


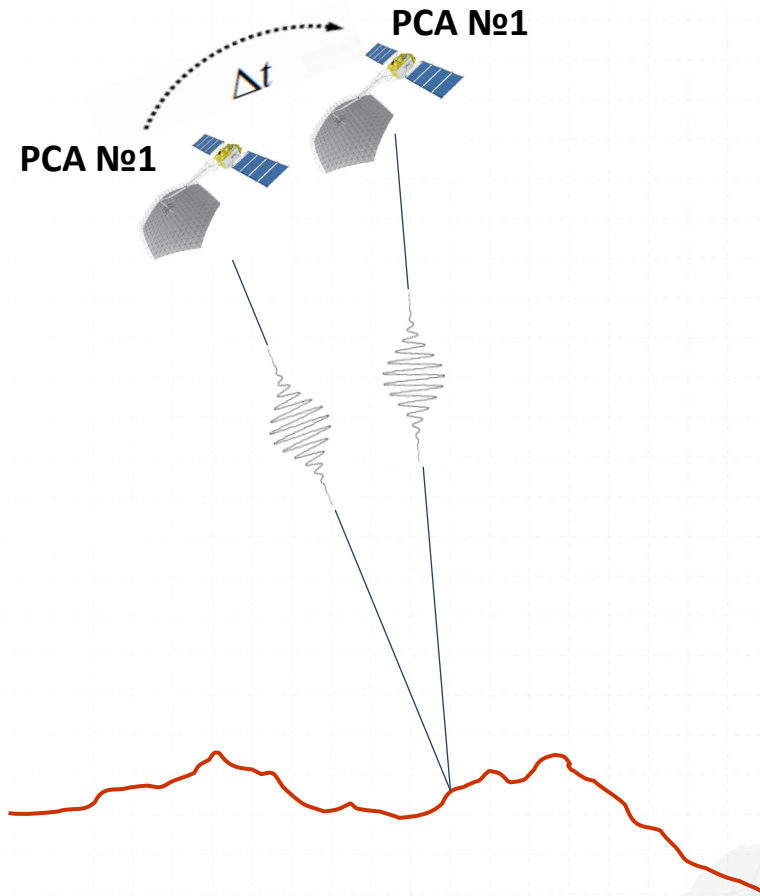
# ОЦЕНКА ВЫСОТЫ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ОДНОПРОХОДНОГО РСА-ИНТЕРФЕРОМЕТРА СКОШЕННОГО ОБЗОРА

Восемнадцатая Всероссийская Открытая  
конференция  
«Современные проблемы дистанционного  
зондирования Земли из космоса»  
ИКИ РАН 16-20 ноября 2020 г.



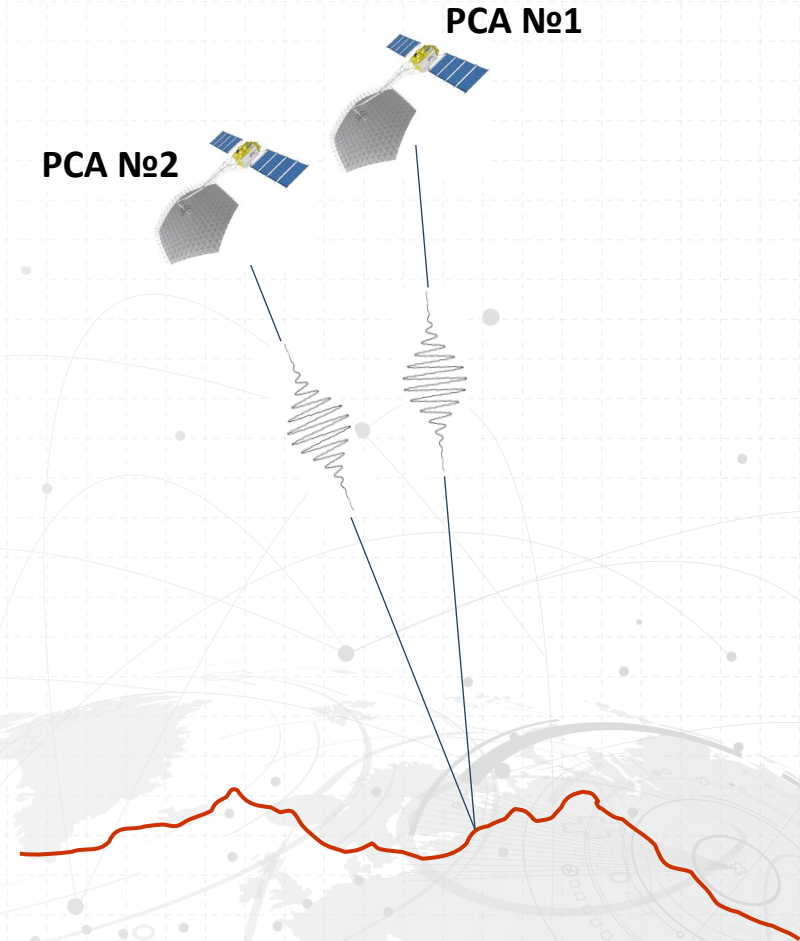
Л.А.Бадак, Е.А.Костюк  
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«РОССИЙСКАЯ КОРПОРАЦИЯ РАКЕТНО-  
КОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И  
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ»

