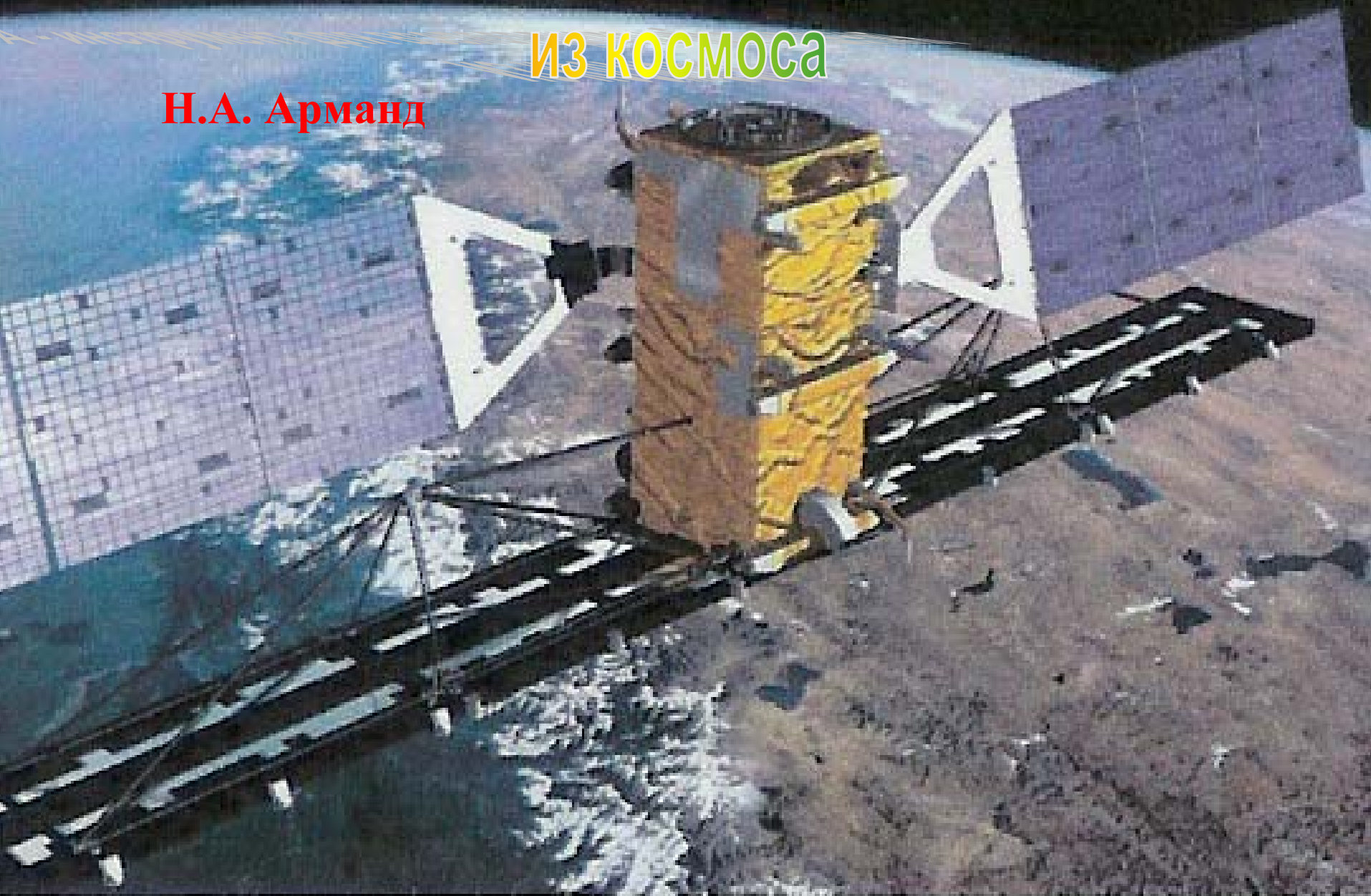


# РСА - инструмент для всепогодного наблюдения из космоса

Н.А. Арманд



# ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ РСА

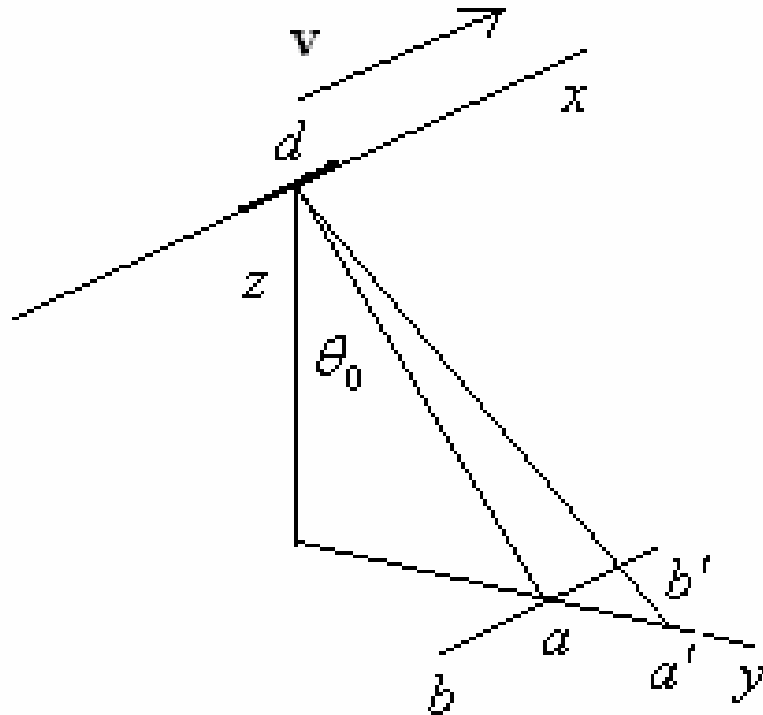
$$\rho_d = \frac{c\tau_p}{2\sin\theta_0} = \frac{c}{2\Delta f \sin\theta_0}$$

$$\frac{\delta f}{f_0} = \frac{2\rho_a v}{cR}$$

$$t_{\text{synt}} = 1/\delta f$$

$$d_{\text{synt}} = vt_{\text{synt}}$$

$$\rho_a = \frac{\lambda R}{2d_{\text{synt}}}$$



# РАЗРЕШЕНИЕ ПО АЗИМУТУ

БЕЗ ФОКУСИРОВКИ

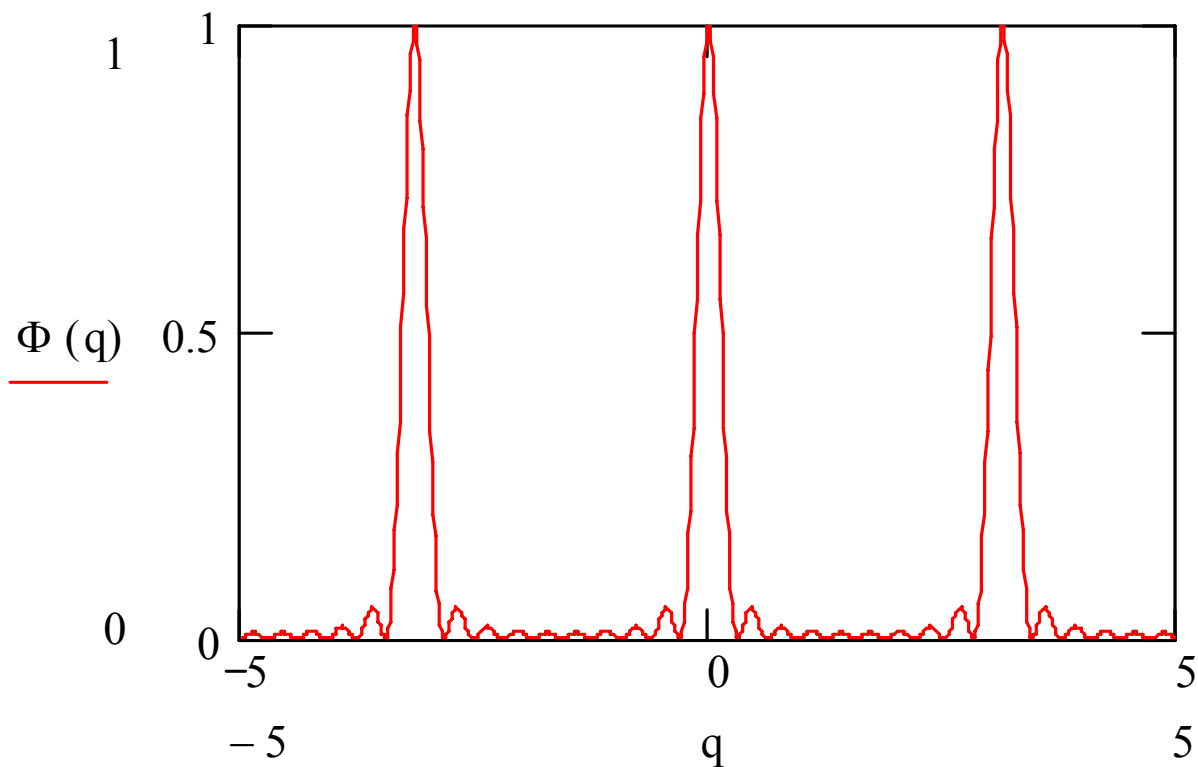
$$d_{synt} = \sqrt{\lambda R} \quad \rho_a = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda R}$$

С ФОКУСИРОВКОЙ

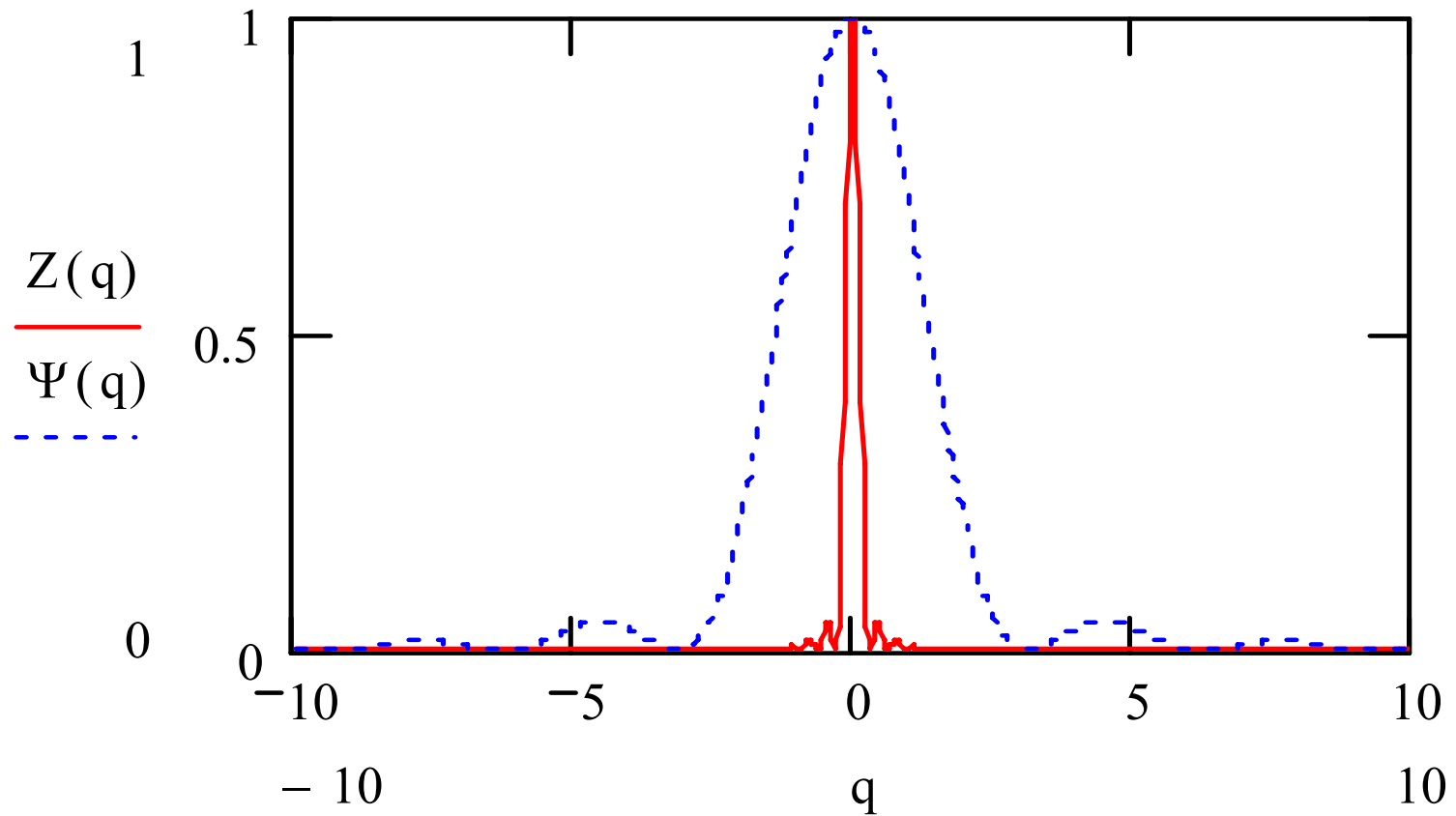
$$d_{synt} = \lambda R / d \quad \rho_a = \frac{d}{2}$$

# ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ

$$D = \nu T \quad \Phi(q) = \left[ \frac{\sin(Nq)}{N \sin q} \right]^2, \quad q = kD \sin \varphi$$

