

**Отрицательные корреляции
мезомасштабной
изменчивости ветра и
волнения: примеры натуральных
наблюдений и теоретическая
модель.**

Троицкая Ю.И. ⁽¹⁾, Баханов В.В. ⁽¹⁾, Репина И.А. ⁽²⁾,
Титов В.И. ⁽¹⁾, Зуйкова Э.М. ⁽¹⁾, Долина И.С. ⁽¹⁾,
Ермошкин А.В. ⁽¹⁾.

(⁽¹⁾ - ИПФ РАН, ⁽²⁾ - ИФА РАН)

Натурные исследования изменчивости поля поверхностных волн и приводного ветра в поле неоднородных течений

В натурных экспериментах обнаружены отрицательные корреляции интенсивности волнения и приводного ветра в областях существенной перестройки волнения в поле неоднородных течений

*Районы проведения натурных экспериментов в
Норвежском, Черном и Баренцевом морях*



Комплекс дистанционного оборудования для измерения поверхностных волн сантиметрового и дециметрового диапазонов



*Доплеровские радары X и Ka диапазона,
двумерный оптический спектроанализатор и линейка фотоприемников*



Радиолокационная станция с блоком цифровой регистрации данных

Оборудование для измерения параметров приводного слоя атмосферы

(И.А.Репина , ИФА РАН)

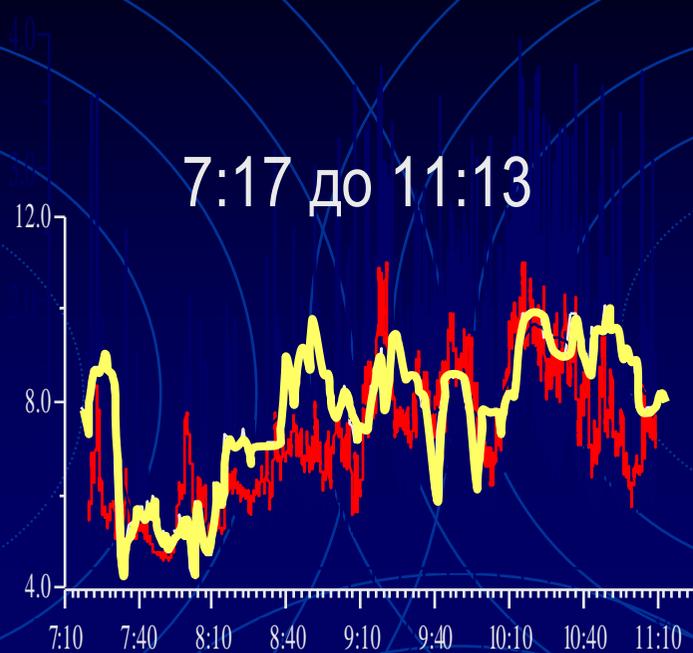
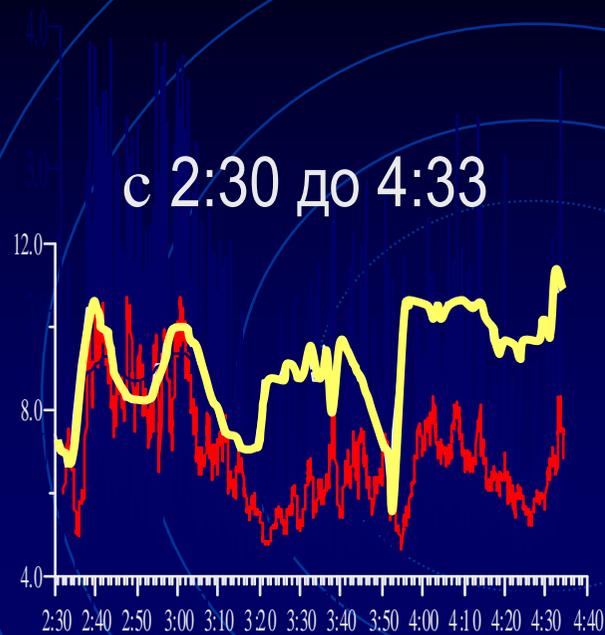


*Акустический цифровой
анемометр-термометр ADAT-3M*

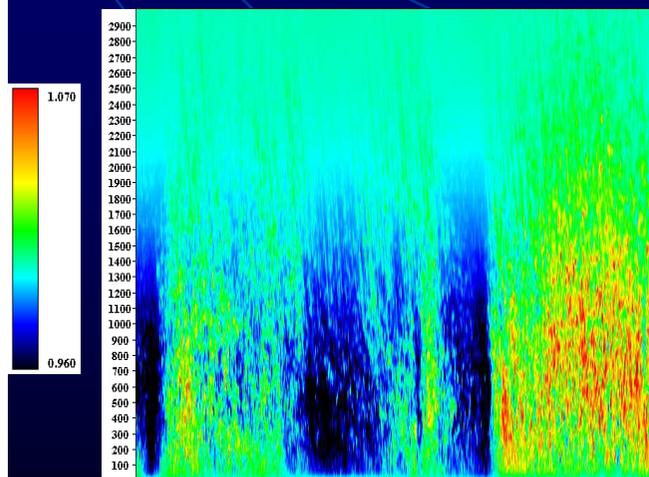


*Акустический термоанемометр
USA-1 (METEK)*

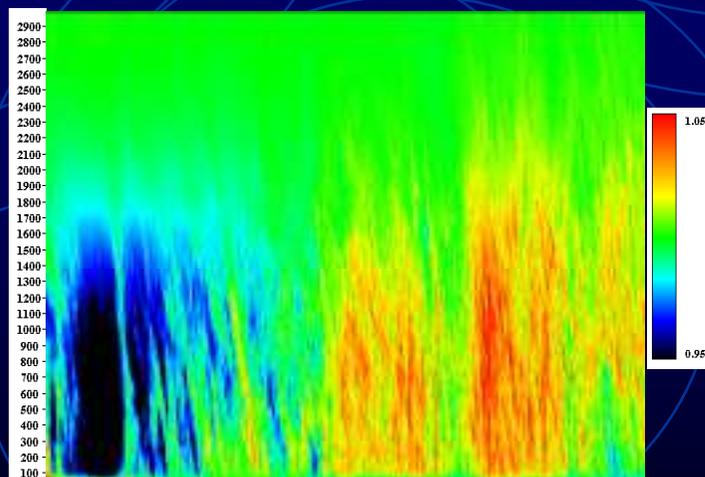
Баренцево море 26 августа 2005 г



— скорость ветра (м/с)
— интенсивность 4мм
ВОЛН



Время

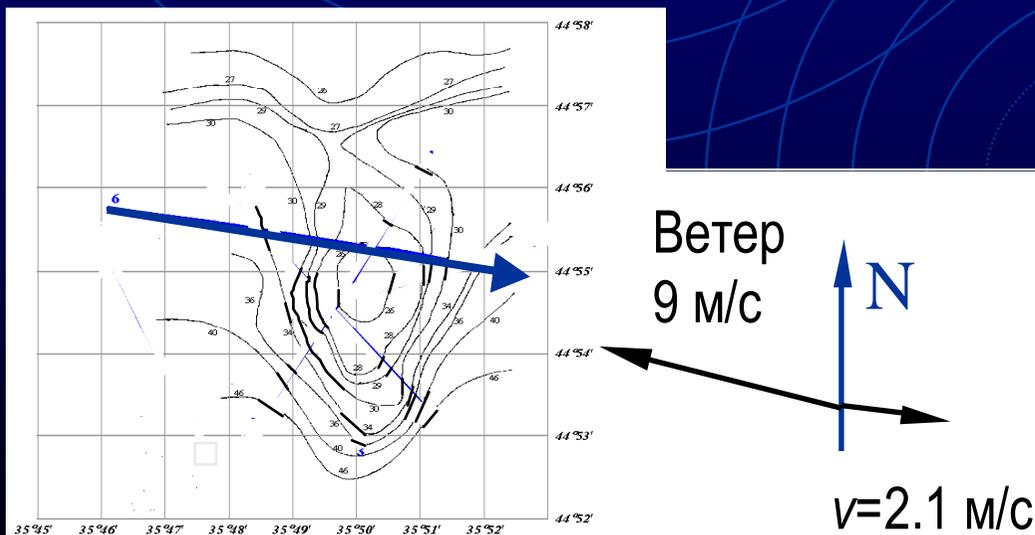
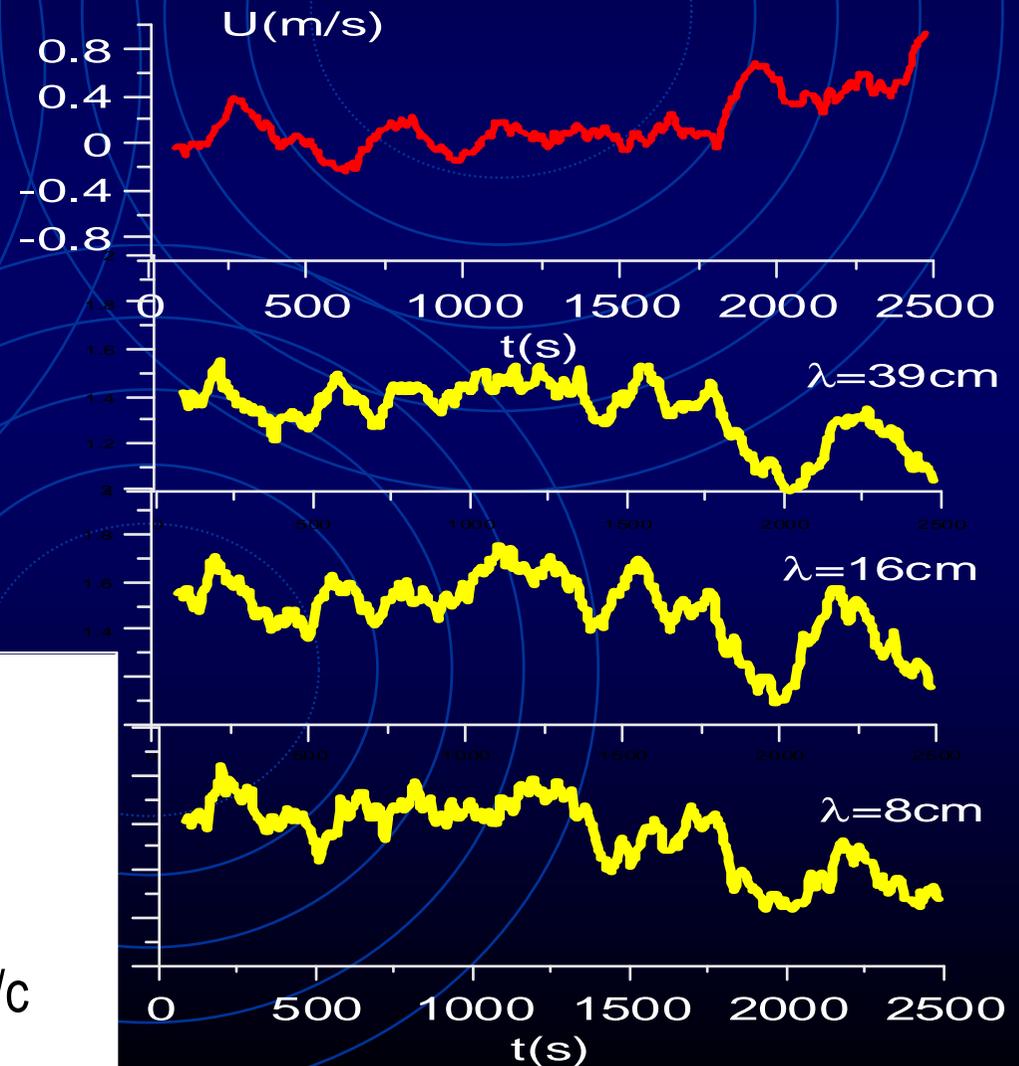
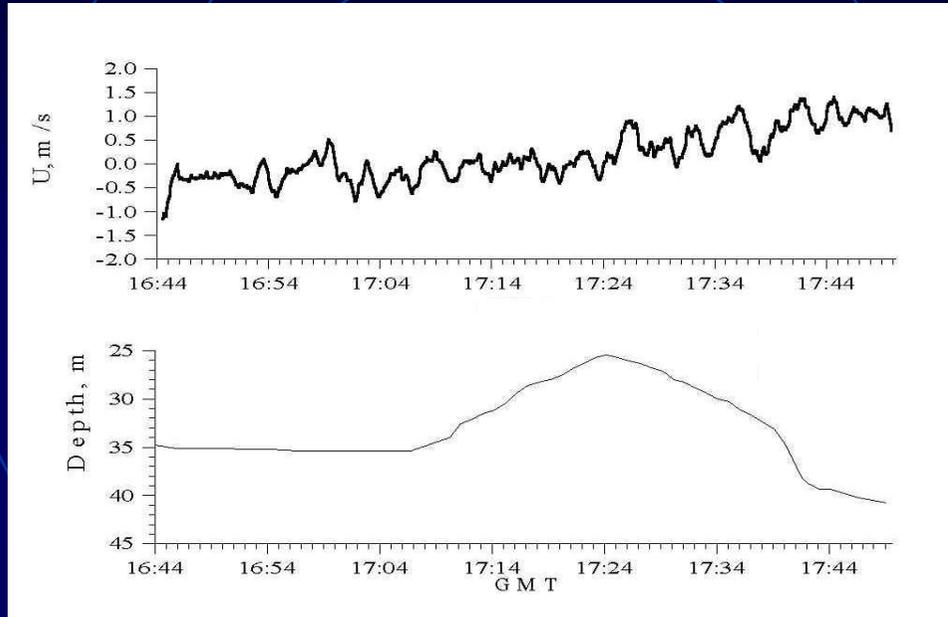


