

Переслегин С.В., Елизаветин И.В., Иванов А.Ю.

**ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВЫХ ВОЛН,
НАБЛЮДЕНИЕ ПОЛЕЙ ВЕТРА И ОБЛАЧНОГО
ПОКРОВА В ОБЛАСТИ АТМОСФЕРНОГО
ЦИКЛОНА ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКИХ
РАДИОЛОКАТОРОВ И ОПТИЧЕСКИХ СКАНЕРОВ**

- 1. Модель восстановления поля уклонов ветровых волн по данным поляризационного РСА**
- 2. Сравнение с экспериментом – ENVISAT**
- 3. Общая картина атмосферного циклона – ENVISAT, QUIKSCAT, MODIS**
- 4. Детальная картина циклона – ENVISAT**
- 5. Краткие выводы**



Модель восстановления поля уклонов ветровых волн по данным поляриционного РСА

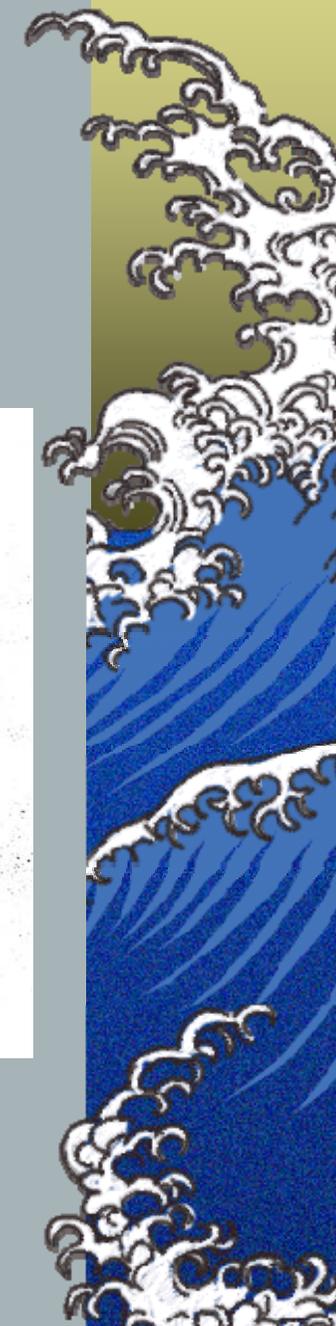
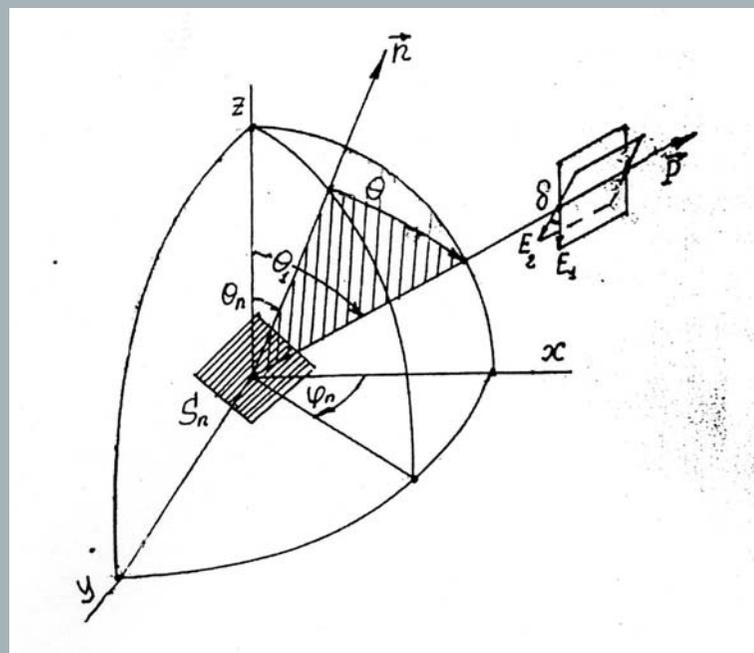
Удельная ЭПР для мелких (брегговских) волн:

$$S^0(\theta) = (a_0/\delta) |\gamma(\varepsilon, \theta)|^2 \eta(\lambda) \operatorname{ctg}^4 \theta$$

$$S^0(\theta) \approx S^0(\theta_1) \exp[-m \theta_{\text{пэкв}} / \theta_0]$$

$\gamma(\varepsilon, \theta)$ – коэфф. Фукса

$\theta_{\text{пэкв}}$ – экв. угол отклонения нормали



Вывод расчетных соотношений для соосной и перекрестной поляризационных составляющих УЭПР

Нормальное двухосевое распределение уклонов:

$$p(\xi) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\theta_x}\sigma_{\theta_y}} \exp\left[-0,5\xi^2\left(\frac{\cos^2\phi_n}{\sigma_{\theta_x}^2} + \frac{\sin^2\phi_n}{\sigma_{\theta_y}^2}\right)\right]$$

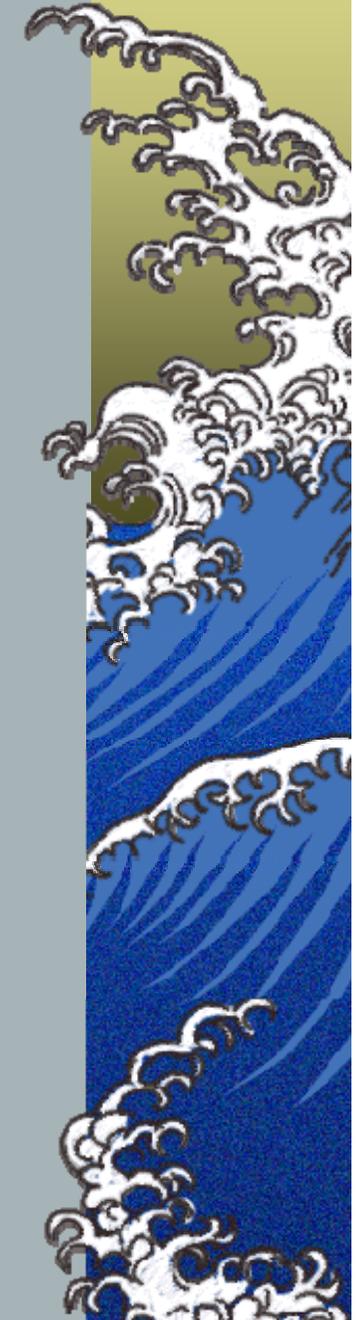
$\theta_{\text{нЭКВ}} \approx \text{tg}\theta_n \cos\phi_n$, $\delta = \text{tg}\theta_n \sin\phi_n$ – *угол деполяризации,*

$\xi = \text{tg}\theta_n$, *коэффициенты Фукса приобретают вид:*

$$|\gamma_{\text{вв}}|^2_{\delta} = |\gamma_{\text{вв}}|^2 (1 - 2\xi^2 \sin^2\phi_n), \quad |\gamma_{\text{вг}}|^2_{\delta} = |\gamma_{\text{вв}}|^2 \xi^2 \sin^2\phi_n$$

Среднее значение УЭПР соосной и перекрестной составляющих находится путем интегрирования локальных значений, элементарной площадкой является

$$\xi d\xi d\phi_n$$



В результате получаем выражения, где УЭП мелкоструктурной поверхности выносятся за интеграл:

Соосная составляющая

$$\overline{S_{BB}^0} = \frac{S_{BB}^0(\theta_1)}{\pi\sigma_{\theta x}\sigma_{\theta y}} \int_0^\pi d\varphi_n \int_0^\infty \exp\left(-\frac{m\xi \cos \varphi_n}{\theta_0} - \frac{\xi^2 \cos^2 \varphi_n}{2\sigma_{\theta x}^2} - \frac{\xi^2 \sin^2 \varphi_n}{2\sigma_{\theta y}^2}\right) (1 - 2\xi^2 \sin^2 \varphi_n) \xi d\xi$$

$$\overline{S_{BB}^0} = S_{BB}^0(\theta_1) \left[1 + \frac{m^2 \sigma_{\theta x}^2}{4\theta_0^2} - \sigma_{\theta y}^2 \left(1 + \frac{m^2 \sigma_{\theta x}^2}{\theta_0^2} \right) \right]$$

