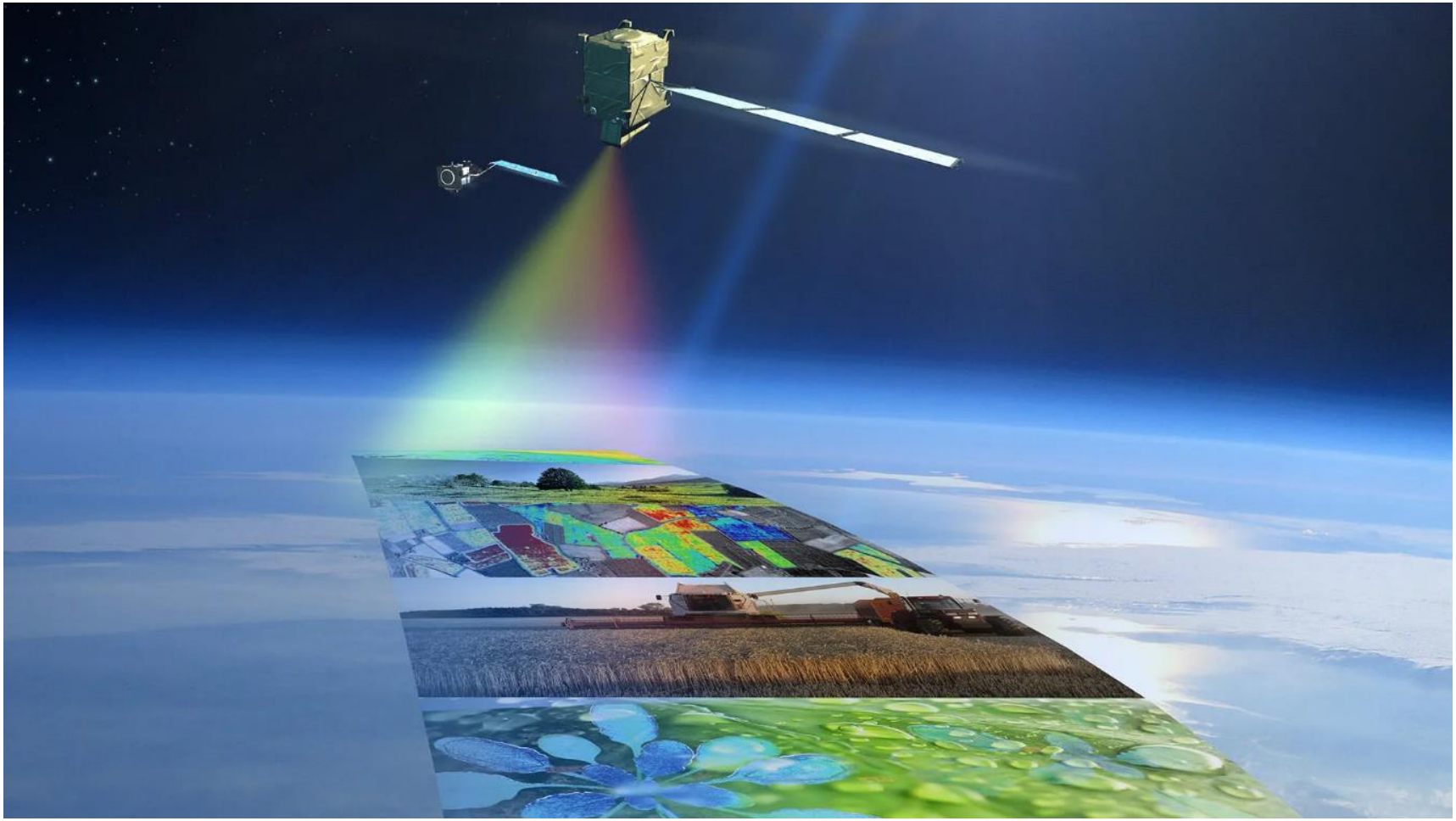
# Л3. Радиолокационная аппаратура ДЗЗ высокого пространственного разрешения. Космические системы: ERS-1, 2; ENVISAT-1, Radarsat-1,2; ALOS; TerraSAR-X



Лектор Кенесбаева А.

