

ОЦЕНКА ПУТЕЙ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ГЕОРАДАРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОСФЕРЫ

В.В.Егоров, В.К.Шухостанов, Л.А.Ведешин

Отделение «Диагностика и безопасность
техносферы» РАЕН

Контакты: тел. (095) 333-3589, e-mail: victor_egorov@mail.ru

Цель доклада – предварительная оценка
возможности и целесообразности создания
системы аэрокосмической диагностики
техносферы

Объекты техносферы:

- нефтегазопроводы, продуктопроводы
- хранилища УВС и отходов производств,
- крупные инженерные сооружения,
- железные и шоссейные дороги, аэродромы,
- объекты коммунального хозяйства и др.

Система георадарной диагностики

Принцип построения – иерархический

Система должна включать высотные уровни:

- космический (600 – 700 км),
- авиационный (100 – 1000 м, 2 – 20 км).
- надземный (10 - 50 м),
- наземный и подземный уровни (каротаж).

Проблемы георадарной диагностики

Спутниковые РСА (Р, UHF, VHF-диапазоны): влияние ионосферы и поверхностных отражений (clutter);

Самолетные и вертолетные РСА (L, Р, UHF, VHF-диапазоны): влияние поверхностных отражений (clutter), нестабильность трассы полета;

Надземные (L-диапазон): влияние поверхностных отражений (clutter), сложность синтеза;

Наземные (С, L, Р, UHF, VHF-диапазоны): низкая оперативность, влияние земли на характеристики диаграммы направленности антенны.

Оценка влияния ионосферы на характеристики спутниковых РСА

Поворот плоскости поляризации принимаемого сигнала

Эффект:

снижение разрешающей способности за счет расширения и искажение формы сигнала на выходе согласованного фильтра (коррелятора).

Способ компенсации:

использование зондирующего сигнала с круговой поляризацией

Оценка влияния ионосферы на характеристики спутниковых РСА (продолжение)

Фазовая дисперсия

Эффект: снижение разрешения по дальности ρ_d в 3-5 раз

$$\rho_d = \frac{1,07 \cdot 10^9}{\sin \alpha} \sqrt{\frac{N_e}{\cos \alpha}} f^{3/2},$$

где N_e – общее содержание электронов в трубке с поперечником 1 м^2 на трассе луча при двукратном прохождении, α – угол визирования, отсчитываемый от нормали, f – частота сигнала.

Оценка влияния ионосферы на характеристики спутниковых РСА (продолжение)

Фазовая дисперсия

Способ компенсации: использование согласованного фильтра с комплексным коэффициентом передачи $K_F(\omega)$,

причем $\arg K_F(\omega) = - [\arg S(\omega) - \varphi_i(\omega)] - \omega t_0$, где

$$\varphi_i(\omega) = \varphi_0(\omega) + \Omega \varphi_0' + \Omega^2/2 \times \varphi_0'' + \Omega^3/3! \times \varphi_0''' + \dots$$