Перекрестная составляющая:

$$\overline{S_{BG}^0} = \frac{S_{BB}^0(\theta_1)}{\pi\sigma_{\theta x}\sigma_{\theta y}} \int_0^\pi d\varphi_n \int_0^\infty \exp\left(-\frac{m\xi \cos \varphi_n}{\theta_0} - \frac{\xi^2 \cos^2 \varphi_n}{2\sigma_{\theta x}^2} - \frac{\xi^2 \cos^2 \varphi_n}{2\sigma_{\theta y}^2}\right) \sin^2 \varphi_n \xi^3 d\xi$$

$$\overline{S_{BG}^0} = S_{BB}^0(\theta_1) \frac{\sigma_{\theta y}^2}{2} \left(1 + \frac{m^2 \sigma_{\theta x}^2}{\theta_0^2} \right)$$

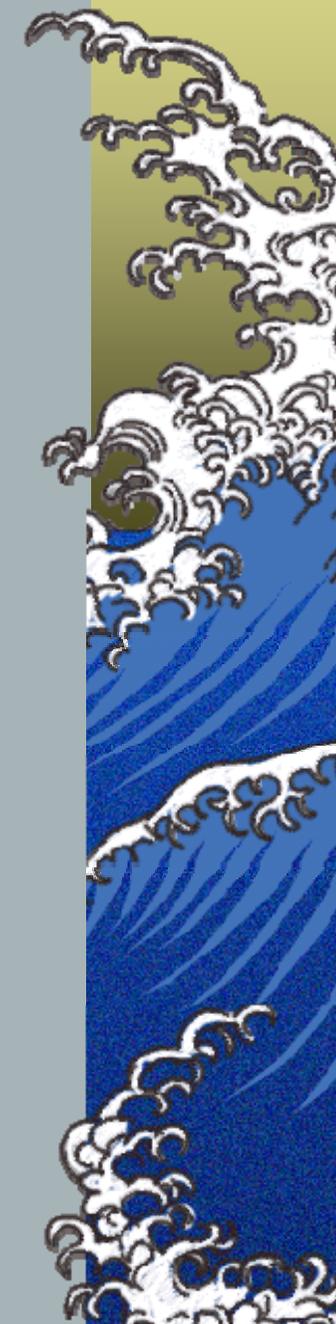
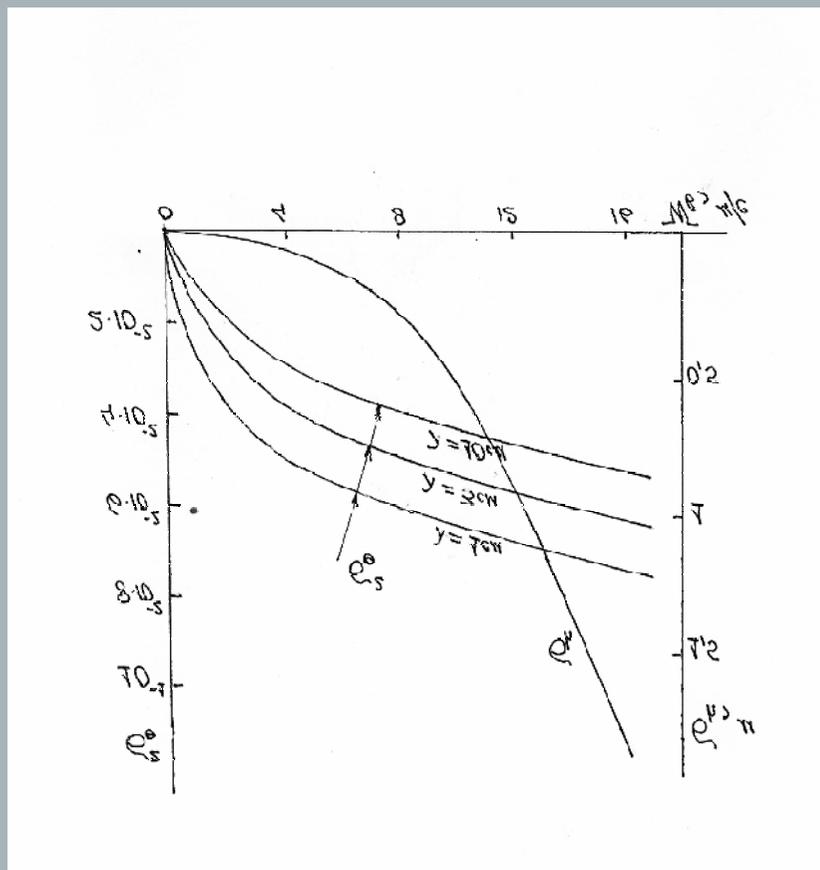
Отношение поляризационных составляющих не зависит от УЭП мелкоструктурной поверхности и определяется только угловой модуляцией крупными волнами:

$$A_{\Pi} = \frac{\overline{S_{BB}^0}}{\overline{S_{BG}^0}} = 2 \left[\frac{1 + \frac{m^2 \sigma_{\theta x}^2}{4\theta_0^2}}{\sigma_{\theta y}^2 \left(1 + \frac{m^2 \sigma_{\theta x}^2}{\theta_0^2} \right)} - 1 \right], \text{ где } \sigma_{\theta}^2 \cong a_0 \ln \left(\frac{5,8W_B^2}{\lambda g} \right), \text{ т.е. дисперсия}$$

определяется всем спектром уклонов, при его интегрировании в пределах от нуля до $k = 2\pi/\lambda$

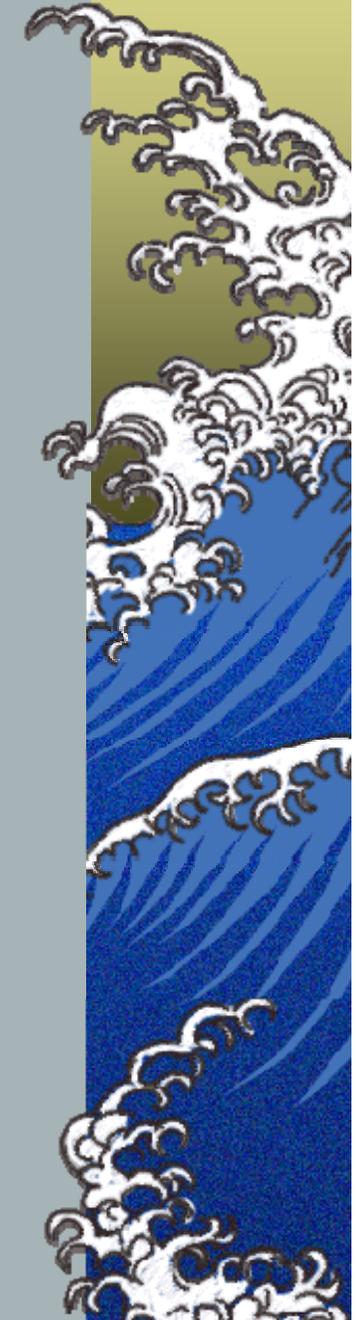
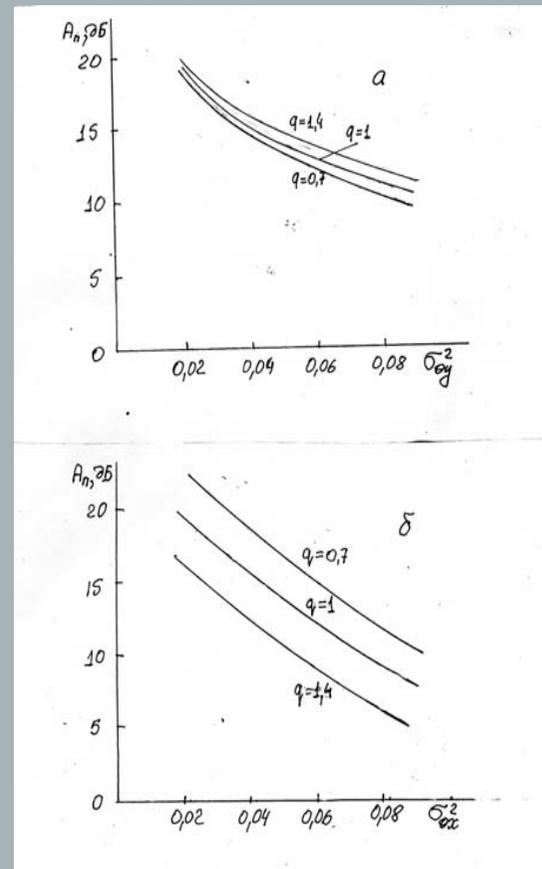


