Использование радарной интерферометрии для мониторинга оседаний земной поверхности

Вед.инж. Каф.МДГиГИС В.В.Мусихин

Кафедра МДГиГИС ПНИПУ

•Кашников Юрий Александрович - докт.техн.наук, профессор, зав. каф. МДГиГИС ПНИПУ

•Мусихин Василий Владимирович - к.т.н., вед.инж., каф. МДГиГИС

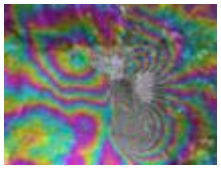
•Харина Нина Михайловна - инженер каф. МДГиГИС

•Тютюкова Виктория Александровна - инженер каф. МДГиГИС

614990, Россия,
Пермь, Комсомольский пр-т, 29 к.207
e-mail:
geotech@pstu.ac.ru
labdzz@pstu.ru
тел. +7(342)219-83-21
моб. +7(912)988-81-67
Сайт: mdgigis.pstu.ru

Коллеги

GAMMA REMOTE SENSING



Urs Wegmüller

Charles L. Werner

SOVZOND СОВЗОНД

Юрий Кантемиров

ГАЗПРОМ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Ю.Б. Баранов

Е.В. Киселевский

SARscape® The Earth Observation information gateway

Ramon Hanssen

Cumming, I. G

А.А. Барях и проф. В. Буш

А.В. Евтюшкин и А.В. Филатов

БФУ им. И.Канта

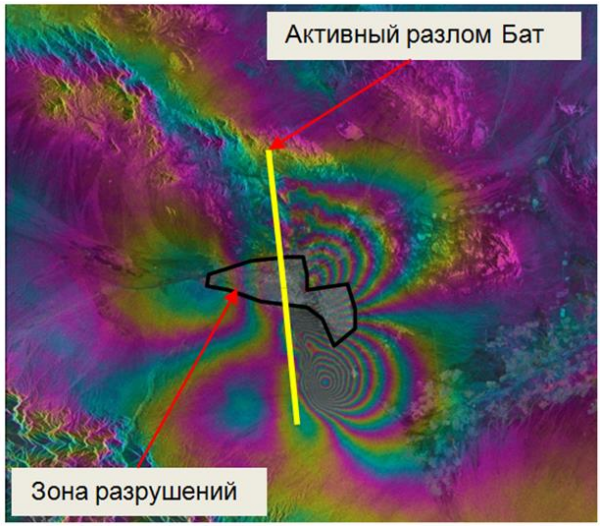
Введение

Seasat

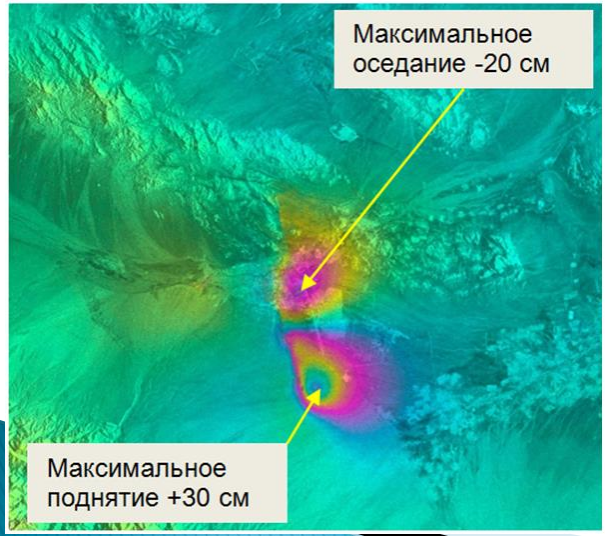
Цели использования радарной интерферометрии:
- Оценка последствий землетрясений;
- Мониторинг вулканической активности;
- Мониторинг оседаний земной поверхности;
- Мониторинг изменений ледяного покрова;
- Мониторинг зданий и сооружений;
- Построение цифровых моделей высот.

