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

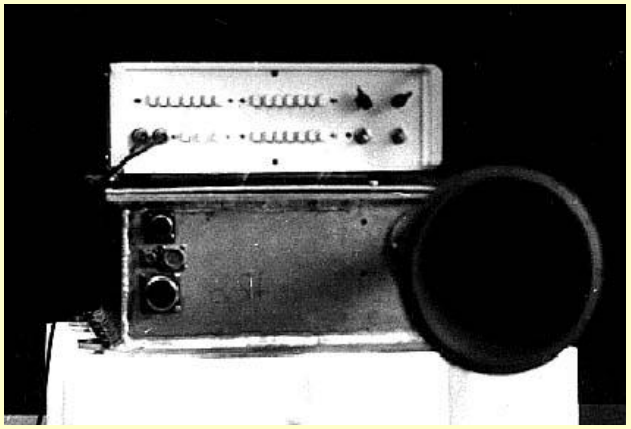
Тел. 333-35-33, Fax 333-10-56, E-mail: bulatov@iki.rssi.ru

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

HH
VV



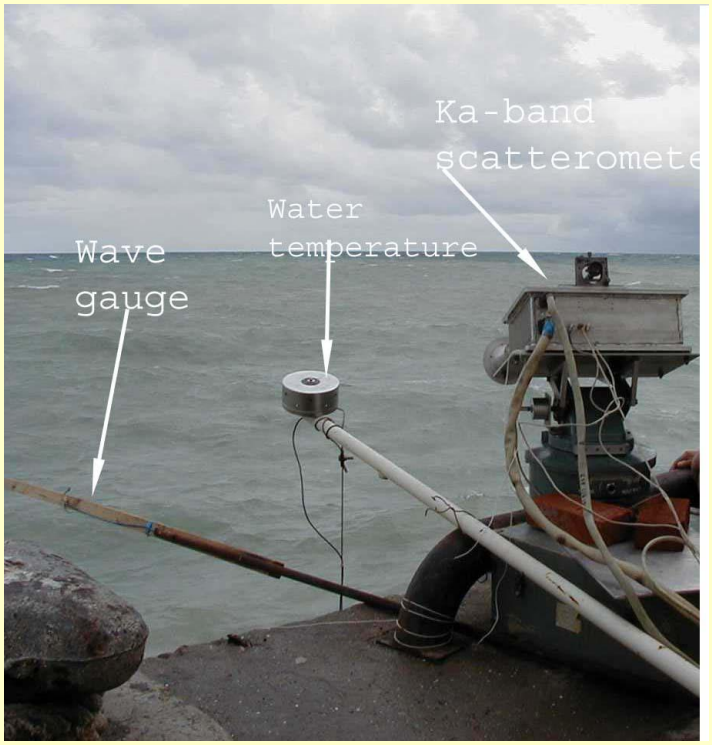
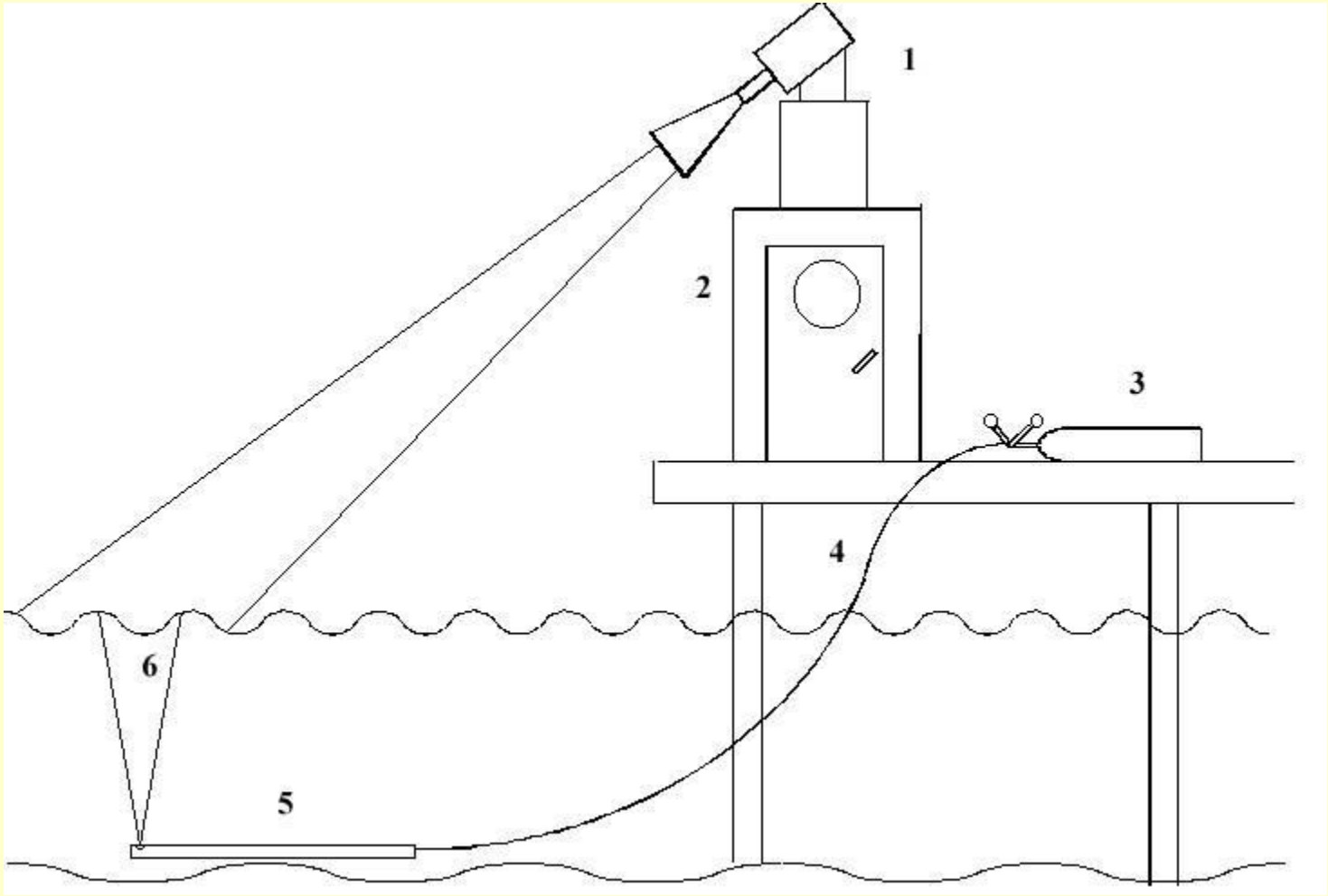

Ka-band
scatterometer
Water
temperature
Wave
gauge

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°	$1^{0}\times22^{0}$	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

