

**Определение методами СВЧ
радиолокации и
радиотеплолокации утечек газа
из подводных трубопроводов**

**М.Г. Булатов, Ю.А. Кравцов, М.Д. Раев,
В.Г. Пунгин, К.Д. Сабинин, Е.И. Скворцов.**

117977, Москва, Профсоюзная 84/32, ИКИ РАН

Тел. 333-35-33, Fax 333-10-56, E-mail: bulatov@iki.rssi.ru

Цели работы

- получение новых экспериментальных данных о физических и статистических характеристиках морской поверхности, возмущаемой потоком газовых пузырей.
- разработка на основе этих данных электрогидродинамической модели рассеяния и излучения волн в СВЧ диапазоне.
- разработка методики микроволнового зондирования, позволяющей методами активной и пассивной радиолокации выделять на фоне взволнованной морской поверхности области возмущения, вызванные выходом потока.

Комплекс радиометрической и радиолокационной аппаратуры



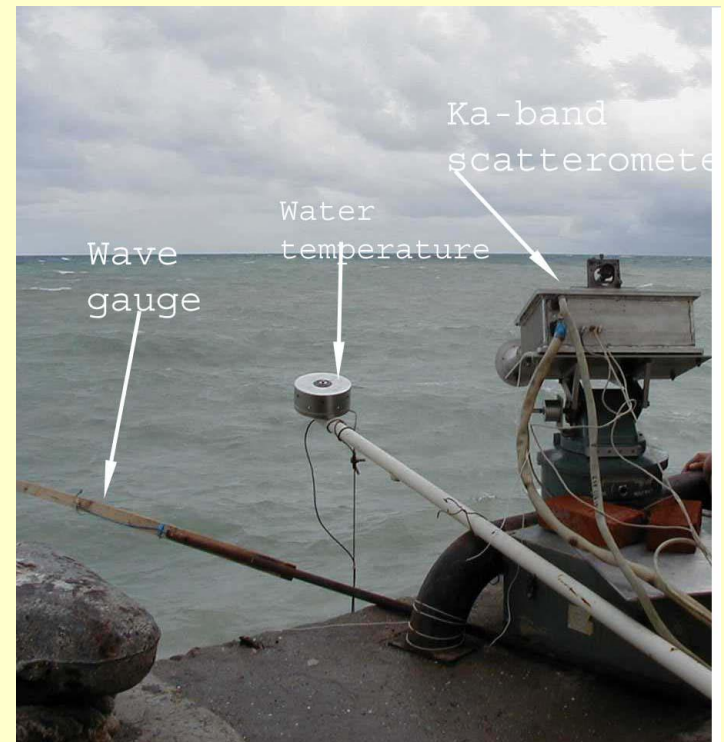
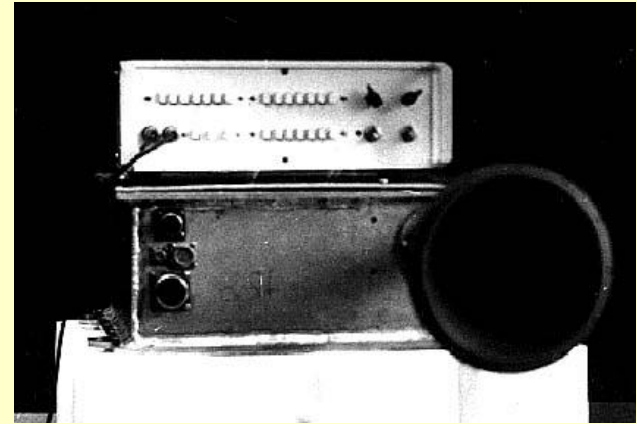
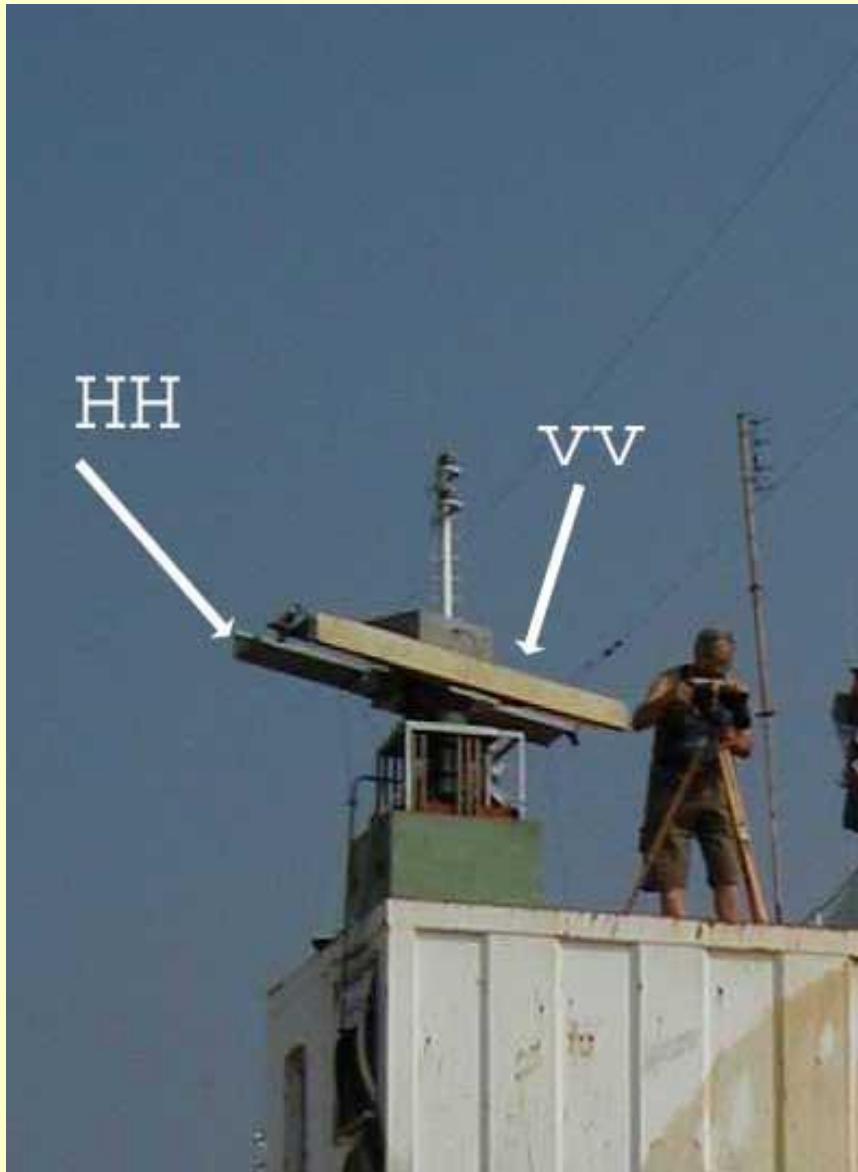
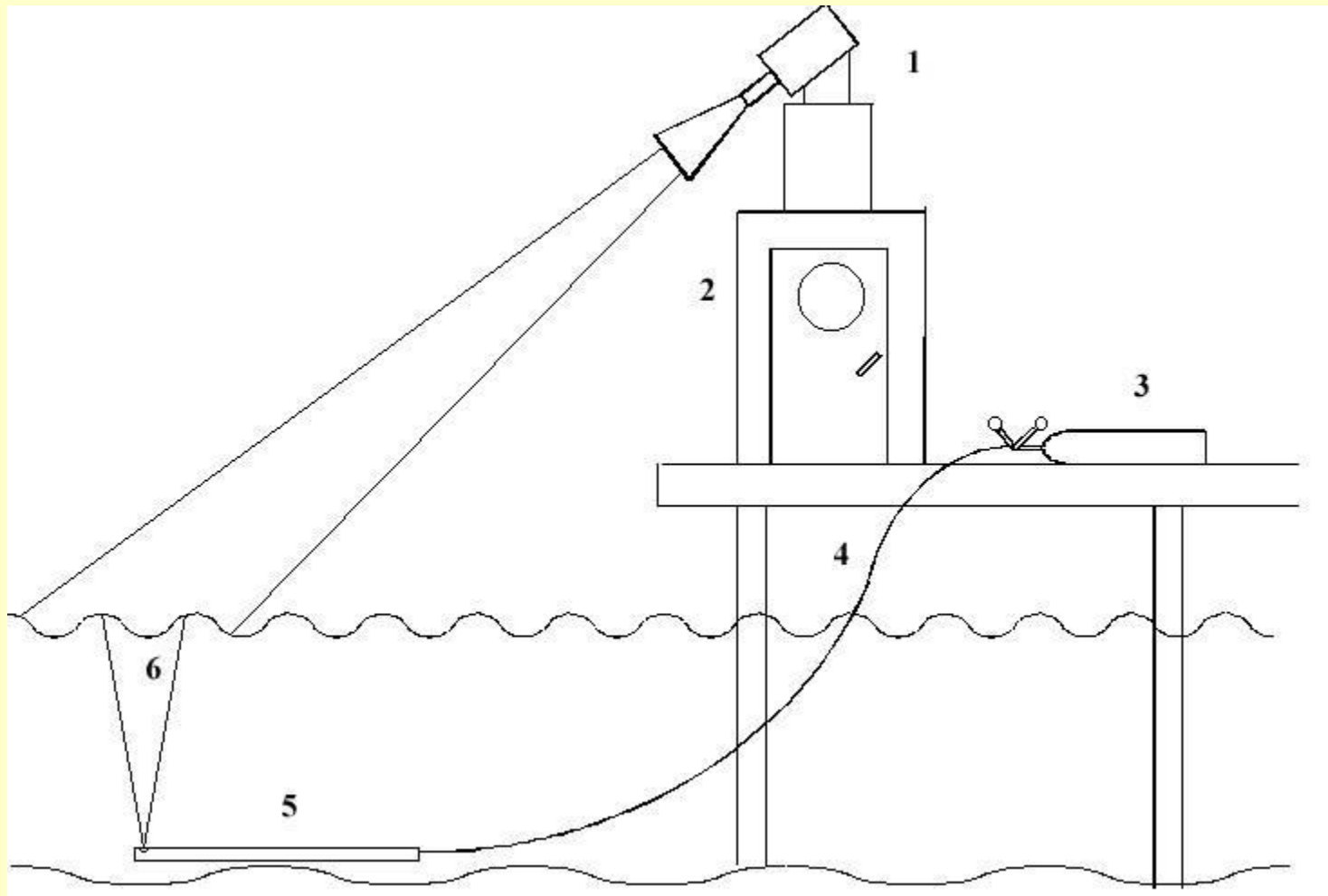