Введение

Результат оседаний земной поверхности в городе Бам, Иран

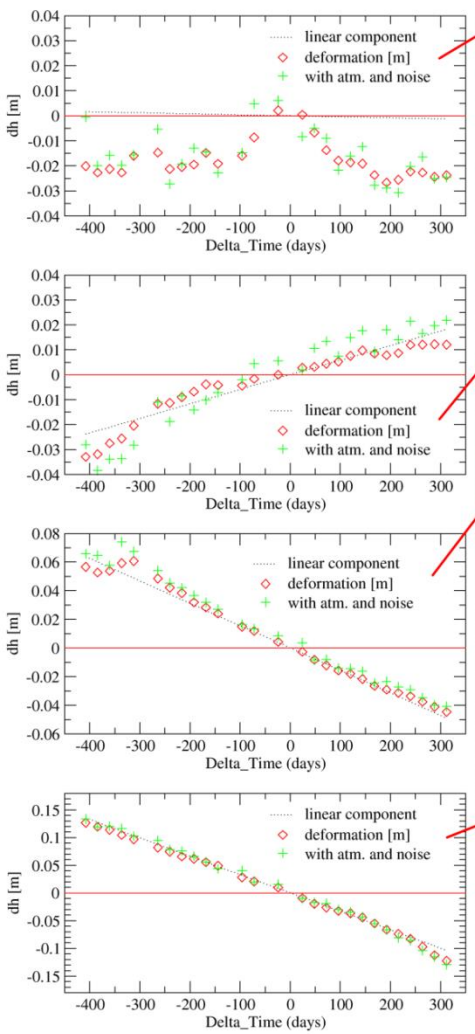


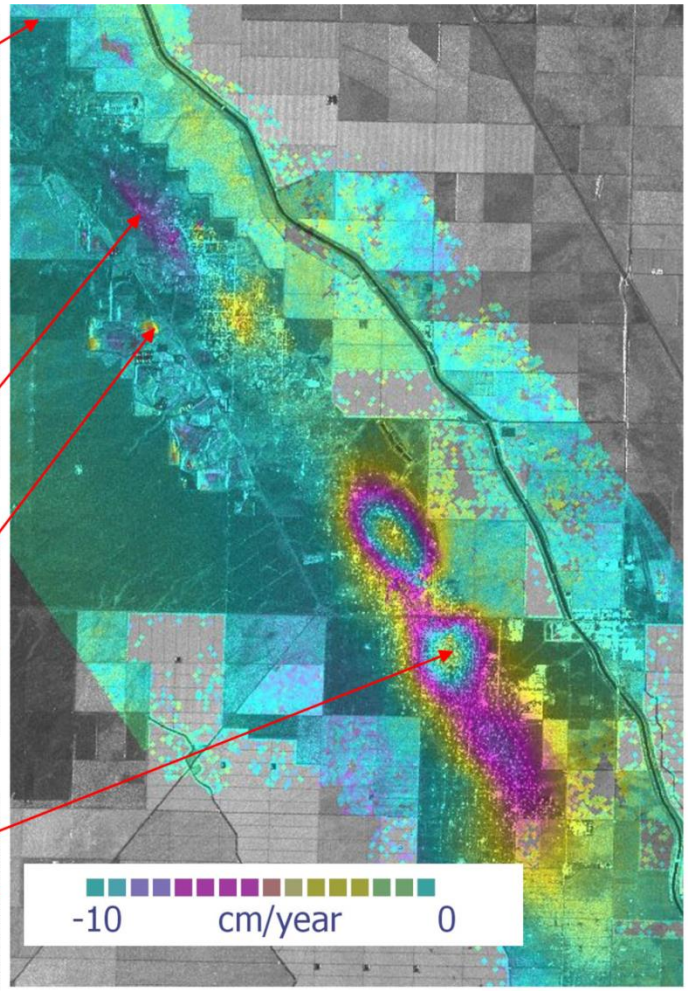
дифференциальная интерферограмма



карта вертикальных смещений

Пример выделения истории оседаний в точках на основе данных радарной интерферометрии на месторождении Лост Хиллс, США





TerraSAR-X и TanDEM-X

КА TerraSAR-X и TanDEM-X оснащены новейшими радарами с синтезированной апертурой, позволяющими выполнять съемку земной поверхности с беспрецедентно высоким пространственным разрешением (до 0,25 м). Спутники являются одними из наиболее совершенных инструментов дистанционного зондирования Земли. Спутники работают синхронно. По данным, полученным с них, будет создана глобальная цифровая модель местности и рельефа, беспрецедентная по площади покрытия и точности.