Время

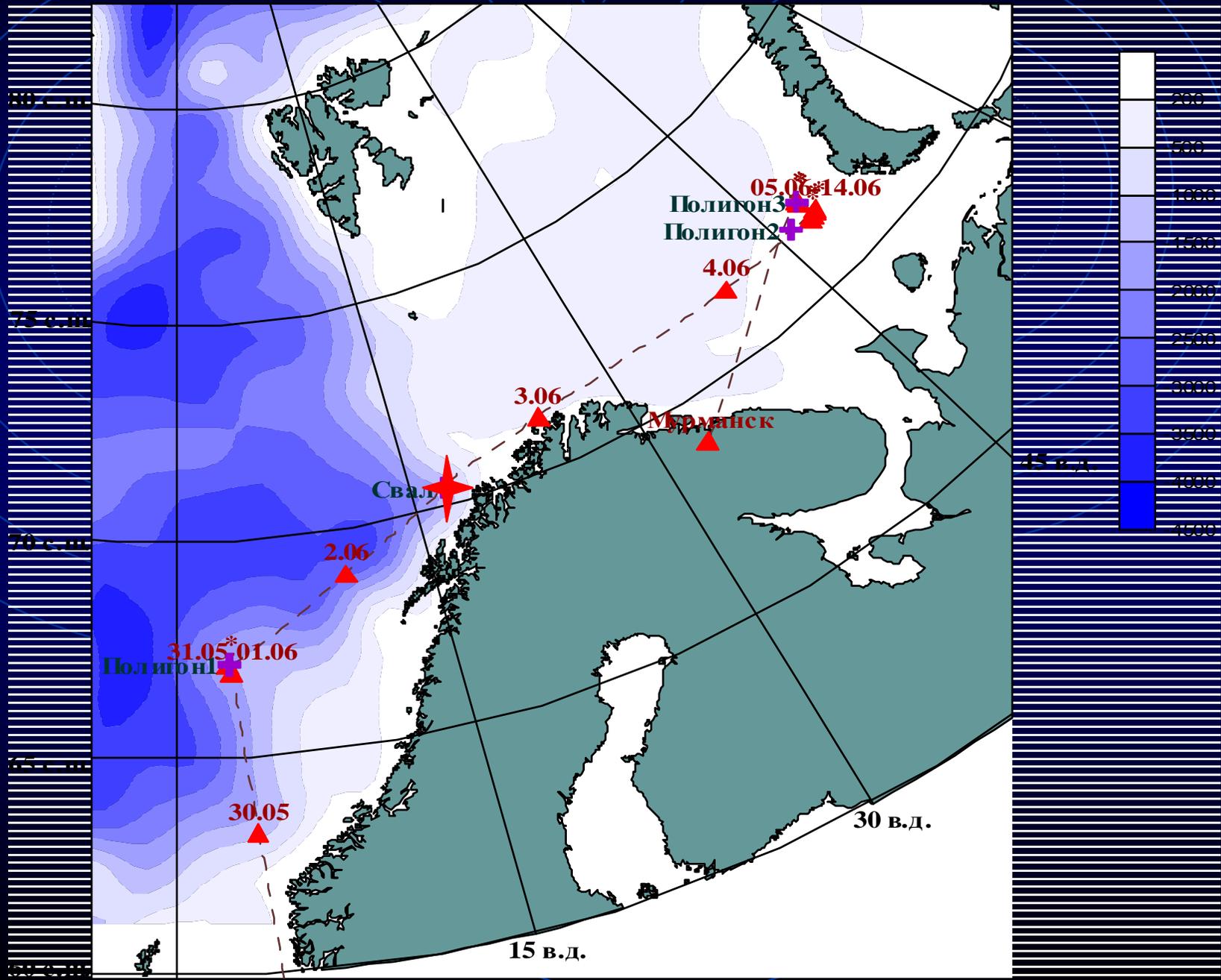
Радиолокационная
панорама

Пример наблюдения изменчивости поверхностных волн и ветра в области неоднородного течения (Феодосийская бухта, сентябрь, 2002)

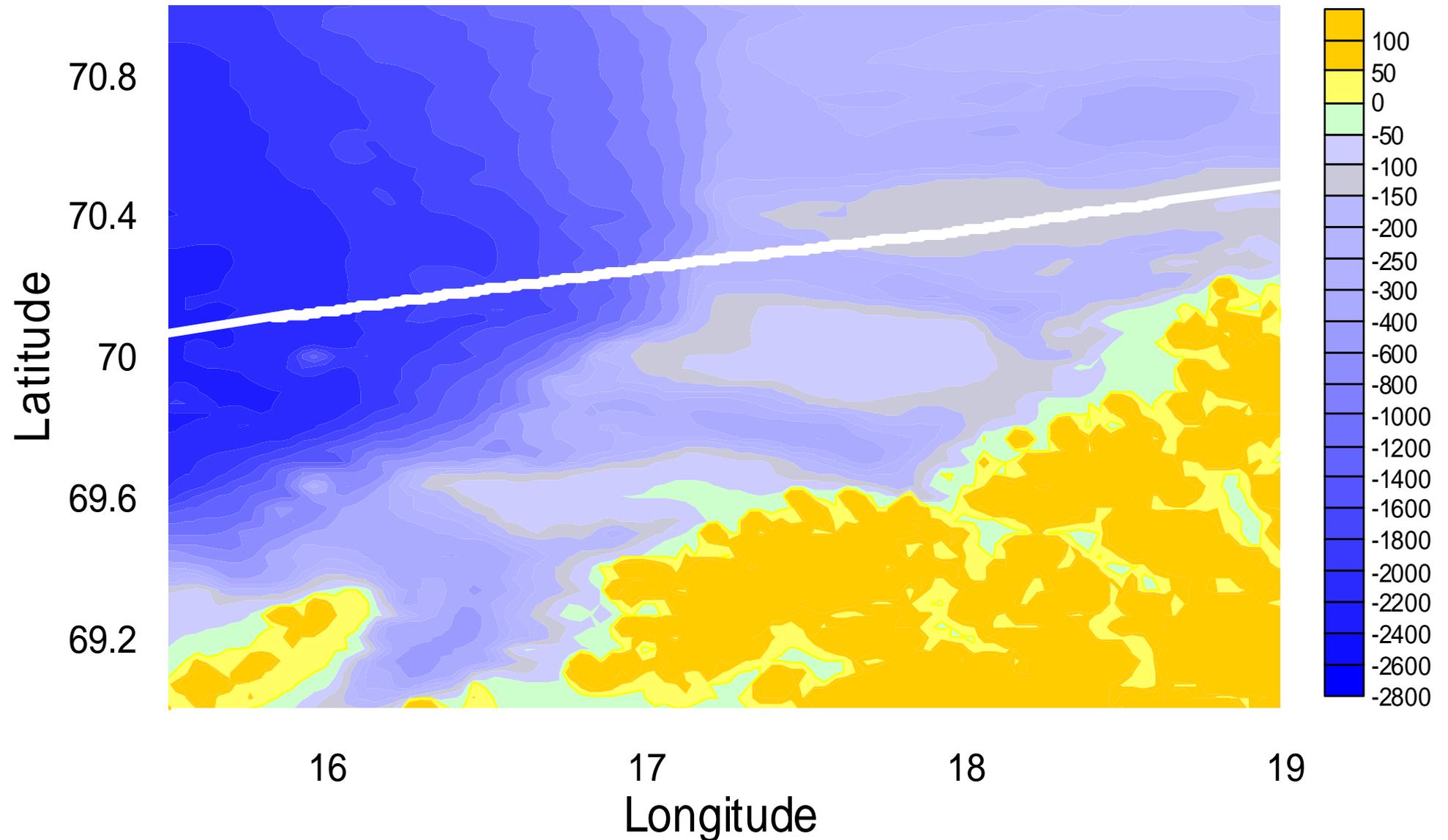
Баханов В.В. Репина И.А, Троицкая Ю.И. GRA, IGARSS, 2005.



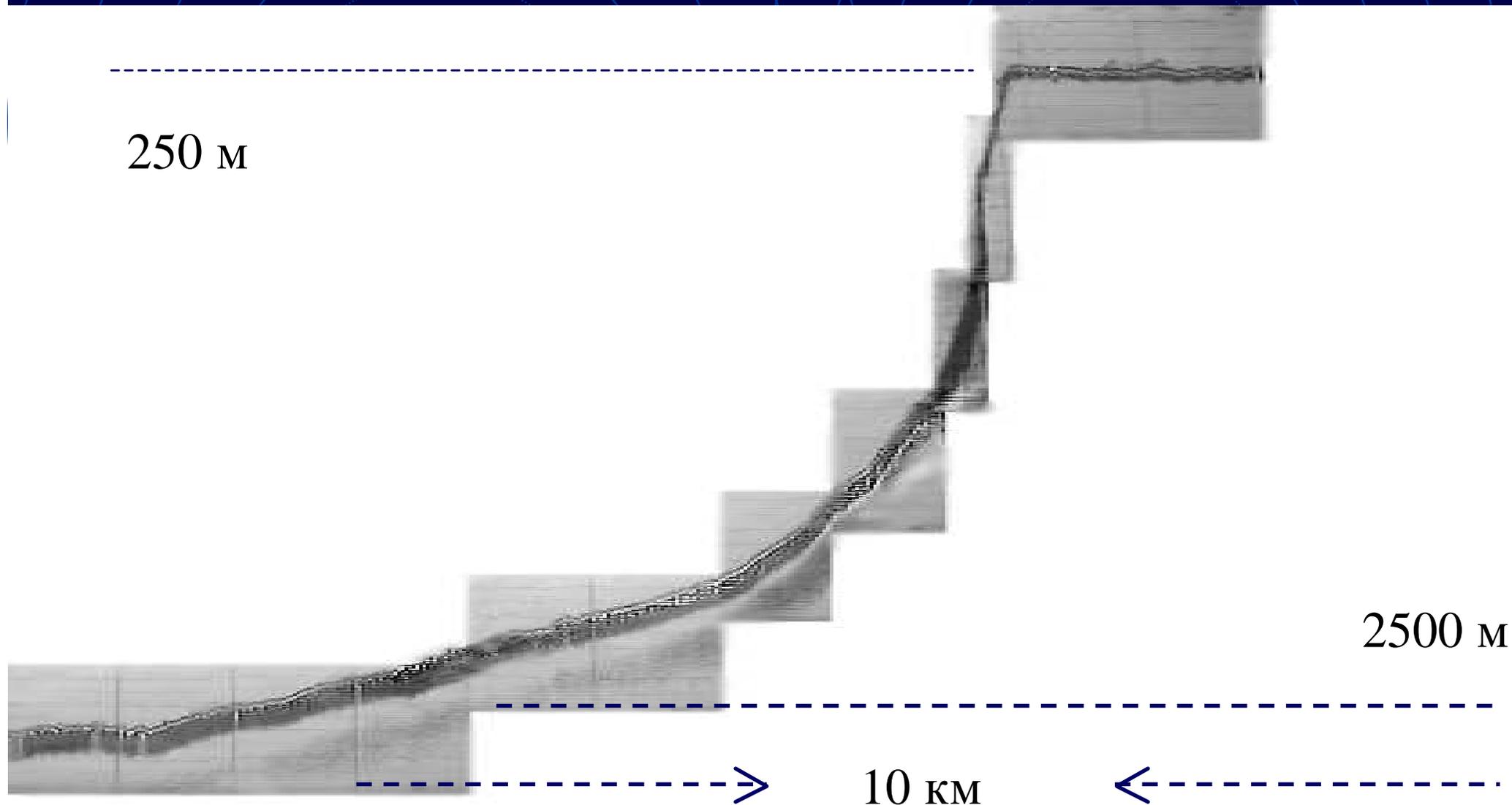
16 рейс НИС «Академик Сергей Вавилов» (Норвежское море июнь 2003 г.)