МОДЕЛЬ РАЗВИТЫХ ВЕТРОВЫХ ВОЛН: ВЗАИМОСВЯЗЬ СО СКОРОСТЬЮ ВЕТРА

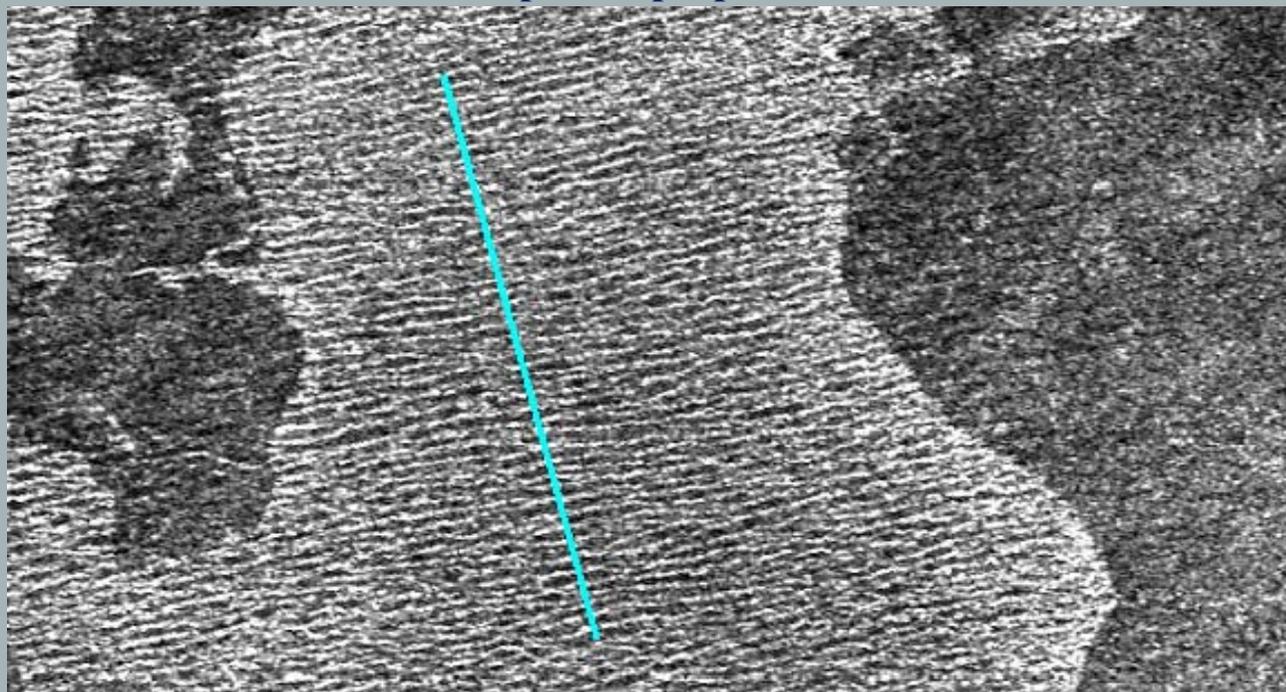


ПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ ОТНОШЕНИЕ УЭПР: ВЗАИМОСВЯЗЬ С ДИСПЕРСИЕЙ И СТЕПЕНЬЮ АНИЗОТРОПИИ УКЛОНОВ

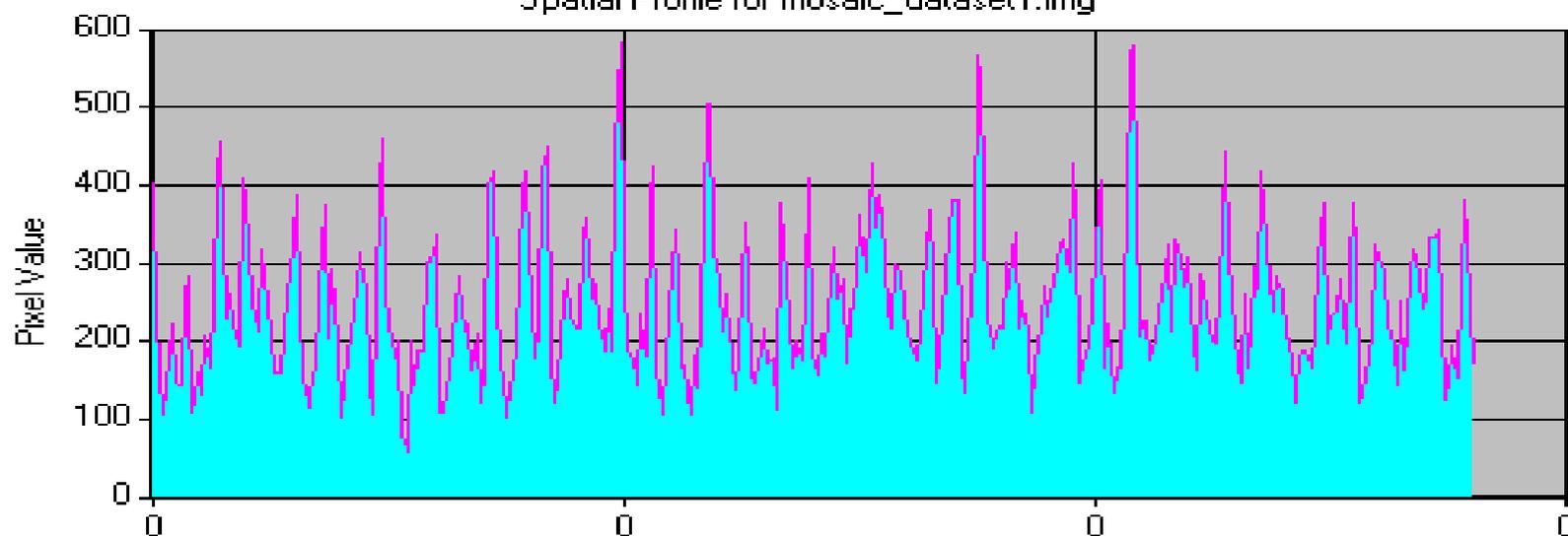
1. Формирование РЛИ, отображающих поляризационное соотношение УЭПР, т.е. дисперсию «поперечных» уклонов, **не требует искусственной калибровки**, однако степень анизотропии уклонов влияет на точность измерений., которая может быть улучшена при достаточно высоком разрешении.
2. Эффект амплитудной модуляции (мелких волн крупными) **должен в значительной степени подавляться.**