Даты запуска :		15 июня 2007 г. (TerraSAR-X), 21 июня 2010 г. (TanDEM-X)
Стартовая площадка:		космодром Байконур (Россия)
Средство выведения:		РН «Днепр» (Россия)
Разработчик:		DLR (Германский аэрокосмический центр), Airbus Defence and Space
Оператор:		Airbus Defence and Space
Масса каждого спутника:		1250 кг
Орбита	Тип:	Круговая солнечно-синхронная
	Высота:	514 км
	Наклонение:	97,44 град.
Расчетный срок функционирования:		5

Введение

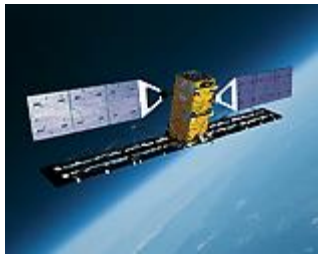
COSMO-SkyMed 1,2,3,4

Серия КА двойного назначения COSMO-SkyMed 1–4 (Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin Observation — Созвездие малых спутников для наблюдения за Средиземноморским бассейном) разработана Итальянским космическим агентством (ASI) совместно с Министерством обороны Италии. Все спутники группировки оснащены радаром с синтезированной апертурой, позволяющим выполнять интерферометрическую съемку земной поверхности с беспрецедентным пространственным разрешением (лучше 1 м на местности).

Дата запуска:		8 июня 2007 г. (COSMO-SkyMed-1), 8 декабря 2007 г. (COSMO-SkyMed-2), 24 октября 2008 г. (COSMO-SkyMed-3), 6 ноября 2010 г. (COSMO-SkyMed-4)
Стартовая площадка:		авиабаза Ванденберг (США)
Средство выведения:		PH Delta II (США)
Разработчик:		Alenia Spazio (Италия)
Оператор:		e-GEOS (Италия)
Масса:		1900 кг
Орбита	**Тип:**	Солнечно-синхронная
	Высота:	619,6 км
	Наклонение:	97,86 град.
Расчетный срок функционирования:		5 лет

Введение

RADARSAT-2



КА RADARSAT-2 создан под управлением Канадского космического агентства (CSA — Canadian Space Agency). Спутник оснащен радаром бокового обзора с синтезированной апертурой, обладающим, как и спутник RADARSAT-1, уникальными возможностями изменения ширины полосы съемки и пространственного разрешения. Съемка земной поверхности проводится в С-диапазоне длин волн (5–6 см), с изменяемой поляризацией излучения (HH, VH, HV, VV), в диапазоне съемочных углов от 10º до 60º.

Дата запуска:		14 декабря 2007 г.
Стартовая площадка:		космодром Байконур (Россия)
Средство выведения:		РН «Союз» (Россия)
Разработчик:		CSA (Канадское космическое агентство), MDA (Канада)
Оператор:		MDA
Масса:		2300 кг
Орбита	Тип:	Солнечно-синхронная
	Высота:	798 км
	Наклонение:	98,6 град.
Расчетный срок функционирования:		7

Введение

ALOS-2

КА ALOS-2 выведен на орбиту 24 мая 2014 г. Специалисты агентства JAXA отказались от совмещения на одной платформе оптической и радарной систем, что было реализовано на спутнике ALOS. Поэтому на смену КА ALOS придут сразу два космических аппарата — один оптико-электронный (ALOS-3), второй — радарный (ALOS-2). ALOS-2 способен выполнять съемку в L-диапазоне. Центр дистанционного зондирования Земли Японии (RESTEC) разработал автоматическую технологию преобразования монохромных изображений, снятых радарным сенсором PALSAR-2 спутника ALOS-2, в цветные изображения.
Спутник снабжен также компактной инфракрасной камерой CIRC (Compact Infrared Camera), которая предназначена для апробирования технологии выявления лесных пожаров и вулканической активности, осуществляя съемку с разрешением 200 м с глобальным покрытием 1 раз в 10 дней.

Дата запуска:		24 мая 2014 г.
Стартовая площадка:		космодром Танегашима (Япония)
Средство выведения:		РН H-2A (Япония)
Разработчик:		JAXA (Японское аэрокосмическое агентство)
Оператор:		JAXA (Японское аэрокосмическое агентство)
Масса:		2000 кг
Орбита	**Тип:**	Солнечно-синхронная
	Высота:	628 км
	Наклонение:	97,9 град.
Расчетный срок функционирования:		5 лет

Sentinel-1A и Sentinel-1B

Проект Европейского космического агентства Sentinel предназначен для поддержки программы Copernicus (быв. GMES — Global Monitoring for Environment and Security). В рамках проекта предусмотрено 5 миссий (см. раздел оптико-электронных спутников), в том числе два радарных спутника Sentinel-1A и Sentinel-1B.