# Радиолокационная аппаратура ДЗЗ высокого пространственного разрешения

При активном радиолокационном зондировании природной среды используются три основные типа приборов:

- радиовысотомеры (Radar Altimeter)
- скаттерометры (Scaterrometer)
- радиолокационные системы бокового обзора с реальной или синтезированной апертурой (Synthetic aperture radar - SAR) https://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.ru.html

Апертура в антенной технике — условная плоская излучающая или принимающая излучение поверхность антенн.

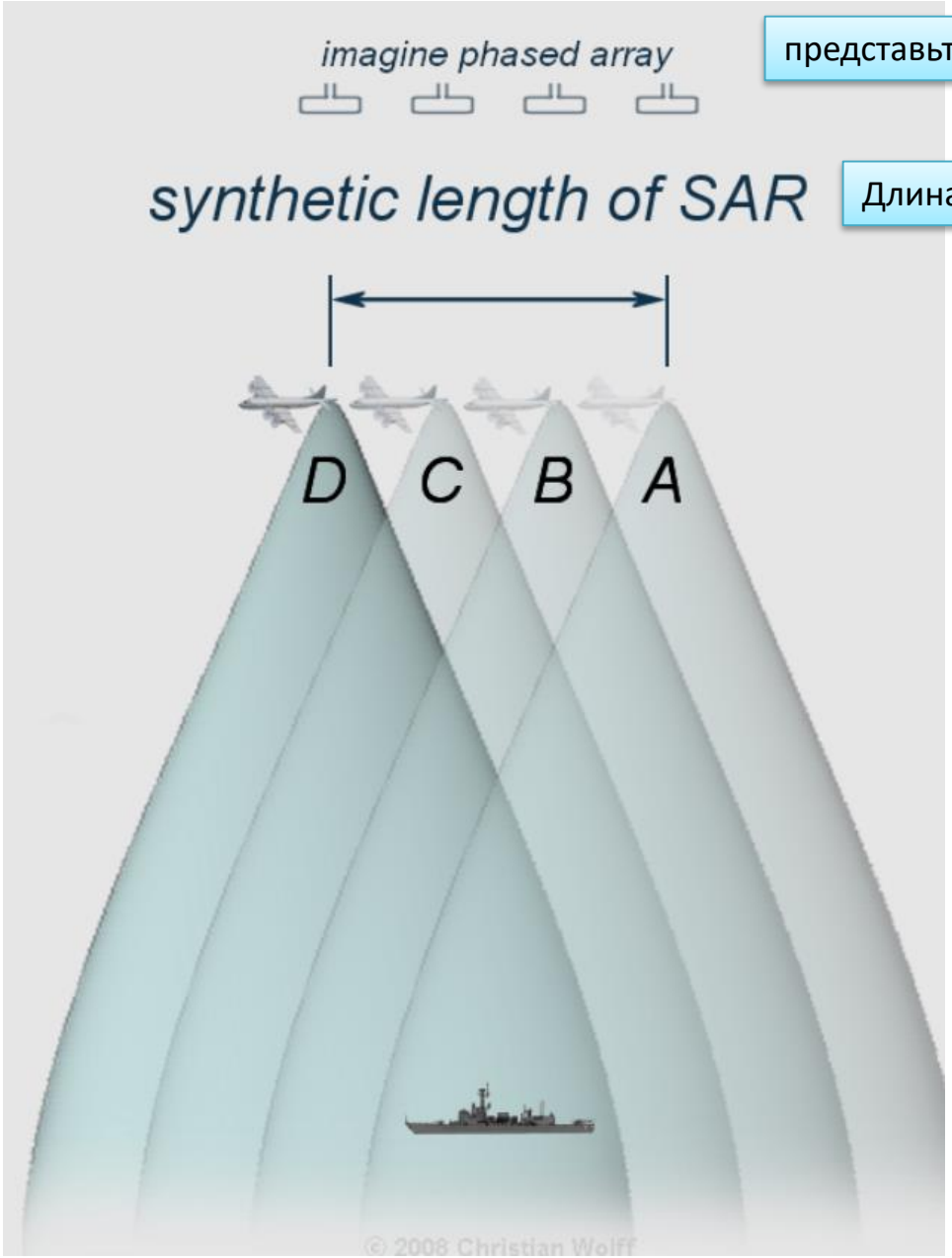
Суть метода синтезирования апертуры заключается в том, что радиолокационные данные, полученные в каждом отдельном периоде зондирования, сохраняются совместно с данными о местоположении платформы, соответствующими этим периодам.

