

IV ОТКРЫТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

Москва, ноябрь, 2006 г.

# Гашение гравитационно- капиллярных волн пленками нефтепродуктов

С.А. Ермаков, И.А. Сергиевская, Л.А. Гушин,  
Ю.Б.Щегольков



Институт прикладной физики РАН  
603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46  
[stas.ermakov@hydro.appl.sci-nnov.ru](mailto:stas.ermakov@hydro.appl.sci-nnov.ru), 007-8312-164935

# Эксперименты по радиолокационному зондированию нефтяных пленок

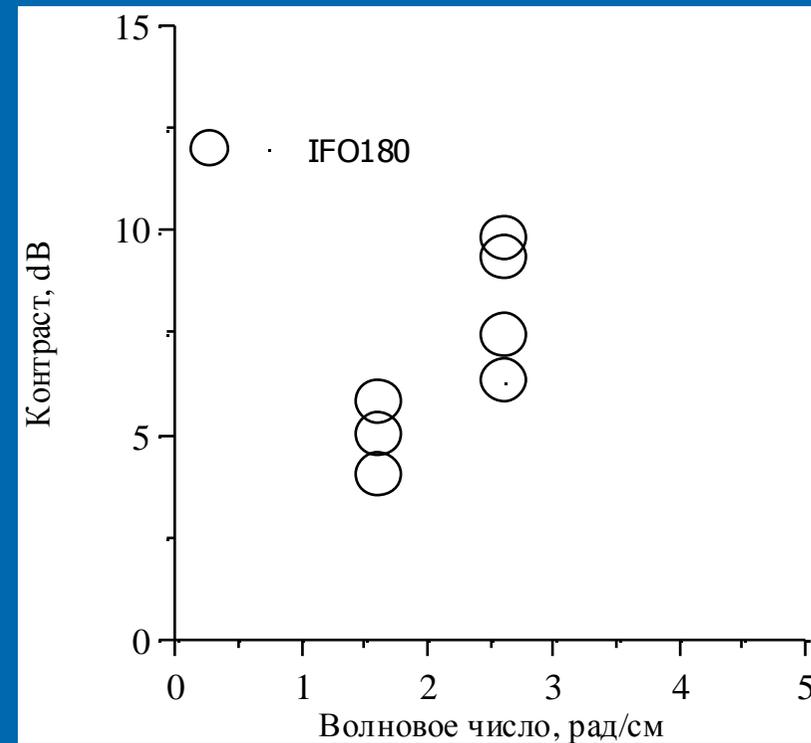
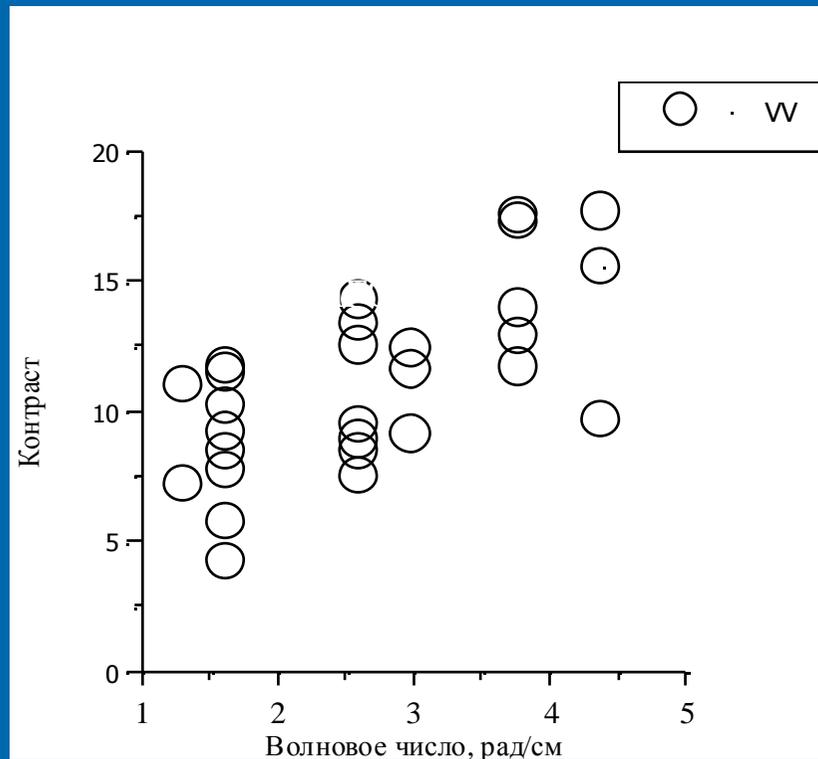
- SIR C/X-SAR experiment (L-C-X-band SAR) 1994

University of Hamburg, Communication Research Lab (Tokio, Japan) –  
North Sea, Kuroshio Stream: “биогенные” пленки - OLA, OLME, ... ,  
нефть IFO 180

- Univ. Hamburg (L-C-X-Ku band “Heliscat”) 1991-... “биогенные” пленки

- Эксперименты с нефтяными пленками (Singh et.al., 1986)

# Эксперименты по дистанционному зондированию пленок (Gade et.al., 1998).



Гашение РЛ сигнала в нефтяном разливе (IFO 180),  
области “сильных” (слева) и “слабых” (справа) контрастов

Выводы: контраст для зон нефтяных разливов растет с уменьшением  
длины волны, уменьшается с ростом ветра.

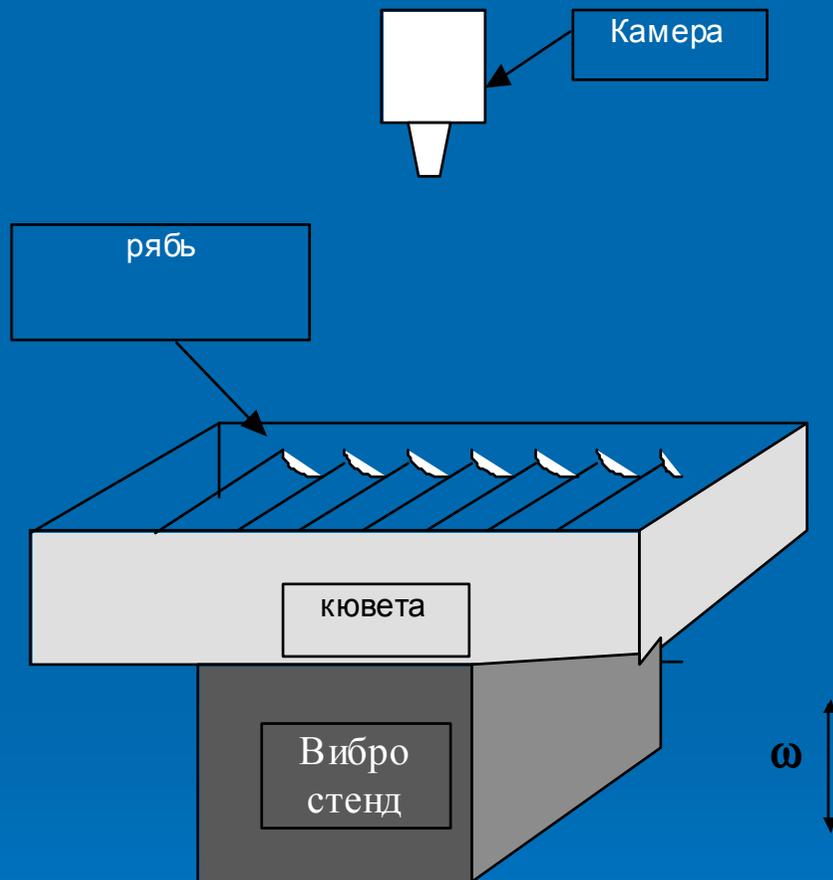
Характеристики нефтяных пленок не контролировались