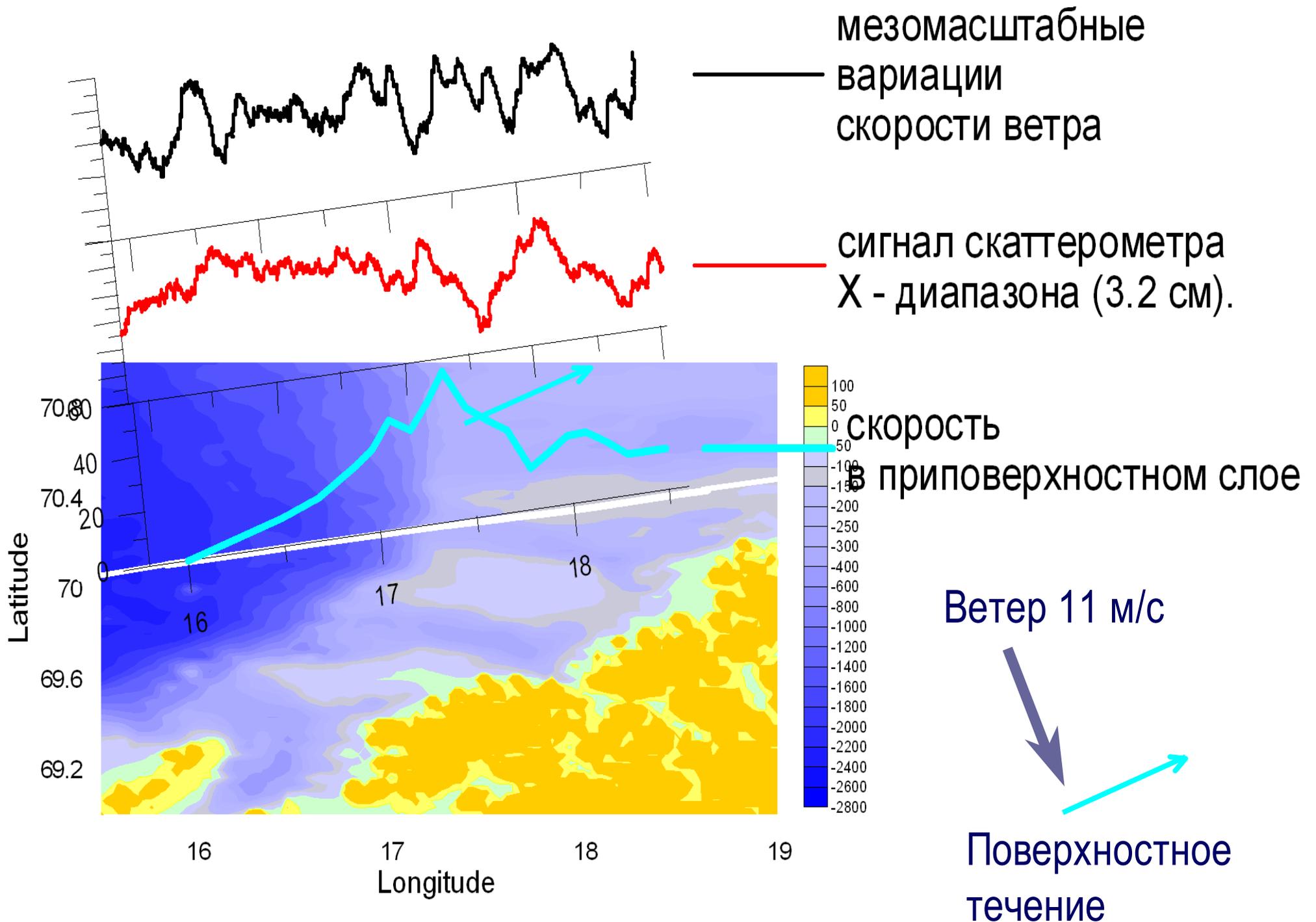


16 рейс НИС «Академик Сергей Вавилов» Маршрут движения 02.06.2003 – 03.06.2003

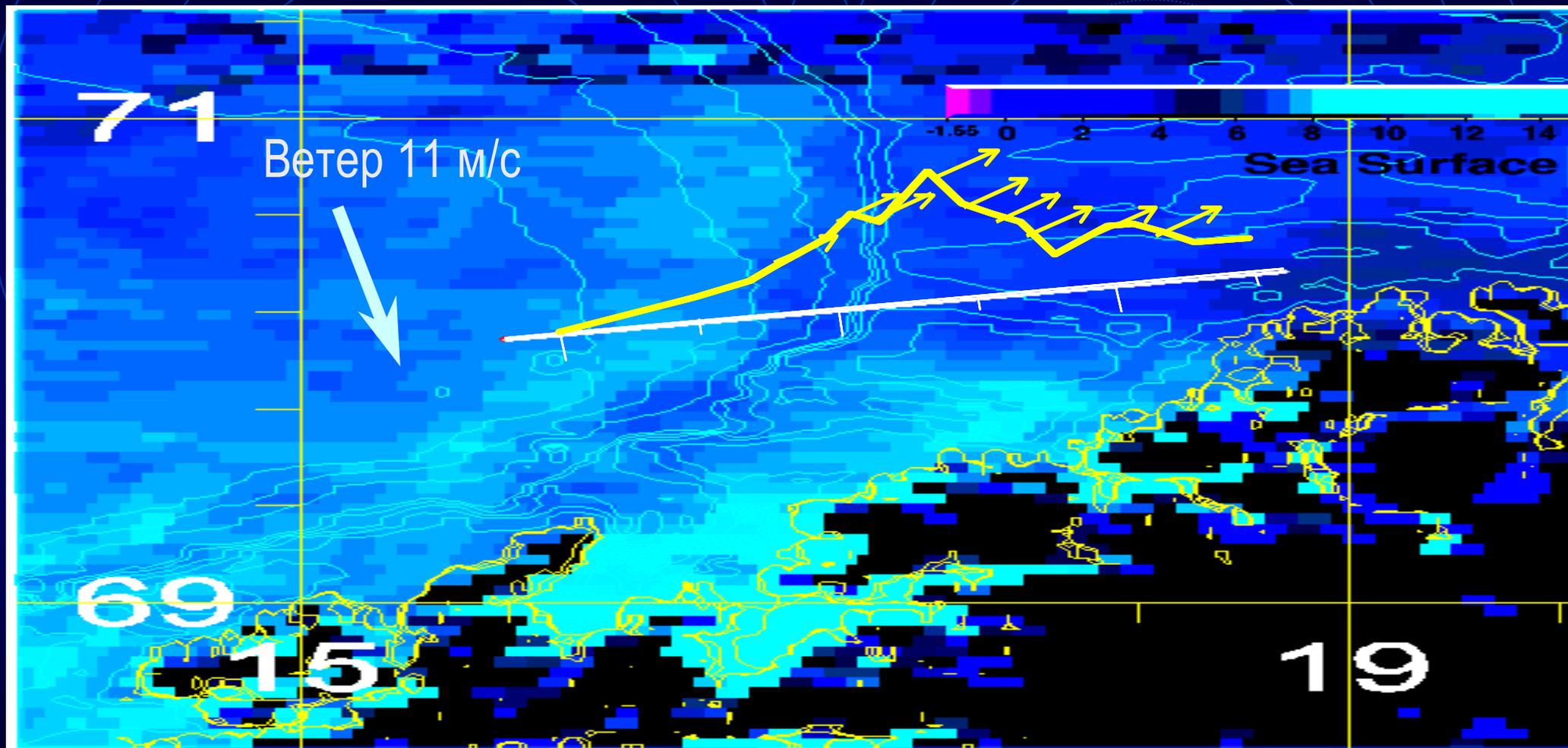


Изменение глубины моря 2 – 3 июня 2003 г.
Глубина изменяется с 2500 м до 250 м на расстоянии
20-30 км. (данные эхолота ELAC LAZ 4700)



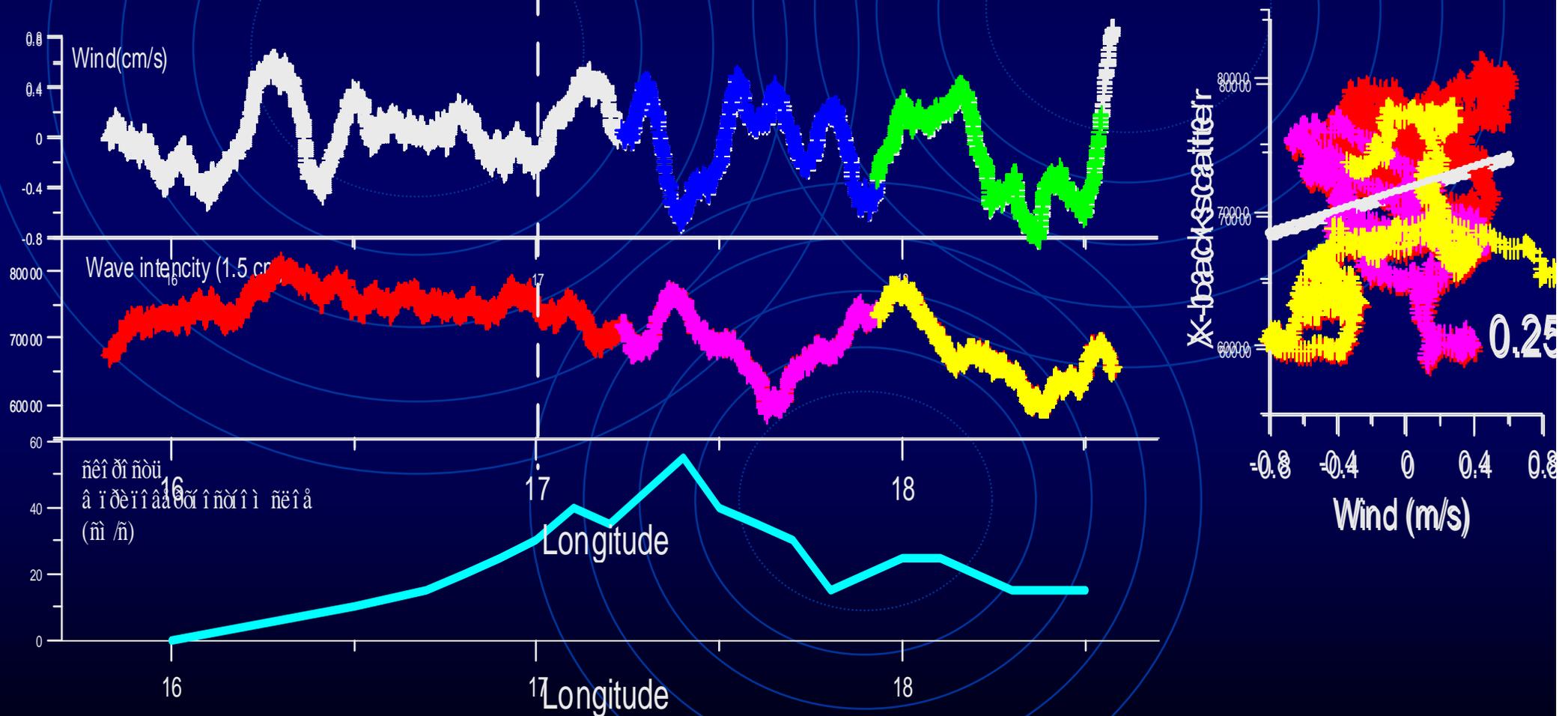


Карта температуры поверхности океана по данным Aqua-Modis (усреднение за период с 3 по 9 июня 2003 г.)

