

С.В.Переслегин

ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П.П.ШИРШОВА РАН

Радиолокационная диагностика океанских явлений

**ЦЕЛЬ ДОКЛАДА: ОЗНАКОМИТЬ С СОВРЕМЕННЫМ
СОСТОЯНИЕМ И ПОКАЗАТЬ ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ
АЭРОКОСМИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ МЕТОДОВ
ИЗУЧЕНИЯ ОКЕАНА, ОПИРАЯСЬ НА РАБОТЫ ИО РАН (1994-2005)**

**ОСНОВНЫЕ УЧАСТНИКИ РАБОТ: Ю.П.СИНИЦЫН,
Л.Б.НЕРОНСКИЙ, И.В.ЕЛИЗАВЕТИН, М.Ю. ДОСТОВАЛОВ,
А.И.БАСКАКОВ**



СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

1. *Рассеяние ЭМ волн на морской поверхности (СВЧ-ВЧ диапазоны, однопозиционное визирование)*
2. *Диагностируемые океанские явления*
3. *Существующие аэрокосмические РЛ средства ДЗО, полученные на них результаты при стандартной обработке данных*
4. *Специальная обработка данных космических РСА. Скоростеметрия и поляриметрия океана.*
5. *Интерференционные РСА (ИРСА, перспектива)*
6. *Перспективный самолетный комплекс для экологического мониторинга и охраны прибрежных вод*
7. *Перспективная космическая РЛ система мониторинга океана, использующая двухпозиционный принцип*
8. *Состояние дел в России и за рубежом*
9. *Выводы и рекомендации*



Принципы и средства РЛ диагностики океанских явлений



Рассеяние ЭМ волн на морской поверхности (СВЧ – ВЧ диапазоны, однопозиционное визирование)

Квазизеркальная область: $0 < \theta < \sigma_\theta$,

$$\sigma_\theta^2 = 2\pi \int_0^{2\pi/\lambda} \Psi_\theta(k) \frac{dk}{k} \rightarrow a_0 \ln\left(\frac{5,8W^2}{\lambda g}\right)$$

$$\overline{S}_I^0 = \frac{|\Gamma_0(\varepsilon)|^2}{2\sigma_\theta^2} \exp\left(-\frac{\tan^2 \theta}{2\sigma_\theta^2}\right)$$

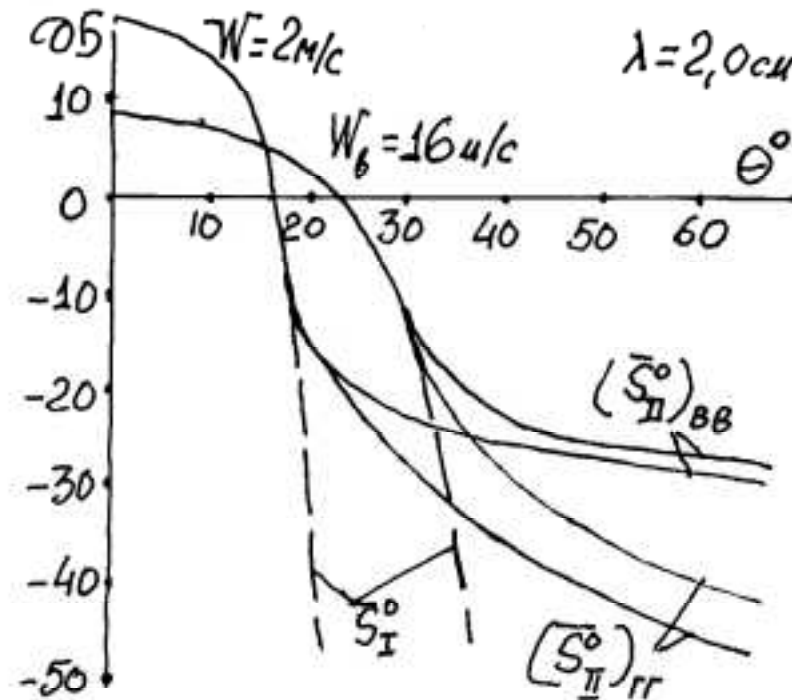
Диффузно-резонансная область:

$$2\sigma_\theta < \theta < (\pi/2) - 2\sigma_\theta$$

$$\overline{S}_{II}^0 = \frac{\pi}{4} C \tan^4 \theta |\gamma(\varepsilon, \theta)|^2 \eta(\lambda, \theta)$$

$$\eta(\lambda, \theta) = k^4 \Psi_h(k) = 1 - 3$$

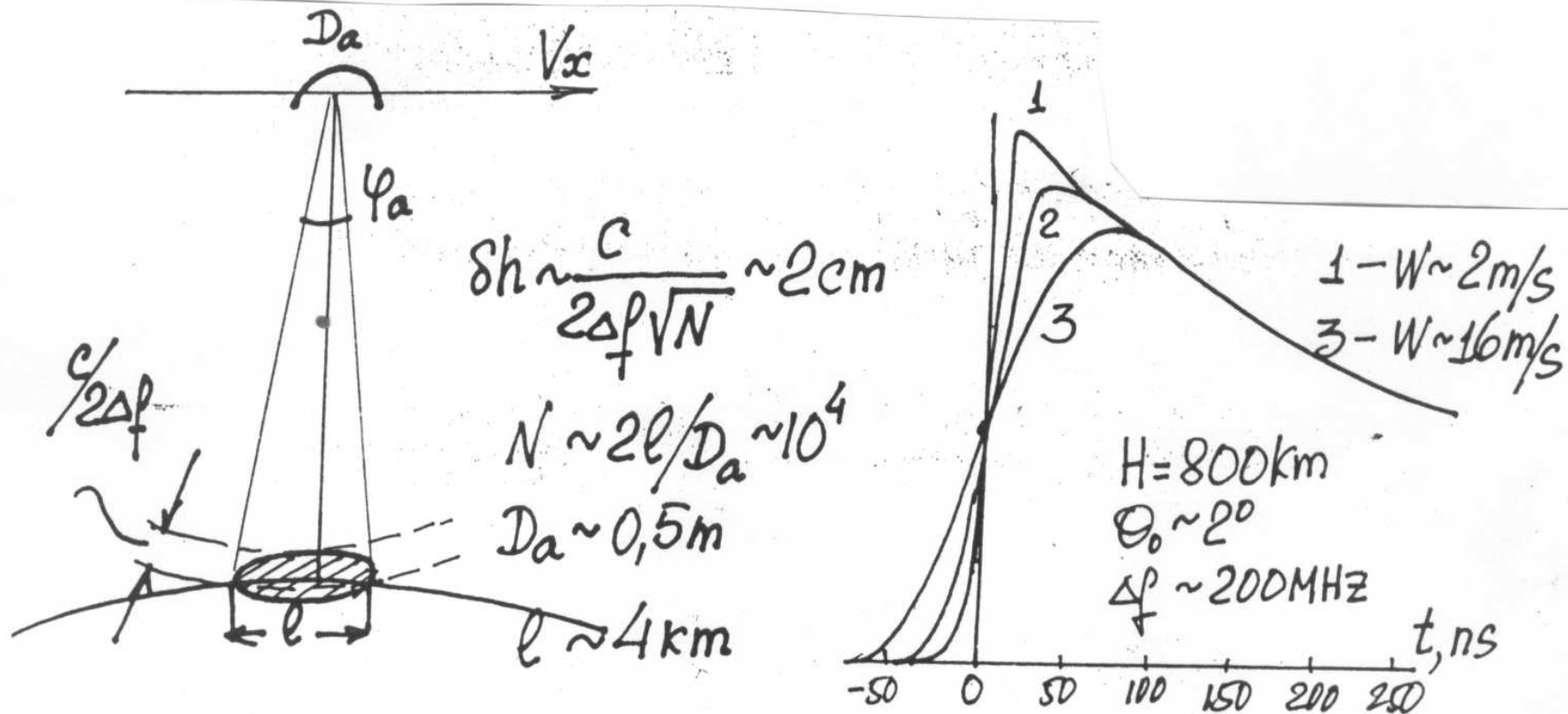
Средние значения УЭПР $\overline{S}_{\text{вв}}^0, \overline{S}_{\text{гг}}^0$



Используемые методы диагностики:

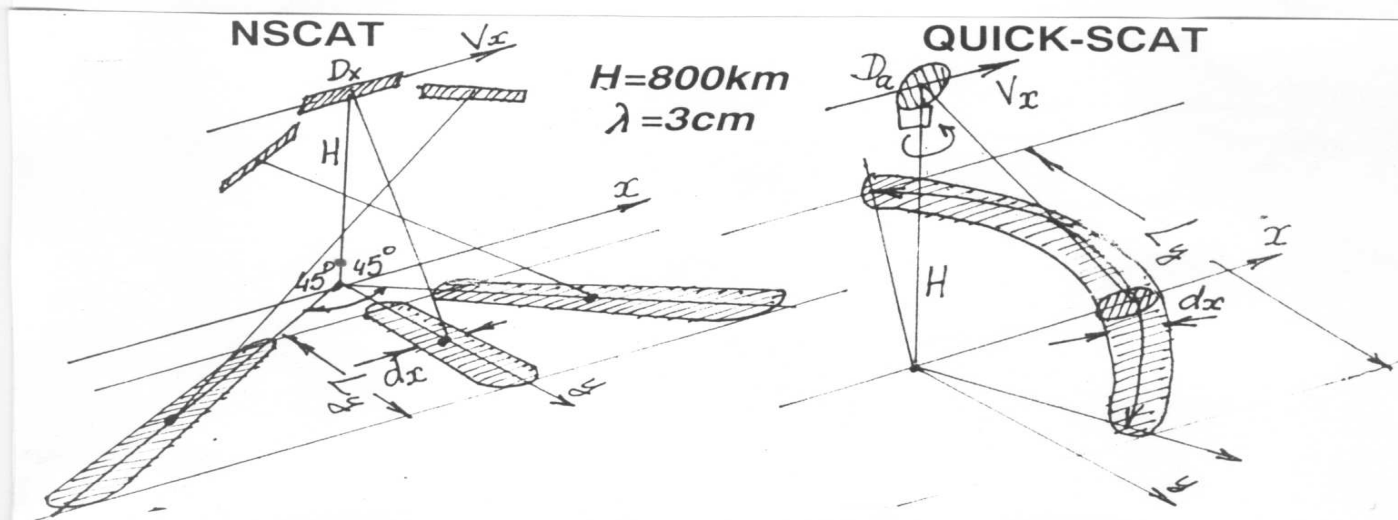
- Скаттерометрия (использование зависимостей УЭПР от α, θ, W)
- Дальнометрия (радиовысотомер, селекция дальности при БО)
- Скоростеметрия (частотный сдвиг при БО, фазовый сдвиг в продольном ИФБО)
- Поляриметрия (одновременное использование поляриз. составляющих УЭПР)
- Фазометрия (прямое использование фазы отр. сигнала в двухпоз. системе, разности фаз в поперечном ИФБО для измерения поля уровня океана)

РАДИОВЫСОТОМЕТРИЯ

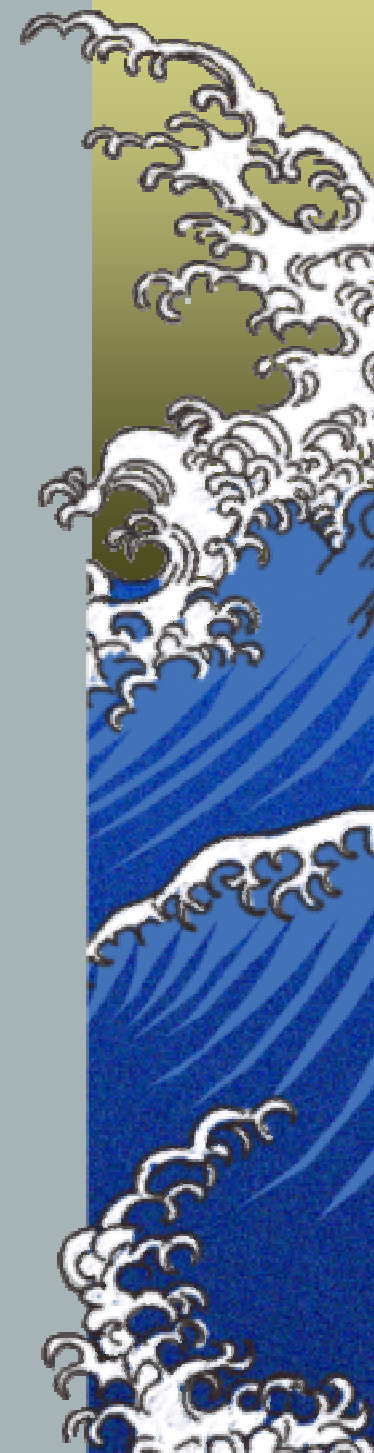


Для измерения среднего уровня океана используется положение переднего фронта импульса, для измерения средней высоты волн – растяжение фронта импульса

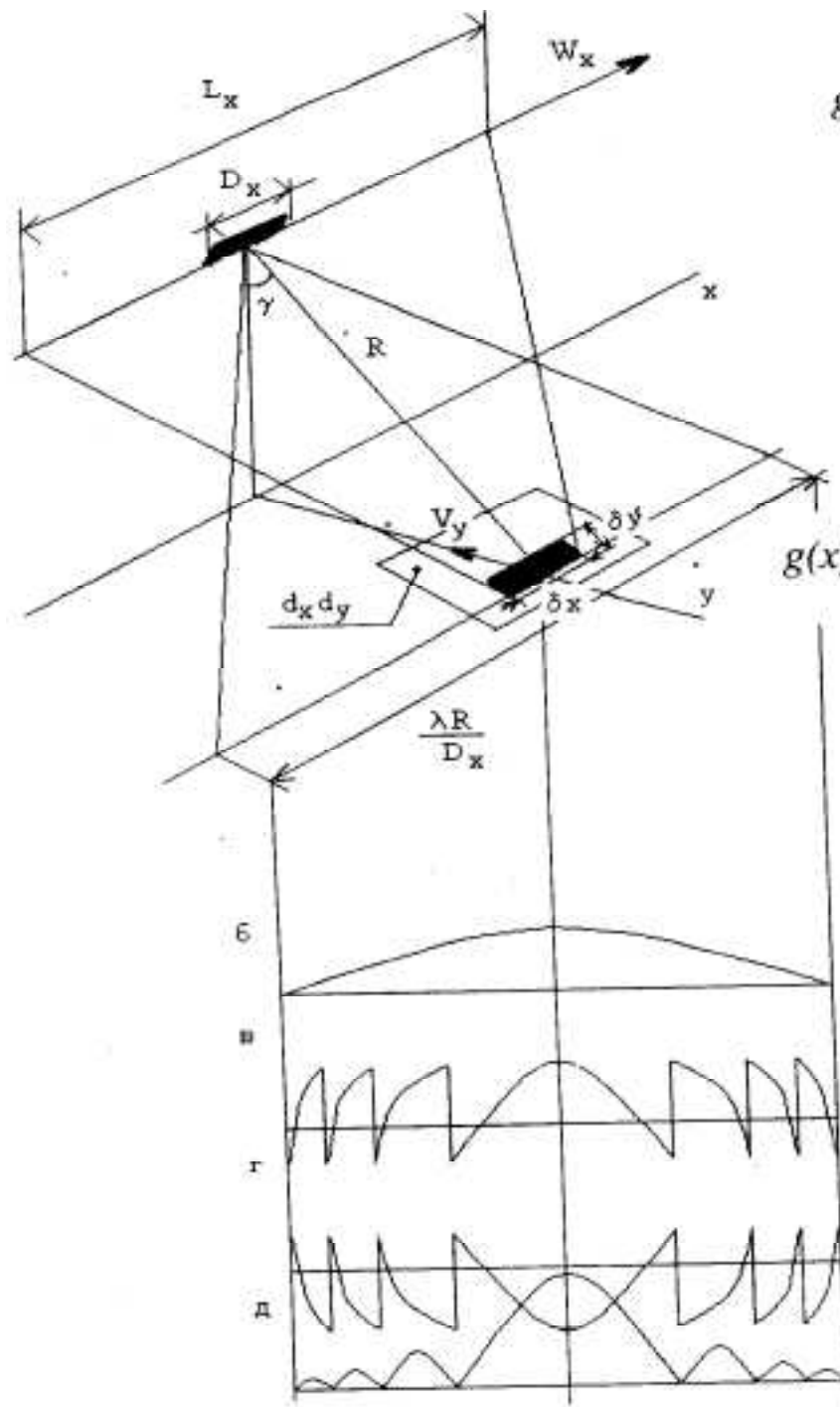
СВЧ-СКАТТЕРОМЕТРИЯ



Принцип действия СВЧ-скаттерометров основан на программной калибровке УЭПР поверхности, зависящей от угла визирования, скорости и направления приводного ветра.



Одноантенный РСА – принцип действия



$$g(x) = g_0 \exp(j\varphi_0) \int_{-L_x/2}^{L_x/2} \exp \left\{ -j \left[\frac{k(x-u)^2}{R} - \frac{ku^2}{R_0} \right] \right\} du =$$

$$= g_0 L_x \frac{\sin(Bx)}{Bx} \exp \left[j \left(\varphi_0 - \frac{kx^2}{R} \right) \right]$$

$$\frac{\sin(Bx)}{Bx} \rightarrow \exp(-Ax^2), A = 8 \ln 2 (L_x^2 / \lambda^2 R^2)$$

$$g(x) \rightarrow \left(\frac{g_0 L_x}{D_x} \right) \exp(j\varphi_0) \exp \left[-\frac{8 \ln 2 L_x^2}{\lambda^2 R^2} x^2 \left(1 + j \frac{\pi \lambda R}{4 \ln 2 L_x^2} \right) \right]$$

$$(\delta x)_{0.5} \approx \lambda R / 2 L_x \rightarrow D_x / 2 \text{ при } L_x \rightarrow \lambda R / D_x$$

Контрастно-яркостная чувствительность
при полном использовании реальной
апертуры:

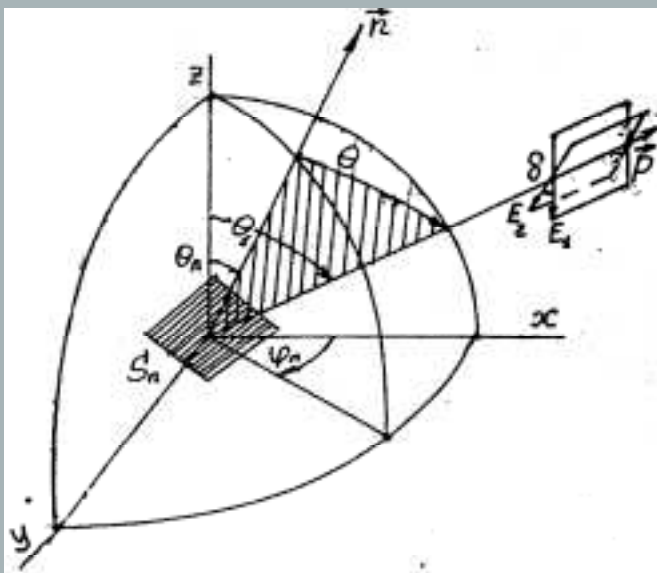
$$\left(\frac{\overline{S_2^0}}{\overline{S_1^0}} \right)_{\text{пор}} = (K_{\text{пор}})_{N \gg 20} = 1 + \frac{q_0}{d \sqrt{N_0}}$$

$$N_0 = 4 \Delta f_c \sin \gamma / c D_x, d \gg \delta_x, \delta_y$$

Максимальный размер синтезированной
апертуры (грубая оценка):

$$L_x < W_x \tau^*, \quad \tau^* = \left[\frac{\sigma_v^2}{D_x^2} + \left(\frac{V_{x2} \sin \gamma}{\alpha_n \lambda} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ ПОЛЯРИМЕТРИЯ



Экв. угол отклонения нормали:

$$\theta_{n \text{ экв}} \approx \operatorname{tg} \theta_n \cos \varphi_n, \quad \xi = \operatorname{tg} \theta_n$$

Угол деполяризации: $\delta \approx \operatorname{tg} \theta_n \sin \varphi_n$

Двухосевое распределение уклона:

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

После введения преобразованных коэф-тов Фукса для брэгговского рассеяния и интегрирования УЭПР с элементарной площадкой $\xi d\xi d\varphi_n$, для всех поляризационных составляющих «мелкоструктурная» УЭПР выносится за интеграл.

