

**XXIII международная конференция**  
**«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ**  
**КОСМОСА»**  
**10 - 14 ноября 2025 г.**

**Метод оценки высоты молодых деревьев при пространственно  
неоднородном лесовосстановлении/залесении по данным  
поляриметрической интерферометрии X-диапазона**

Чимитдоржиев Т.Н., Кирбижекова И.И., Дмитриев А. В., Худайбердиева О.А., Балтухаева А.А.

ИФМ СО РАН, г. Улан-Удэ.

Актуальность исследования: на значительных площадях происходит естественное лесовосстановление после пожара и рубок леса, выполняется искусственное лесовосстановление и мероприятия по содействию лесовосстановлению.





+

-

Layers

Карта

Спутник



Results from time-series analysis of Landsat images characterizing forest extent and change.

Trees are defined as vegetation taller than 5m in height and are expressed as a percentage per output grid cell as '2000 Percent Tree Cover'. 'Forest Cover Loss' is defined as a stand-replacement disturbance, or a change from a forest to non-forest state, during the period 2000–2024. 'Forest Cover Gain' is defined as the inverse of loss, or a non-forest to forest change entirely within the period 2000–2012. 'Forest Loss Year' is a disaggregation of total 'Forest Loss' to annual time scales.

Reference 2000 and 2024 imagery are median observations from a set of quality assessment-passed growing season observations.

To share location copy URL.

[Download the data.](#)

Data Products

Loss/Extent/Gain (Red/Green/Blue)

- Forest Loss 2000–2024
- Forest Gain 2000–2012
- Both Loss and Gain
- Forest Extent

Other Data Layers

2000 Percent Tree Cover

Background Imagery

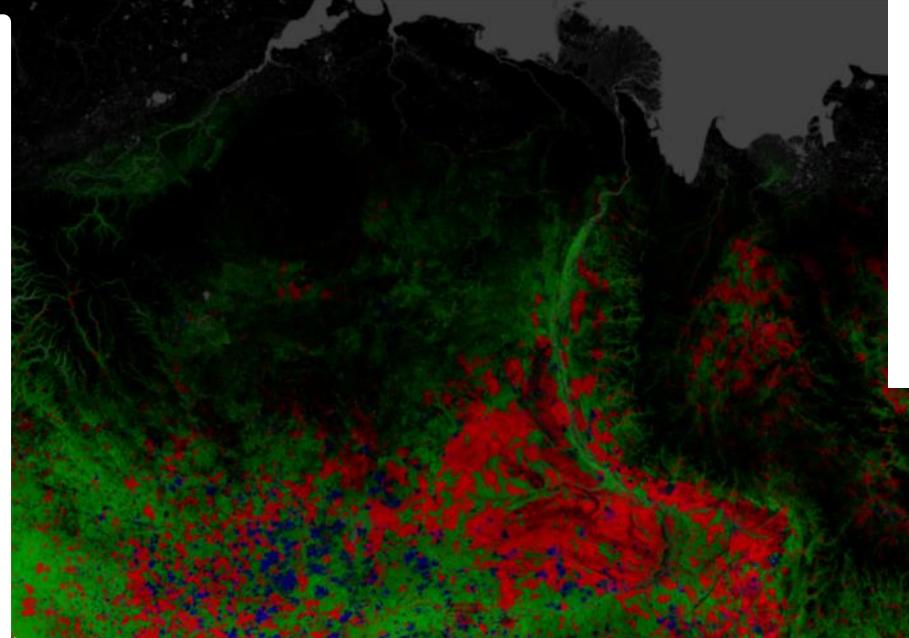
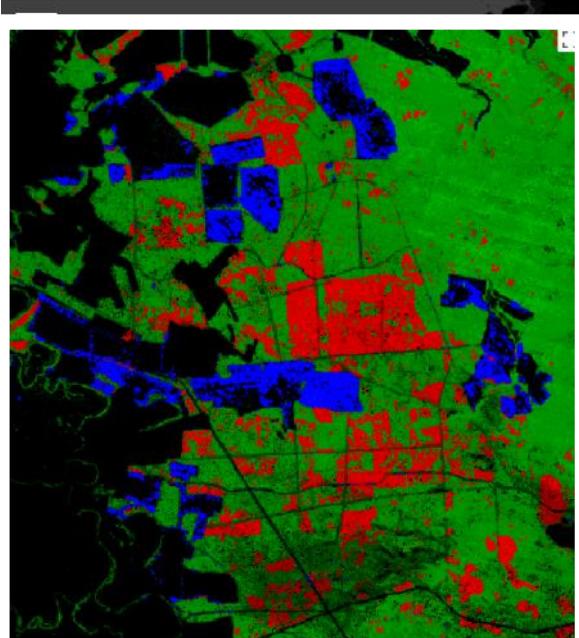
Year 2000 Bands 5/3/4

Example Locations

Wildfires in Canada

In 2023, Canada witnessed a record-breaking extent of forest fires according to the Canadian Interagency Forest Fire Center (CIFFC). Our map shows that 93 thousand square km of forest was burned, an area equal to the state of Indiana. Smote from these wildfires posed health risks to individuals living





Результаты анализа **временных рядов Landsat**, характеризующих площадь и изменение лесного покрова. Деревья определяются с высотой более 5 м.

Loss/Extent/Gain (Red/Green/Blue) ▾

- Forest Loss 2000–2024
- Forest Gain 2000–2012
- Both Loss and Gain
- Forest Extent

2000 Percent Tree Cover ▾

Background Imagery

Year 2000 Bands 5/3/4 ▾

Example Locations

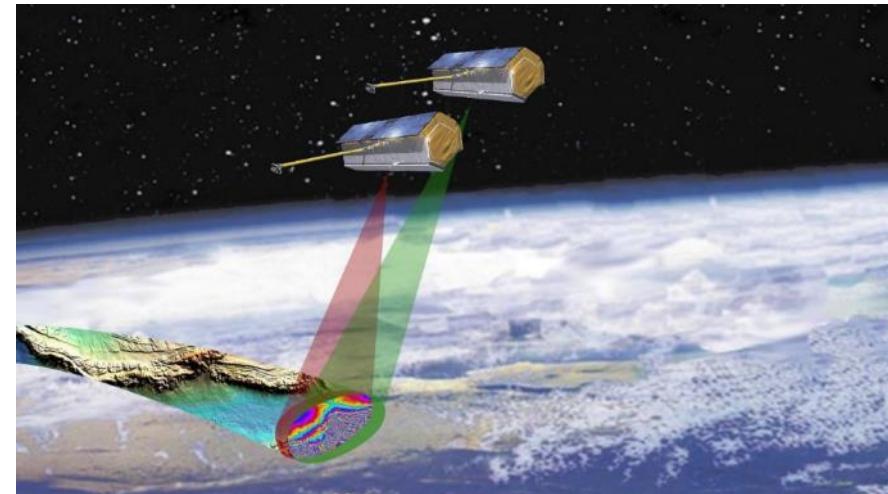
Wildfires in Canada ▾

In 2023, Canada witnessed a record-breaking extent of forest fires according to the Canadian Interagency Forest Fire Center (CIFFC). Our map shows that 93 thousand square km of forest was burned, an area equal to the state of Indiana. Smothe from these wildfires posed health risks to individuals living

# Данные TerraSAR/TanDEM-X для PolInSAR

Для интерферометрических, в данном случае методом PolInSAR, измерений были использованы полностью поляриметрические данные X-диапазона (длина волны 3.1 см) бистатической радиолокационной системы TerraSAR-X/TanDEM-X зимнего сезона 2014-2015 гг.

Расстояние  $R$  (наклонная дальность) до середины радиолокационной сцены  $\sim 61000$  м,  $2\pi$  неоднозначность определения высоты  $\sim 10$ -20 м, угол падения  $\theta$  волны для изображения TerraSAR-X  $\sim 33^\circ$ , разность между углами падения для TerraSAR-X и TanDEM-X составляет  $\sim 0.02$ -0.04°.



