

# Введение в спутниковую радарную интерферометрию

измерение деформаций отражающей поверхности с точностью  
порядка доли длины волны радара, в частности:

мониторинг землетрясений;

мониторинг вулканической активности;

мониторинг оползнеопасных участков;

выявление просадок, деформации сооружений;

мониторинг движения поверхности моря;

- В настоящее время на орбите находятся более 10-ти радарных космических аппаратов ДЗЗ, способных проводить съемку с пространственным разрешением лучше 1 м.
- Особый интерес представляют данные с радарных спутников высокого разрешения, таких как RADARSAT-2 (Канада) и TerraSAR-X (Германия)

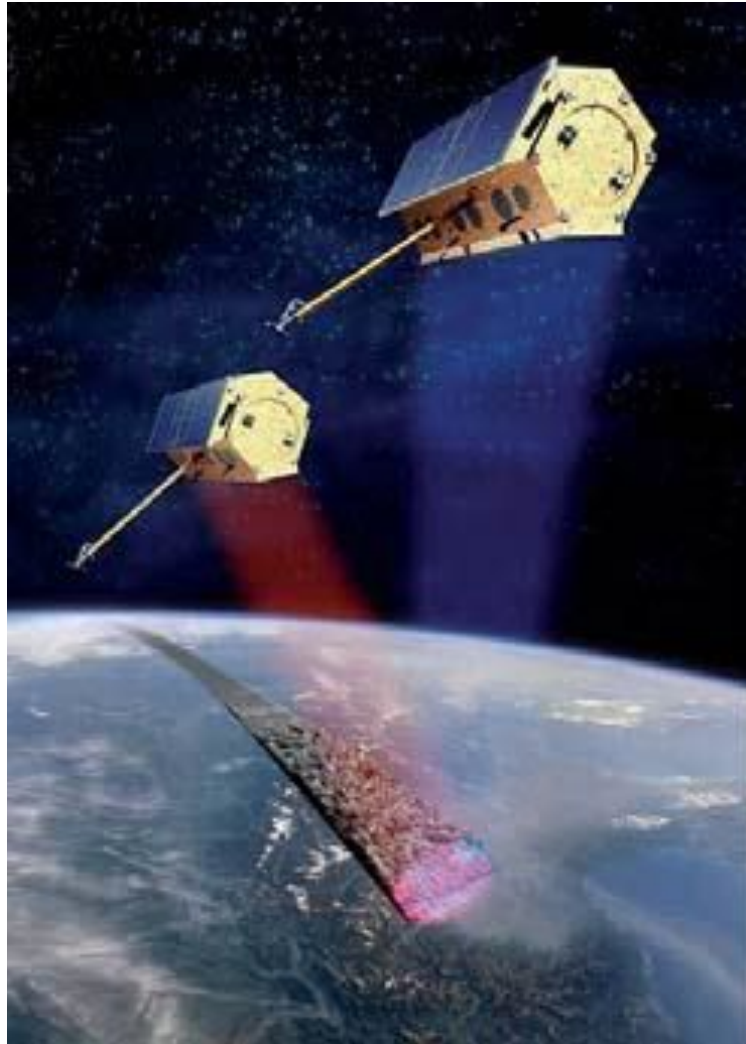
Радиолокационная космическая съёмка выполняется в ультракоротковолновой (сверхвысокочастотной) области радиоволн, подразделяемой на X-, C-, и L-диапазоны (табл. 1).

<b>Диапазон</b>	<b>Частоты, ГГц</b>	<b>Длины волн, см</b>	<b>Спутниковые системы</b>
X	5.20 – 10.90	2.75 – 5.77 (2.4 – 3.8)	USGS SLAR, TerraSAR-X, Cosmo-SkyMed 1-4
C	3.9 – 6.2	3.8 – 7.6	ERS-1,2; ENVISAT-ASAR; RADARSAT-1,2
L	0.39 – 1.55	19.3 – 76.9 (15 – 30)	SIR-A,B, ALOS

Радиосигнал способен проникать через облачность и дождевые капли. Эта способность определяется его длиной волны. При длине волны более 2 см радио сигнал гарантированно проникает через облачность, а при длине волны 34 см и больше – и через дождевые капли. Длина волны существенно влияет на амплитуду отраженного радиолокационного сигнала, а также на характеристики обратного рассеяния от подстилающей поверхности. Радиолокация в диапазоне L (длина волны 15,0 30,0 см) обеспечивает сильные отраженные сигналы, главным образом от более крупных объектов земной поверхности, а так же частичное проникновение радиоволн сквозь

- снежный и растительный покровы и, при определенных условиях, через песок и почву. Более короткие волны, используемые в диапазонах C (3,87,5 см) и X (2,43,8 см), позволяют выявить границы малых объектов местности, кроме того, излучение в этих
- диапазонах имеет тенденцию более сильно отражаться от растительного и снежного покровов, а также от почвы.