Отношение вертикально-соосной (ВВ) и перекрестной (ВГ) составляющих зависит только от дисперсий уклонов:

$$A_{\Pi} = \frac{\overline{S_{\Pi}^0}}{\overline{S_{\Pi}^0}} = 2 \left[\frac{1 + \frac{m^2 \sigma_{\alpha}^2}{4\theta_0^2}}{\sigma_{\beta}^2 \left(1 + \frac{m^2 \sigma_{\alpha}^2}{\theta_0^2} \right)} - 1 \right],$$

где отсутствует амплитудная составляющая модуляции мелких волн на склонах крупных (энергонесущих) волн. В отличие от распределения высот, распределение уклонов ветровых волн обладает слабой анизотропией. Для изотропных волн, дисперсия уклонов зависит от скорости ветра (W_s) и длины волны наблюдателя (λ):

$$\sigma_{\theta}^2 \approx 2\pi \int_0^{2\pi/\lambda} \Psi_{\theta}(k) k^3 dk \rightarrow a_0 \ln \left(\frac{5,8 W_s^2}{\lambda g} \right), \quad \Psi_{\theta}(k) = \frac{a_0}{2\pi} k^{-2} \exp(-bk^{-1}),$$

$$a_0 = 6,5 \times 10^{-3}, \quad b = 0,74 g^2 W_s^{-4}, \quad k = 2\pi/\lambda$$



Коэффициент корреляции:

Поперечная антенная база l_l :

$$\rho_n = \frac{q^2}{1+q^2} \frac{\sin \beta_1}{\beta_1} \exp \left\{ -2 \left[\frac{\pi \sigma_h l_1}{\lambda H} \cos(\theta - \gamma_n) \sin \gamma_n \cos \gamma_n \right]^2 \right\}$$

$$\Psi_n = \frac{2\pi l_1}{\lambda} \sin(\theta - \gamma_n) + \frac{\pi}{12} \frac{\lambda l_1}{D_x^2} \frac{\cos \theta}{\sin \gamma_n} - \frac{2\pi \Delta h}{\lambda} \frac{l_1}{H} \cos(\theta - \gamma_n) \operatorname{ctg} \gamma_n$$

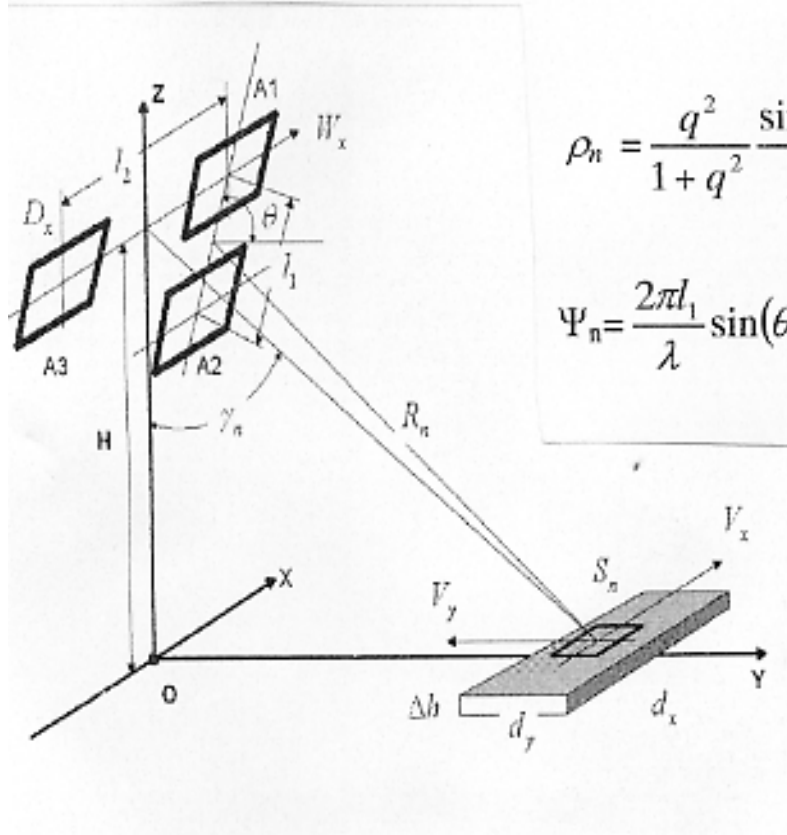
$$\beta_I = \frac{\pi}{2} \frac{f_0}{\Delta f_c} \frac{l_1}{H} \cos(\theta - \gamma_n) \cos \gamma_n \operatorname{ctg} \gamma_n$$

Продольная антенная база l_2 :

$$\rho_n = \frac{q^2}{l_1(1+q^2)} \int_{-l_1/2}^{l_1/2} \exp\left(-\frac{8bL_x^2 x^2}{\lambda^{22} R_n^2}\right) dx = \frac{q^2}{1+q^2} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{\Phi(\beta_2)}{\beta_2}$$

$$\beta_2 = \frac{\sqrt{2bL_x l_2 \cos \gamma_n}}{\lambda H} \quad \Phi(\beta_2) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\beta_2} \exp(-t^2) dt$$

$$\psi_n = \frac{2\pi l_2}{\lambda} \left(\frac{V_y \sin \gamma_n}{W_x} - \frac{l_2}{R_n} \right)$$



ОПТИМАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РАЗНОСТНО-ФАЗОВЫХ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ, ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ КОНТРАСТНО-СКОРОСТНАЯ И КОНТРАСТНО-УРОВЕННАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Оптимальный алгоритм:

$$\Delta\xi = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{\partial \Psi_n}{\partial(\Delta\xi)} \frac{\rho_n}{1-\rho_n^2} \frac{|U_{1n}U_{2n}|}{\sigma_{1n}\sigma_{2n}} \sin(\varphi_n - \Phi_n)}{\sum_{n=1}^N \left(\frac{\partial \Psi_n}{\partial(\Delta\xi)} \right)^2 \frac{\rho_n}{1-\rho_n^2} \frac{|U_{1n}U_{2n}|}{\sigma_{1n}\sigma_{2n}} \cos(\varphi_n - \Phi_n)} \rightarrow \frac{1}{\frac{\partial \Psi_n}{\partial(\Delta\xi)}} \frac{\sum_{n=1}^N \sin(\varphi_n - \alpha_n)}{\sum_{n=1}^N \cos(\varphi_n - \alpha_n)}$$

- Выработка оценки малой величины $\Delta\xi$ производится не на каждом отсчете сигнала (с послед. накоплением), а *после весового суммирования* квадратурных составляющих
- При идентичности каналов и одинаковых условиях визирования всех N реализаций ($S_n \ll S_{\text{кадра}}$) весовые множители можно не учитывать
- Необходимость компенсации аппаратного фазового сдвига α_n (γ_n) требует достаточно жестких антенных баз (l_1, l_2) и стабильных параметров полета

Минимальная дисперсия оценки параметра $\Delta\xi$:

$$\sigma_{\Delta\xi}^2 = \frac{1}{2 \sum_{n=1}^N \frac{\rho_n^2}{1-\rho_n^2} \left[\frac{\partial \Psi_n}{\partial(\Delta\xi)} \right]^2}$$

Относит. станд. отклонение уровня $\sigma_{\Delta h}$:

$$\frac{\sigma_{\Delta h}}{\sigma_{\Delta h0}} = \sqrt{\frac{3 \left(1 + \frac{1}{q^2} \right)^2}{\sin^2 \beta_1} - \frac{1}{\beta^2}}$$

Относит. станд. отклонение рад. скорости σ_{V_y} :

$$\frac{\sigma_{V_y}}{\sigma_{V_y0}} = \sqrt{\frac{4 \left(1 + \frac{1}{q^2} \right)}{\pi \Phi^2 (\beta_2)} - \frac{1}{\beta_2^2}}$$

где нормирующие величины относятся к одноантенным измерителям – дальномеру и фазометру:

$$\sigma_{\Delta h0} = \lim_{\beta_1 \rightarrow 0} \left(\lim_{q \rightarrow \infty} \sigma_{\Delta h} \right) = \frac{c \cos \gamma_n}{4\pi \Delta f_c \sqrt{N}}, \quad \sigma_{V_y0} = \lim_{\beta_2 \rightarrow 0} \left(\lim_{q \rightarrow \infty} \sigma_{V_y} \right) = \frac{W_x L_x \text{ctg} \gamma_n}{2\pi H \sqrt{N}}$$

Таблица 2.1. Действующие (2002 год) космические РЛ средства, способные обнаруживать опасные волны в открытом океане.

Тип РЛ средств, их основное назначение		РАДИОВЫСОТОМЕР Изучение циркуляции вод в Мировом океане и климата Земли				СВЧ СКАТТЕРОМЕТР Среднесрочный глобальный гидрометеопрогноз			РАДИОЛОКАТОР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ (РСА) Мониторинг состояния земных ландшафтов, включая океаны		
Измеряемые параметры поверхности океана		Средний уровень, его вариации. Средняя высота энергонесущих ветровых волн, высота волн цунами				Направление и скорость приводного ветра			Калиброванная интенсивность отраженного сигнала (ЭПР)		
Масштаб формируемых Изображений		Глобальный крупномасштабный, а также локальные измерения				Глобальный средне(мезо) масштабный			Мелкомасштабные изображения заданных районов Земли		
Космический аппарат (аббревиатура)		TOPEX-POSEIDON	GFO	ERS-2	ENVISAT	ERS-2	QUIKSCAT	ADEOS	ERS-2	RADARSAT	ENVISAT
Высота и угол наклона Орбиты		1300км 70°	600км 70°	785км 98,5	800км 98,5°	785км 98,5°	600км 70°	800км 70°	785км 98,5°	798км 98,6°	800км 98,5°
Прибор (аббревиатура)		ALT	ALT	RA	RA-2	SCAT	SEAWIND	NSCAT	SAR	SAR	ASAR
Параметры наблюдаемых полей океана	Разрешение, Оптим. осреднение	10км 100км				50км	15км	25км	25м	(25-100)м	(25-100)м
	Ширина зоны обзора	—				500км	1500км	400км	100км	500км	400км
	Угол визирования от вертикали	0°				(25-50)°	45°	(30-50)°	(20-30)°	(20-50)°	(15-45)°
	Периодичность съемки	10 сут.	17 сут.	35 сут.	35 сут.	17 сут.	3 сут.	17 сут	35 сут.	5 сут.	5 сут.
	Длина волны Излучаемого сигнала	2,2см				5,6см	3см	3см	5,6см		
	Поляризация Излучения и приема	—				ВВ			ВВ	ГГ	ВВ, ГГ и ВГ

Диагностируемые океанские явления

Энергонесущие ветровые волны (включая опасные штормовые)

Внутренние волны

Пленочные слики

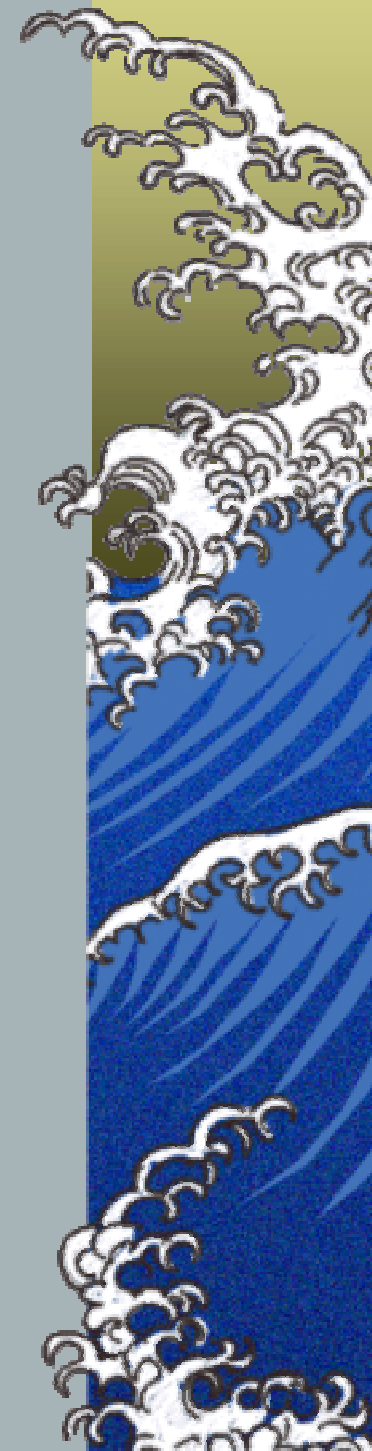
Структура океанских течений

Проявления рельефа дна над шельфом

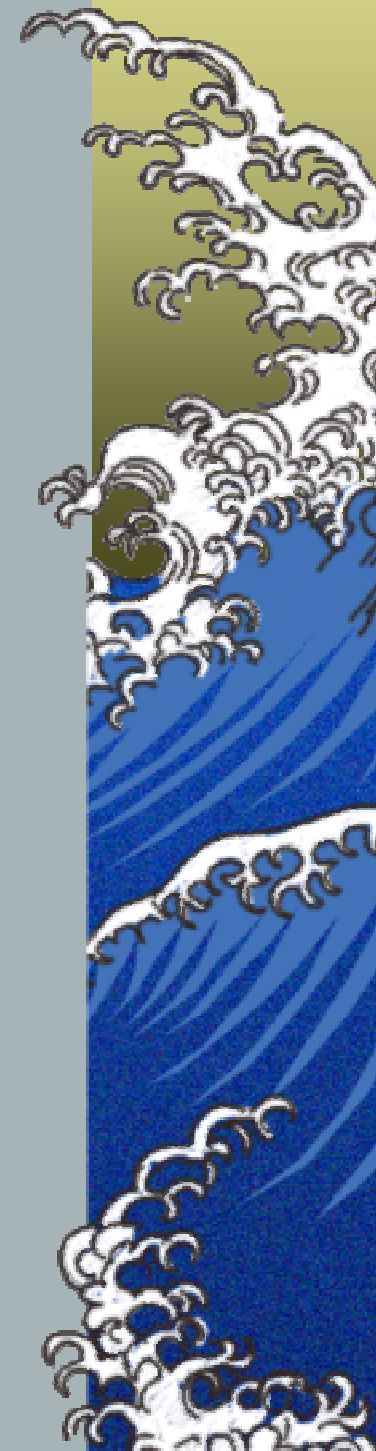
Проявления подводных динамических источников

