

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, 007-8312-164935

Эксперименты по радиолокационному зондированию нефтяных пленок

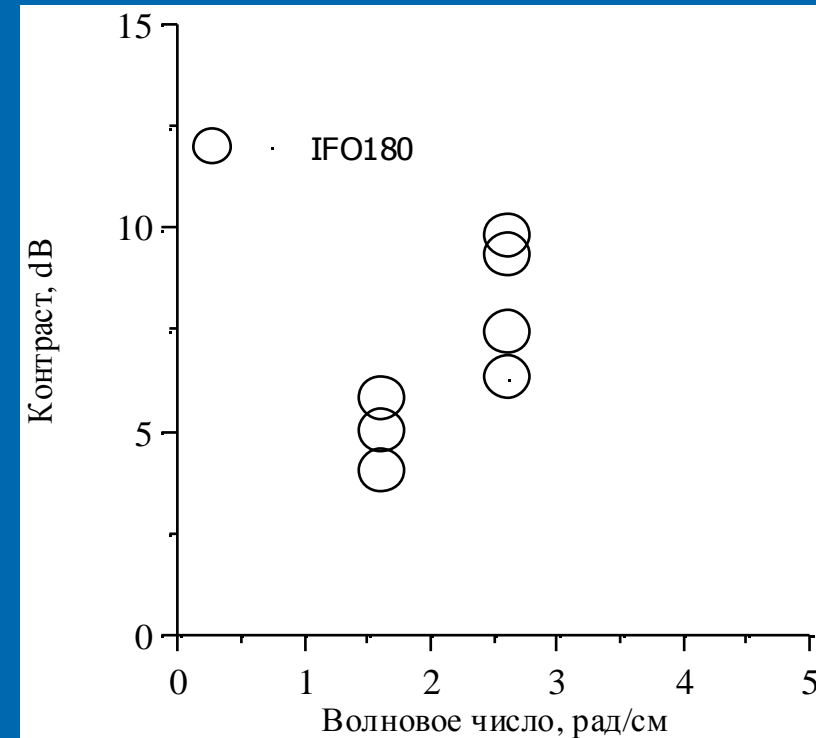
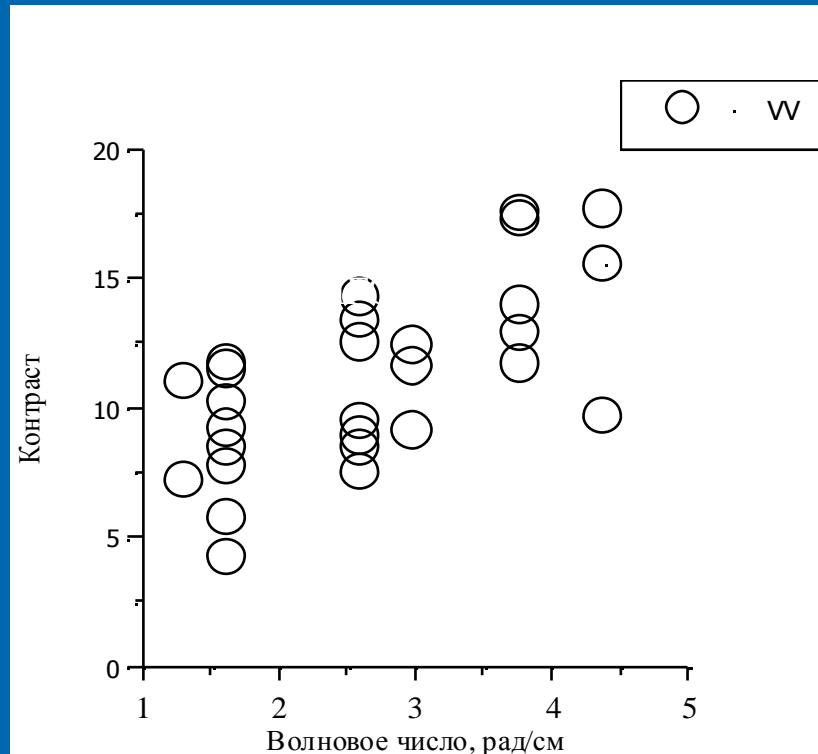
- SIR C/X-SAR experiment (L-C-X-band SAR) 1994

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.

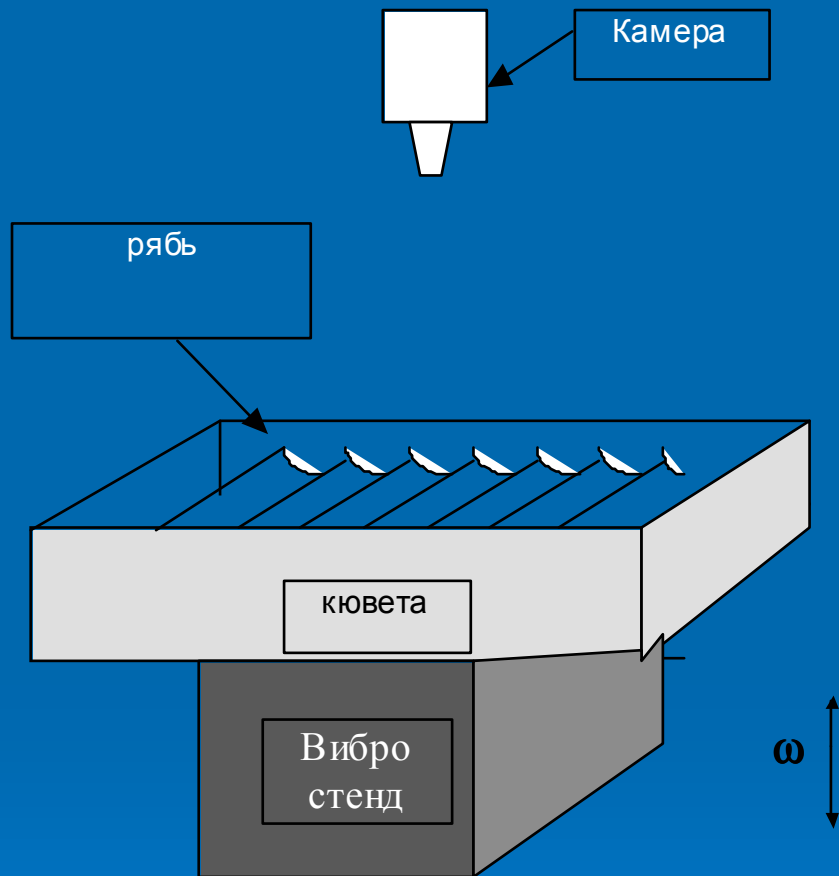
Характеристики нефтяных пленок не контролировались

Содержание

- Лабораторные исследования характеристик пленок нефтепродуктов
- Эксперименты по дистанционному зондированию пленочных slickов
- 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