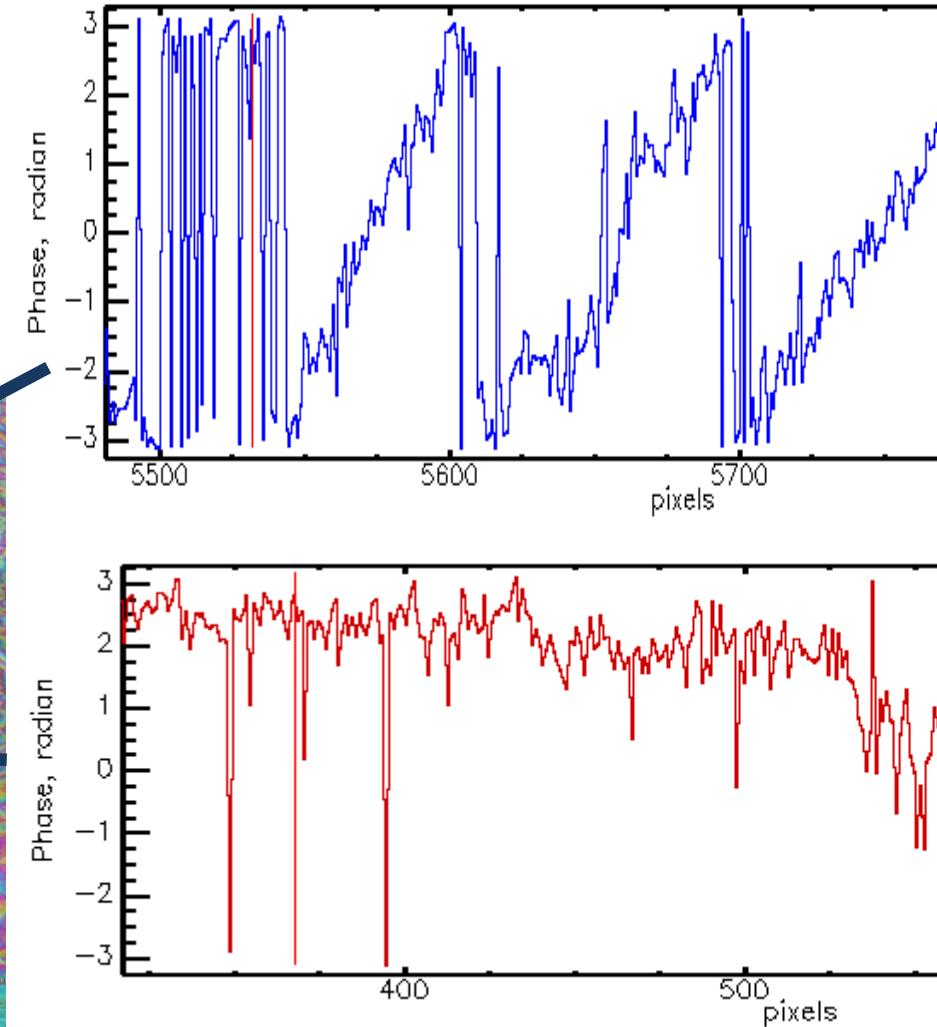
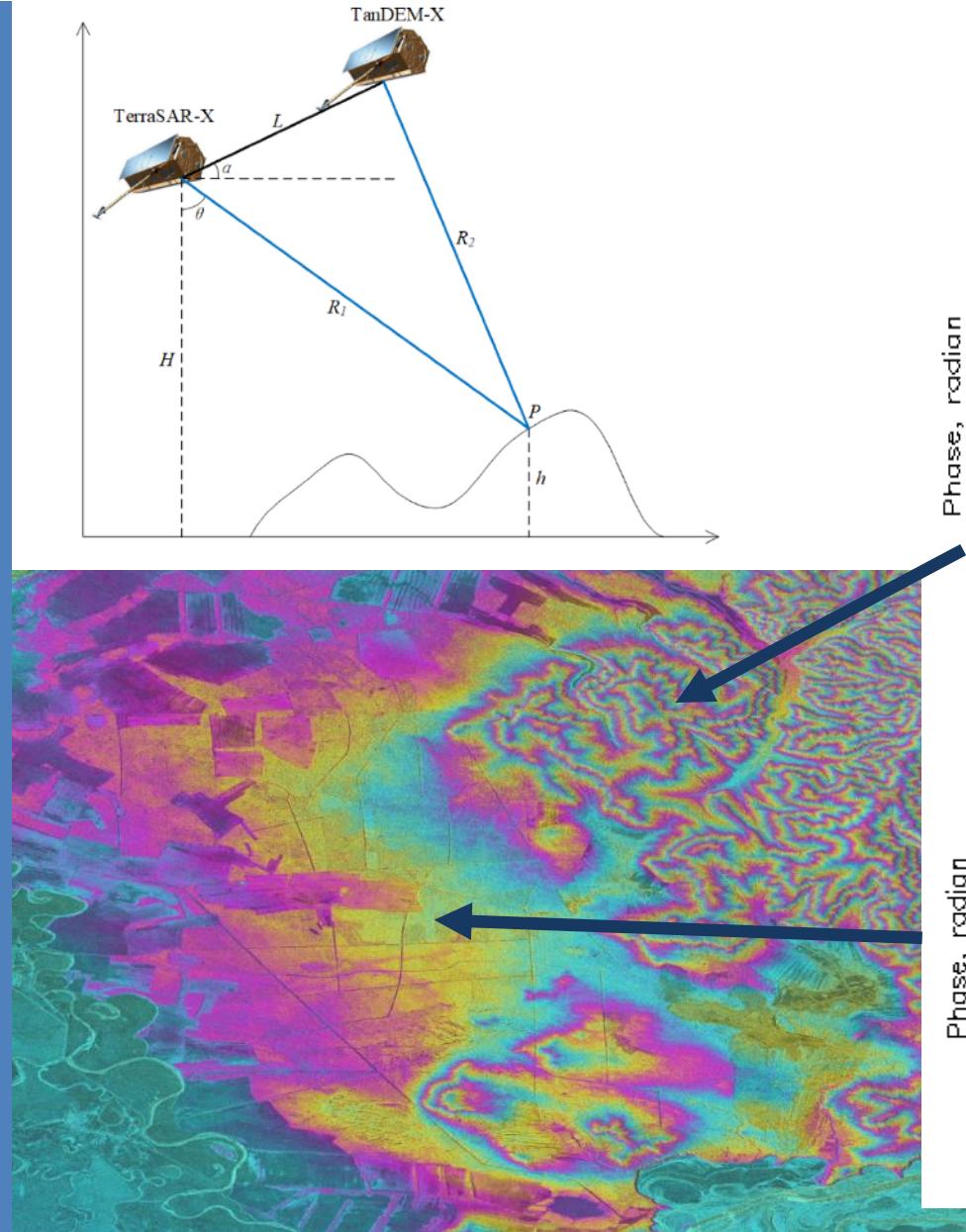
Бистатическая система радиолокаторов  
TerraSAR-X/TanDEM-X

№	дата	Идентификатор интерферометрической поляриметрической пары (master+slave)	Базовая линия, м	$2\pi$ неоднозна- чность, м
1	28.12.2014	terrasarx1_TSX1_51_20141228_103327563_stripFar_008_A_HH_slc	381.38	13.79
2	08.01.2015	terrasarx1_TSX1_51_20150108_103326658_stripFar_008_A_HH_slc	559.60	9.42
3	19.01.2015	terrasarx1_TSX1_51_20150119_103325715_stripFar_008_A_HH_slc	400.14	13.17
4	10.02.2015	terrasarx1_TSX1_51_20150210_103325684_stripFar_008_A_HH_slc	241.42	21.69
5	21.02.2015	terrasarx1_TSX1_51_20150221_103325344_stripFar_008_A_HH_slc	466.84	11.19
6	04.03.2015	terrasarx1_TSX1_51_20150304_103325936_stripFar_008_A_HH_slc	445.87	11.70