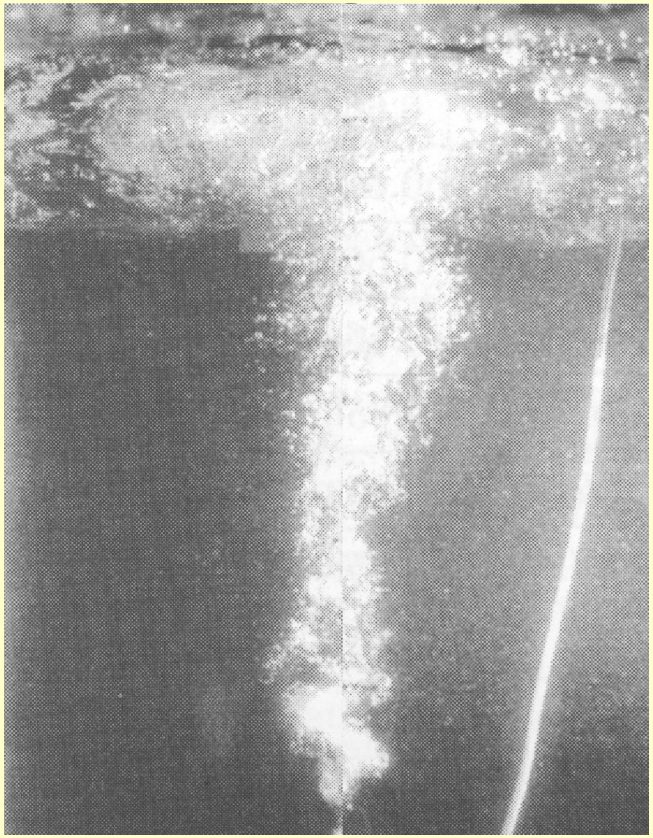
Схема эксперимента



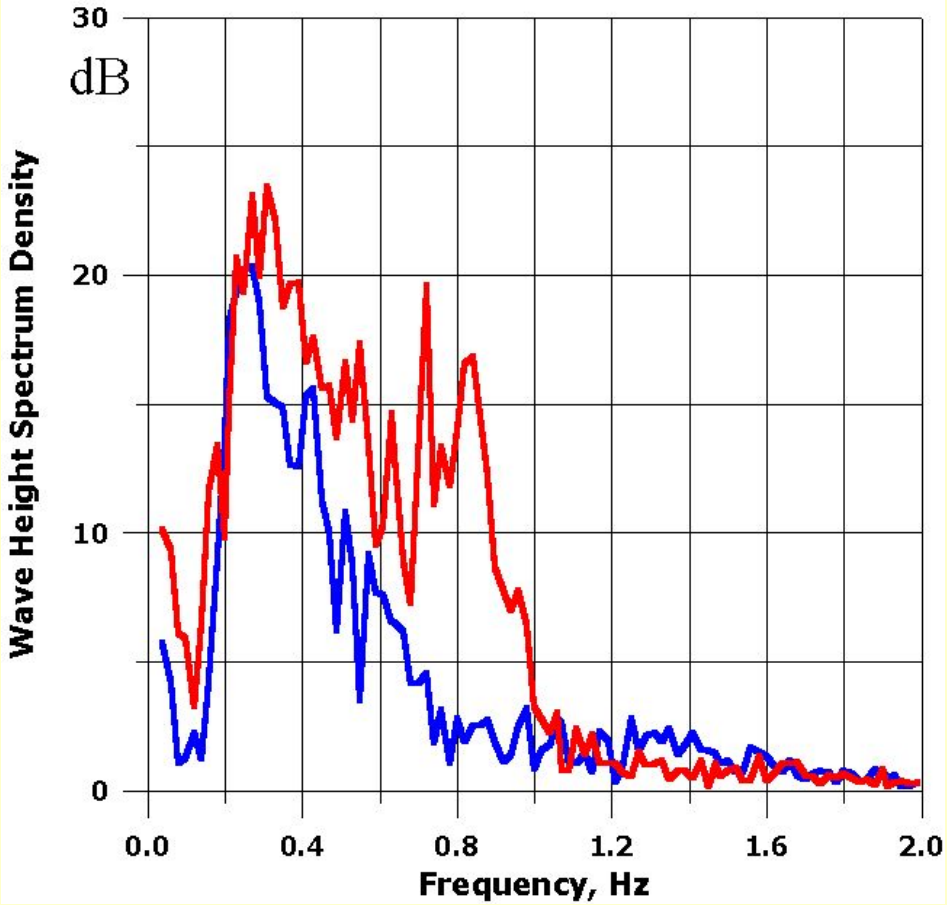
1- СВЧ приборы, 2- контейнерная лаборатория, 3- баллон с газом, 4- шланг, 5- насадка, 6- газовый факел

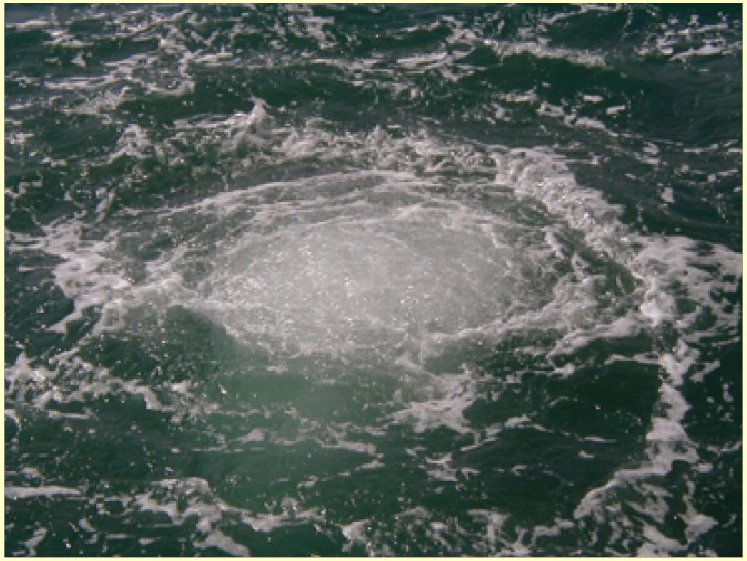
Подводный газовый факел

(фон, возмущенная поверхность)