Даты запуска спутников:		03.04.2014 г. (Sentinel-1A), 2015 г. (Sentinel-1B)
Разработчик:		Thales Alenia Space Italy (Италия), Airbus Defence and Space
Масса:		2280 кг
Орбита	**Тип:**	Солнечно-синхронная
	Высота:	693 км
Расчетный срок функционирования:		5

Введение

ALOS (PALSAR)

24 января 2006 г. Выведен из эксплуатации 12 мая 2011 г.

Envisat

1 марта 2002 г. Выведен из эксплуатации 9 мая 2012 г.

ERS

17 июля 1991 г. (ERS-1), 21 апреля 1995 г. (ERS-2). Выведены из эксплуатации 10 марта 2000 г. (ERS-1), 5 сентября 2011 г. (ERS-2)

RADARSAT-1

4 ноября 1995 г. Выведен из эксплуатации 9 мая 2013 г.

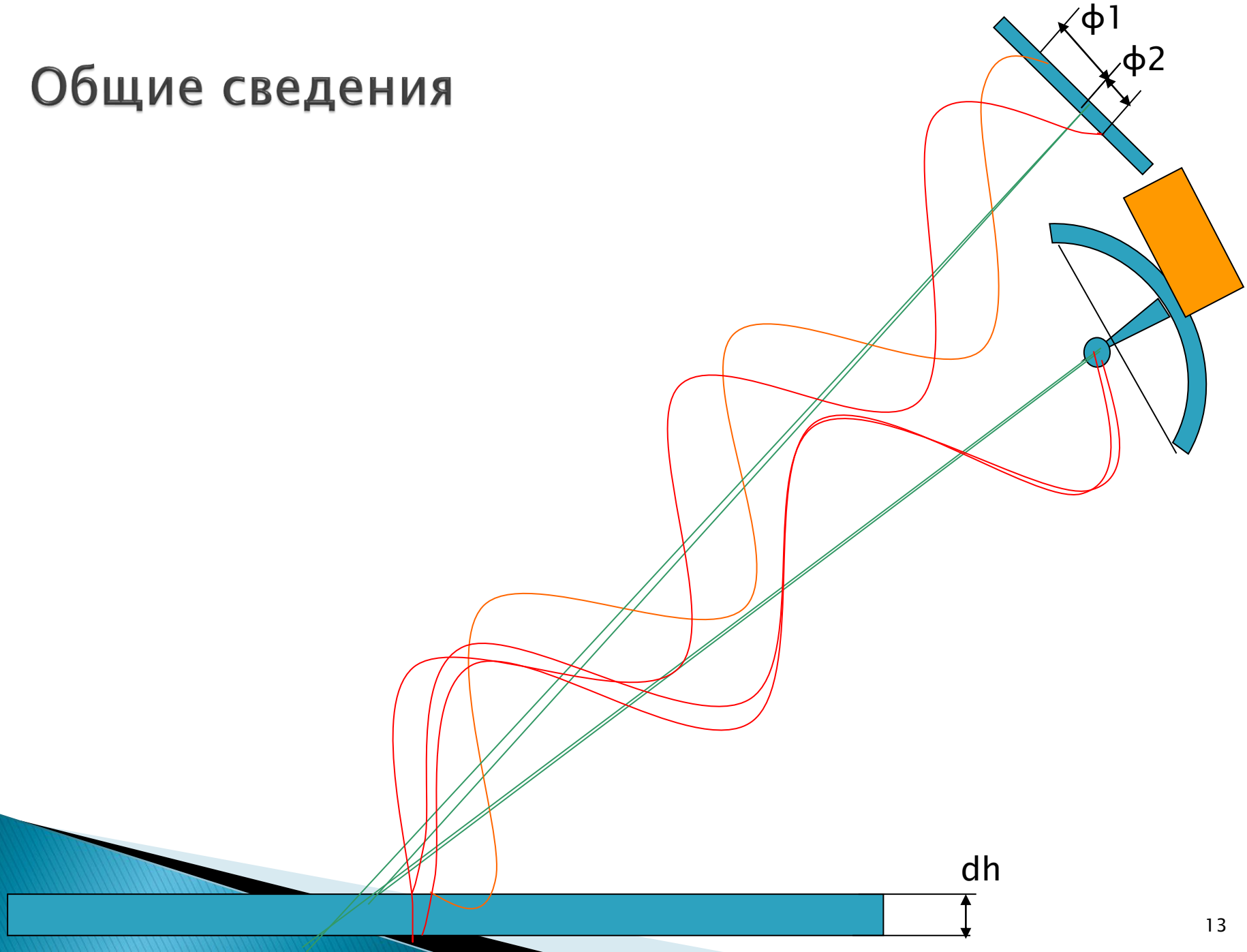
Обзор-Р (2023г.);
KompSAT-5 (2013г.);
Gaofen-3 (2022г.).