Все эти данные сохраняются в течение определенного интервала времени. Расстояние, на которое переместится платформа в течение этого интервала, определяет размер синтезированной апертуры.

По окончании интервала полученные данные обрабатываются совместно, как если бы они были получены при помощи антенной решетки, элементы которой соответствуют положениям платформы с радиолокатором во время каждого из периодов зондирования. При обработке учитываются допплеровские сдвиги частоты, которые будут разными для разных взаимных положений радиолокатора и цели в каждом периоде зондирования.

Таким способом достигается гораздо более высокое разрешение радиолокационного изображения, чем у радиолокатора с такой же антенной при использовании реальной апертуры.

# Радиолокационная аппаратура ДЗЗ высокого пространственного разрешения




представьте себе фазированную решетку

Длина синтезированной апертуры

Принцип функционирования радиолокатора с синтезированной апертурой схож с принципом функционирования радиолокатора с фазированной антенной решеткой. Отличие заключается в том, что вместо отдельных антенных элементов фазированной решетки в данном случае используется только одна антенна, но с объединением информации с ее выхода в разные моменты времени и, вследствие движения платформы, в разных точках пространства.

# Радиолокационная аппаратура ДЗЗ высокого пространственного разрешения

Радиолокационные высотомеры применяются для измерения высотного профиля подстилающей поверхности с точностью до 1 - 8 метров.

Они в основном используются для изучения топографии поверхности мирового океана. Принцип действия скаттерометров (измерителей характеристик рассеяния) основан на зависимости абсолютной величины удельной эффективной площади рассеяния морской поверхности и уровня ее анизотропии в азимутальной плоскости от скорости и направления приводного ветра.

Скатерометрлердің жұмыс принципі (шашырау сипаттамаларын өлшегіштер) теңіз бетінің үлестік тиімді шашырау ауданының абсолютті мәні мен оның азимуттық жазықтықтағы анизотропия деңгейінің беткі желдің жылдамдығы мен бағытына тәуелділігіне негізделген.

**Анизотропи́я** (от др.-греч. ἄνισος — неравный и τρόπος — направление) — различие свойств среды (например, физических: упругости, электропроводности, теплопроводности, показателя преломления, скорости звука или света и др.) в различных направлениях внутри этой среды; в противоположность изотропии.

Основным назначением скаттерометров космического базирования является определение синоптического (сводного) поля ветра, что принципиально не требует высокого разрешения по координатам.