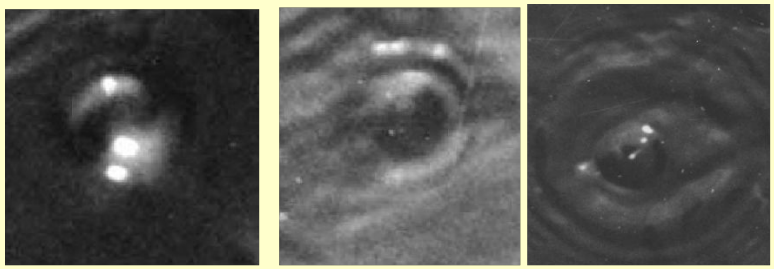


Спектры морского волнения

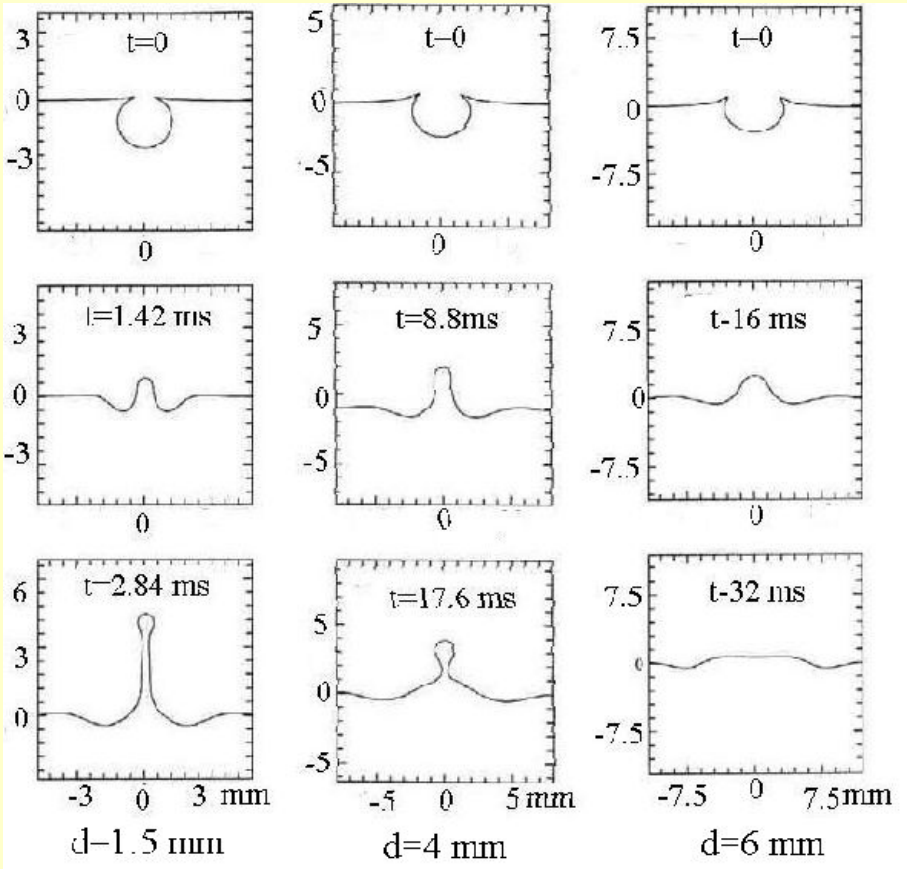




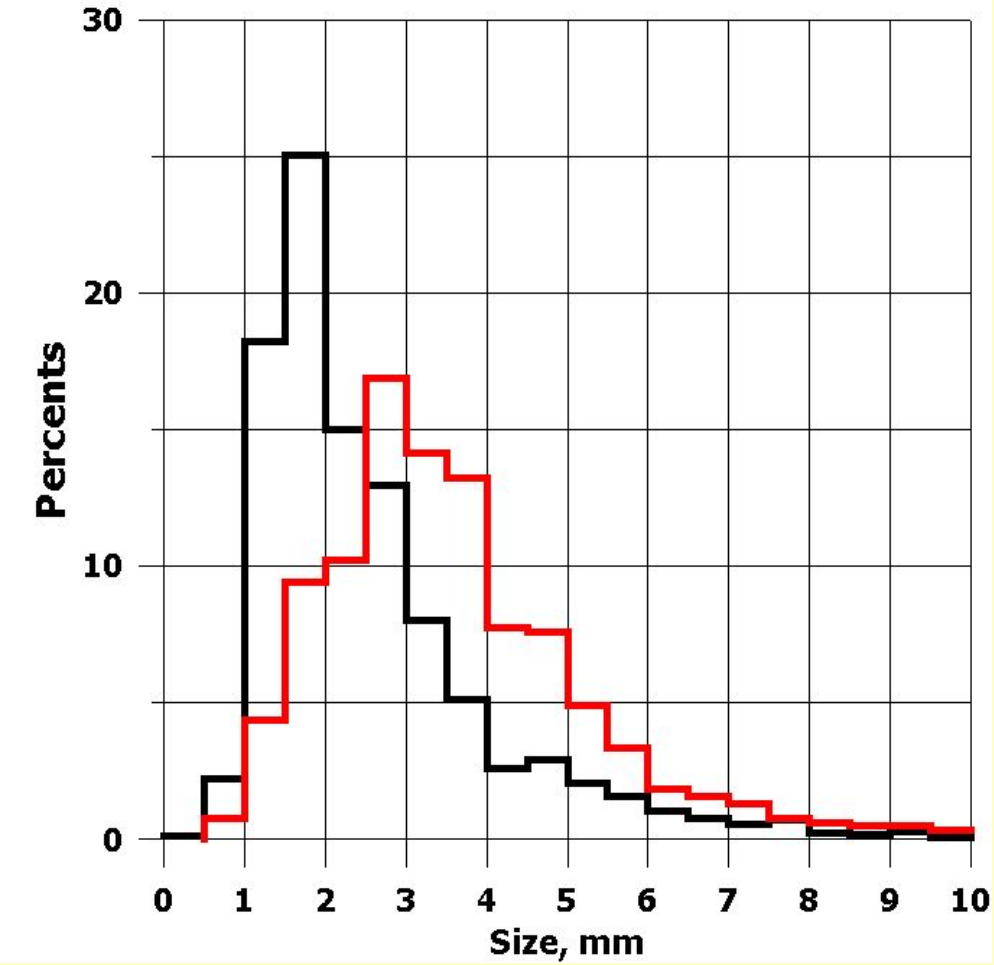
Морская поверхность, возмущаемая потоком газа (“фонтан“)



Взаимодействие с поверхностью пузырьков различных размкров

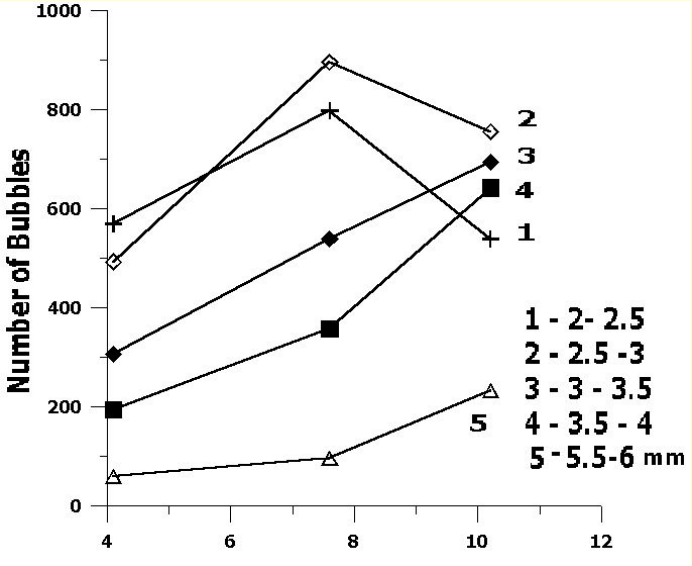


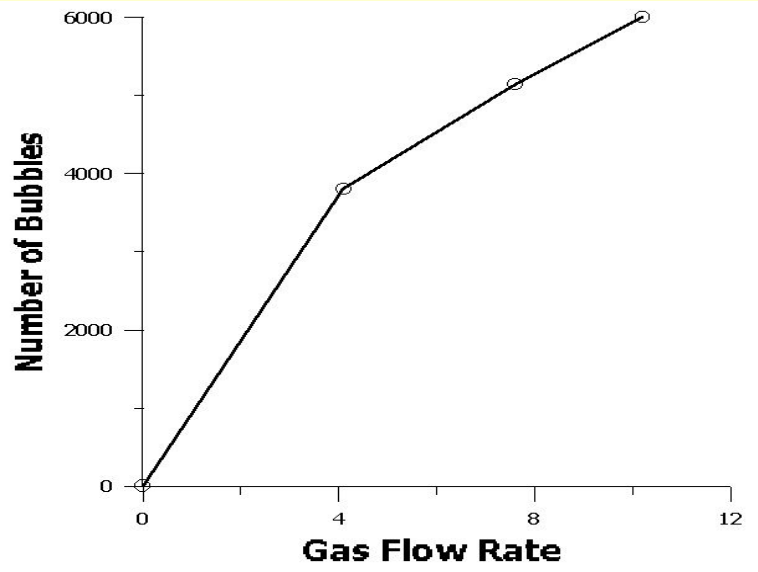
(J.M. Boulton-Stone and J.R. Blake, *J.Fluide Mech., 1993, v.254, 452-66*)