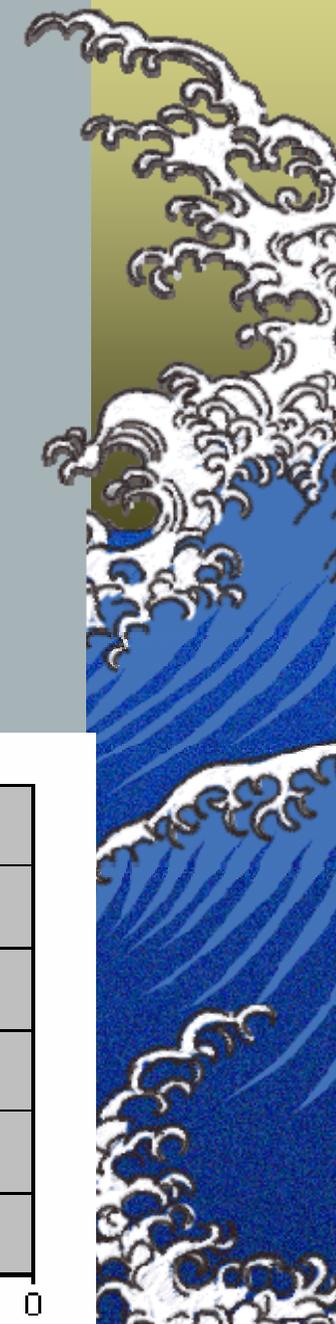
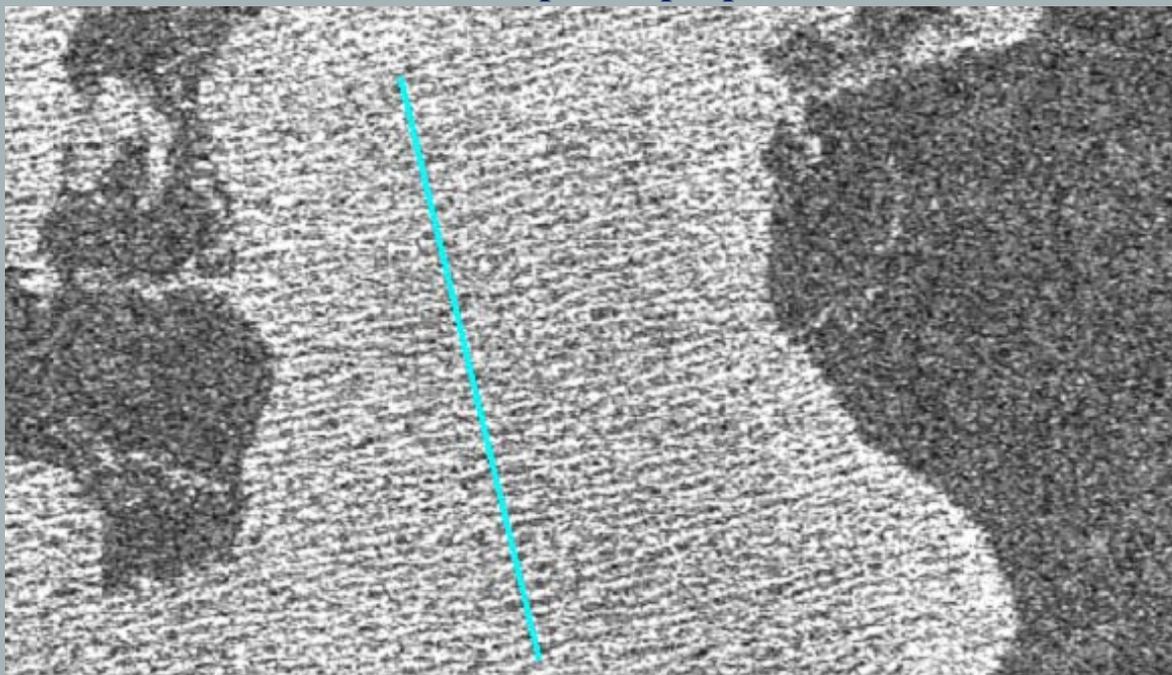
ЭКСПЕРИМЕНТ: ENVISAT, выделенная область штормовых волн, VV с компьютерным разрезом



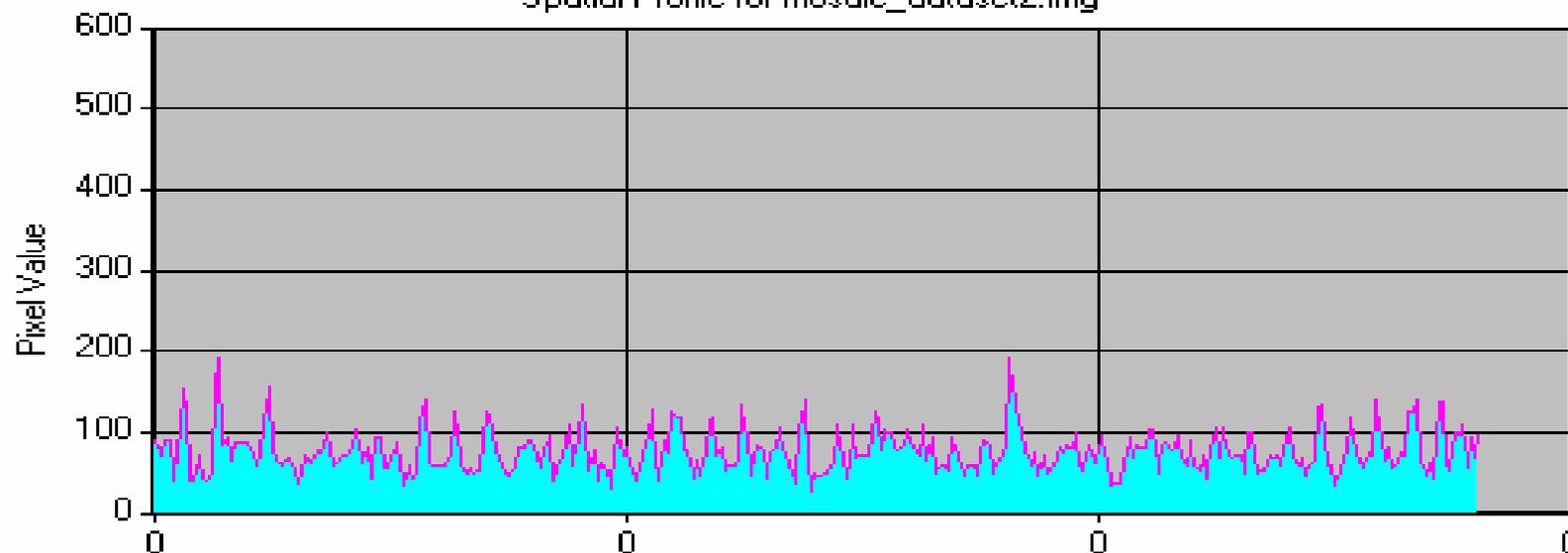
Spatial Profile for mosaic_dataset1.img



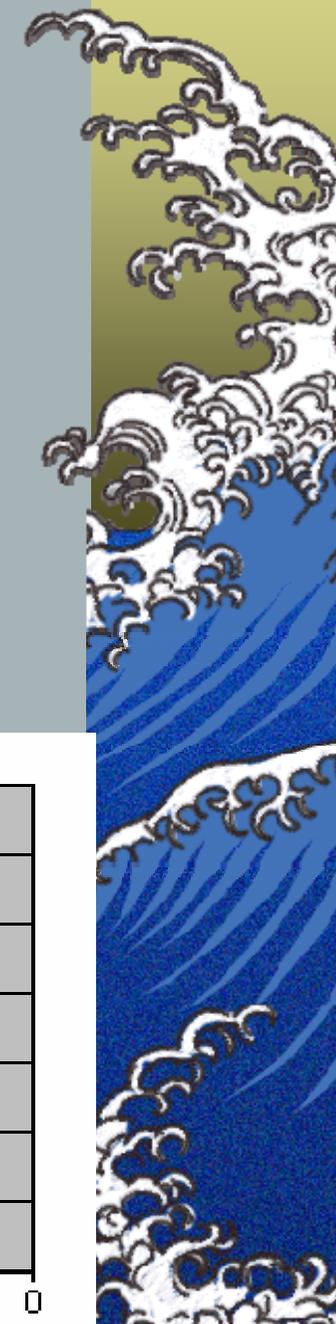
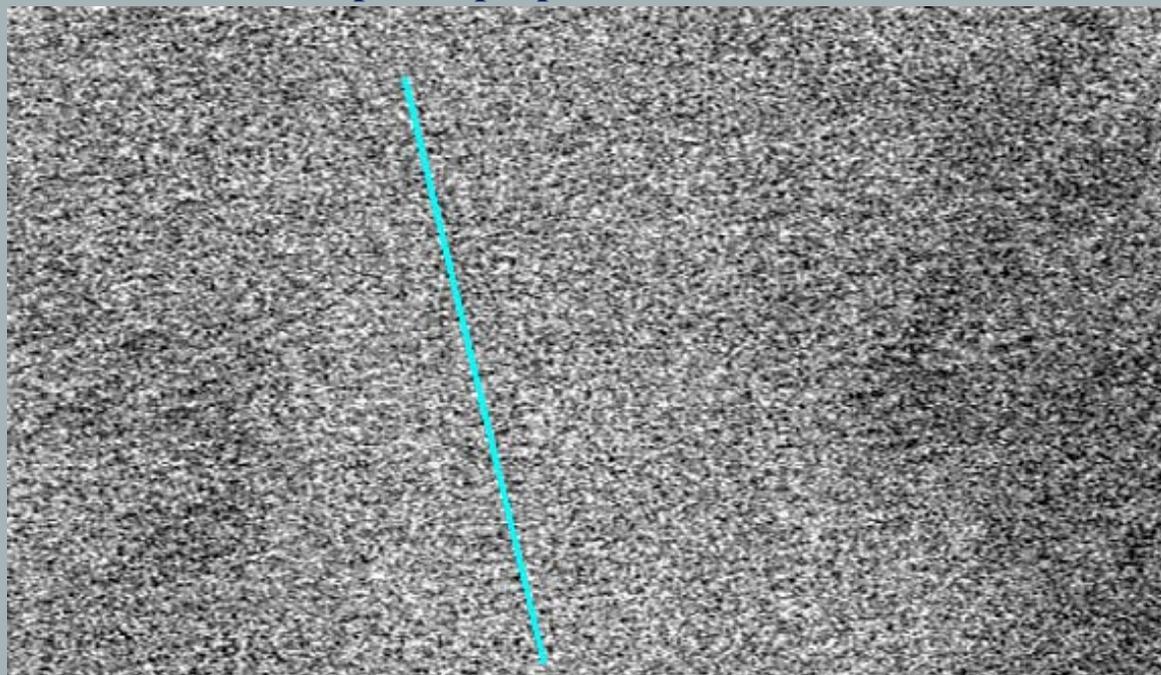
ЭКСПЕРИМЕНТ: ENVISAT, выделенная область штормовых волн, VH с компьютерным разрезом