## Содержание

- Лабораторные исследования характеристик пленок нефтепродуктов
- Эксперименты по дистанционному зондированию пленочных сликов
- Возможности диагностики пленок (различение биогенных и нефтяных пленок)



# Исследование физических характеристик поверхностных пленок



Sketch of measuring  
characteristics of gravity-capillary waves

Dispersion relation for gravity-capillary waves

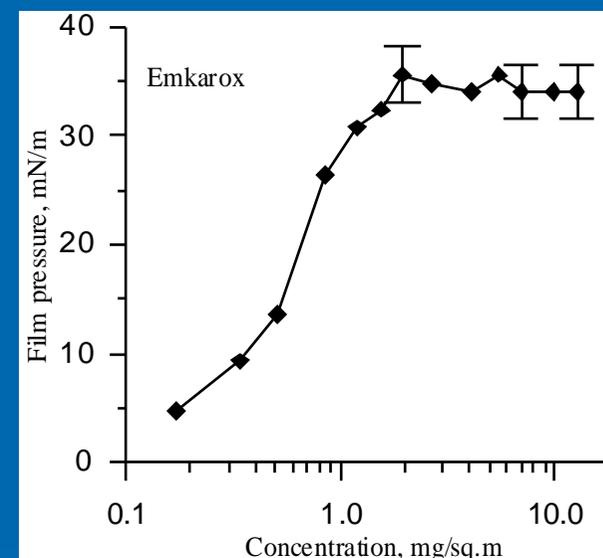
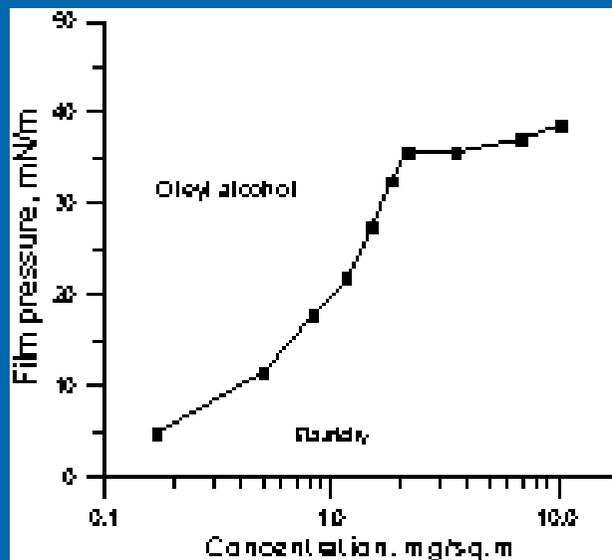
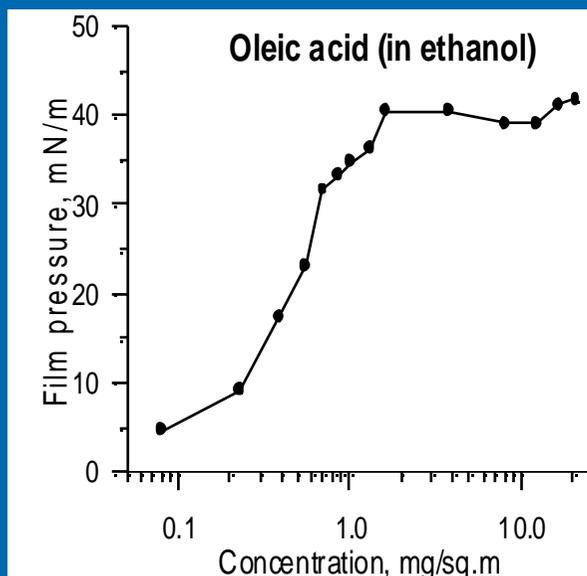
$$\omega = (gk + \sigma k^3 / \rho)^{1/2}$$

$\sigma$  - the surface tension coefficient,  $k$  - wave number



Photograph of 25-Hz parametric ripples

# Поверхностное натяжение органических (“биогенных”) пленок

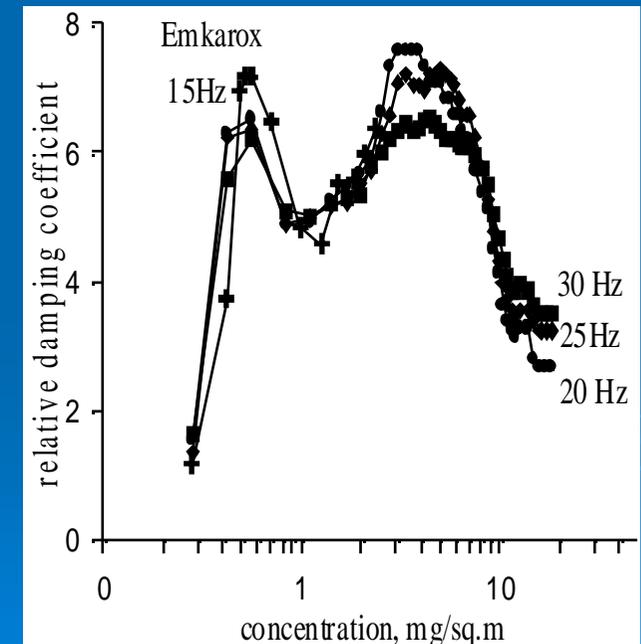
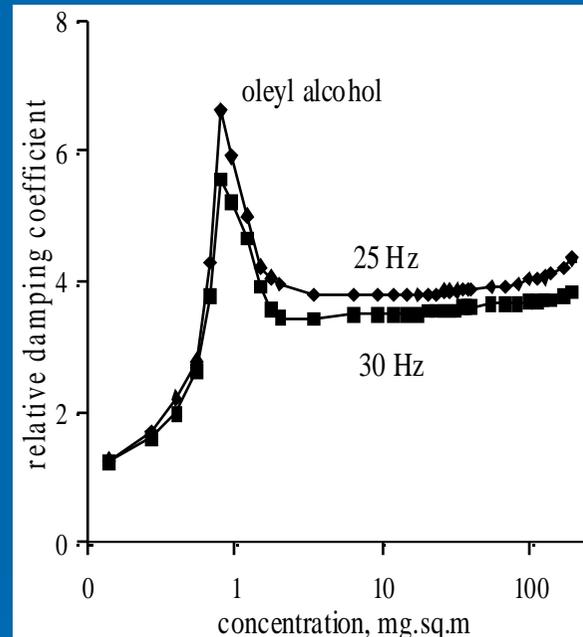
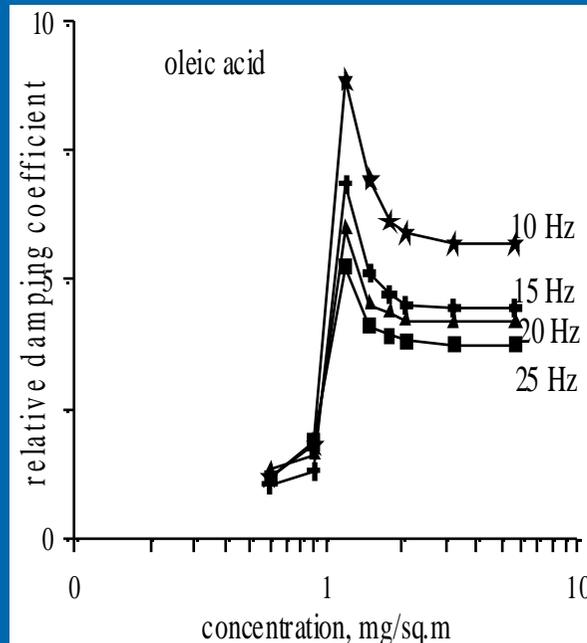