Распределения всплывающих пузырей по размерам, полученные для двух значений расхода

(4.1 дм^{3}с$^{-1}$, 10.2 ^{3}с$^{-1}$)



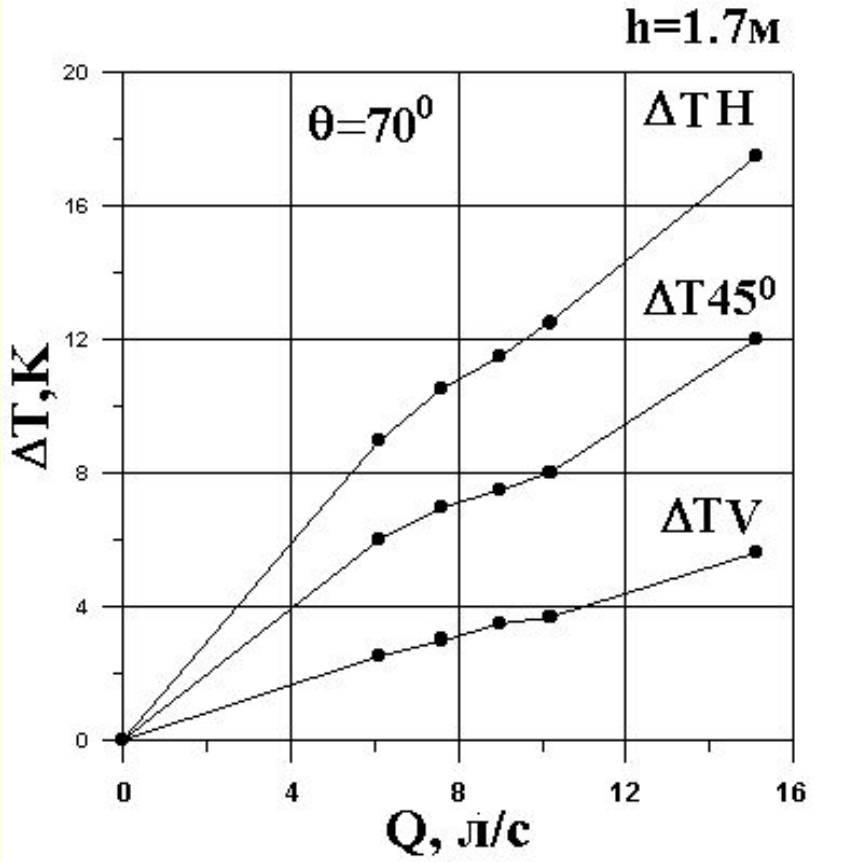


Количество пузырей различных размеровв зависимости от расхода

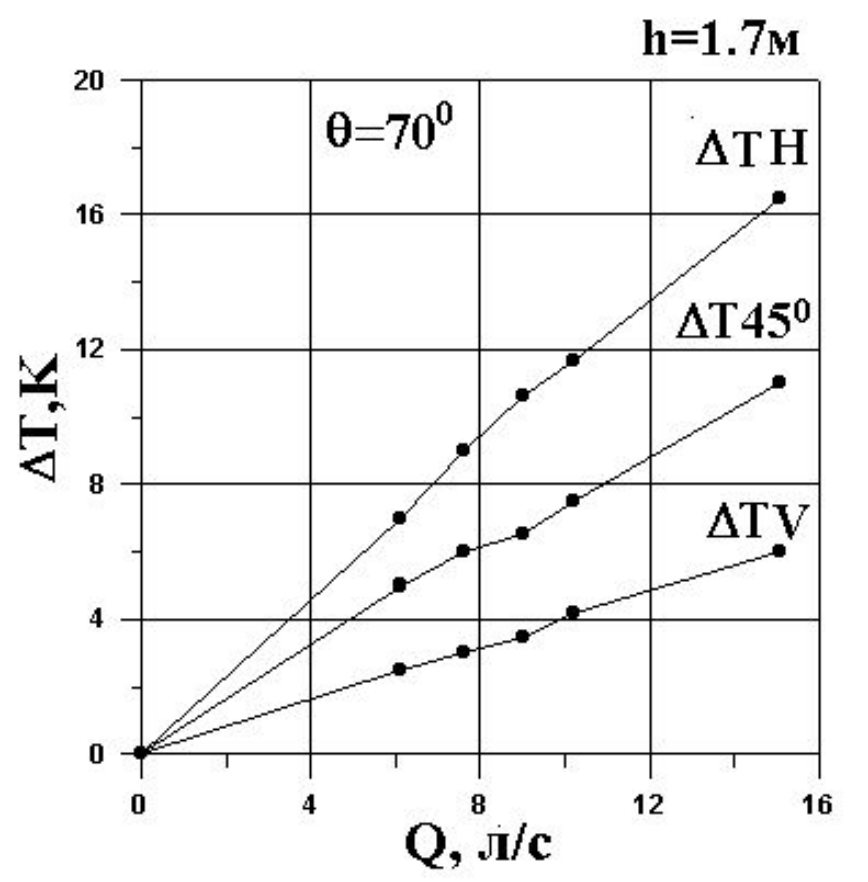
Радиометрические измерения

H=1.7 м

