

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАССЕЯНИЯ
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ
СИЛЬНО НЕЛИНЕЙНЫМИ ГРАВИТАЦИОННО-
КАПИЛЛЯРНЫМИ ВОЛНАМИ.

С. А. Ермаков, И. А. Капустин, И. А. Сергеевская

Учреждение Российской Академии Наук
Институт прикладной физики РАН
603950 Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

ВВЕДЕНИЕ

- Гравитационно-капиллярные волны (ГКВ) характеризуются значительной крутизной.
- Обрушение коротких ГКВ (см-дм диапазон) проявляется в генерации паразитной ряби, «вмороженной» в профиль волны.
- Обрушение длинных волн (дм-м диапазон) проявляется в опрокидывании гребней с образованием турбулизованной области в жидкости.

ЦЕЛИ РАБОТЫ

- изучение гидродинамической природы рассеивателей радиолокационного сигнала обрушающимися волнами различных диапазонов длин
- исследование проявлений обрушений различных типов в характеристиках радиолокационных сигналов

Средства измерений

- СВЧ-скаттерометр Ka-диапазона (8.7 мм),
- Волнографы, фотосъемка,
- Акустический велосиметр (ADV 16 МГц)

Экспериментальная установка



Кольцевой бассейн ИПФ РАН

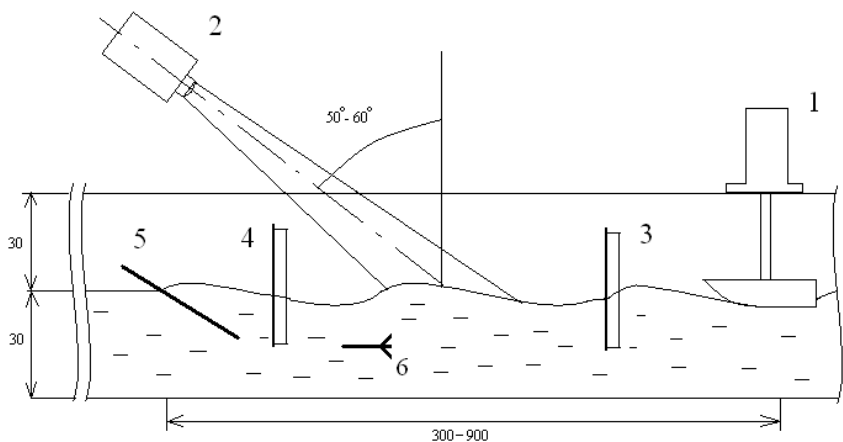
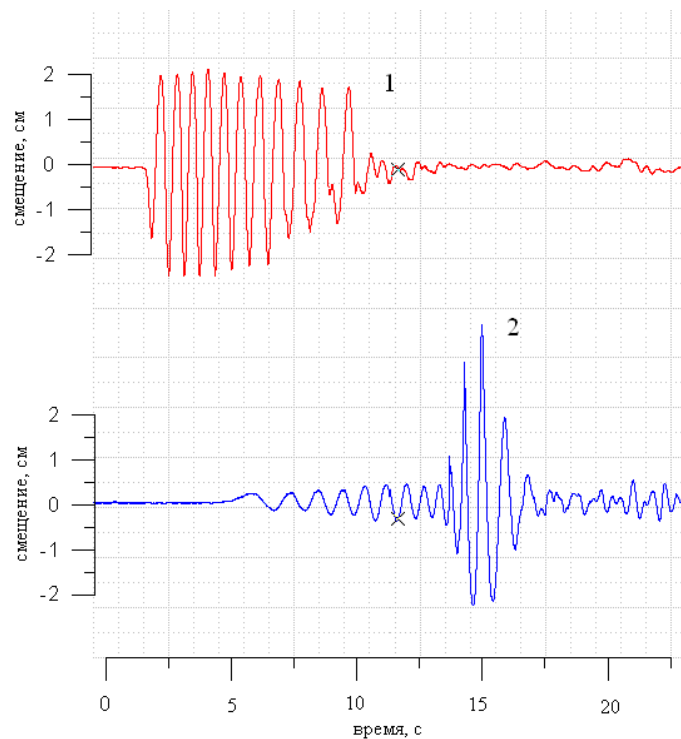


Схема экспериментальной установки в рабочей части бассейна

- 1 – волнопродукторы (1 – 5 Гц);
- 2 – СВЧ-скаттерометр;
- 3,4 – струнные волнографы;
- 5 – наклонный пляж;
- 6 – акустический измеритель скорости (ADV)