Film pressure (=surface tension clean - surface tension contaminated) retrieved from measurements of wavelengths of surface waves

## Substances:

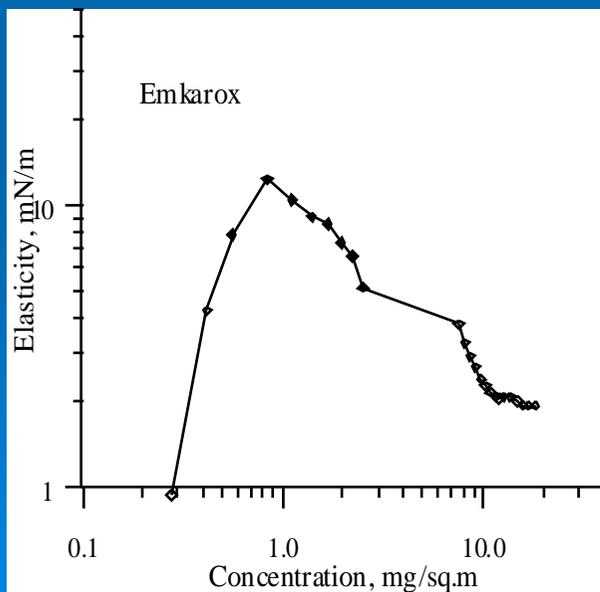
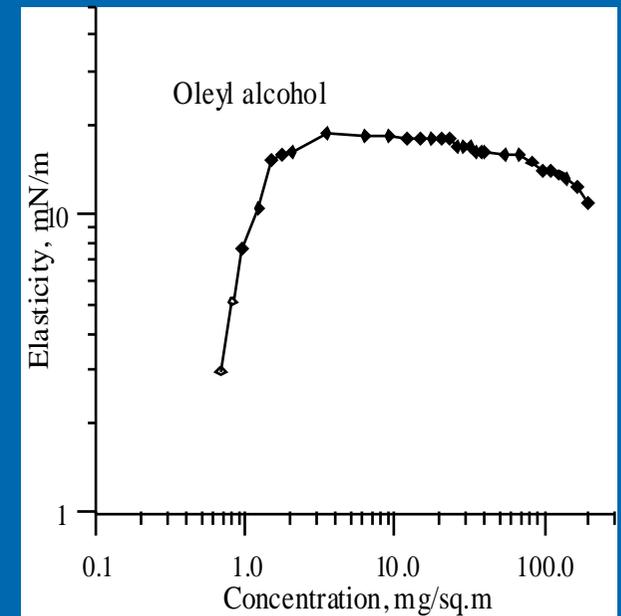
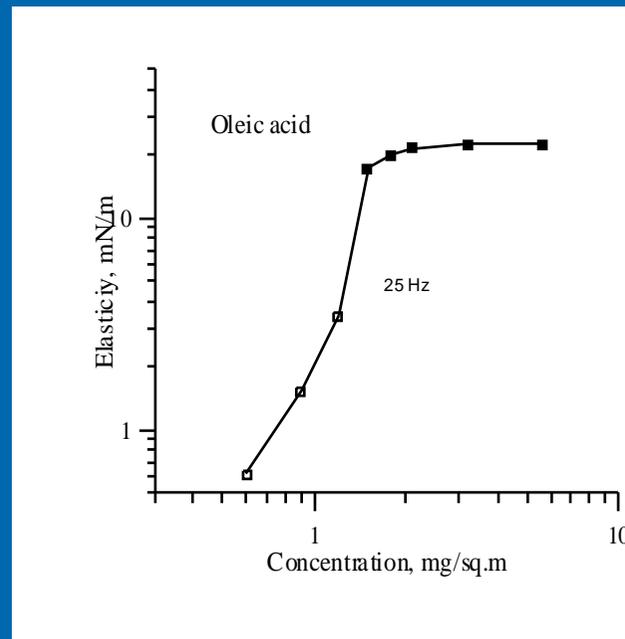
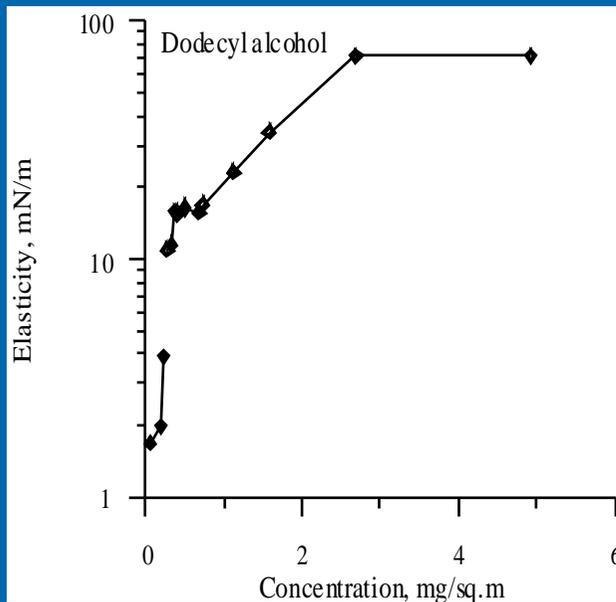
oleic acid (OLE), oleyl alcohol (OLA), Emkarox (Emk), vegetable oil (VO), dodecyl alcohol (DA)