0.8 см

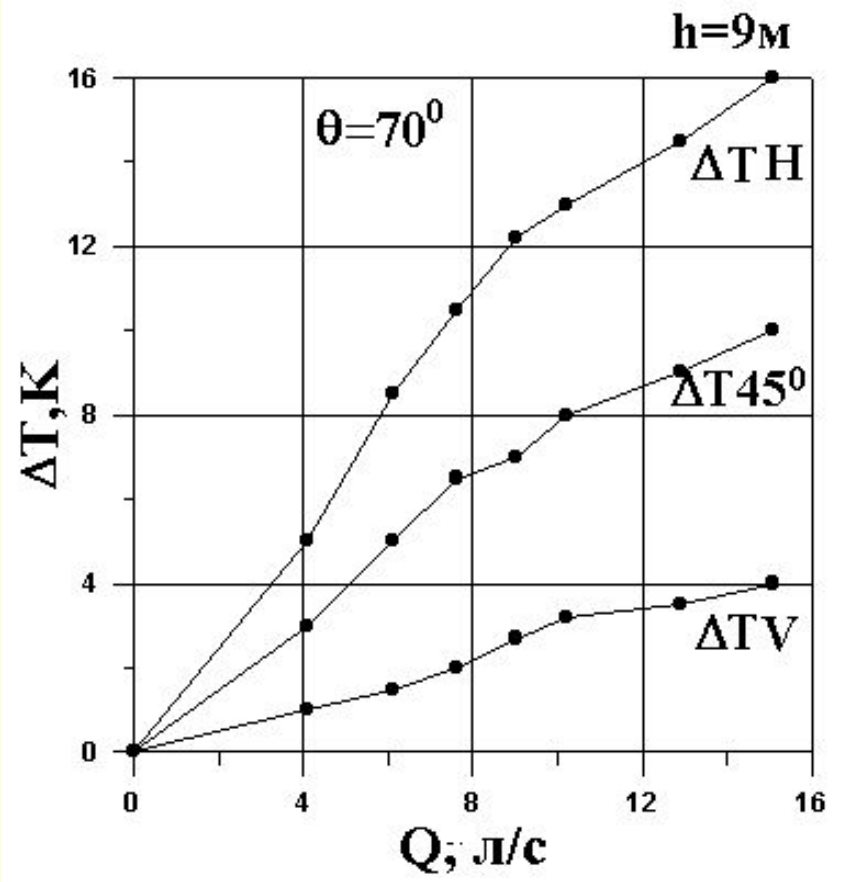


1.5 см

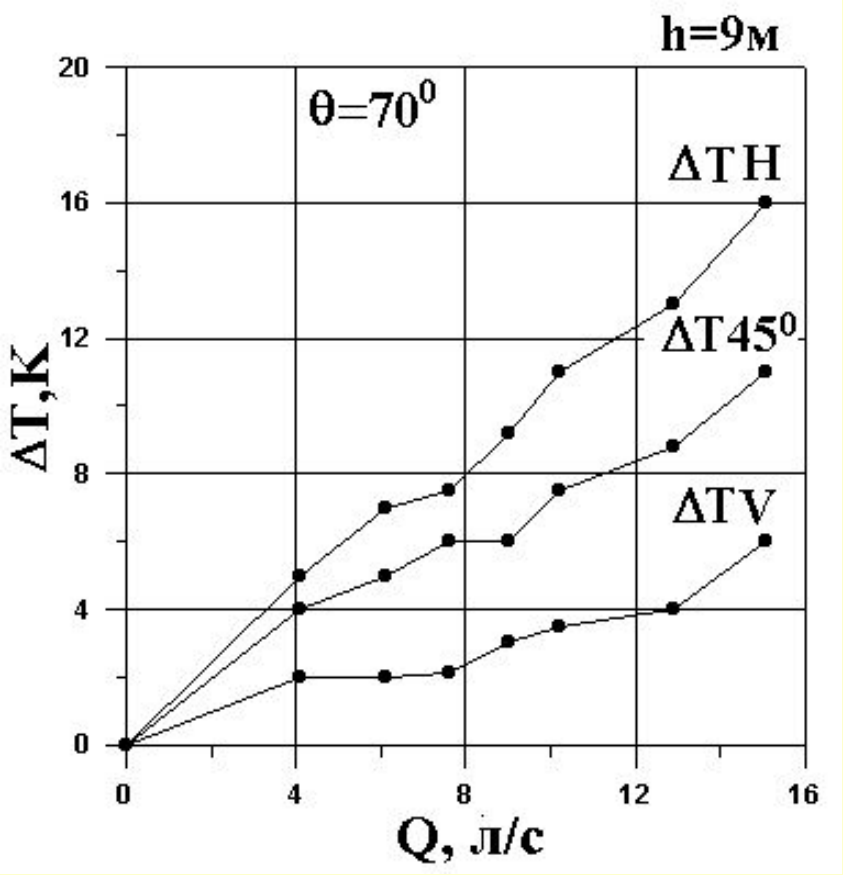


H=9 м

0.8 см

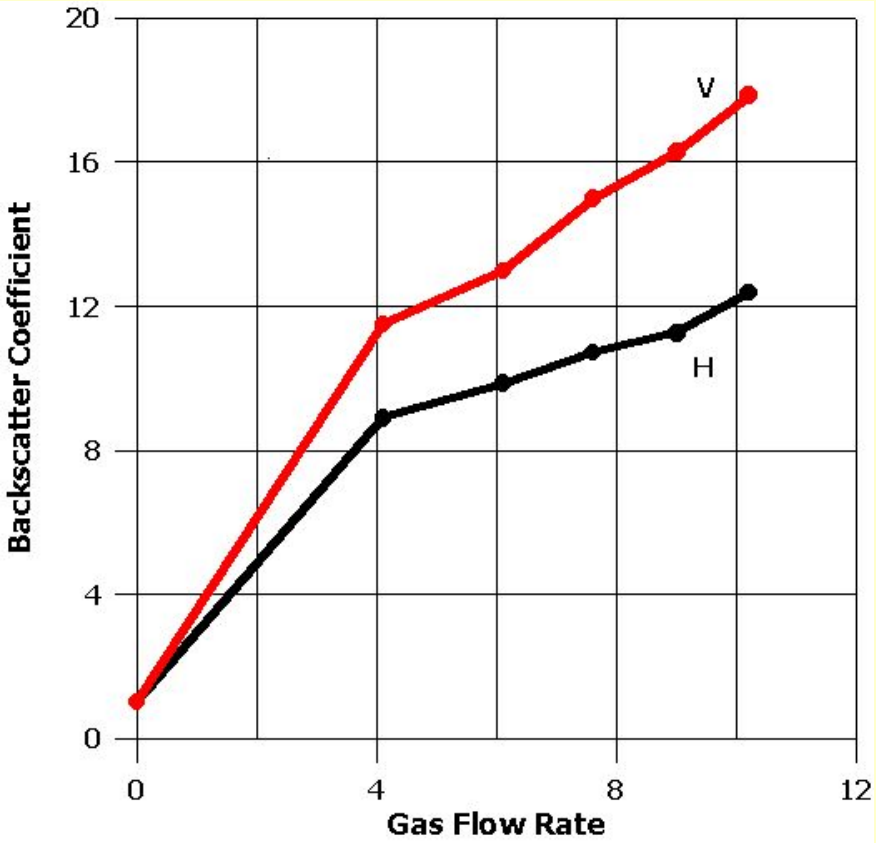


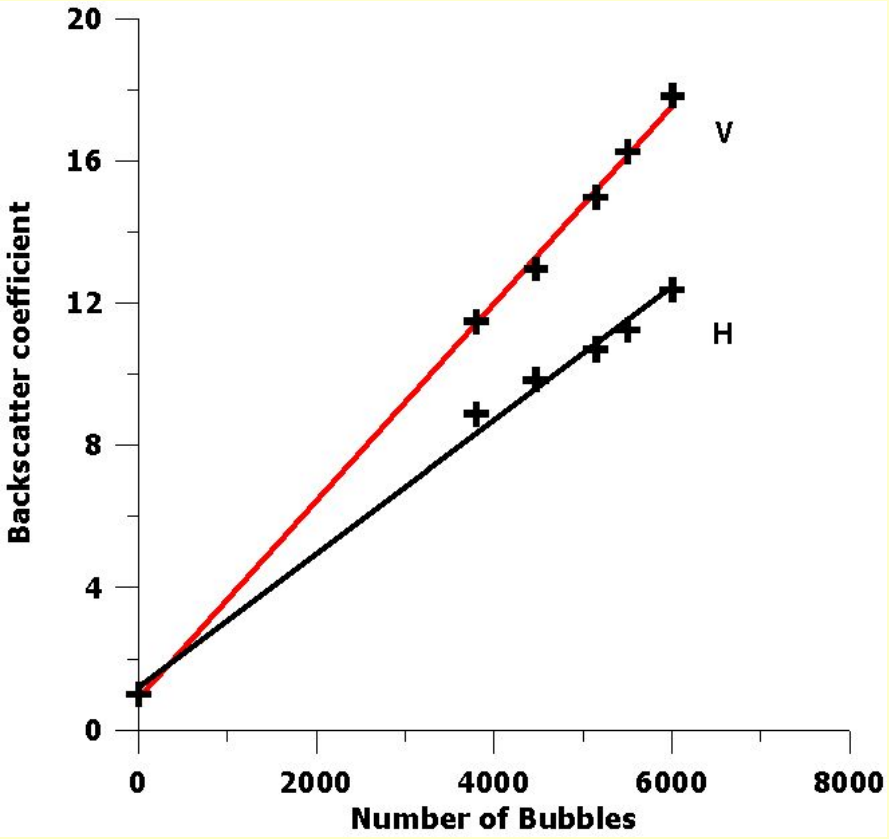
1.5 см



Скаттерометрические измерения

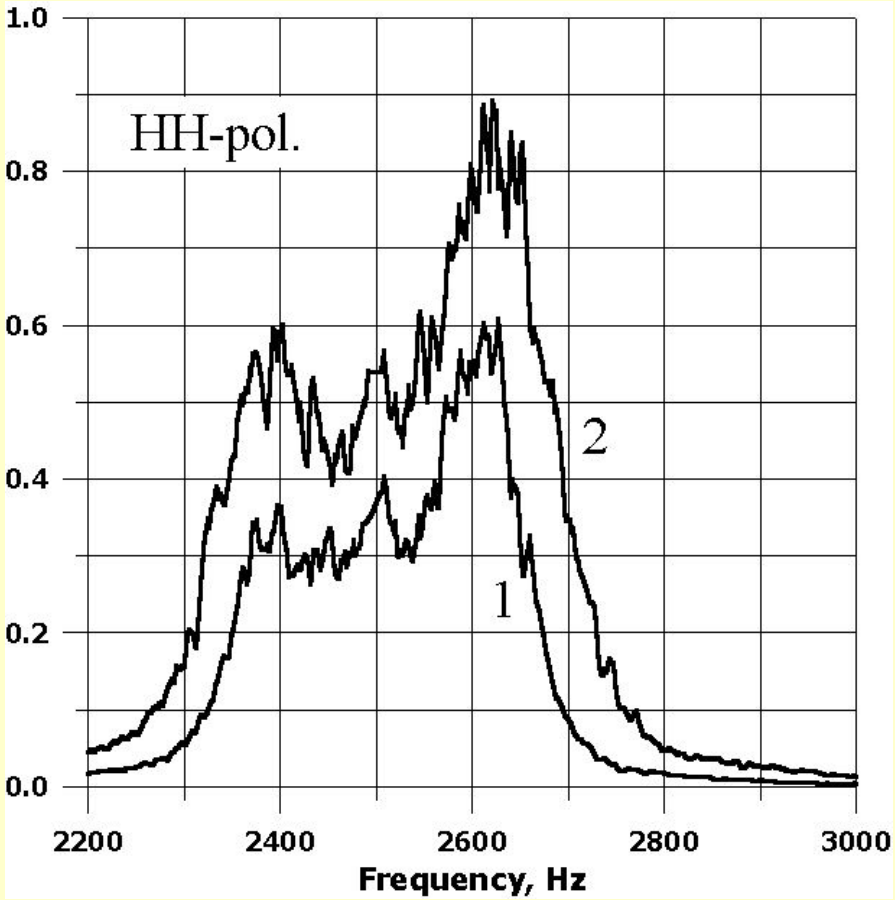