# Радиолокационная аппаратура ДЗЗ высокого пространственного разрешения

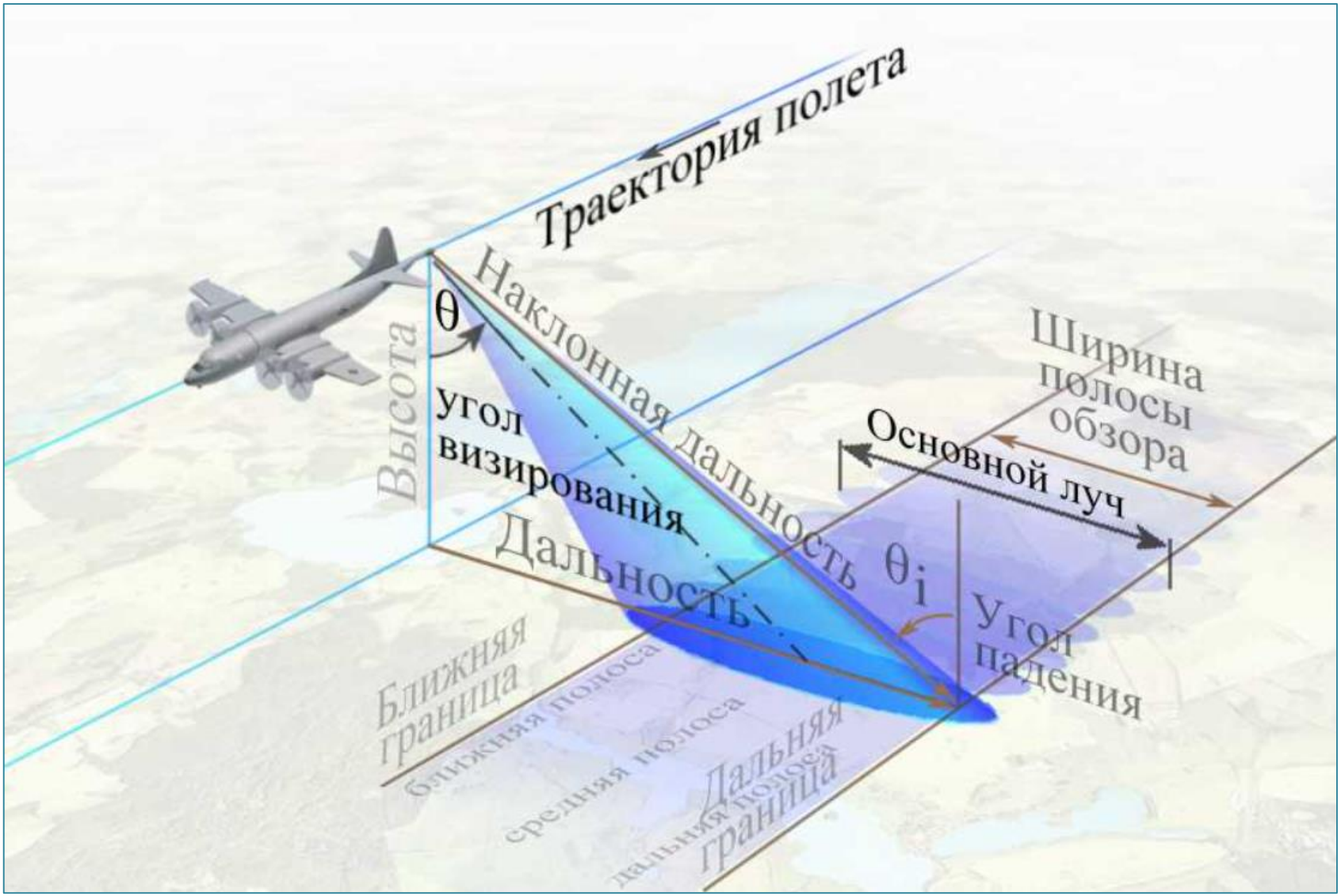
Радиолокационные системы бокового обзора (РЛС БО) относятся к числу наиболее универсальных и информативных датчиков дистанционного зондирования в микроволновом диапазоне.

При этом различают некогерентные радиолокационные системы, путевая (вдоль трассы ИСЗ) разрешающая способность которых определяется размерами реальной апертуры антенны, и РЛС с искусственным раскрытием антенны (синтезированием апертуры), в которых высокая разрешающая способность достигается за счет когерентной обработки отраженных сигналов, принимаемых реальной апертурой по мере движения спутника по орбите.