# Коэффициент затухания поверхностных волн на мономолекулярных органических (“биогенных”) пленках



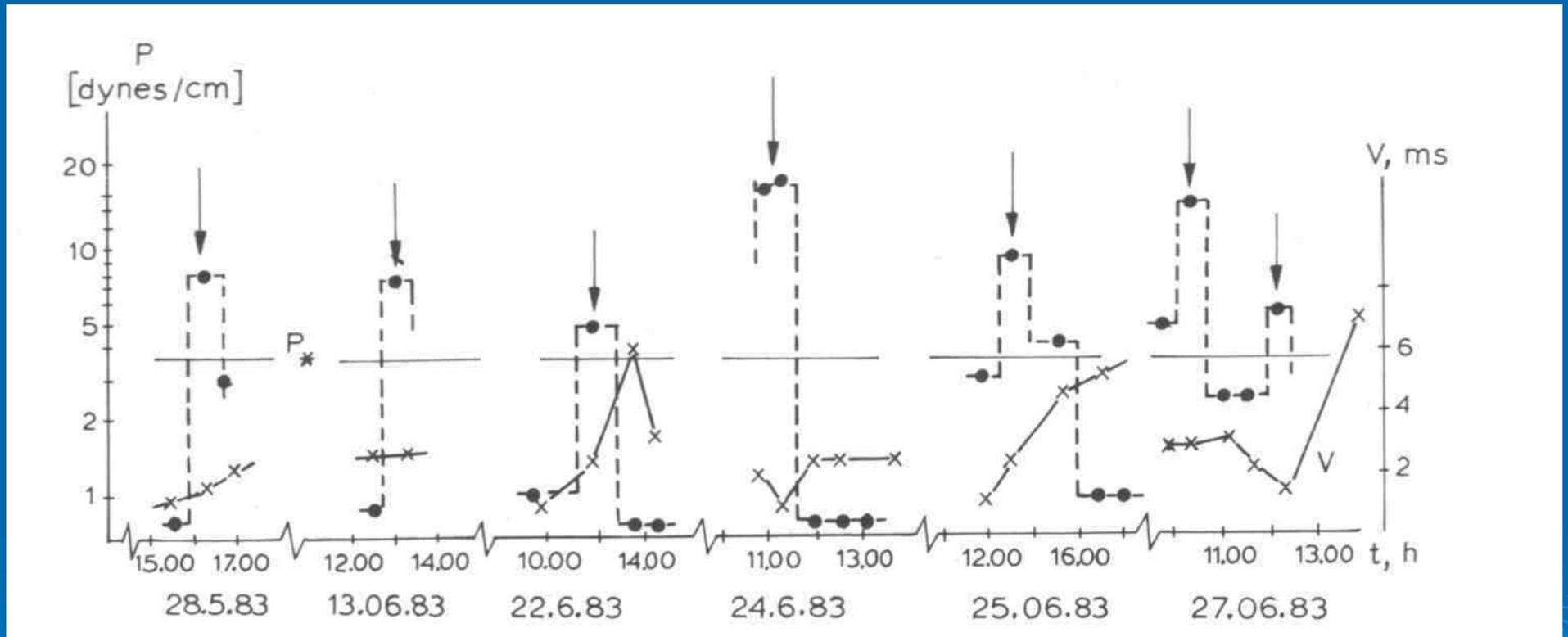
Relative damping coefficients vs. surfactant concentration, measured using a parametric wave method

# Упругости искусственных пленок



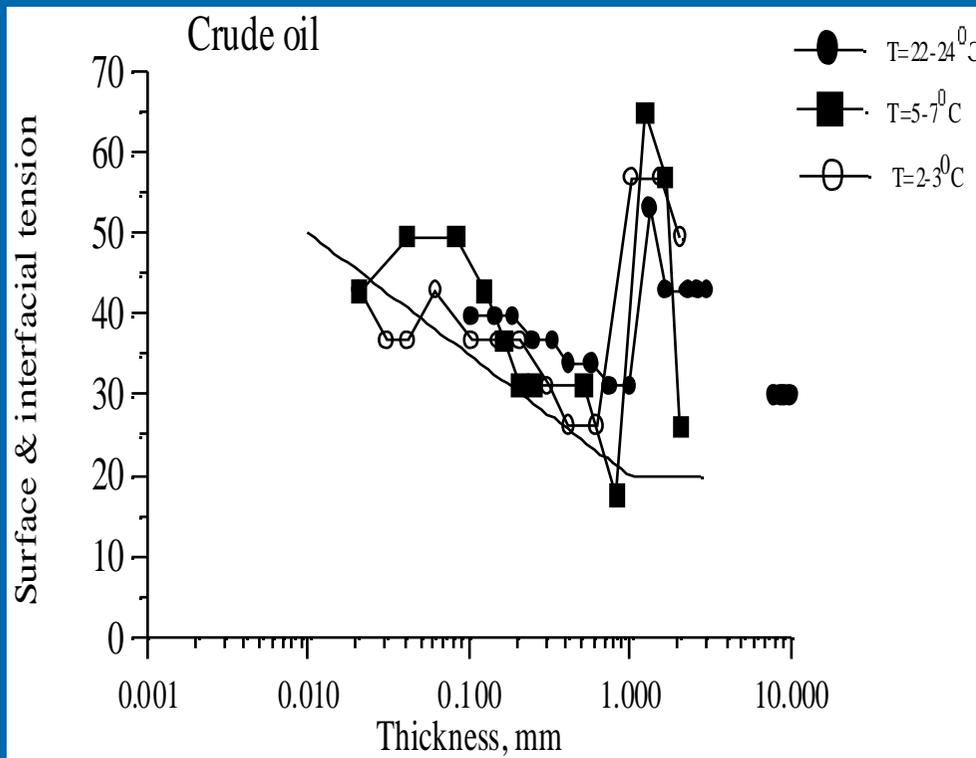
Вещество	Emk	VO	OLA	OLE	DA
КПН, мN/м	39	40	36	32	22
Упругость, мN/м	2-5	12	15	22	70