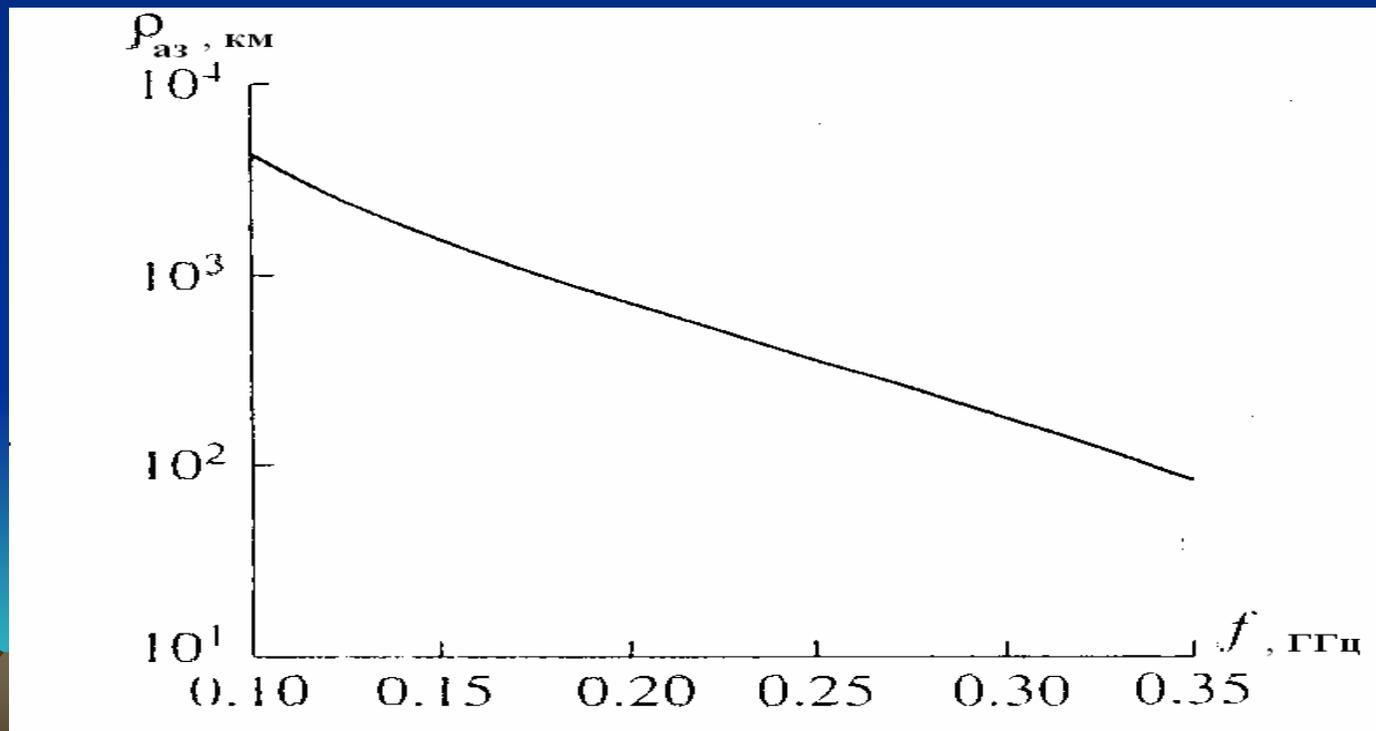
$$\left(\frac{B}{f_0} \right)_1 \leq 310 \left(\frac{f_0 \varphi_{3\max}}{\pi \cdot N_e} \right)^{1/3},$$

где B – девиация частоты внутриимпульсной модуляции, $\varphi_{3\max} = \pi/2$. Пусть $\lambda=2,5$ м, $N_e=10^{18}$ м⁻². Тогда $B = 15$ МГц, а $\rho_d = 15$ м.

Оценка влияния ионосферы на характеристики спутниковых РСА (продолжение)

Фазовые флуктуации эхо-сигнала

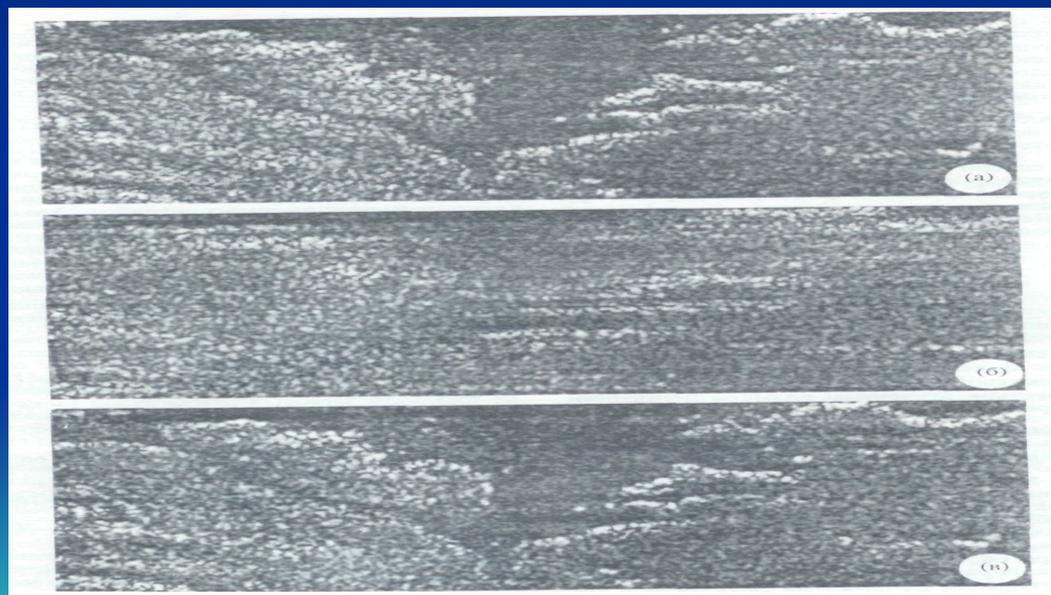
Эффект: уменьшение времени апертурного синтеза и
снижение разрешения по азимуту $\rho_{аз}$



Оценка влияния ионосферы на характеристики спутниковых РСА (продолжение)

Фазовые флуктуации эхо-сигнала

Способ компенсации: фазовоградиентная автофокусировка (ФГА).