Общие сведения

Интерференция света – нелинейное сложение интенсивностей двух или нескольких световых волн. Это явление сопровождается чередующимися в пространстве максимумами и минимумами интенсивности. Ее распределение называется интерференционной картиной.

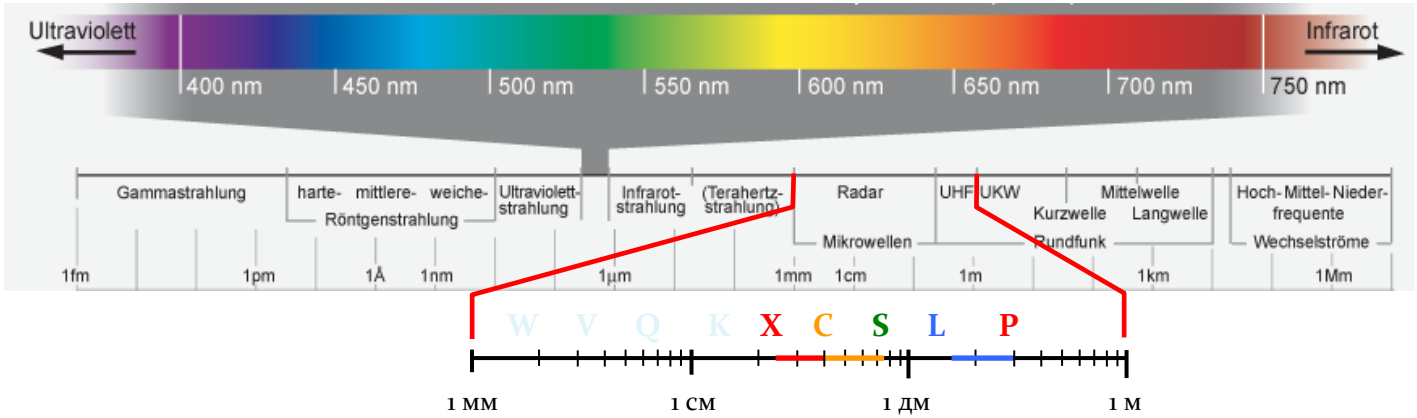
Интерферограмма – результат совместной обработки двух сцен (снимков), сделанных с одной и той же орбиты, которая представляет из себя изображение, в каждой точке которого вычислены разности фаз снимка этих сцен.

Общие сведения



Общие сведения

- Активное дистанционное зондирование: излучение и получение электромагнитных волн
- Наклонная съемка местности
- Длина волны: 3.1 см – 23 см (микроволновая область)