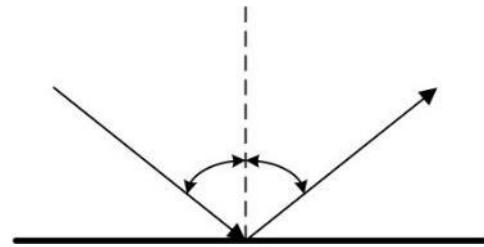
# Бистатическая радарная интерферометрия TerraSAR-X/TanDEM-X

## Этапы обработки:

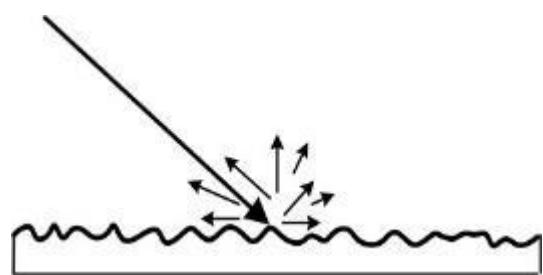
- совмещение изображений;
- формирование интерферограммы;
- построение карты когерентности;
- фильтрация шумов интерферограммы;
- «компенсация» для гладкой Земли и учет рельефа;
- развертка фазы;
- построение карты высот;
- геокодирование.



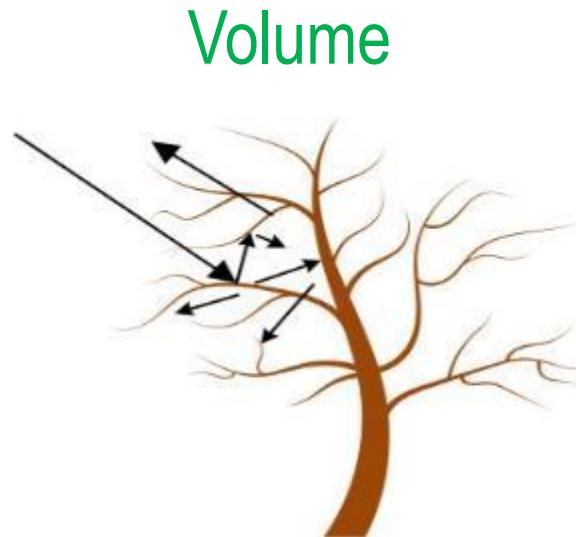
# Поляриметрическая декомпозиция: основные физические механизмы радиолокационного рассеяния



Surface

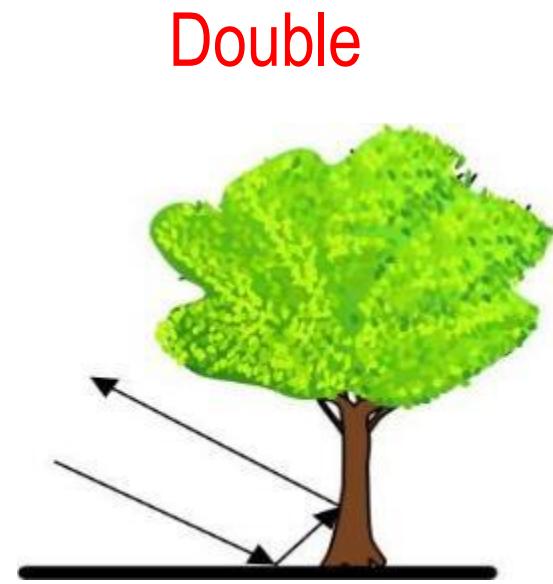


**Поверхностное отражение**  
(зеркальное от гладкой  
поверхности  
или диффузное от шероховатой  
структурой)



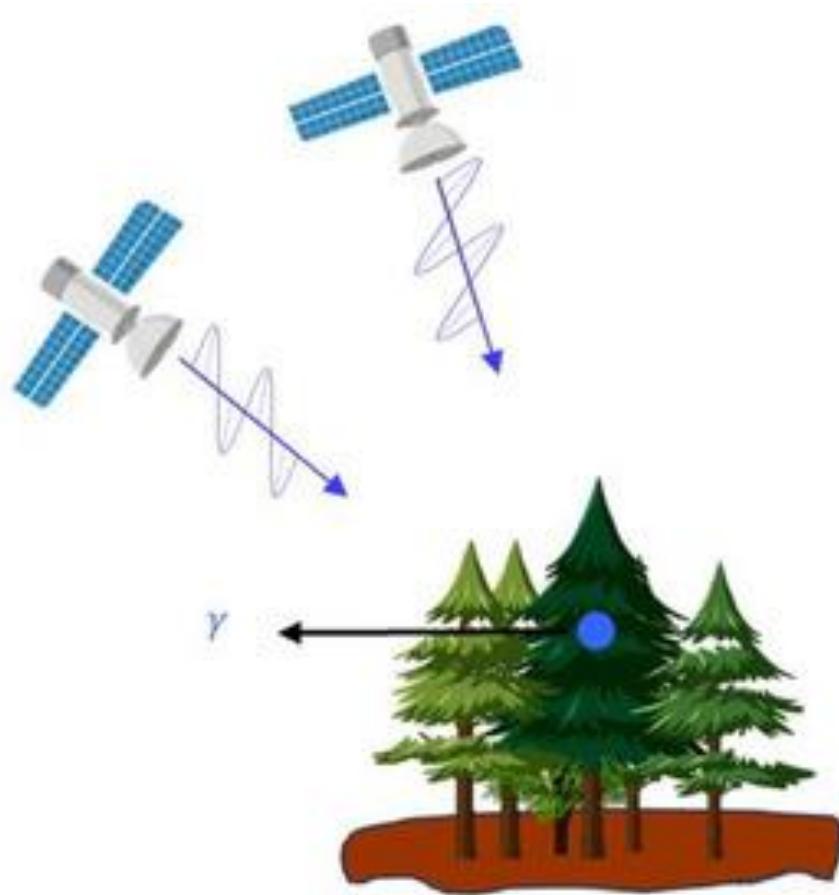
Volume

Объёмное рассеяние за счет  
многократного отражения от  
стволов и случайно  
ориентированных ветвей  
деревьев

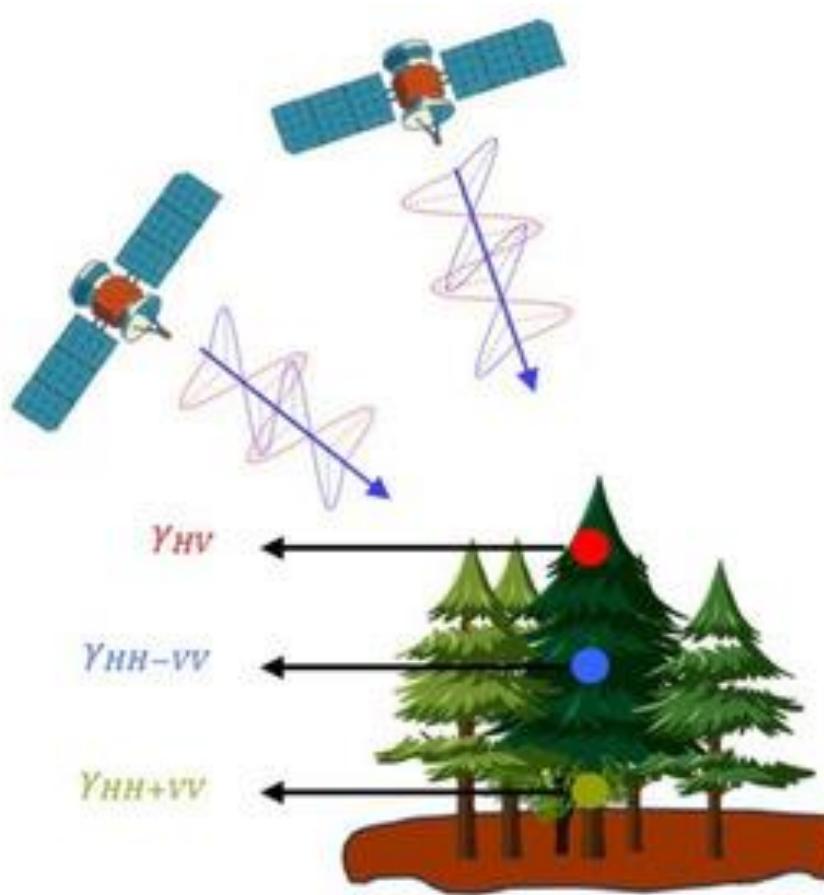


Double

Углковое двухкратное  
(последовательное отражение от  
структур, образующих прямой угол  
или близкий к этому (например от  
земной поверхности и затем от  
стволов крупных деревьев или в  
обратной последовательности))