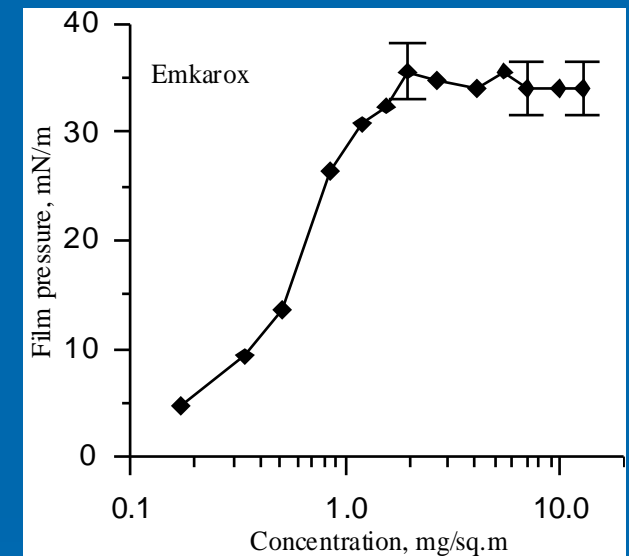
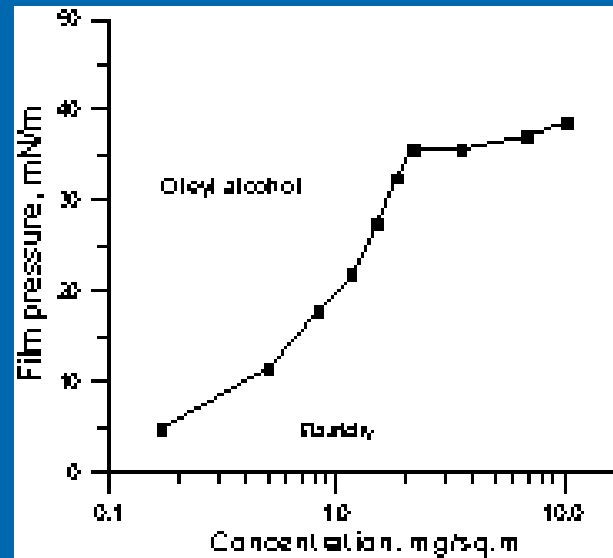
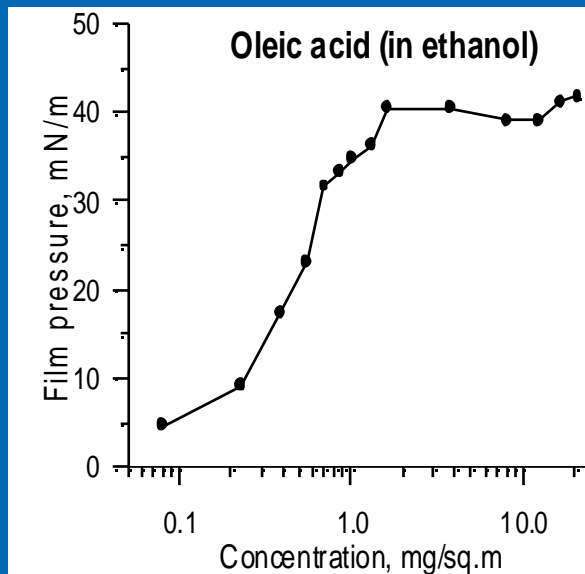
$$\omega = (gk + \sigma k^3 / \rho)^{1/2}$$

σ - the surface tension coefficient, k –
wave number



Photograph of 25-Hz parametric ripples

Поверхностное натяжение органических (“биогенных”) пленок

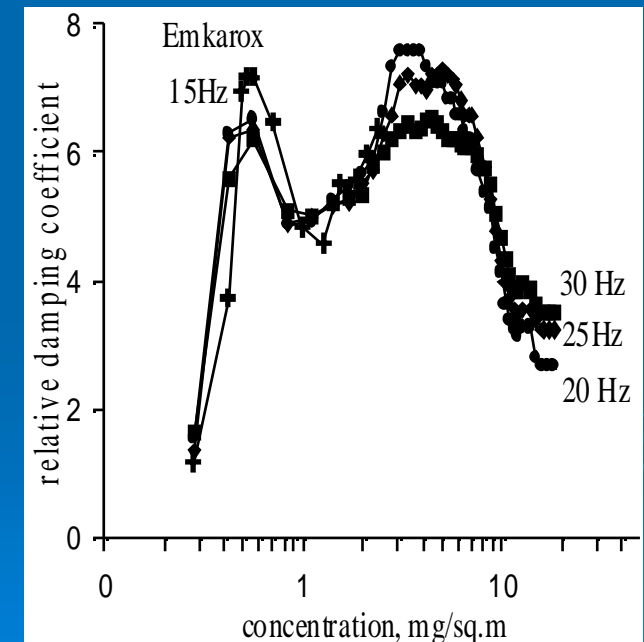
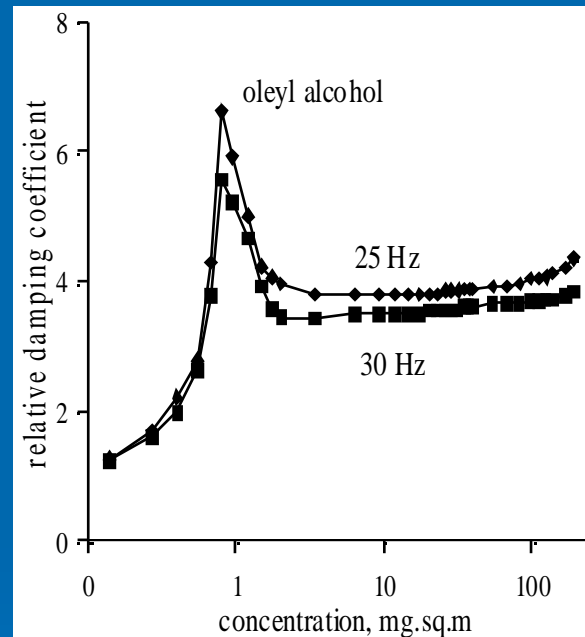
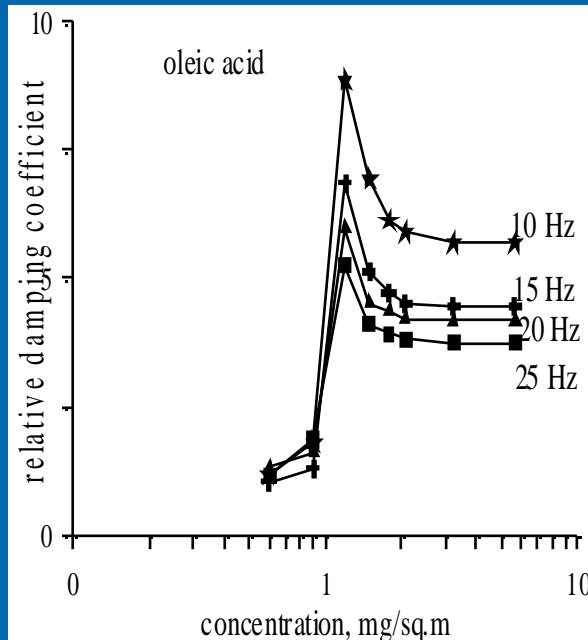


Film pressure (=surface tension clean - surface tension contaminated) retrieved from measurements of wavelengths of surface waves