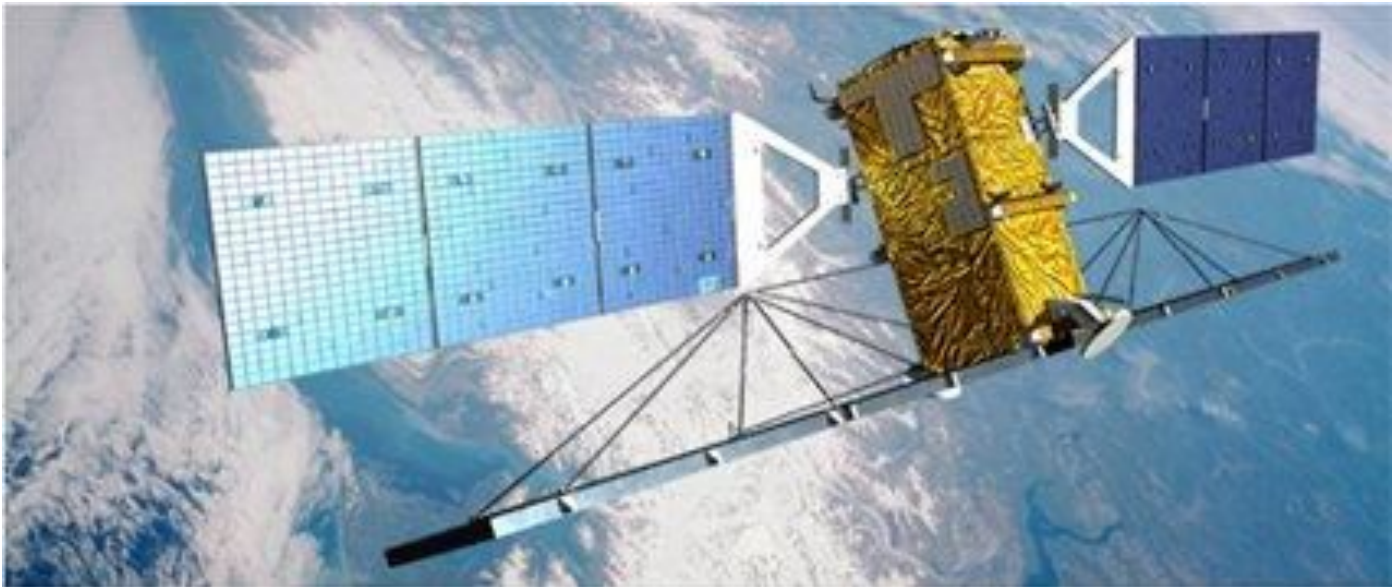
# Спутники TerraSAR-X и TanDEM-X



- Спутник TerraSAR-X, разработанный Немецким аэрокосмическим центром (DLR) и компанией EADS Astrium GmbH, был запущен 15 июня 2007 г. с космодрома Байконур и выведен на круговую солнечно-синхронную орбиту высотой 514 км с наклоном  $97,44^\circ$ . Спутник оснащен новейшим радаром с синтезированной апертурой, позволяющим выполнять радиолокационную съемку земной поверхности с беспрецедентным пространственным разрешением (лучше 1 м), что делает спутниковую систему TerraSAR-X одним из наиболее совершенных инструментов дистанционного зондирования Земли. Радар выполняет съемку земной поверхности в X-диапазоне длин волн (3,1 см) с изменяемой поляризацией излучения (HH, VH, HV, VV), в диапазоне съемочных углов от  $20^\circ$  до  $55^\circ$ . Эксплуатирует спутник немецкая компания Infoterra GmbH.

- Для мониторинга смещений земной поверхности и деформаций сооружений данные TerraSAR-X могут быть использованы только в условиях пустынь, степей и застроенных территорий, поскольку при съемке в X-диапазоне даже незначительная растительность резко ухудшает когерентность даже между соседними по времени съемками (полный цикл орбиты – 11 дней).