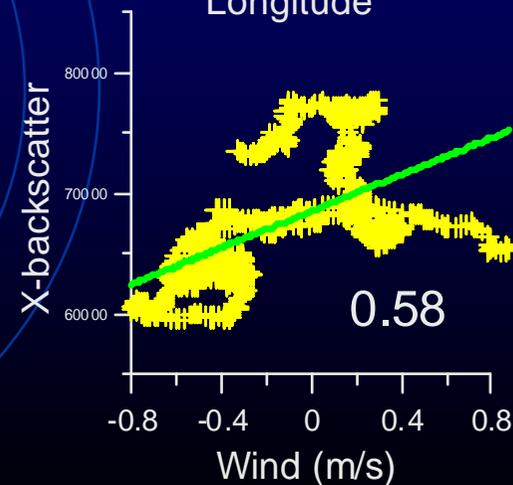
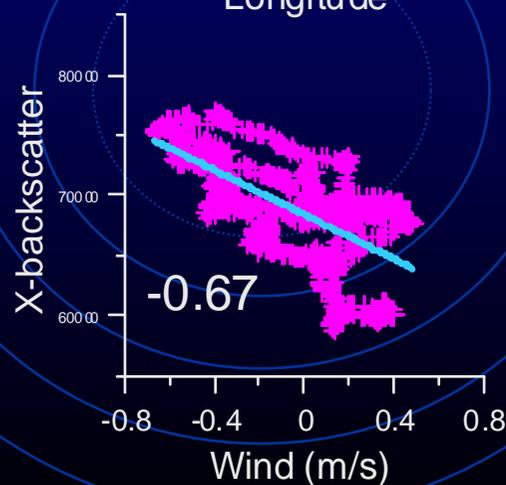
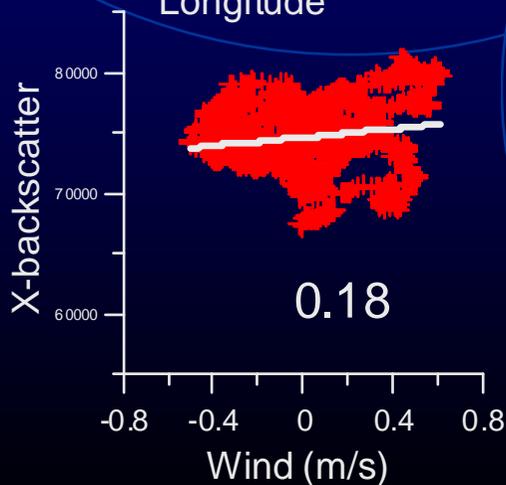
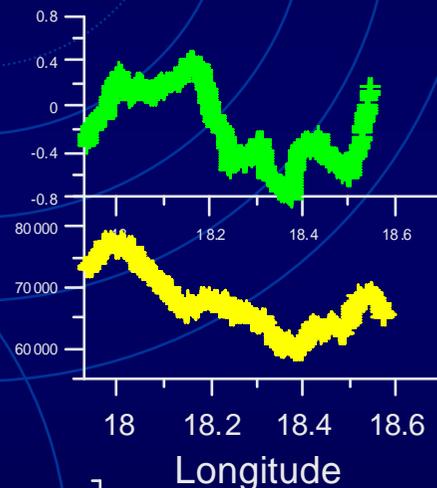
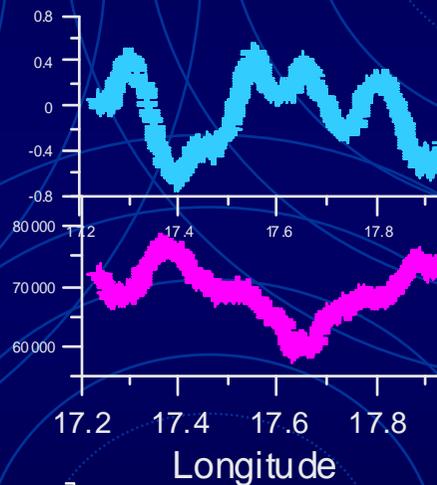
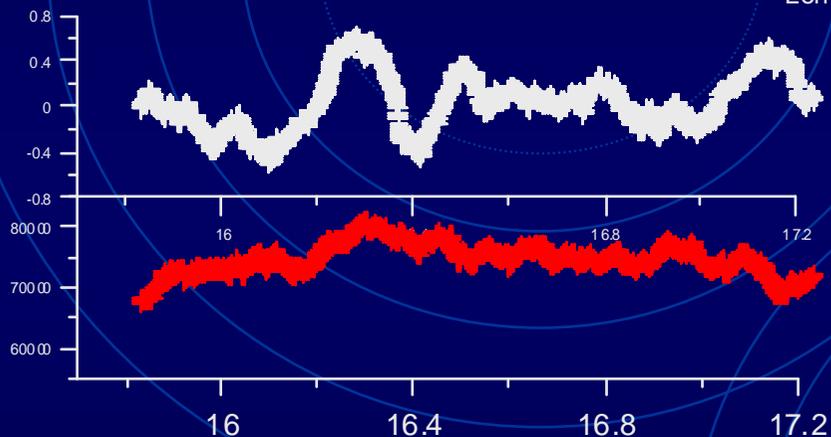
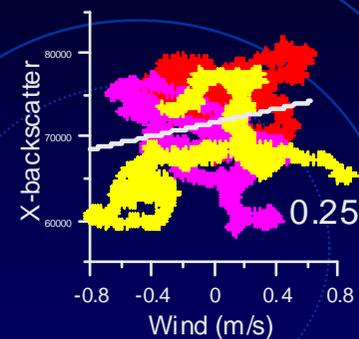
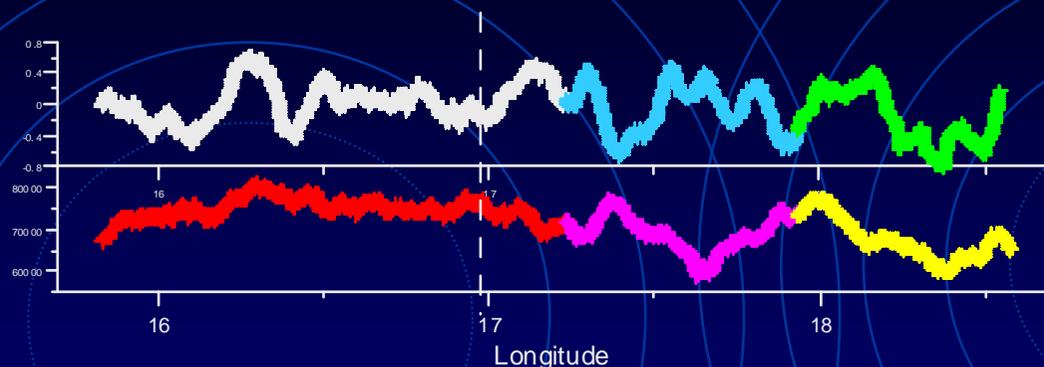


скорость течения в приповерхностном слое

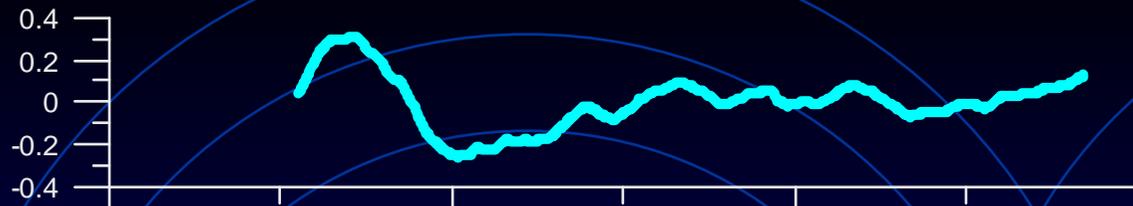
Коэффициент корреляции мезомасштабной изменчивости скорости ветра и коротких поверхностных волн



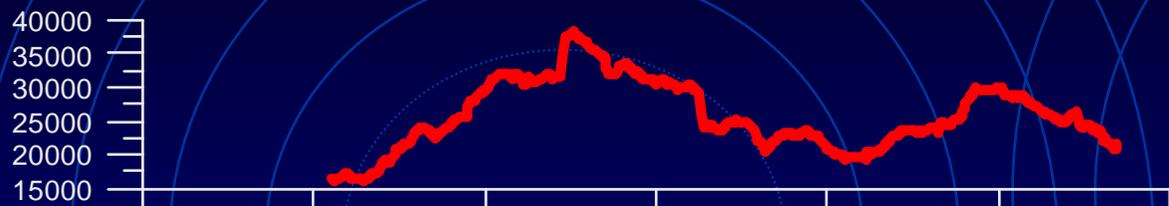
Коэффициент корреляции мезомасштабной изменчивости скорости ветра и коротких поверхностных волн



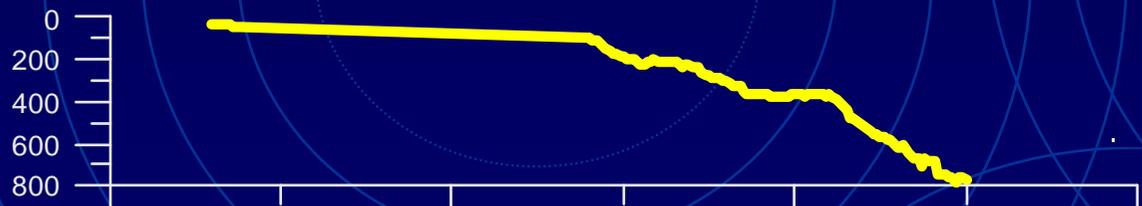
Скорость ветра (м/с)



Интенсивность 1.5 см



Глубина (м)



5:20

5:36

5:53

6:10

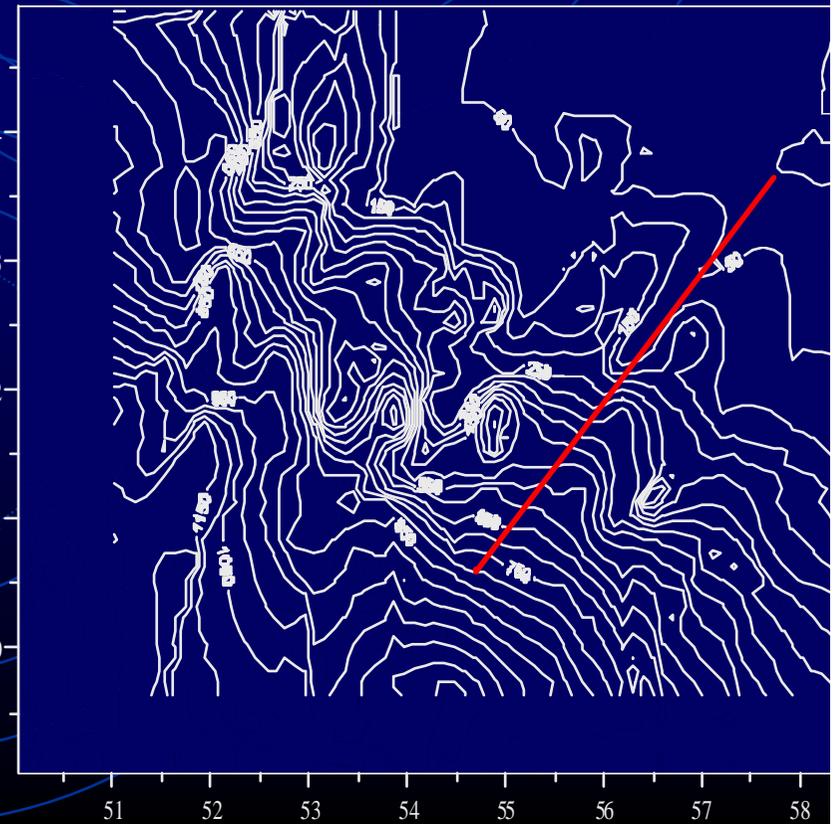
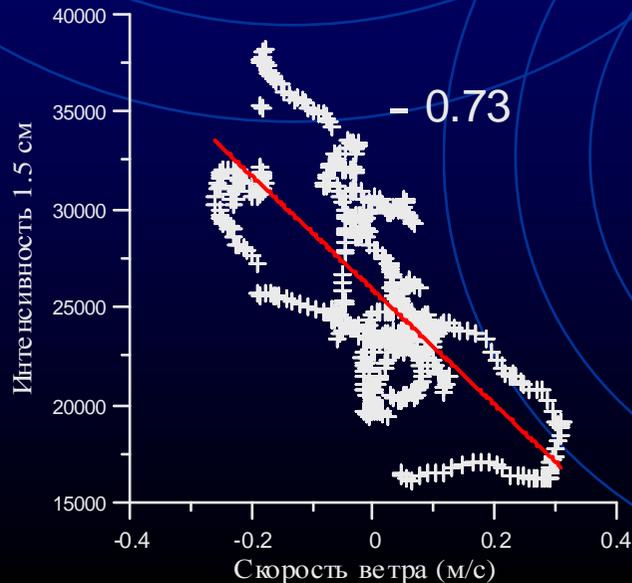
Пример