Мезомасштабная топография (поле уровня) океана

Сейсмические волны, в том числе волны, порождающие цунами



ДИАГНОСТИКА ЯВЛЕНИЙ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ ПОЛЯ ИНТЕНСИВНОСТИ МЕЛКИХ ВОЛН



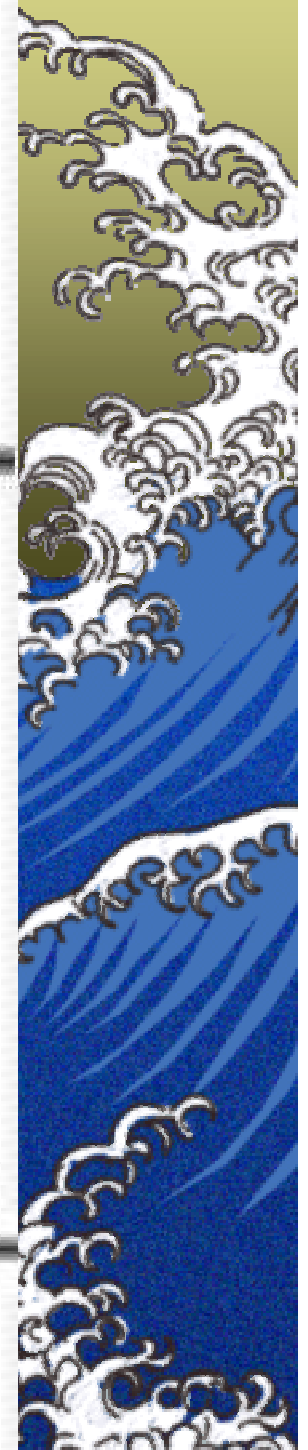
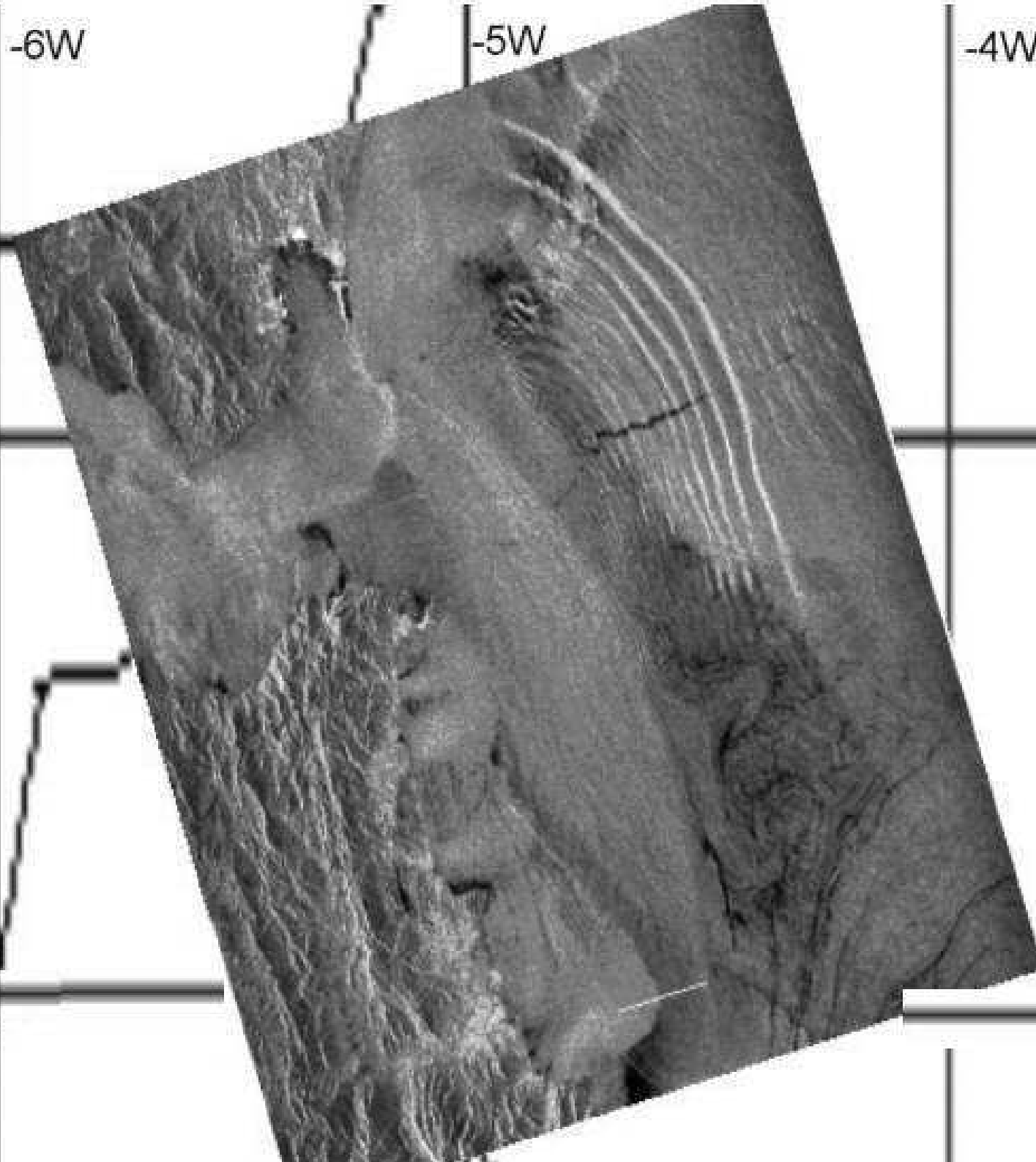
-6W

-5W

-4W

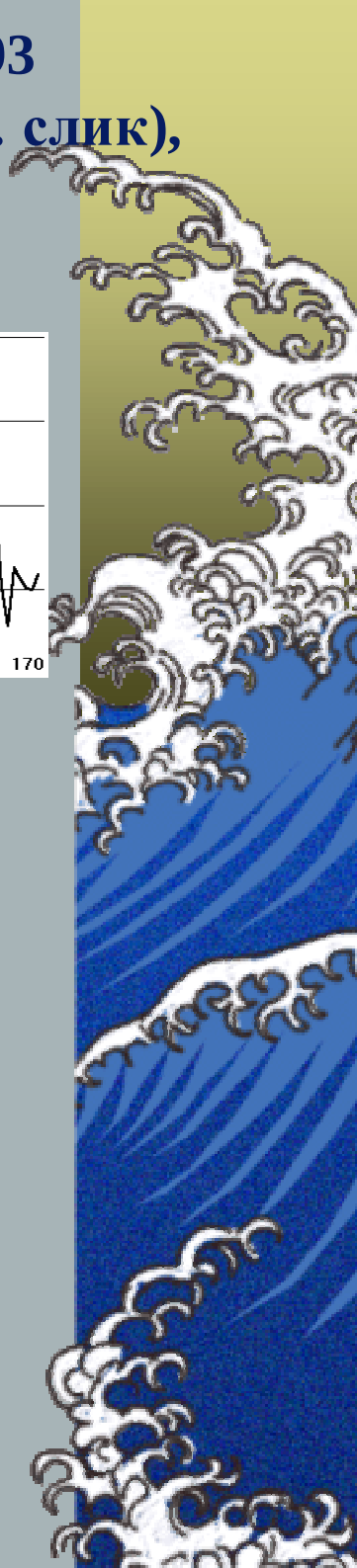
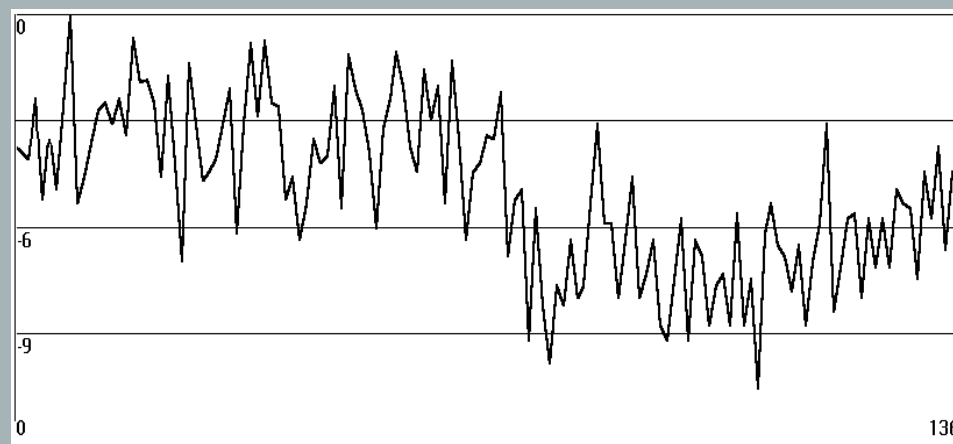
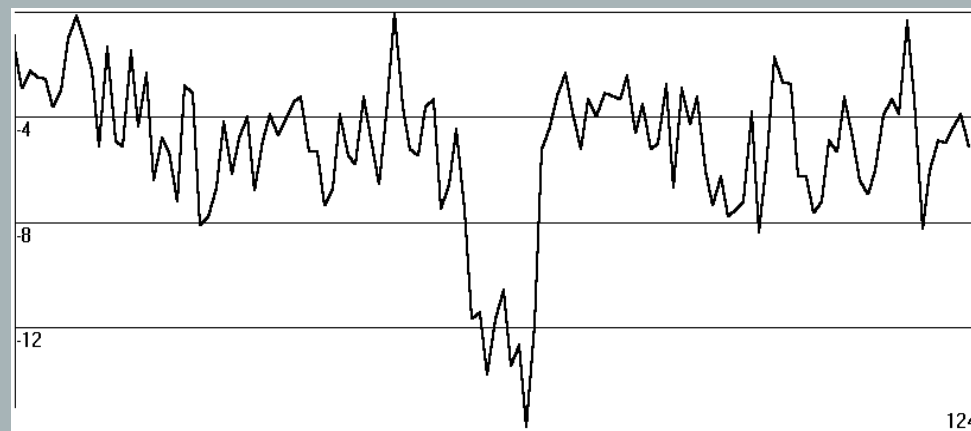
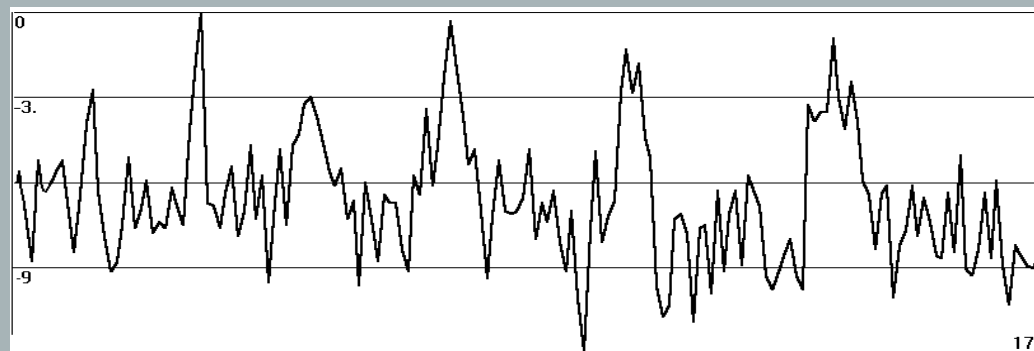
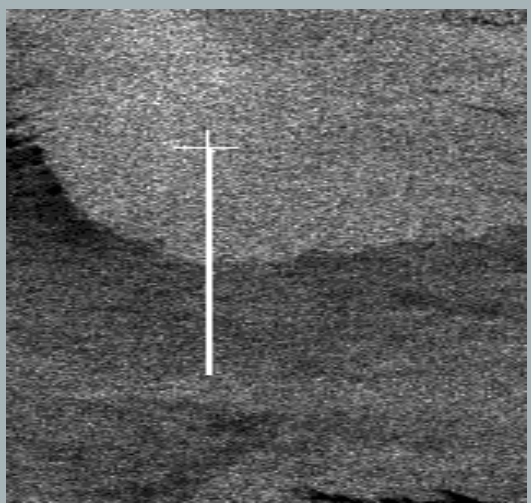
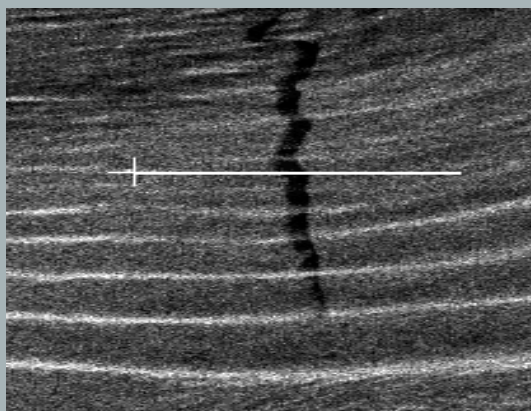
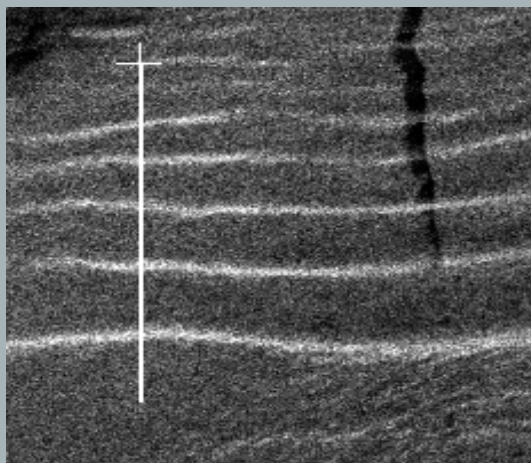
36N

35N

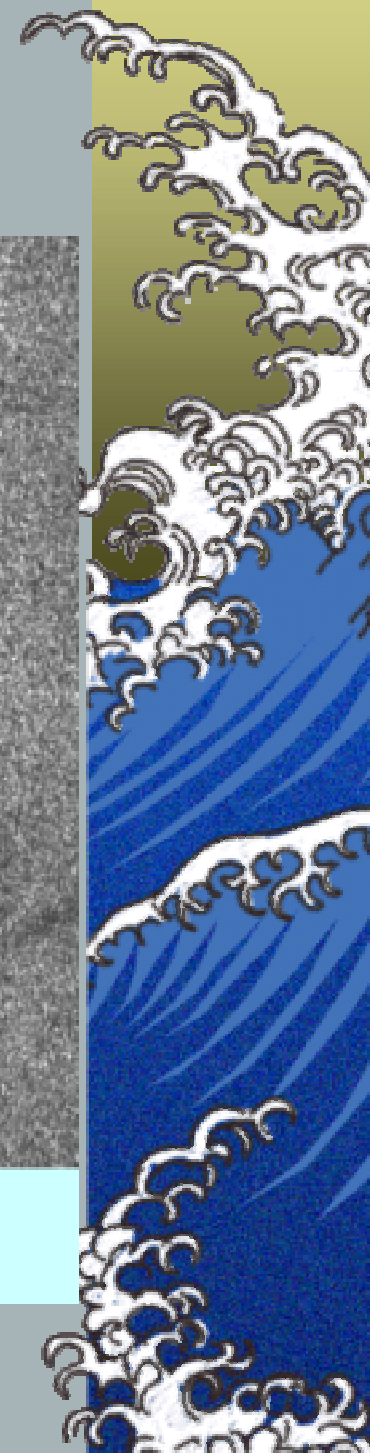
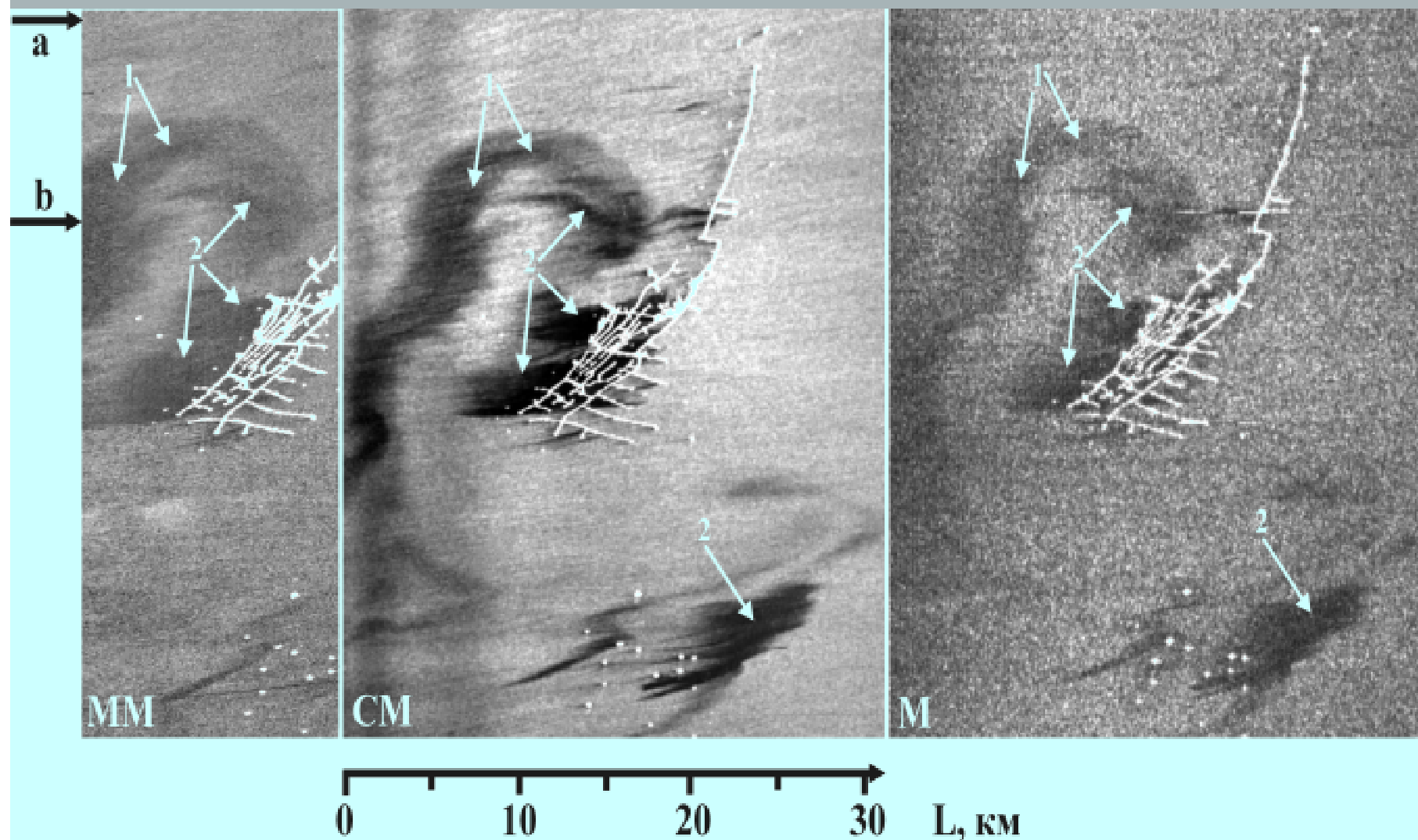