Таблица 1. Основные характеристики аппаратуры

Параметры	Радиометры		РЛС	Скаттерометр
Рабочая частота, ГГц	19,5	37,5	9,5	38,7
Ширина диаграммы направленности антенны	10°	12°	1 ⁰ ×22 ⁰	5
Полоса частот, МГц	1500	1000	20	30
Шумовая температура, К	300	700		3000
Чувствительность, дБ/Вт			160	
Мощность излучения (в импульсе), кВт			3,5–4	
Длительность импульса, нс			50, 200	
Скважность			10000	
Мощность излучения (непрерывная), Вт				1
Полоса частот спектрального канала, кГц				0–3,5

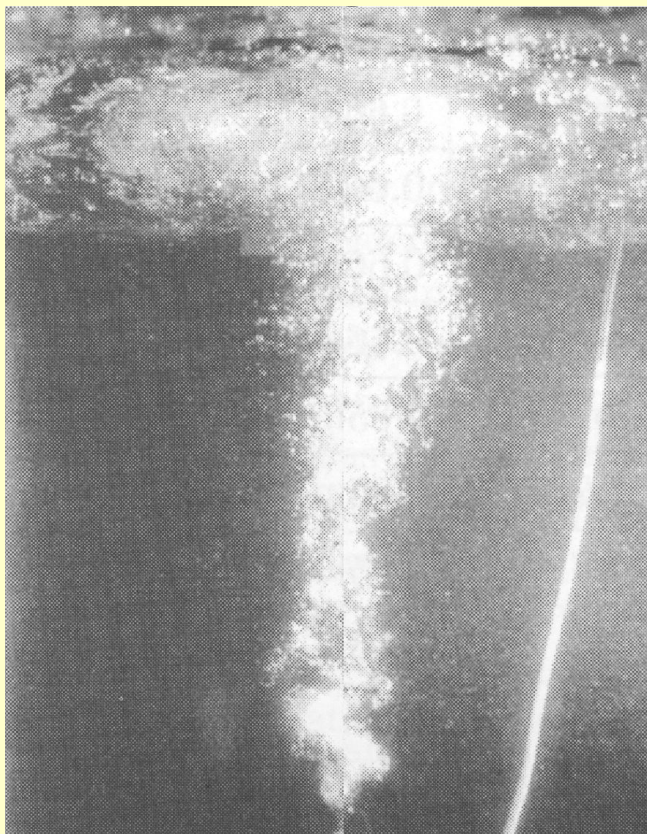
Схема эксперимента



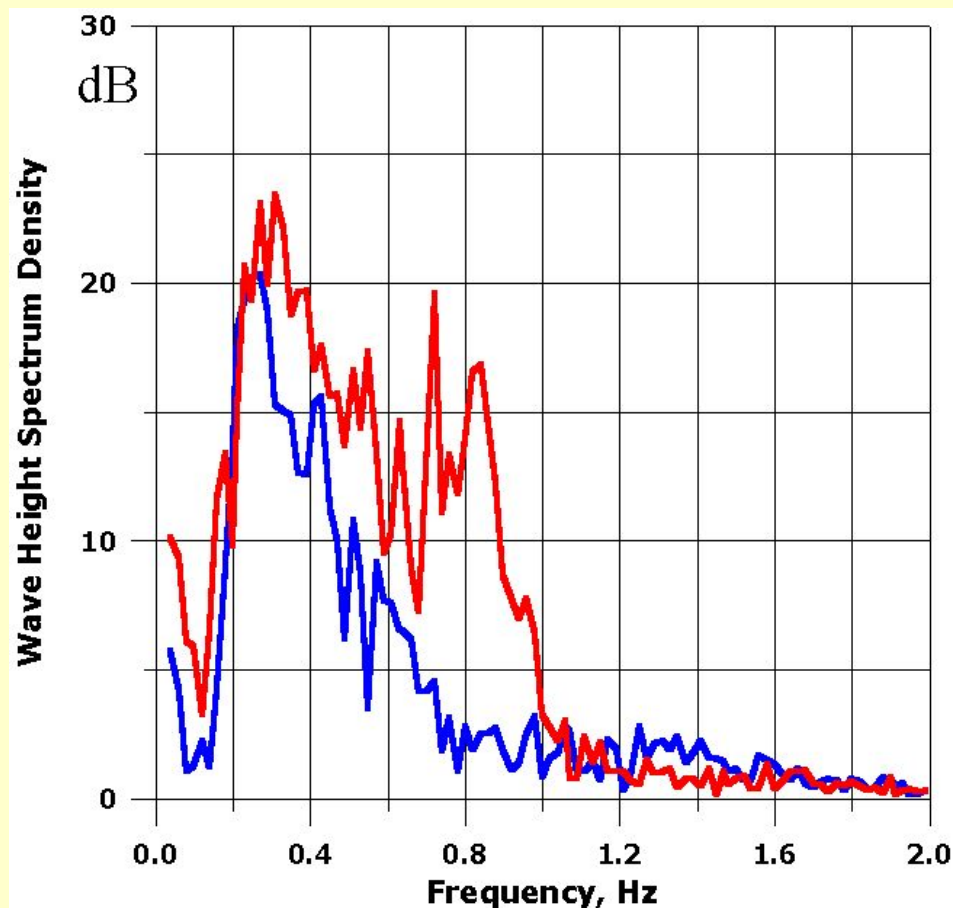
1- СВЧ приборы, 2- контейнерная лаборатория,
3- газом, 4- шланг, 5- насадка, 6- газовый факел
баллон с