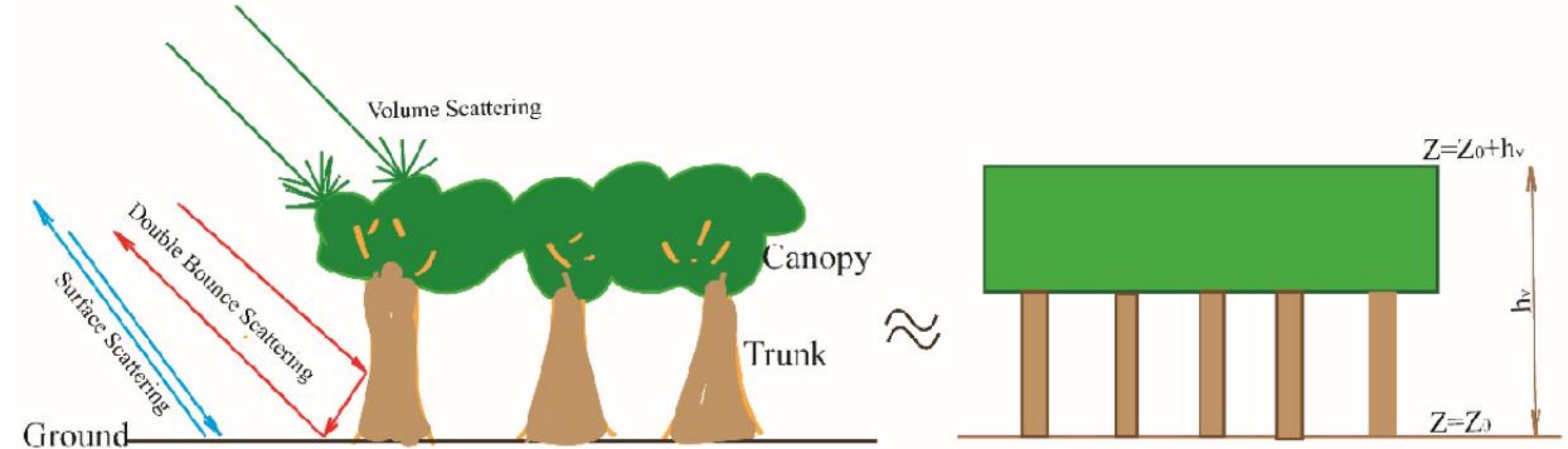


InSAR



PolInSAR

# Принципы оценки средней высоты лесного полога методом PolInSAR



$$h_v = \frac{\arg(\gamma_{opt_3}) - \arg(\gamma_{opt_1})}{k_z},$$

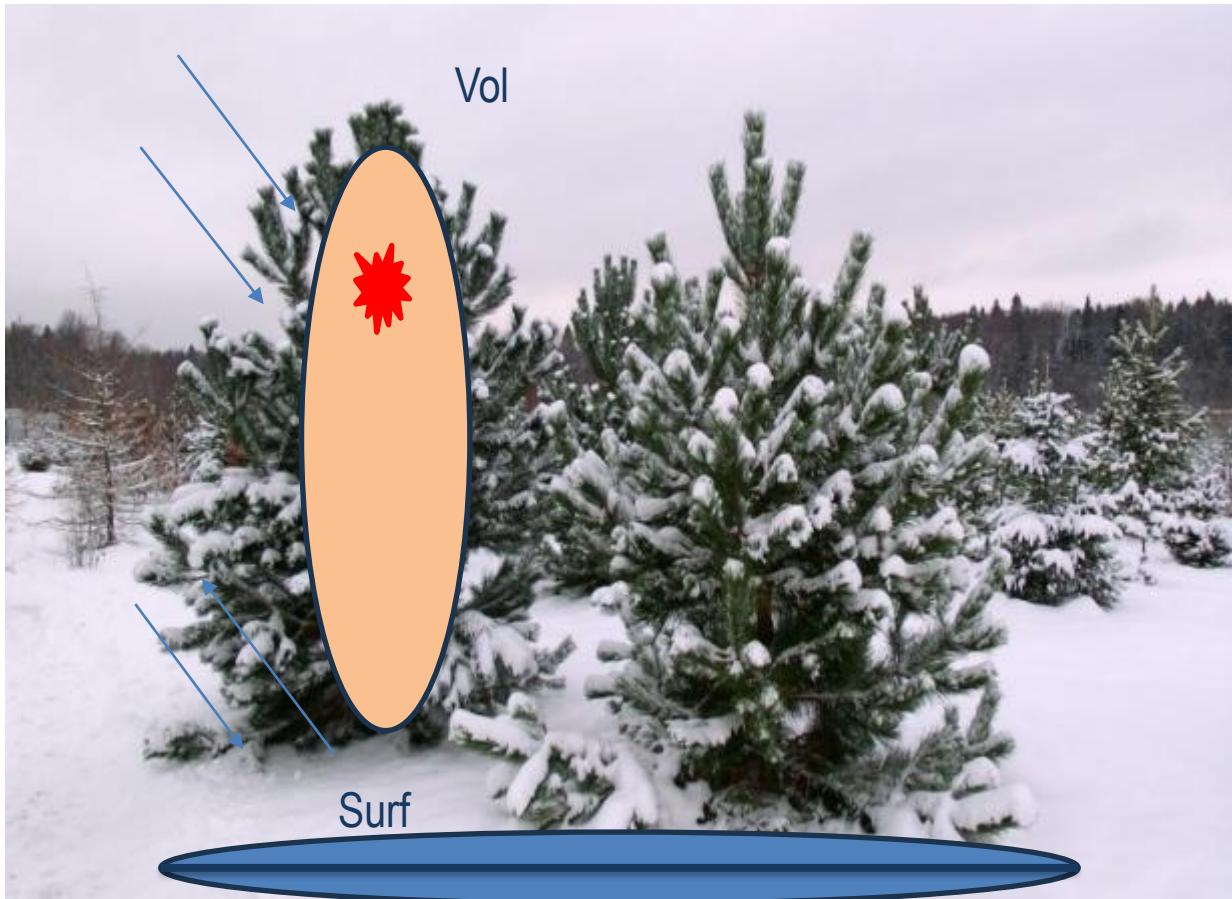
$\arg(\gamma_{opt_3})$  – фаза, связанная с кроной деревьев,

$\arg(\gamma_{opt_1})$  – фаза, связанная с поверхностью земли,

$$k_z = \frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda R \sin \theta}$$

$B_{\perp}$  – перпендикулярная базовая линия (расстояние между двумя антеннами в направлении, перпендикулярном линии визирования),  $\lambda$  – длина волны радиолокационного сигнала,  $R$  – наклонная дальность до цели,  $\theta$  – угол падения радиолокационного сигнала.