Гибралтарский пролив, ERS-1, 01.01.93

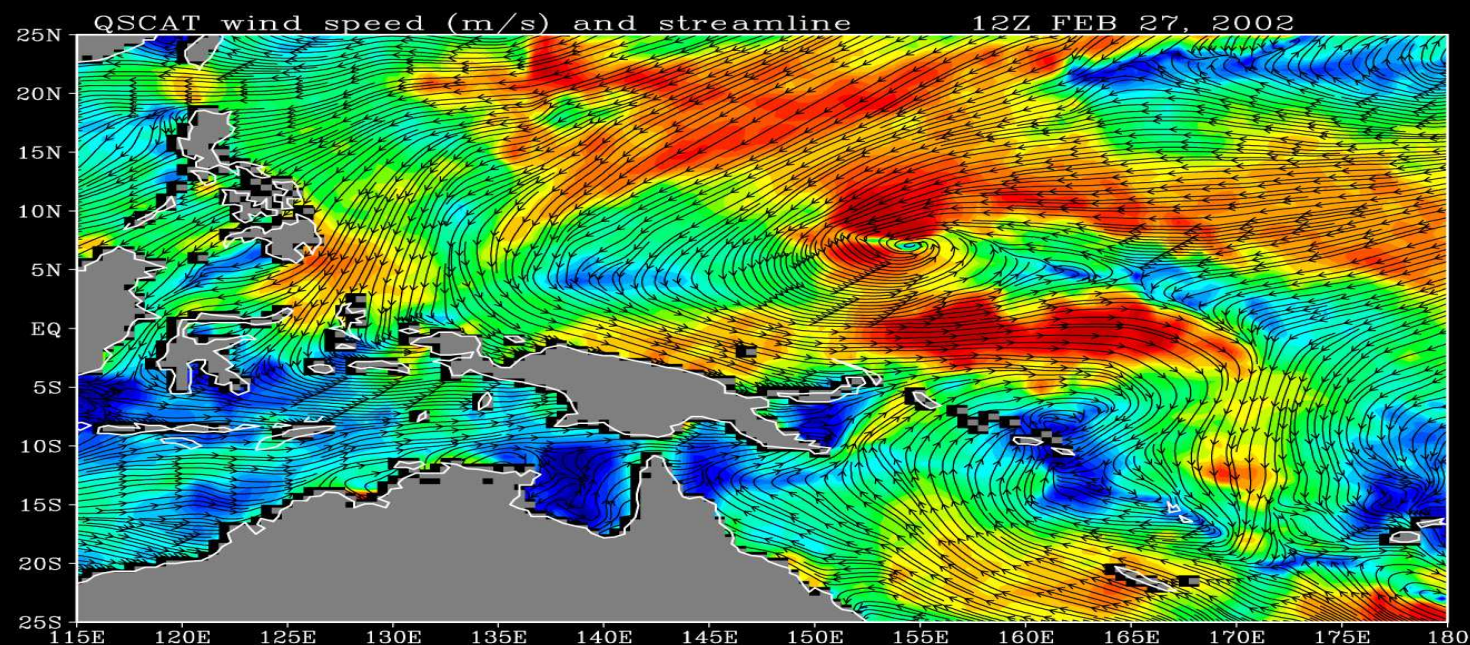
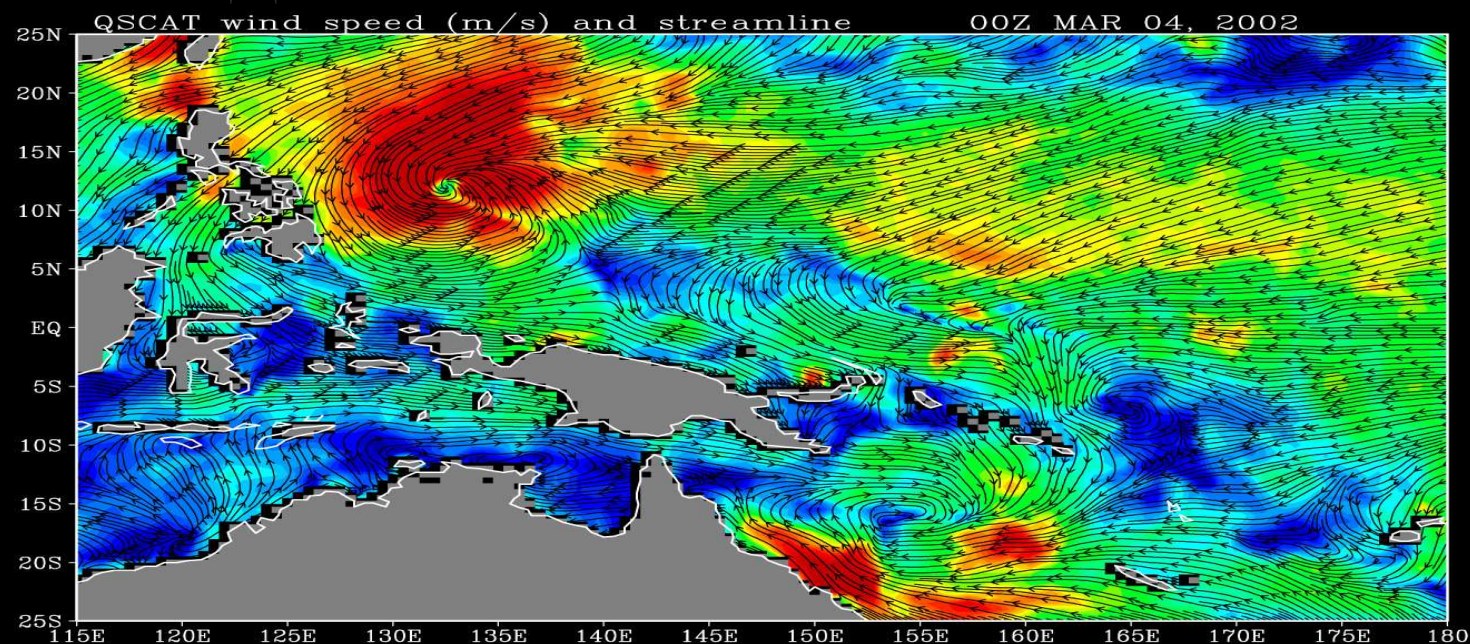
а – вн. волны, +6дБ; б – след танкера (нефт. slick),
- 8дБ; в – шельф. обрыв, - 4 дБ



ТРЕХВОЛНОВОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ РАЙОНА «НЕФТЯНЫЕ КАМНИ», САМОЛЕТНЫЙ РСА ХИРЭ АН УССР, 1987 г.

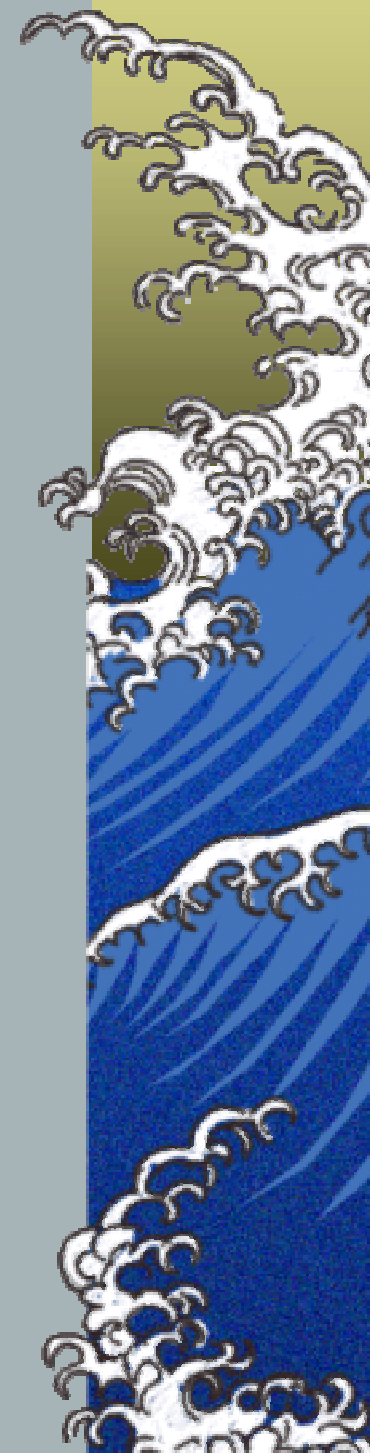


ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЦИКЛОНА В ТИХОМ ОКЕАНЕ ПО ДАННЫМ СВЧ-СКАТТЕРОМЕТРА

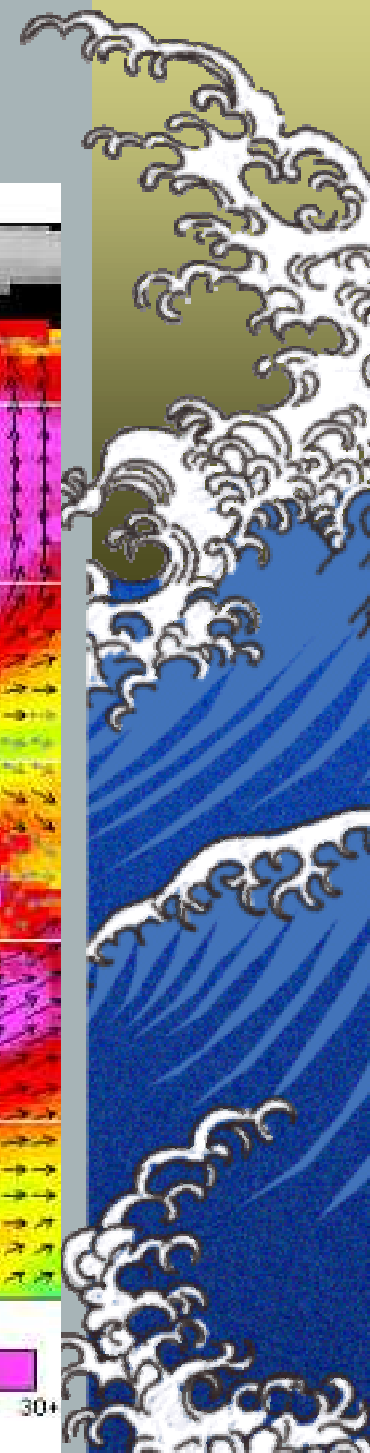
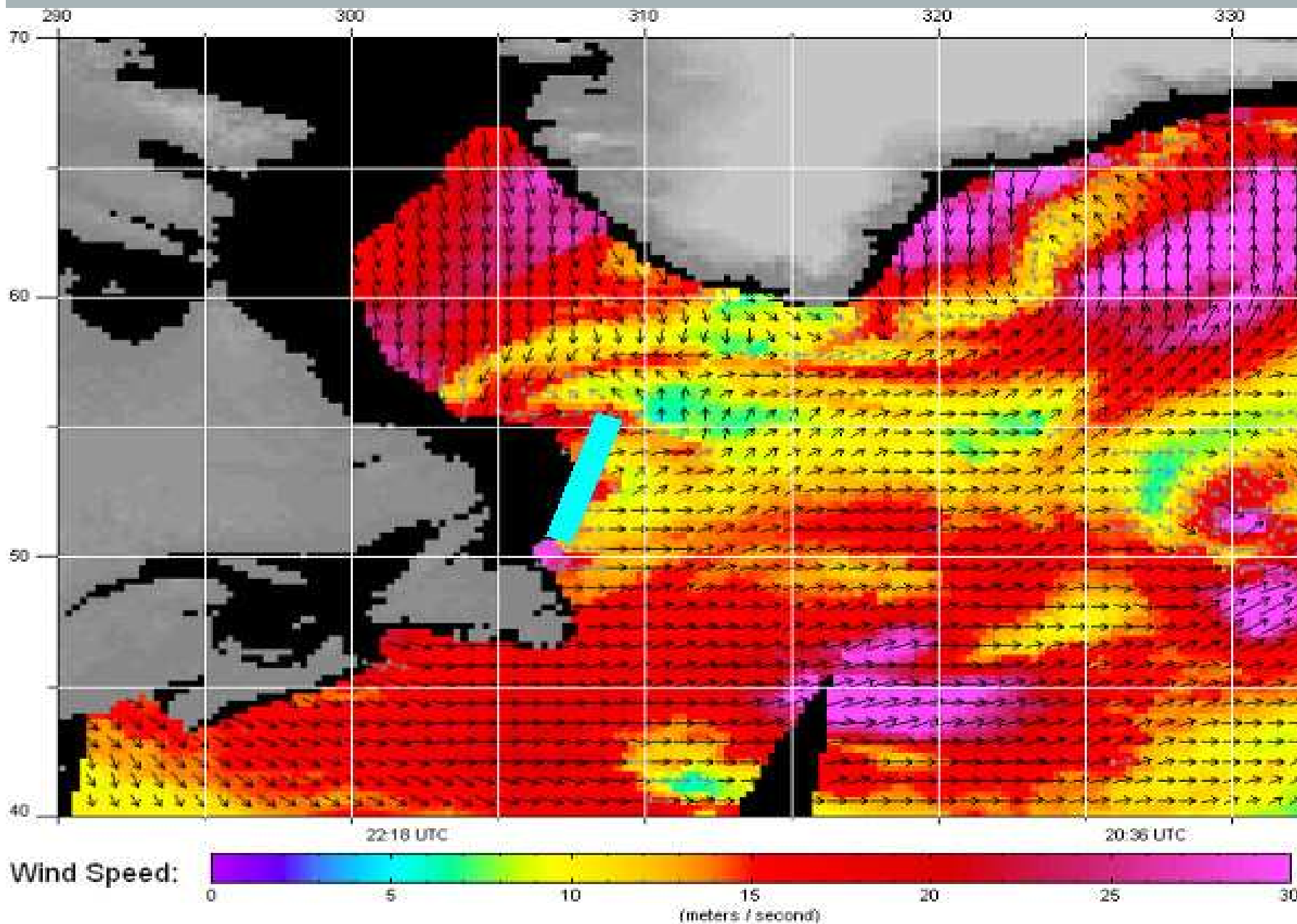


0.5 1.5 2.5 3.5 4.5 5.5 6.5 7.5 8.5 9.5 10.5 11.5 12.5

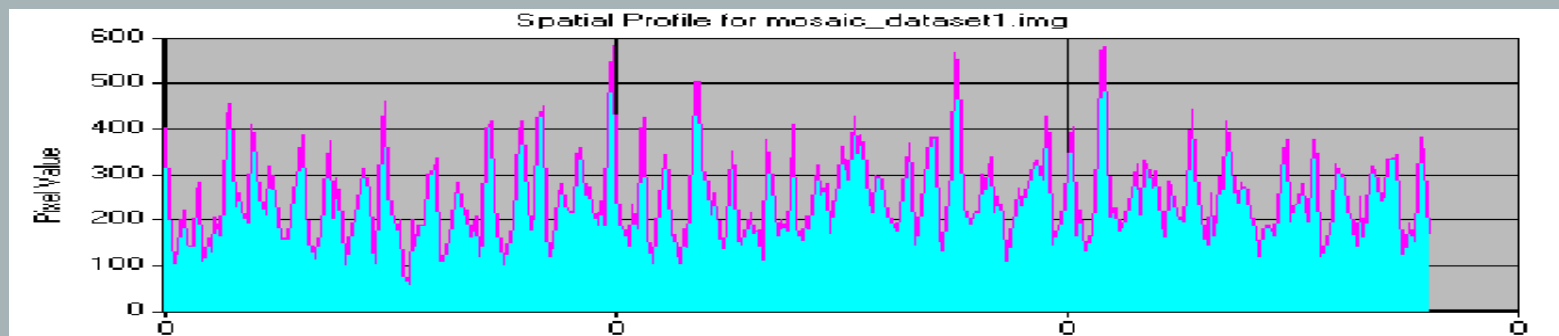
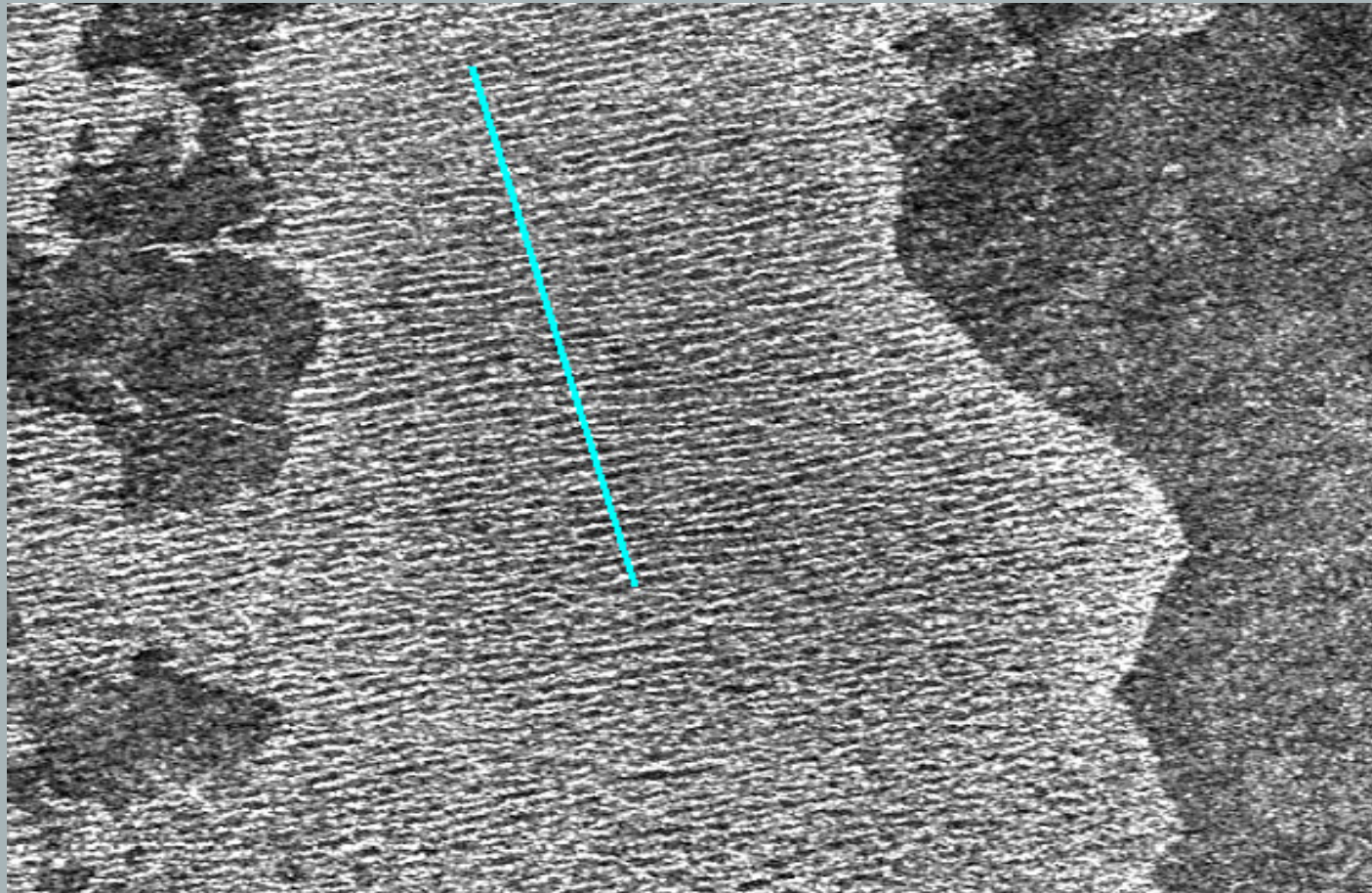
Liu, Xie, & Tang