# Спутник RADARSAT-2

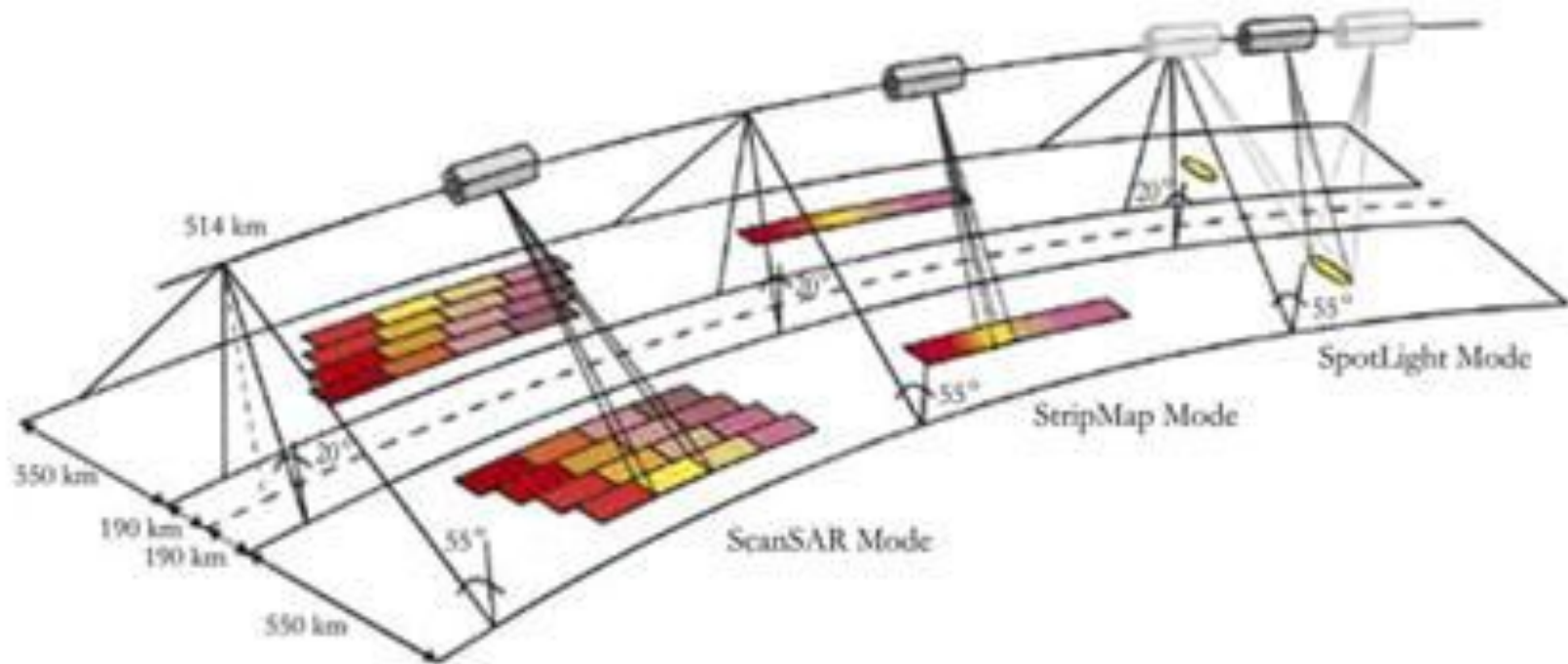




- Радиолокатор PALSAR, расположенный на спутнике ALOS, является единственным в данный момент радиолокатором L-диапазона. Он выполняет съемку всей поверхности Земли ежегодно по несколько раз, поэтому на любую точку на Земле, скорее всего, найдется архив в 5-7 проходов (а на некоторые участки и по 20 проходов)

- Радиолокационное дистанционное зондирование
- •Земли проводится при длинах волн от 1 мм до 1 м
- •и соответствующих им частотах от 0,3 до 300 ГГц.
- •Радиолокатор направляет луч электромагнитных импульсов на объект (около 1500 импульсов в секунду). Часть импульсов отражается от объекта, и радиолокационная система измеряет как характеристики отраженного сигнала, так и расстояние до объекта в зависимости от времени прохождения сигнала до объекта и обратно.

Высокоточное наблюдение за состоянием объектов транспортной инфраструктуры (трубопроводы, железные дороги и т. д.), а также различных строений, инженерных сооружений и т.д.