## Оценка средней высоты групп молодой сосны методом PollnSAR

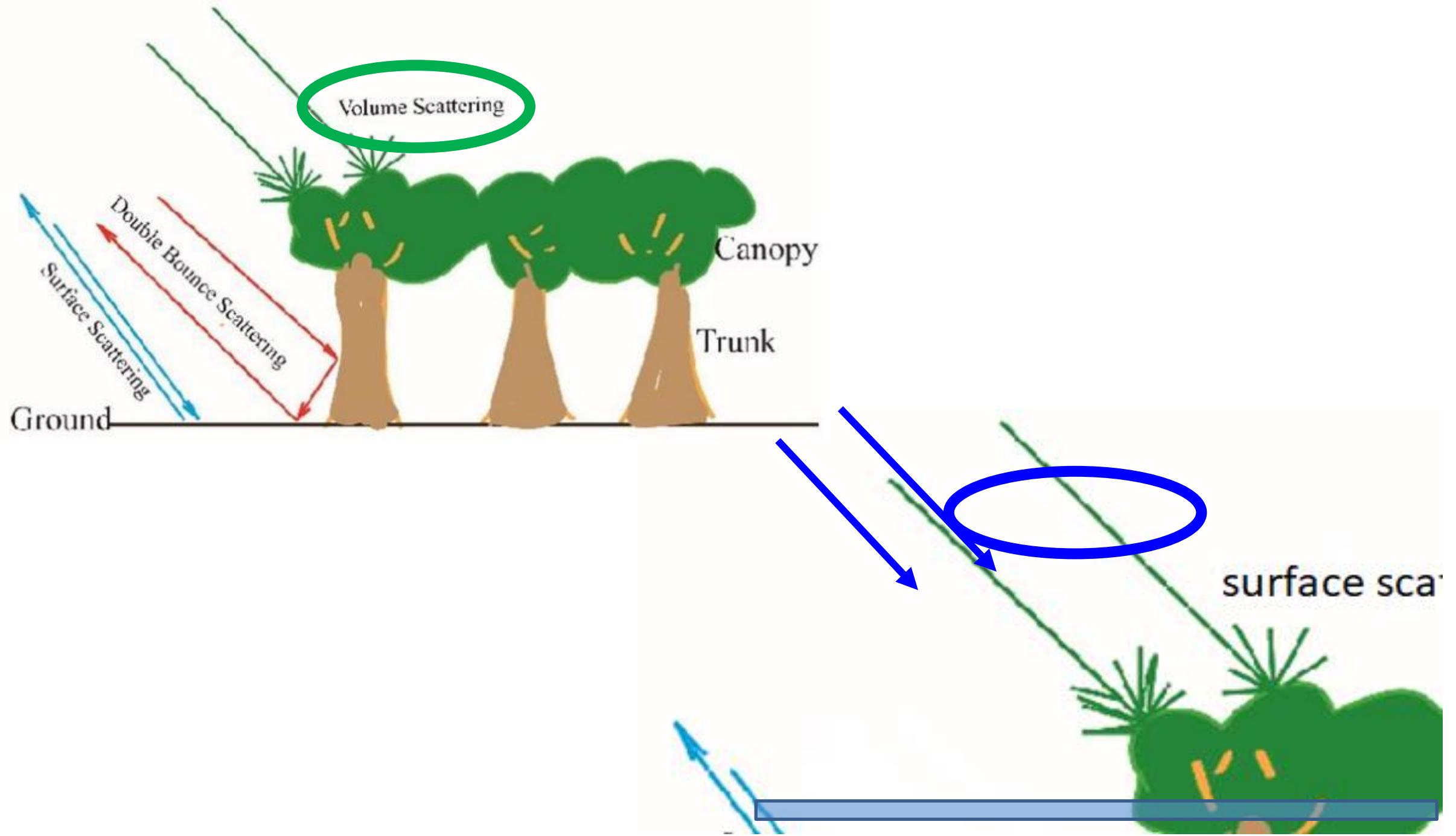


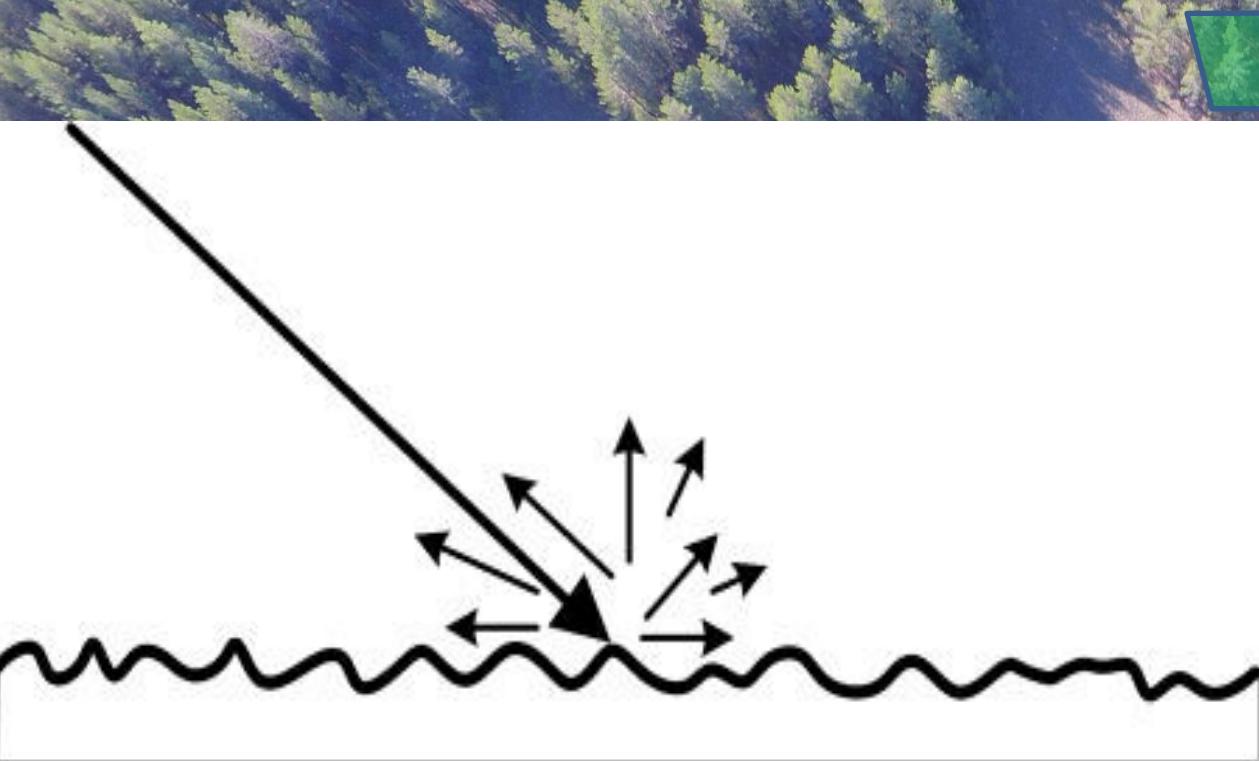
Результаты расчета по формуле

$$h_v = \frac{\arg(\gamma_{opt_3}) - \arg(\gamma_{opt_1})}{k_z},$$

показали, что средняя разность высот фазовых центров объёмного и поверхностного рассеяния составляет **порядка 6.5 м.**