антикорреляции
скорости ветра и
интенсивности
ряби

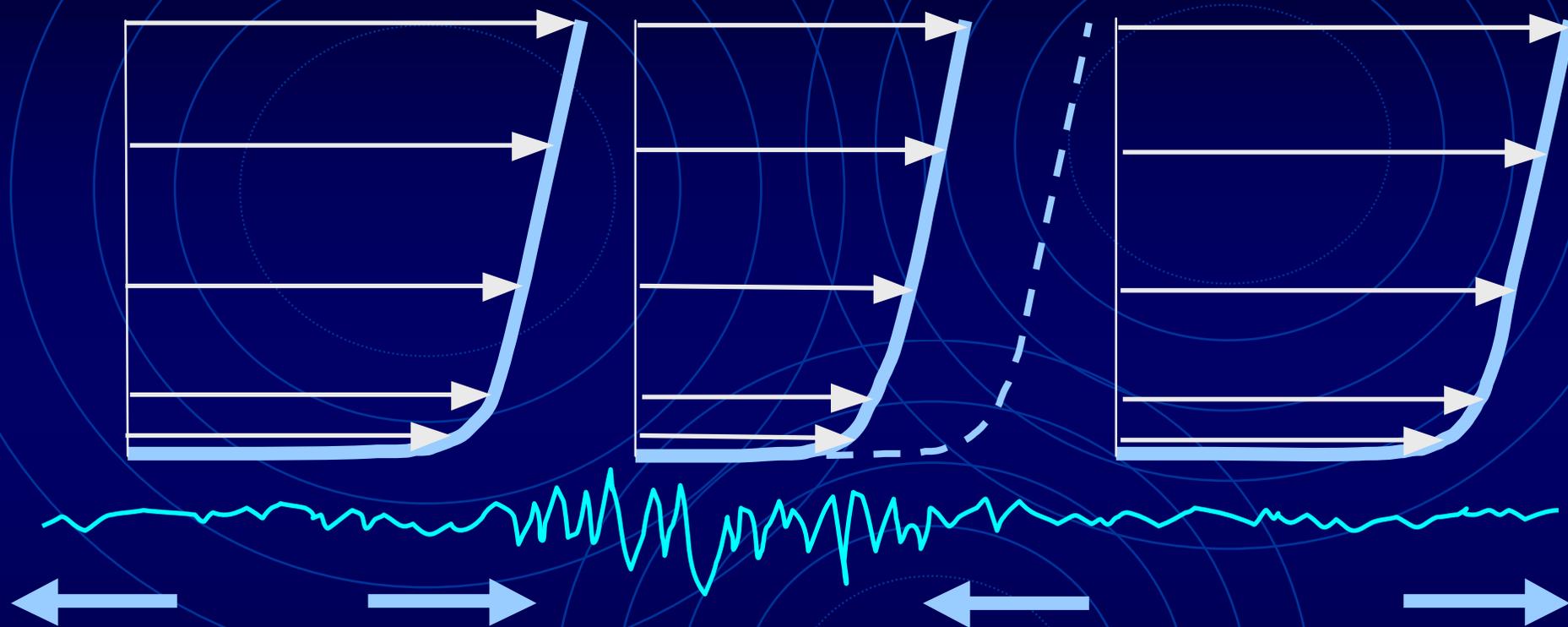
06.07.2004

Геленджик

Коэффициент корреляции ветра и волн



Вариации скорости ветра



Отрицательная корреляция скорости ветра и интенсивности волнения при постоянстве касательного напряжения трения (ослабление ветра при усилении волнения, обусловленное увеличением шероховатости, т.е. сопротивления морской поверхности).

Модель ветрового потока

Реутов В.П., Троицкая Ю.И. Известия РАН ФАО, Изв.вузов Радиофизика, 1993-1995.

Ветер \equiv Турбулентный погранслои над поверхностью воды

Система уравнений Рейнольдса;
гипотеза замыкания первого порядка

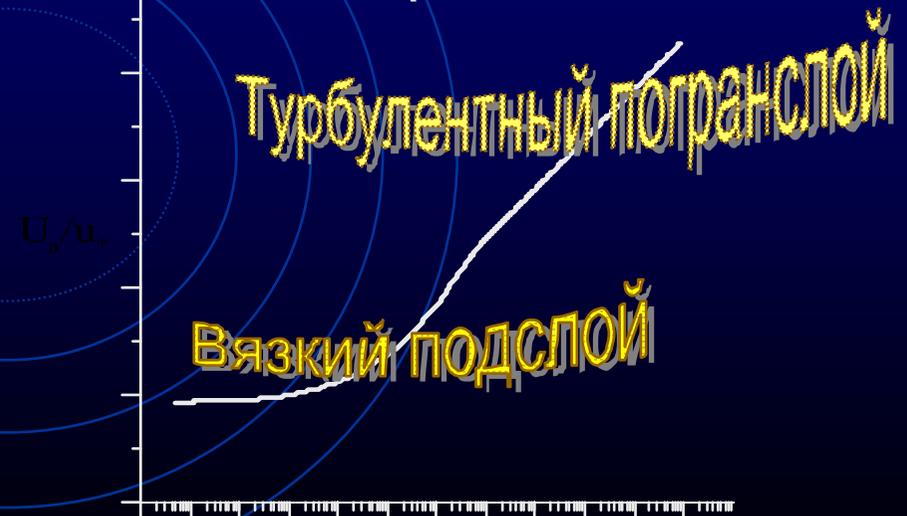
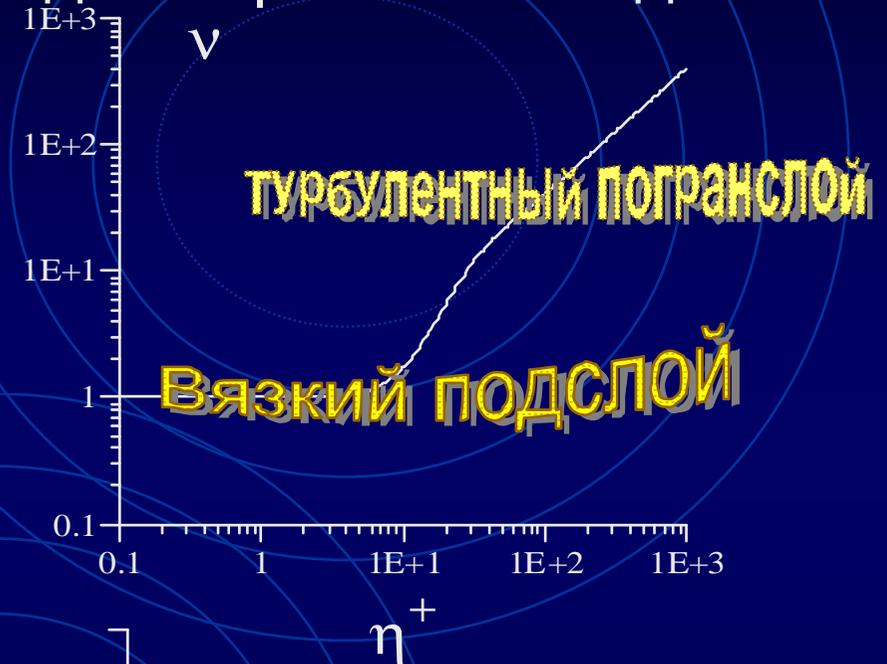
$$\sigma_{ij} = \langle u'_i u'_j \rangle = \nu \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right)$$

$$\nu(z) = \nu_a \left[1 + 0,4\eta^+ \left(1 - e^{-\left(\eta^+/L\right)^2} \right) \right], \quad \eta^+ = \frac{z u_*}{\nu_a}$$

Логарифмический профиль скорости
ветра с вязким подслоем

$$U(z) = \frac{u_*}{0.4} \ln \frac{z}{z_0} \quad z_0 = 0.11 \frac{\nu_a}{u_*}$$

$$\delta_{vis} = (10 \div 20) \frac{\nu_a}{u_*} \approx 1mm$$

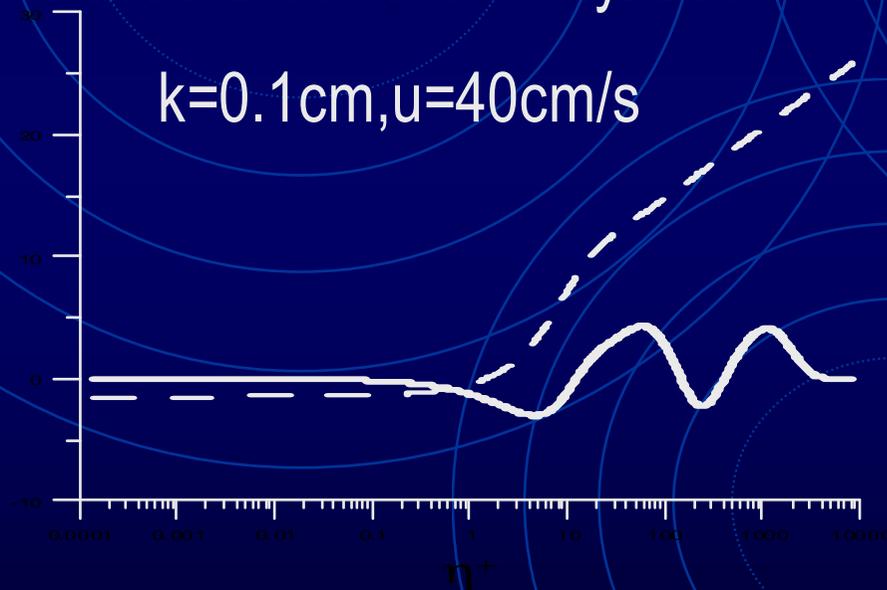


Модель шероховатости взволнованной водной поверхности



Обмен импульсом между ветром и волнами

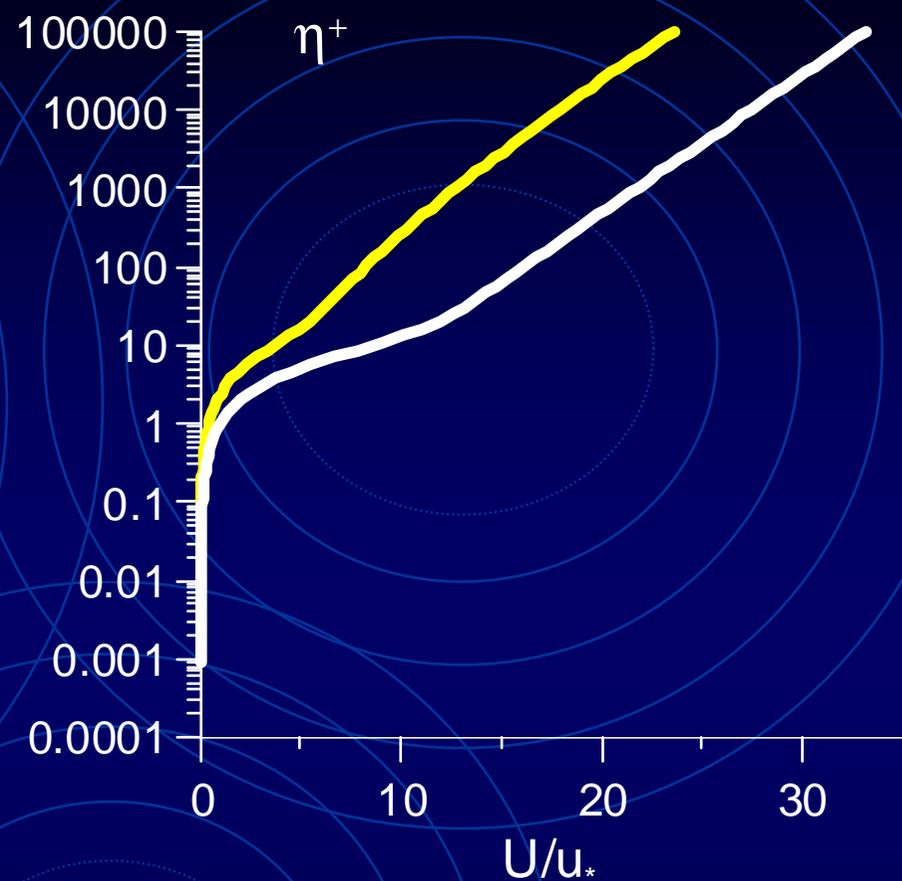
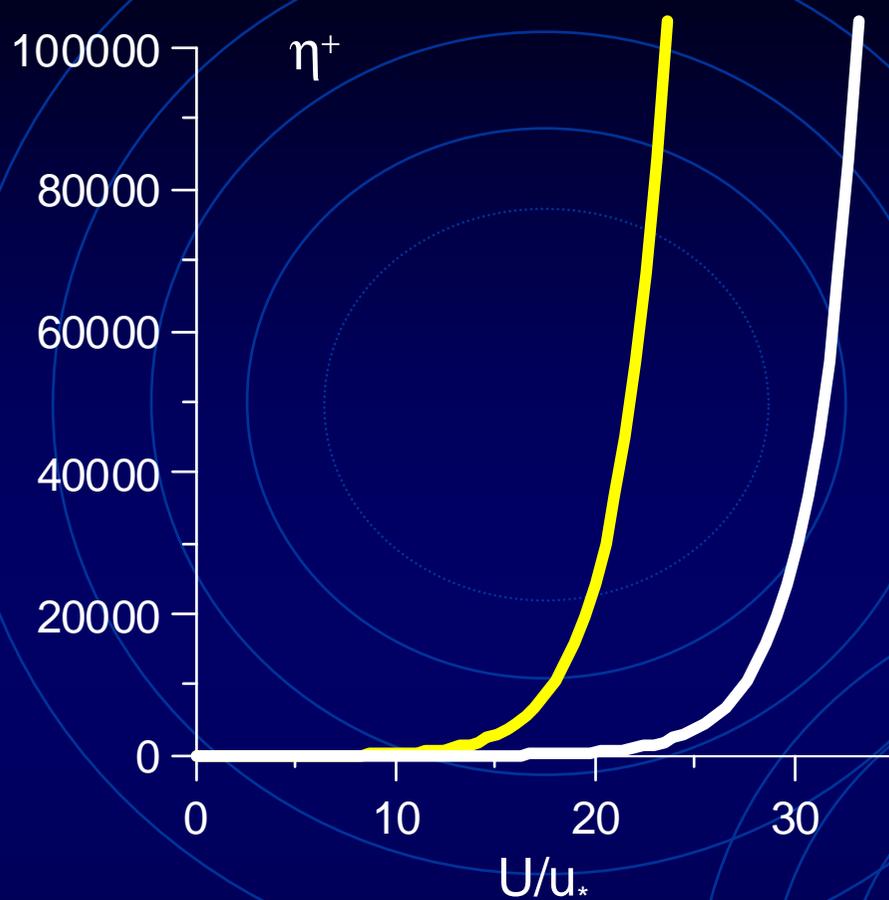
Область обмена импульсом между ветром и волнами