Зависимость коэффициента обратного рассеяния от потока (dm^3c^{-1}) и количества всплывающих пузырей

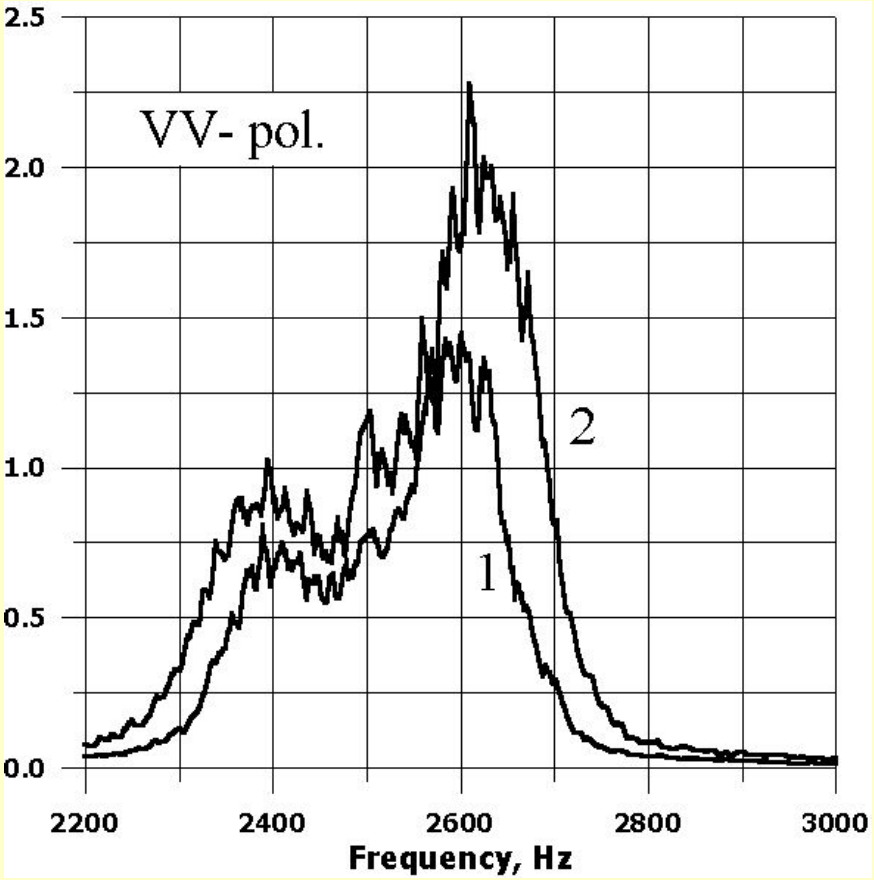




Допплеровские спектры, полученные при двух значениях расхода

(1 - 4.1дм^{3}с$^{-1}$, 2 - 10,2 дм^{3}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 $V_S = \dfrac{\lambda_0}{2 f \cos\psi}$,