Substances:

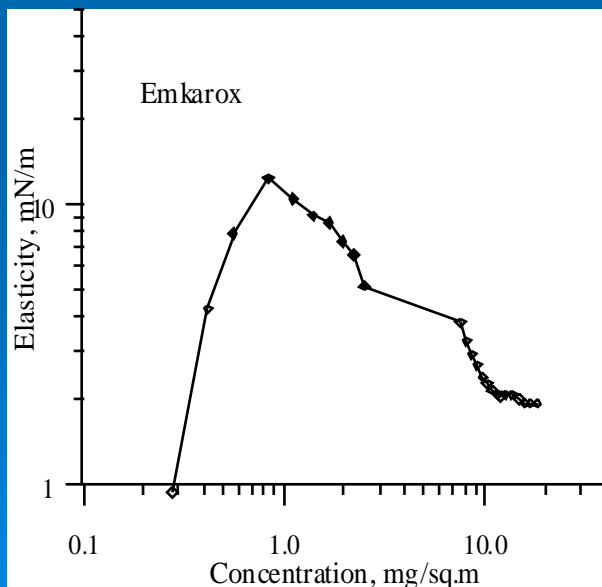
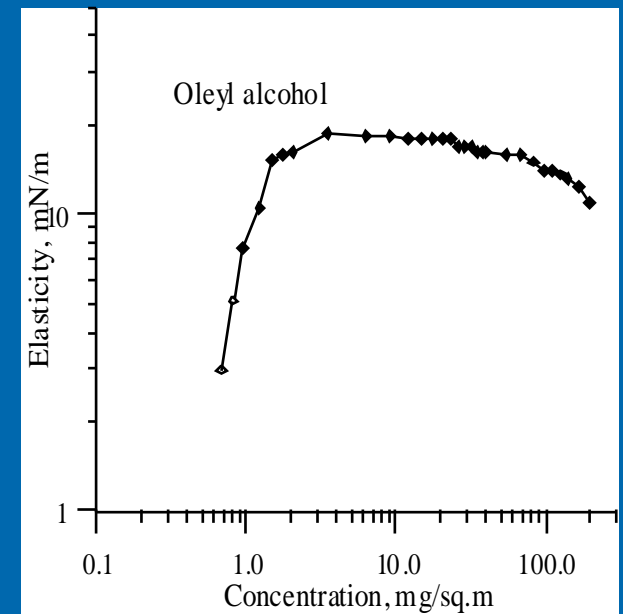
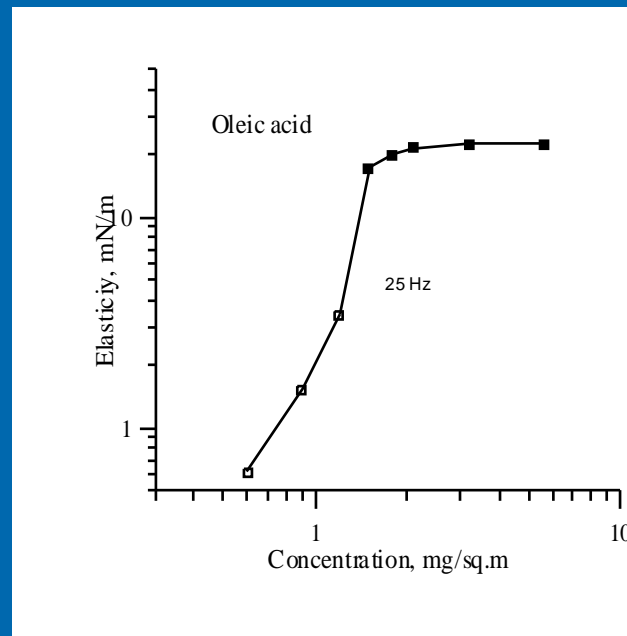
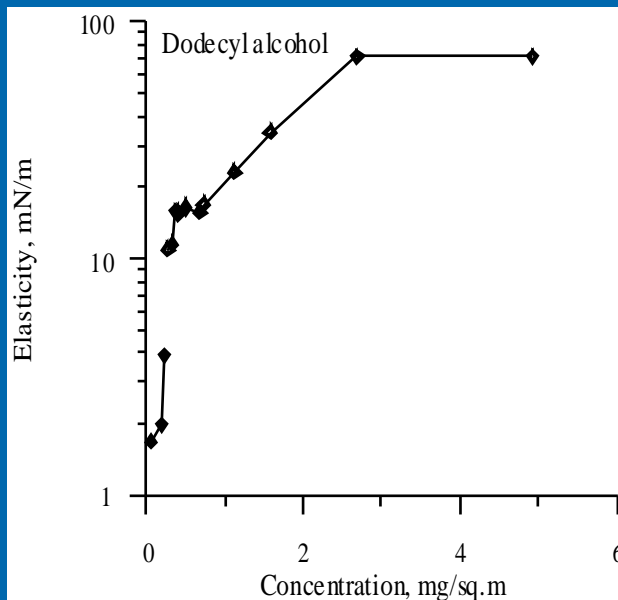
oleic acid (OLE), oleyl alcohol (OLA), Emkarox (Emk), vegetable oil (VO), dodecyl alcohol (DA)

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



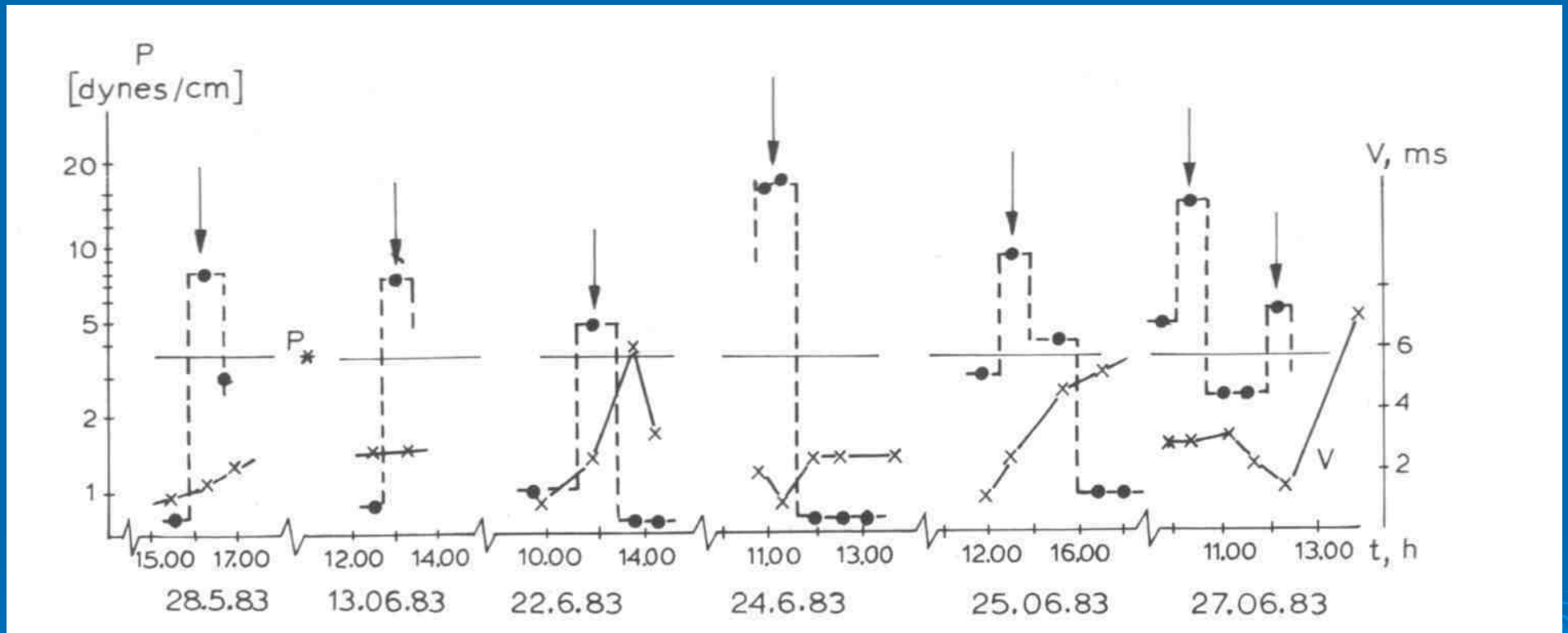
Relative damping coefficients vs. surfactant concentration, measured using a parametric wave method