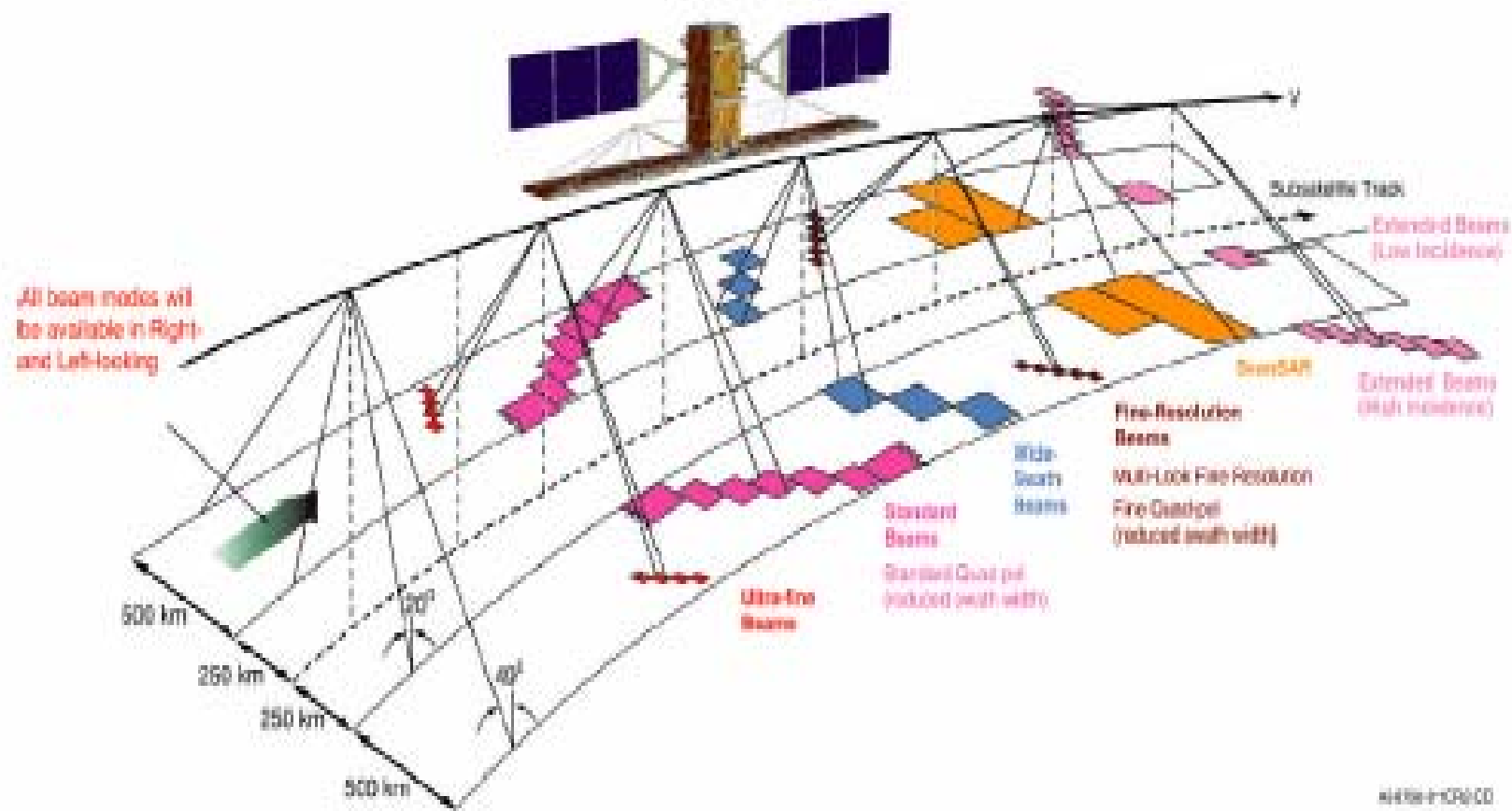


# КОМПЛЕКСНАЯ ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ

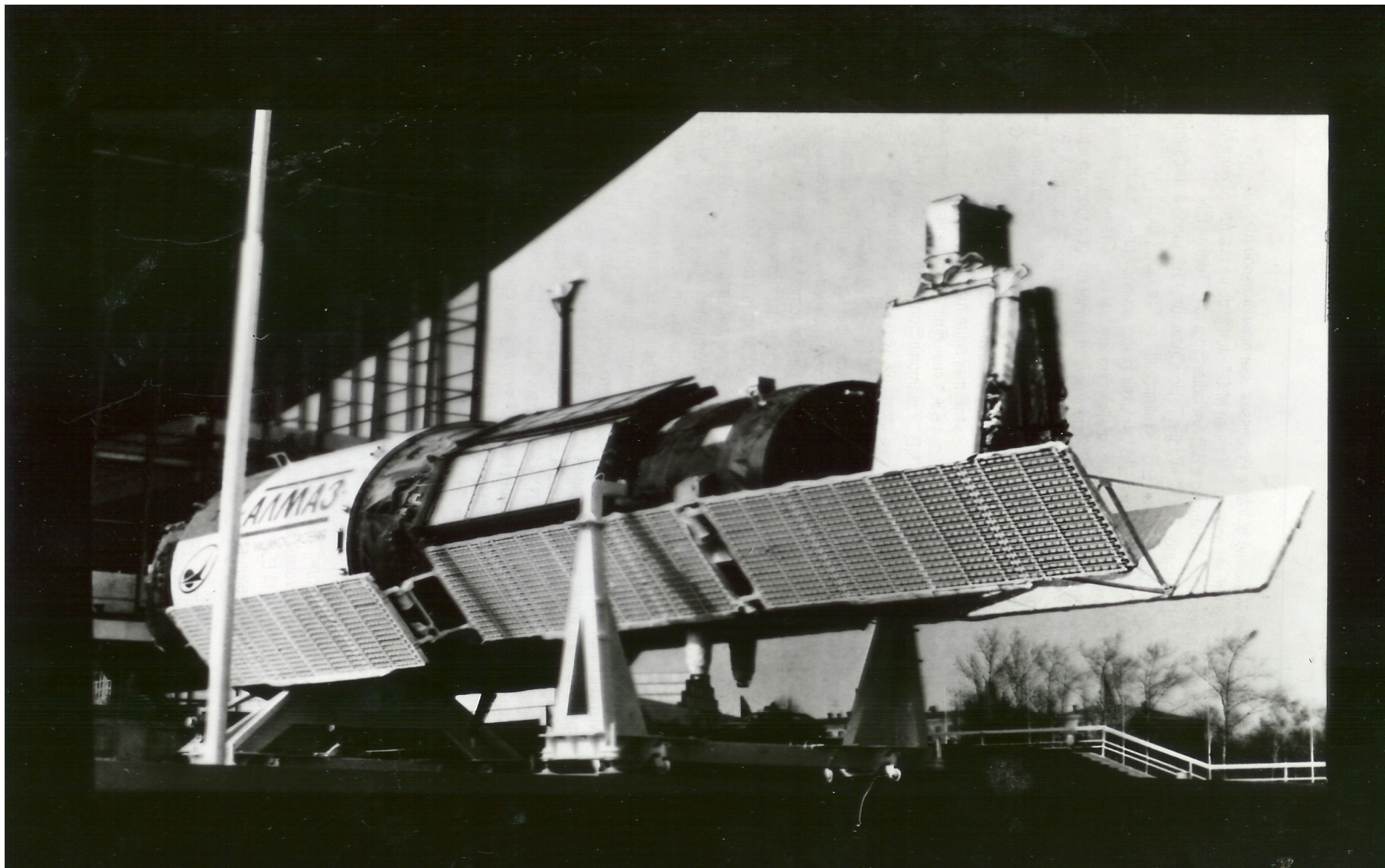


$$Z(q) = \Phi(q)\Psi(q)$$

# СКАНИРОВАНИЕ



# РСА АЛМАЗ

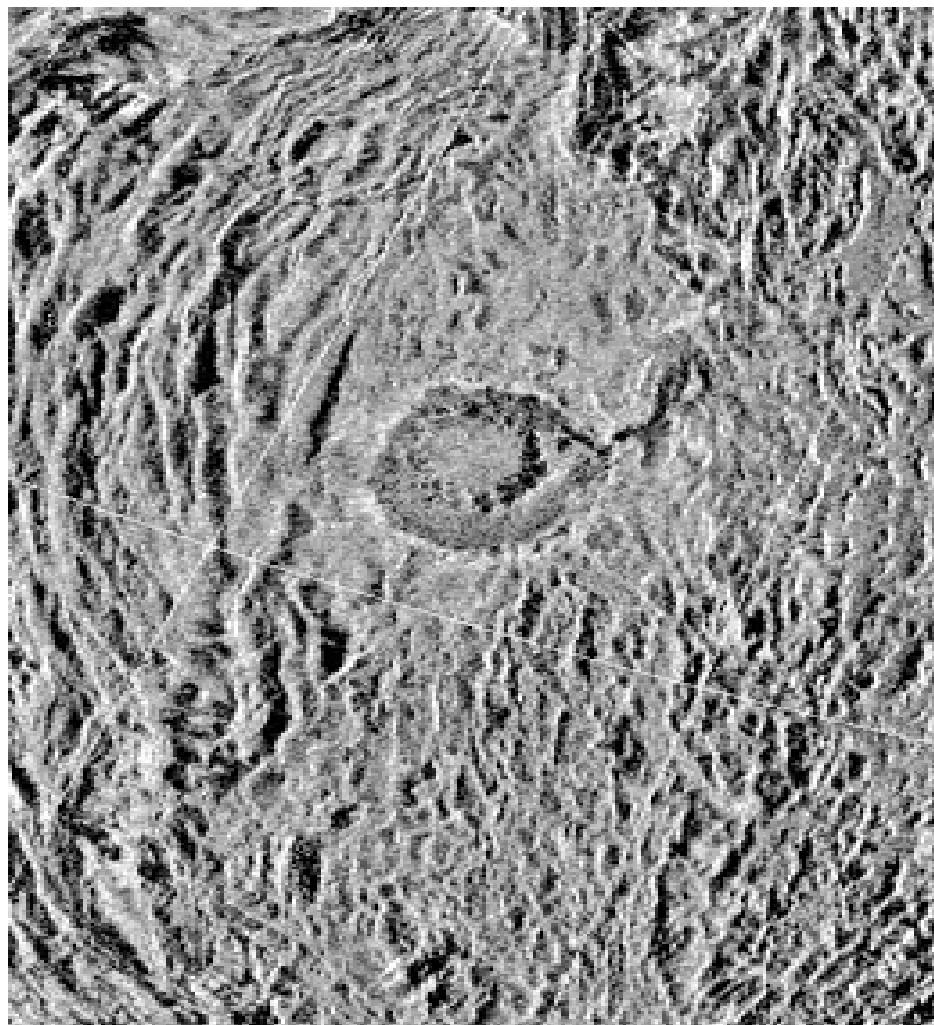




# ВЕНЕРА

ГОРЫ МАКСВЕЛЛА С  
КРАТЕРОМ КЛЕОПАТРЫ

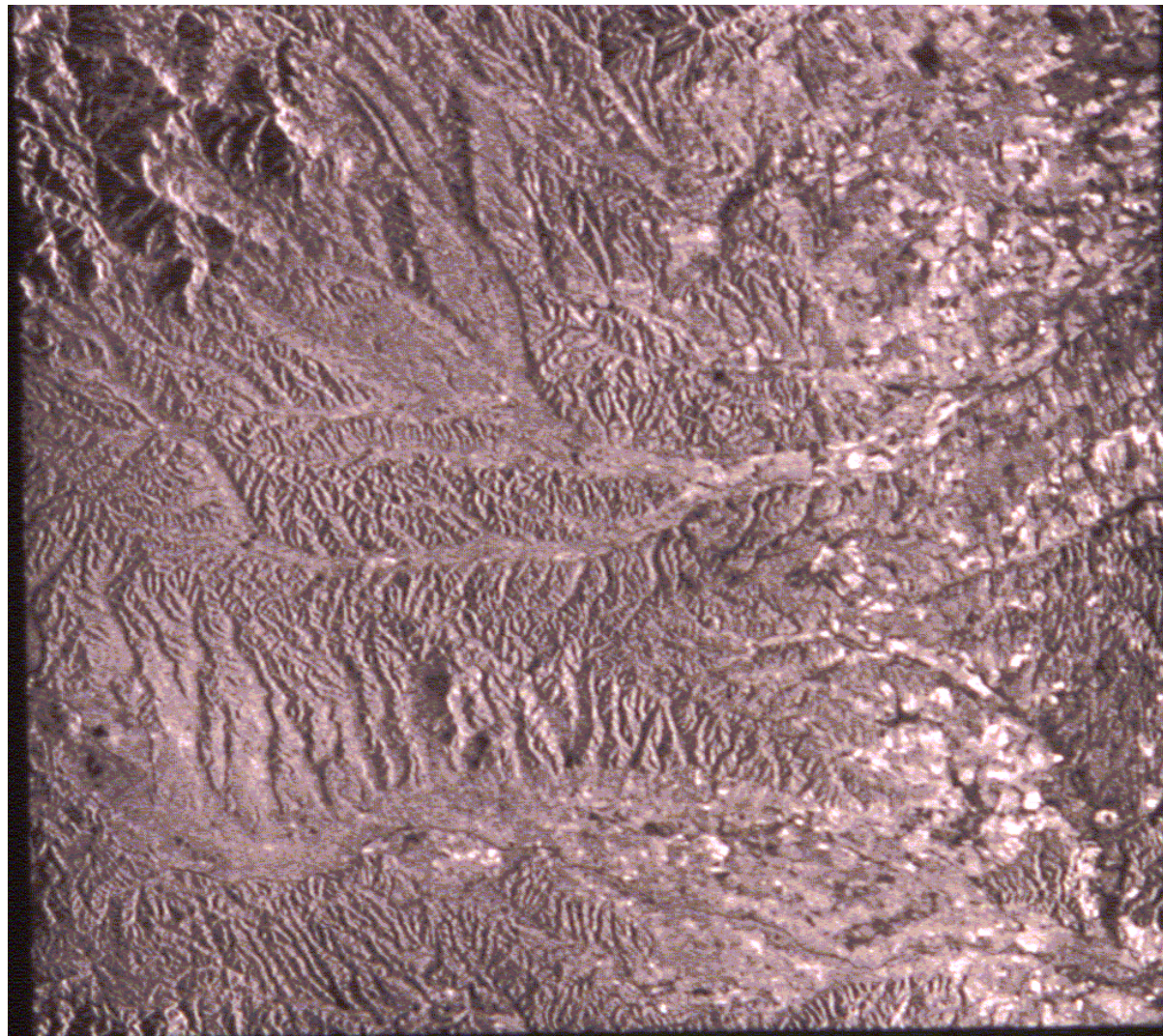
ВЕНЕРА 15, 16





# РСА ИЗОБРАЖЕНИЕ

ГРАНИЦА  
АВСТРИИ  
ВЕНГРИИ И  
ЮГОСЛАВИИ



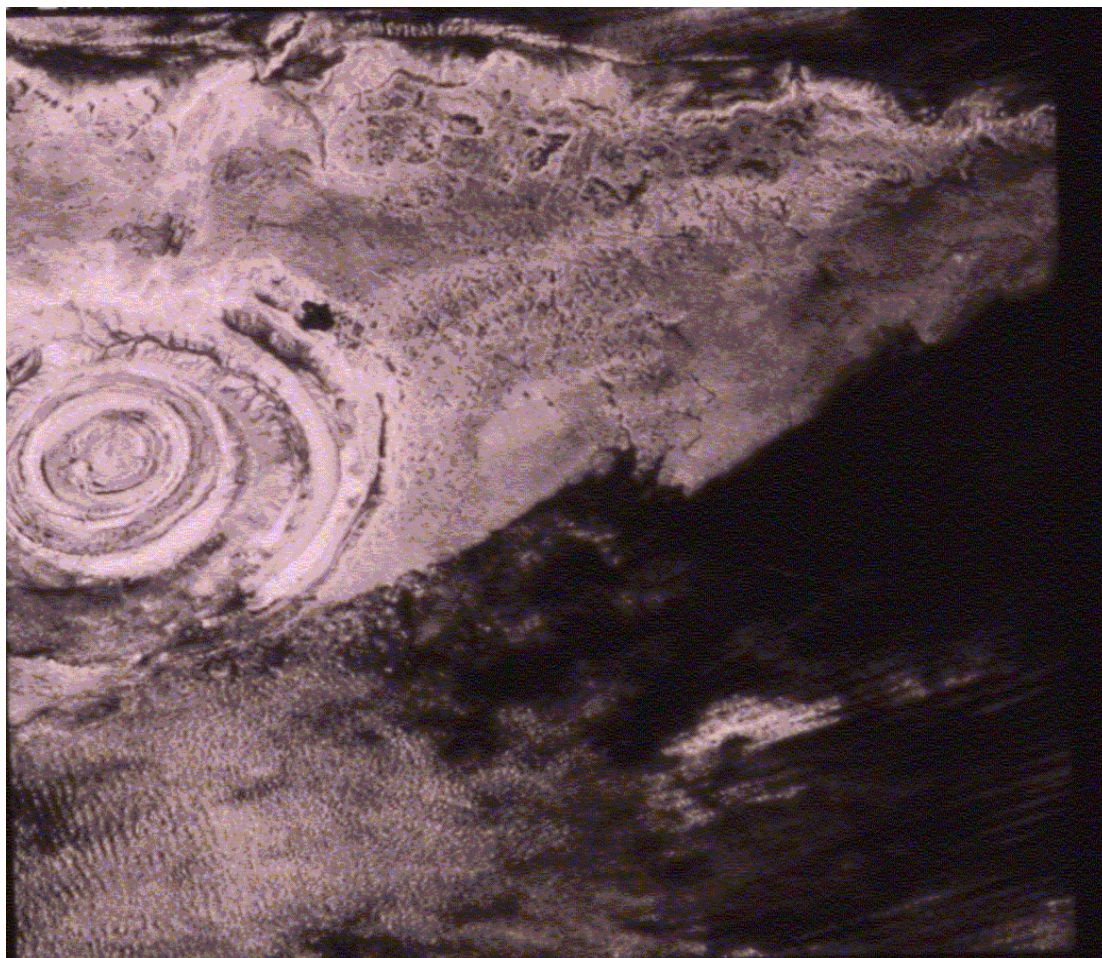


# РСА ИЗОБРАЖЕНИЕ

## МАВРИТАНИЯ

КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ  
ДИАМЕТРОМ ПОРЯДКА 40  
КМ