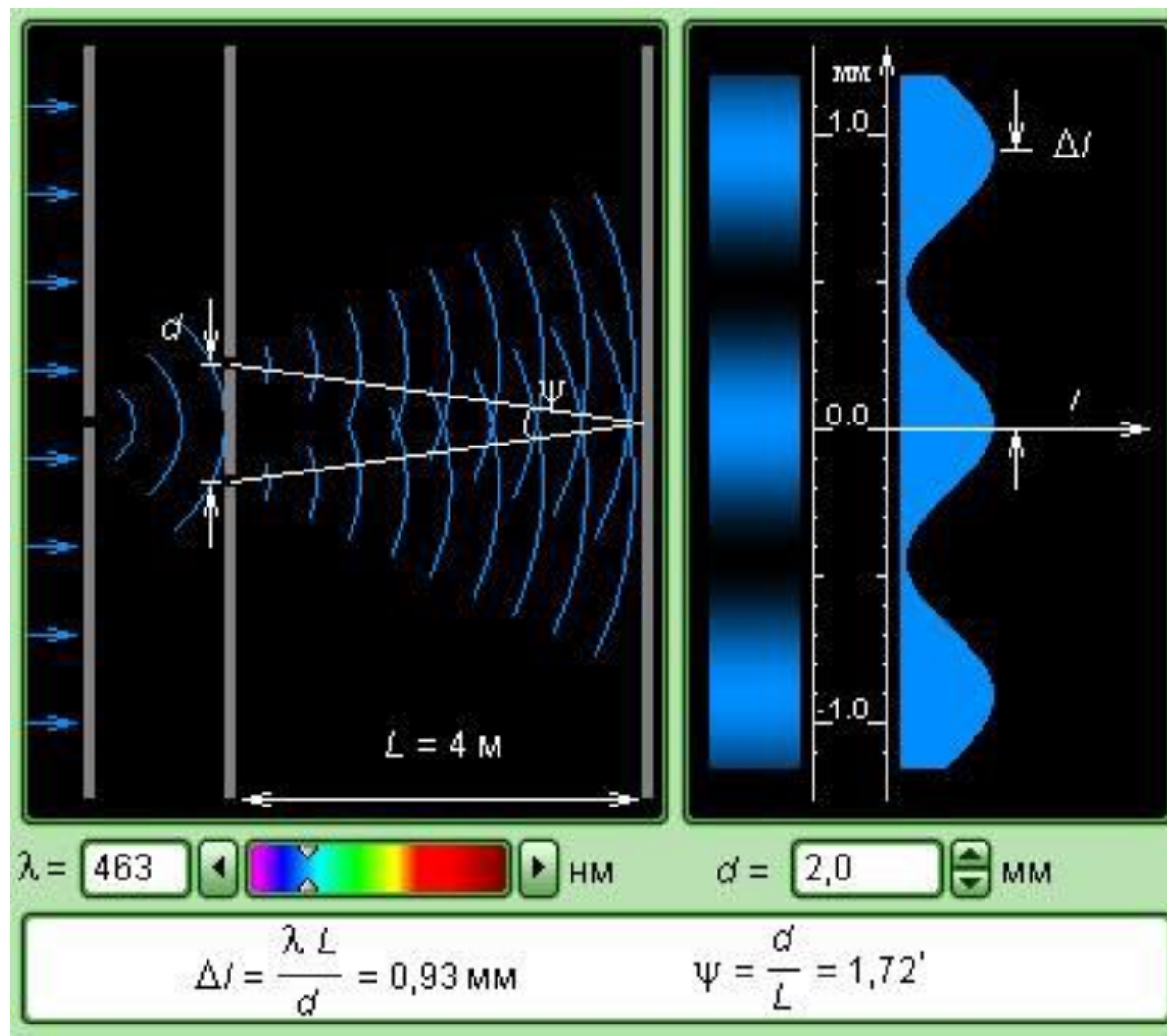


## Основные технические характеристики:

<b>Спектральный диапазон:</b>	X-диапазон (3,1 см)			
<b>Основные режимы:</b>	Сверхвысокого разрешения (High Resolution SpotLight)	Высокого разрешения (SpotLight)	Широкополосный высокого разрешения (StripMap)	Среднего разрешения (ScanSAR)
<b>Номинальное пространственное разрешение:</b>	1 м	2 м	3 м	16 м
<b>Размер сцены:</b>	10 км X 5 км	10 км X 10 км	30 км X 50 км	100 км X 150 км
<b>Скорость передачи данных на наземный сегмент:</b>	300 Мбит/сек			
<b>Радиометрическое разрешение:</b>	16 бит на пиксел			
<b>Формат файлов:</b>	CEOS, GeoTIFF			
<b>Обработка:</b>	Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция. Приведение к картографической проекции, создание ЦМР, производных картографических продуктов			
<b>Периодичность съемки:</b>	11 суток, подцикл: 2,5 суток			

*Интерференция света* — пространственное перераспределение энергии светового излучения при наложении двух или нескольких световых волн.