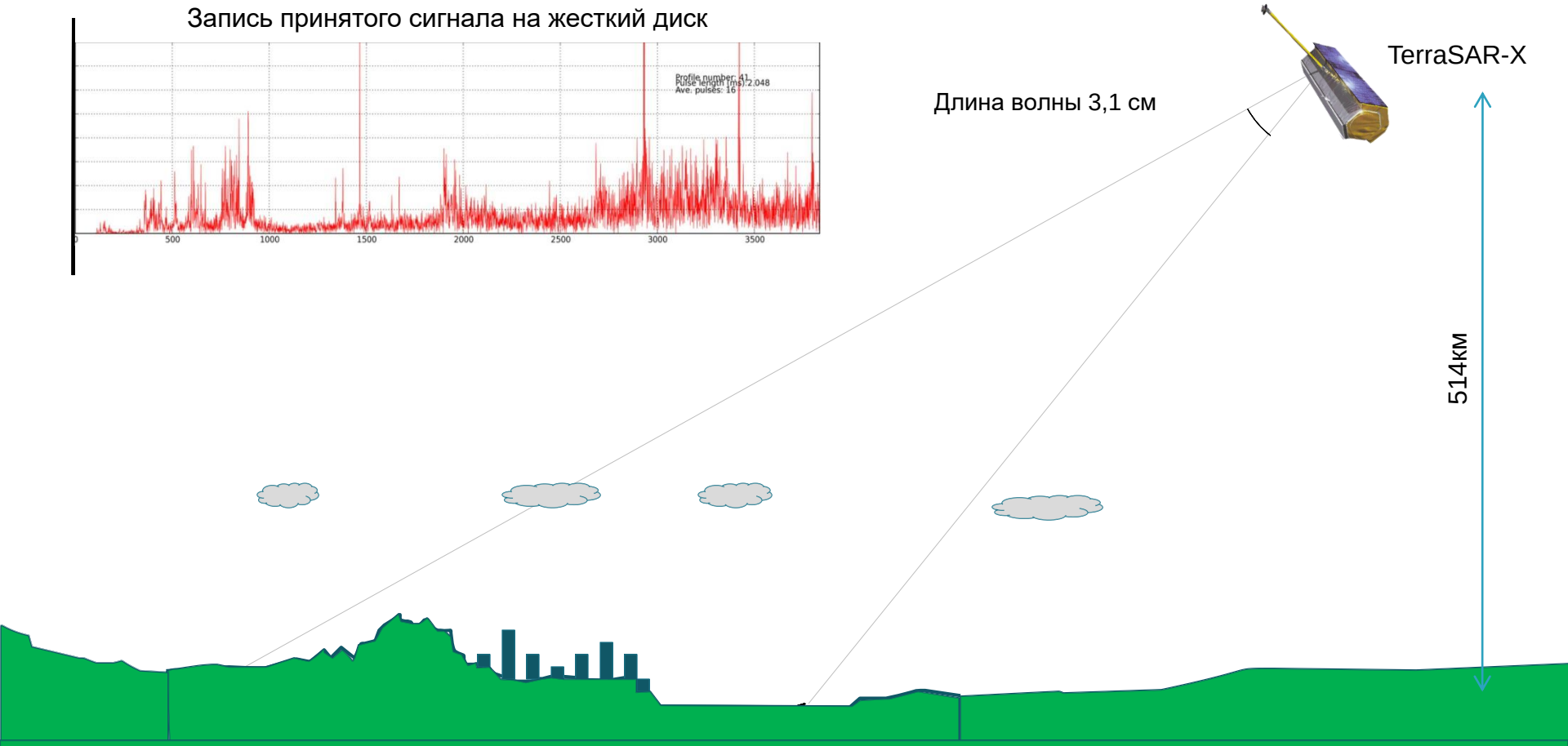
- **Основные преимущества от оптического зондирования Земли:**

  - не зависит от освещенности (солнцем) земной поверхности, низкая подверженность погодным условиям и времени дня

  - измерение интенсивности и фазы отраженной радиоволны

Общие сведения

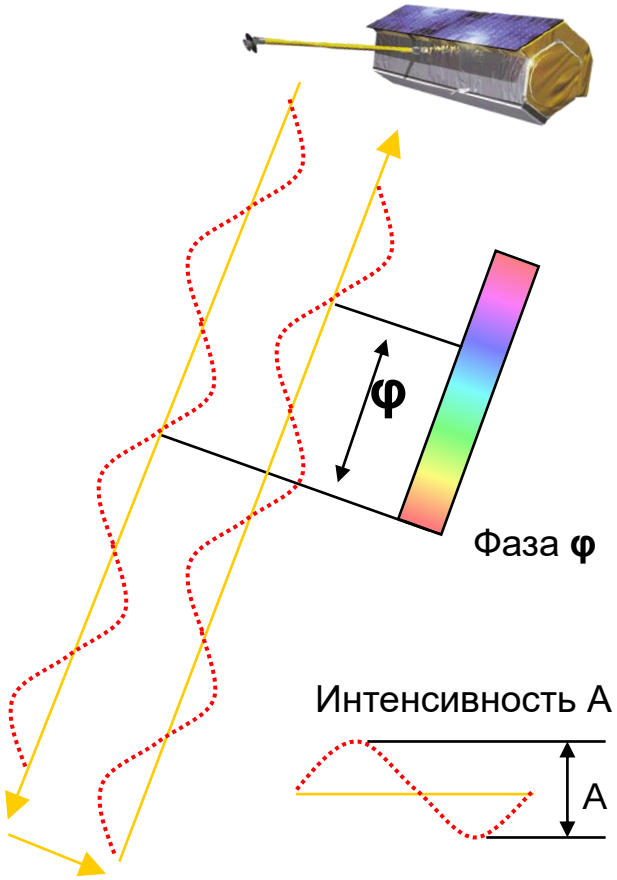
Запись принятого сигнала на жесткий диск



- Отсутствие зависимости от освещенности (солнцем) земной поверхности, низкая подверженность погодным условиям и времени дня;
- Измерение интенсивности и фазы отраженной радиоволны.