МАГМАТИЧЕСКАЯ  
ИНТРУЗИЯ В ДРЕВНИЙ  
ОСАДОЧНЫЙ ГРУНТ

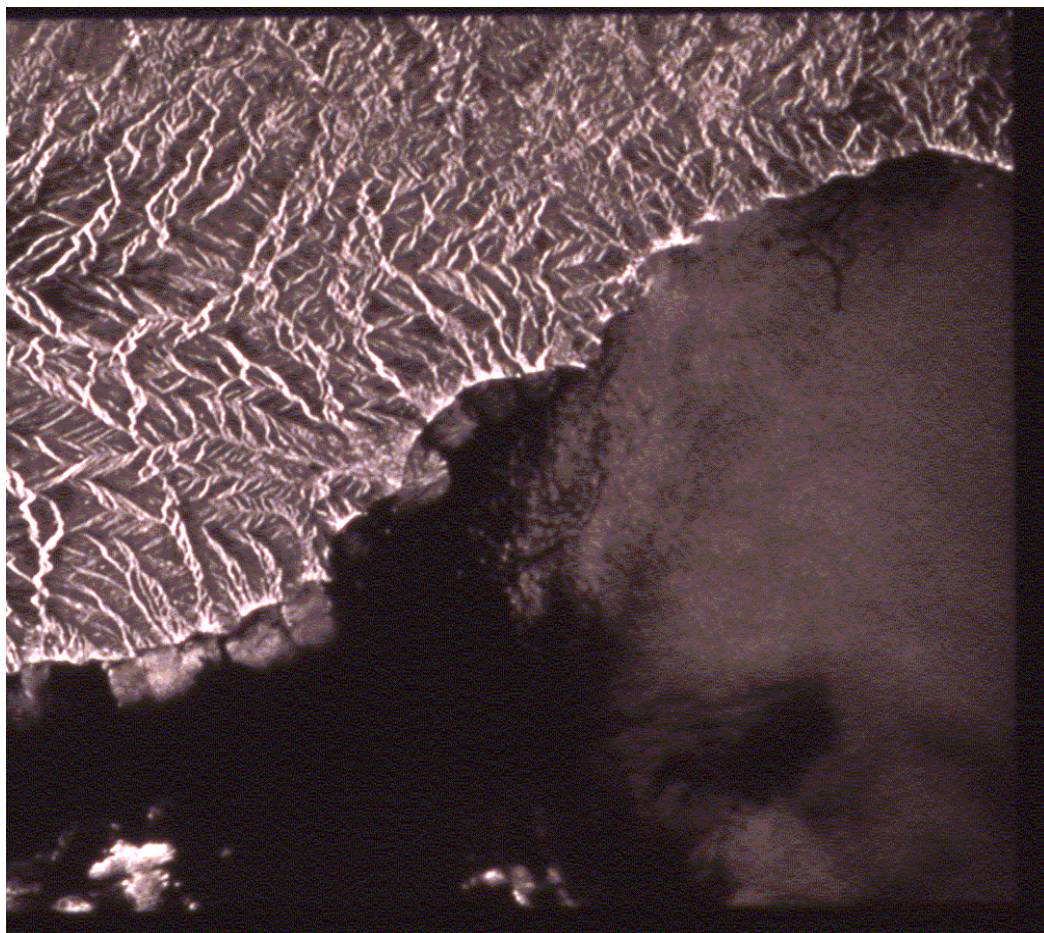




# РСА ИЗОБРАЖЕНИЕ

ИТАЛИЯ

ЛИГУРИЙСКОЕ МОРЕ

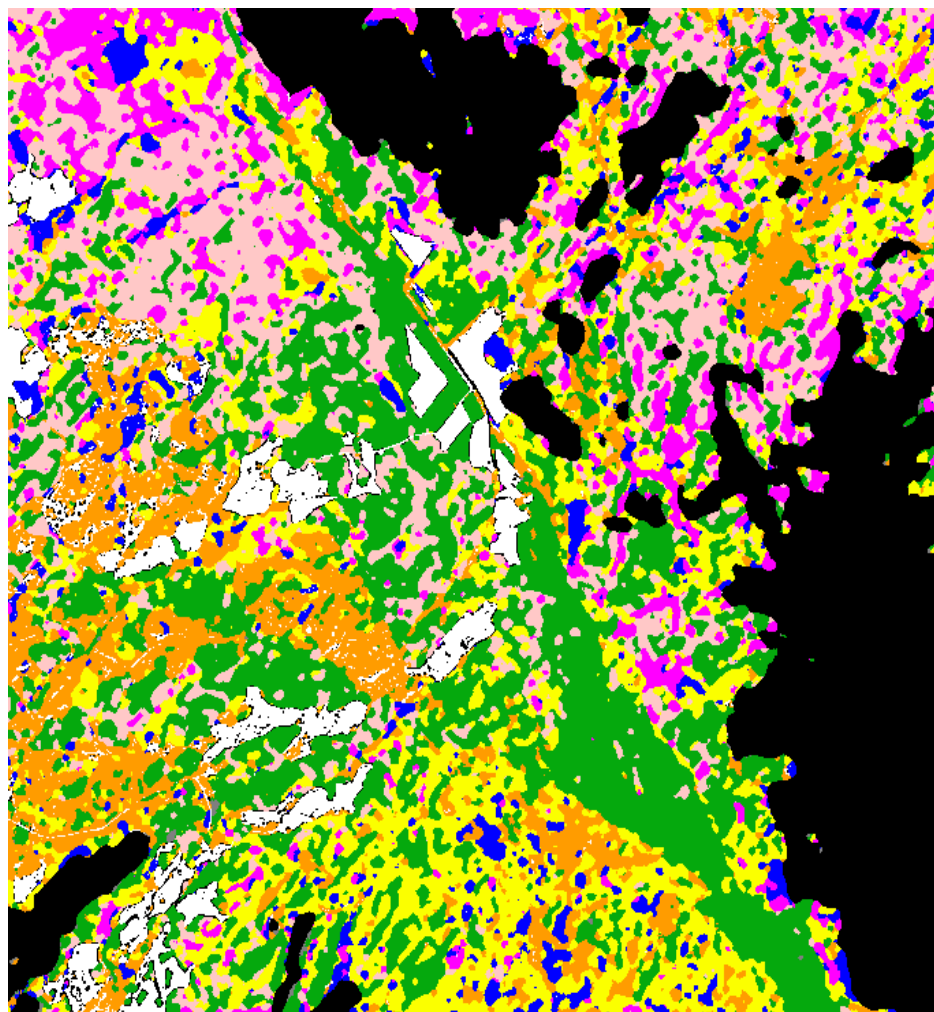


# Области применения РСА

- **Землепользование**
- **Изучение состояния лесных массивов**
- **Изучение состояния ледовых покровов**
- **Наблюдение за динамикой природных катастроф**
- **Интерферометрия**
- **Геология**
- **Океанология**



# ТЕМАТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ



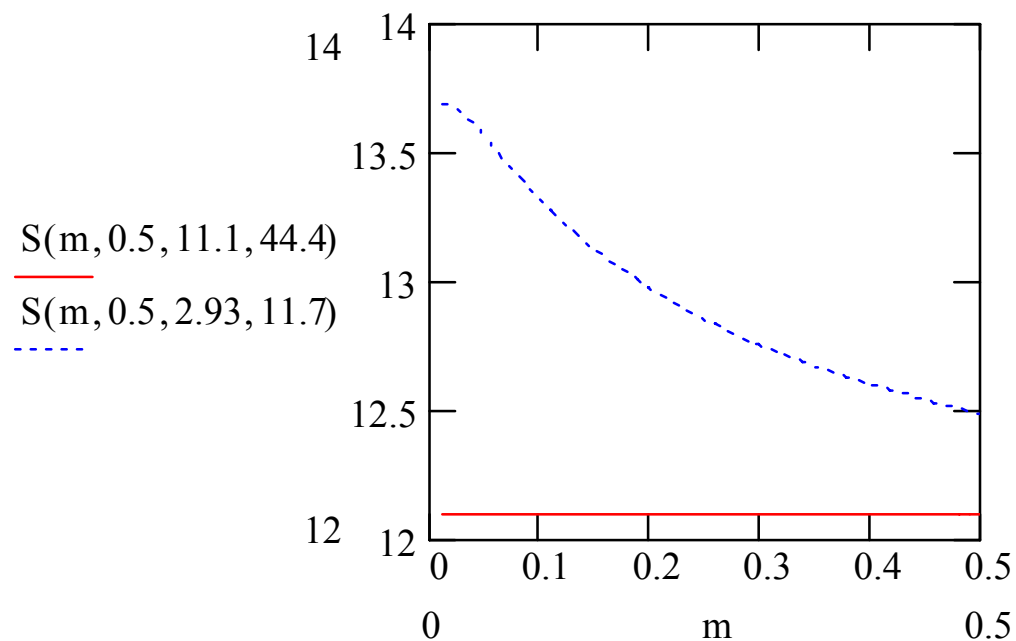
# СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