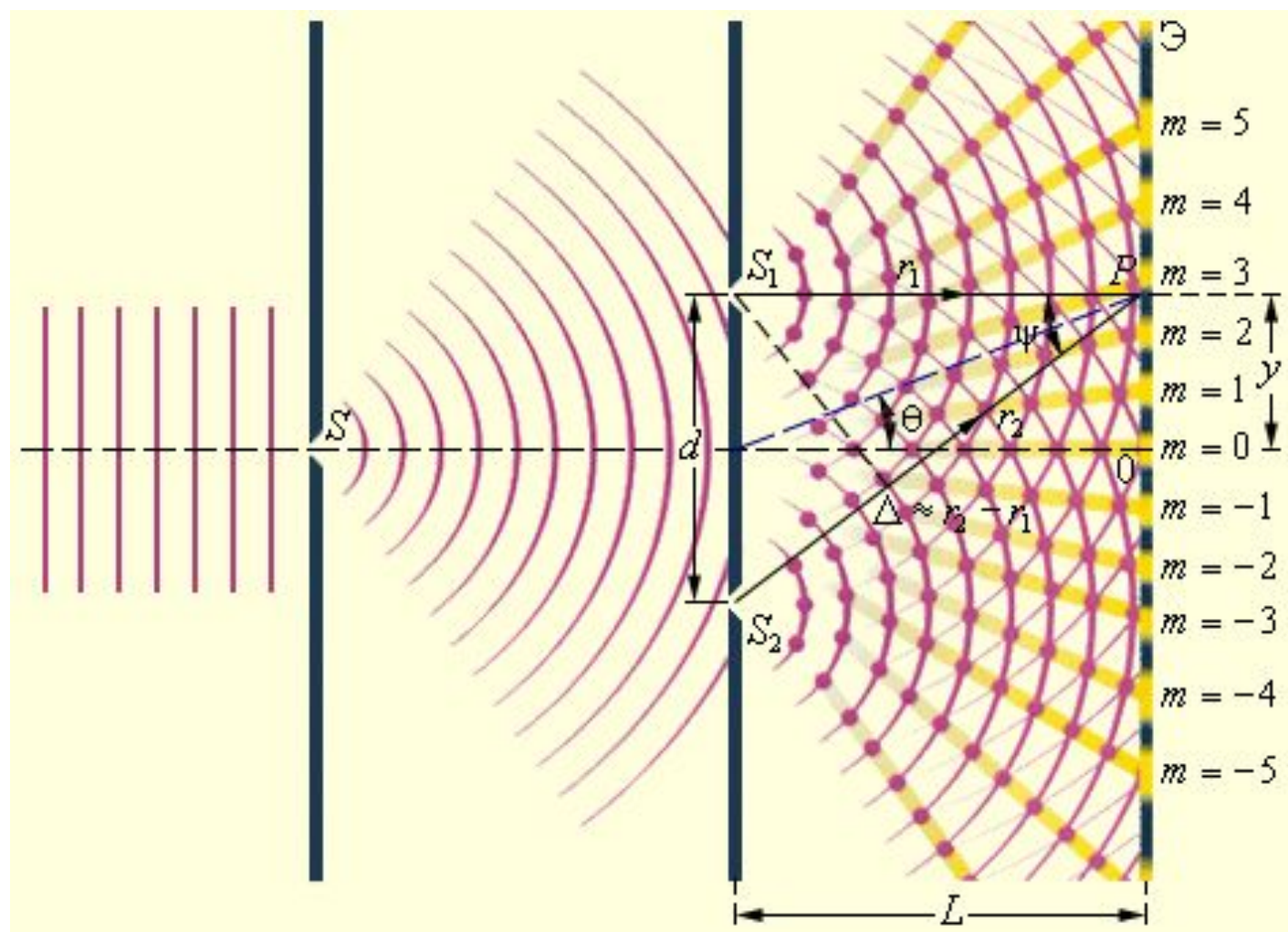
Схема интерференционного опыта Юнга



- В опыте Юнга яркий пучок солнечных лучей освещал экран с малым отверстием . Расходящийся пучок из отверстия падал на второй экран с двумя малыми отверстиями и , расположенными близко друг к другу на равных расстояниях от . Эти отверстия действуют как точечные синфазные источники, и исходящие от них волны, перекрываясь, создают интерференционную картину, наблюдаемую на удаленном экране . Положение темных и светлых полос в ней можно находить, пользуясь монохроматической идеализацией. Ширина полосы