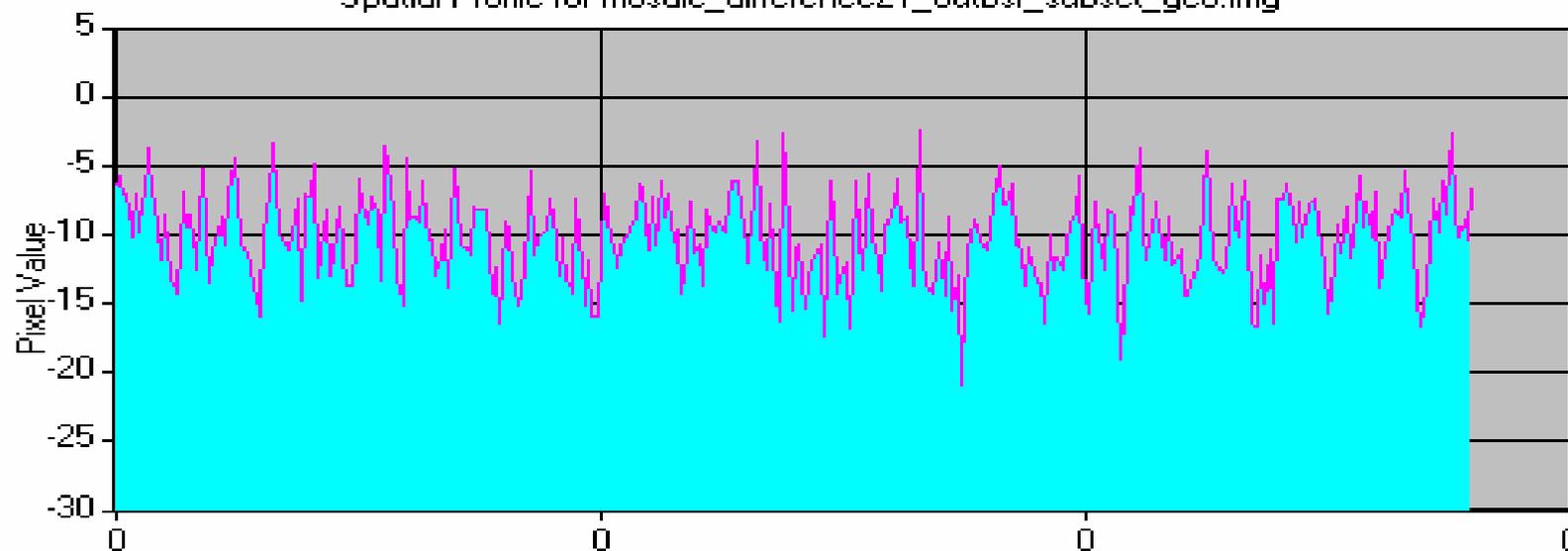
Spatial Profile for mosaic_dataset2.img



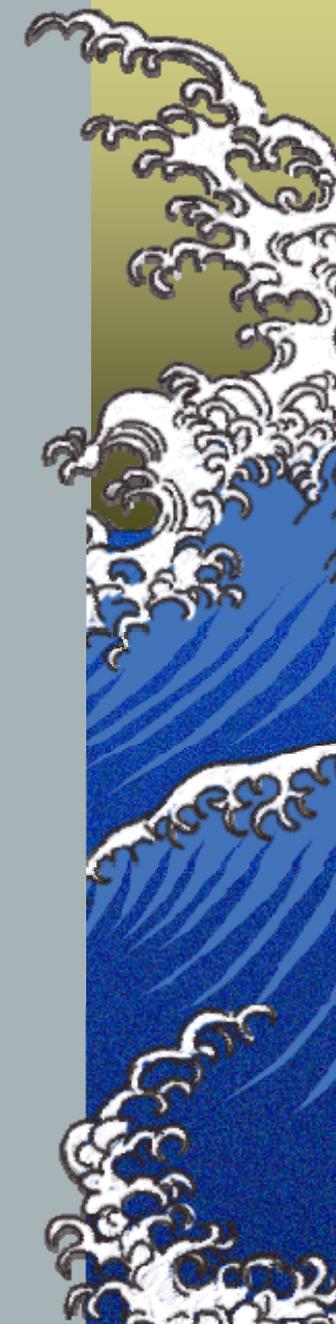
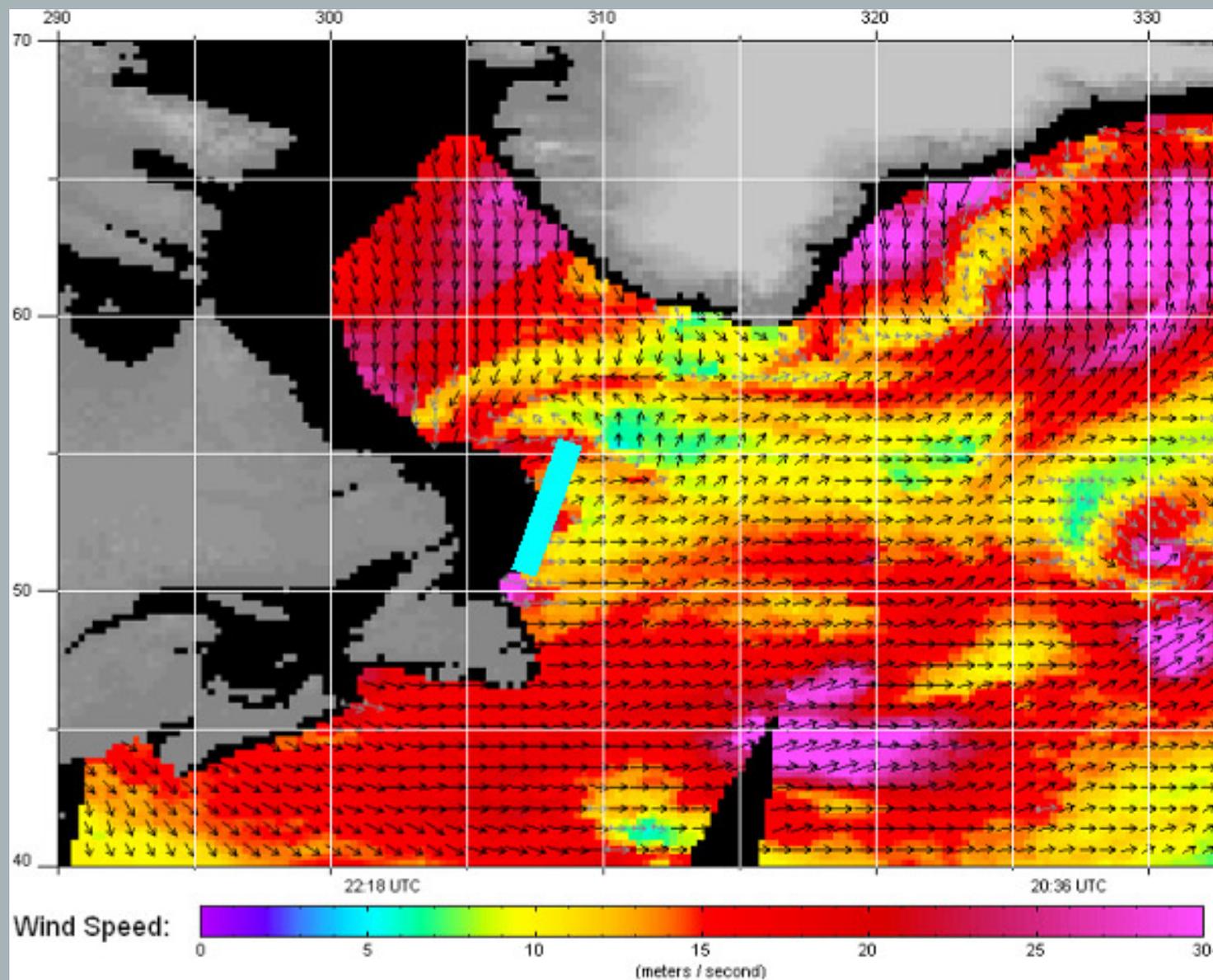
ЭКСПЕРИМЕНТ: ENVISAT, выделенная характерная область штормовых волн, VV/VH с компьютерным разрезом