Создание обрушающихся волн



Дисперсионная фокусировка

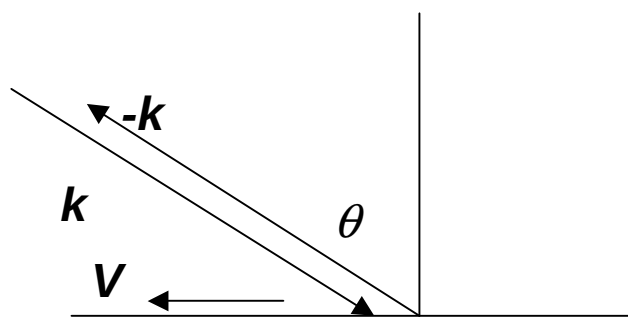
*1 – ЛЧМ волновой пакет;
2 – профиль волны вблизи
области наблюдения;*



Фотографии обрушения

Доплеровские спектры для крутых ГКВ 3 – 5 Гц

Механизм рассеяния



Брэгговское волновое число

$$k_b = 2k_e \sin \theta$$

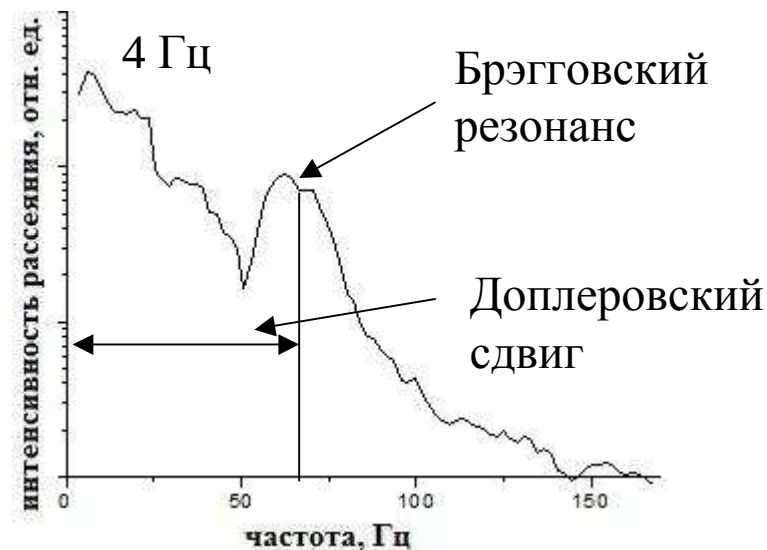
Доплеровский сдвиг

$$f_D = k_b V / 2\pi$$

k_e – волновое число э/м волны (длина волны излучения 8,7 мм);

V – фазовая скорость рассеивателей

Брэгговская длина волны для скатерометра Ка-диапазона 5-6 мм

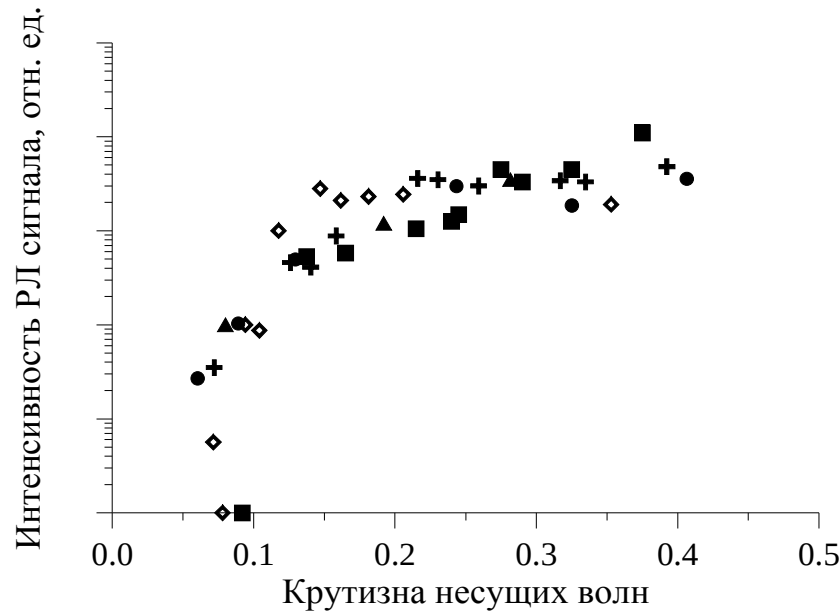


Вид доплеровского спектра для волн 3 - 5 Гц ($\lambda < 20$ см)