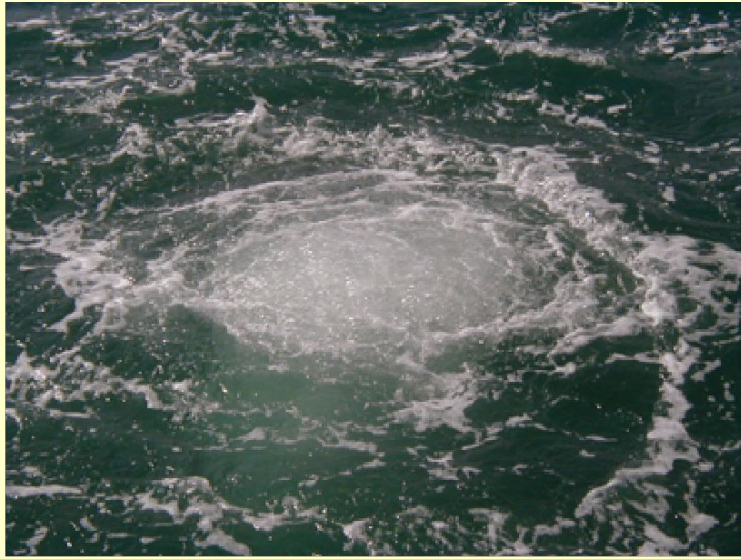
Подводный газовый факел

(фон, возмущенная поверхность)

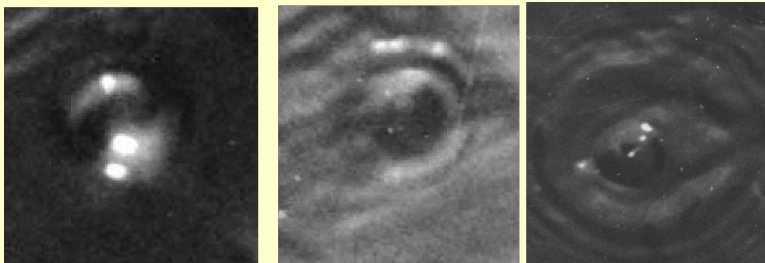


Спектры морского волнения

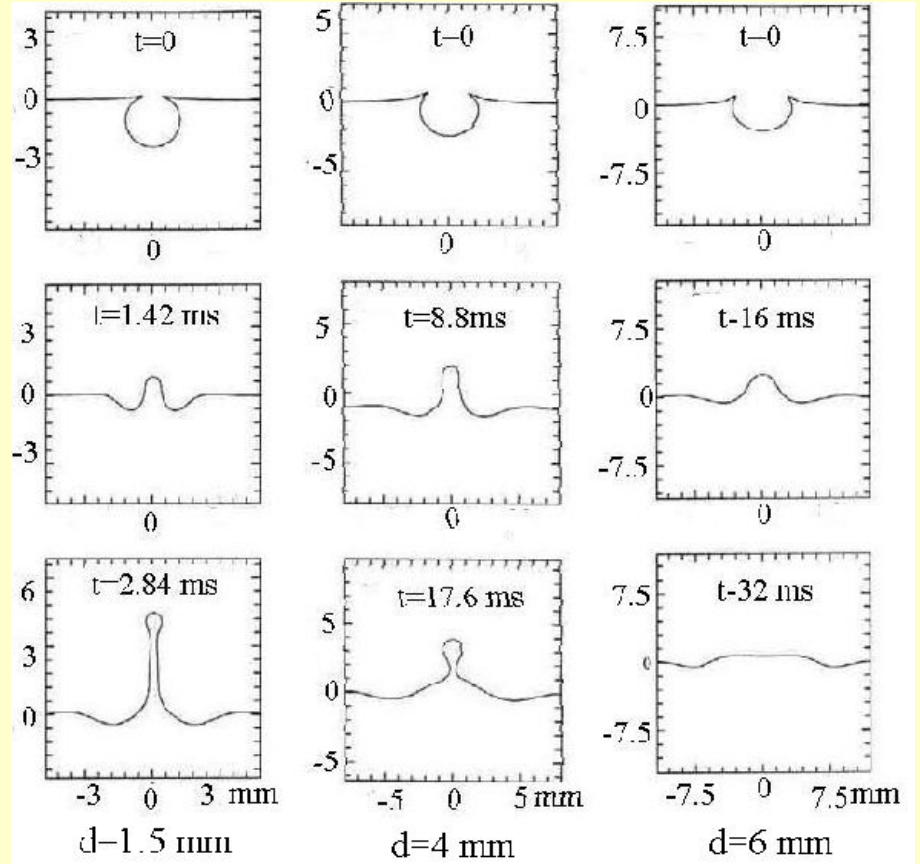




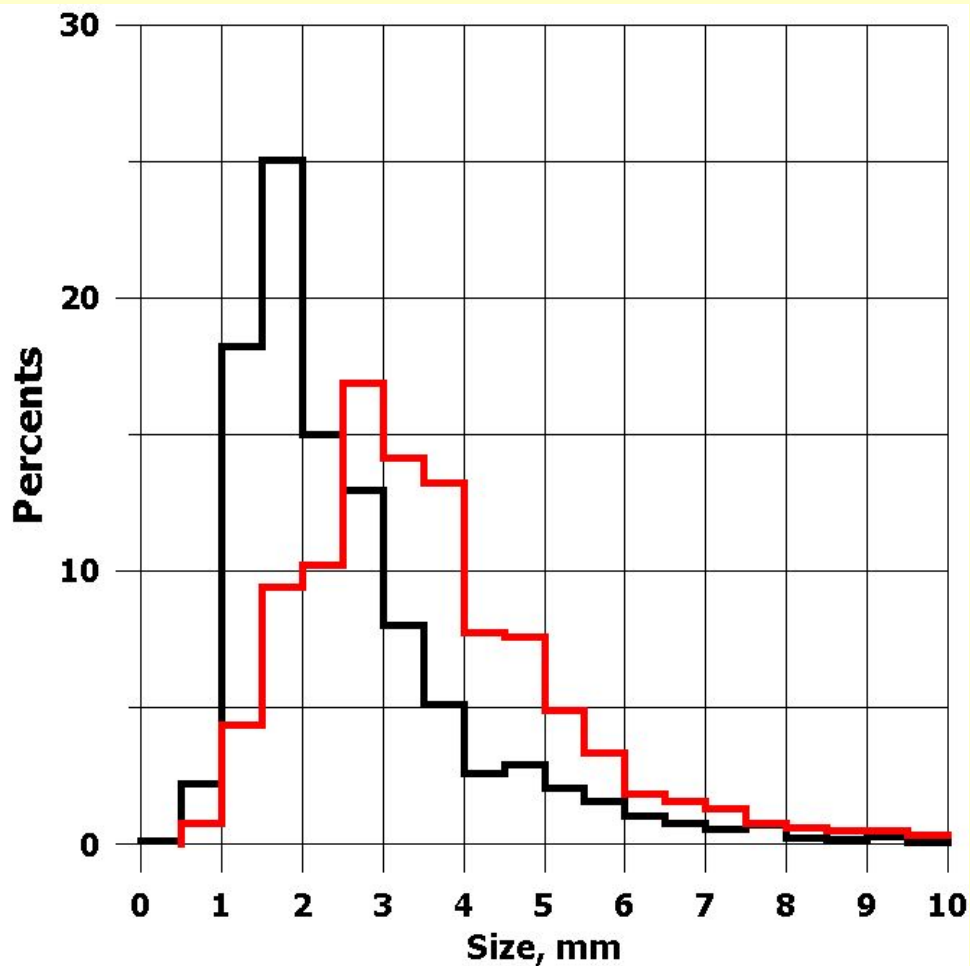
Морская поверхность, возмущаемая потоком газа (“фонтан“)