Упругости искусственных пленок



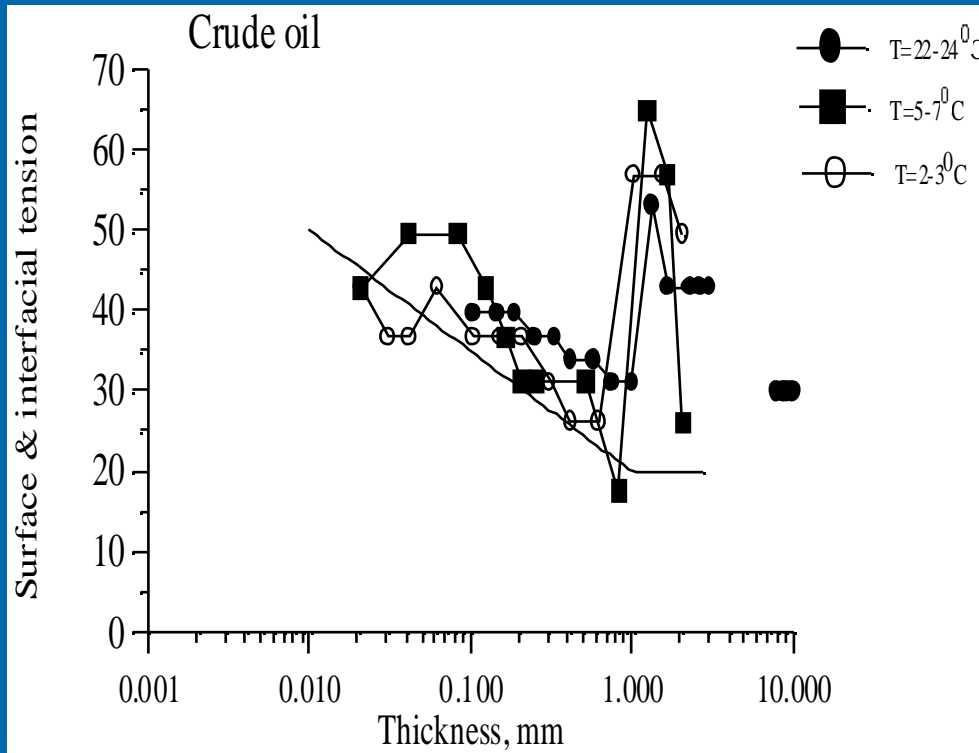
| Вещество | Emk | VO | OLA | OLE | DA |
|-----------------|-----|----|-----|-----|----|
| КПН, мN/м | 39 | 40 | 36 | 32 | 22 |
| Упругость, мN/м | 2-5 | 12 | 15 | 22 | 70 |