## Многопроходная интерферометрическая съемка

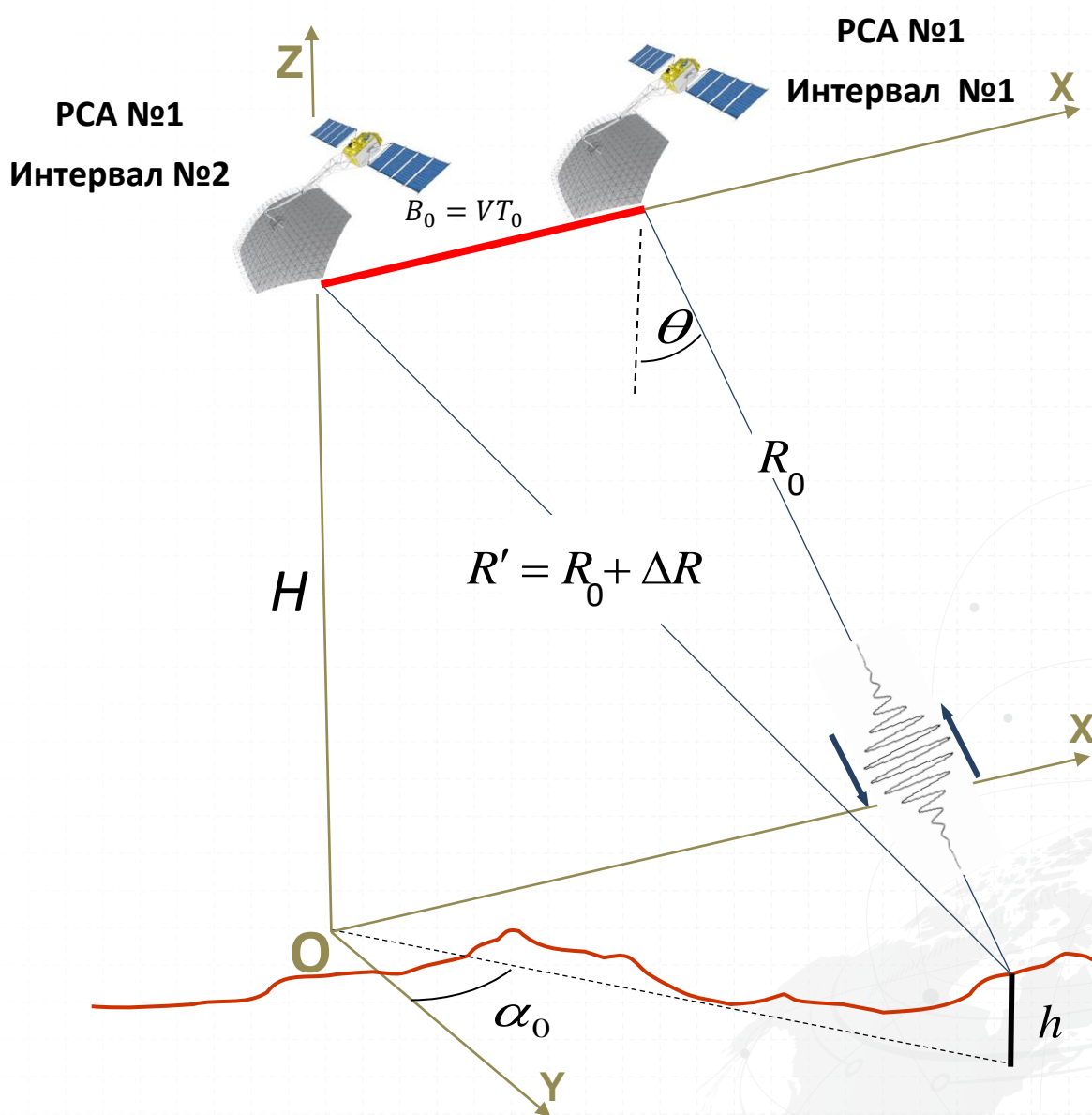


- ✓ Требуется одна антенна
- ✓ Присутствует временная декорреляция

## Однопроходная интерферометрическая съемка



- ✓ Требуется две антенны
- ✓ Отсутствует временная декорреляция



- ✓ Требуется одна антенна
- ✓ Отсутствует временная декорреляция

Интервал № 1:  $\phi_1 = -\frac{4\pi}{\lambda} R$

Интервал №2:  $\phi_2 = -\frac{4\pi}{\lambda} (R + \Delta R)$

Интерферограмма:

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta R \approx \frac{2\pi}{\lambda} \frac{hB_0 \sin(2\theta_0) \sin \alpha_0}{R}$$

Цель исследования: разработка алгоритма обработки траекторного сигнала РСА-интерферометра скошенного обзора, обеспечивающего формирование оценки рельефа местности наилучшую (оптимальную) по некоторому критерию качества.

В случае отсутствия априорных сведений о наблюдаемой величине для нахождения оптимальной оценки рельефа местности в полоске дальности  $m$  наблюдаемой поверхности целесообразно воспользоваться принципом максимального правдоподобия.