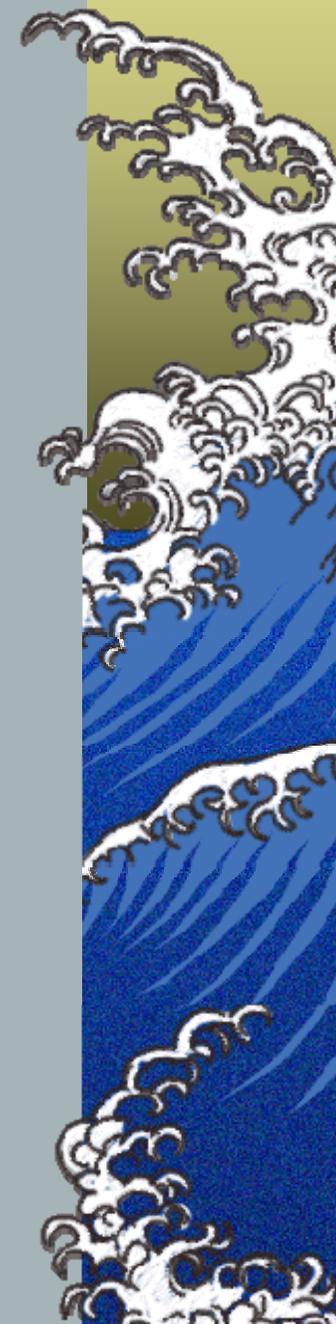
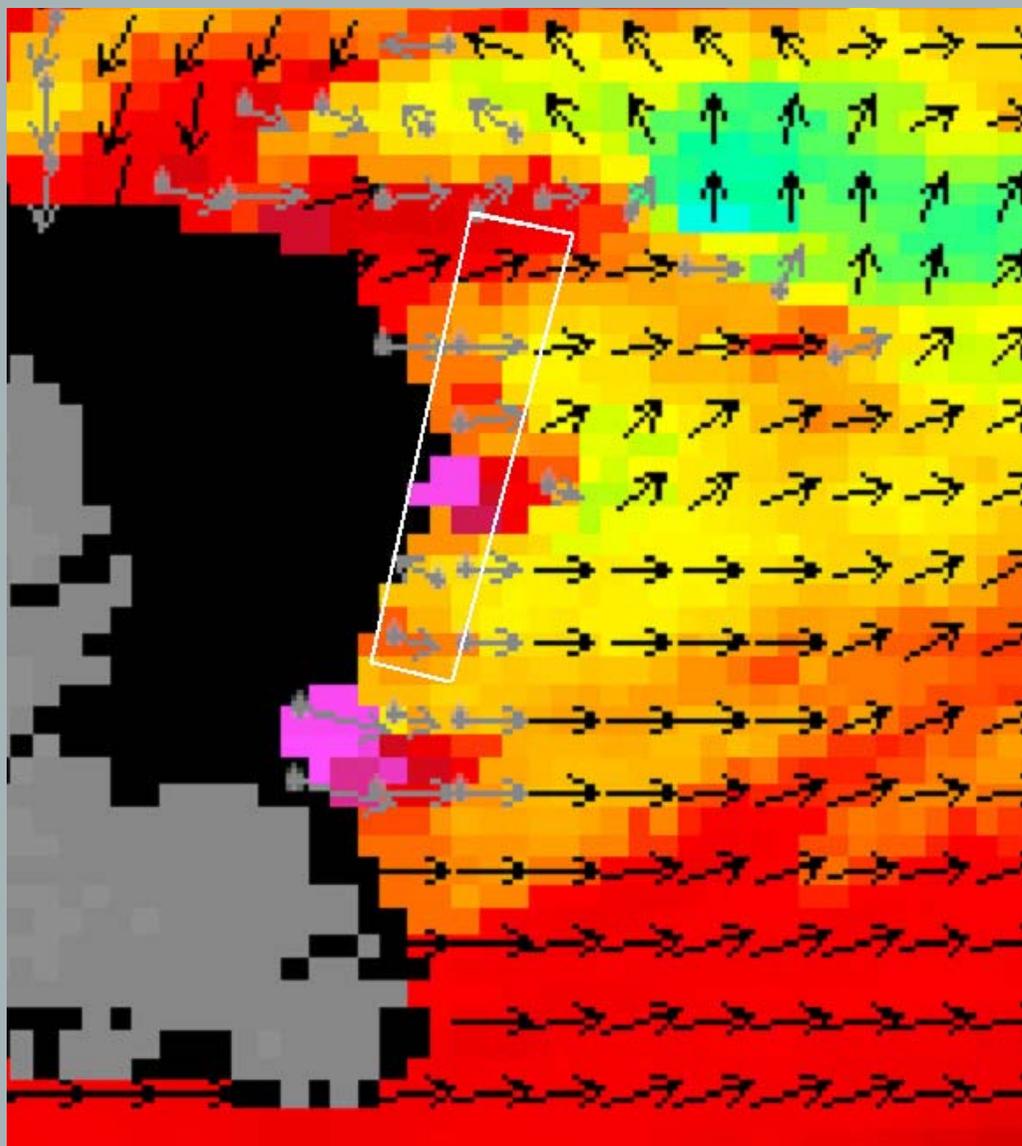
Spatial Profile for mosaic_difference21_outbsf_subset_geo.img