ГРАНИЦЫ  
ПОЛЕЙ  
СЛЕДЫ ПОЛИВА





# ВЛАЖНОСТЬ



$$S = \frac{\sigma_{hh}^0}{\sigma_{vh}^0}$$

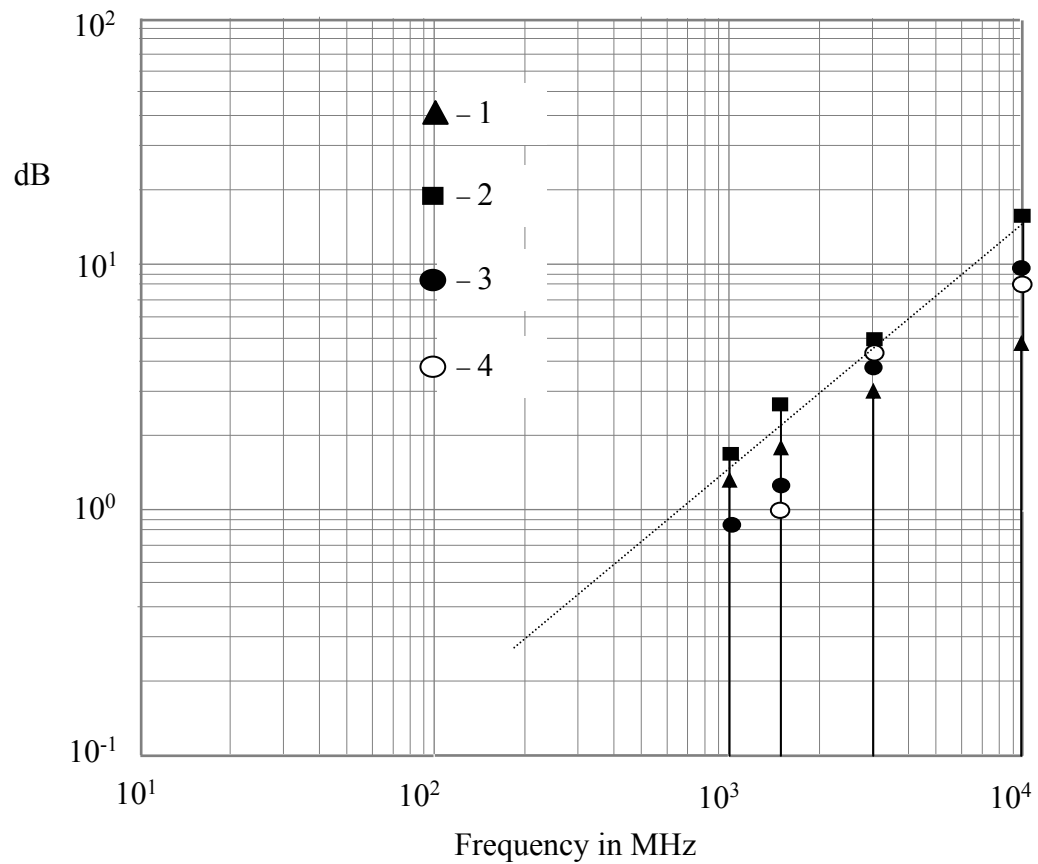
$$\nu = k \sqrt{\langle \zeta^2 \rangle}$$

$$\mu = kl$$

$$S = S(m, \theta, \nu, \mu)$$



# ОСЛАБЛЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫМ ПОКРОВОМ



Characteristic values of attenuation by different crops. 1 – corn, sunflower; 2 – pea, alfalfa; 3 – grains (wheat, barley, oat, etc); 4 – soybeans, cotton.

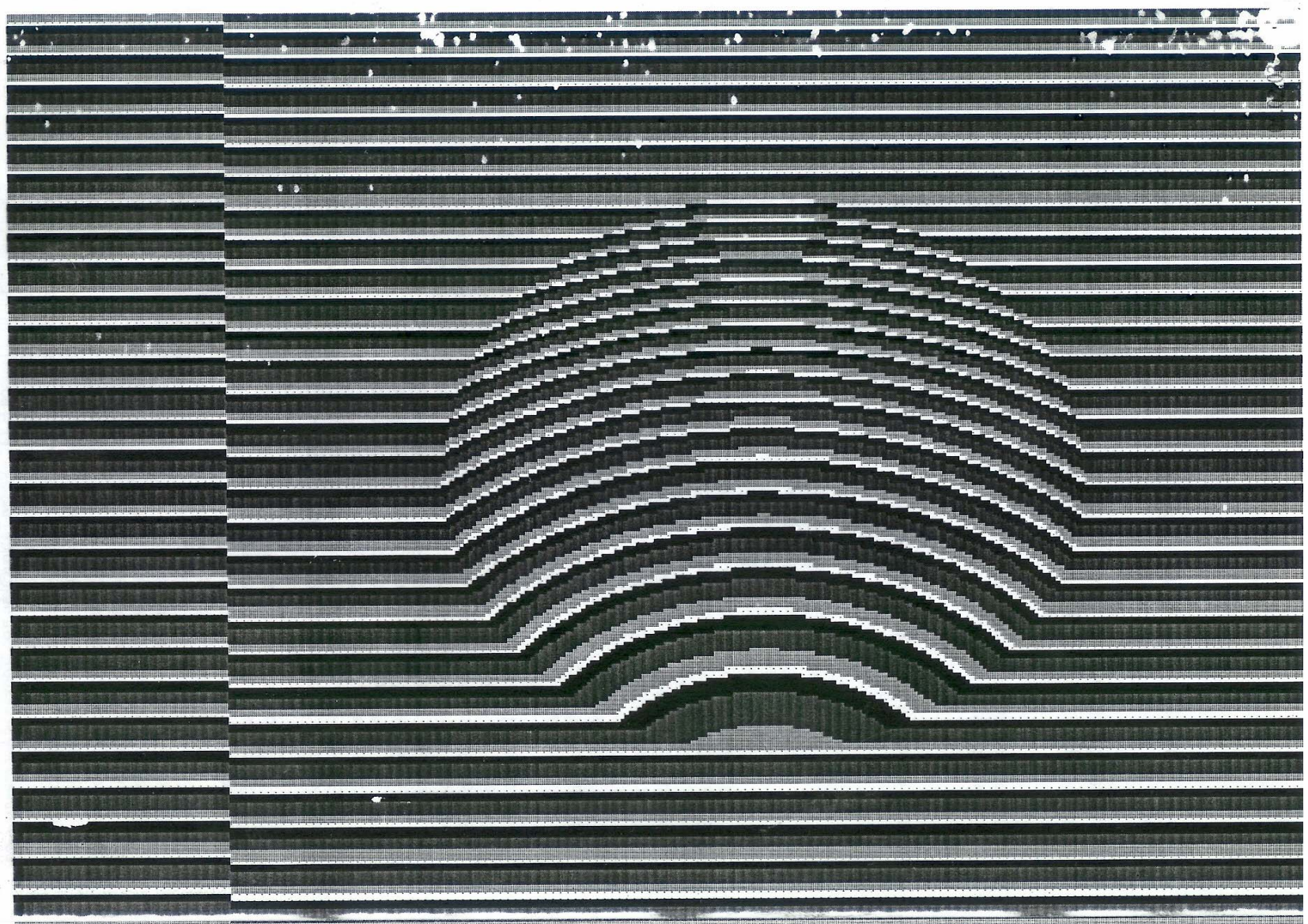
# ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ

- Наблюдение с соседних орбит
- Построение рельефа
- Регистрация динамики рельефа

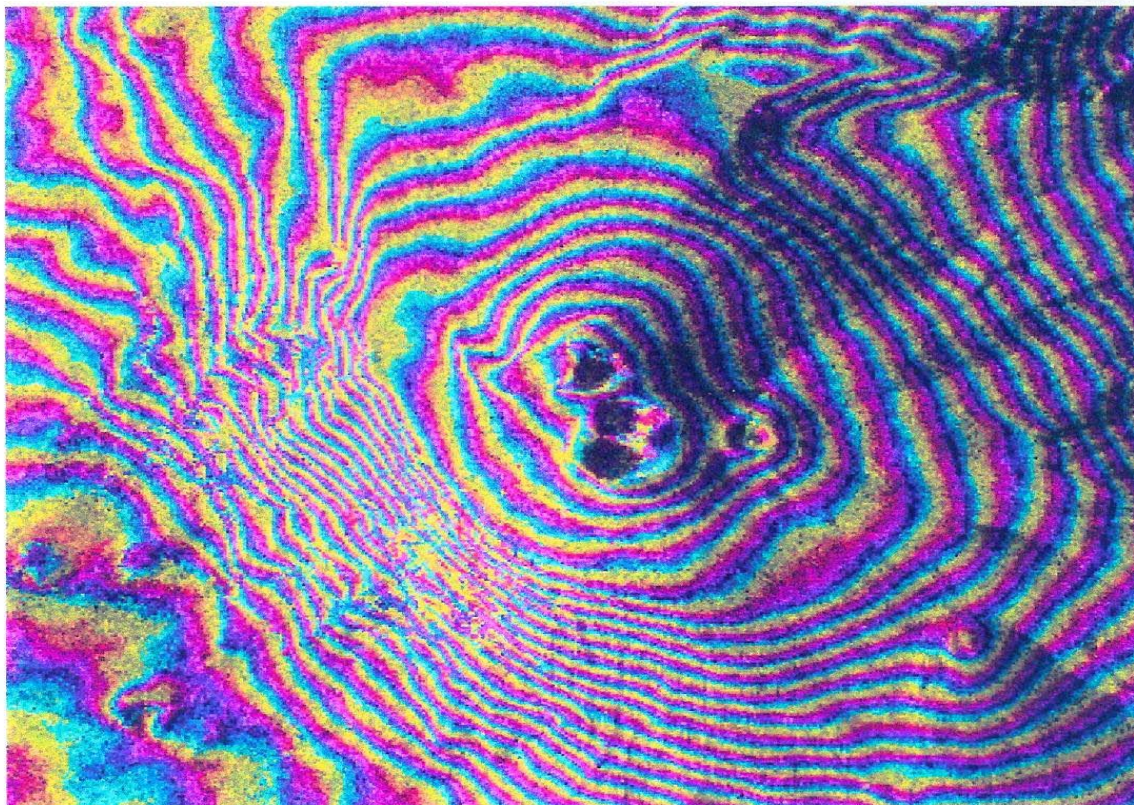




# ПРИНЦИПЫ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ





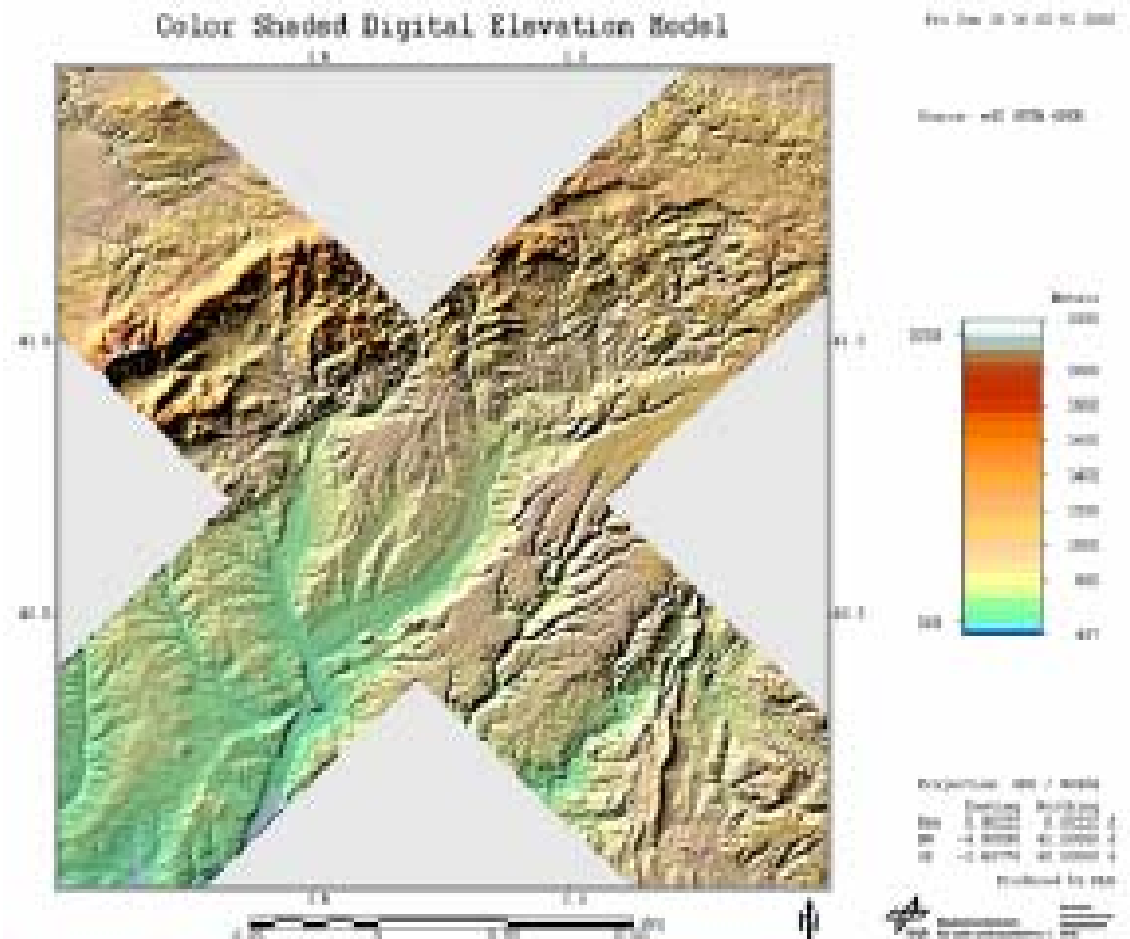


**РСА ERS-1: ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА  
РЕЛЬЕФА ГОРЫ ЭТНА (ИТАЛИЯ).**

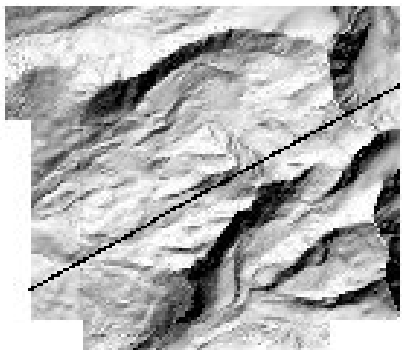
Линии равной разности фаз соответствуют линиям равных высот.  
Псевдоцветом передано изменение разности фаз от  $0$  до  $360^{\circ}$

# ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ

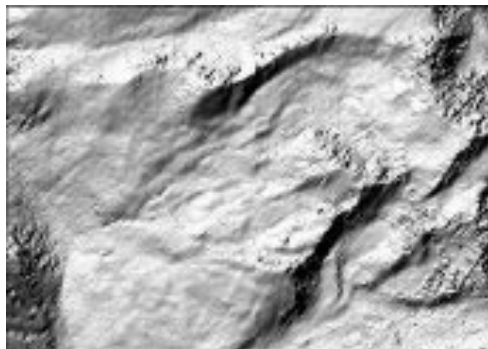
# DEM области вблизи МАДРИДА



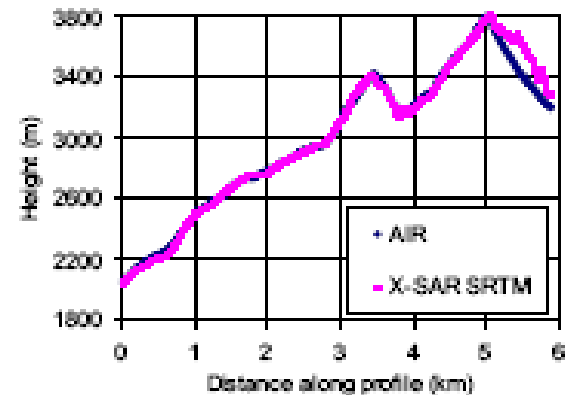
# ПОСТРОЕНИЕ РЕЛЬЕФА



ФОТОГРАМЕТРИЯ



РСА ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ



СРАВНЕНИЕ ВЫСОТ

**SIMPLON REGION, ШВЕЙЦАРИЯ**

**X-SAR SRTM**

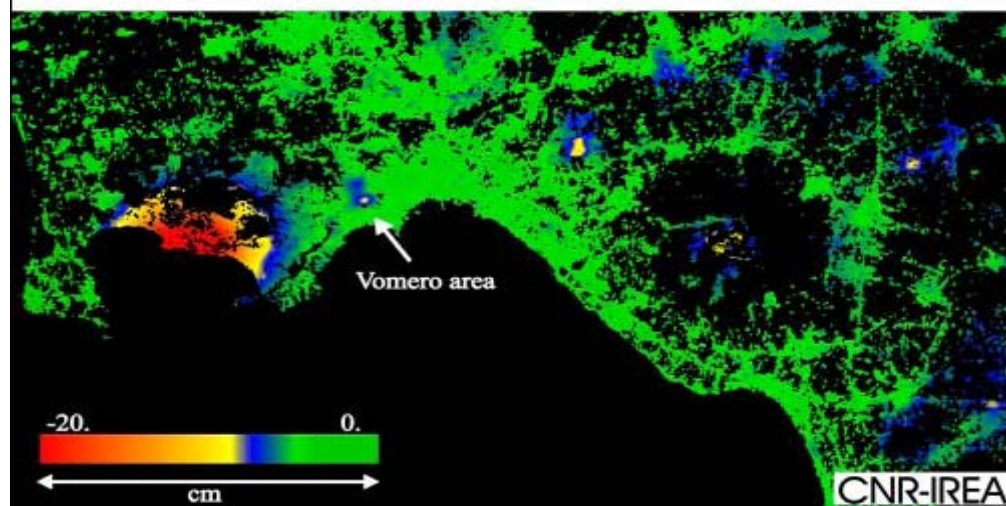
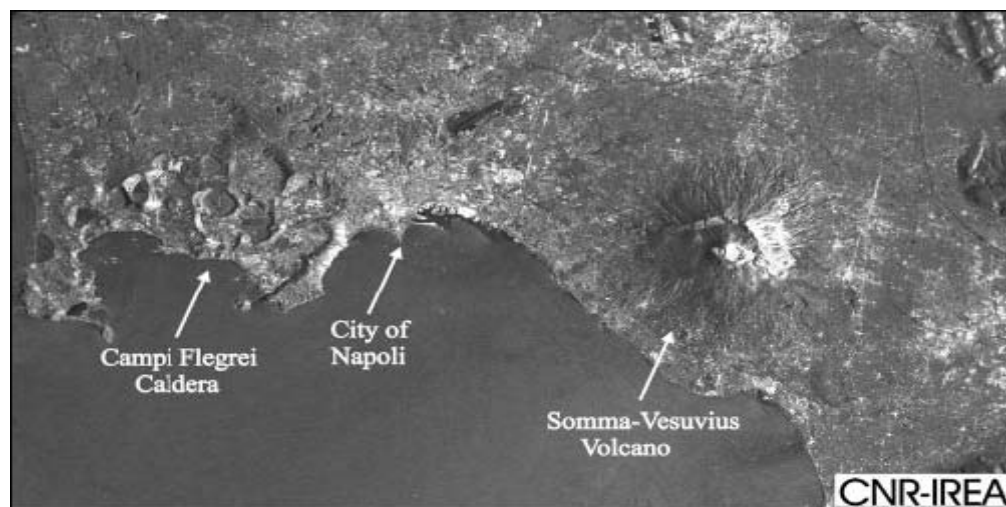
# ДЕФОРМАЦИИ

## ИТАЛИЯ

### РАЙОН НЕАПОЛЯ

НАИБОЛЬШЕЕ СМЕЩЕНИЕ В  
ЗОНЕ

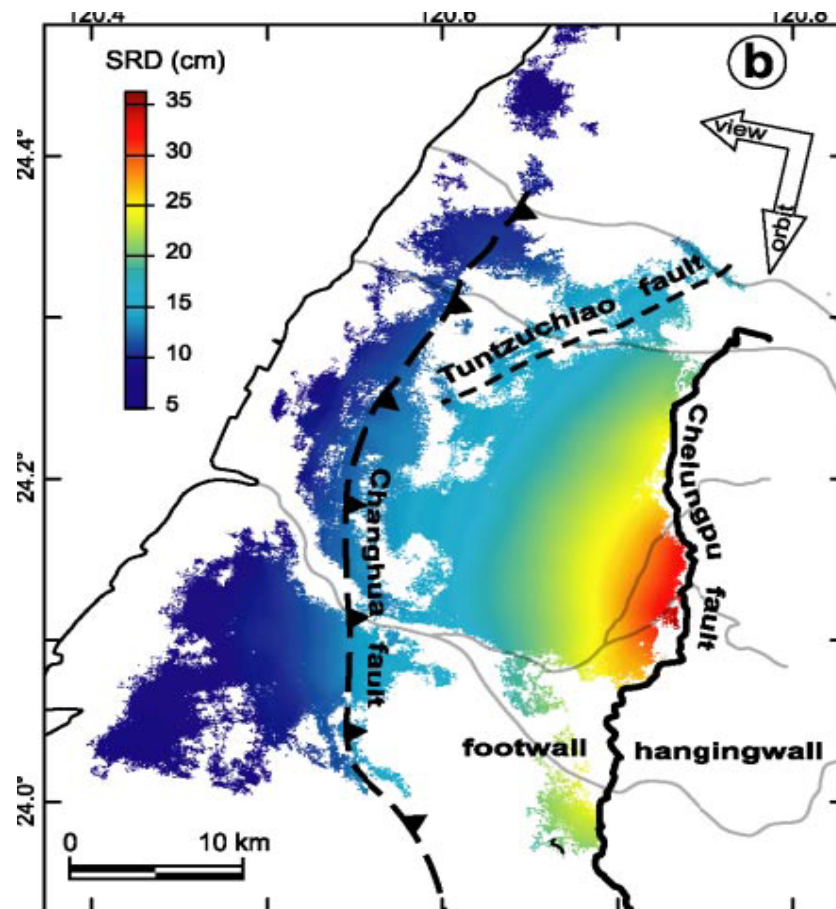
CAMPI FLAGREI CALDERA





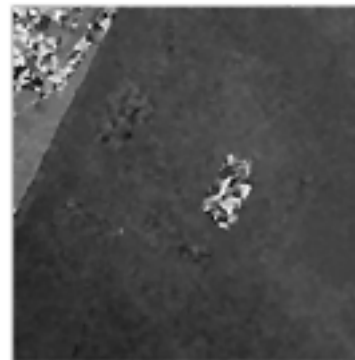
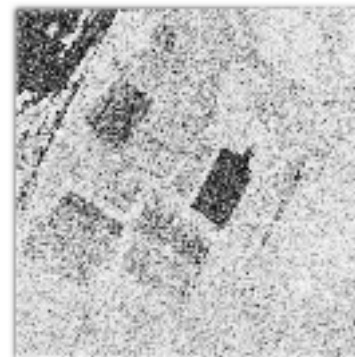
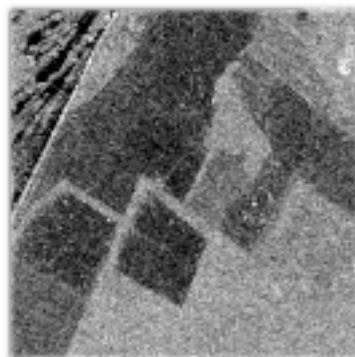
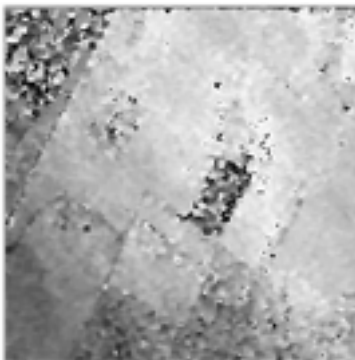
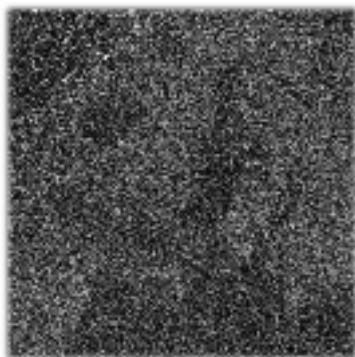
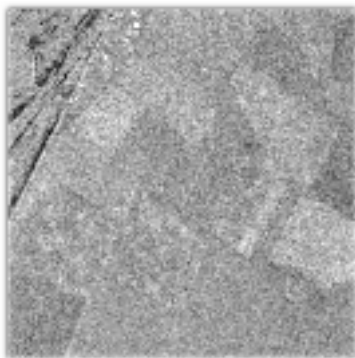
# ТЕКТОНИКА