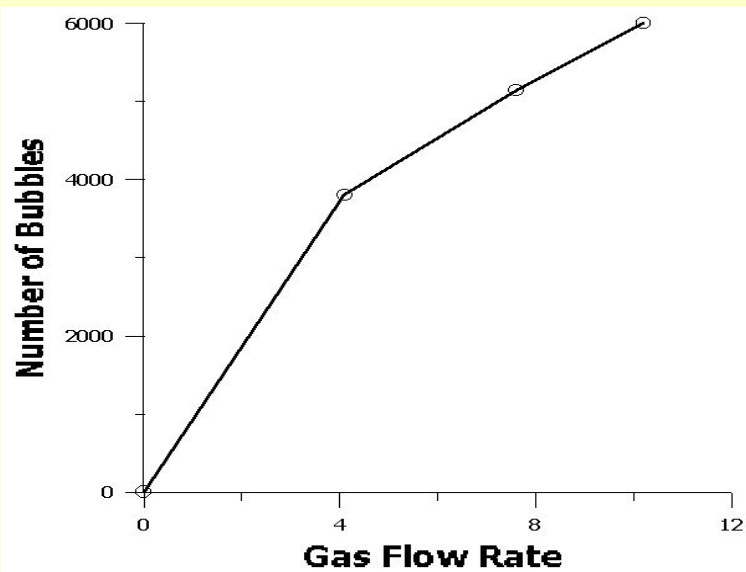
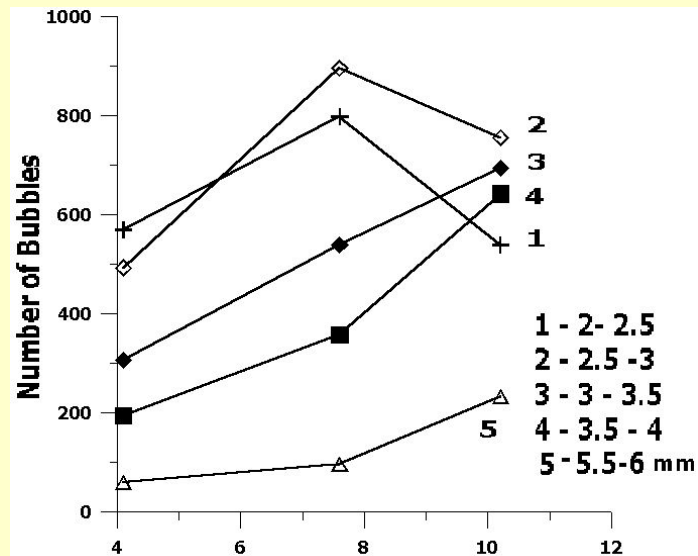
Взаимодействие с поверхностью пузырьков различных размеров



(J.M. Boulton-Stone and J.R. Blake,
J.Fluid Mech., 1993, v.254, 452-66)



Распределения всплывающих пузырей по размерам, полученные для двух значений расхода
 (4.1 $\text{дм}^3\text{с}^{-1}$, 10.2 $\text{дм}^3\text{с}^{-1}$)



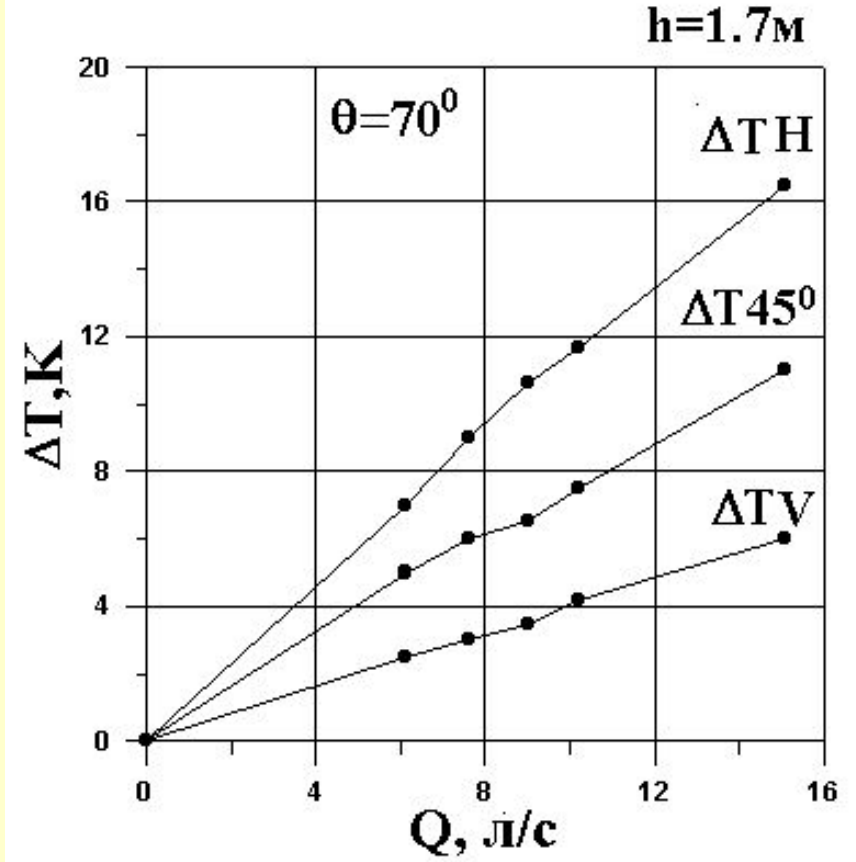
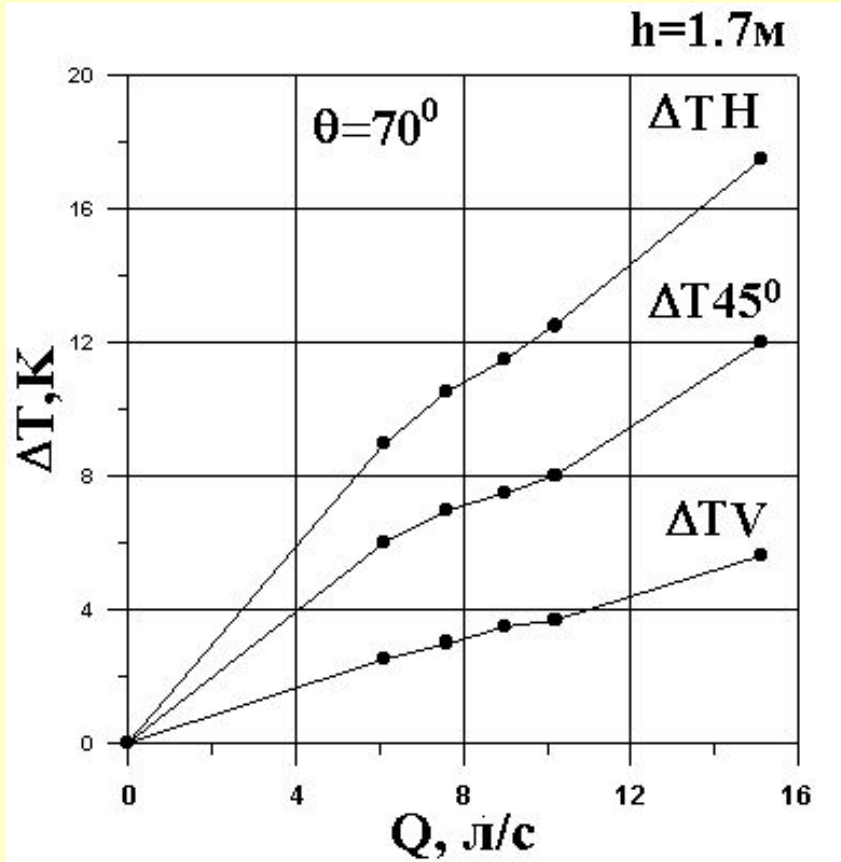
Количество пузырей различных размеров в зависимости от расхода