ОБЩАЯ КАРТИНА ЦИКЛОНА: QUIKSCAT

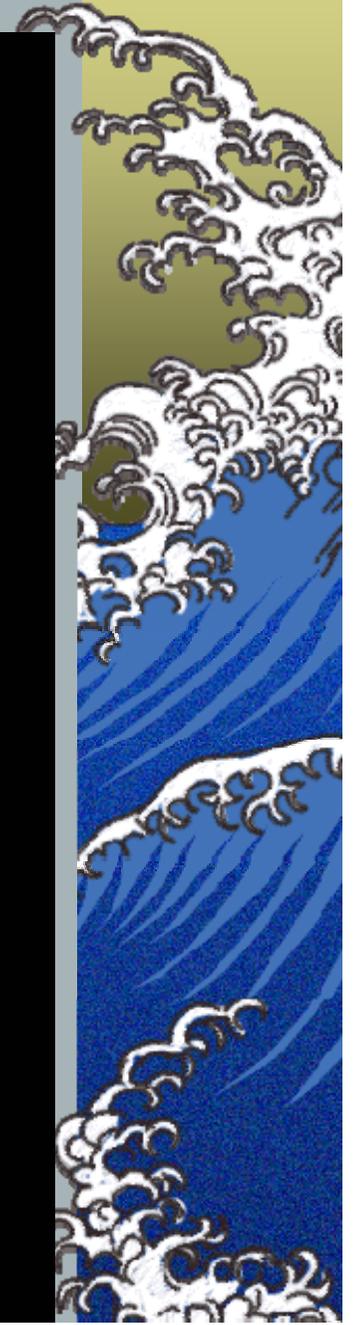
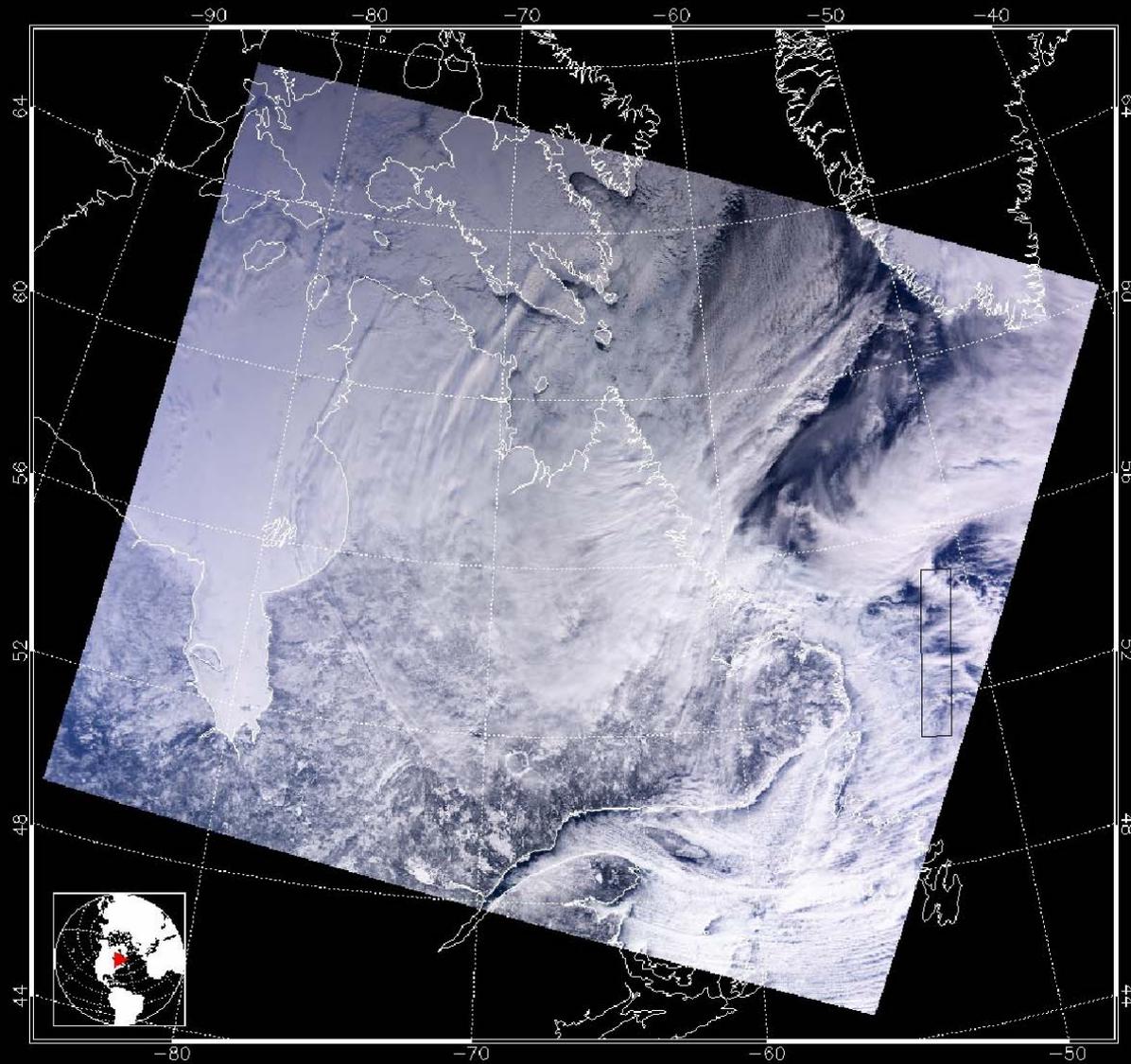


ДЕТАЛЬНАЯ КАРТИНА ЦИКЛОНА: QUIKSCAT



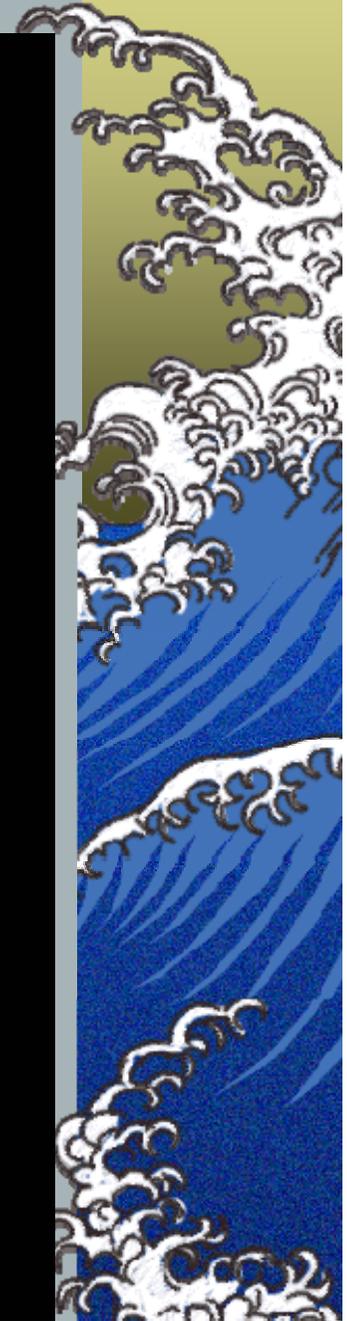
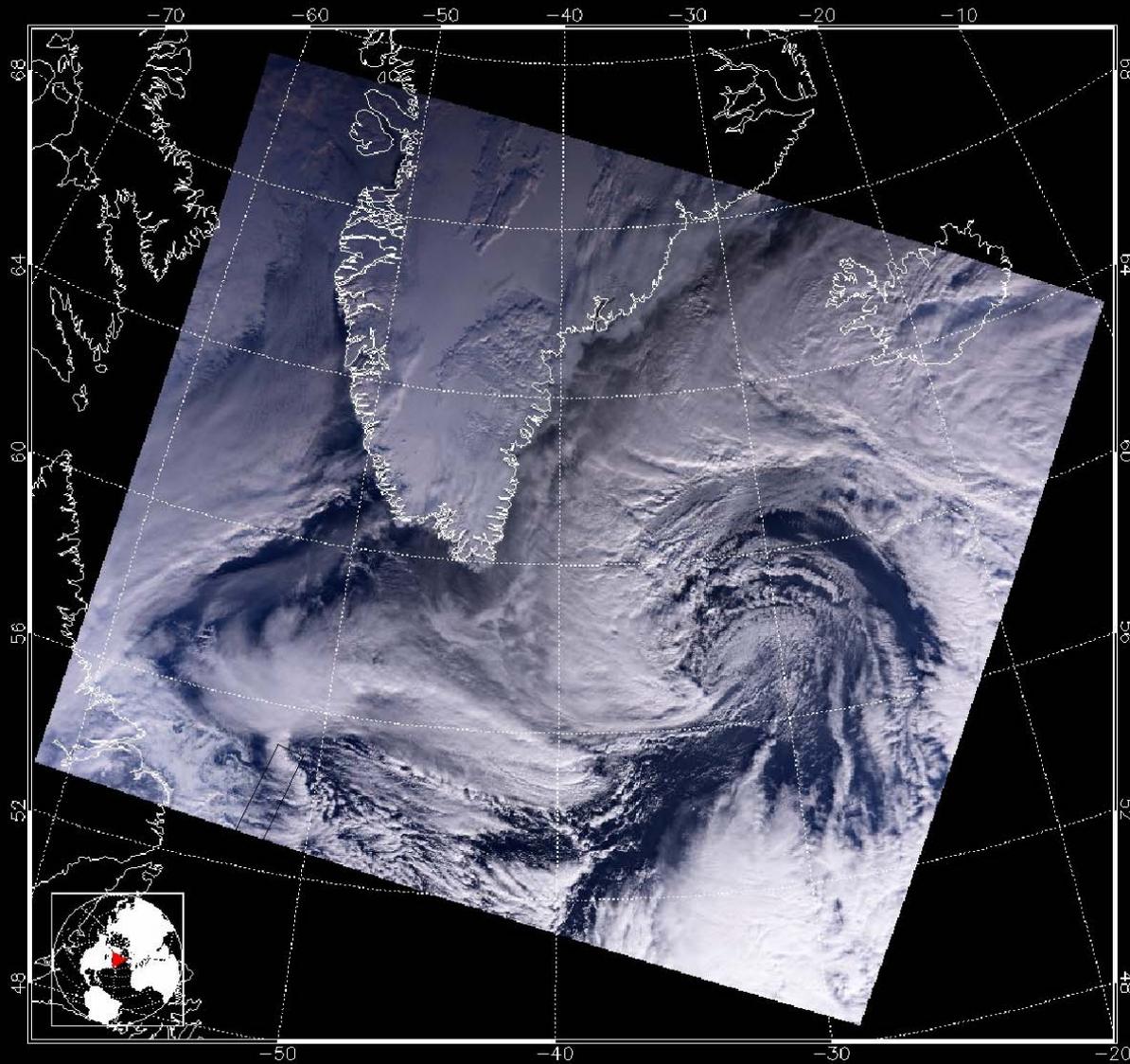
ОБЩАЯ КАРТИНА ЦИКЛОНА: TERRA-MODIS - 1