СМЕЩЕНИЕ НАКЛОННОЙ  
ДАЛЬНОСТИ В ЗОНЕ  
СНІСНІ ЗЕМЛЕТРЯСЕННЯ  
1999г., ТАЙВАНЬ



# СРАВНЕНИЕ С И L ДИАПАЗОНОВ ДЛЯ НН ПОЛЯРИЗАЦИИ РАДАРА SIR-C

С



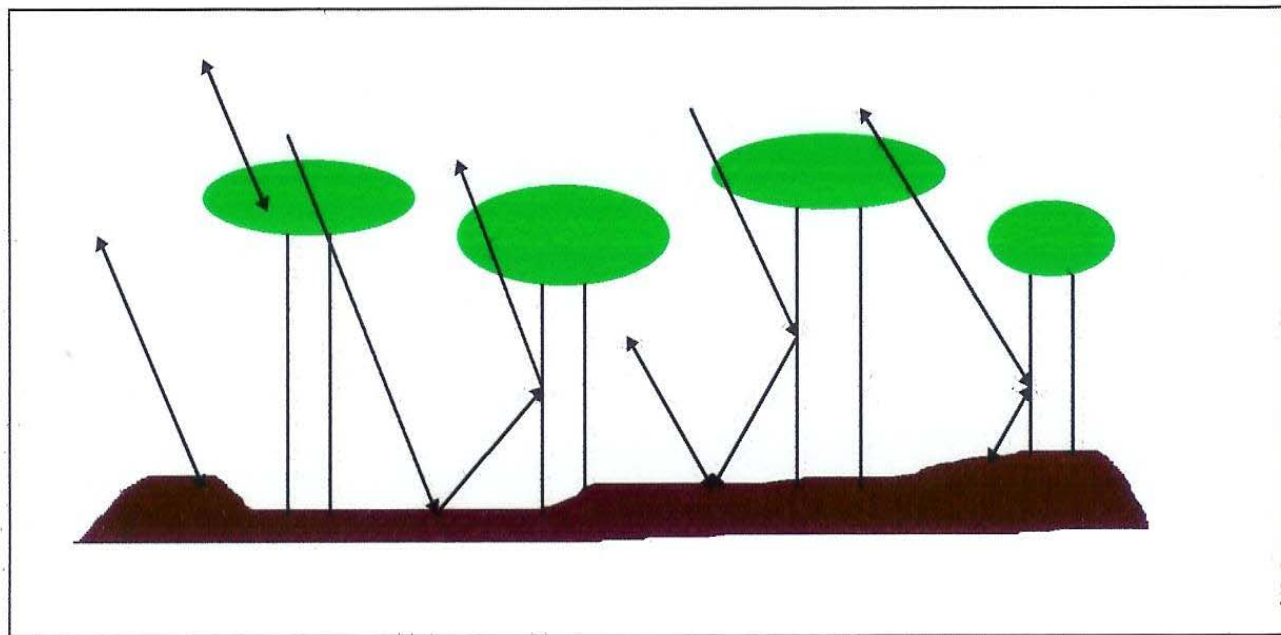
**МОЩНОСТЬ**

L

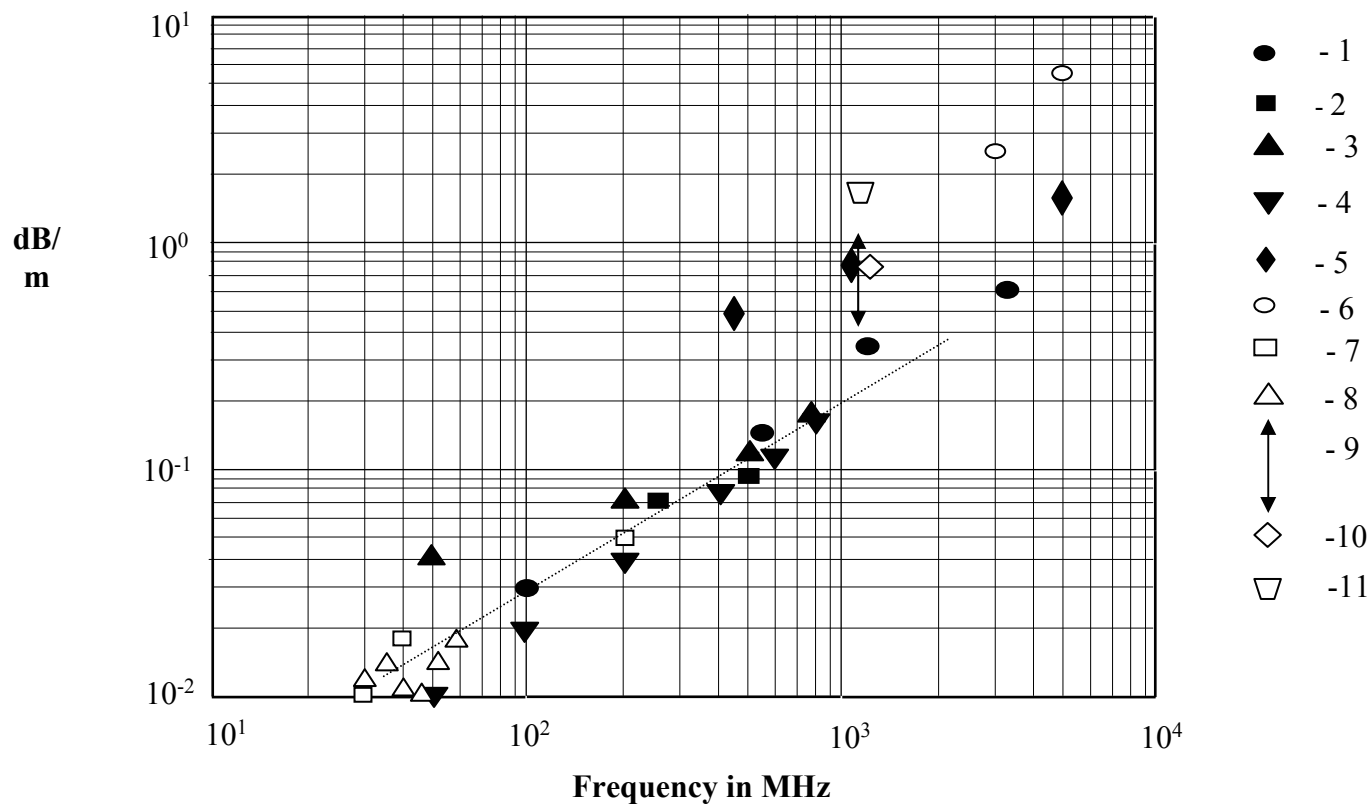
**КОГЕРЕНТНОСТЬ**

**ФАЗА**

# СХЕМА РАССЕЯНИЯ ЛЕСОМ

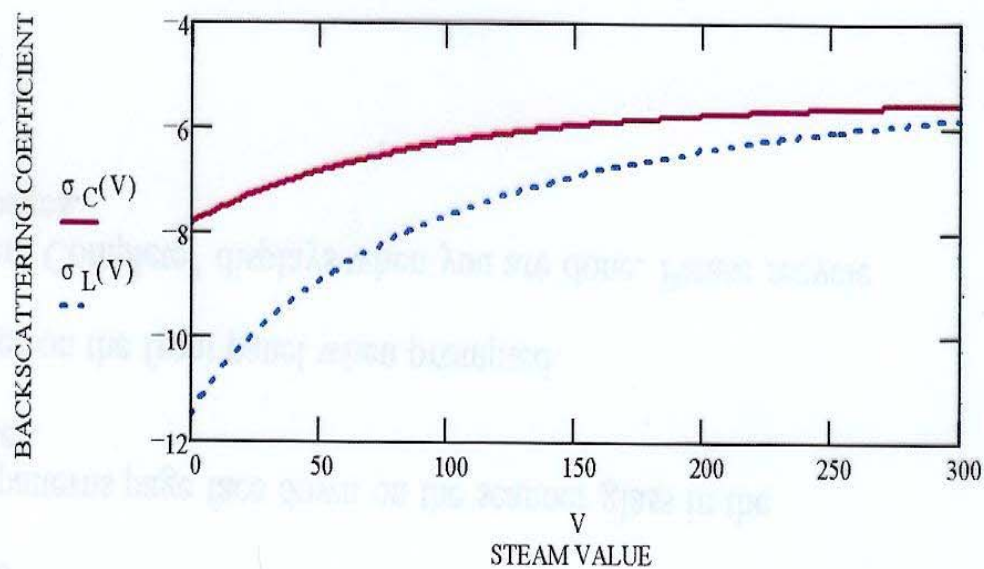


# ОСЛАБЛЕНИЕ ЛЕСНЫМИ ПОКРОВАМИ



. Experimental data on attenuation by different forests. 1, 2, 3, 4 – [64]; 5 – calculated data from [83]; 6 – [151]; 7, 8 – [154]; 9 – [135]; 10 – [134, 152]; 11 – [153].

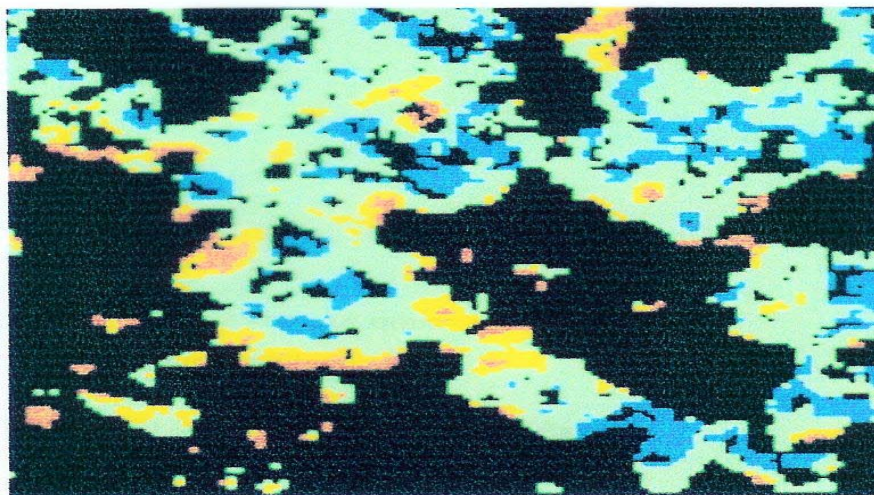
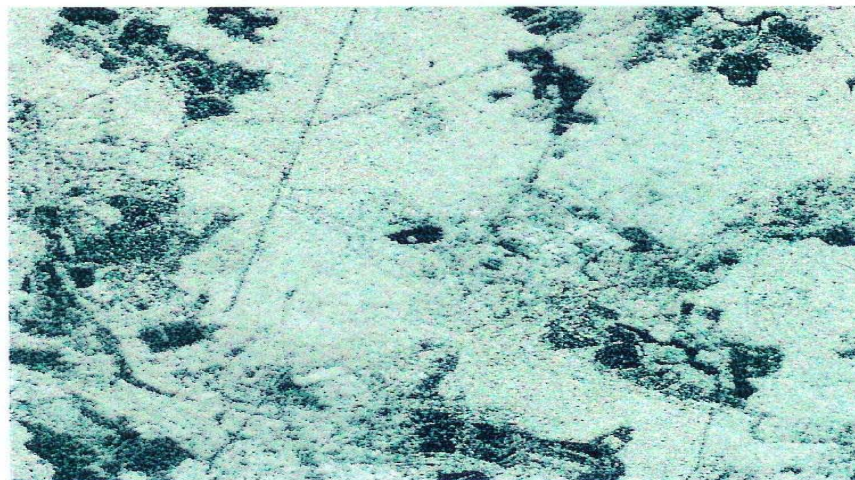
## СРАВНЕНИЕ С И L ДИАПАЗОНОВ ПРИ РАССЕЯНИИ ЛЕСОМ



Уровень насыщения 125 - 175 м<sup>3</sup>/га для С  
диапазона и 225 м<sup>3</sup>/га для L диапазона.

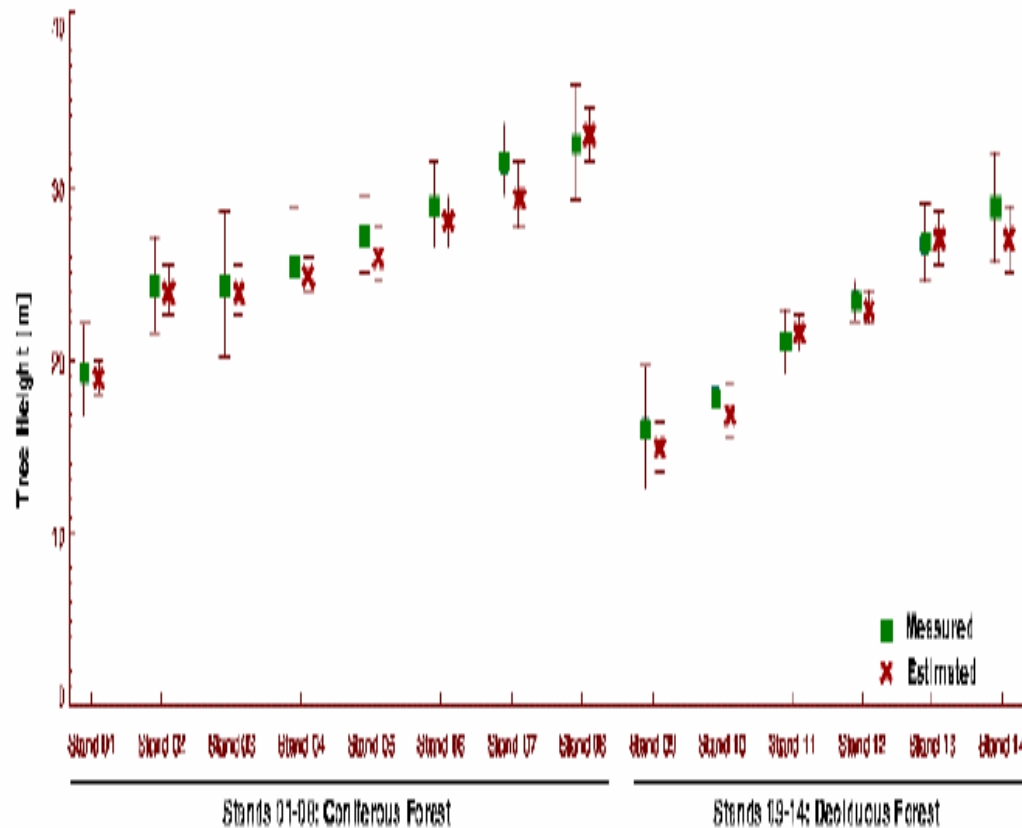


**КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ ЛЕСОВ ПО  
ДАНЫМ РСА SIR-C, LHV ДИАПАЗОН  
(красный-лиственный, зеленый-смешанный,  
синий-хвойный)**