В соответствии с *принципом максимального правдоподобия*, наиболее близким к действительному состоянию является то значение вектора высот местного рельефа, при котором функция правдоподобия, т.е. функционал плотности вероятности распределения траекторного сигнала оказываются максимальными:

$$\left. \frac{d}{dh_{mn}} \ln F\{\xi_m(t) | \bar{h}_{mn}\} \right|_{h_{mn}=\hat{h}_{mn}} = 0 \quad (1)$$

где  $F\{\xi_m(t) | \bar{h}_{mn}\}$  рассматривается как условный функционал плотности вероятности траекторного сигнала  $\xi_m(t)$  на входе РСА.

## Функция радиолокационного рельефа (ФРР)

$$e(x, y) = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{2\sqrt{2\pi} r(x, y) \exp\left\{-j \frac{4\pi}{\lambda} r(x, y)\right\} |E_{\text{отр}}|}{|E_{\text{пад}}| \Delta S} = |e(x, y)| \exp\{i\varphi_e(x, y)\} \quad [1/\text{м}] \quad (2)$$

где  $\lambda$  - длина волны,

$\Delta S$  - элементарная площадка исследуемой поверхности,

$|E_{\text{пад}}|$ ,  $|E_{\text{отр}}|$  - напряженности падающего и отраженного электрического поля соответственно,

$r(x, y)$  - расстояние от центра антенны до объекта исследования,

$\varphi_e(x, y)$  - фаза отраженного сигнала.