MOD021KM.A2003046.1545.004.2003047005231.hdf

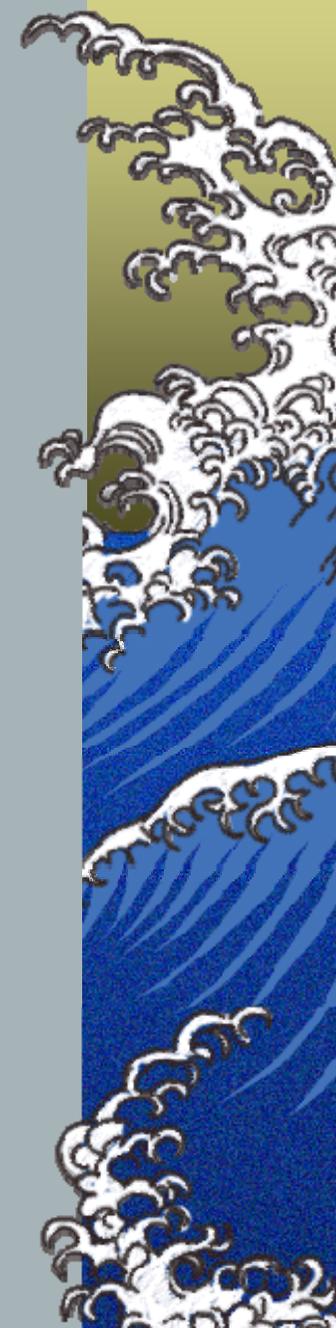
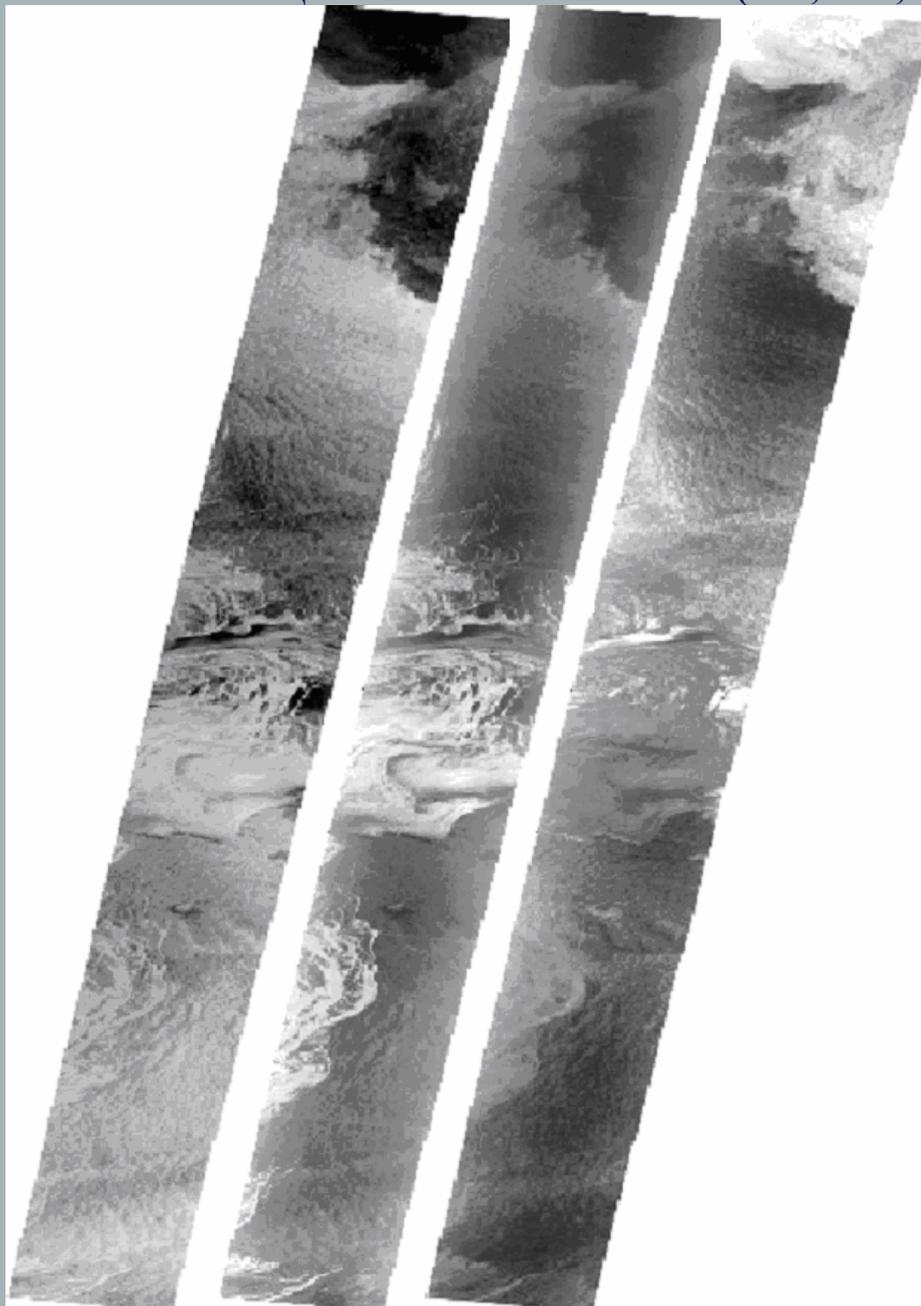


ОБЩАЯ КАРТИНА ЦИКЛОНА: TERRA-MODIS - 2

MOD021KM.A2003046.1405.004.2003047001925.hdf



ДЕТАЛЬНАЯ КАРТИНА ЦИКЛОНА: ENVISAT (VV, VH, VV/VH)



КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Модель взаимосвязей поляризационных составляющих УЭПР с параметрами уклонов ветровых волн дает возможность определять дисперсии уклонов по соотношению VV/VH , без использования искусственных калибровок УЭПР.
2. Обработка данных ENVISAT (выделенный фрагмент штормовых волн) подтверждает эту возможность. Измеренные значения дисперсий практически изотропных уклонов лежали в пределах 0,08 – 0,12, что значительно превышает модельные значения для «развитых» ветровых волн при реально наблюдаемых длинах энергонесущих волн (~ 150 м) и предполагаемой для них скорости ветра ~20 м/с. Радиолокационное VV/VH изображение при этом практически не содержит ярких полос, обусловленных эффектом амплитудной модуляции мелких волн на склонах энергонесущих волн.
3. Совмещенная картина атлантического циклона, наблюдаемая по мезомасштабным изображениям QUIKSCAT (искусственная калибровка УЭПР по полю ветра), TERRA-MODIS (облачный покров) и ENVISAT (осредненная интенсивность мелких волн, VV) требует самостоятельной интерпретации с учетом многих природных факторов. При этом имеет место явное несоответствие данных СВЧ скаттерометра (QUIKSCAT) реальной картине и параметрам волн, наблюдаемым PCA (ENVISAT).
4. Детальная картина штормовой области, наблюдаемая ENVISAT при высоком разрешении, чрезвычайно сложна и на сегодня не поддается сколько-нибудь обоснованной интерпретации.