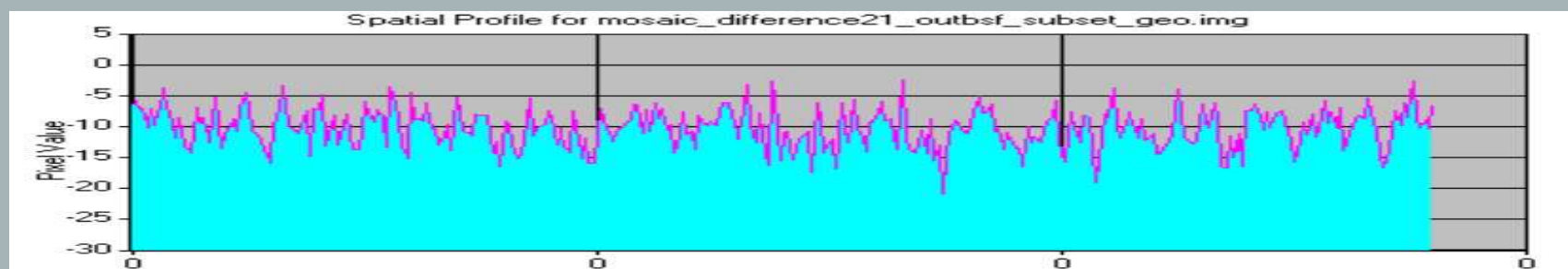
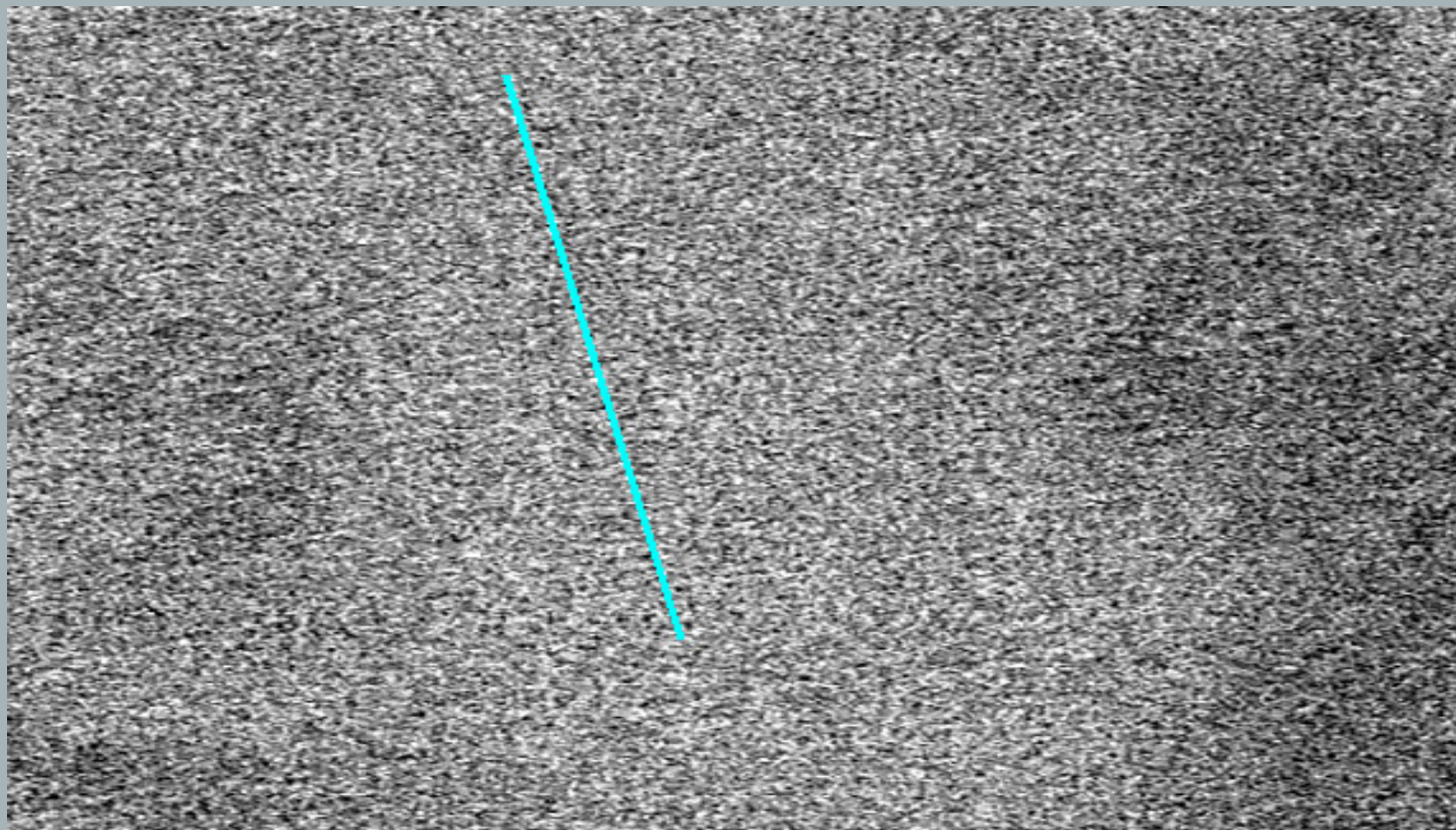
МЕЗОМАСШТАБНОЕ РЛИ ОБЛАСТИ АТМОСФЕРНОГО ЦИКЛОНА. СВЧ СКАТТЕРОМЕТР, QUIKSCAT, 15.02.03



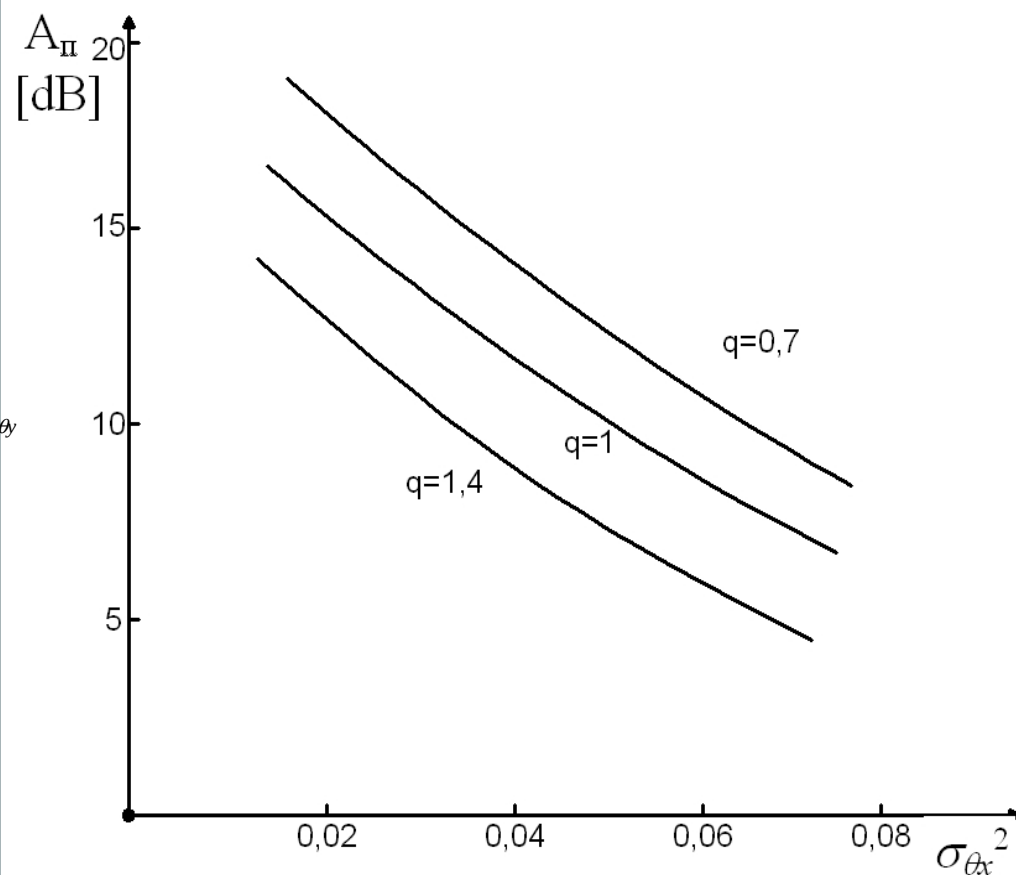
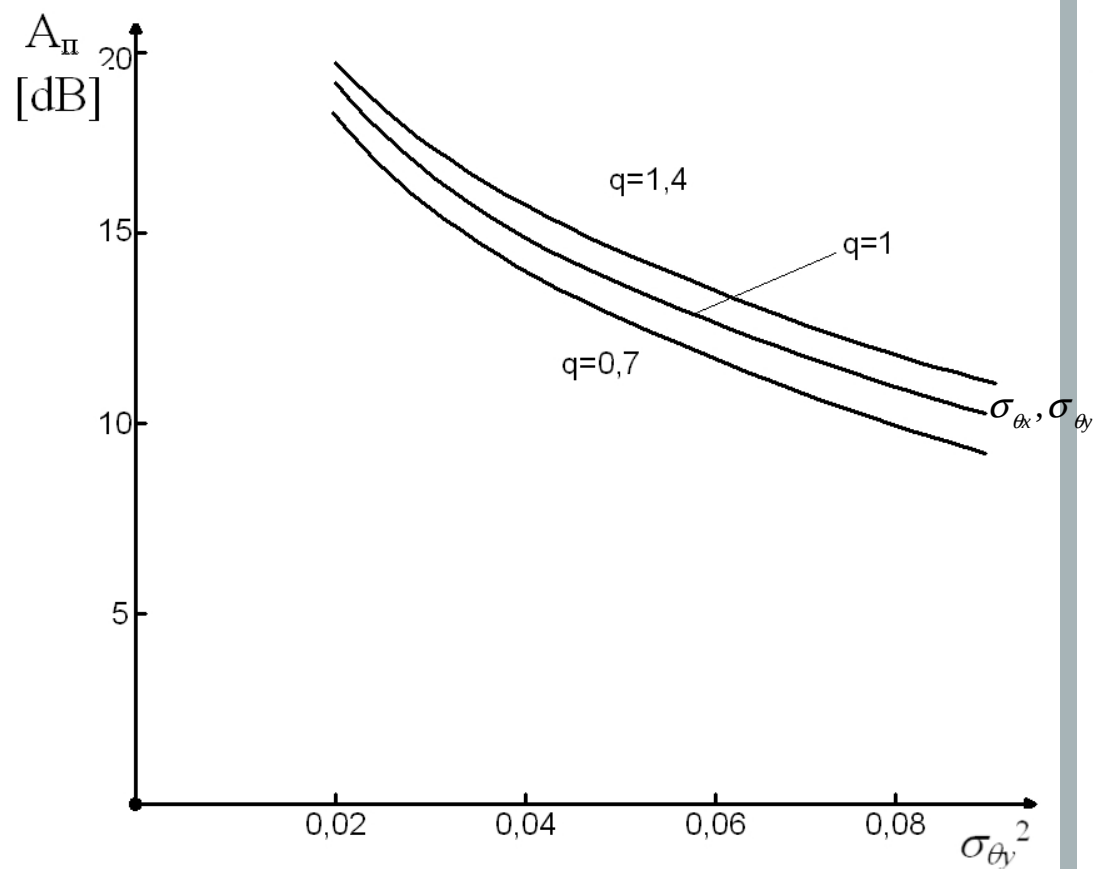
ВЫДЕЛЕННЫЙ ФРАГМЕНТ РЛИ ОТ РСА «ENVISAT», VV



Тот же фрагмент VH/VV изображения, представляющий разность логарифмированных VH и VV изображений. Компьютерный разрез калиброван в дБ. Среднее по разрезу «поляризационное отношение» УЭПР (минус 12 дБ) соответствует дисперсии уклонов 0,08 или стандартному отклонению 16° .



ПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ ОТНОШЕНИЕ A_{Π}

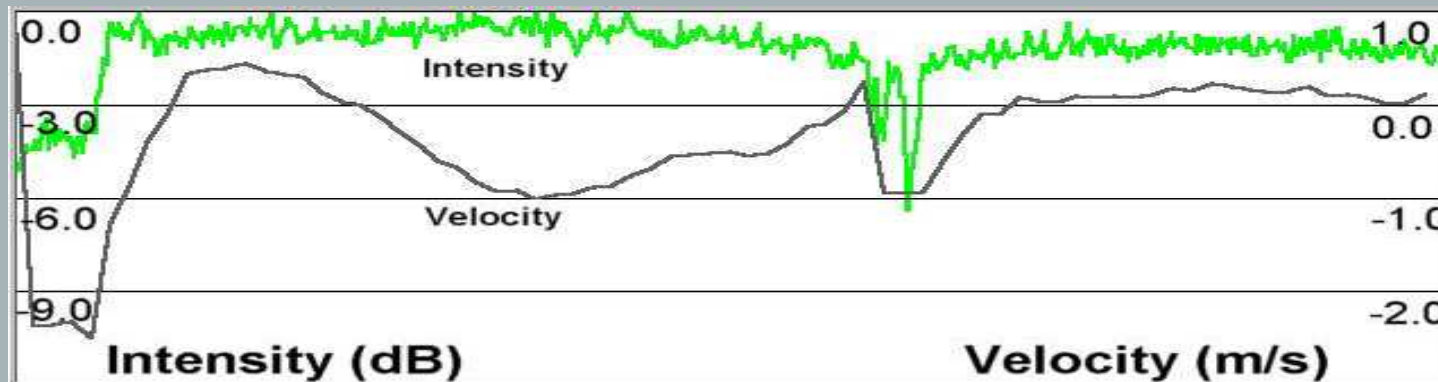
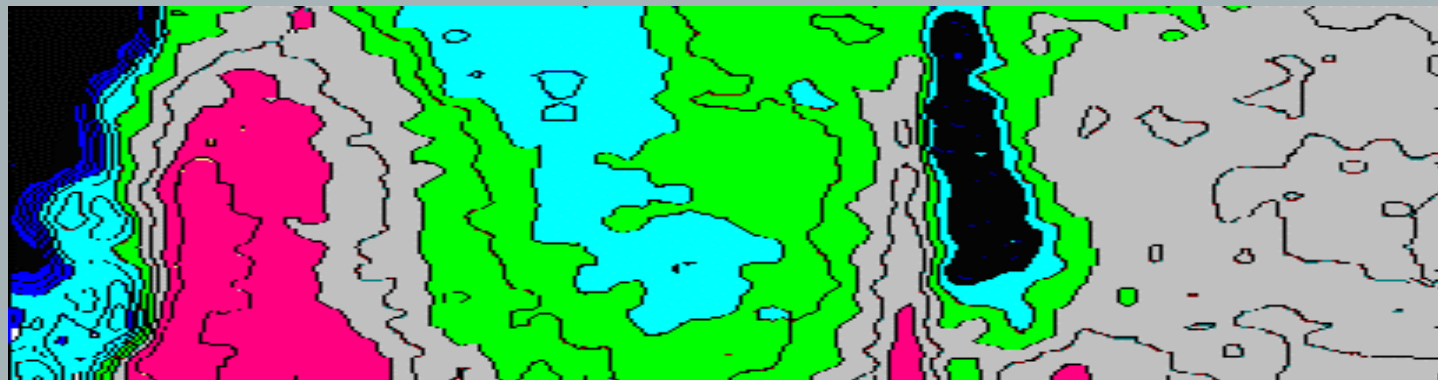
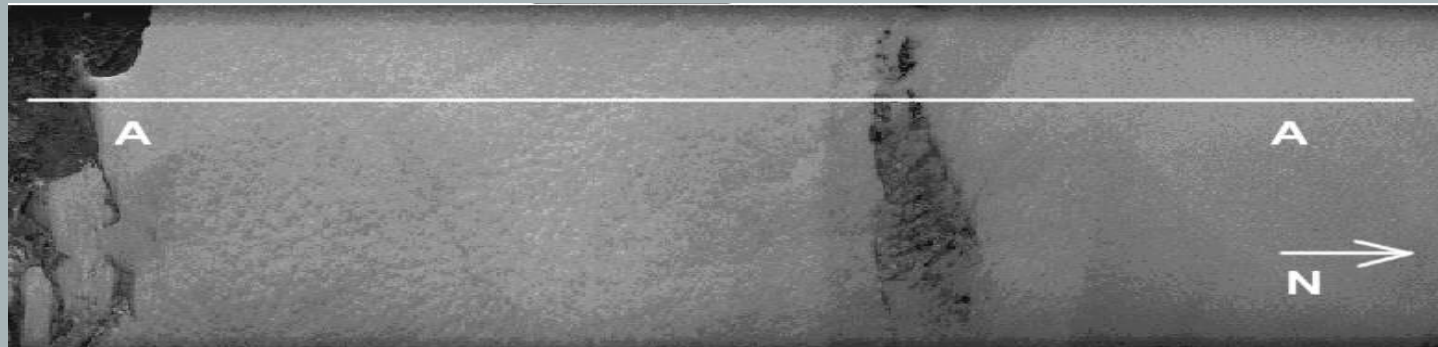