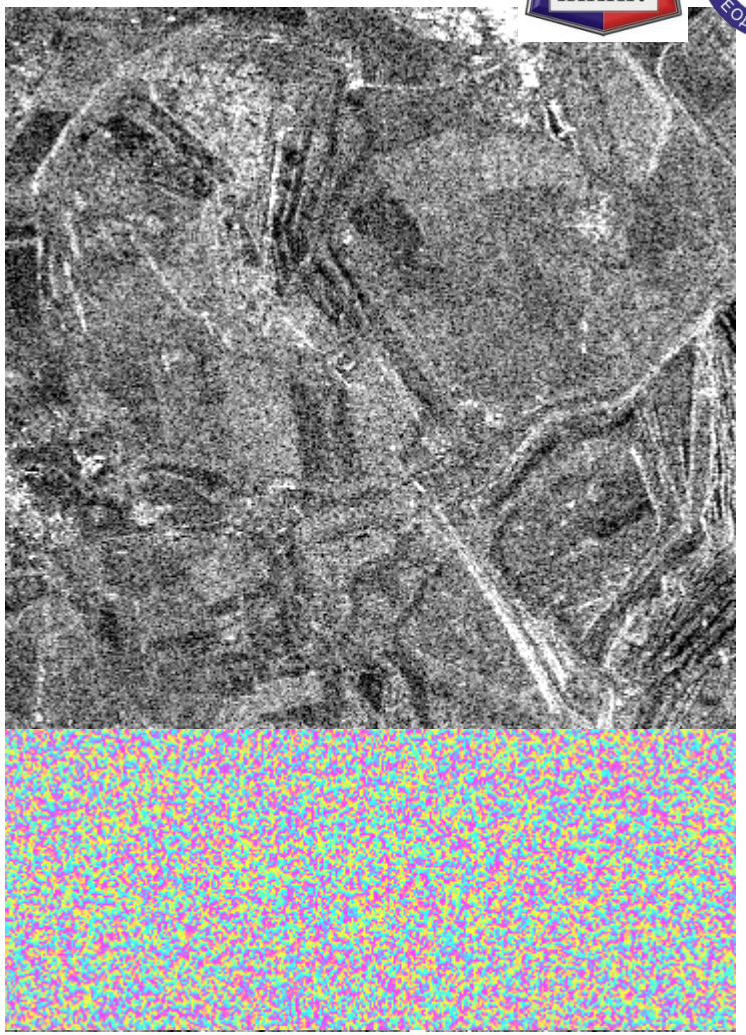
Общие сведения

Формирование сырой сцены



Общие сведения

- Не прямое измерение дальности
- Значение фазы в каждом пикселе случайно
- Изменение земной поверхности может быть определено по разнице фаз, используя две дискретные сцены (интерференция).

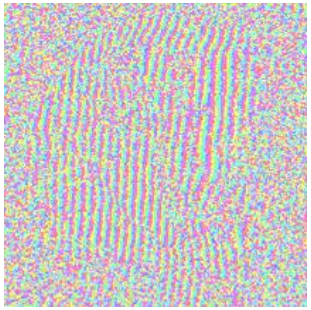
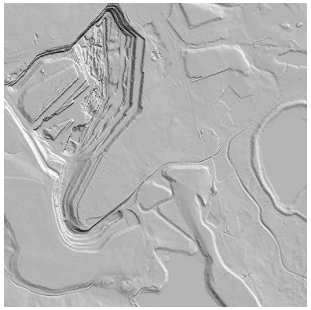
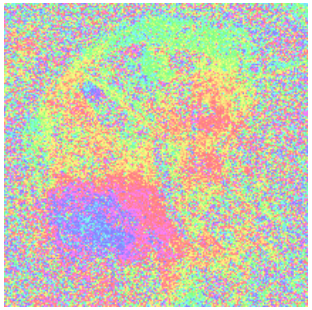
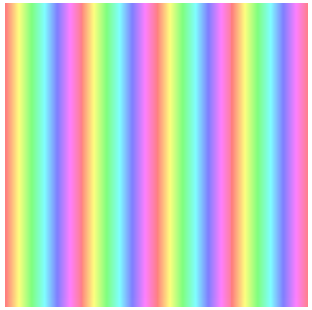
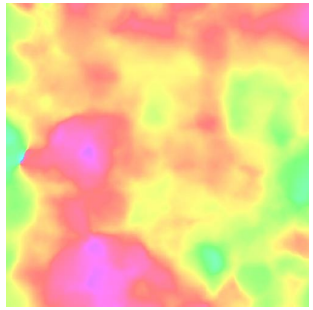
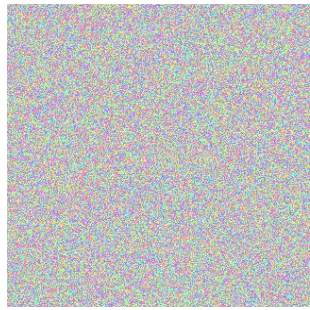