Упругости биогенных пленок на морской поверхности

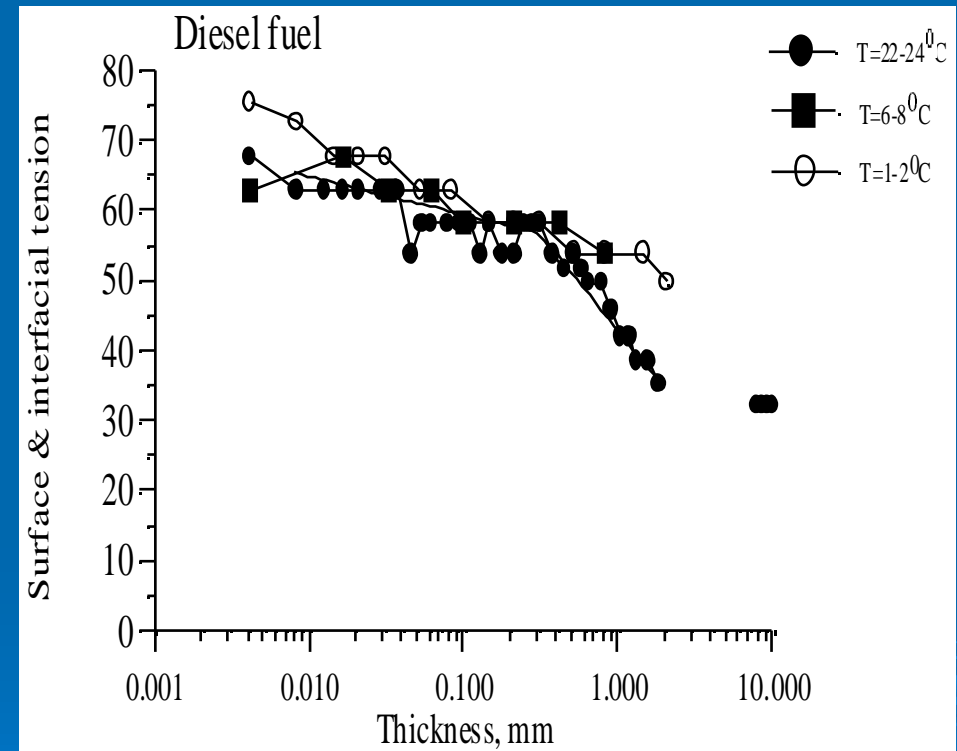


Типичные упругости биогенных морских пленок в сликах 10-20 мН/м

Коэффициент поверхностного натяжения нефтяных пленок



Crude oil, Frequency 15 Hz



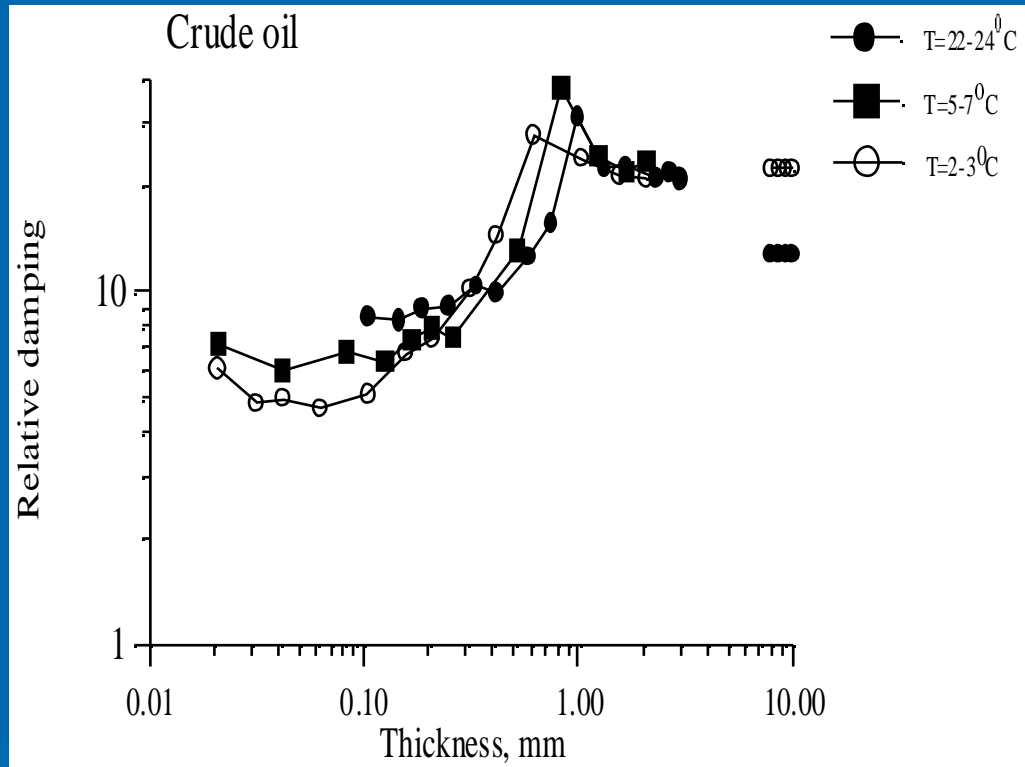
Diesel fuel, frequency 27.5 Hz

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

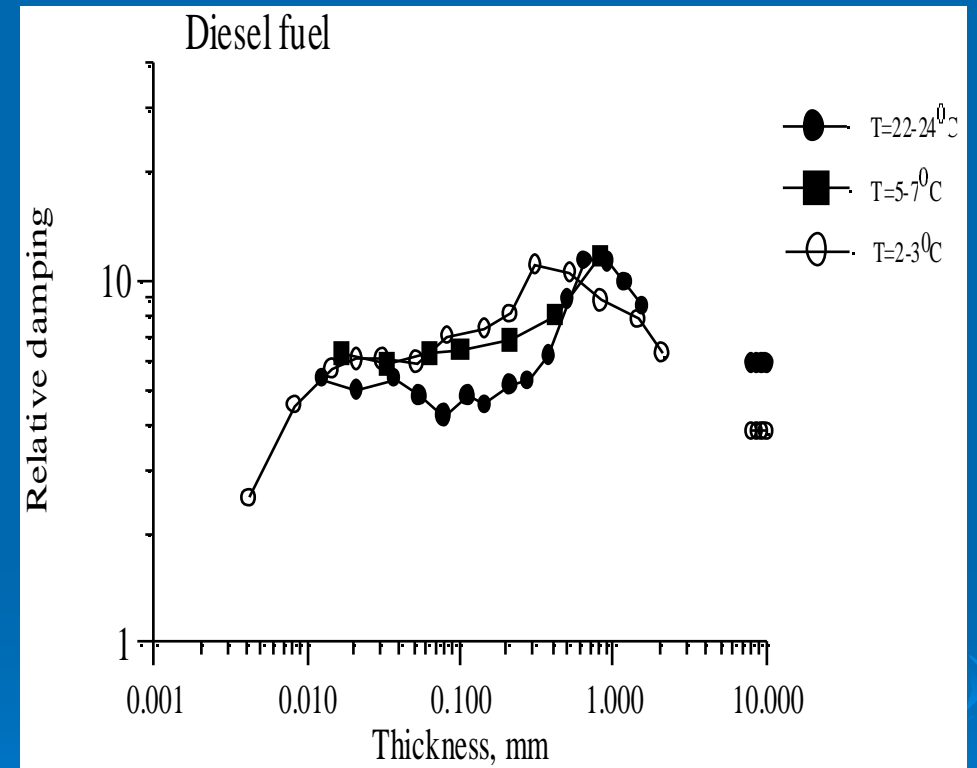
The data at thickness values of about 10 mm correspond to the surface tension of oil.