Вязкий подслои!

Для умеренных ветров шероховатость поверхности обусловлена в основном сантиметровыми и дециметровыми волнами.

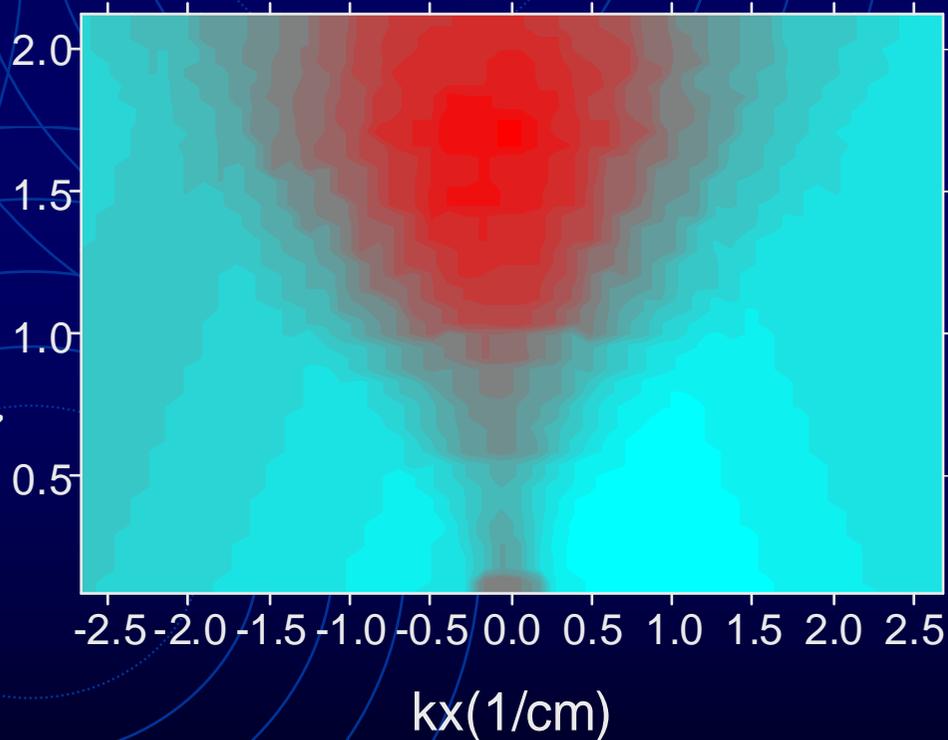
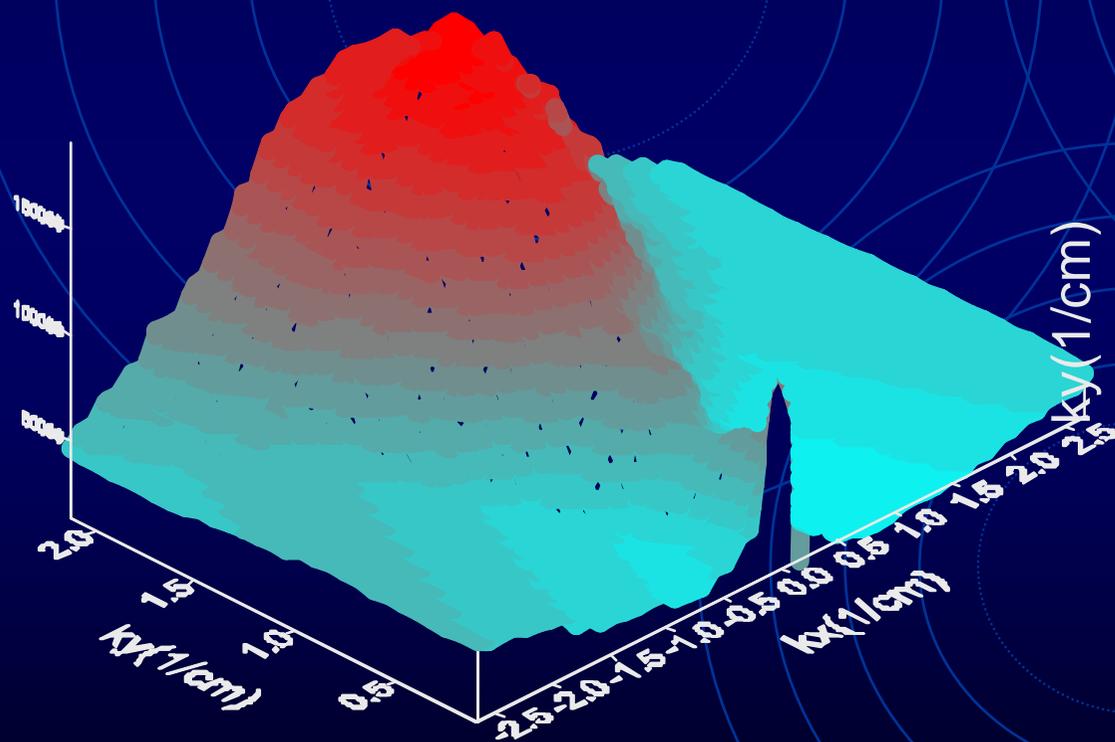
Нелинейное взаимодействие волн с ветром



$$U(z) = \frac{u_*}{0.4} \ln \frac{z}{z_0} - \Delta u_0 [N_0] = \frac{u_*}{0.4} \ln \frac{z}{z_{eff}} \quad z_{eff} = z_0 \exp \left(0.4 \frac{\Delta u_0}{u_*} \right)$$

В рамках модели рассчитывается параметр шероховатости по спектру волнения и его модуляция в присутствии неоднородного распределения спектра.

Спектр кривизны поверхностных волн по данным измерений ДОСА (2 см – 60 см)



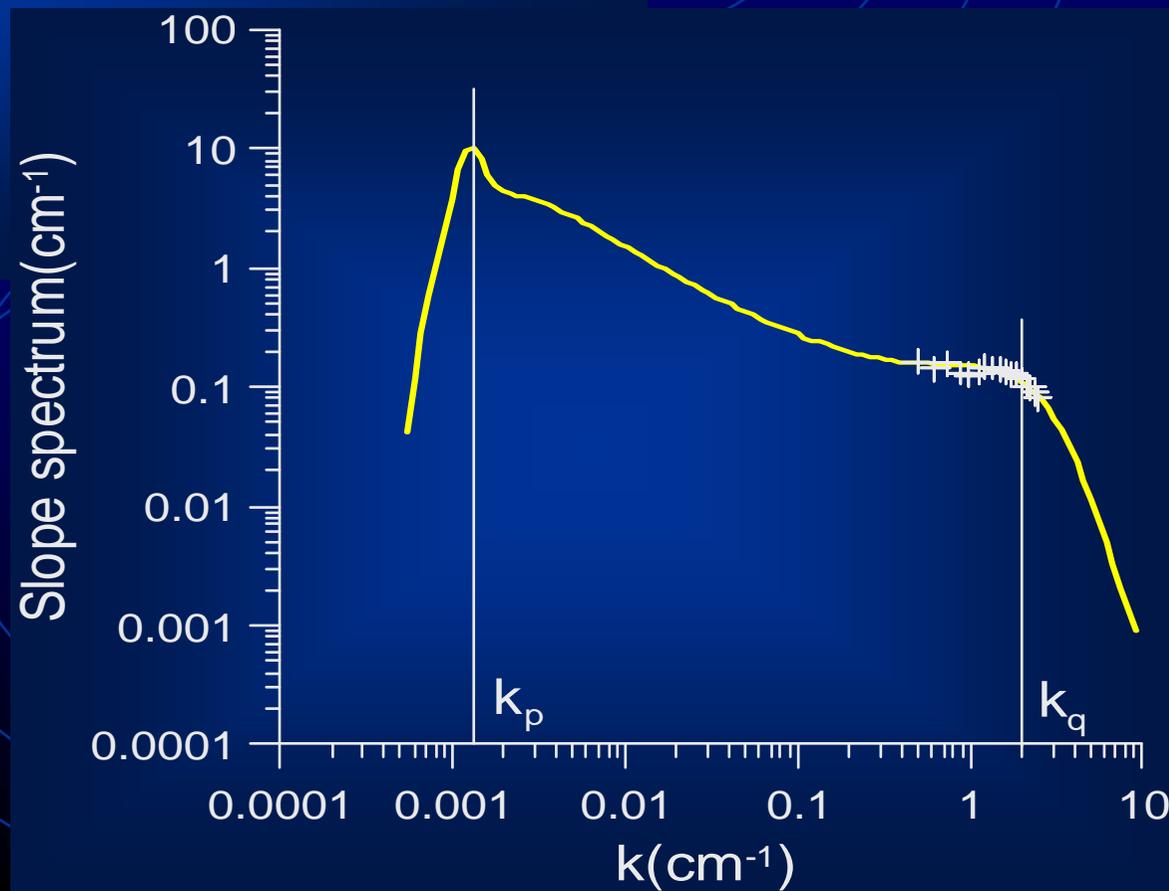
Спектр уклонов поверхностного волнения JONSWAP скорректированный в высокочастотной области с учетом данных ДОСА

$$Sp(k, \theta) = \frac{2}{\pi} \frac{0.57}{k^2} \left(\frac{g}{k_p u_*^2} \right)^{-3/4} \exp \left\{ -\frac{5}{4} \left(\frac{k}{k_p} \right)^2 \right\} 10^{r/2} \square 10^{2q} 0.53 \cos^m \theta$$