$$\Delta x = \frac{l}{d} \lambda.$$

# разрешающая способность радарных систем



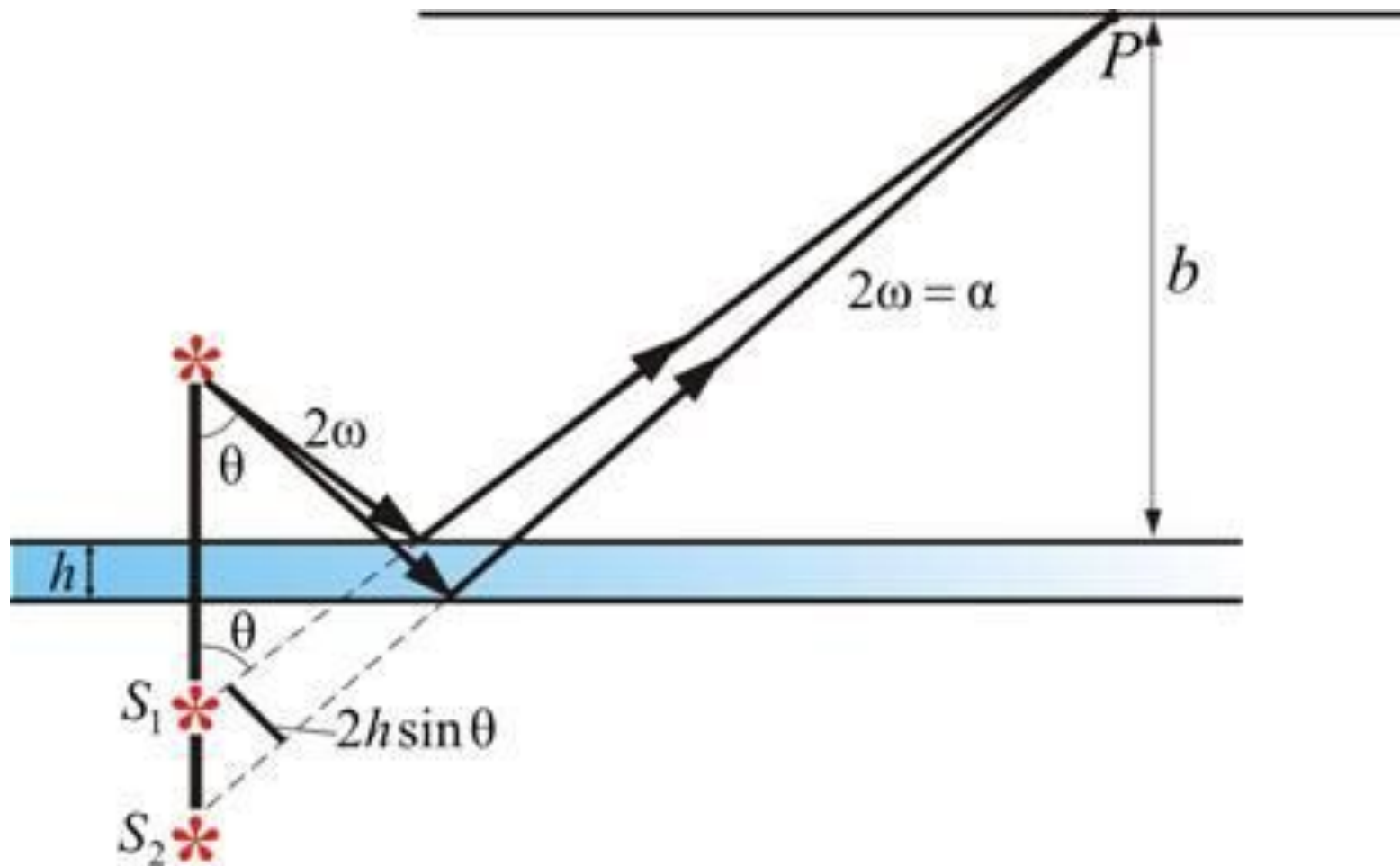


- На значительную часть земного шара имеются многопроходные интерферометрические цепочки снимков за период с 1991 по 2010 годы. Так, например, многие европейские города снимались каждый месяц с 1995 года (а с 1991 по 5-10 раз в год). То есть, в настоящее время имеются 100- или 200- проходные цепочки радарных снимков, которые, в случае достаточной когерентности, могут быть обработаны всеми возможными дифференциальными интерферометрическими методиками, описанными ниже, с получением на выходе карт смещений земной поверхности и деформаций зданий и сооружений за период до 20 лет.

# Интерференционная картина в пленке мыльного пузыря и пятне бензина



Свет от источника попадает в точку наблюдения, отражаясь от обеих поверхностей тонкой пленки. Разность хода между лучами возникает за счет прохождения одного из них через пленку. В результате в точке Р возникает интерференционная картина.



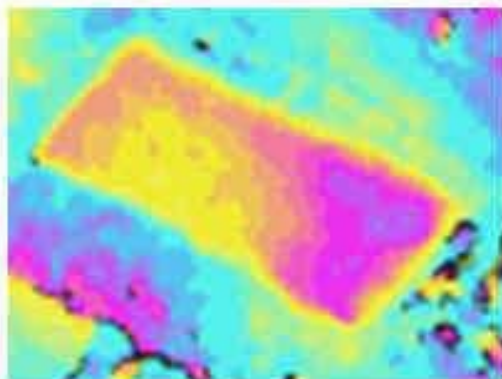
- *Спутниковая радарная интерферометрия* — метод измерений, использующий эффект интерференции электромагнитных волн. Основная идея метода заключается в формировании интерферограммы, которая представляет собой результат композиции двух радиолокационных изображений одной и той же территории, содержащих информацию об амплитуде и фазе сигнала, и полученных идентичными радарными из близко расположенных точек орбиты.

- Входными данными для обработки в специализированных программах является интерферометрическая пара, состоящая из основного (master) и дополнительного (slave) радарных СНИМКОВ.