Коэффициент затухания поверхностных волн на пленках нефтепродуктов

Сырая нефть



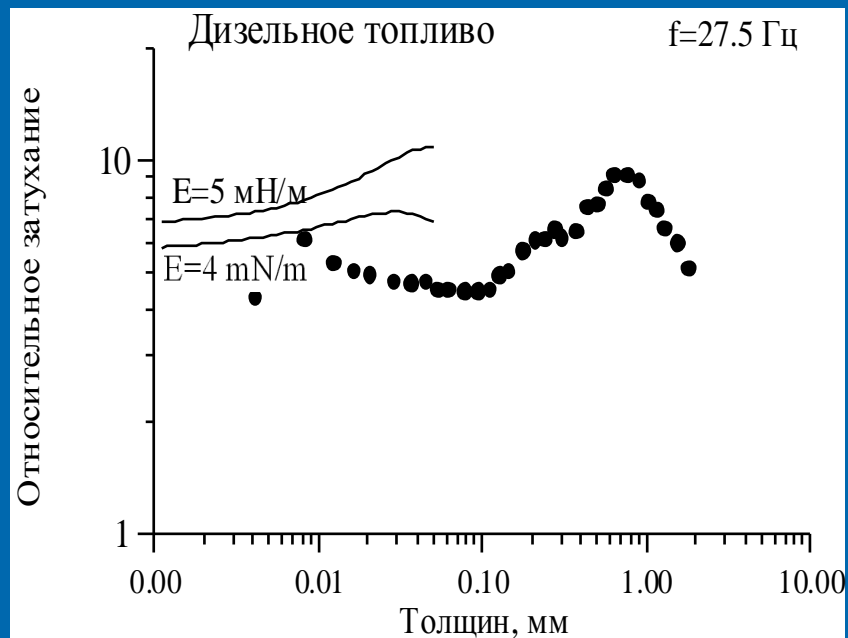
Диз.топливо



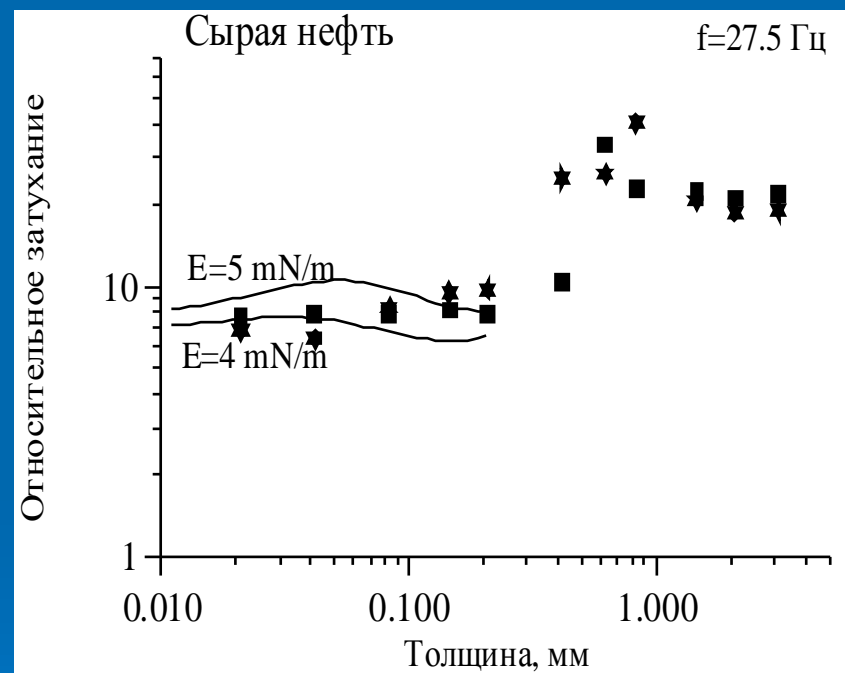
Wave frequency 15 Hz

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:

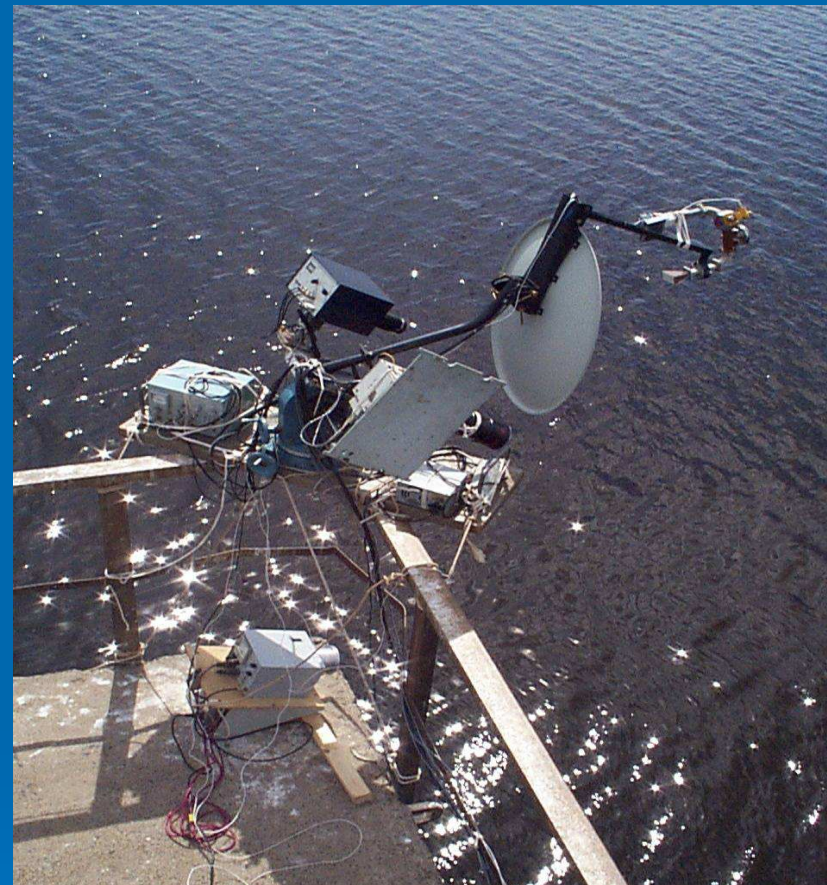
полимер Emkarox (Emk), растительное масло (VO),

олеиловый спирт (OLA),

олеиновая кислота (OLE),

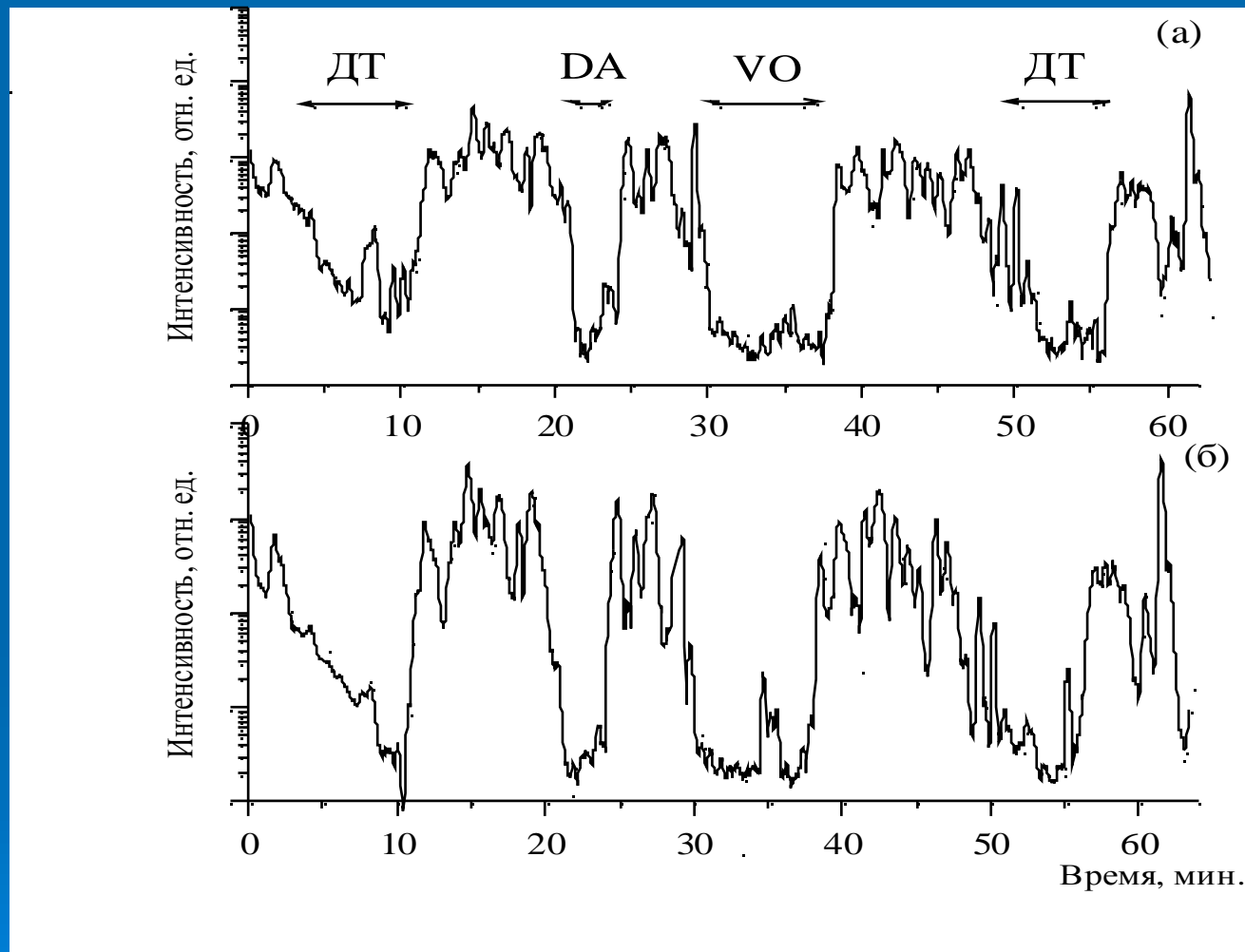
додециловый спирт (DA)

