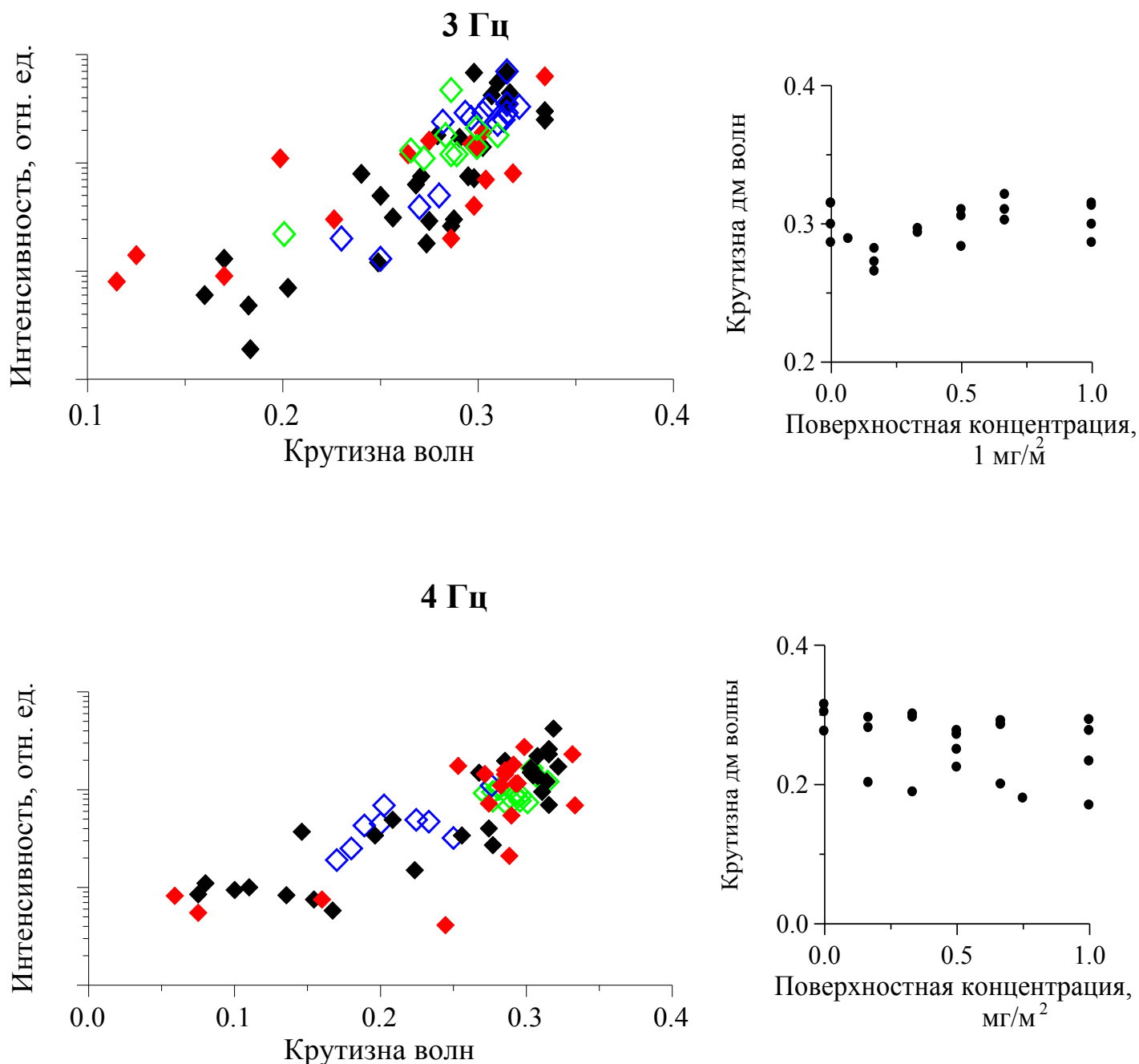


Рис.6. Интенсивность РЛ сигнала при рассеянии на крутых ГКВ.

Чистая поверхность : VV поляризация (черные символы), HH поляризация (красные символы).

Пленка: VV поляризация (синие ромбы), HH поляризация (зеленые ромбы).

Справа – зависимости крутизны ГКВ от концентрации ПАВ

Выводы

Показано, что обратное рассеяние в X-диапазоне при умеренных углах падения от дециметровых волн

- практически отсутствует на ГКВ малой амплитуды и резко возрастает с крутизной, начиная со значений порядка 0.1-0.15;
- определяется рассеянием на bulge-структурах на гребнях волн. Рассеяние неполяризованное, это подтверждается тем, что поляризационное отношение (отношение интенсивностей на VV и HH поляризациях) имеет порядок единицы, сколько-либо значимые периодические волны с брэгговской длиной волны на профиле коротких дециметровых волн и отсутствуют;
- доплеровский сдвиг спектра РЛ сигнала соответствует скорости движения дециметровой волны;
- обратное рассеяние зависит только от наклона волн, и не зависит от присутствия пленки ПАВ на поверхности, что связано с тем, что кривизна bulge определяется только наклоном волн.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 25-77-20016).