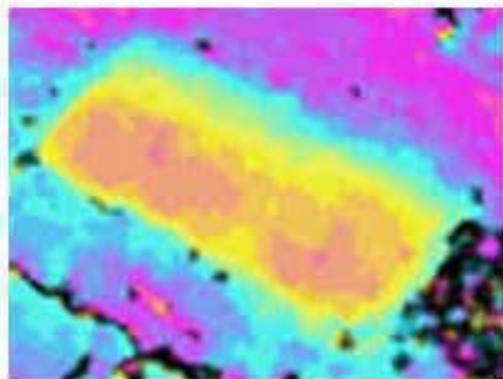
- Для построения качественной интерферограммы и определения с ее помощью смещений поверхности, необходимо, чтобы два изображения обладали высокой когерентностью, а также были совмещены геометрически с высокой точностью.

- *Временной базой* называют промежуток времени, прошедший между съемкой изображений, составляющих интерферометрическую пару. За этот период могут произойти изменения рельефа, растительности, влажности, шероховатости и других свойств отражающей поверхности, что снижает когерентность обрабатываемых снимков. Однако для временной базы нет четко сформулированных критических значений, подобных тем, что существуют для пространственной базы.

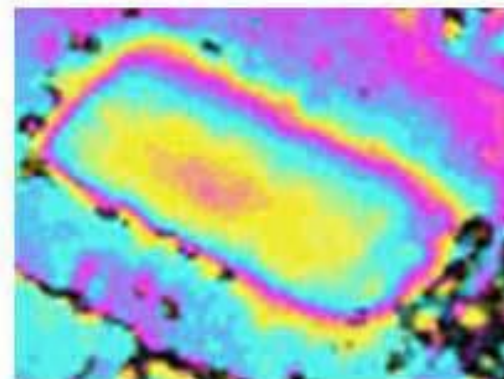
Осадка в зоне строительства здания, рассчитанная по данным дифференциальной интерферометрической обработки серии снимков TerraSAR-X. Под каждой интерферограммой указан временной интервал между снимками пары. Каждый цветовой цикл на интерферограммах соответствует оседаниям, равным половине длины волны (т.е. 1,5 см).