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

β - wind wave growth rate, γ - wave damping coefficient, σ - surface tension, E - film elasticity, u_* - friction velocity

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

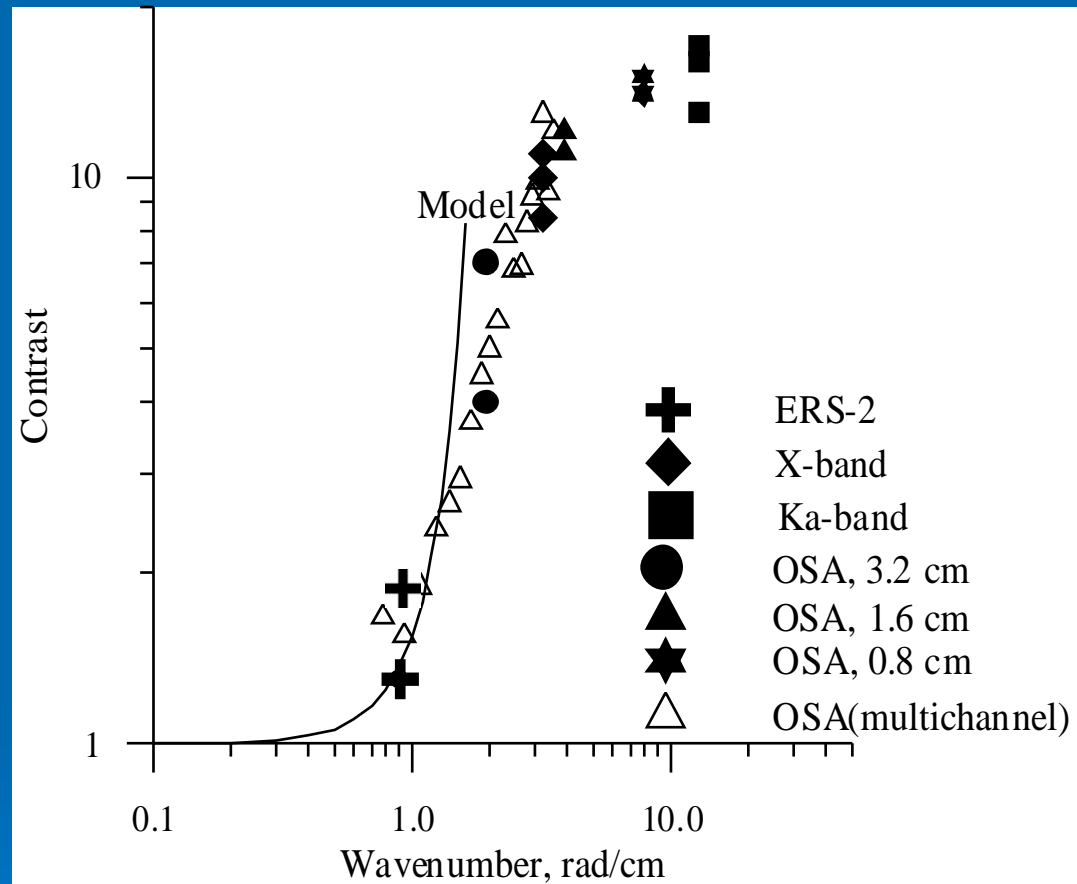
Contrast $K(k) = F_{nsl}(k) / F_{sl}(k)$ in the wavenumber spectrum of wind waves

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

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

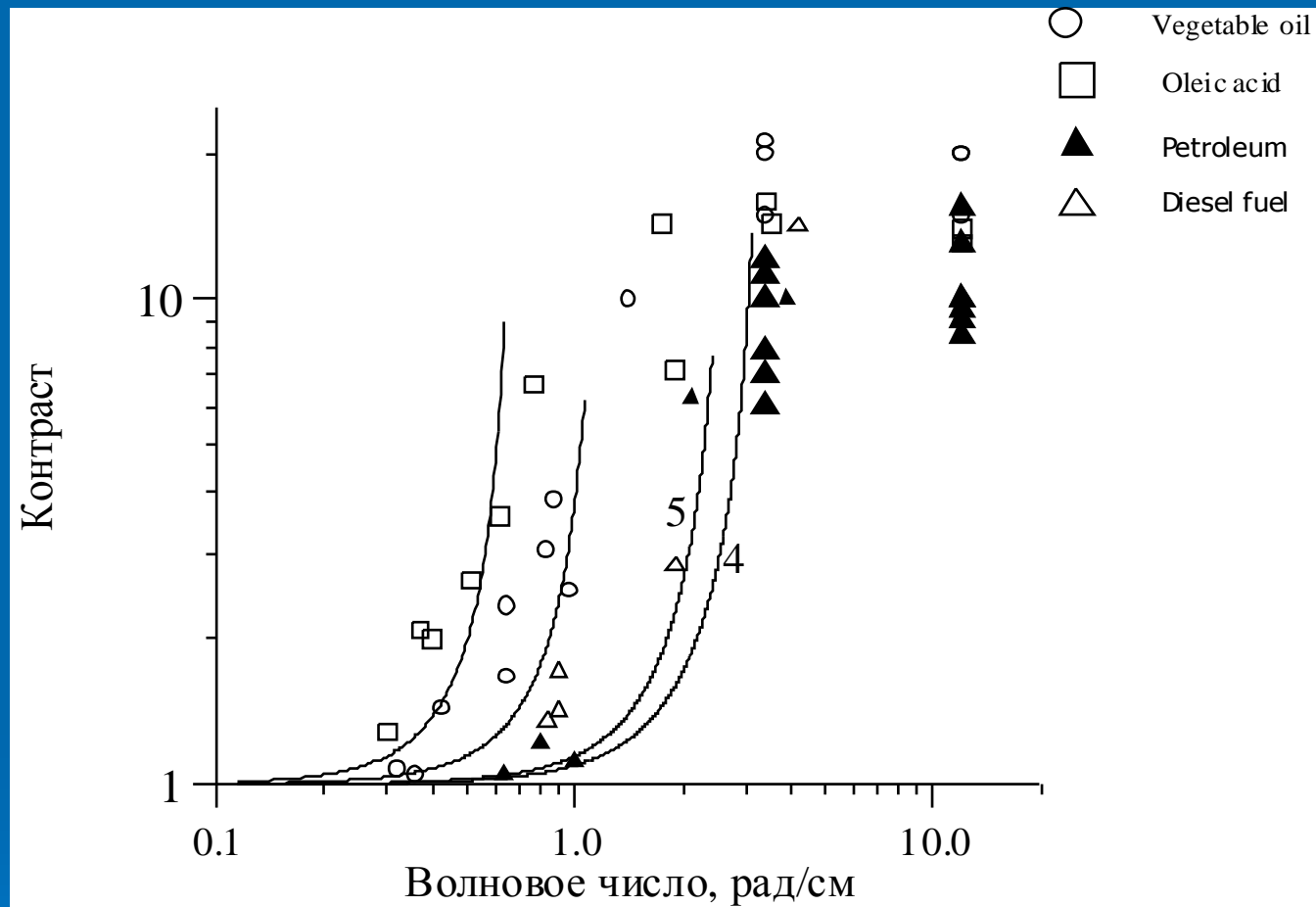
Bragg scattering : $K_{radar} = K_{hydro}$