Радиометрические измерения

H=1.7 м

0.8 см

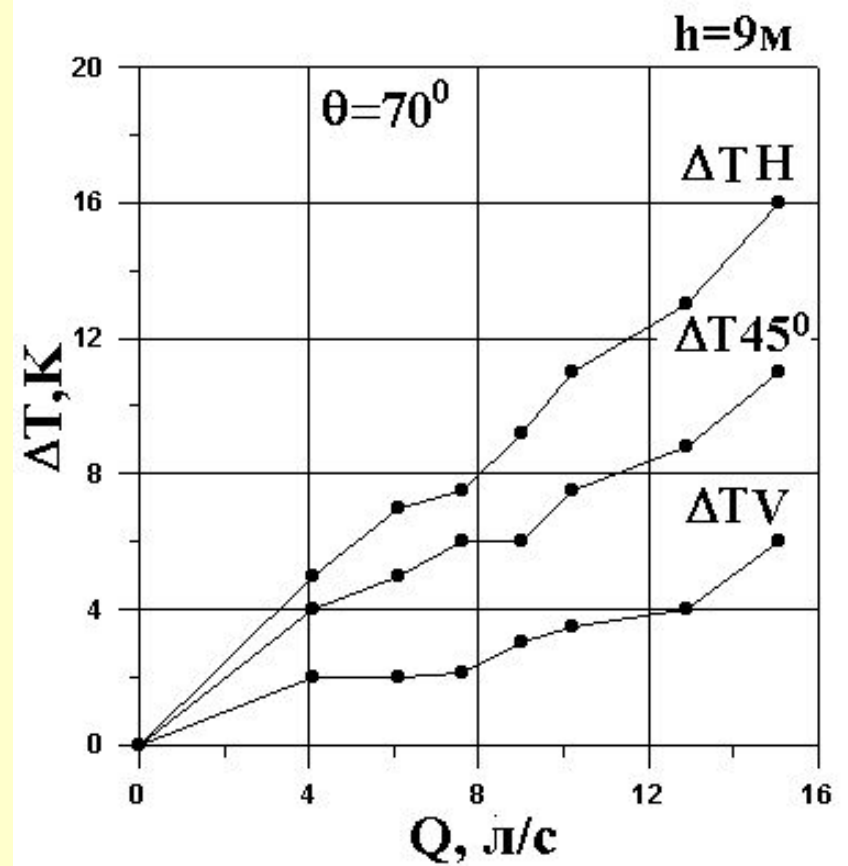
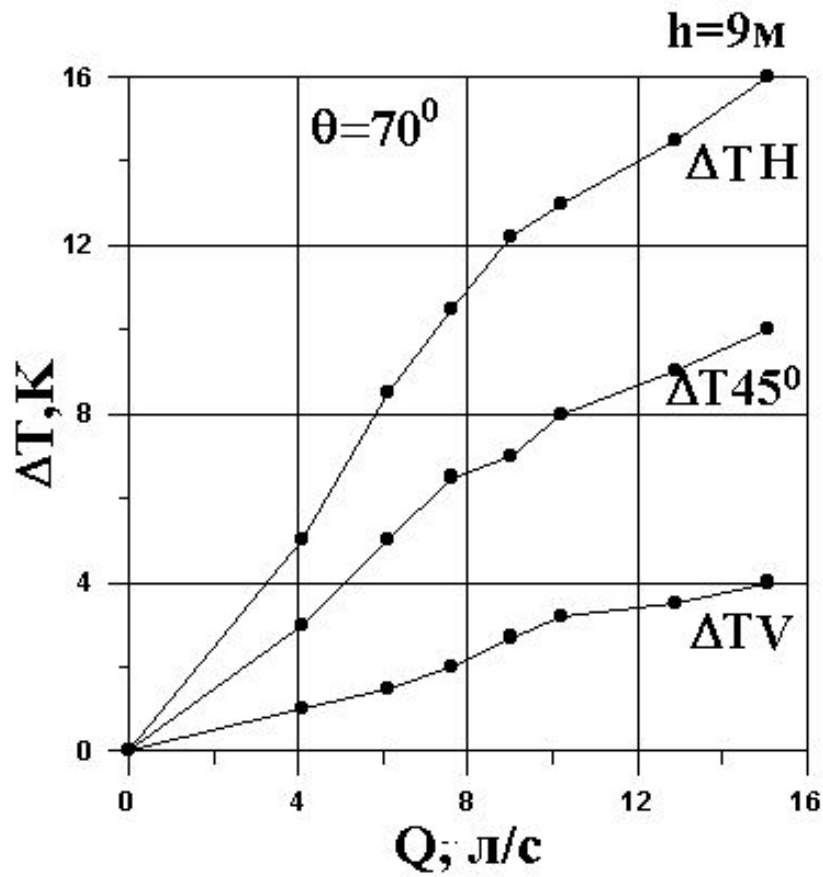
1.5 см



H=9 м

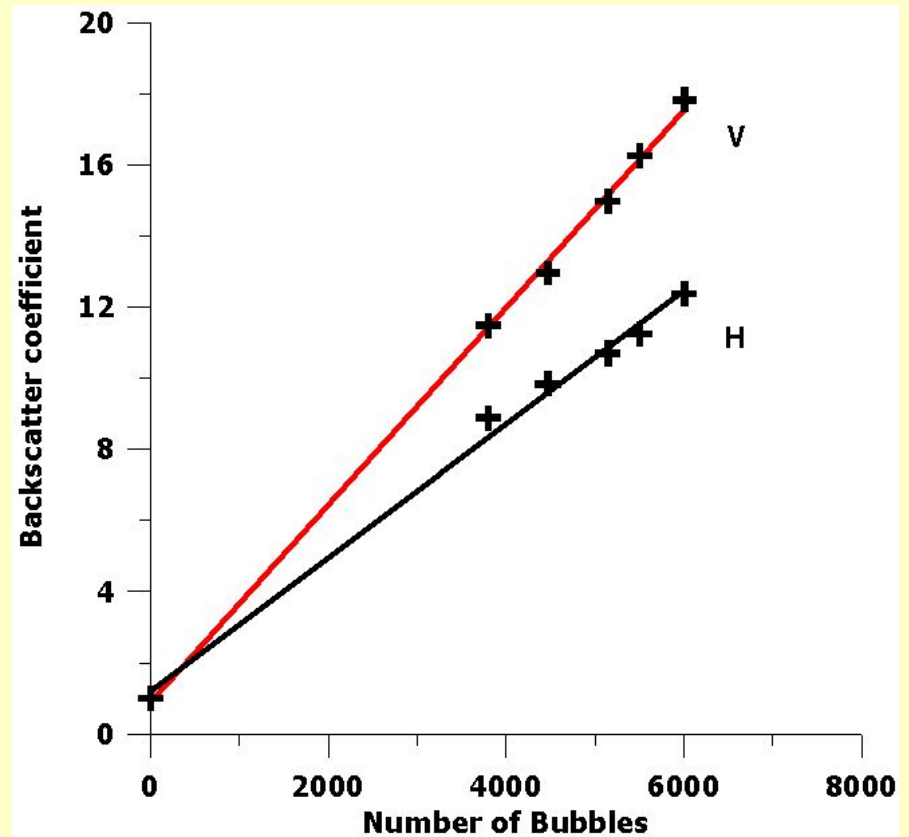
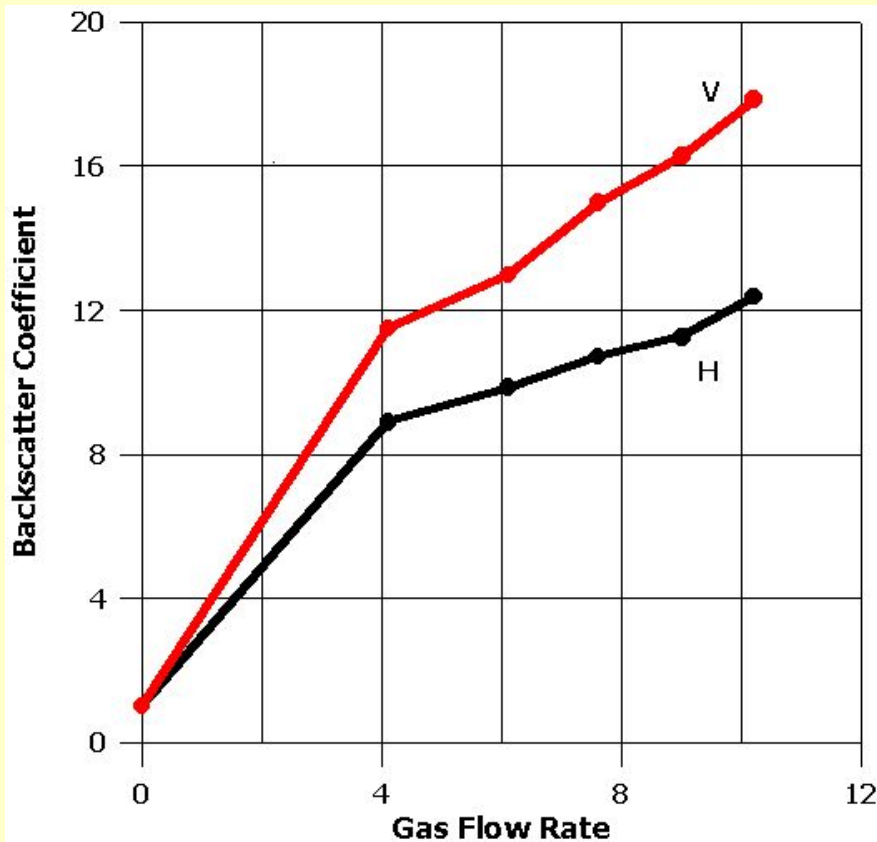
0.8 см