СКОРОСТНЫЕ ПОРТРЕТЫ ОКЕАНСКИХ ЯВЛЕНИЙ



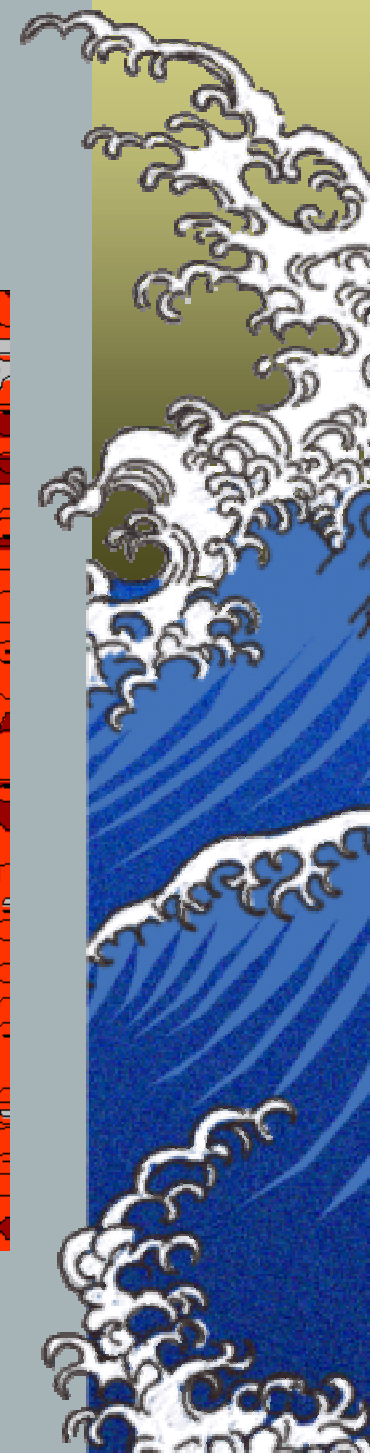
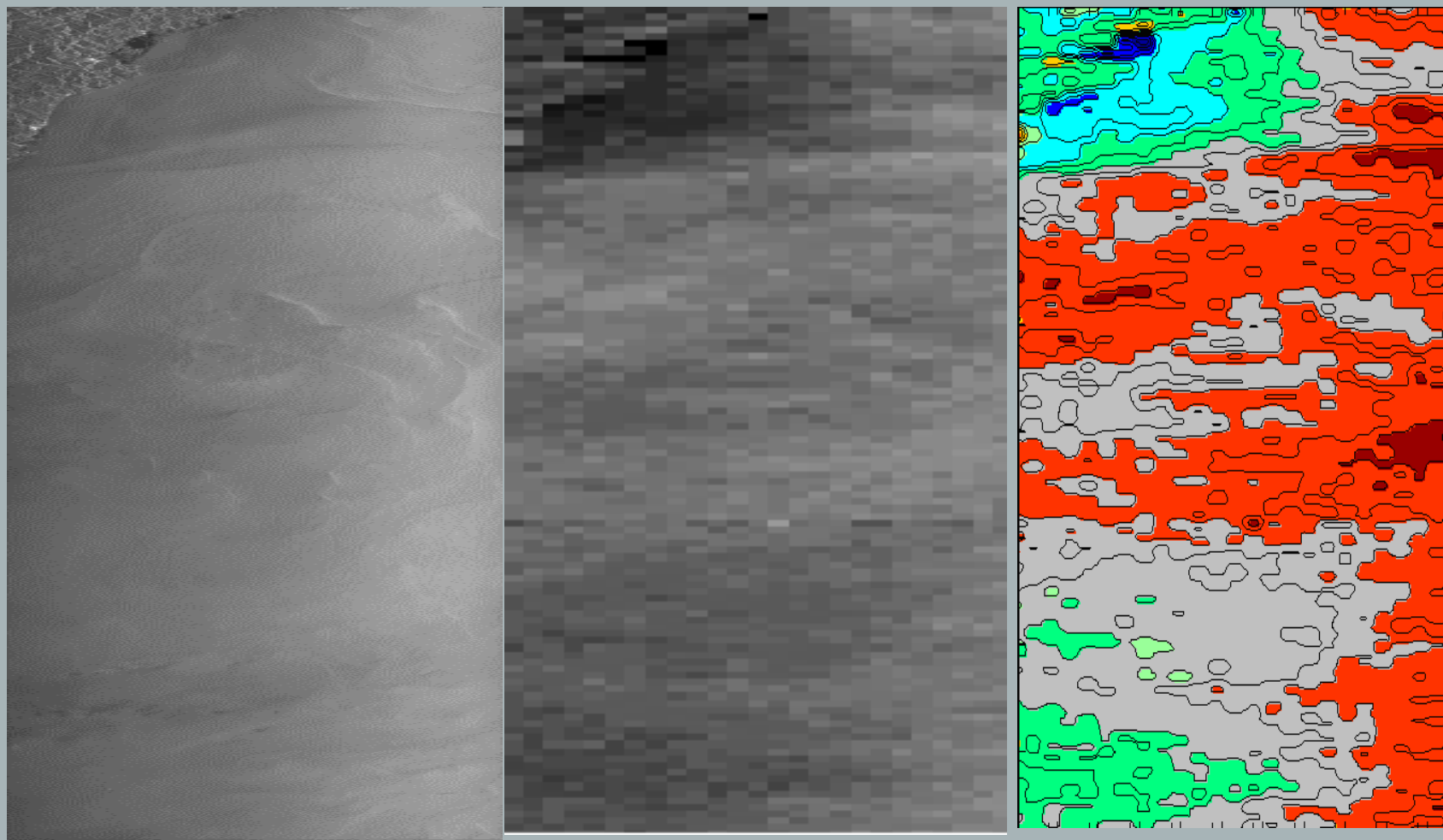
Флоридский пролив, ERS-2, 28.12.95

а - яркостное изображение; б - радиально-скоростное изображение; в - их разрезы по линии АА

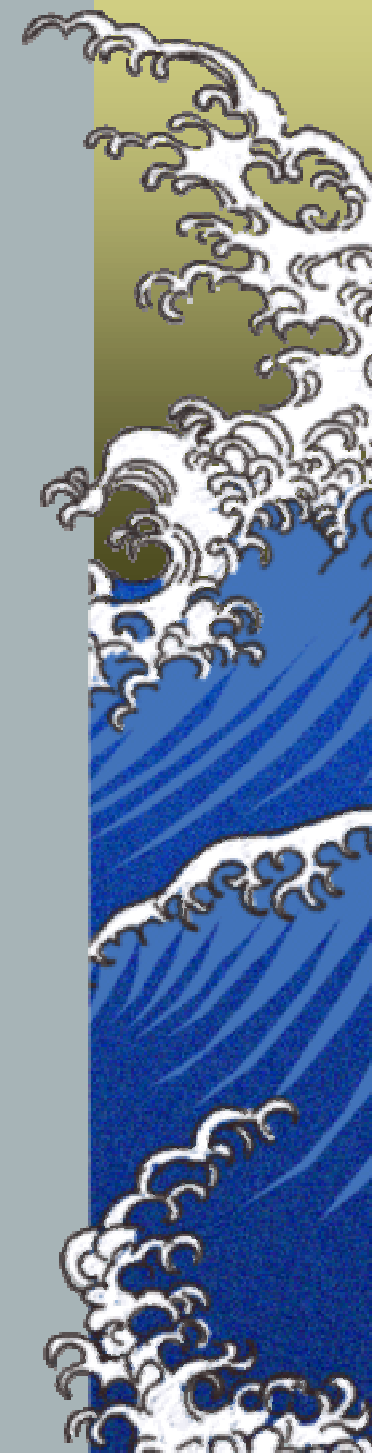
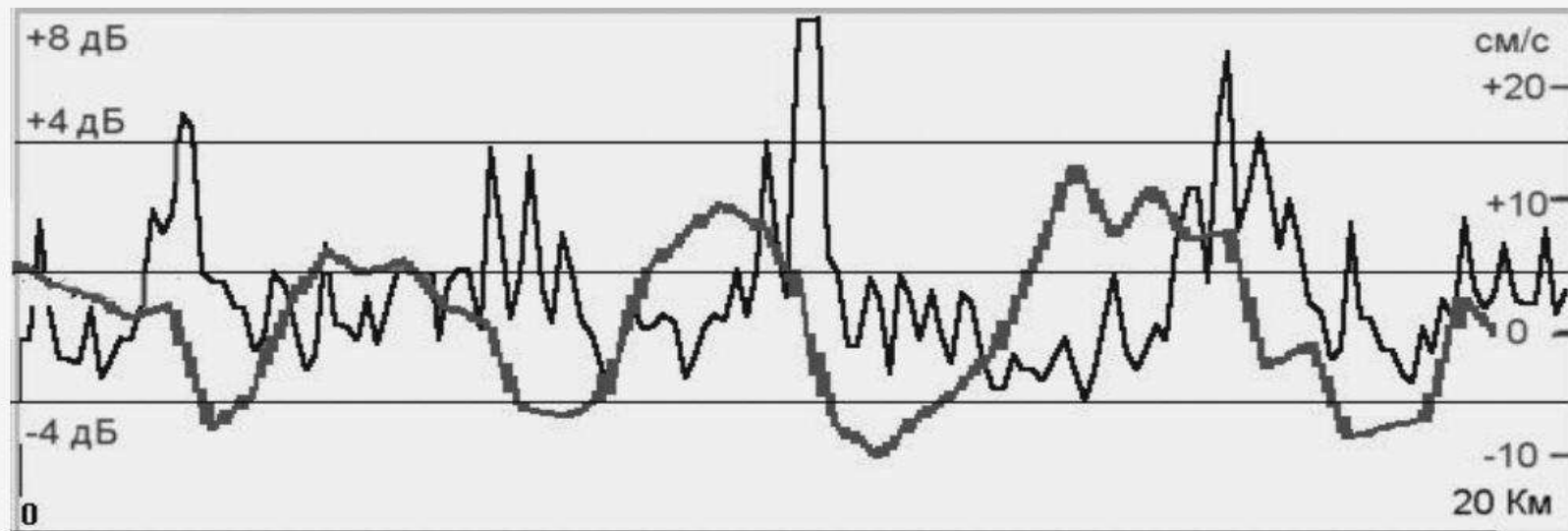
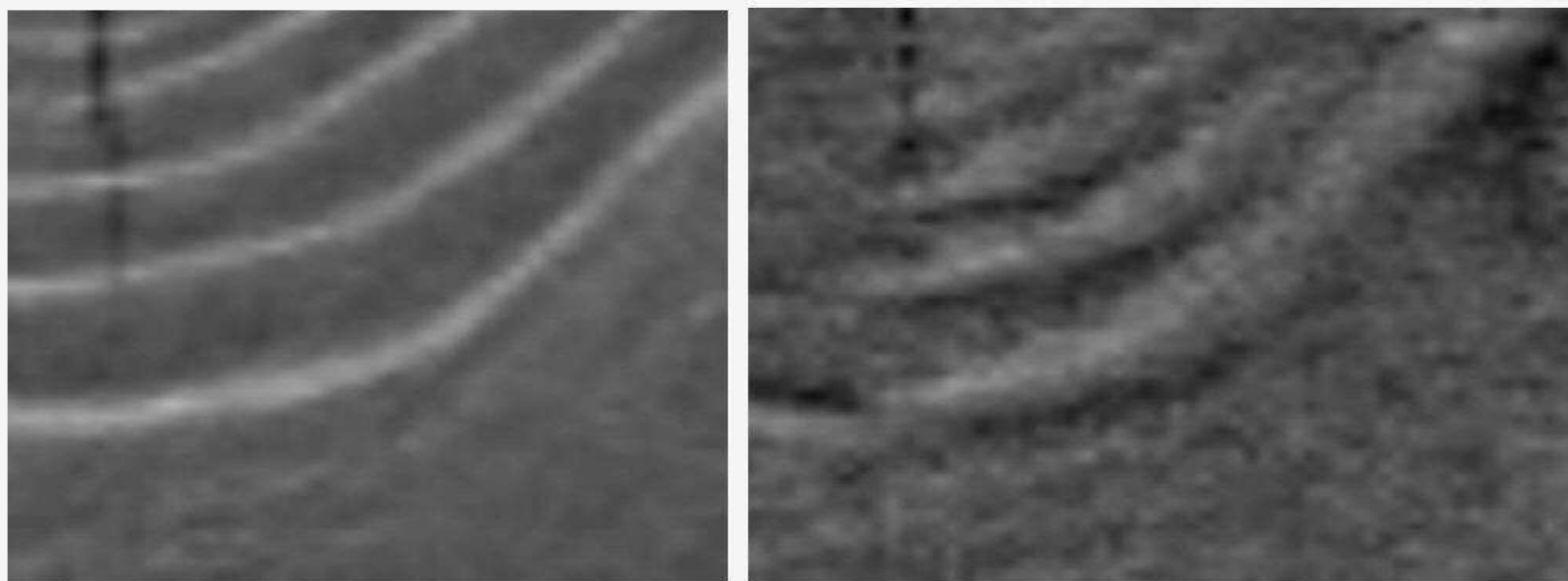


КУРОСИО, К ЮВ ОТ ЯПОНИИ

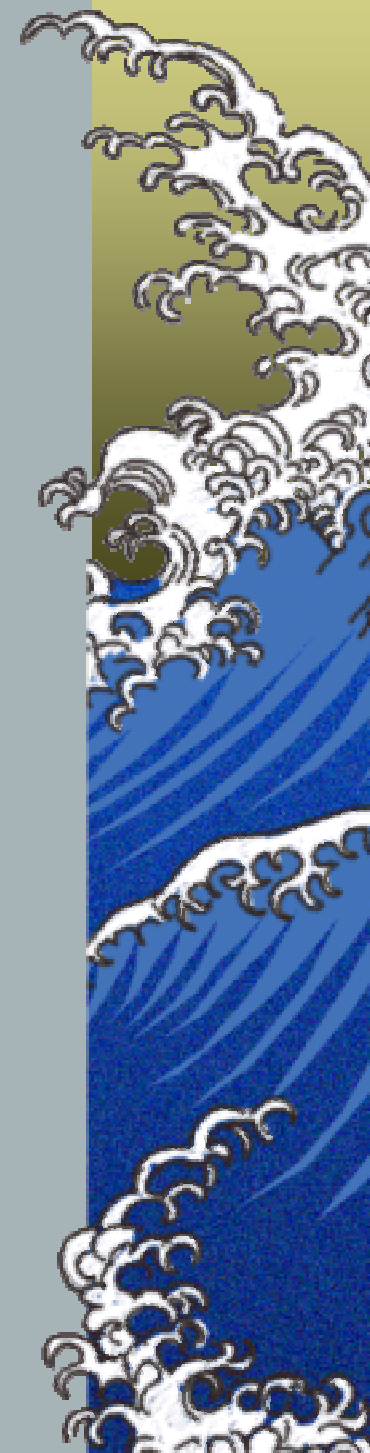
Амплитудный (1) и скоростные (2,3) портреты

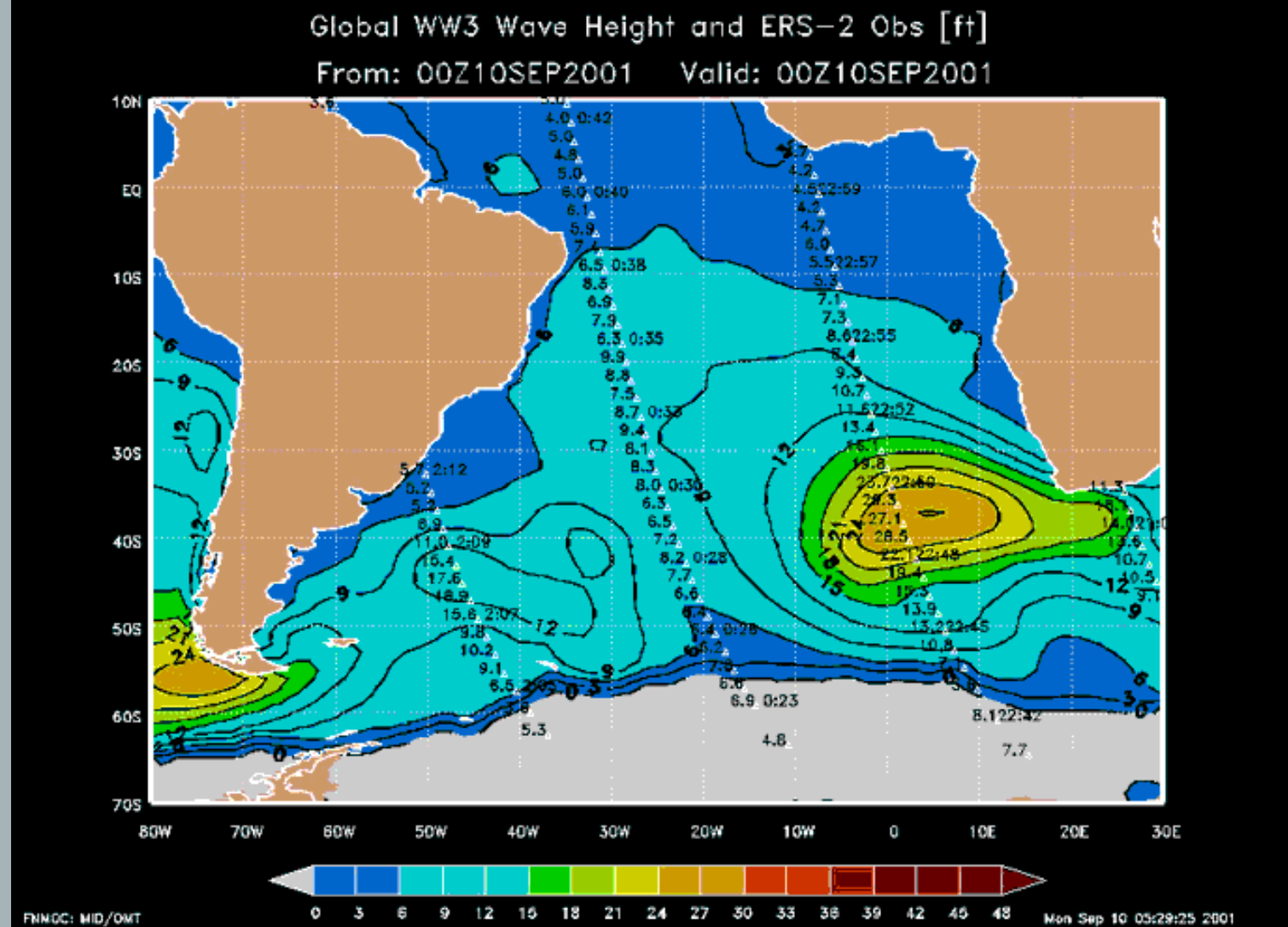


Фрагменты совмещенных яркостных и скоростных изображений района Гибралтарского пролива с калиброванными «разрезами»: пакет внутренних волн с амплитудным контрастом порядка +6дБ при орбитальных скоростях ВВ на поверхности порядка ± 10 см/с;