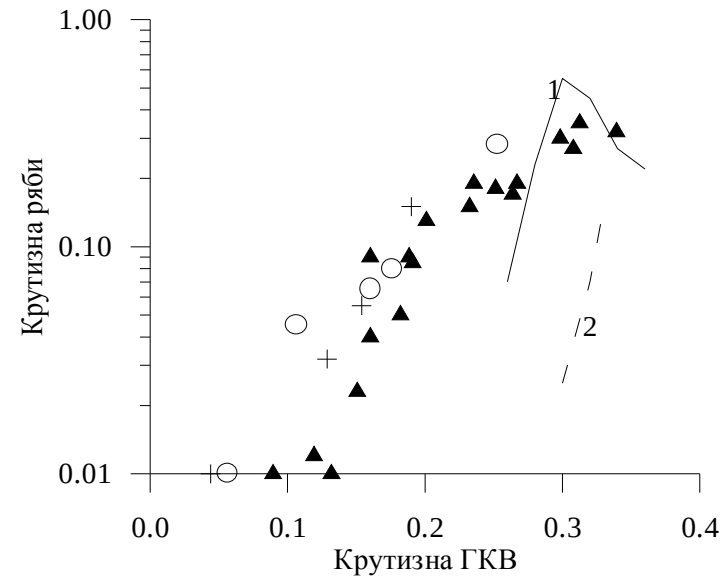
Для крутых волн с частотой 3 – 5 Гц рассеяние определяется паразитной рябью движущейся с фазовой скоростью основной волны.

Генерация ряби происходит при некотором критическом значении крутизны волны

Зависимости интенсивности РЛ рассеяния и крутизны ряби от крутизны несущих ГКВ 3 – 5 Гц

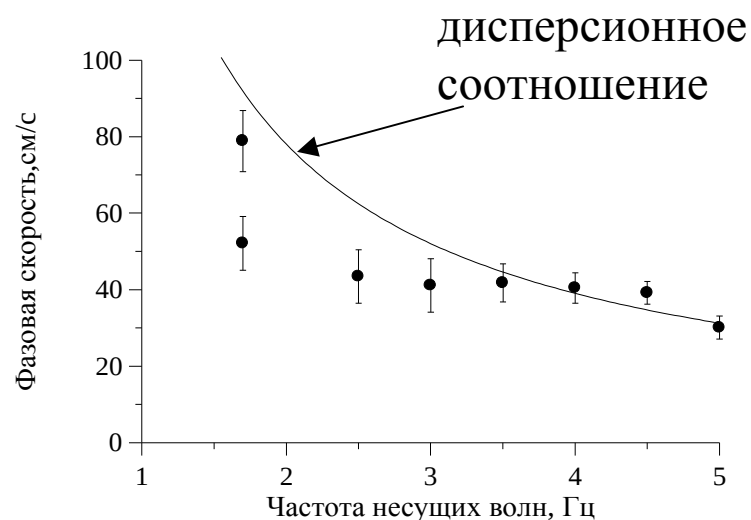


-Брэгговский пик проявляется в доплеровском спектре лишь при значениях крутизны несущих ГКВ, превышающих некоторое пороговое значение

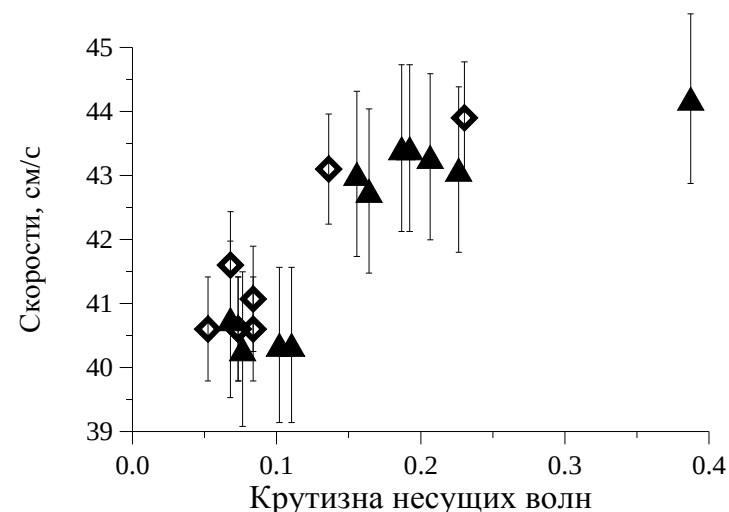


-Крутизна ряби также пороговым образом растет с ростом крутизны несущих ГКВ.
- Пороговые значения крутизны ГКВ, отвечающие пороговому росту радиолокационного сигнала и генерации паразитной ряби близки друг другу и составляют примерно 0,1.