Преимуществом некогерентных РЛС БО являются широкая полоса обзора, разрешение в которой не зависит от состояния (изменчивости) зондируемой поверхности, сочетающаяся с относительной простотой, как самого радиолокатора, так и системы обработки информации.

Главный недостаток – низкая разрешающая способность. В то же время, радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенны (РСА) позволяют получать значительно более высокое азимутальное разрешение при съемке геофизических объектов, положение которых остается неизменным на периоде когерентного накопления отраженных сигналов.

# Радиолокационная аппаратура ДЗЗ высокого пространственного разрешения



# Радиолокационная аппаратура ДЗЗ высокого пространственного разрешения

Пространственная разрешающая способность радиолокационной аппаратуры ДЗЗ (10 –100 м для РСА и 1 – 2 км для некогерентных РЛС БО) несопоставима с разрешением оптических систем.

Информативность радиолокационных изображений Земли зависит от энергетического потенциала и разрешающей способности РЛС, от полноты измерения поляризационных характеристик рассеяния наблюдаемых геофизических объектов, а также от структуры зондируемой поверхности и ее электрофизических характеристик.

Качество радиолокационной съемки не зависит от условий освещенности поверхности Земли и наличия облачного покрова, что выгодно отличает эти системы от средств дистанционного зондирования в видимом диапазоне спектра.

Кроме того, с использованием РЛС БО могут быть получены изображения земной поверхности, скрытой растительным покровом, а также определены диэлектрические свойства поверхностного слоя.

# Диапазоны частот работы радиолокационных систем

Диапазон электромагнитных волн работы радиолокационных систем ДЗЗ приходится на частоты от 300 МГц до 300 ГГц.

| Диапазон час-тот ГГц | Англ. аббревиатура | Русск. аббревиатура | Длина волны мм |
|---|---|---|---|
| 0,300 - 3 | UHF - Ultra High Frequency | УВЧ - ультравысокие частоты | 1000 - 100 |
| 3 - 30 | SHF - Super High Frequency | СВЧ - сверхвысокие час-тоты | 100 - 10 |
| 30 - 300 | EHF - Extra High Frequency | КВЧ - крайне высокие частоты | 10 - 1 |

Радиовысотомеры космического и воздушного базирования в основном работают в P и X диапазоне. В скаттерометрах используется L и S диапапазоны. Радиолокационные системы получения изображения с реальной и синтезированной апертурой работают в самой коротковолновой (микроволновой) части спектра в поддиапазонах C, X, K и W.

# Диапазоны частот работы радиолокационных систем

| Диапазон | Наименование поддиапазона | Полоса частот. ГГц | Длина волны, $10^{-3}$м |
|---|---|---|---|
| UHF | P -band | 0,225 – 0,390 | 1333 – 76, |
| | L -band | 1,452-1,550<br>1,610-1,710 | 205 –193<br>186 – 175 |
| | S - band | 1,93 - 2,70 | 155,3 – 111,0 |
| SHF | C - band | 3,40 -5,25<br>5,725 - 7,075 | 88,17 – 57,10<br>52,36 – 42,37 |
| | X - band | 7,25 - 8,40 | 41,35 – 35,68 |
| | Ku - band | 10,70 - 12,75<br>12,75 - 14,80 | 28,02 – 25,35<br>25,35 – 20,25 |
| | K - band | 15,40 - 26,50 | 19,46 – 11,31 |
| EHF | Ka - band | 27,00 - 50,20 | 11,10 – 9,92 |
| | W - band | 65,0 - 110,0 | 3,6 – 3,5 |

# Космические средства радиолокационного наблюдения

Наиболее востребованными среди пользователей и фактически сформировавшими современный мировой рынок космических РЛ-видеоданных являются материалы съемки Земли радиолокаторами с синтезированной апертурой (РСА) с космических аппаратов ERS-1/2 (Европейское космическое агентство), JERS (Япония) и Radarsat (США).