1.5 см

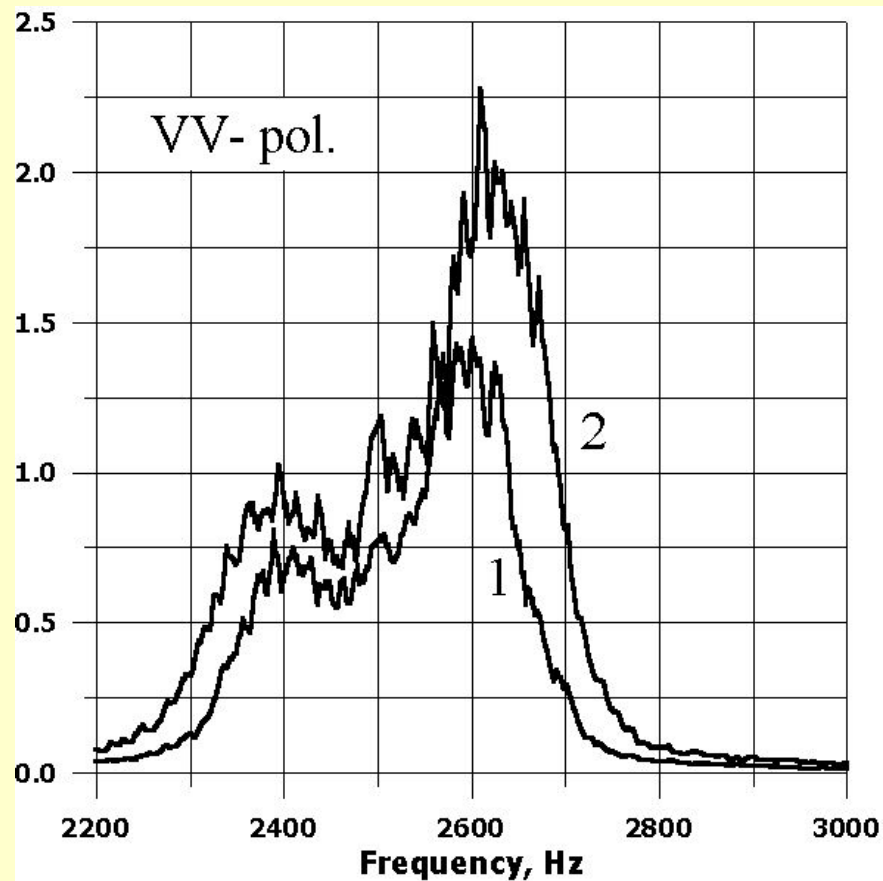
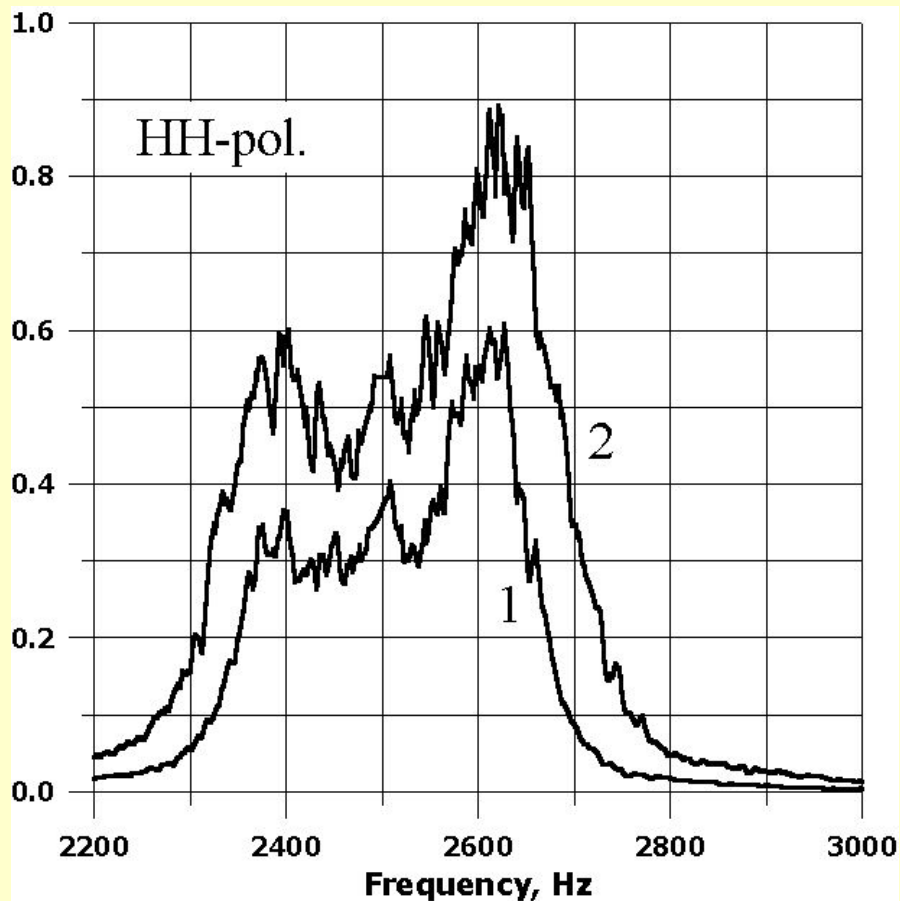


Скаттерометрические измерения

Зависимость коэффициента обратного рассеяния от потока (dm^3c^{-1}) и количества всплывающих пузырей



Допплеровские спектры, полученные при двух значениях расхода (1 - $4.1 \text{ дм}^3 \text{ с}^{-1}$, 2 - $10,2 \text{ дм}^3 \text{ с}^{-1}$)



Распределение Гаусса

$$\Phi_G(f) = \frac{1}{\Delta f_G^2 \sqrt{\pi}} \exp \left[-\frac{(f - f_G)^2}{\Delta f_G^2} \right]$$