Зависимости скорости ряби от частоты и от крутизны несущих волн

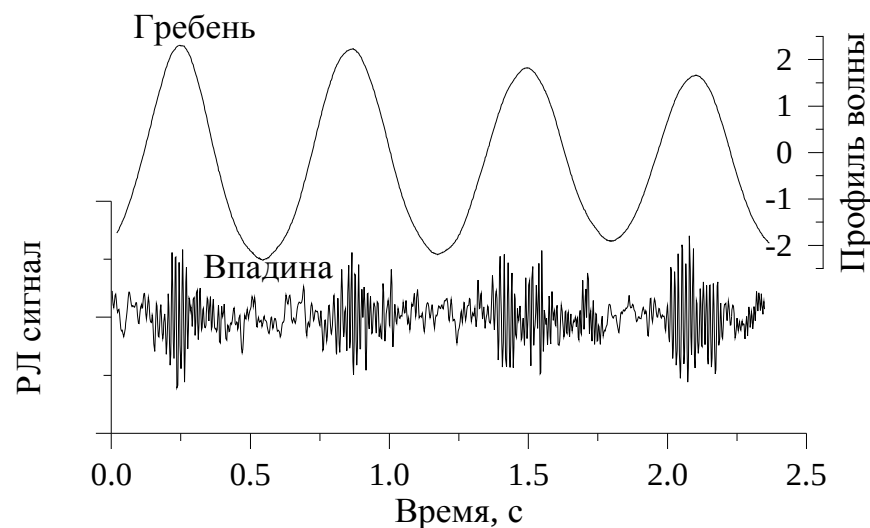


Зависимость измеренных фазовых скоростей ряби от частоты несущей волны при крутизне последней, близкой к пороговому значению. Сплошная кривая – дисперсионное соотношение для линейных ГКВ.

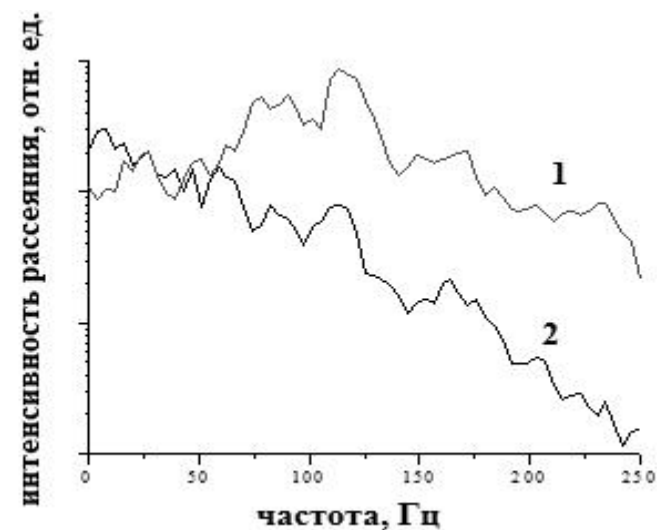


Зависимость скорости ряби (▲), измеренной по радиолокационным доплеровским сдвигам, и скорости крутой ГКВ (5 Гц), измеренные по изображениям профиля несущих ГКВ (◇) в зависимости от крутизны.

РЛ рассеяние на волнах дм-м диапазона



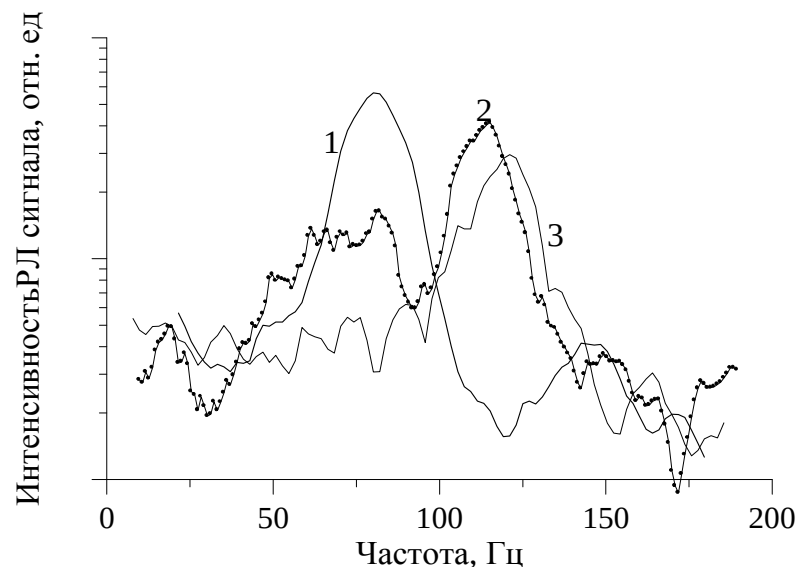
Одновременная запись радиолокационного сигнала и возвышений поверхности