С 1991 года в течение нескольких лет на орбите надежно работал тандем спутников ERS-1 и ERS-2, позволивший реализовать технологию РЛ-интерферометрии («фазирование» орбит обеспечивало прохождение вторым КА того же наземного следа первого КА через 24 часа), обеспечивающей относительно детальной информацией о рельефе местности с двух углов визирования.

Оба спутника имели идентичные характеристики орбит: солнечно-синхронные высотой около 800 км и наклонением 98,5°.

Многофункциональный КА JERS-1, выведенный на солнечно-синхронную орбиту с высотой около 600 км и наклонением 97,7°, Япония эксплуатировала до осени 1998 г. За 6,5 лет работы (при расчетном сроке функционирования 2 года) было получено свыше 300 000 радиолокационных изображений земной поверхности.

ERS-1



ERS-2

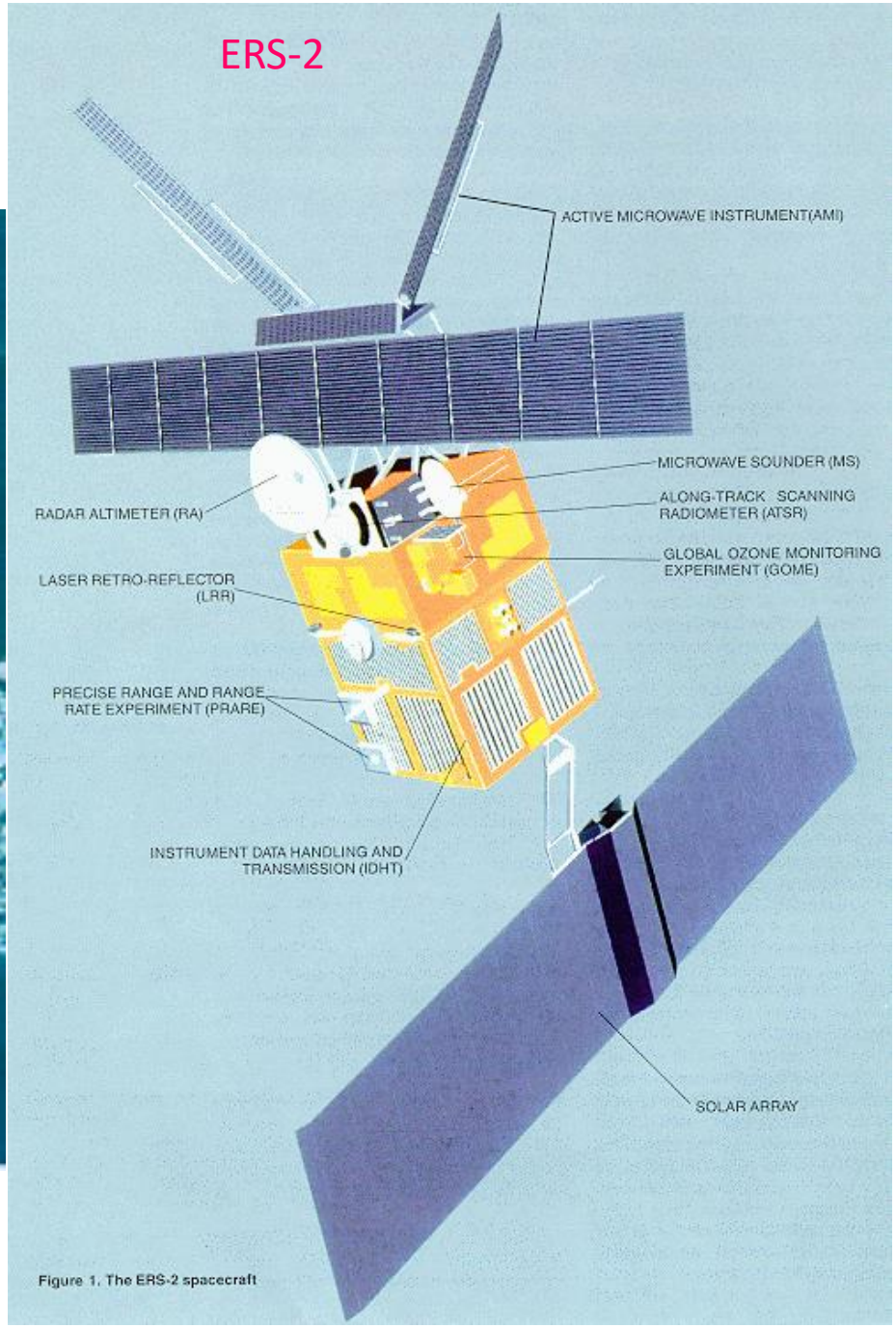



Figure 1. The ERS-2 spacecraft

# Космические средства радиолокационного наблюдения

С 1995 г. на орбите высотой 820 км и наклонением 98,6° продолжает эффективно функционировать канадский спутник Radarsat-1.

К концу шестого года работы на орбите с его борта передано более 220 тыс. снимков. Число заказчиков из 60 стран составило около шести сотен.

В 1999 и 2000 гг. выполнены работы по картографированию Антарктиды, продемонстрирована возможность использования радиолокатора с синтезированной апертурой в режиме интерферометрии.

Хотя Radarsat – коммерческий спутник, часть информации распространяется бесплатно в рамках проекта «Международная хартия по космосу и крупным катастрофам», целью которого является обеспечение жизненно важной космической видеоинформацией стран, пострадавших от крупных природных и техногенных катастроф.

# Европейская космическая система ДЗЗ ERS-1, 2

Спутниковая система ERS разрабатывалась Европейским Космическим Агентством (ESA) с начала 80-х годов прошлого века. Первый аппарат серии - ERS-1 был запущен 17 июля 1991 г. на солнечно-синхронную орбиту со средней высотой 785 км и наклонением 98,50 .

Второй спутник - ERS-2, ставший преемником и конструктивным аналогом ERS-1, был выведен на такую же орбиту 21 апреля 1995 года.