В реальных условиях измерения доступна не функция ФРР, а интегральная характеристика отражательной способности некоторого участка поверхности:

$$e_n = \iint_S e(x, y) dx dy \quad [м] \quad (3)$$

При условии  $Vt \ll R$ , изменение расстояния от фазового центра антенны до объекта исследования в присутствии местного рельефа может быть представлено в виде:

$$R(t, h) \approx R(t, 0) - \mu_{(t)} h \quad (4)$$

где  $R(t, 0) \approx R_0 - Vt \sin(\theta_0) \sin(\alpha_0) - \frac{V^2 t^2}{R_0} - \frac{V^2 t^2 \sin^2(\theta_0) \sin^2(\alpha_0)}{R_0} - \frac{V^3 t^3 \sin(\theta_0) \sin(\alpha_0)}{R_0^2}$

- изменение наклонной дальности при условии ровной земной поверхности;

$$\mu_{(t)} = \cos(\theta_0) + \frac{Vt \sin(2\theta_0) \sin(\alpha_0)}{2R_0} - \frac{V^2 t^2 \cos(\theta_0)}{R_0^2} \quad (5)$$

Если величина местного рельефа не столь значительна (сотни метров) или выполнена предварительная компенсация квадратичной фазовой составляющей, то

$$\mu_{(t)} = \frac{Vt \sin(2\theta_0) \sin(\alpha_0)}{2R_0} \quad (6)$$

Траекторный сигнал представляется смесью полезного сигнала и шума:

$$\xi_m(t) = S_m(t, h) + n_m(t) \quad (7)$$

Модель полезного сигнала для первого интервала наблюдения однопроходной интерферометрической съемки при скошенном обзоре можно записать в виде:

$$S_1(t, h) = \sum_m \sum_n \hat{e}_{0mn}(h) \exp \left\{ -j \frac{4\pi}{\lambda} (R(t, 0) + \mu_{(t)} h) \right\} \quad (8)$$

Модель полезного сигнала для второго интервала имеет вид:

$$S_2(t + T_0, h) = \sum_m \sum_n \hat{e}_{1mn}(h) \exp \left\{ -j \frac{4\pi}{\lambda} (R(t + T_0, 0) + \mu_{(t+T_0)} h) \right\} \quad (9)$$

где  $\hat{e}_{pmn}(h) \approx \hat{e}_{p-1 mn}(h) = \int_0^{T_p} \xi_{p-1}^\cdot(t, h) \exp(-j \frac{4\pi}{\lambda} (R(t, 0)))$  - оценка комплексной функции радиолокационного рельефа,  
 $T_0$ - время формирования базовой линии,  
 $T_p$ - время синтеза интервала наблюдения,  
 $m$  – номер отсчета по азимуту,  
 $n$  – номер отсчета по дальности.

Итоговое выражение для вычисления оценки высоты рельефа местности методом максимального правдоподобия имеет вид:

$$\hat{h}_{mn} = \frac{1}{4k\mu_{(T_p+T_0)}} \arg\left(\frac{\hat{e}_{1mn}(h)\overline{\hat{e}_{2mn}(h)}}{\hat{e}_{1mn}(h)\hat{e}_{2mn}(h)}\right) \quad (10)$$