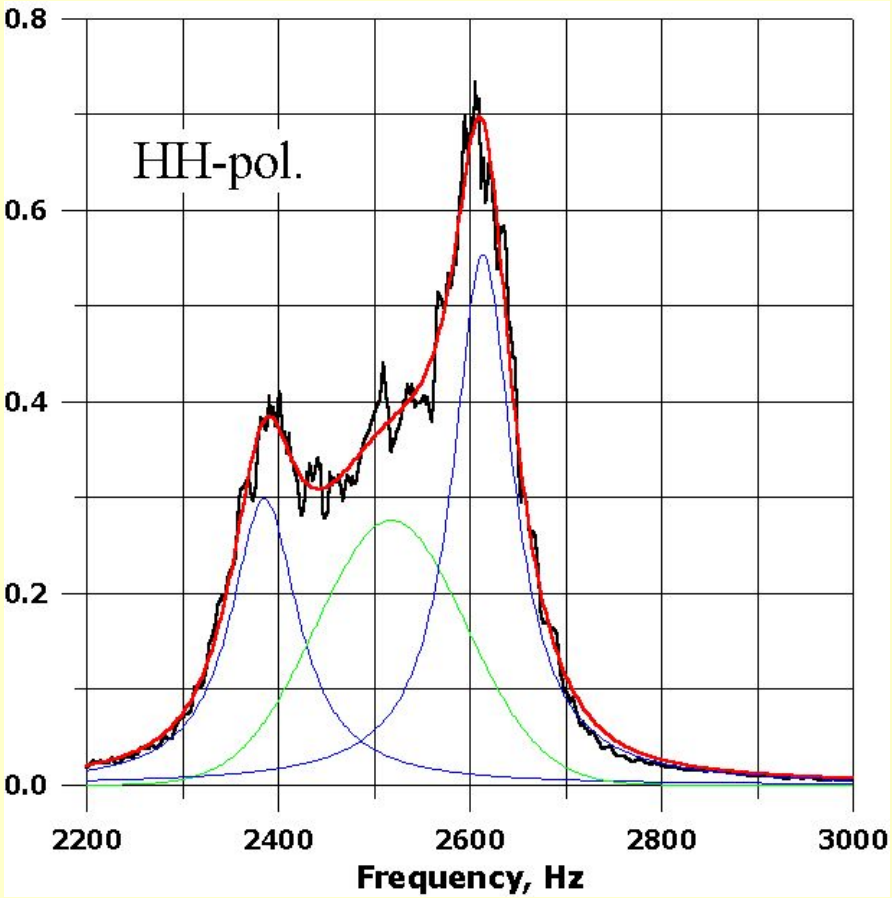
Время жизни $\tau = 1/\Delta f_L$

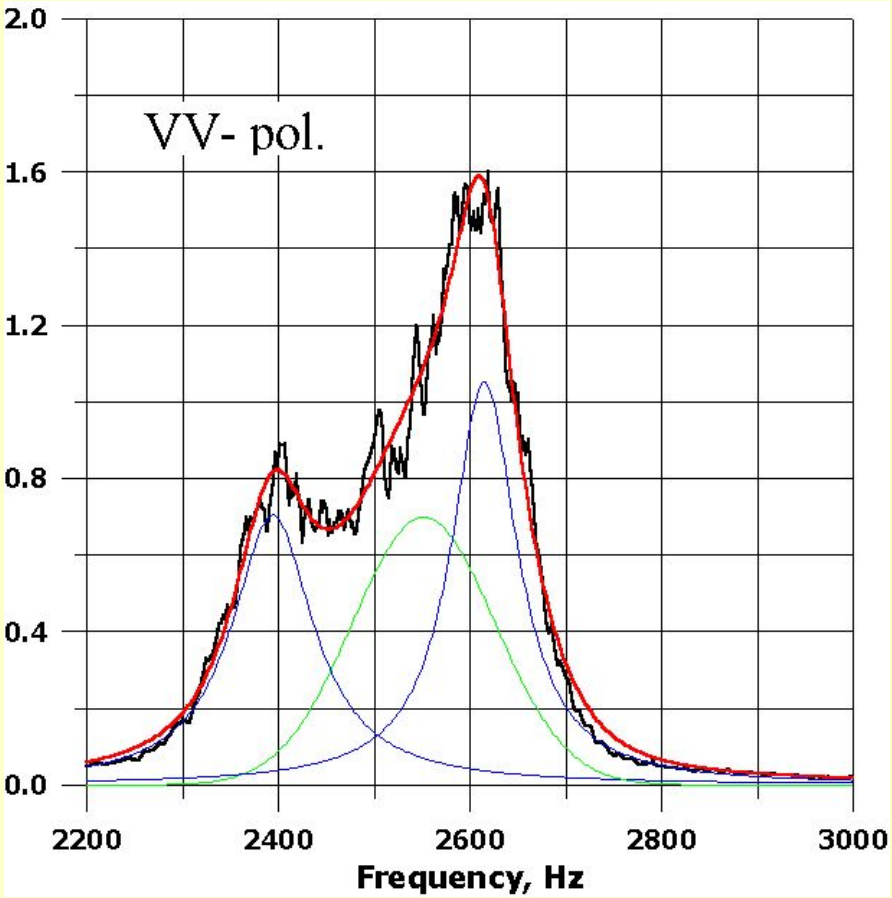
где λ_0 **- длина электромагнитной волны**, ψ **- угол зондирования.**

Апроксимация

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

Результаты апрксимации 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(-) 48 cm/s	Течение в фонтане
Скорость рассеивателей (+) 53 cm/s	50-60cm/s
Время жизни рассеивателя 19-24 ms	Время распада пузыря (среднее) 14-19 ms

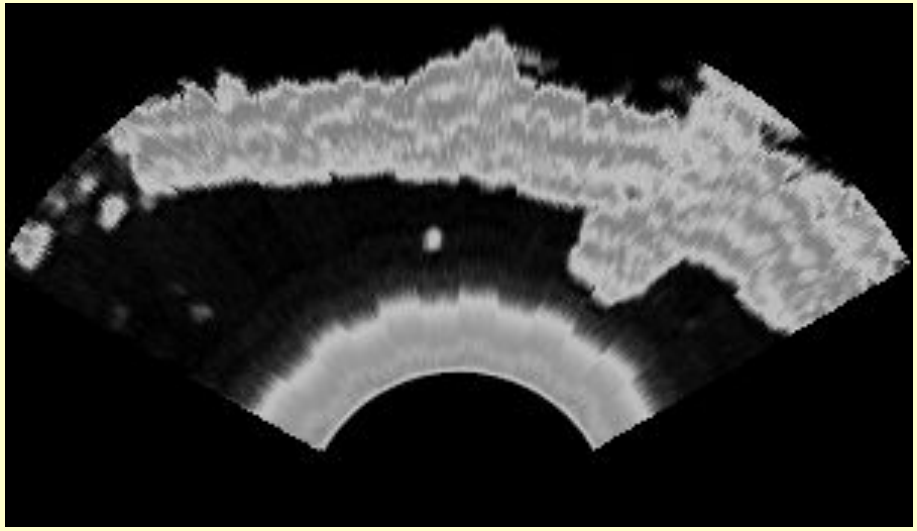
Высота фонтана (h) и средний период флюктуаций(T)