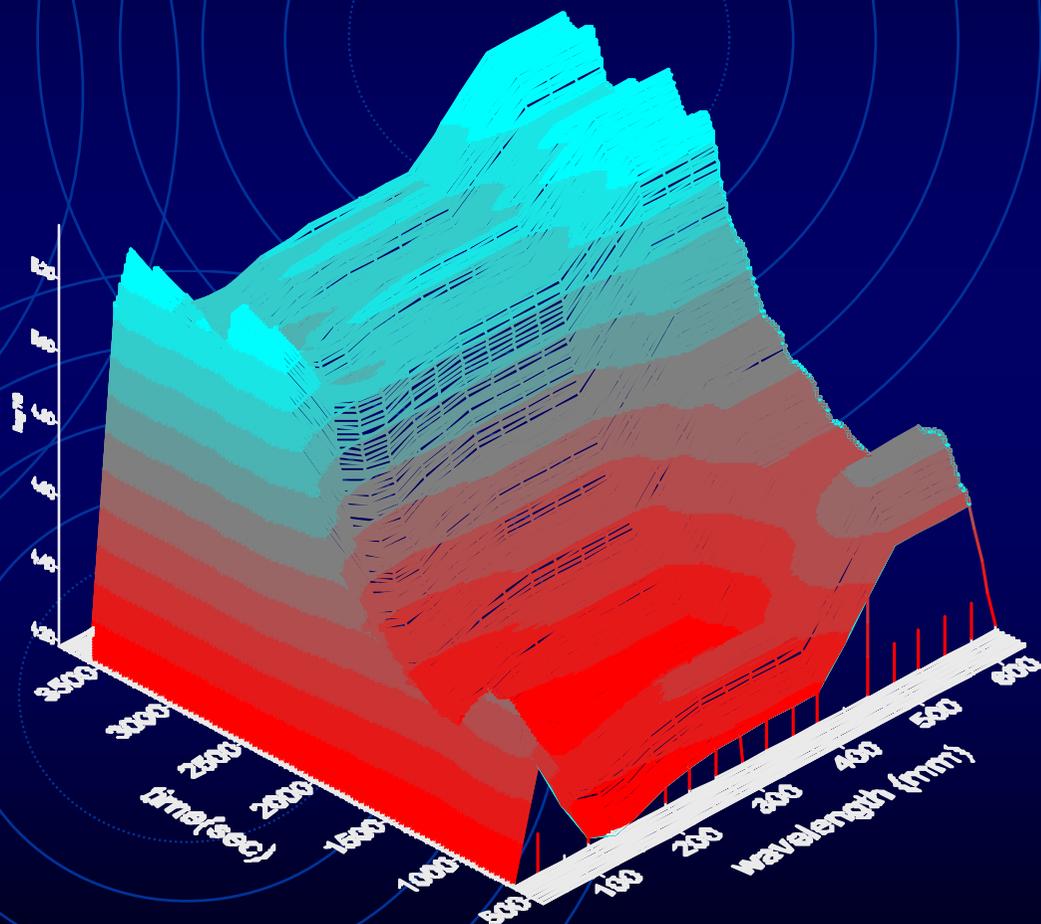
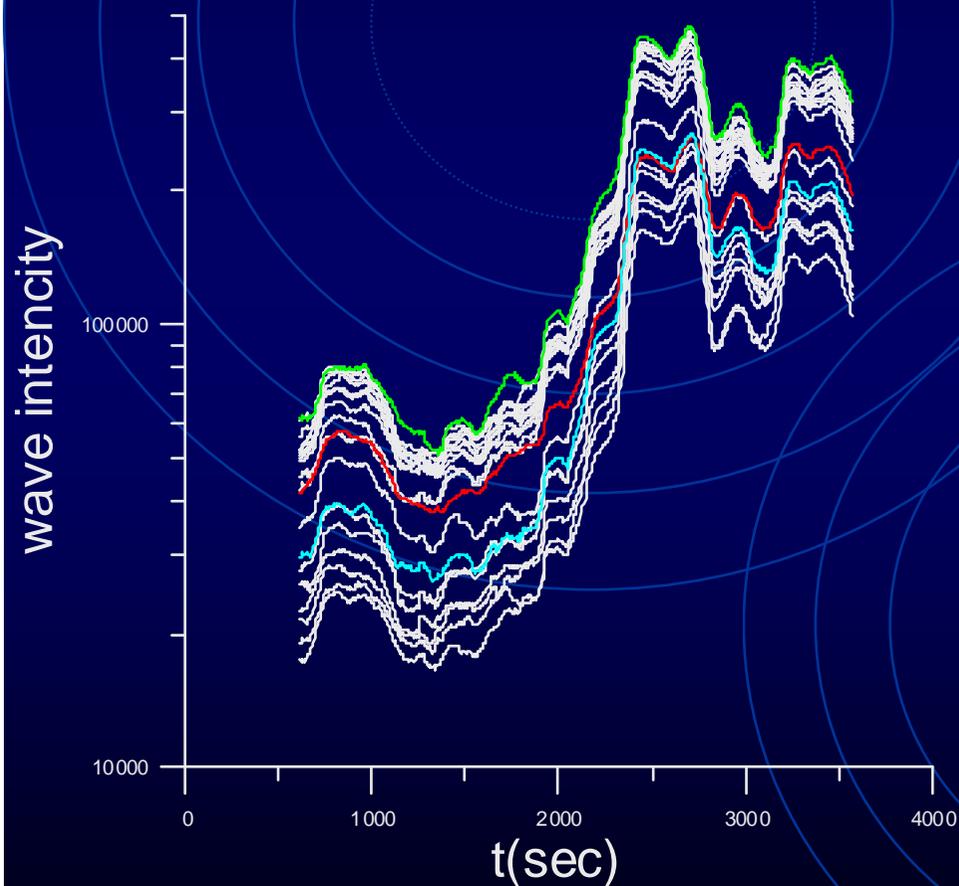
$$(r, q) = \exp \left\{ \frac{0.5}{k_{p,q}} \left(\frac{\sqrt{k} - \sqrt{k_{p,q}}}{\delta_{p,q}} \right)^2 \right\}, \delta_p = 0.1, \delta_q = 0.71, k_q = 2$$

$$m = \begin{cases} 2 & \text{for } k < 0.45 \text{ cm}^{-1} \\ 4 & \text{for } k > 0.45 \text{ cm}^{-1} \end{cases}$$

Bjerkaas A.W., Riedel F.W. 1979
Proposed model for
the elevation spectrum of a wind-
roughed sea surface. *Rep. T-G-1328*
32pp., Appl. Phys. Lab., Johns Hopkins
Univ., Laurel, Md.



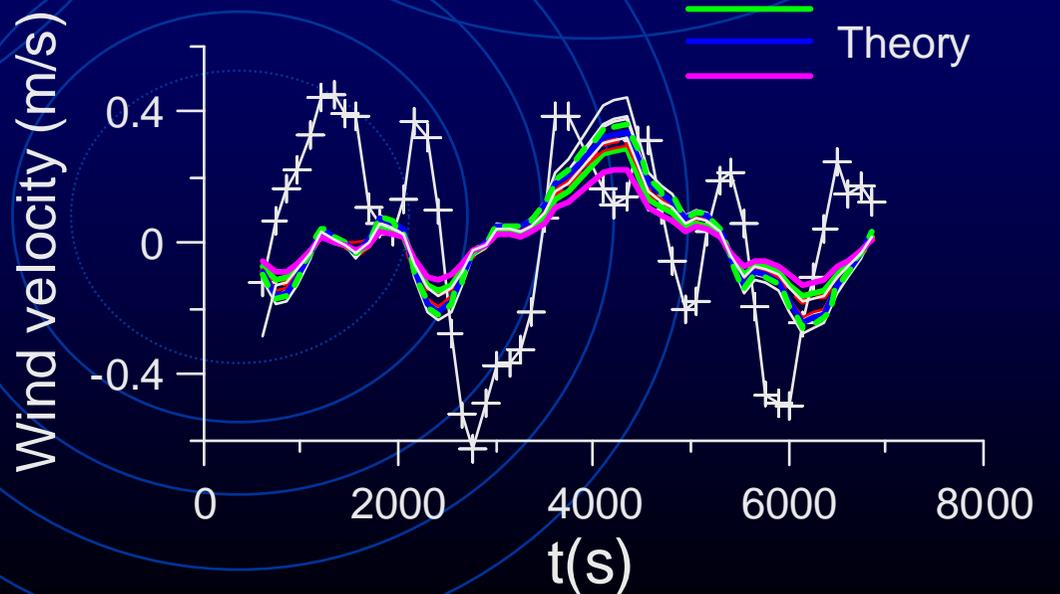
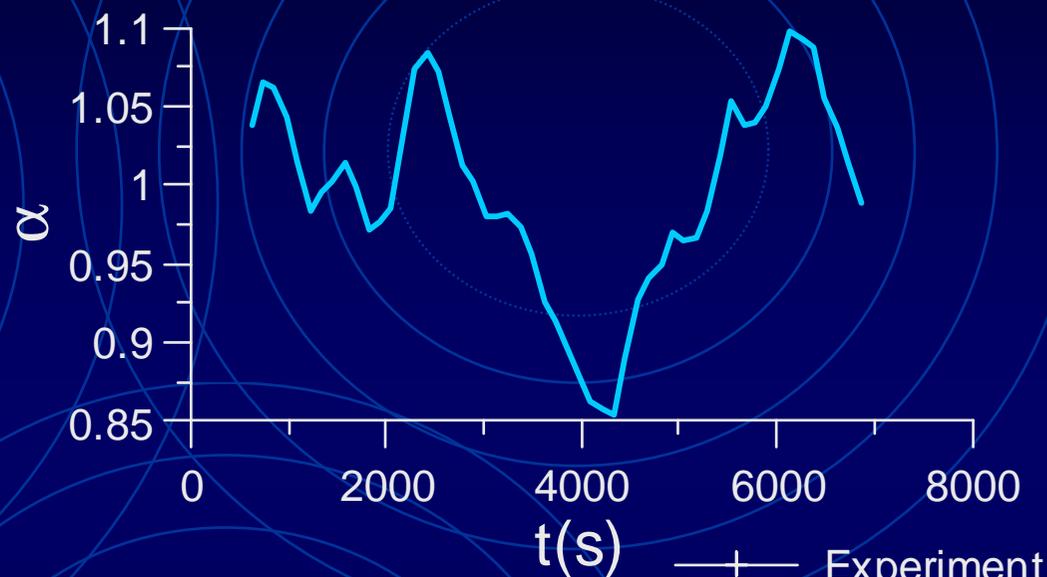
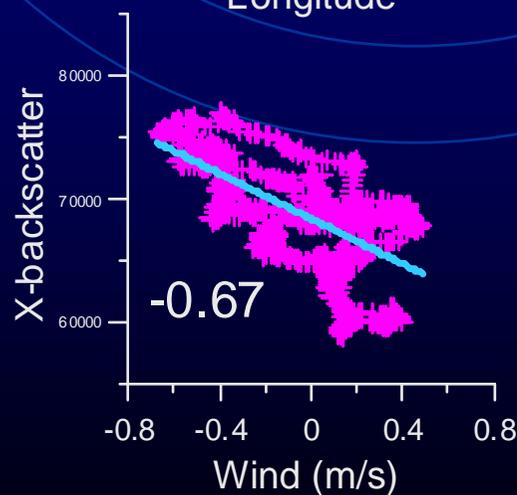
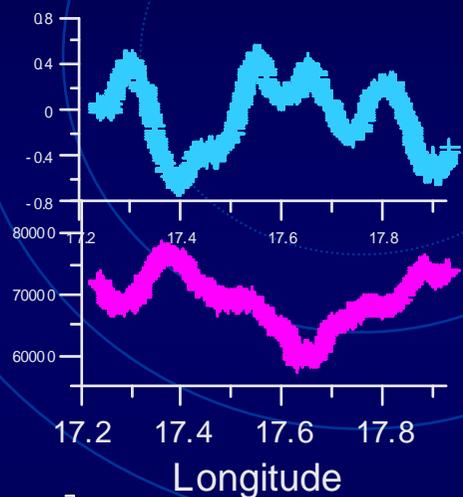
Синхронная изменчивость интенсивностей гармоник в спектре уклонов поверхностного волнения (по данным ДОСА)



Норвежское море 2-3 июня 2003 г.