## Упругости биогенных пленок на морской поверхности

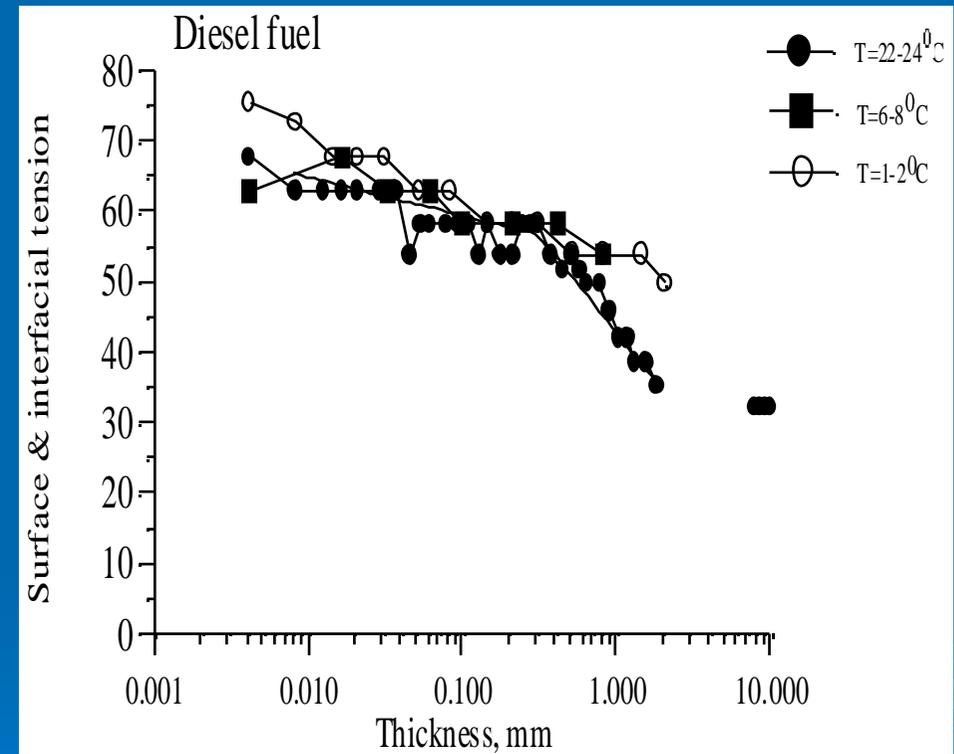


Типичные упругости биогенных морских пленок в сликах 10-20 мН/м

# Коэффициент поверхностного натяжения нефтяных пленок



Crude oil, Frequency 15 Hz



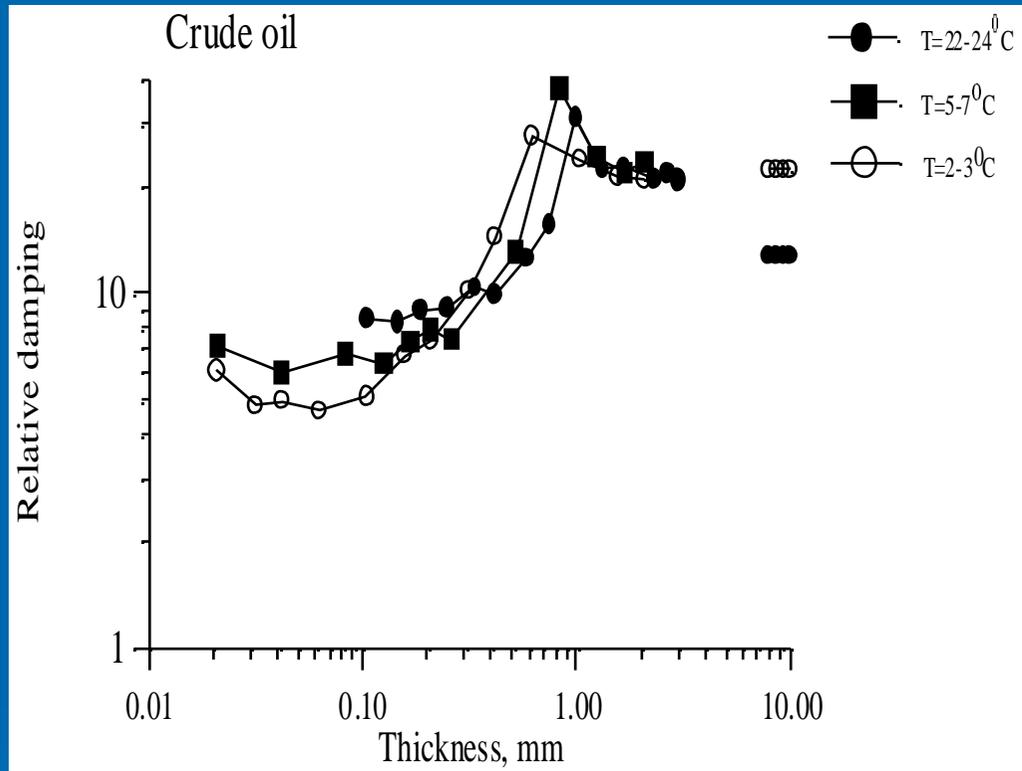
Diesel fuel, frequency 27.5 Hz

Surface/interfacial tension (retrieved from GCW wavelenght) vs. thickness for oil films at different temperatures.

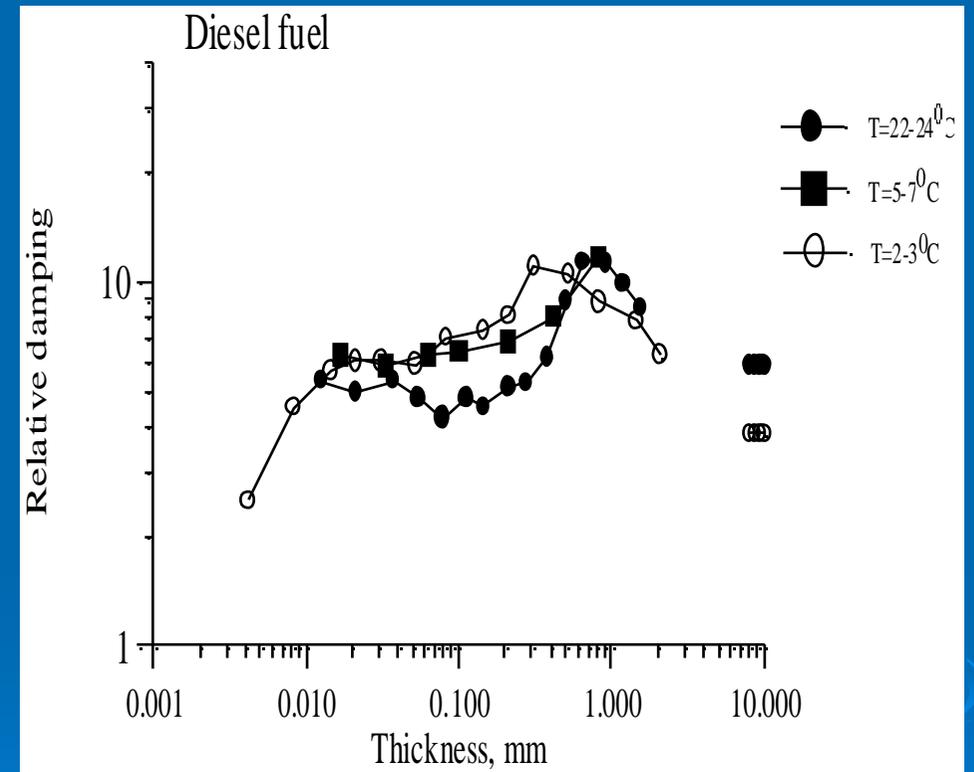
The data at thickness values of about 10 mm correspond to the surface tension of oil.