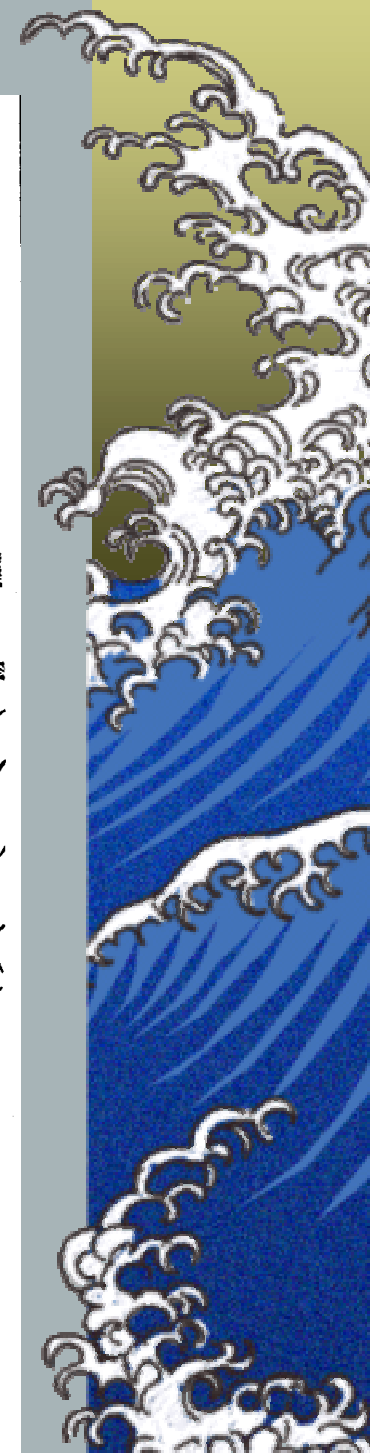
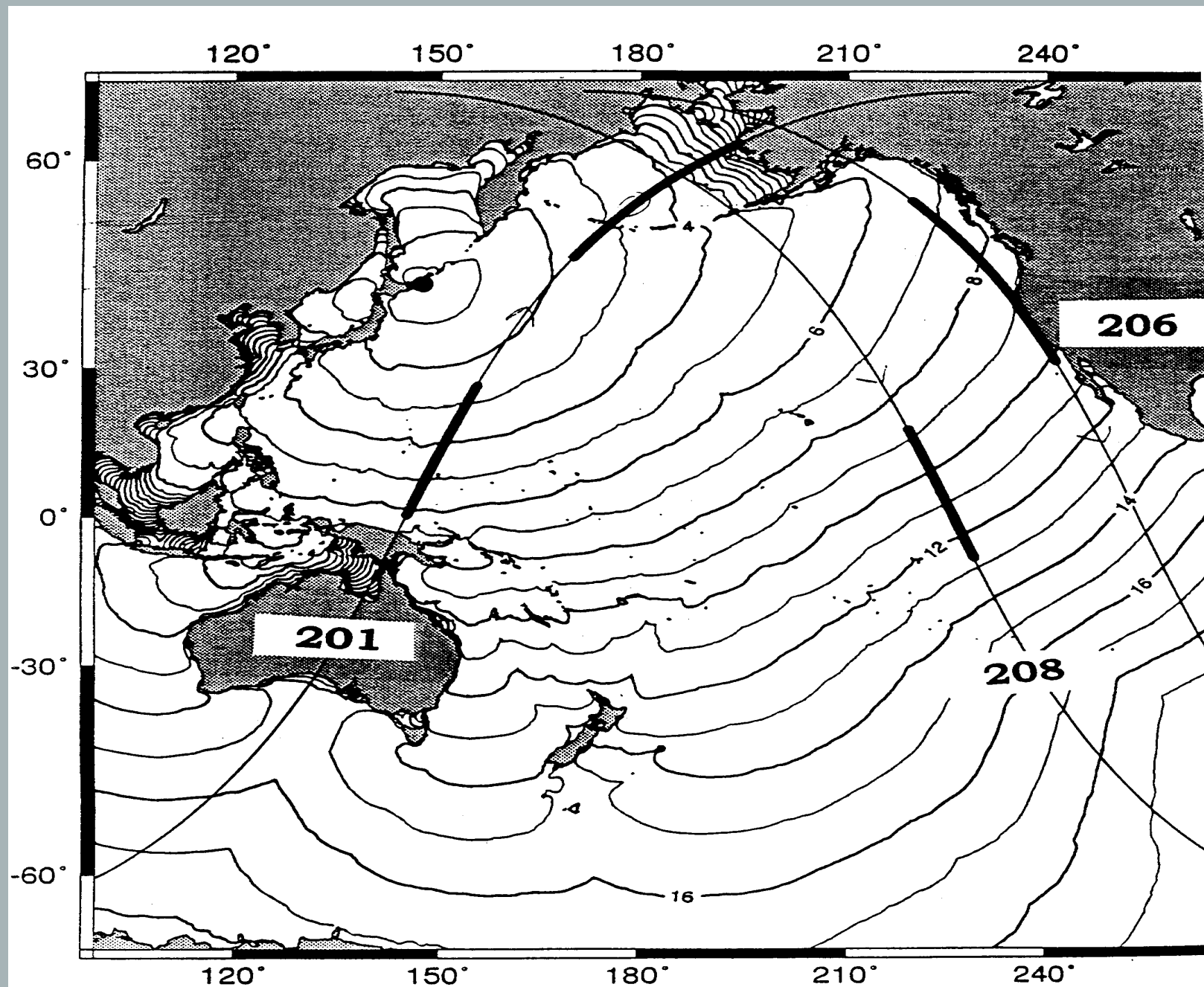
ДИАГНОСТИКА ЯВЛЕНИЙ В ПОЛЕ УРОВНЯ ОКЕАНА



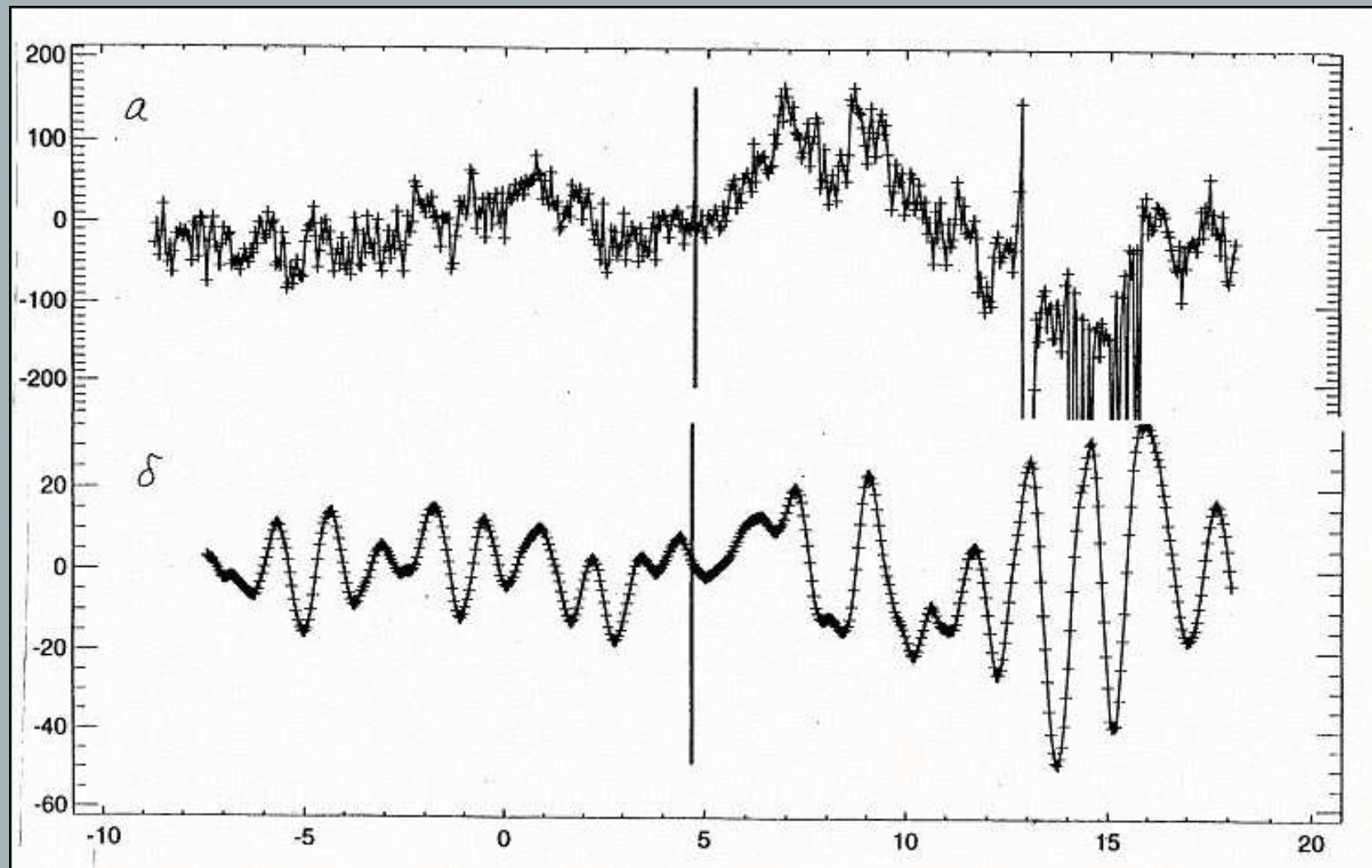


Глобальная (осредненная за месяц) картина высот океанских волн, полученная путем накопления и обработки данных альтиметра, установленного на аппарате. ERS-2. Высоты волн даны в футах. Показаны несколько траекторий аппарата с данными локальных измерений.

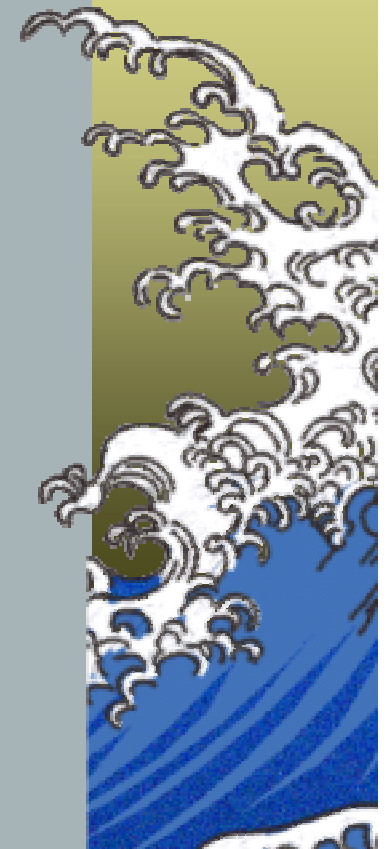
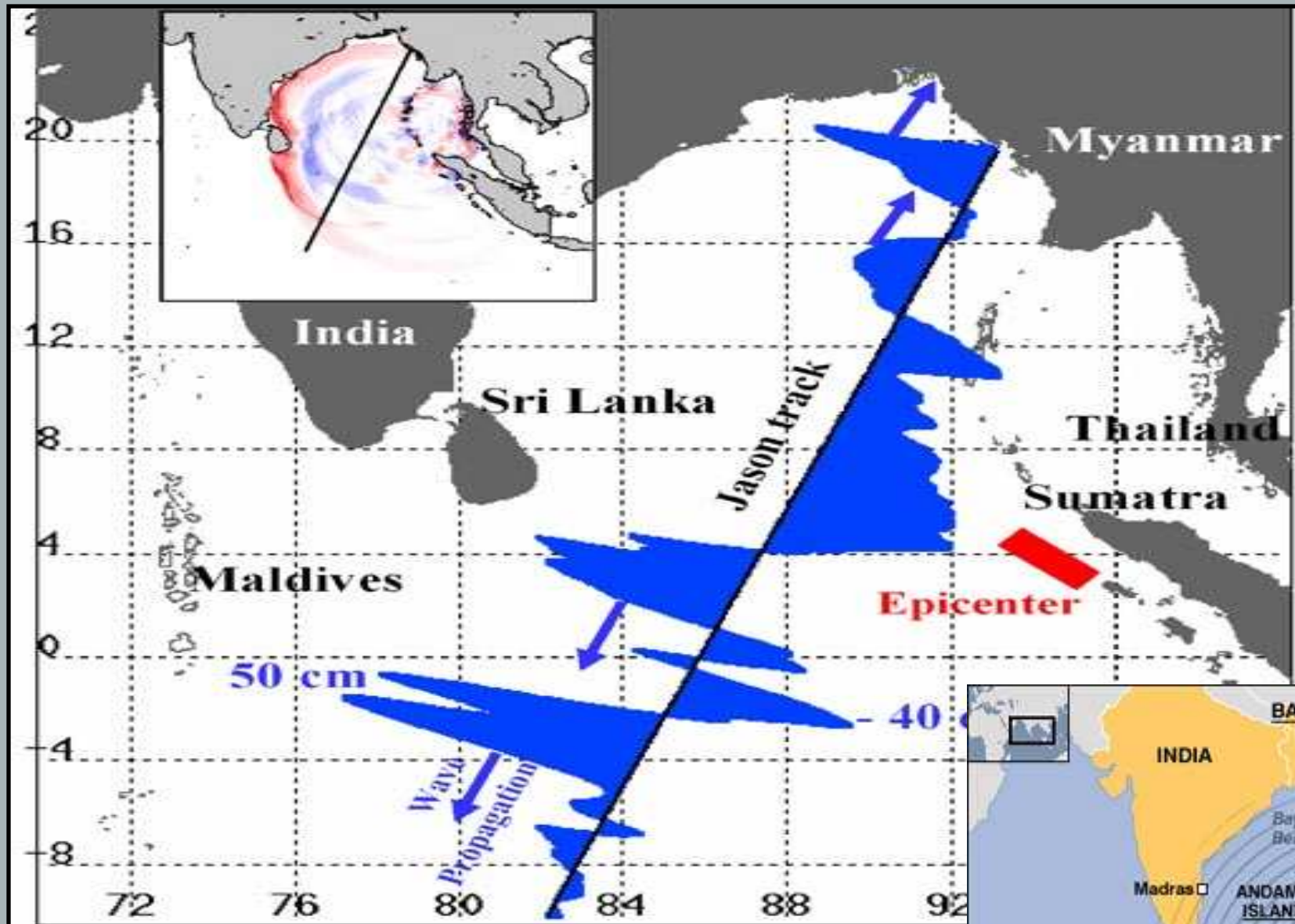
ИЗОХРОНЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФРОНТА ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ ПРИ КУРИЛЬСКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 4 ОКТЯБРЯ 1994 г И ОРБИТЫ РА



ЗАПИСЬ РАДИОВЫСОТОМЕРА И ЕЁ ОБРАБОТКА С СЕЛЕКЦИЕЙ ВОЛН ЦУНАМИ В ОТКРЫТОМ ОКЕАНЕ



ИНДОНЕЗИЙСКОЕ ЦУНАМИ 2004 года



ДВУХПОЗИЦИОННОЕ «КВАЗИЗЕРКАЛЬНОЕ» ЗОНДИРОВАНИЕ ОКЕАНА ИЗ КОСМОСА

Преимущества:

- Возможность обеспечения широкой зоны обзора при минимальной энергетике («световая дорожка»)
- Уклоны ветровых волн диагностируются без искажений нелинейными эффектами
- Возможна диагностика поля уровня (панорамный радиовысотомер) с применением фазометрии – вплоть до реального оповещения о цунами
- По сравнению с предложениями по использованию с этой же целью фазометрической навигационной системы GPS (путем введения дополнительных приемных спутников) – возможность беспропускового мониторинга опасных океанских явлений с необходимой чувствительностью.

Особенности: поле характеризуется френелевским коэффициентом отражения $\Gamma(\gamma_0)$, фазором $\Phi(x, y)$ и проекциями разностного волнового вектора $(k - k_0)$:
 P_x , P_y , P_z :

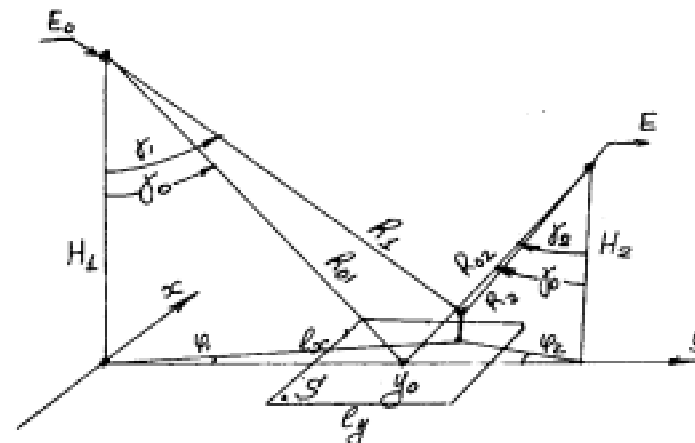
$$|E|^2 = -E_0 \frac{\Gamma(\gamma_0) \exp[jk(R_{01} + R_{02}) - 2jp_z \Delta h] p^2}{4\pi(R_{01} + R_{02})p_z} \int_s [\exp j\Phi(x, y) dx dy]$$

Радиальное разрешение:

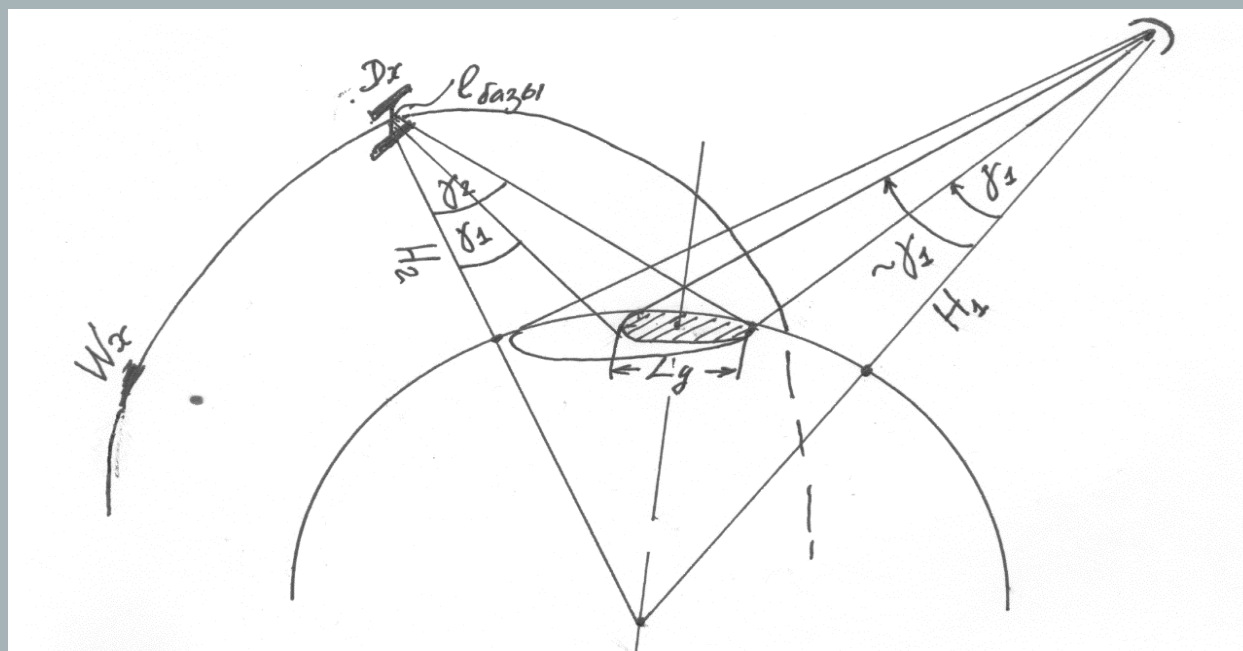
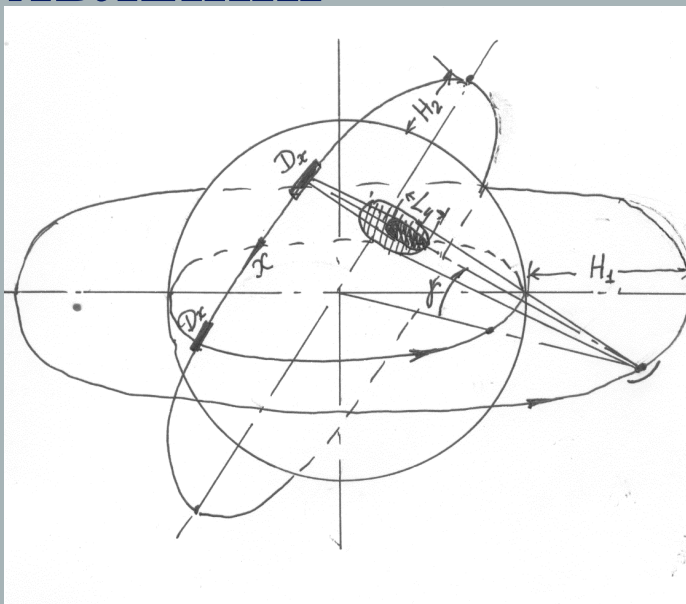
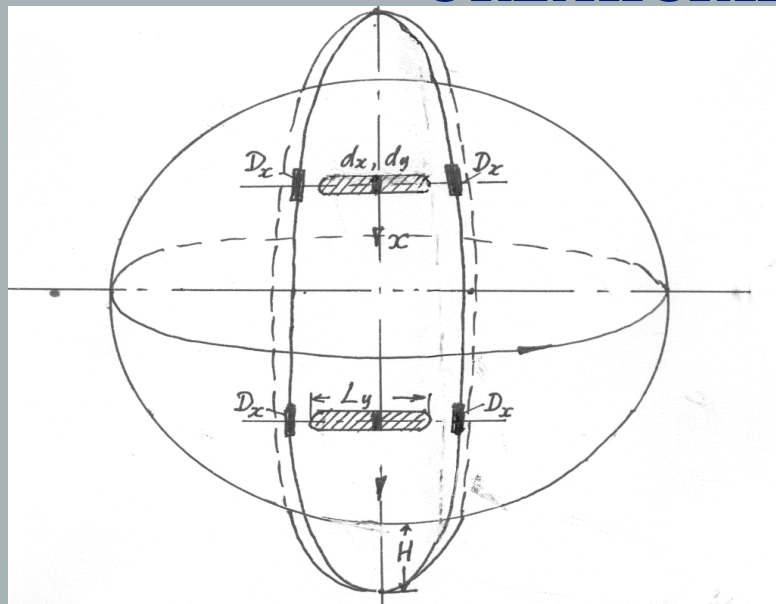
$$\Delta y \cong \left\{ \frac{2c\tau}{\sin^2 \gamma_0 \cos \gamma_0 \left[\left(\frac{1}{H_1} \right) + \left(\frac{1}{H_2} \right) \right]} \right\}^{1/2}$$