Максимальная глубина обнаружения объектов техносферы

Контраст объектов на фоне
поверхностных отражений

$$K = 10 \lg(P_c / P_\phi), \text{ дБ,}$$

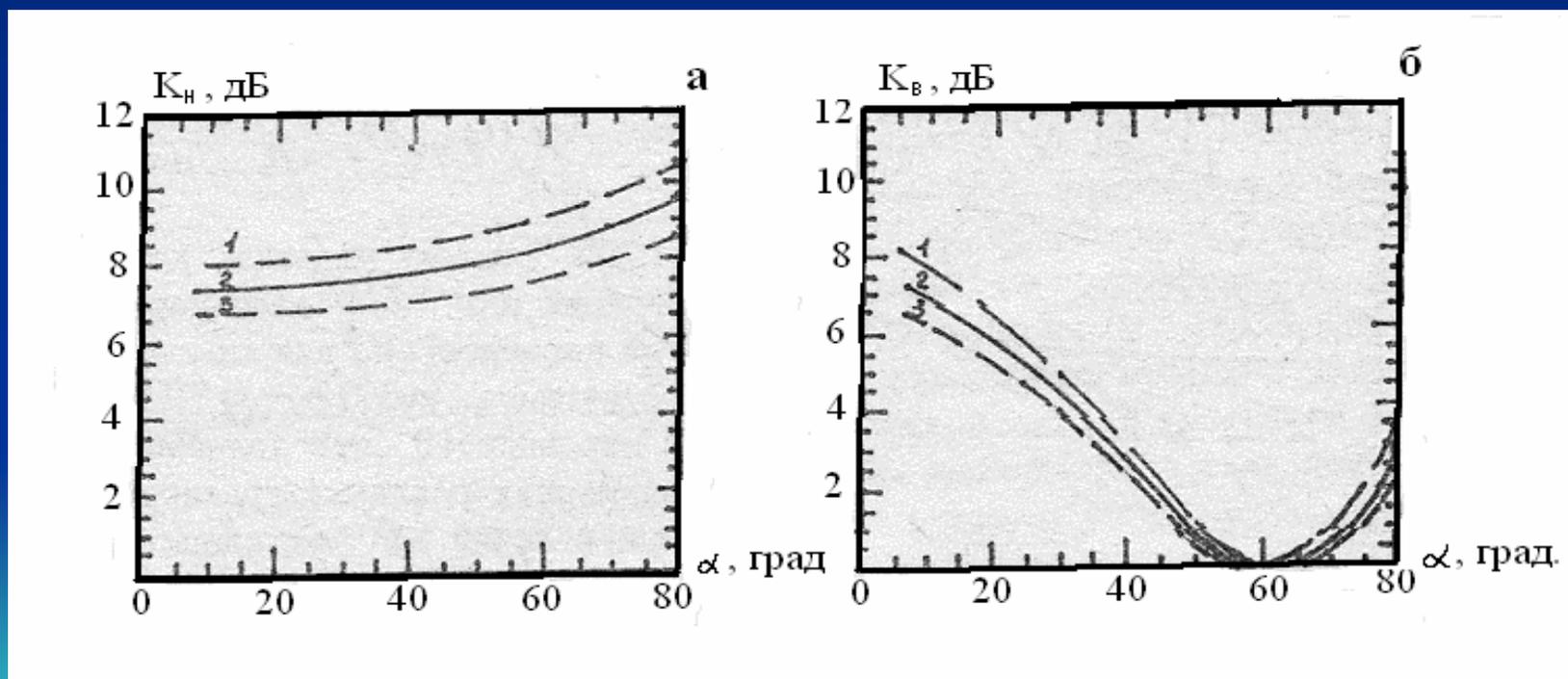
где K - коэффициент контраста, т.е. отношение
мощности сигнала P_c , рассеянного
подповерхностным объектом, к мощности
электромагнитных волн, рассеянных
границей «воздух-почва» P_ϕ

Максимальная глубина обнаружения объектов техносферы

(продолжение)

Контраст объектов на фоне поверхностных отражений для горизонтальной и вертикальной поляризаций:

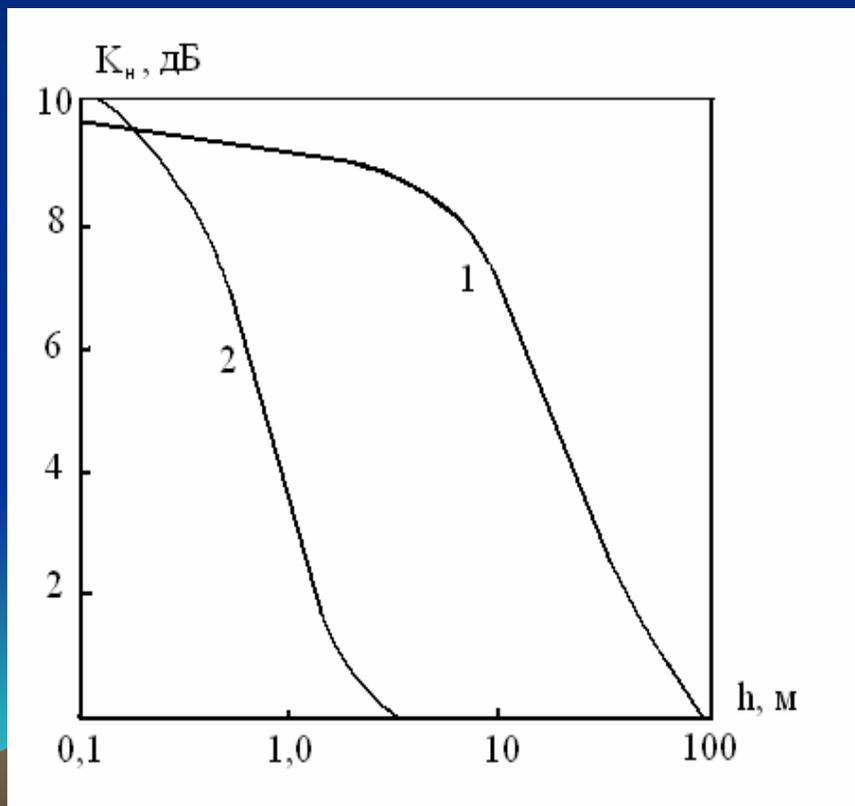
Условия: песок, $\lambda = 1,8$ м, 1. $h=5$ м, 2. $h=10$ м, 3. $h=15$ м



Максимальная глубина обнаружения объектов техносферы

(продолжение)