# Коэффициент затухания поверхностных волн на пленках нефтепродуктов

## Сырая нефть



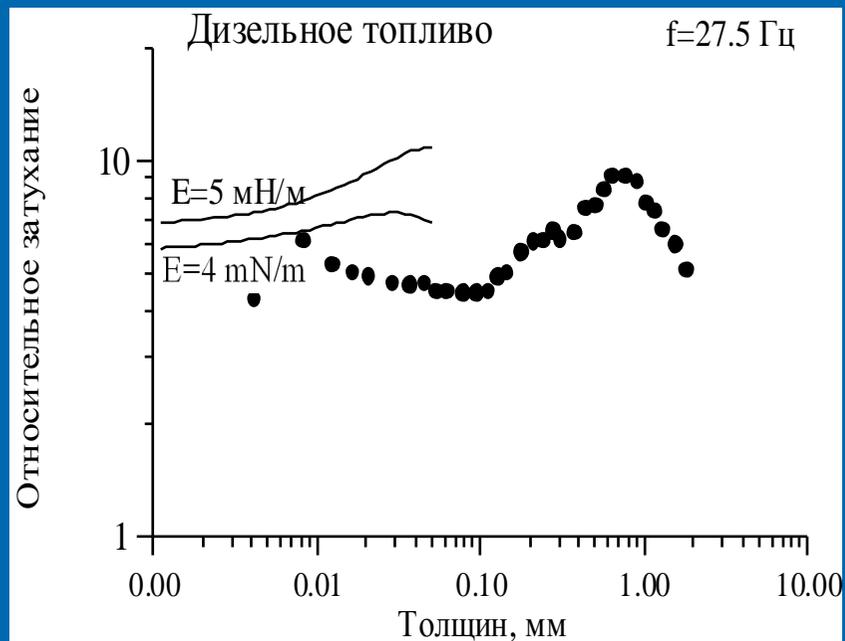
## Диз.топливо



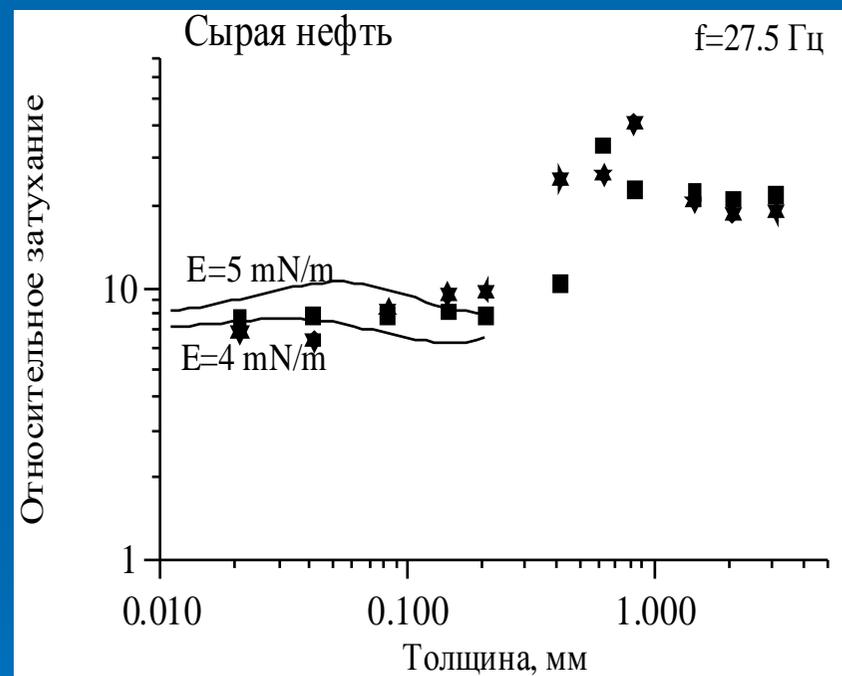
Wave frequency 15 Hz

Relative damping vs. thickness for a crude oil and diesel fuel at different temperatures

# Коэффициент затухания поверхностных волн на пленках нефтепродуктов и оценки вязкоупругости нефтяных пленок



Отн. вязкость диз.топлива 8



Отн. вязкость нефти 20

Кривые – расчеты по модели  
Jenkins&Jakobs, 1997

## Viscoelasticity of CO/OD (thin) films

Film material	Surface & Interfacial tension	Interfacial tension mN/m	Relative viscosity	Surface Elasticity mN/m
Crude oil	Empirical dependence	0-10	15-20	3-4
Diesel fuel	-//-/-	0-10	8	3-4
Kerosene	-//-/-	0-10	1.3	4-6

# Натурные эксперименты с искусственными сликами

## Радиолокаторы

8.7 мм; 3.2 см

## Оптические спектраллизаторы:

диапазон длин ветровых волн 0.5-10см

## Пленки:

полимер Emkarox (Emk), растительное масло (VO),

олеиловый спирт (OLA),

олеиновая кислота (OLE),

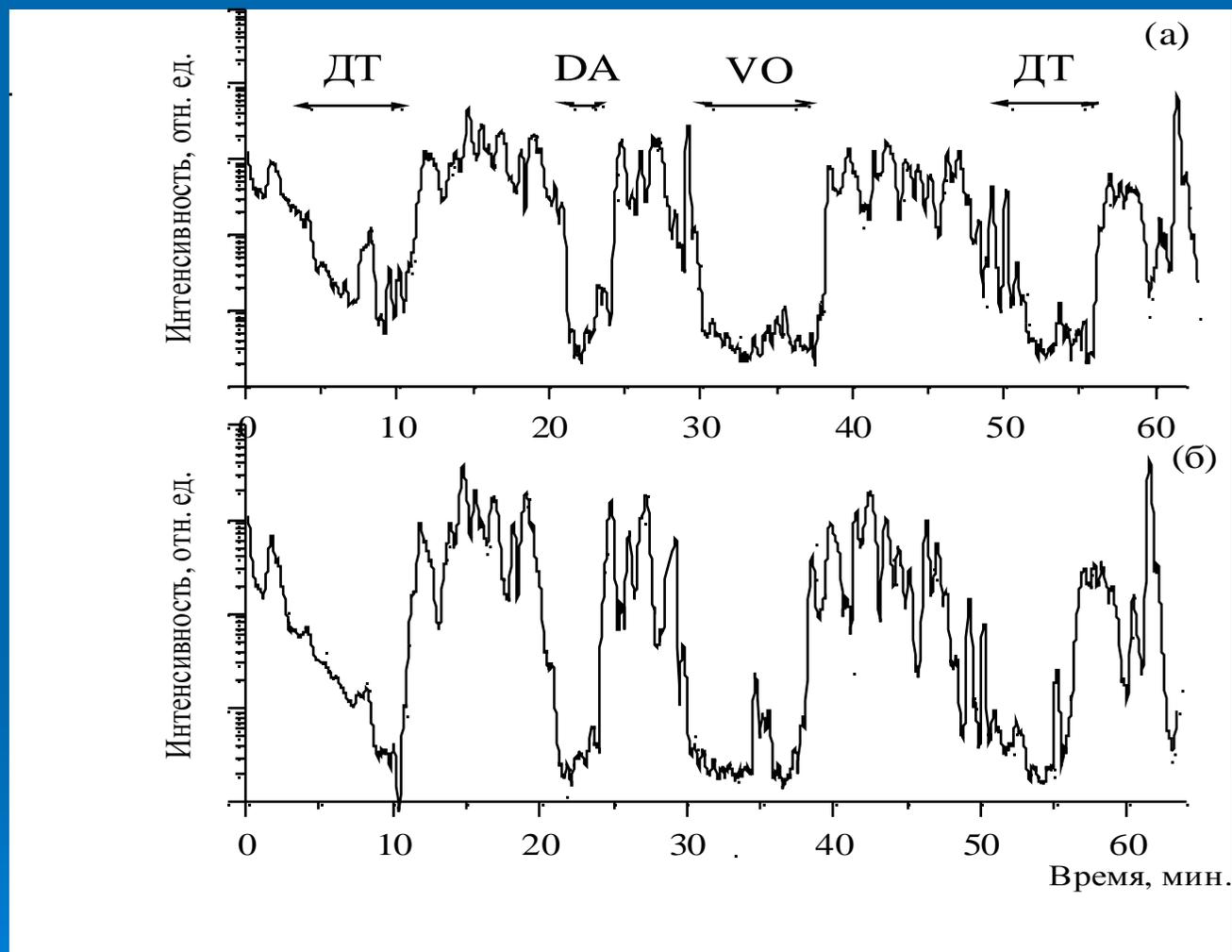
додециловый спирт (DA)

диз.топливо (ДТ)



РЛ/оптический  
комплекс ИФФ РАН

# Эксперименты по р.л.зондированию органических и нефтяных пленок



Записи интенсивностей сигналов обратного рассеяния в X и Ka-диапазонах  
в экспериментах со сликами

# Гашение ветровых волн пленками. Модель локального баланса

A local balance model for the spectrum of wind waves (Pelinovsky, Donelan&Pierson, Ermakov et.al.)

$$\frac{dN(k, x, t)}{dt} = \Pi_a + \beta(u_*, k)N - \gamma(E, \sigma, k)N + I_{nl}(N)$$

$$N(\mathbf{k}, \mathbf{x}, t) = \rho F(\mathbf{k}, \mathbf{x}, t) \omega(\mathbf{k}) / |\mathbf{k}|$$