Ширина зоны бокового обзора, пренебрегая кривизной Земли:

$$L_y \cong \frac{3\sigma_0}{\left(\frac{1}{H_1} + \frac{1}{H_2} \right) \cos \gamma_0}$$



ВАРИАНТЫ КОСМИЧЕСКИХ ДВУХПОЗИЦИОННЫХ РЛ СИСТЕМ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ОКЕАНСКИХ ЯВЛЕНИЙ



РОССИЙСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ



Перспективный радиолокатор «Северянин-М» (КА «Метеор», НИИТП и НИИЭМ)

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЛ КОМПЛЕКСА

Длина волны излучения 3,1см

Ширина полосы излучаемого сигнала 0,3Мгц

Тип сигнала АФ-манипуляция

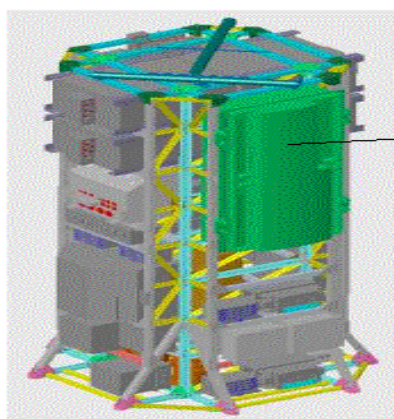
Поляризация сигнала VV

Средняя мощность излучения 100вт

Высота орбиты ~800км

Ширина полосы обзора ~600км

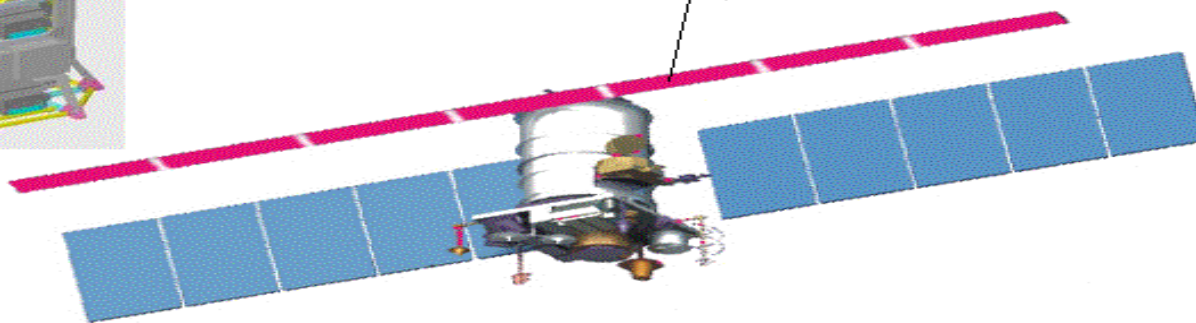
Минимальная УЭПР минус ~20дБ



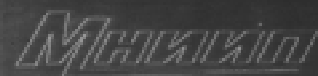
**Размещение БРЛК «Северянин-М»
на КА «Метеор-М»**

Радиотехнический
контейнер Р-РКА
на раме КА
Масса 100 кг

Волноводно-щелевая
антенна А-РКА
7 секций по 3 решетки
Раскрыт 13,5 x 0,25 м
Масса 50 кг



Перспективный РСА «Корсар» (КА «Кондор-Э», «Вега» и НПО МАШ)



Федеральное Государственное Унитарное Предприятие
«МОСКОВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

Космические радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны для всепогодного наблюдения и дистанционного зондирования Земли



"КОРСАР" - радиолокатор с синтезированной апертурой антенны S-диапазона волн для малого космического аппарата

- ☐ мониторинг растительного покрова
- ☐ геологическое и топографическое картографирование
- ☐ мониторинг океана; ледовая разведка
- ☐ экологический мониторинг моря и суши
- ☐ землепользование; ведение земельного кадастра
- ☐ мониторинг чрезвычайных ситуаций
- ☐ контроль судоходства
- ☐ контроль операций по разведке в зонах конфликтов

Параметры бортовой аппаратуры

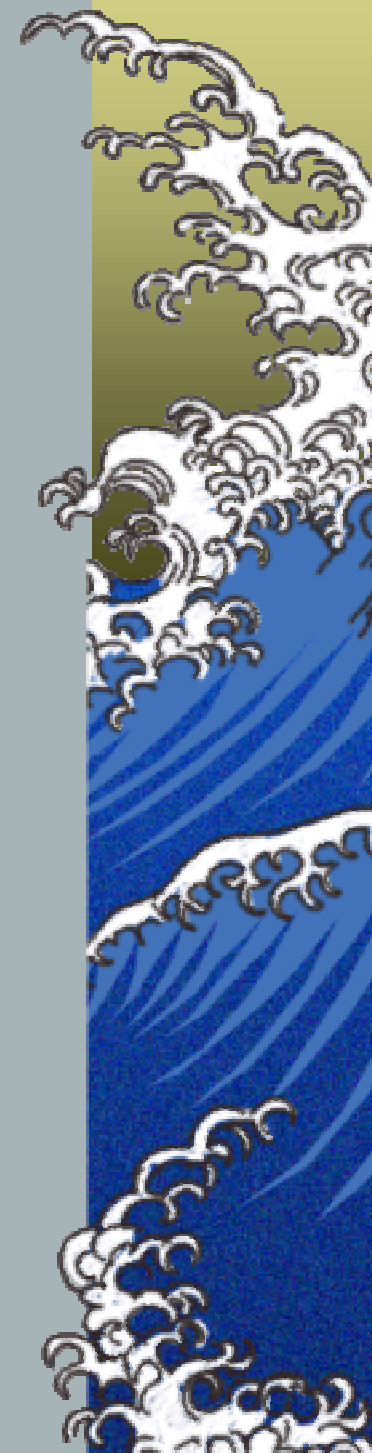
Тип, размер антенны	дискальная, диаметр 6 м
Передатчик	транзисторный
Мощность излучения, Вт	200 (средняя)
Масса, кг	250
Энергопотребление, не более, Вт	1500
Срок эксплуатации	5 лет

Технические характеристики

Высота орбиты, км	~500
Наклонение орбиты	определяется заказчиком
Длина волны	9,6 см (S-диапазон)
Поларизация	ГГ или ВВ
Направление обзора	справа / влево от траектории КА
Полоса обзора, км	2х500

Режимы работы	Полоса обзора, км	Длина волны, м	Обзор, км	"Оскар"
Разрешение, м:				
азимут	≤2	2-3	7	30
дальность	≤2	≤2	5-7	30
Число наблюдений	2-4	1	1-2	4-5
Полоса съемки, км	10-25	10-15	20-50	100
Длина маршрута, км	10-14	100	500	2500
Чувствительность, дБ	$\sigma^0_{ср}$ ≤ -18			

Корсар



ЧТО НЕОБХОДИМО РОССИИ НА САМОЛЕТЕ

Состав и параметры комплекса ПЕРВОЙ ОЧЕРЕДИ:

1. РСА S или L -диапазона с тремя поляризационными каналами (ВВ, ГГ, ВГ)

ширина спектра излучения 400 МГц (разрешение $\sim 0,8\text{м}$ при $N=1$);

ширина зоны обзора 20 км при высоте полета 3км;

минимальная УЭПР $\sim 10^{-4}$ на максимальной дальности;

совмещенная калибровка УЭПР по трем каналам, точность $\sim 1\text{дБ}$;

контрастно-яркостная чувствительность не хуже 0,5 дБ на площадке $\sim 1000\text{м}^2$;

аппаратурная неравномерность интенсивности фона не более 1 дБ по всему кадру (20x20)км².

2. Спектрозональный сканер видимого диапазона с двумя поляризациями

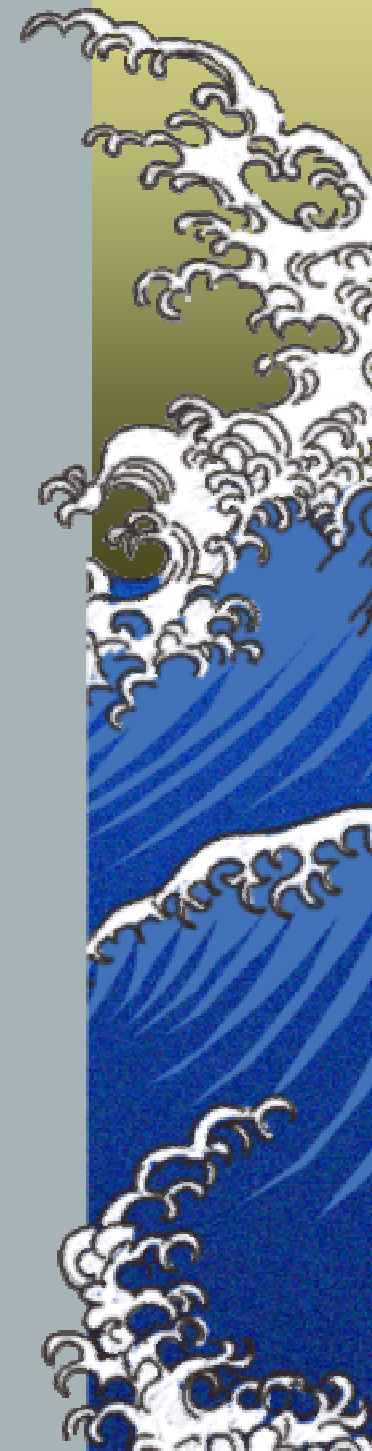
3. Трехканальный ИК-сканер с двумя поляризациями

4. Сканирующий спектрально-флуоресцентный лидар

5. Цифровая фото-ТВ камера.

6. Бортовая система первичной обработки и сбора информации.

7. Бортовая система оперативной передачи информации.



СПЕЦИАЛЬНЫЙ САМОЛЕТНЫЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС

1. *РСА S- или L-диапазона* (длины волн 10 или 23см) с поляризационными каналами, аналогично варианту «первой очереди»
2. *РСА ВЧ-диапазона* (длина волны 2,4м) с такими же поляризационными каналами, ширина спектра излучения ~ 50 МГц (разрешение ~ 3 м при $N=1$).
3. *ИРСА X-диапазона* (длина волны 3см): одна приемо-передающая и две приемные антенны, горизонтальная база 4-5 м, вертикальная 3м, поляризация ВВ, ширина спектра излучения ~ 50 МГц.



ЧТО НЕОБХОДИМО ИМЕТЬ В КОСМОСЕ ДЛЯ ПОЛНОЦЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ ОКЕАНСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Малый КА (например, «Кондор-М»)

1. *РСА S-диапазона (длина волны 10см), поляризации ВВ, ВГ и ГГ, ширина спектра излучения 400 МГц, минимальная УЭПР $\sim 10^{-4}$, ширина зоны обзора не менее 100км, возможность изменения угла визирования – как в Кондоре-Э;*
2. *Спектрозональный сканер видимого и ИК-диапазонов (МСУ-СК с доработками)*
3. *Цифровая фото-ТВ камера (применялась на МКС «Альфа»)*

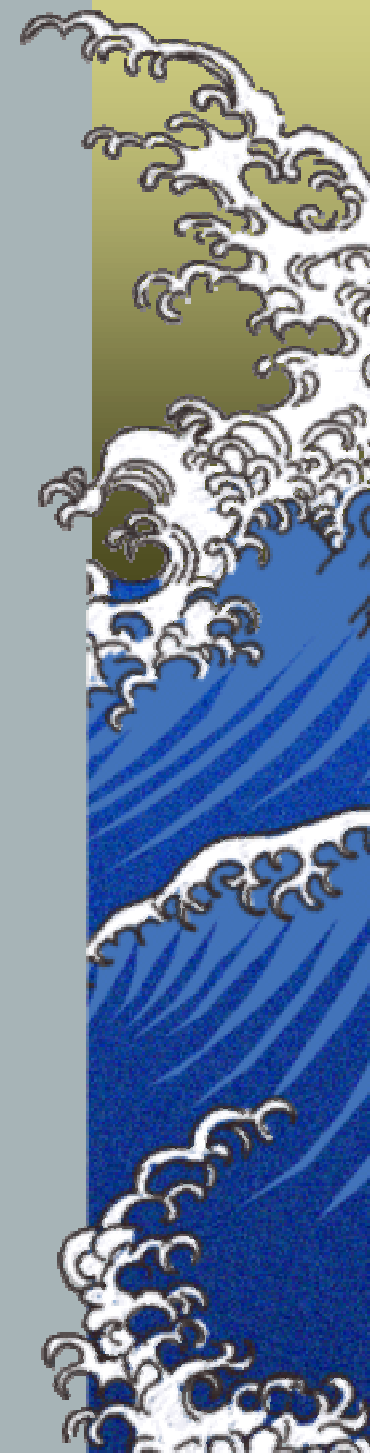
Средний КА (например, «Аркон-М»)

1. *РСА Р-диапазона (длина волны 70см), поляризации ВВ, ВГ и ГГ, ширина спектра излучения 200 МГц, мин.УЭПР $\sim 10^{-3}$, ширина зоны обзора не менее 400 км;*
2. *ИРСА Х-диапазона (длина волны 3см), что требует продольного разнеса фазовых центров антенных полотен на 15-20м. Ширина спектра излучения 100 МГц, мин.УЭПР $\sim 10^{-3}$, ширина зоны обзора не менее 400км;*
3. *Спектрозональный сканер видимого и ИК-диапазонов (МСУ-СК с доработками)*
4. *Цифровая фото-ТВ камера (применялась на МКС «Альфа»)*



КРАТКИЕ ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЯМ

1. Энергонесущие ветровые волны, внутренние волны приливного происхождения, пленочные нефтяные слики (по изменению структуры волн); мезомасштабная скоростная структура океанских течений, следы кораблей и множество явлений, связанных с вариациями уровня океана – вплоть до сейсмических волн, порождающих опасные волны цунами – могут быть объектами панорамной РЛ диагностики с определением основных параметров явлений.
2. Удельная контрастно-яркостная чувствительность (КЯЧ) существующих одноантенных аэрокосмических РСА определяется шириной спектра излучения и размером реального раскрыва антенны, оптимальная площадка осреднения составляет ~ 1 га при пороговой КЯЧ порядка 1 дБ.
3. Удельная контрастно-скоростная чувствительность (КСЧ) тех же РСА зависит еще и от скорости аппарата, составляя для самолета ~ 2 см/с.га, а для КА ~ 5 см/с. на 1 кв.км (100 га).
4. Разработаны специальные алгоритмы обработки данных от имеющихся космических РСА, позволяющие формировать радиально-скоростное поле течений и поле уклонов ветровых волн – при глубоком подавлении природных помех.



5. **Контрастно-скоростная чувствительность (КСЧ) самолетного и космического ИРСА с продольной базой может быть улучшена на порядок (по сравнению с одноантенным РСА) при существенно меньшем уровне природных помех.**
6. **Достижимая контрастно-уровенная чувствительность (КУЧ) самолетного и космического ИРСА с поперечной базой составляет $\sim 2\text{см/га}$ и $\sim 2\text{см}/100\text{га}$ соответственно, однако во втором случае еще не преодолены трудности с размещением разнесенных антенн.**
7. **Двухпозиционный космический радар, используя «квазизеркальное» рассеяние в пределах «дорожки подсвета», позволяет восстанавливать поле среднего уклона и поле среднего уровня поверхности океана с необходимыми параметрами – чувствительностью, разрешением, шириной зоны обзора и малым «временем повторяемости» изображений при сравнительно малых затратах. Технический проект одного из выбранных вариантов – например, группировки малых (пассивных) КА при подсвете с геостационара – требует инженерной проработки.**
8. **Опубликованные зарубежные исследования по использованию с этой же целью навигационной системы GPS, как нам представляется, подобную задачу в принципе не решают.**



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Действующие космические РЛ средства (радиовысотомеры, СВЧ скаттерометры, одноантенные РСА) являются важнейшей составляющей глобальной системы ДЗЗ. Россия в настоящее время использует эти данные (ALT и SCAT – бесплатно!), не обладая своими космическими РЛ средствами.
2. Потенциальные возможности аэрокосмических РЛ средств для диагностики океанских явлений – очень велики. В первую очередь необходимы *интерференционные и поляризационные РСА*, а в дальнейшем – *двухпозиционные системы* для оперативной диагностики явлений, в том числе опасных.
3. Новые космические РЛ средства за рубежом разрабатываются или даже готовятся к запуску (RADARSAT-2, ENVISAT-2, проект CORIOLIS и др.). Считаю, что Россия не должна создавать некие «поделки» на малых КА, а должна объединить усилия своих разработчиков для создания перспективного среднего КА, оснащенного комплексом *принципиально новых РЛ и оптических средств ДЗЗ* с современной наземной инфраструктурой (см. слайд 42).
4. России совершенно необходим *специализированный самолетный комплекс*, решающий задачи экологического мониторинга и охраны прибрежных вод (см. слайды 40 и 41).