# ВЫСОТА ДЕРЕВЬЕВ

- L- band,  
пол. измер.  
+интерфер.
- Bavaria

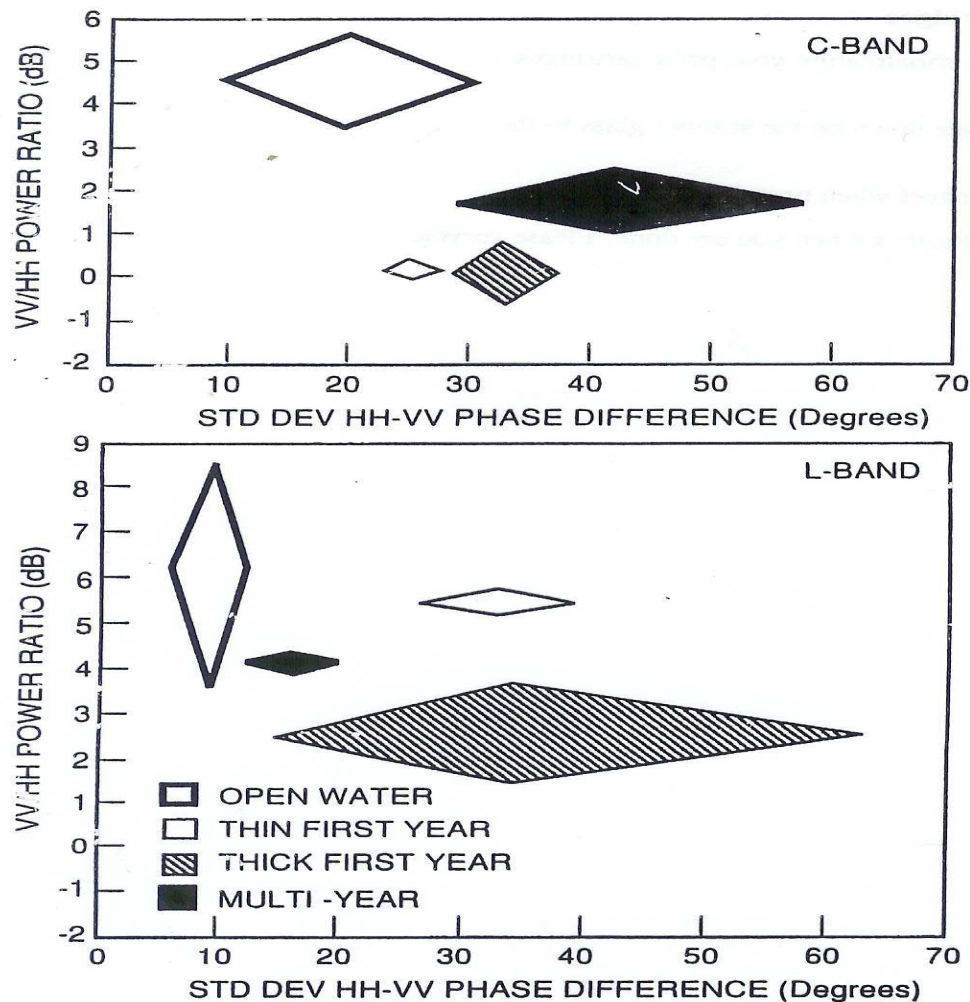




# РАДИОЛОКАЦИЯ ЛЬДА

## ЗАДАЧИ

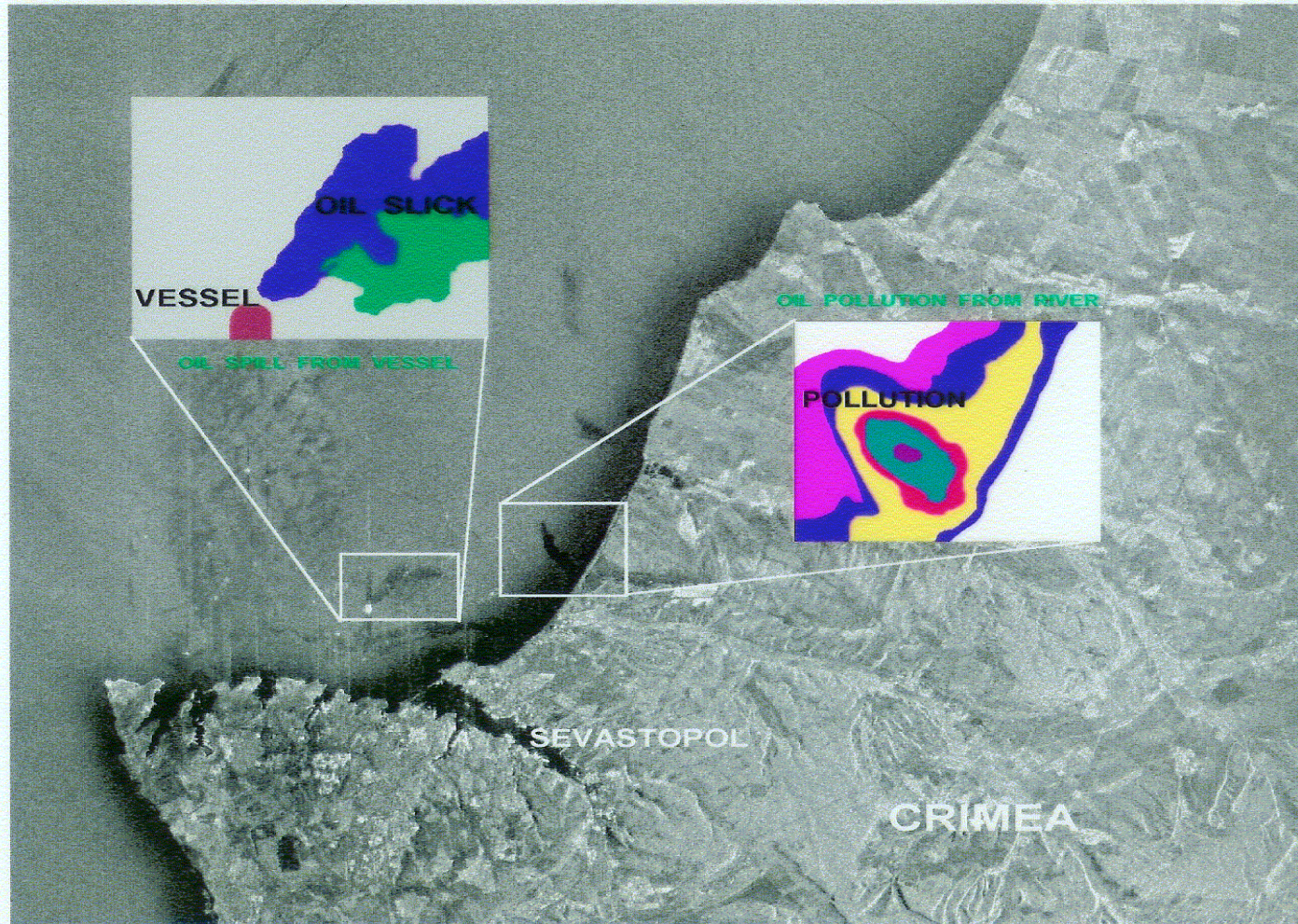
- ОТКРЫТАЯ ВОДА
- ОДНОЛЕТНИЙ ЛЁД
- МНОГОЛЕТНИЙ ЛЁД





# WATER ECOLOGY

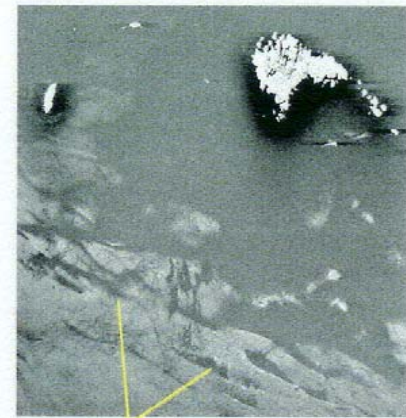
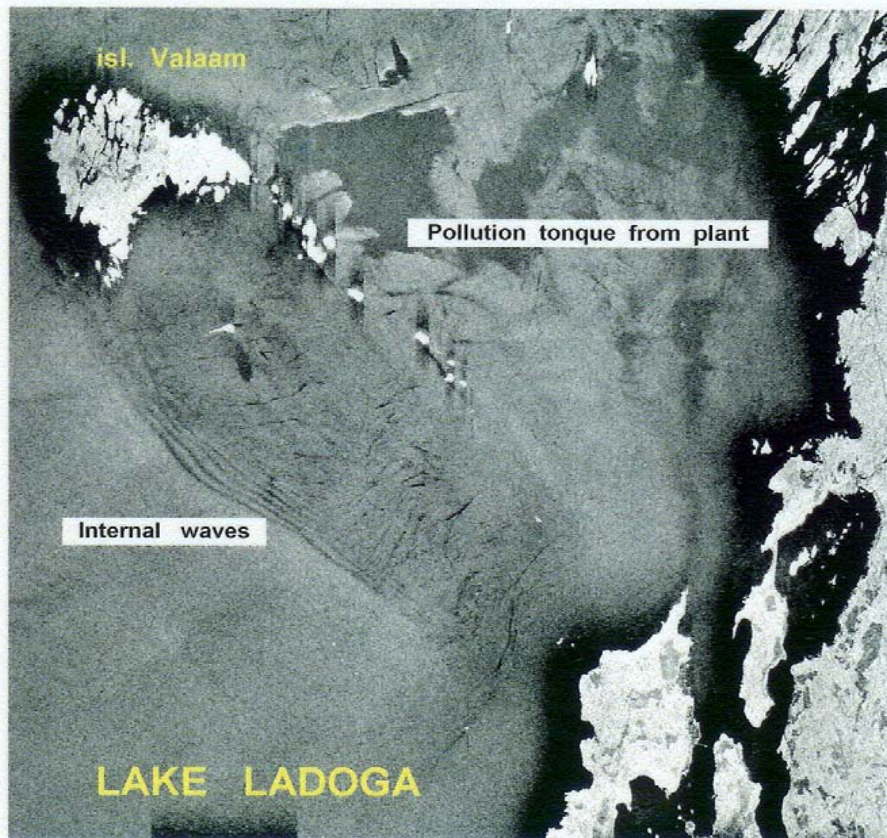
## OIL SPILLS IN THE BLACK SEA



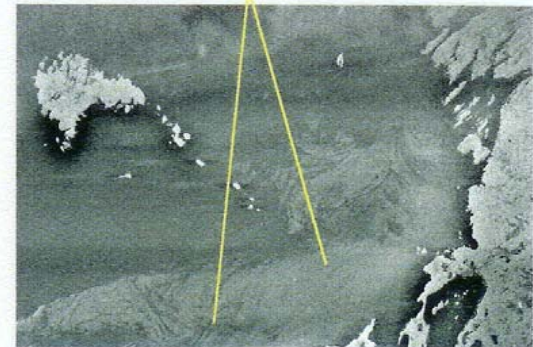


## LAKE HYDROECOLOGY

( LAKE LADOGA )



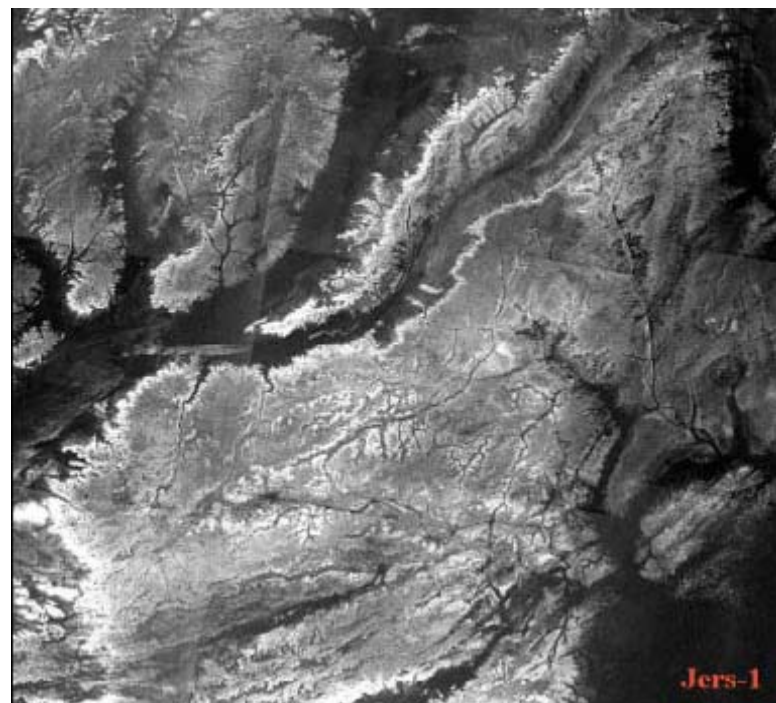
Slicks connected with phytoplankton activity



ALMAZ-1 SAR IMAGES

# ПОДПОВЕРХНОСТНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

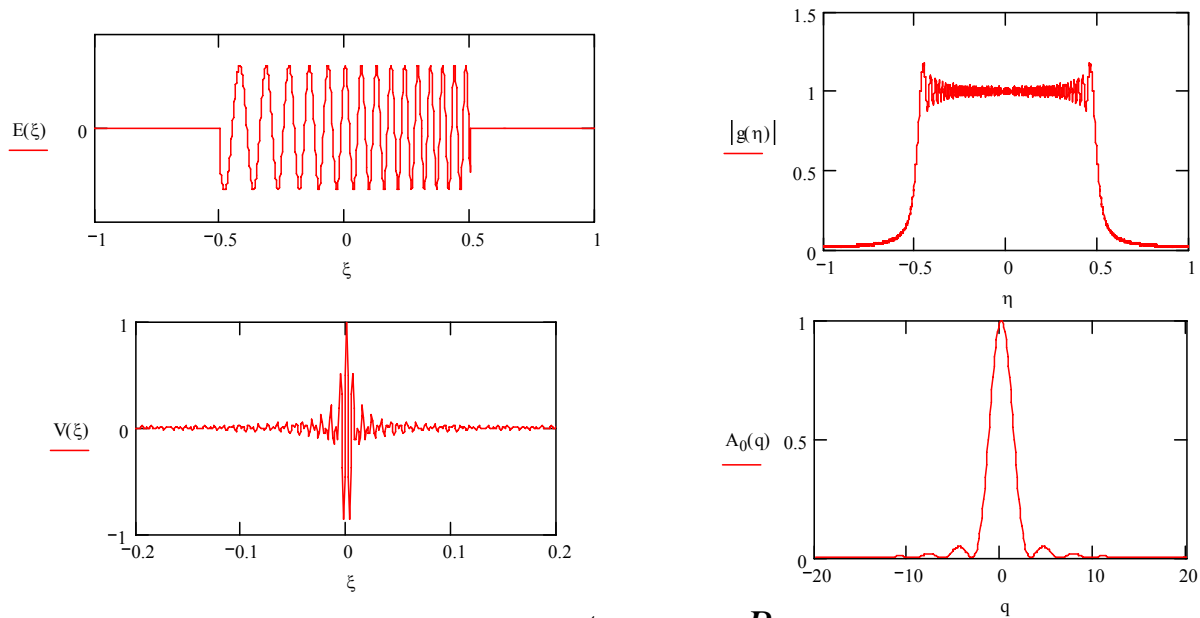
СЕВЕРНЫЙ СУДАН



# СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Области	Тематические задачи	L-диапазон	S-диапазон	C-диапазон	X-диапазон
Гляциология	типы морского льда	000	***	+++	+++
	динамика льдов	000	***	***	+++
	льды пресноводных водоемов	+++	***	***	000
	ледниковые покровы	+++	+++	+++	+++
	границы снежных покровов	+++	+++	***	000
Почва и гидрология	влажность почв	+++	+++	***	000
	шероховатость и эрозия почв	+++	+++	+++	+++
	типы ландшафтов	+++	***	***	000
	границы водоемов	+++	***	***	000
	водный эквивалент снега	000	***	+++	+++
Растительность	объем биомассы	+++	***	***	000
	влажность	+++	+++	+++	+++
	границы растительных покровов	+++	***	***	000
Океано-графия	течения, фронты	+++	+++	+++	000
	внутренние волны	+++	+++	+++	000
	ветровой стресс поверхности	+++	+++	+++	+++
	батиметрические структуры	+++	+++	***	000
Геология	тектоника, структуры земной коры	000	***	+++	+++
	изучение аридных земель	+++	+++	***	000
	процессы опустынивания	000	000	***	+++