$F$  – the wavenumber spectrum of wind waves

$\beta$  - wind wave growth rate,  $\gamma$  - wave damping coefficient,  $\sigma$  - surface tension,  $E$  - film elasticity,  $u_*$  - friction velocity

$$I_{nl} \sim N^n$$

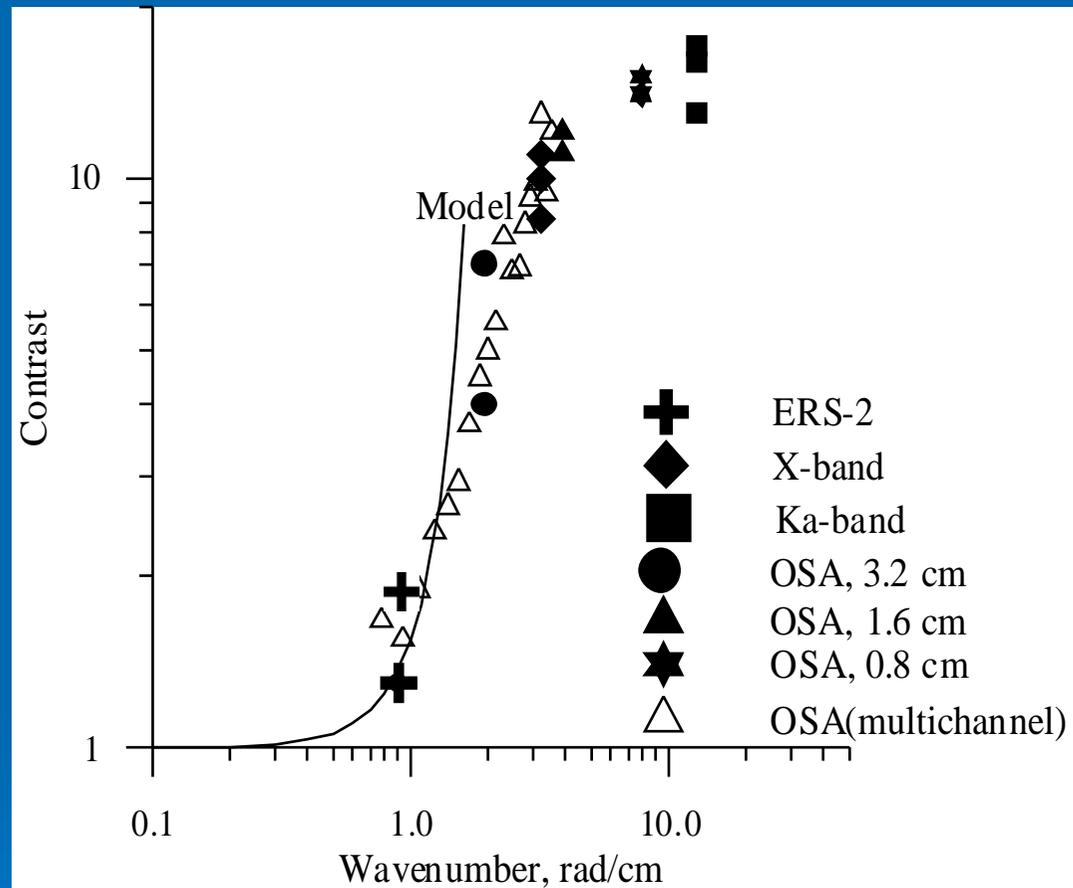
Contrast  $K(k) = F_{nsl}(k) / F_{sl}(k)$  in the wavenumber spectrum of wind waves

$$K(k) = \left[ \frac{\beta(u_{*nsl}, k) - \gamma(0, \sigma, k)}{\beta(u_{*sl}, k) - \gamma(E, \sigma, k)} \right]^n$$

$$\beta > \gamma \quad n=1; \quad \beta < \gamma \quad n=-1$$

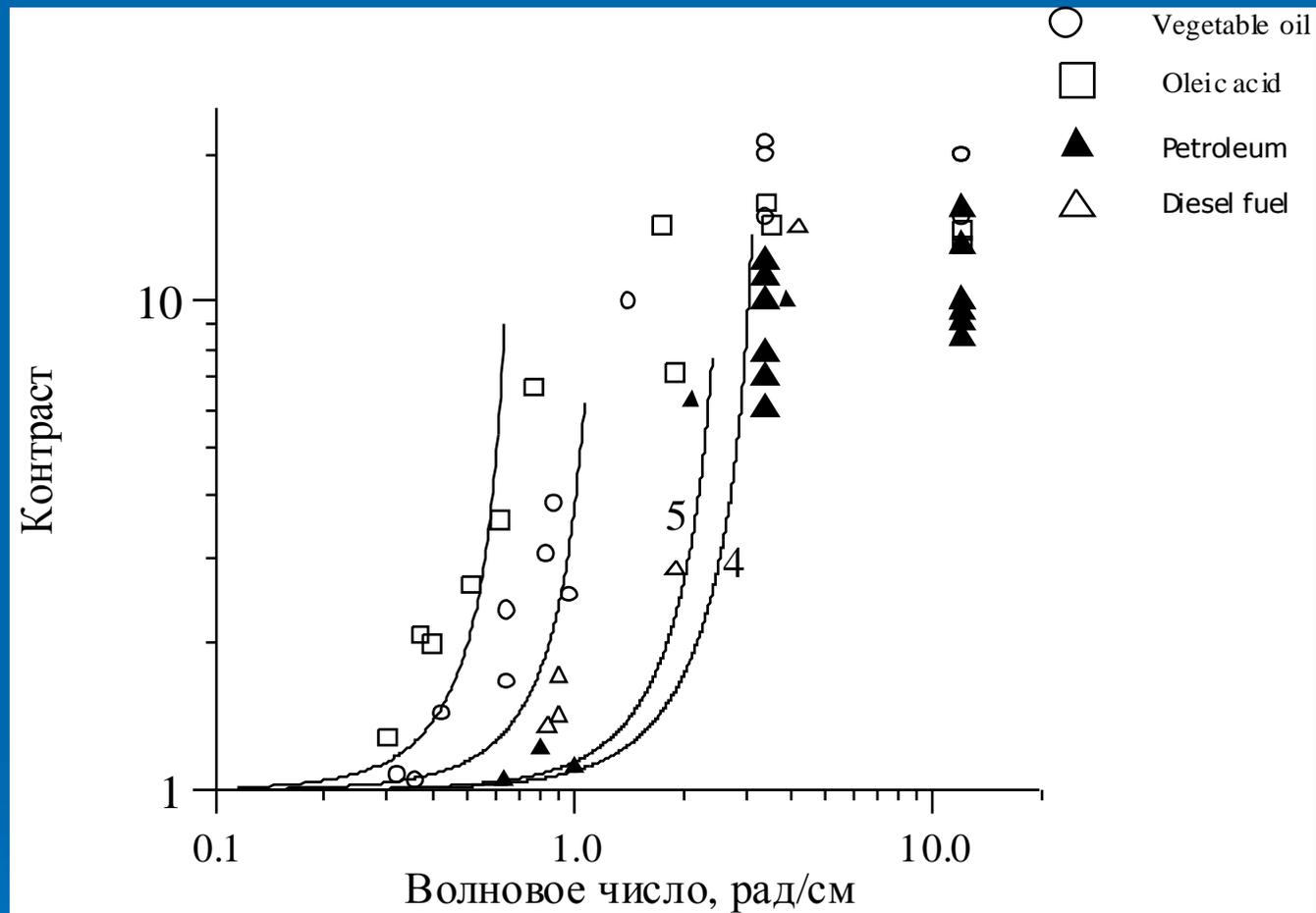
Bragg scattering :  $K_{radar} = K_{hydro}$