Натурные эксперименты с искусственными сликами



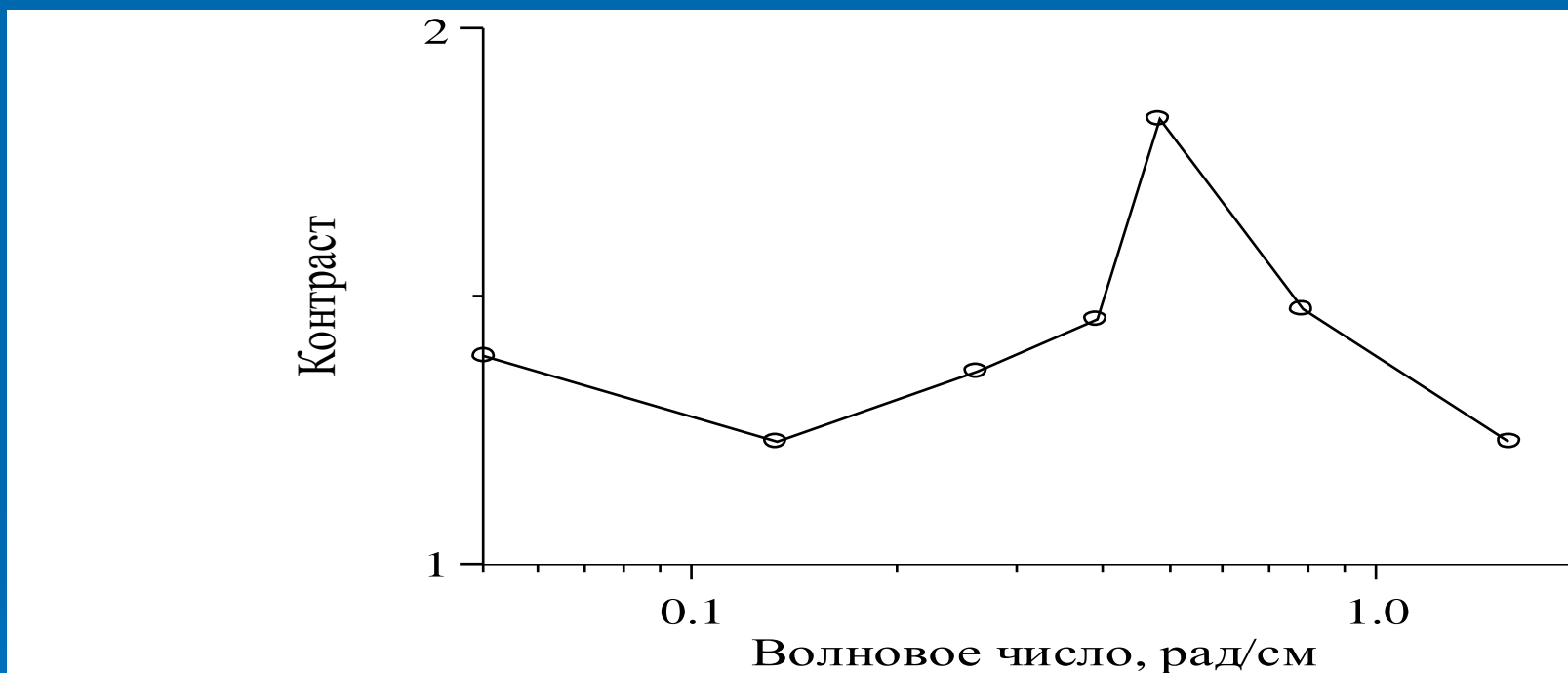
Контраст в сликах VO по данным
подспутниковых экспериментов с
платформы

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

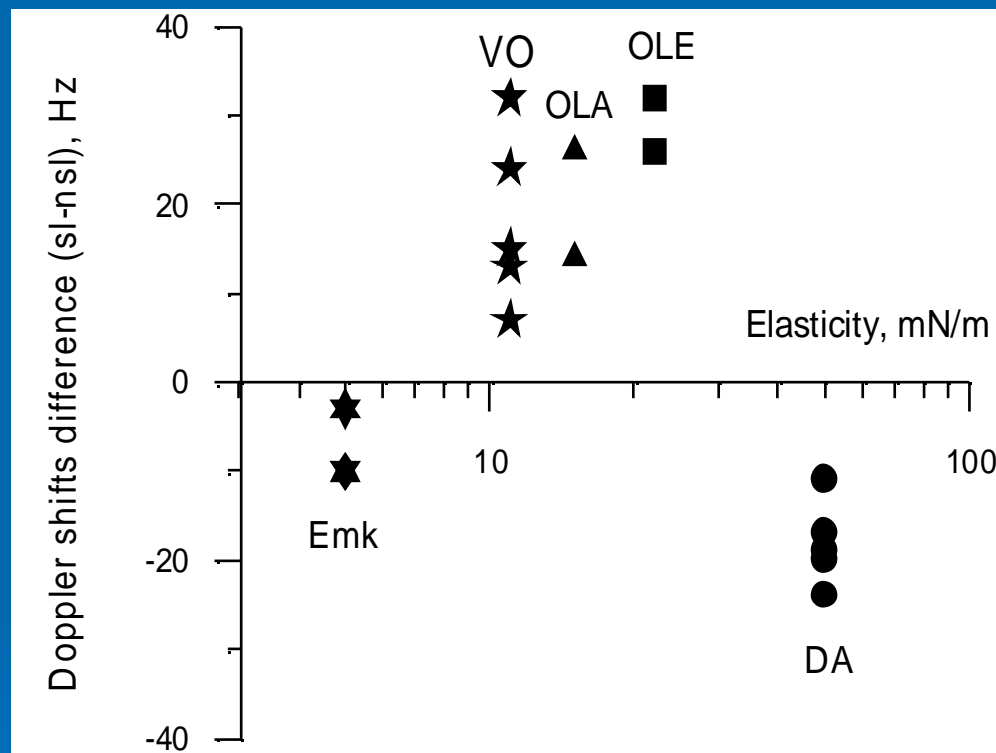


Спектральный контраст для “штилевой зоны” - области падения скорости ветра с 9 м/с до 7 м/с

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 физической 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