Отображение интенсивности и фазы

Общие сведения

Составляющие дифференциальной интерферометрической фазы

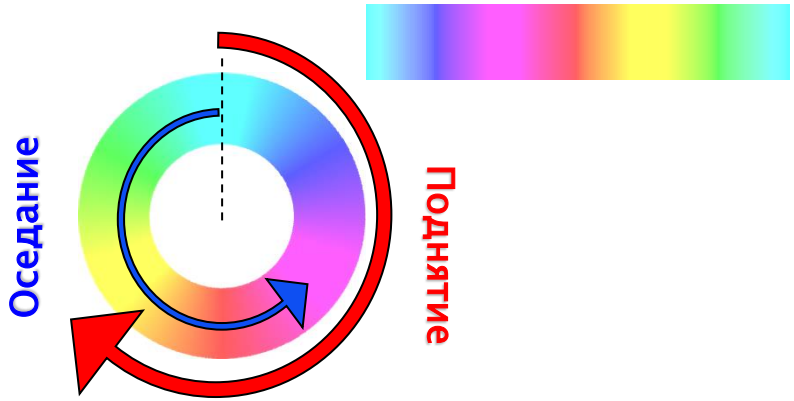
$$\phi_{InSAR} = \phi_{Topo} + \boxed{\phi_{Defo}} + \left(\phi_{Orbit} + \phi_{Atmo} + \phi_{Noise} \right)$$

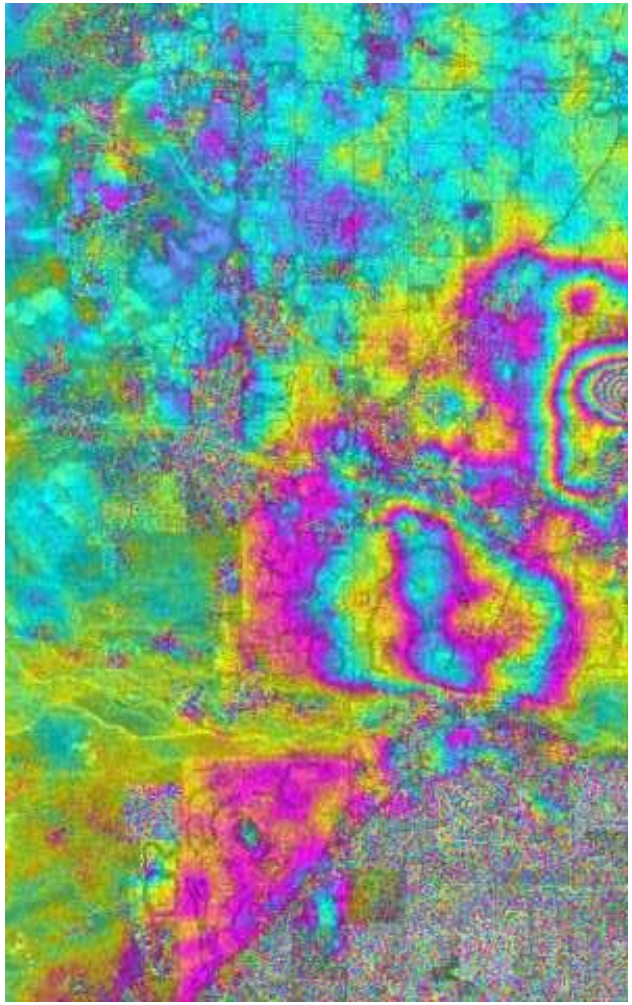
Фаза InSAR	Основные компоненты фазы	Вторичные компоненты фазы

Общие сведения

- Цветные циклы (интерференционные полосы)



- Одна интерференционная полоса = 2π = 5,6cm/2 по линии взгляда = 3.0 см по вертикали
- Потеря когерентности волн. Основные причины – временные изменения между наблюдениями: изменение поверхности, растительности, снег, спутниковой геометрии (базиса)



Пример дифференциальной интерферограммы