## Натурные эксперименты с искусственными сликами



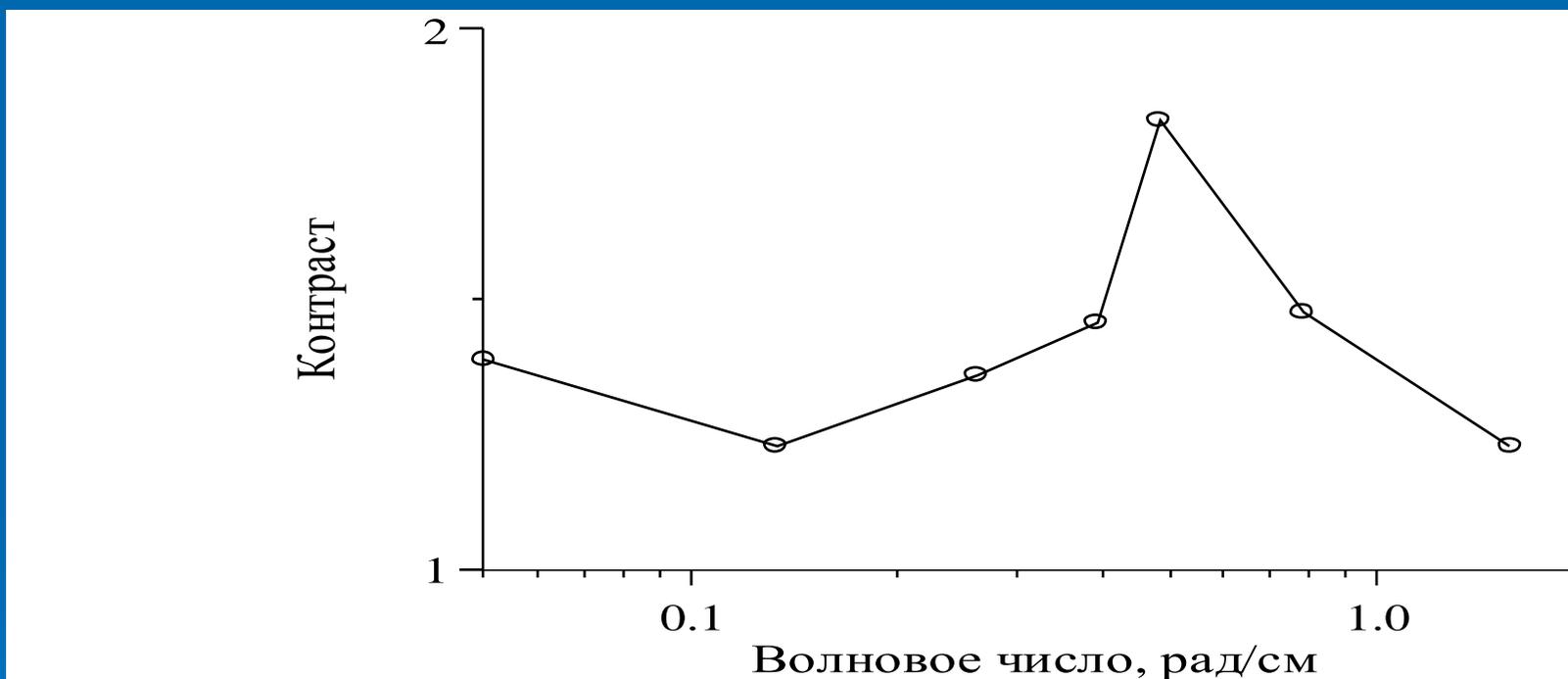
Контраст в сликах VO по данным  
подспутниковых экспериментов с  
платформы

# Контрасты. Модель и эксперименты.



Контрасты для волн см-диапазона для пленок олеиновой кислоты, растительного масла, сырой нефти и диз.топлива. Скорость ветра 6 м/с. Измерения РЛ и оптическими спектраллизаторами

## Спектральные контрасты в штилевых пятнах

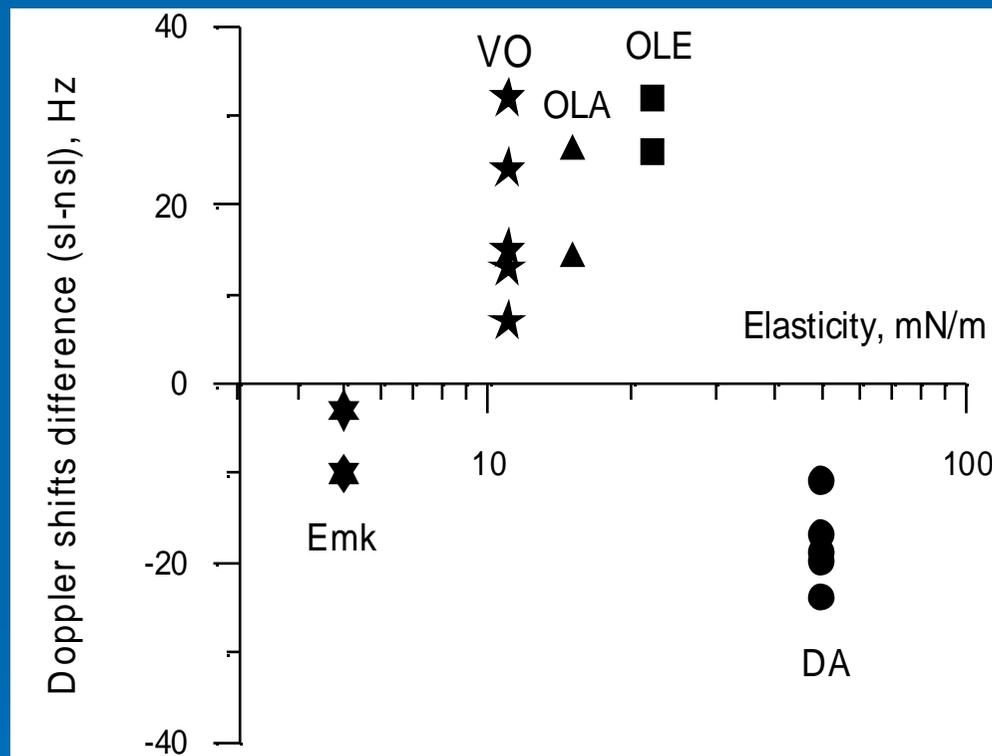


Спектральный контраст для “штилевой зоны” - области падения скорости ветра с 9 м/с до 7 м/с

# Выводы

- Получены значения физических параметров органических мономолекулярных пленок и пленок нефтепродуктов. Тонкие ( $<10$  мкм) пленки нефтепродуктов могут быть описаны как упругие, вязкость для них несущественна, параметр упругости для них – единицы мН/м, что значительно меньше, чем для типичных “биогенных” пленок
- РЛ контраст в L-С-Х-диапазонах (см-волны) растет с уменьшением длины волны радиолокатора и увеличивается с ростом упругости пленок. Основной физический механизм гашения см-волн - линейное затухание волн, которое зависит от упругости (и вязкости) пленок. Для тонких нефтяных пленок р.л. контрасты меньше, чем для “биогенных” пленок.
- Контрасты в см-диапазоне удовлетворительно описываются простой моделью локального баланса
- Для оценки физических характеристик пленок и различение “биогенных” пленок и нефтяных разливов возможно использование многочастотных РЛ систем. Измерение РЛ контрастов в Ка-диапазоне позволит эффективно обнаруживать пленки, а измерения в L-, С- и Х- диапазонах – различать их на фоне штилевых пятен и уточнять количественные характеристики пленок, в частности, величины их упругости.
- Расширение возможностей РЛ диагностики пленок возможно при использовании доплеровских РЛ систем. Доплеровский сдвиг РЛ сигнала в сликах меняется в зависимости от упругости пленки.

# Доплеровские сдвиги частоты сигналов 8-мм скаттерометра в сликах как функции упругости пленок



Разность доплеровских сдвигов  
частоты радиолокатора в сликах и вне сликов