Результаты полевых наблюдений – **не более 3 м.**

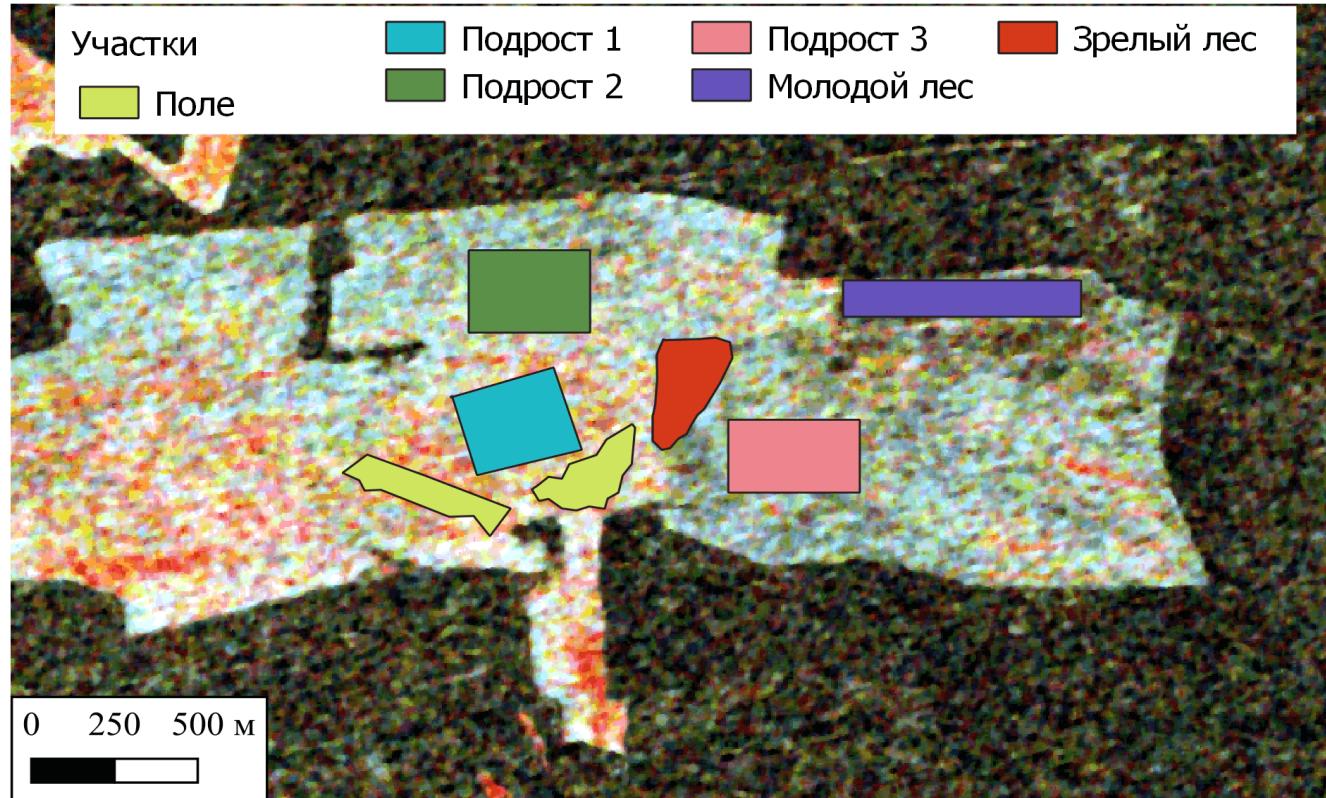




Механизм однократного  
(поверхностного) рассеяния для поляны  
и сплошного полога молодой сосны.

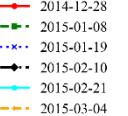


# Статистический анализ гистограмм распределения компонентов поверхностного отражения PollInSAR

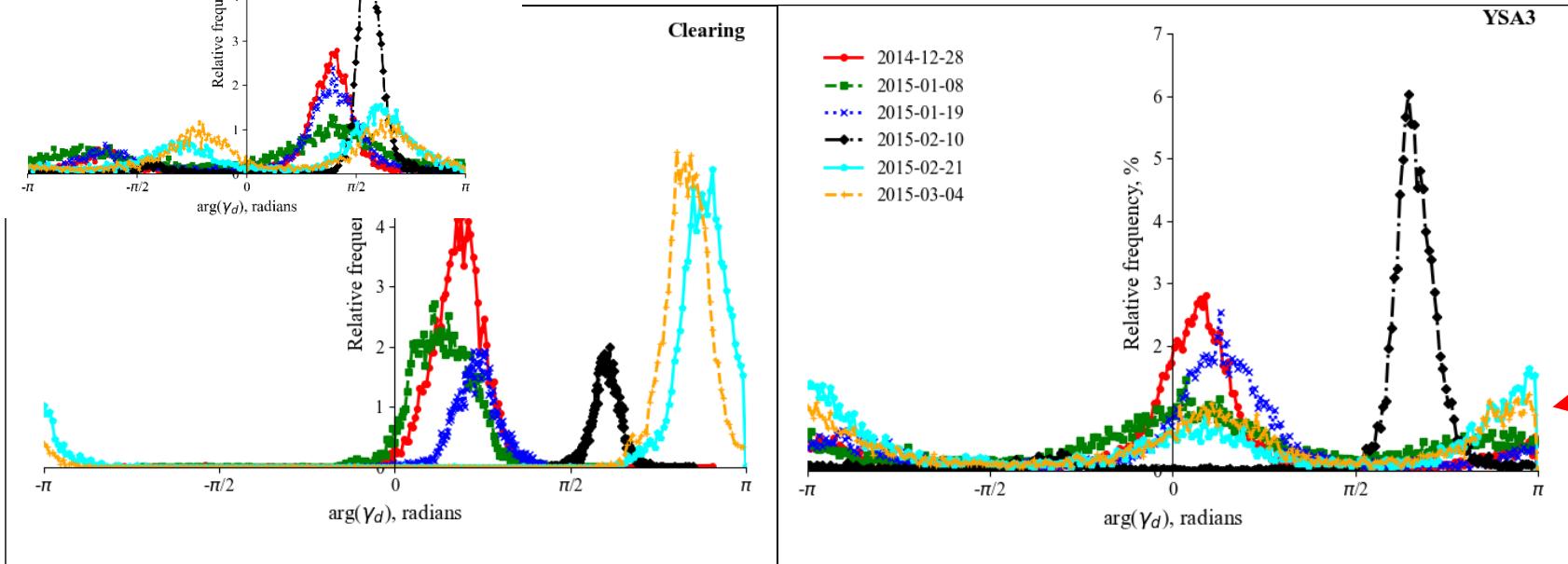


а) схема расположения тестовых участков на RGB-композите наибольших значений когерентности зимнего сезона 2014-2015 гг.;