Контраст объектов K_H на фоне поверхностных отражений



1 – песок

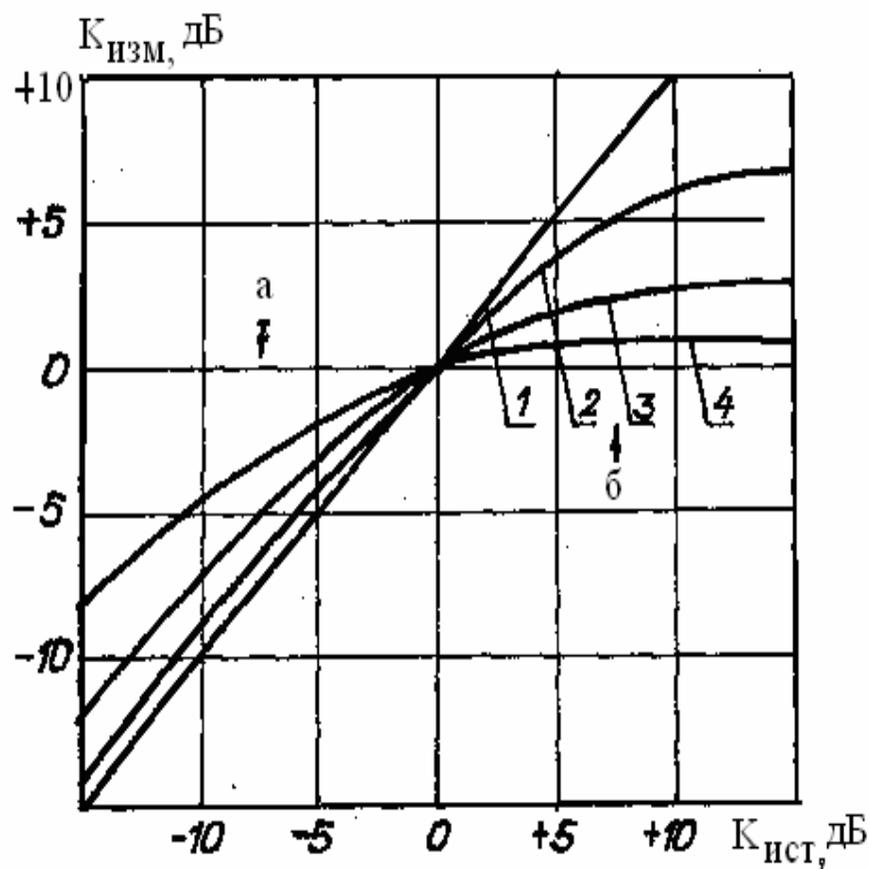
2 – глина

$\lambda = 1,8$ м

Поляризация

горизонтальная

Влияние разрешения на контраст



1. $S_{\text{пиксела}}/S_{\text{объекта}} < 1,$

2. $S_{\text{пиксела}}/S_{\text{объекта}} = 1,25,$

3. $S_{\text{пиксела}}/S_{\text{объекта}} = 2,0,$

4. $S_{\text{пиксела}}/S_{\text{объекта}} = 5,0.$

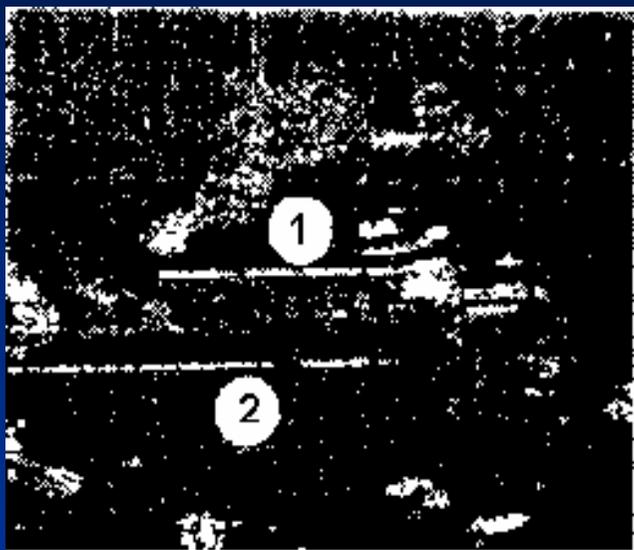
а – для сильно отражающих объектов (металл);

б – для нефтяных разливов.

Расчет глубины обнаружения для авиационных РСА

Параметр РСА (георадара)	AIRSAR (самолет)	MkV (вертолет)	ИМАРК (самолет)	CARABAS (самолет)
Средняя частота, МГц	438,7	225 и 375	118	51,25
Полоса частот модуляции,	20 (40)	150	10	58
Разрешение по дальности, м	7,5	1	15	3
Разрешение по азимуту, м	1	1	15	3
Полоса обзора, км:	17	0,7	24	16
Макс. глубина обнаружения песок (вл. глина), м:				
- трубопроводов металлических:				
$\varnothing = 1000$ мм;	4,2 (0,21)	6,1 (0,4)	10 (0,5)	12 (0,6)
$\varnothing = 100$ мм.	3,1 (0,13)	3,86(0,28)	7,3 (0,39)	8,75 (0,44)
- трубопроводов железобетонных:				
$\varnothing = 1000$ мм;	3,31 (0,17)	4,7 (0,25)	7,9 (0,43)	9,48 (0,5)
$\varnothing = 100$ мм.	2,39 (0,12)	3,0 (0,15)	5,0 (0,24)	6,1 (0,29)
- металлических контейнеров ($\varnothing=5$ м);	6,2 (0,27)	7,2 (0,5)	12 (0,55)	14 (0,7)
- зон подтопления;	2,46 (0,21)	4,1 (0,25)	6 (0,35)	6 (0,35)

Примеры (РСА «ИМАРК», $\lambda = 2,54$ м)



Нефтепроводы

1 и 2.

Глубина «всплытия»

0,5 м



а

б

Трубы оросительной системы:

а - $\lambda = 2,54$ м; б - $\lambda = 4$ см. Высота труб – 1,5 -2м, $\text{Ø} = 0,15 - 0,2$ м

ВЫВОДЫ

1. Многоуровневая структура системы георадарной диагностики обусловлена иерархическим строением объектов техносферы.
2. Спутниковые РСА (Р, UHF и VHF-диапазонов) при надлежащей компенсации влияния ионосферы, способны обеспечивать разрешение 15 м и менее. Контрастные объекты техносферы (металлические трубы, контейнеры и т.п.) могут эффективно диагностироваться аэрокосмическими РСА.
4. Слабоконтрастные объекты (полиэтиленовые трубы, хранилища в естественном грунте) не могут быть обнаружены с заданными $P_{об} = 0,9$ и $P_{лт} = 0,1$.
5. Требуется проведение дальнейших исследований.

ВОПРОСЫ?

Егоров Виктор Валентинович

Тел.: (095) 333-3589

e-mail: victor_egorov@mail.ru