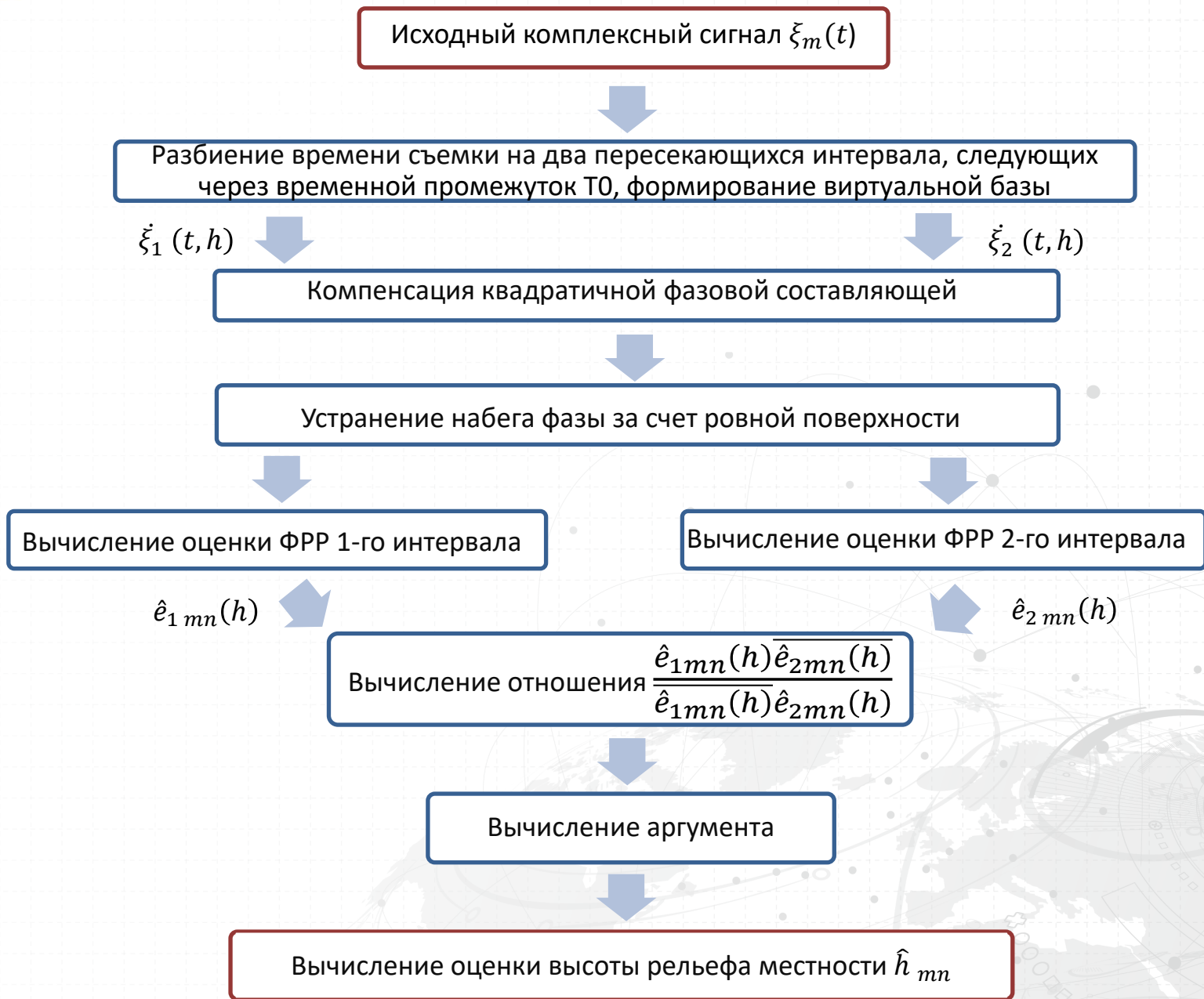
где  $\mu_{(T_p+T_0)} = \frac{V(T_p+T_0)\sin(2\theta_0)\sin(\alpha_0)}{2R_0}$ ,

$\hat{e}_{1mn}(h) = \int_0^{T_p} \xi_1(t, h) \exp(-j\frac{4\pi}{\lambda}(R(t, 0)))$ ,  $\hat{e}_{2mn}(h) = \int_{T_0}^{T_p+T_0} \xi_2(t, h) \exp(-j\frac{4\pi}{\lambda}(R(t, 0)))$  - оценки комплексных ФРП первого и второго интервалов наблюдений.

Таким образом, вычисление оценки рельефа местности методом максимального правдоподобия фактически сводится к нахождению разностей фаз между смежными интервалами наблюдения, которые определяются как произведение оценки ФРП одного интервала и комплексно-сопряженной с ней оценки ФРП смежного интервала наблюдения.



# Блок-схема алгоритма вычисления оценки высоты рельефа местности



Как ожидается, практическая реализация использования режима скошенного обзора позволит обеспечить:

- снижение стоимости создания и эксплуатации интерферометрической системы;
- упрощение технологии управления и навигационного – баллистического обеспечения;
- повышение общей производительности и экономии бортового ресурса;
- повышение оперативности получения интерферометрических данных за счет реализации технологического цикла съемки в рамках одного сеанса;
- устранение временной декорреляции, присущей данным, полученным в многопроходных режимах съемки;
- обеспечение гибкости наземной обработки данных, позволяющей использовать переменную интерферометрическую базу.