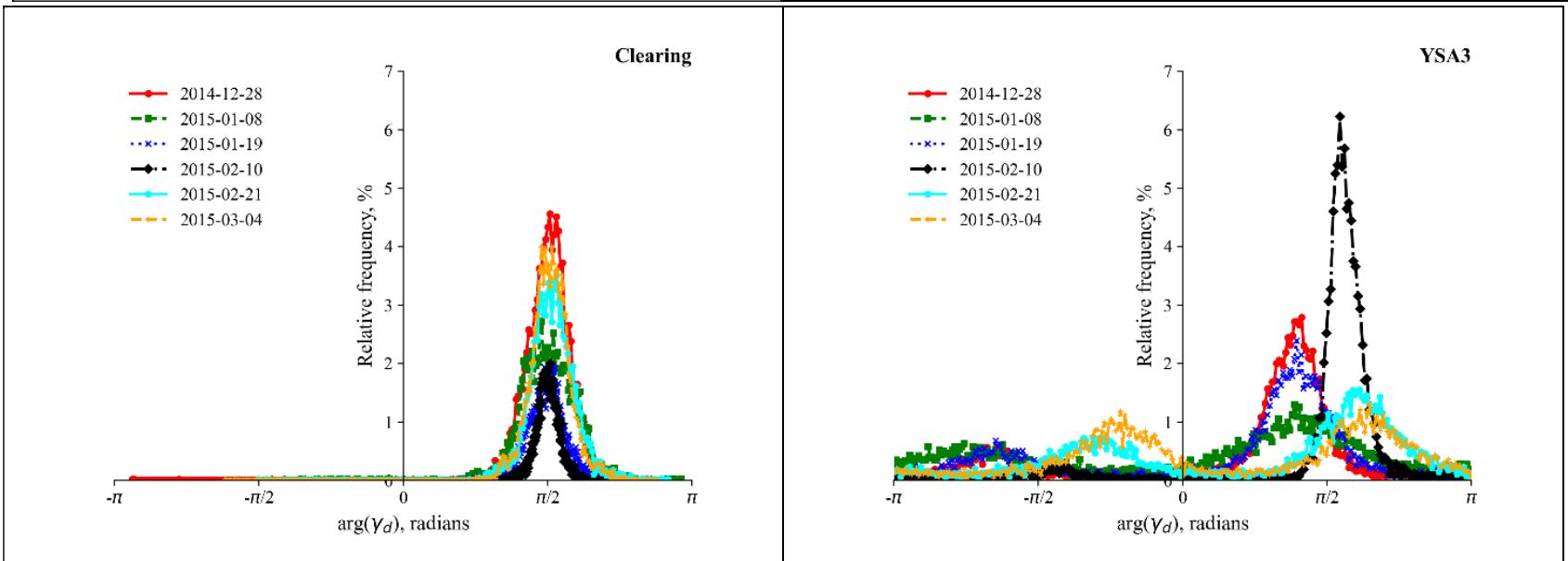
Тестовый участок	Кол-во пикселей	Примечание
Поле	3303	Открытые участки без растительности
Подрост1	3414	Преимущественно открытые участки с редким невысоким подростом
Подрост2	3796	Подрост средней плотности
Подрост3	3634	Густой подрост
Молодой лес	3289	Плотный молодой лес высотой до 10-12 м
Зрелый лес	2249	Сосновый лес (+осина, берёза) высотой 18-24 м


  
 2014-12-28  
 2015-01-08  
 2015-01-19  
 2015-02-10  
 2015-02-21  
 2015-03-04

# года PolInSAR оценки высоты молодых деревьев.



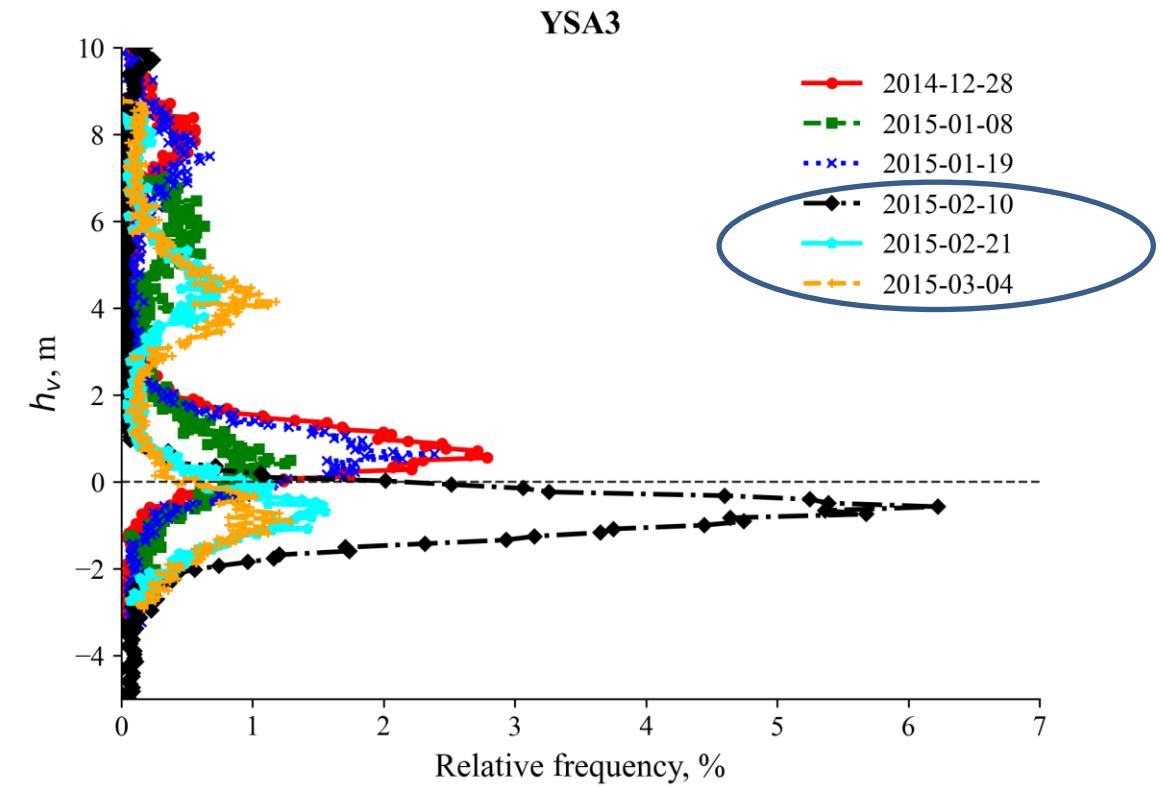
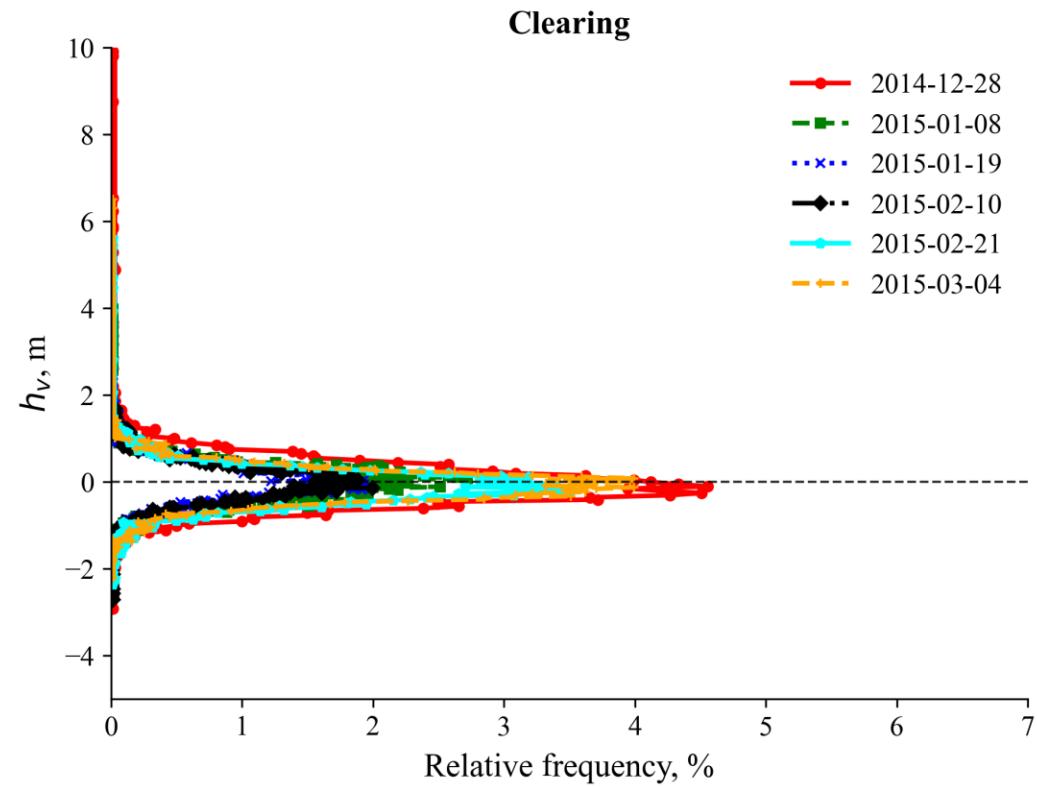
Исходные гистограммы интерферометрической фазы компоненты поверхности рассеяния PolInSAR демонстрируют «перескок» фазы с  $\pi$  на  $-\pi$