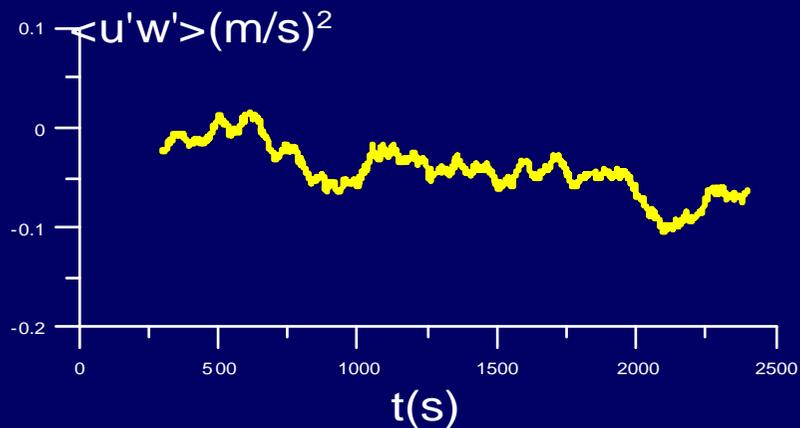
Модель изменчивости спектра
ветровых волн

$$F_0(k, \theta) = \alpha Sp(k, \theta)$$

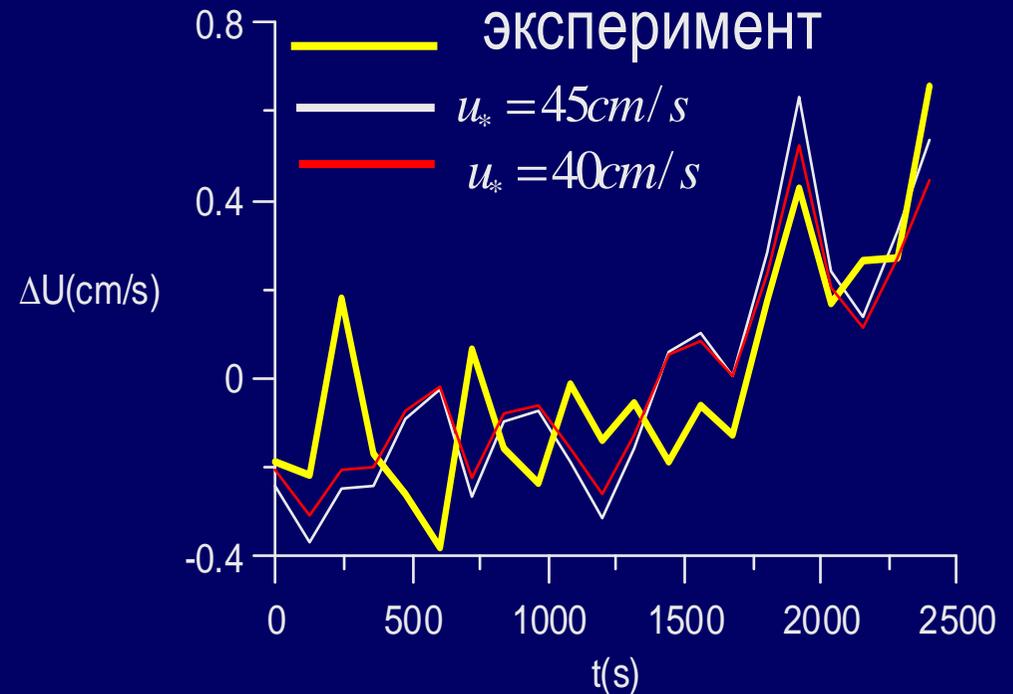


Феодосийская бухта, сентябрь, 2002

Скорость трения

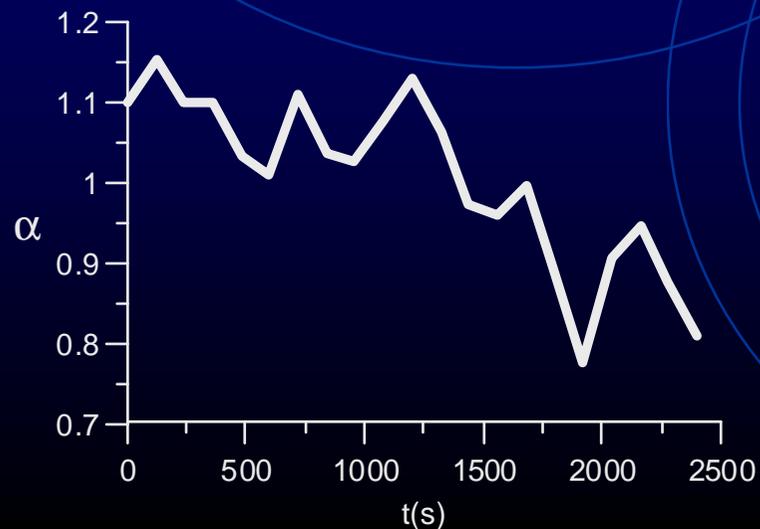


Скорость ветра



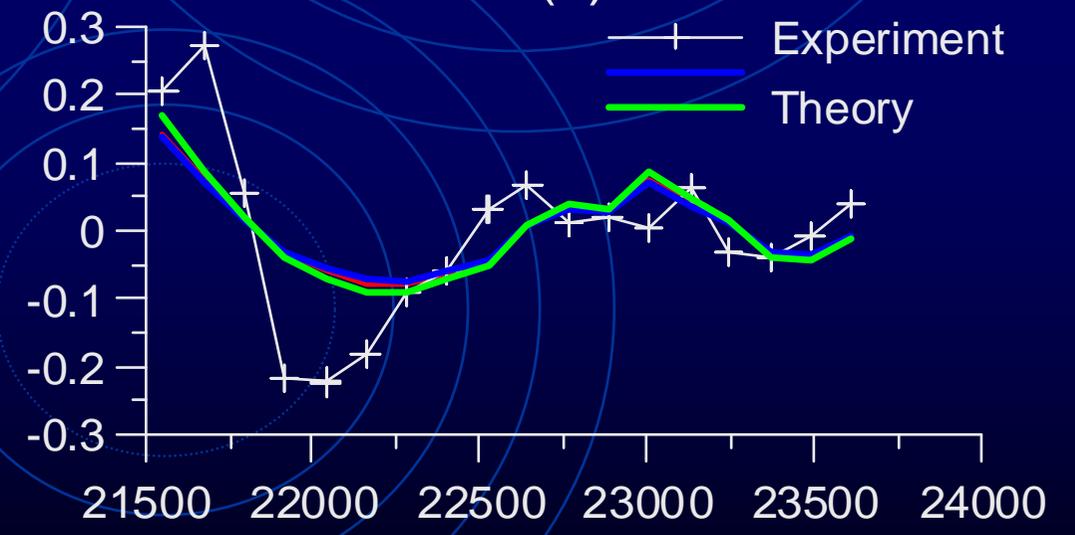
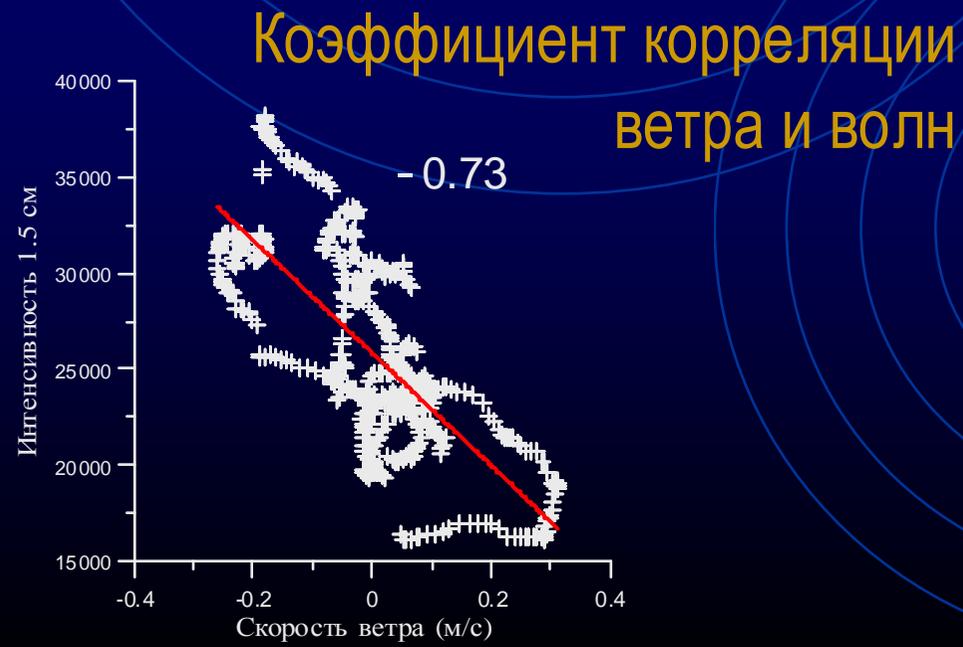
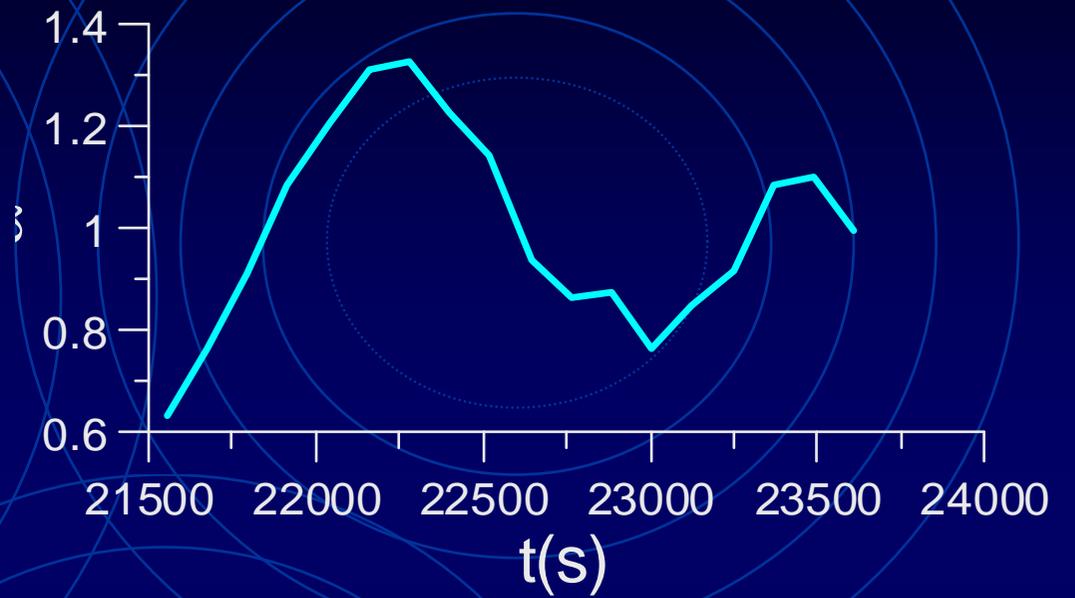
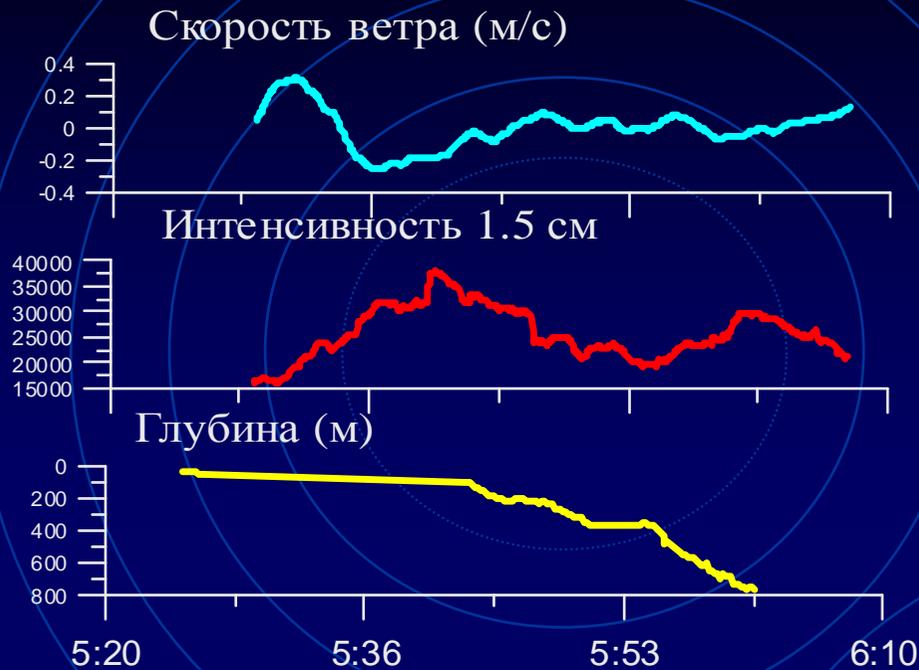
Спектр ветровых волн

$$F_0(k) = \alpha F_{JONSWAP}(k) \cos \theta$$



Шероховатость и сопротивление морской поверхности убывает при уменьшении амплитуды поверхностных волн

Геленджик 06.07.2004



Выводы

- В натуральных экспериментах обнаружены, отрицательные корреляции между интенсивностью волнения и мезомасштабными вариациями скорости ветра предположительно в областях сильной изменчивости поверхностных течений.
- Предложен механизм для объяснения обнаруженного эффекта, основанный на рассмотрении модуляции сопротивления морской поверхности. Предложена теоретическая модель, основанная на расчете обмена импульсом между ветром и волнами.
- Для условий натурального экспериментов в Черном и Норвежском морях показано хорошее согласие теории и данных.