Распределение Лоренца

$$\Phi_L(f) = \frac{1}{\pi} \frac{\Delta f_L}{(f - f_L)^2 + \Delta f_L^2}$$

Скорость

$$V_s = \frac{\lambda_0}{2f \cos \psi},$$

Время жизни

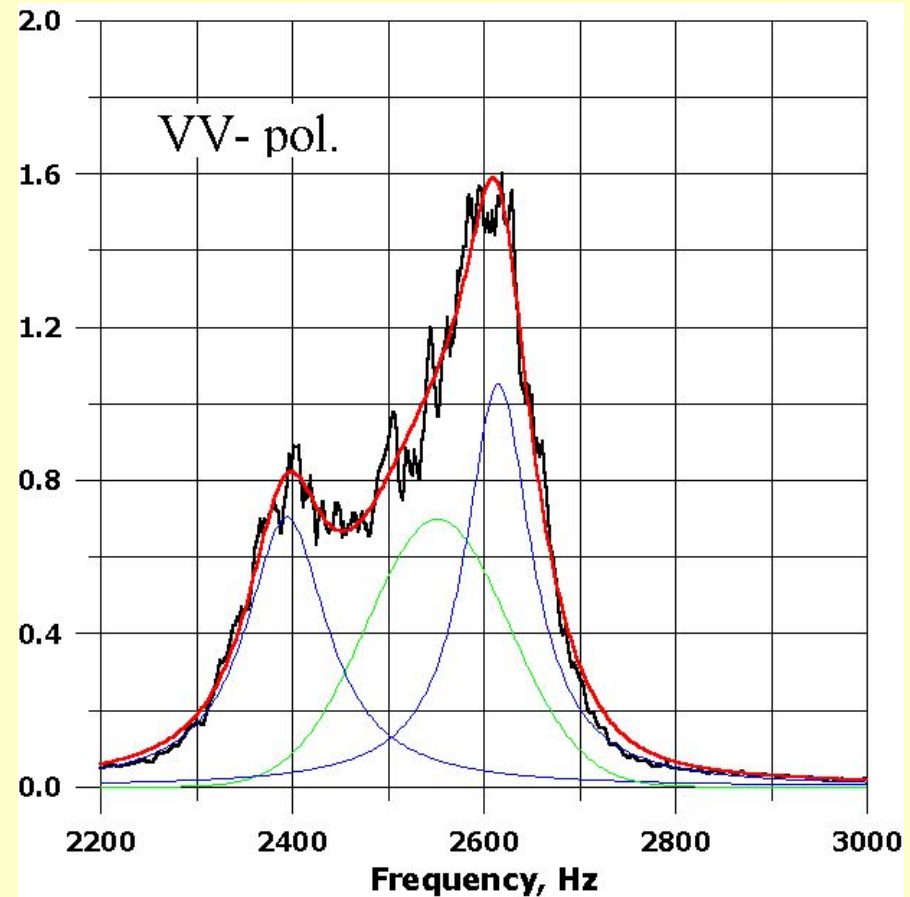
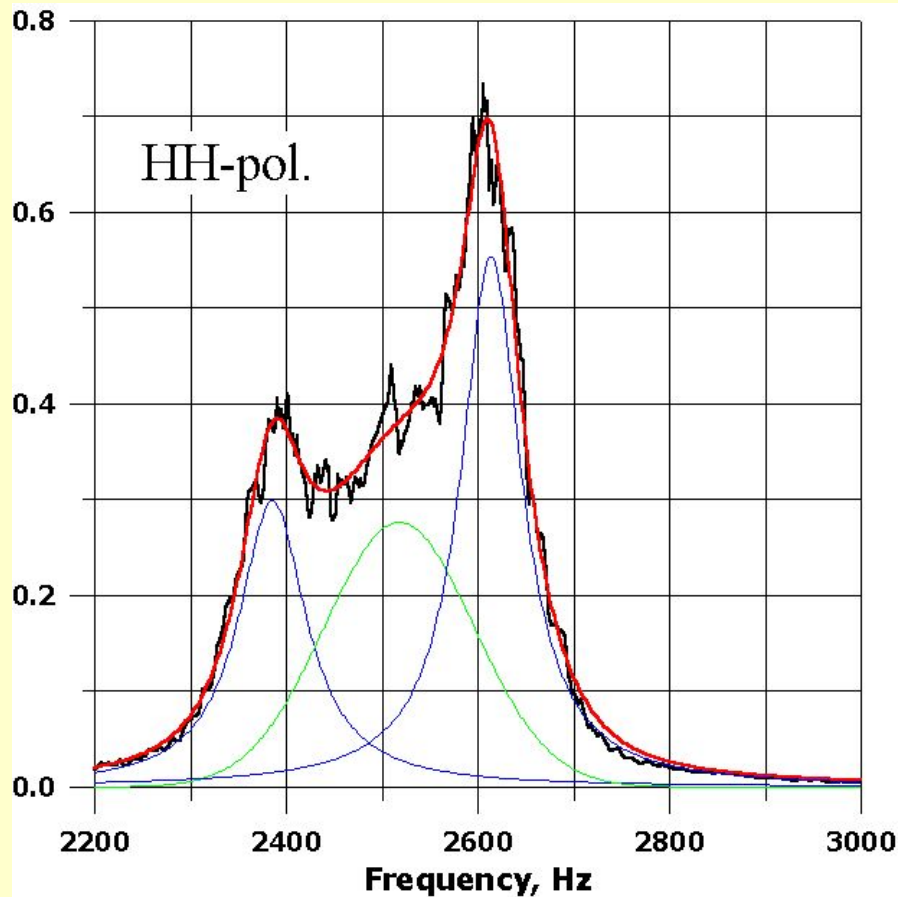
$$\tau = 1 / \Delta f_L$$

где λ_0 - длина электромагнитной волны, ψ - угол зондирования.

Аппроксимация

$$S(f) = K_G \Phi_G(f) + K^-_L \Phi^-_L(f) + K^+_L \Phi^+_L(f)$$

Результаты аппроксимации формы спектров двумя функциями Лоренца и одной функцией Гаусса



Black – real spectra, **Green** - Gaussian,
Blue – Lorentzian, **Red** – sum

Сравнение результатов

А) аппроксимации

В) *in situ* измерений

Скорость рассеивателей(-)

Течение в фонтане

48 cm/s

Скорость рассеивателей (+)

50-60cm/s

53 cm/s

Время жизни рассеивателя

Время распада пузыря

(среднее)

19-24 ms

14-19 ms

Высота фонтана (h) и средний период флюктуаций(T)