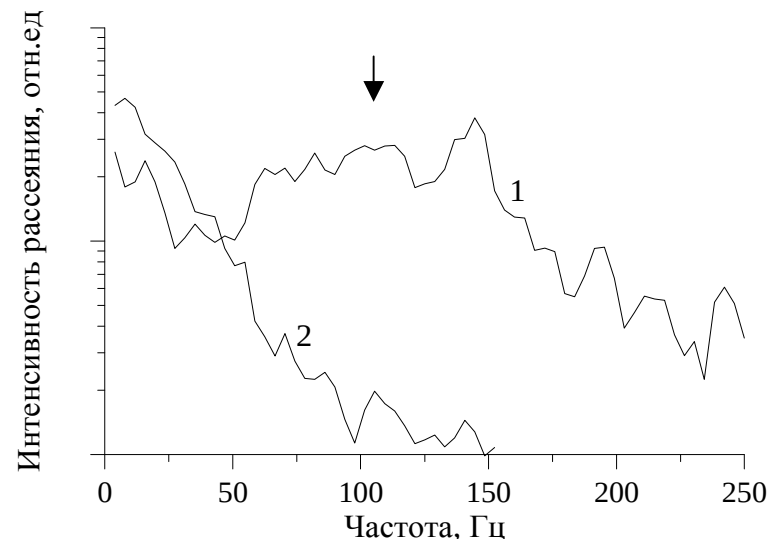
Типичный вид доплеровских спектров на гребне (1) и во впадине (2)

Интенсивность радиолокационного сигнала при рассеянии от впадины дециметровой ГКВ значительно более низкая, чем от гребня - существенная неоднородность распределения спектральной интенсивности брэгговских рассеивателей по профилю ГКВ.

Сравнение доплеровских спектров для ГКВ 1,7 Гц и обрушающихся волн м-диапазона



Спектры РЛ сигнала при отражении от гребня 1.7 Гц волны. 1 – крутизна несущей волны 0,27, 2 и 3 – крутизна несущей волны 0,22.



Доплеровский спектр на гребне (1) и во впадине (2) обрушающейся волны ($\lambda \sim 100$ см)

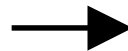
В доплеровском спектре на гребне микрообрушающихся (1,7 Гц) волн наблюдаются два пика соответствующих фазовым скоростям свободных и связанных волн, для обрушающейся волны – один широкий пик.

Анализ результатов эксперимента

Фазовые скорости и соответствующие
доплеровские сдвиги

$V_{\text{ф}} / \Delta F_{\text{доп}}$ ($T=0.8$ с)	$V_{\text{ф}} / \Delta F_{\text{доп}}$ ($T=1$ с)	$V_{\text{орб}} / \Delta F_{\text{доп}}$	$V_{\text{ф_своб}} / \Delta F_{\text{доп}}$
124 см/с / 185 Гц	156 см/с / 233 Гц	≈ 35 см/с / ≈ 50 Гц	≈ 30 см/с / ≈ 45 Гц

При обрушениях происходит
генерация свободных волн



РЕЗУЛЬТАТЫ

- Периодические ГКВ см-дм диапазона, при большой крутизне генерируют на своем склоне паразитную рябь, распространяющуюся с фазовой скоростью несущей волны.
- Периодические волны дм-диапазона могут генерировать как паразитную рябь, так и свободные волны, распространяющиеся со скоростью существенно меньшей фазовой скорости несущей волны, что и характеризует так называемое микрообрушение.
- Сильное обрушение волн метрового диапазона характеризуется генерацией свободной ряби, движущихся в поле орбитальной скорости несущей волны. Большой разброс в скоростях свободных волн, по-видимому, связан с турбулентностью генерируемой при обрушении.