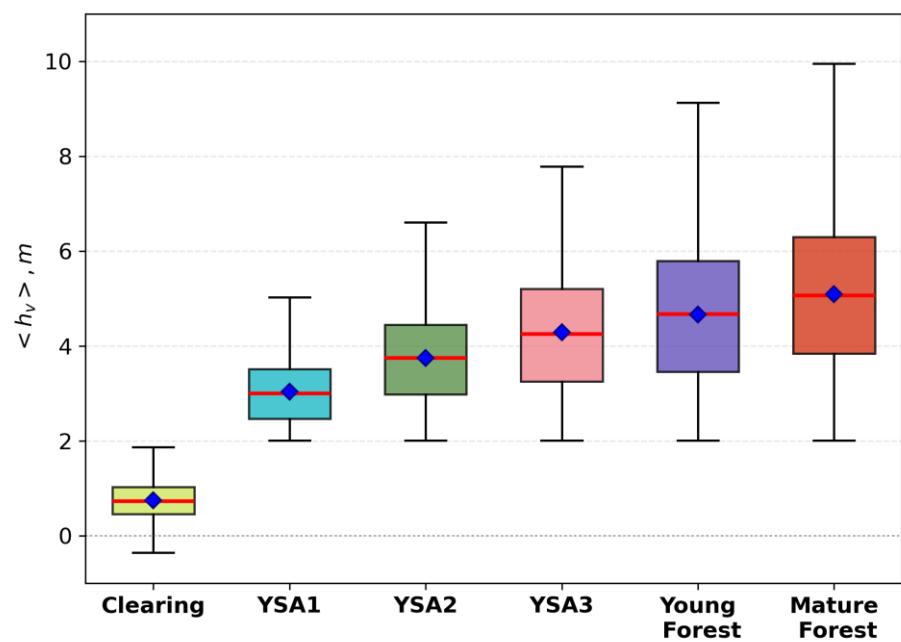
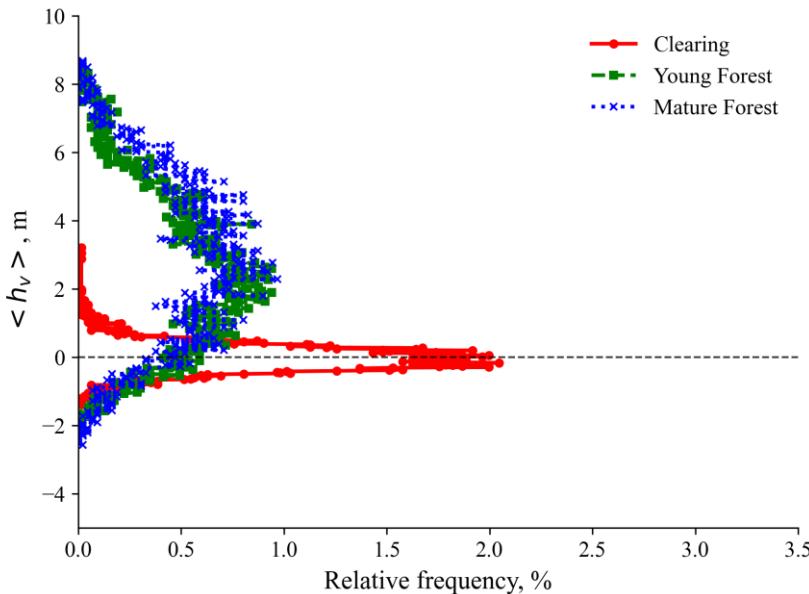
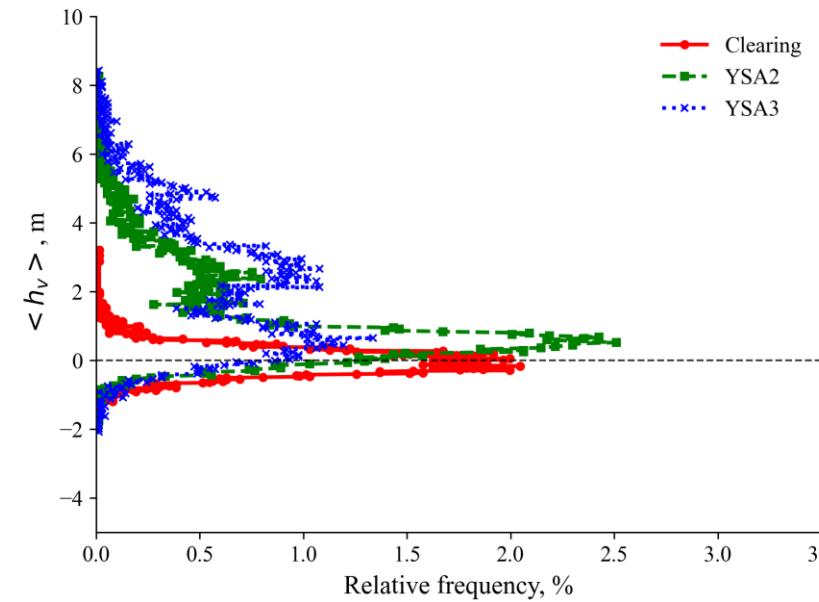
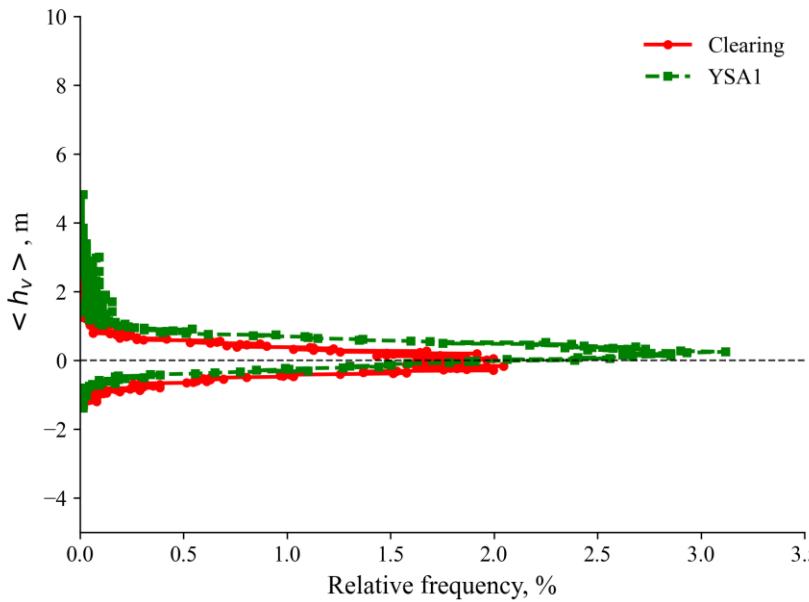
Гистограммы после сдвига:

- 1) двухмодальность два фазовых центра рассеяния,
- 2) расстояние между модами характеризует высоту молодого подроста сосны





В период 19 января — 10 февраля отмечается сдвиг модального пика гистограммы (черного цвета). После потепления и осадков, а затем резкого похолодания, вероятно сформировался первый слой плотного наста. Этот наст, вероятно, вызывает фазовый сдвиг, зафиксированный 10 февраля. Далее отмечаются также нестабильные погодные условия. Второй небольшой фазовый сдвиг (гистограмма 5 относительно гистограммы 4) также связан с дальнейшим изменением (утолщением) наста. После 21 февраля температуры стабильны, осадки минимальны. Слой наста стабилизируется, новых значимых изменений структуры снега нет. Соответственно фаза компоненты поверхностного рассеяния остаётся на относительном уровне к 4 марта (гистограмма 6 относительно гистограммы 5).



Спасибо за внимание