а) аппроксимация Гаусса

б) волнограф

h=12cm,

h=14-16cm

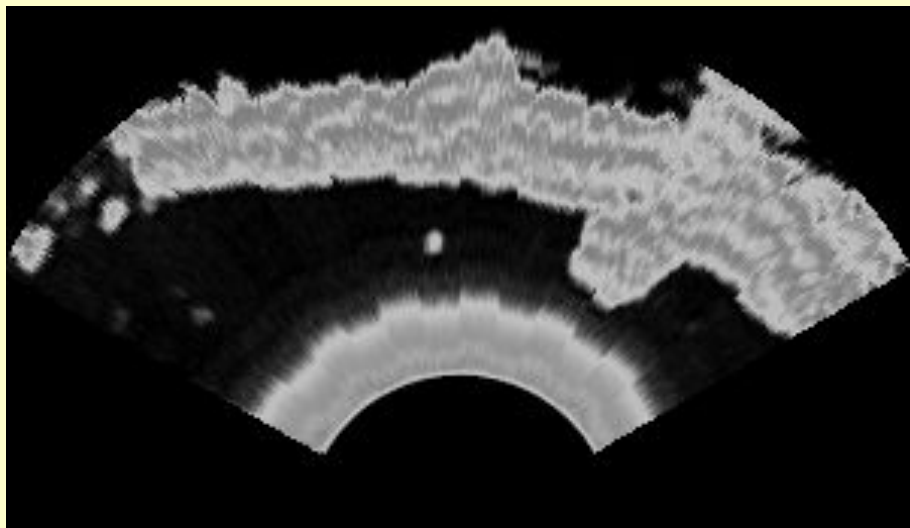
T=1.3s,

T=1.5-1.8s

Радиолокационные измерения

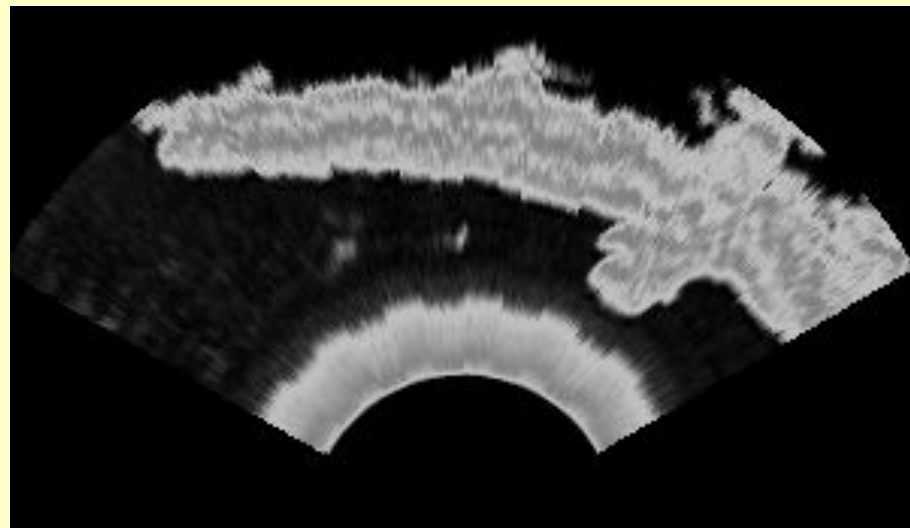
Расход 4 дм³с⁻¹

Вертикальная поляризация



Кадр 33, max= 13,42

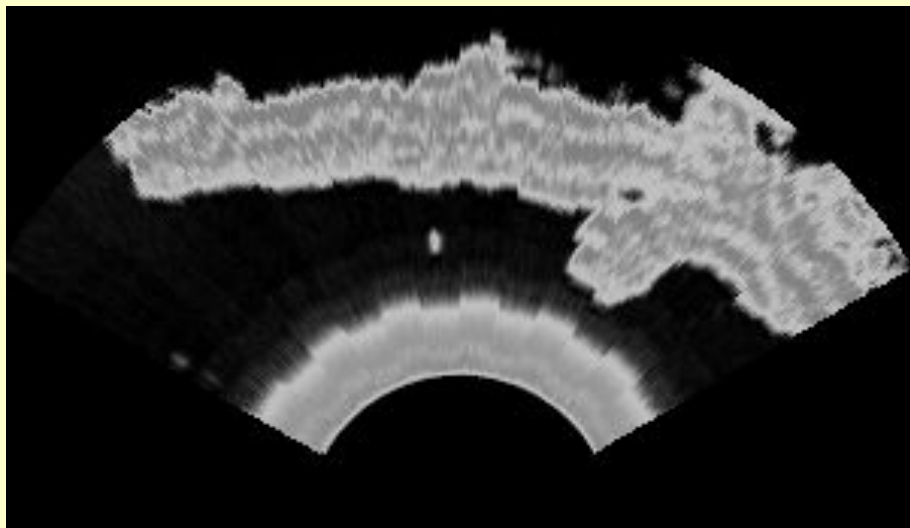
Горизонтальная поляризация



Кадр 194, max = 4,06

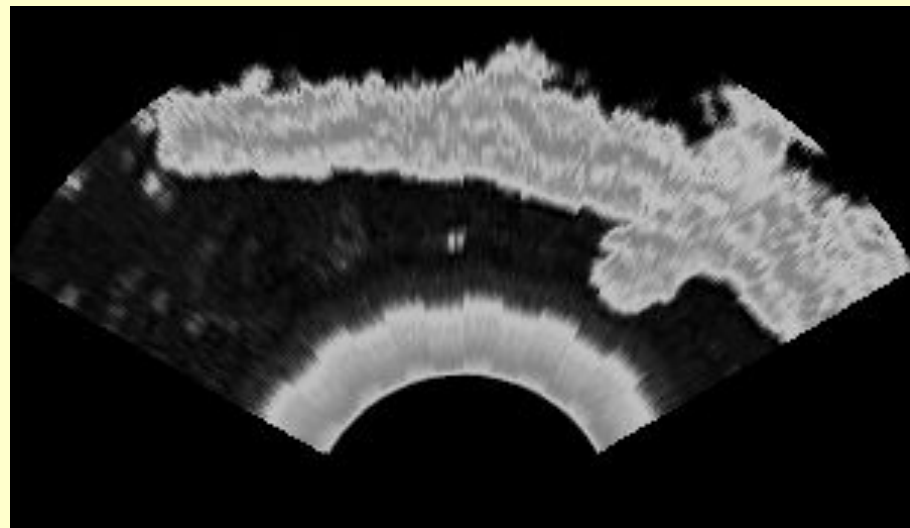
Расход $10 \text{ дм}^3\text{с}^{-1}$

Вертикальная поляризация



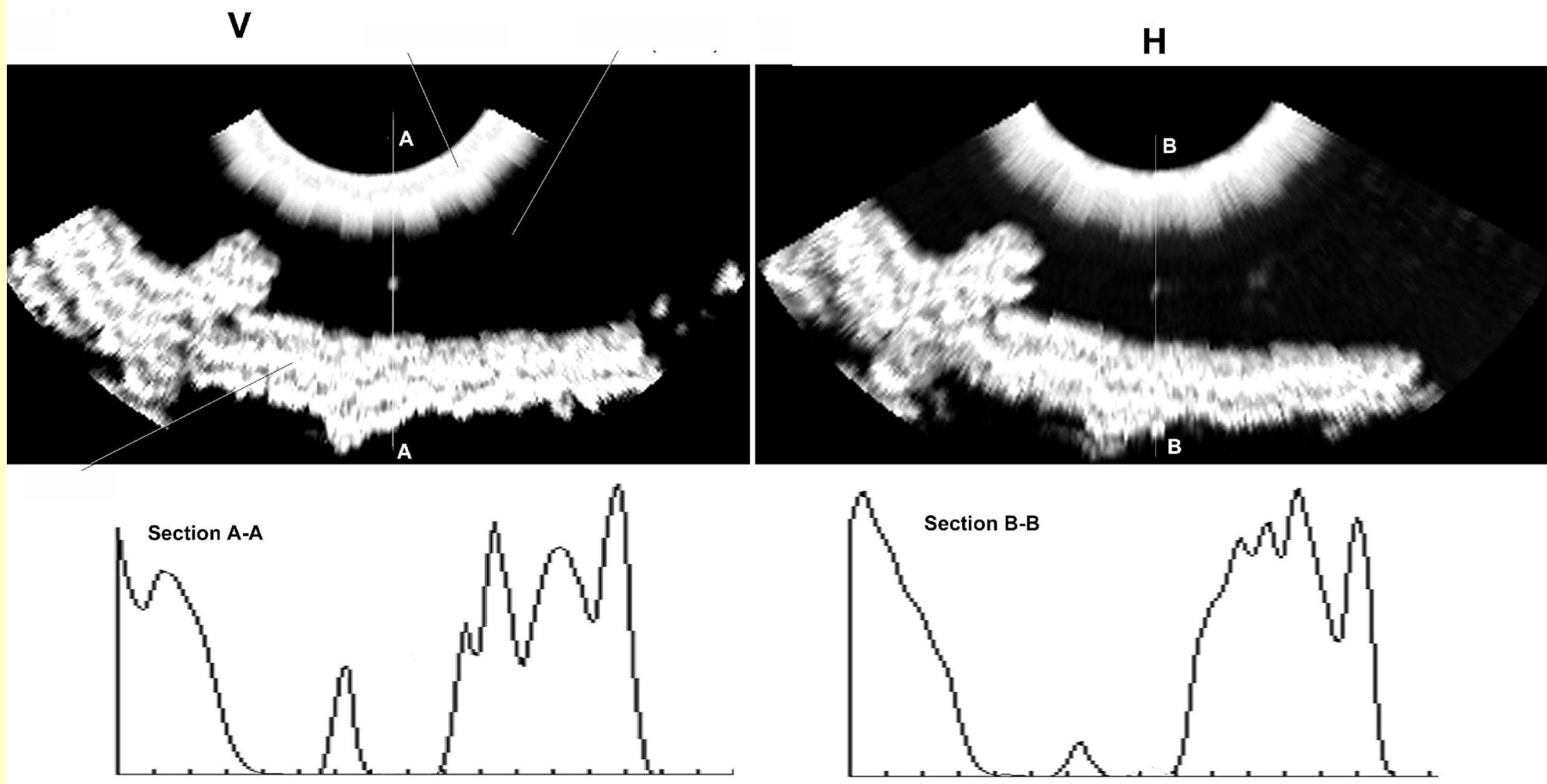
Кадр 69, $\text{max} = 15,58$

Горизонтальная поляризация



Кадр 232, $\text{max} = 6,12$

Радиолокационные изображения поверхностных возмущений, создаваемых выходом газа



ВЫВОДЫ

- Результаты исследования показывают, что микроволновые методы могут быть эффективно использованы для определения подводных потоков газовых пузырей.
- Полученные данные позволяют установить связь радиоярких контрастов и мощности обратного рассеяния с расходом газа и статистическими параметрами ансамбля газовых пузырей.
- Установлено, что на поверхности, возмущенной потоком газа, существуют два типа рассеивателей электромагнитных волн. Эта особенность спектра рассеянного сигнала может быть использована для идентификации области выхода газа на фоне взволнованной морской поверхности.

**Работа выполнена при поддержке Российского Фонда
Фундаментальных исследований (Гранты № 02-02-16012 и
№ 01-02-16174).**