a)аппроксимация Гаусса	b)волнограф
h=12cm,	h=14-16cm
T=1.3s,	T=1.5-1.8s

Радиолокационные измерения

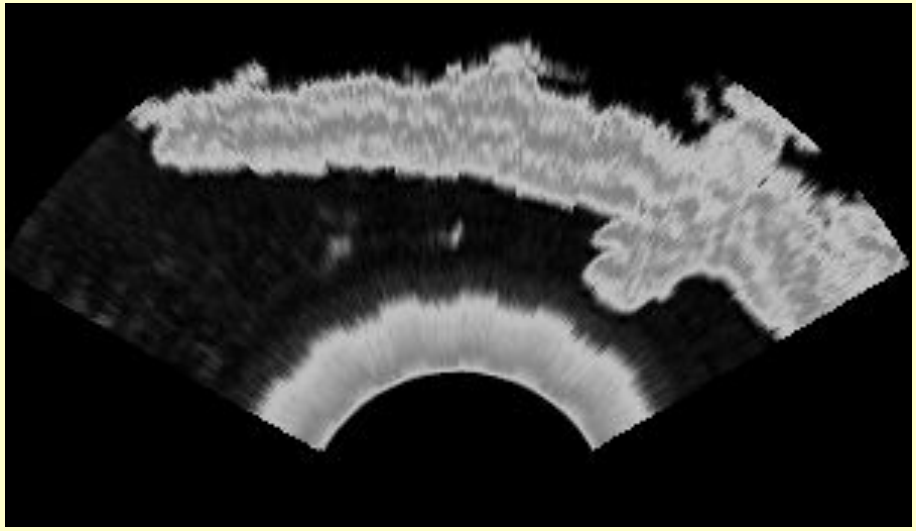
Расход 4 $дм^3с^{-1}$

Вертикальная поляризация



Кадр 33, мах= 13,42

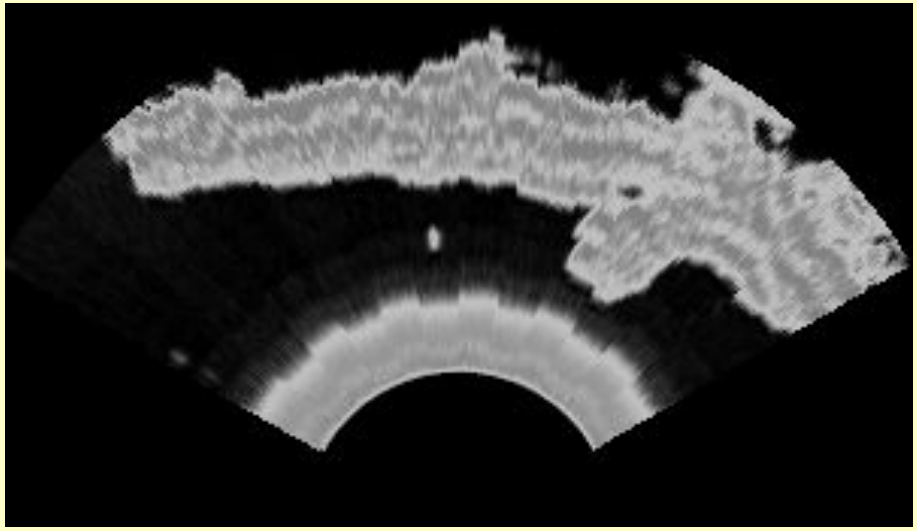
Горизонтальная поляризация



Кадр 194, мах = 4,06

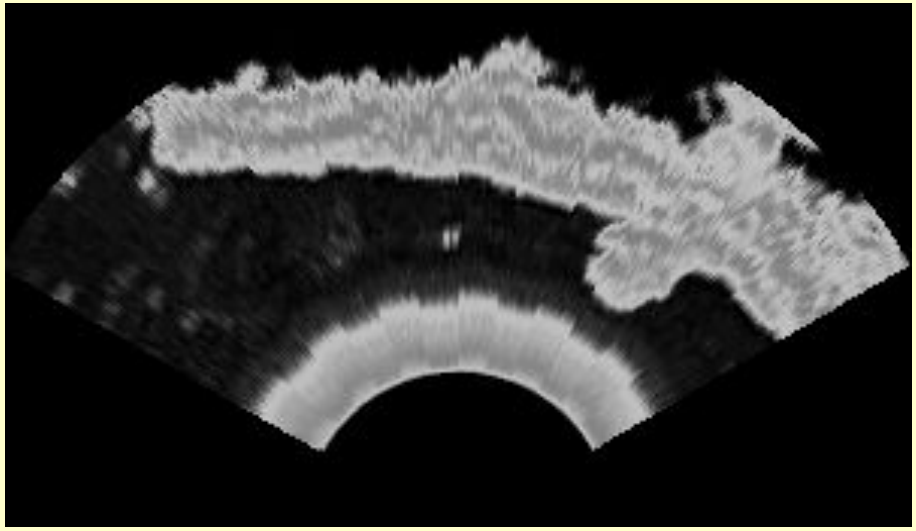
Расход 10 дм^{3}с$^{-1}$

Вертикальная поляризация



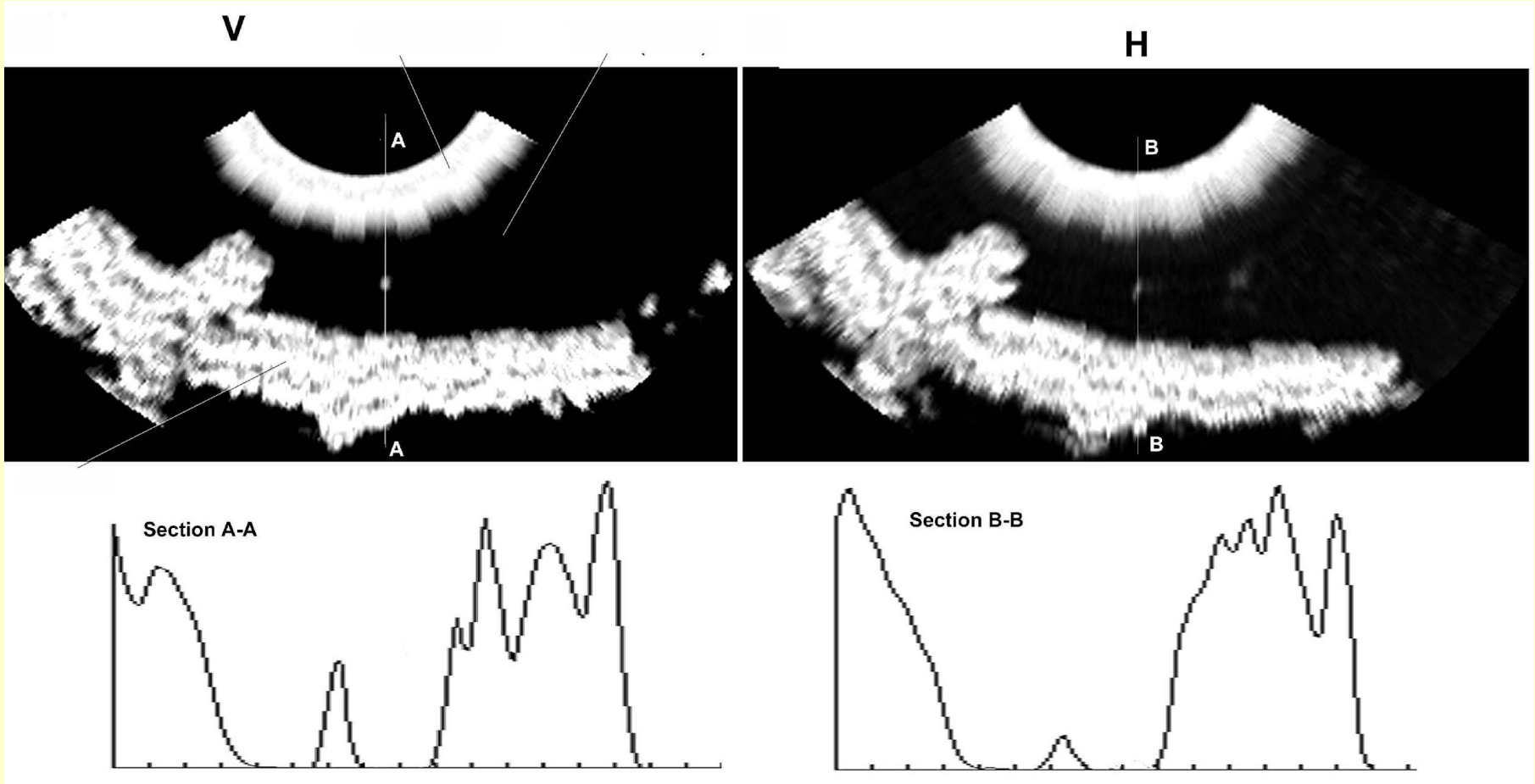
Кадр 69, мах = 15,58

Горизонтальная поляризация



Кадр 232, мах = 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 радиояркостных контрастов и мощности обратного рассеяния с расходом газа и статистическими параметрами ансамбля газовых пузырей.
- Установлено, что на поверхности, возмущенноц потоком газа, существуют два типа рассеивателей злектромагнитных волн. Эта особенность спектра рассеянного сигнала можетбыть 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).