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИГНАЛА



$$\xi = \frac{t}{T} \quad \eta = \frac{B}{f}$$

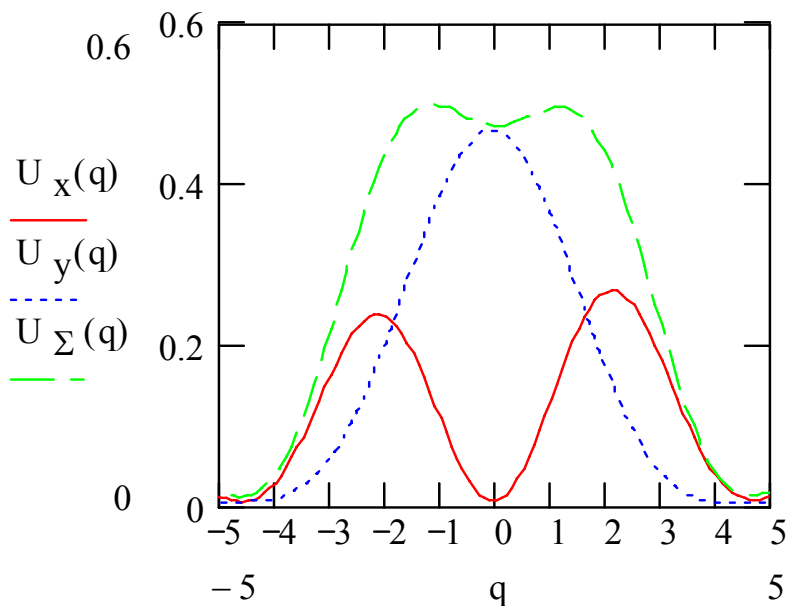
**СИГНАЛ – ОГИБАЮЩАЯ НА ВЫХОДЕ  
СОГЛАСОВАННОГО ФИЛЬТРА**

# ОСНОВНЫЕ ИОНОСФЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ

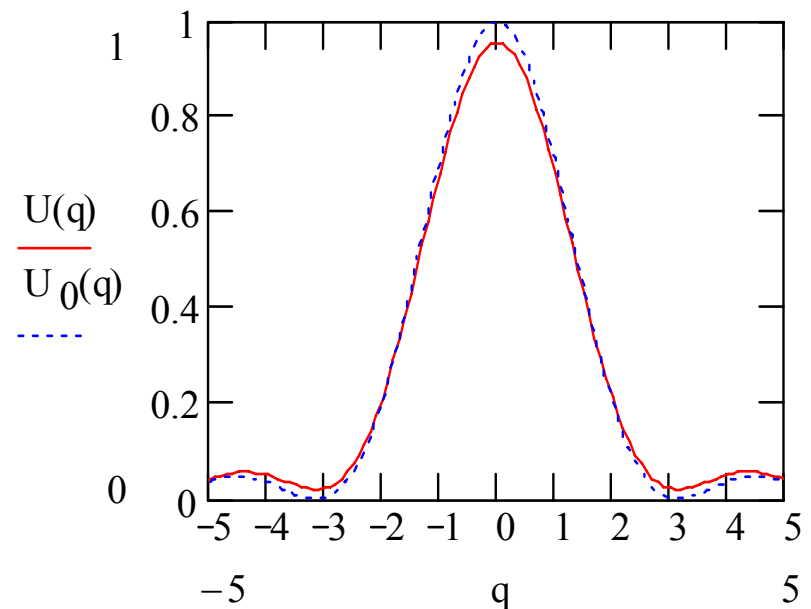
- АНИЗОТРОПИЯ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ, СВЯЗАННАЯ С НАЛИЧИЕМ ЗАМЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ.
- ДИСПЕРСИЯ, ВЫЗВАННАЯ ЗАВИСИМОСТЬЮ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ.
- ФЛУКТУАЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ



# АНИЗОТРОПИЯ ИОНОСФЕРЫ



$f_0$

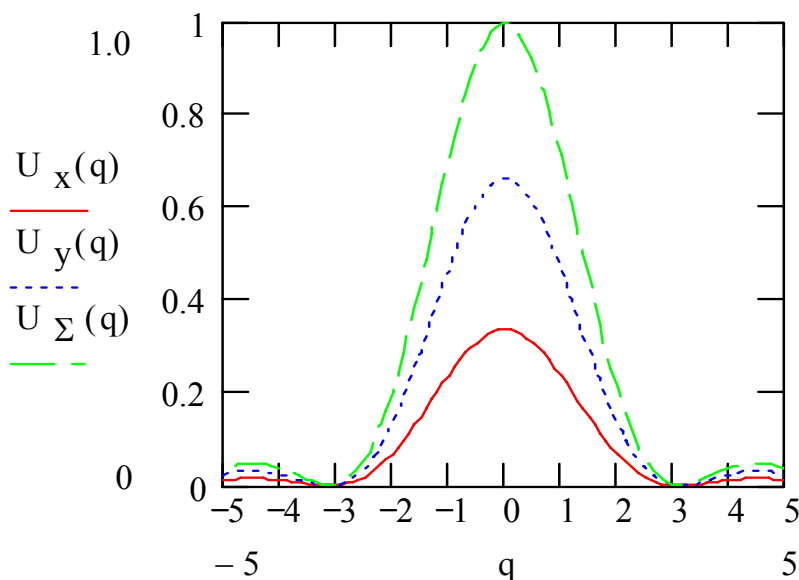


$$f_0 = 100 \text{ МГц}$$

$$N_t = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$$

$$p = \frac{B}{2f_0} = 0.01$$

# ЭФФЕКТ «ПЛОТНОЙ» ИОНОСФЕРЫ НА ФОРМУ СИГНАЛА В L ДИАПАЗОНЕ

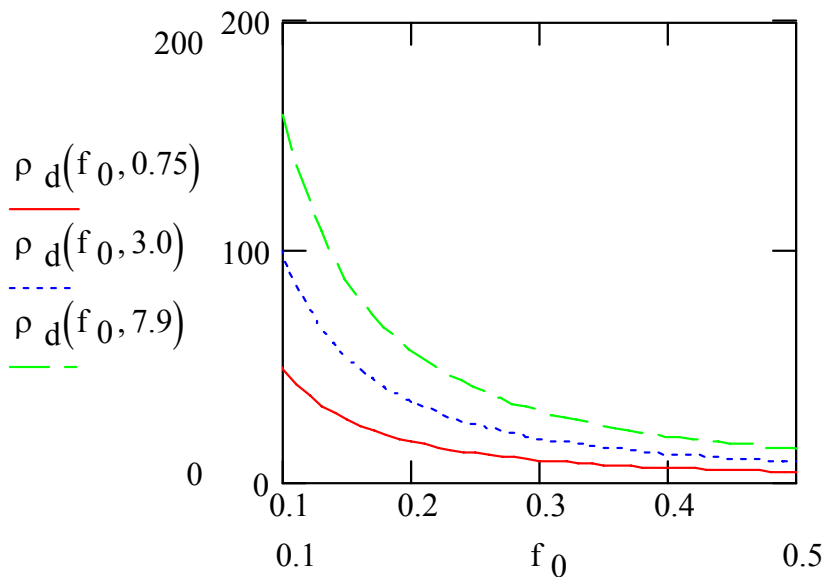


$$f = 1.4 \text{ ГГц}$$

$$N_t = 7.9 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$$

**TerraSAR-L System – коррекция ионосферы**

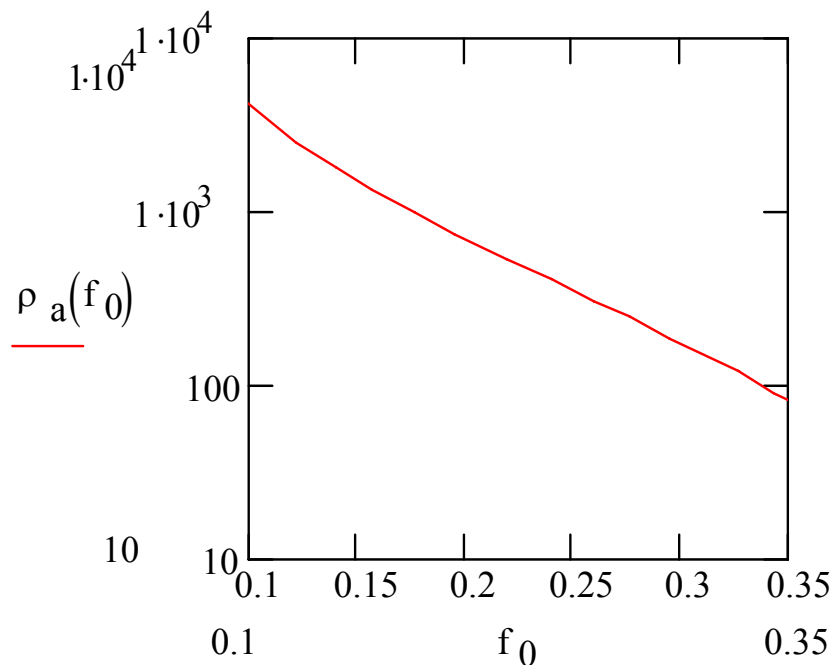
# ОГРАНИЧЕНИЯ НА РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПО ДАЛЬНОСТИ



$$\rho_d = \frac{1.07 \cdot 10^9}{\sin \alpha} \sqrt{\frac{N_t}{\cos \alpha}} f_0^{-3/2}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

# ОГРАНИЧЕНИЯ НА РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПО АЗИМУТУ



$$\varphi^2 = \frac{3.14 \cdot 10^{-4}}{f_0^2 \cos \alpha} (\delta N)^2 \hat{N}_t^2 l$$

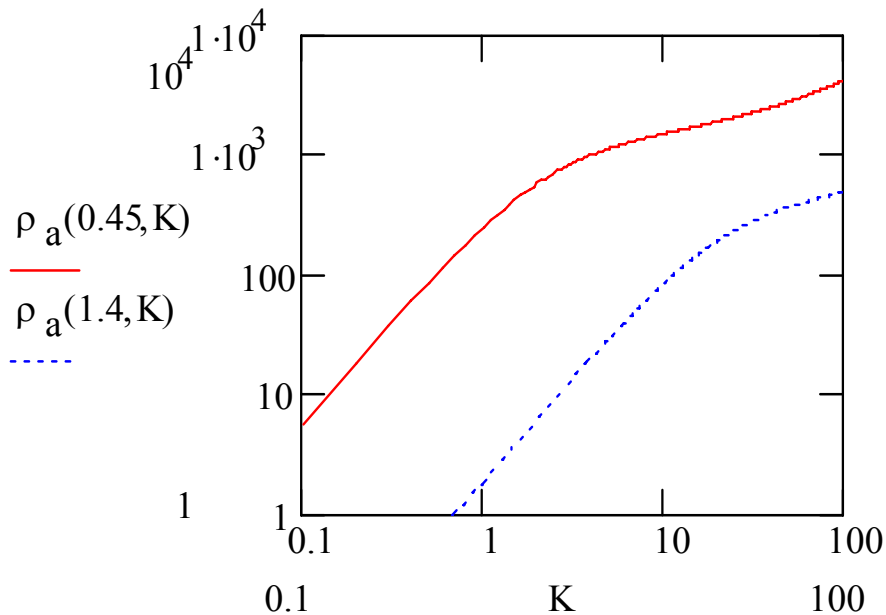
$$\delta N = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$\hat{N}_t^2 = 1.45 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-5}$$

$$l = 10^5 \text{ см}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

# ВЛИЯНИЕ ВОЗМУЩЁННОСТИ ИОНОСФЕРЫ НА РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПО АЗИМУТУ



$$K = (\delta N)^2 \hat{N}_t^2 l \cdot 10^{-20}$$

$$\bar{K} \cong 0.4 \text{ см}^{-4}$$

## ВЫВОДЫ

- Ионосфера может сильно искажать сигналы РСА
- Эти искажения могут приводить к заметному ухудшению разрешающей способности РСА
- Особенно ухудшают разрешающую способность флуктуации фазы радиоволн, порождаемые неоднородностями ионосферы
- Необходимо разрабатывать методы коррекции ионосферных эффектов



# КОНДОР

Performance	Value			
Orbit altitude, km	500			
Orbit inclination	Is determined by the customer			
SAR wavelength, cm	9.5 (S-waveband)			
Swath direction	Starboard / port			
Survey Swath, km	2× 450			
Survey modes	DSM	SLM	SM	SSM
Resolution, m:				
azimuth	2.5+3	1+2	5+10	30
ground range	1.5+2.5	1+2	5+10	30
Polarization	HH, VV	HH	VV	VV
Range swath, km	10+25	8+10	20+40	150
Route length, km	≤ 500	8-10	≤ 500	≥ 500
Look number	1	2+4	2+4	4+5
$\sigma^0$ noise equiv., dB	-17	-20	-20	-20

# КОРУНД

Диапазон	L	P
Разрешение, м	3-4, прожектор 5-6, полосовая 30-50, скан	30
Полоса обзора, км	15*30, прожектор 40-100, полосовая 280-450, скан	60-120
Чувствительность, дБ	-20...-30	-30...-35