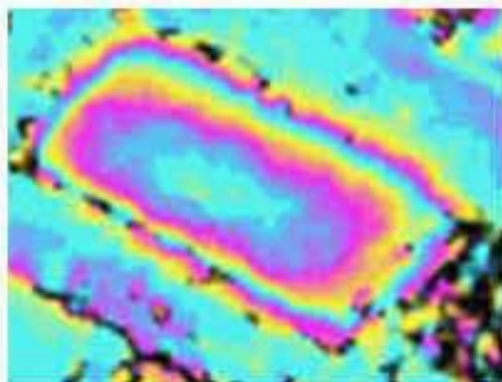
11 days



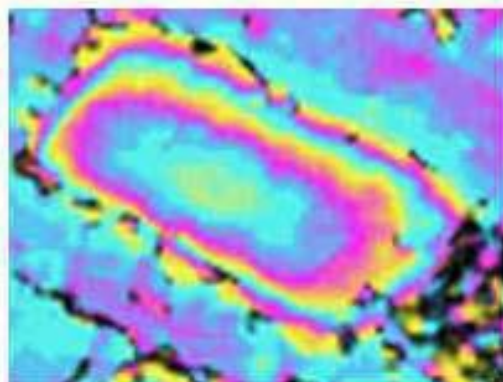
22 days



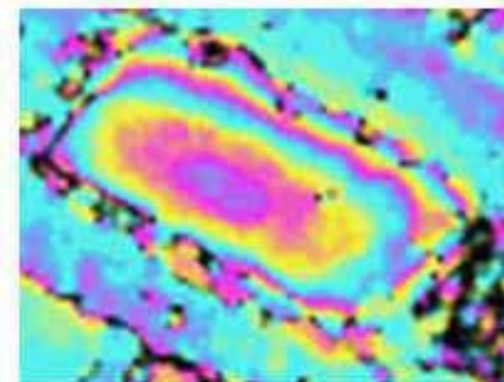
33 days



44 days



55 days

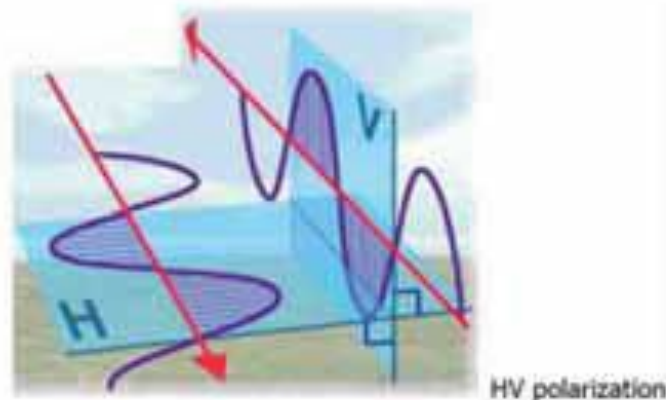


66 days

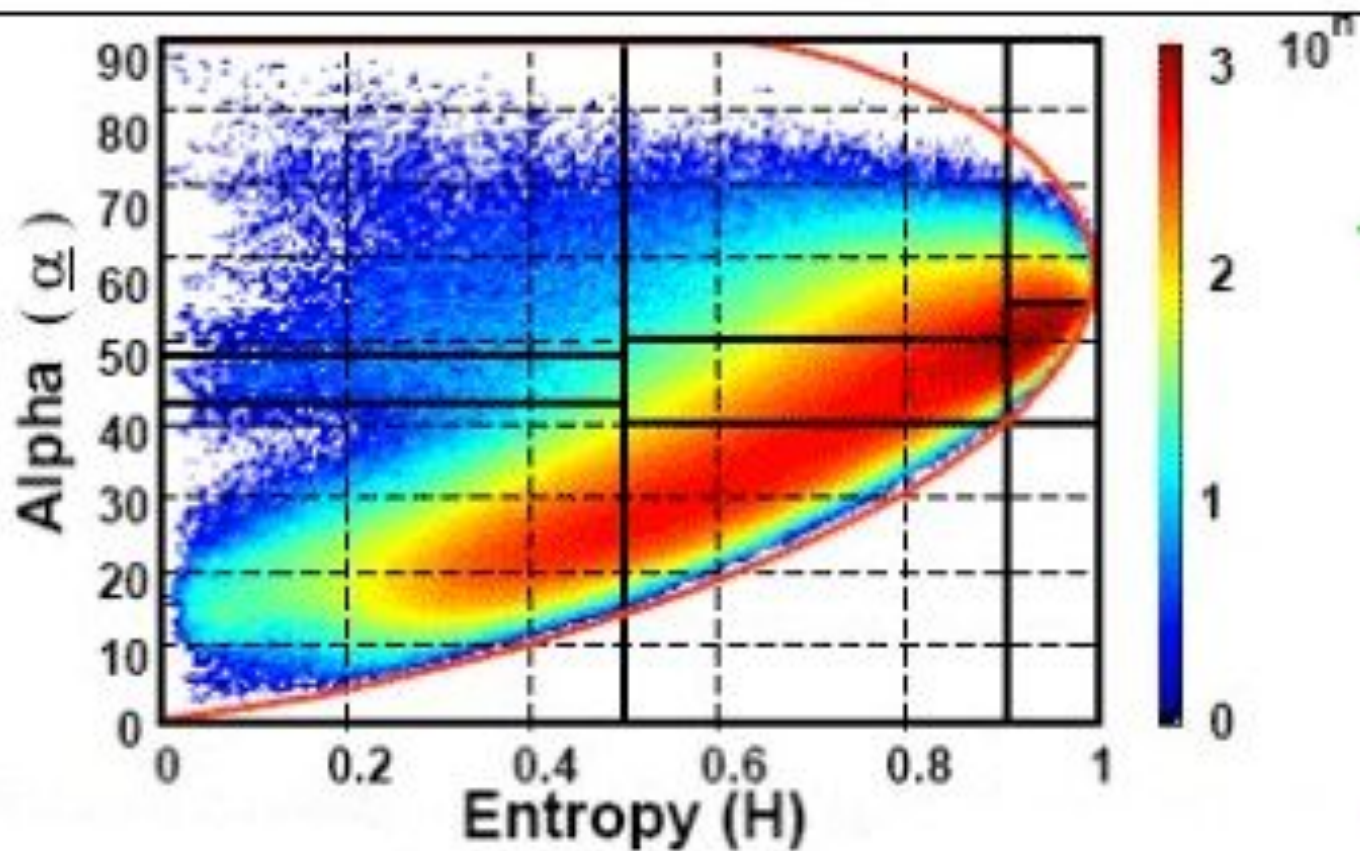


Поляризация определяется ориентацией вектора электромагнитной индукции, при взаимодействии с объектом поляризация изменяется и несет в себе информацию об объекте. **Параллельная поляризация** – направленный и принятый сигнал имеет одну и ту же поляризацию –  $HH$  и  $VV$ . С какой поляризацией облучается поверхность, с такой же поляризацией принимается отраженное излучение. Такие типы поляризации имеют тенденцию фиксировать отраженное рассеяние волн от объектов, ориентированных в том же самом направлении, что и падающая радиоволна.

- **Кроссполяризация** – направленный и принятый сигнал имеет различную поляризацию –  $HV$  и  $VH$ . облучение объекта идет при одной поляризации, а принимается отраженный сигнал с другой поляризацией. Такие типы поляризации позволяют фиксировать отраженные сигналы, образующиеся в результате объемного рассеивания, которое деполяризует энергию как, например, в случае сигналов,
  - отраженных от земной поверхности и стволов деревьев.



# Полная поляризационная матрица.



# Классы объектов, различающиеся по физическому типу отражения, выделяемые SARscape.