Главной особенностью этих КА является возможность круглосуточного всепогодного наблюдения Земли, высокая надежность и долгий срок работы, а также предусмотренная совместная работа нескольких спутников.

На первом спутнике установлено 5, на втором 6 разнообразных инструментов дистанционного зондирования, включая оптические ультрафиолетовые и инфракрасные сканеры, радарный альтиметр и т.д. Однако, учитывая сравнительно невысокое пространственное разрешение большинства перечисленных приборов, наибольший интерес для широкого круга пользователей представляют радиолокационные приборы изучения земной поверхности: радиолокационная станция бокового обзора с синтезированной апертурой SAR (Synthetic aperture radar), радиолокационный высотомер (Radar Altimeter), и скатерометр SCAT (Wind Scaterrometer).

# Европейская космическая система ДЗЗ ERS-1, 2

РСА SAR выполнял съемку земной поверхности в С-диапазоне, с вертикальной поляризацией излучения (VV), при углах визирования от 200 до 260.
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD

Расчетный срок пребывания на орбите спутника ERS-1 определялся в 3 года, однако аппарат продолжал успешно работать до 10 марта 2000 г., что позволило ESA в течение почти 5 лет эксплуатировать спутниковую группировку, обеспечивавшую удвоенную частоту съемки поверхности Земли.

Также благодаря этому был проведен ряд экспериментов по радарной интерферометрии, в частности осуществлен проект «ERS Tandem», продолжавшийся с 1995 по 1996 год и значительно продвинувший технологии радарного дистанционного зондирования.

В период параллельной работы (тандемный полет) ERS-2 следовал вдоль трассы ERS-1 с 24-часовой задержкой. Срок пребывания на орбите ERS-2 определялся в 2 года, однако, несмотря на мелкие неисправности, он успешно проработал до июня 2003 г.

С тех пор, в связи с поломкой записывающего устройства, съемка ведется только в пределах доступности наземных станций ESA.

# Европейская космическая система ДЗЗ ERS-1, 2

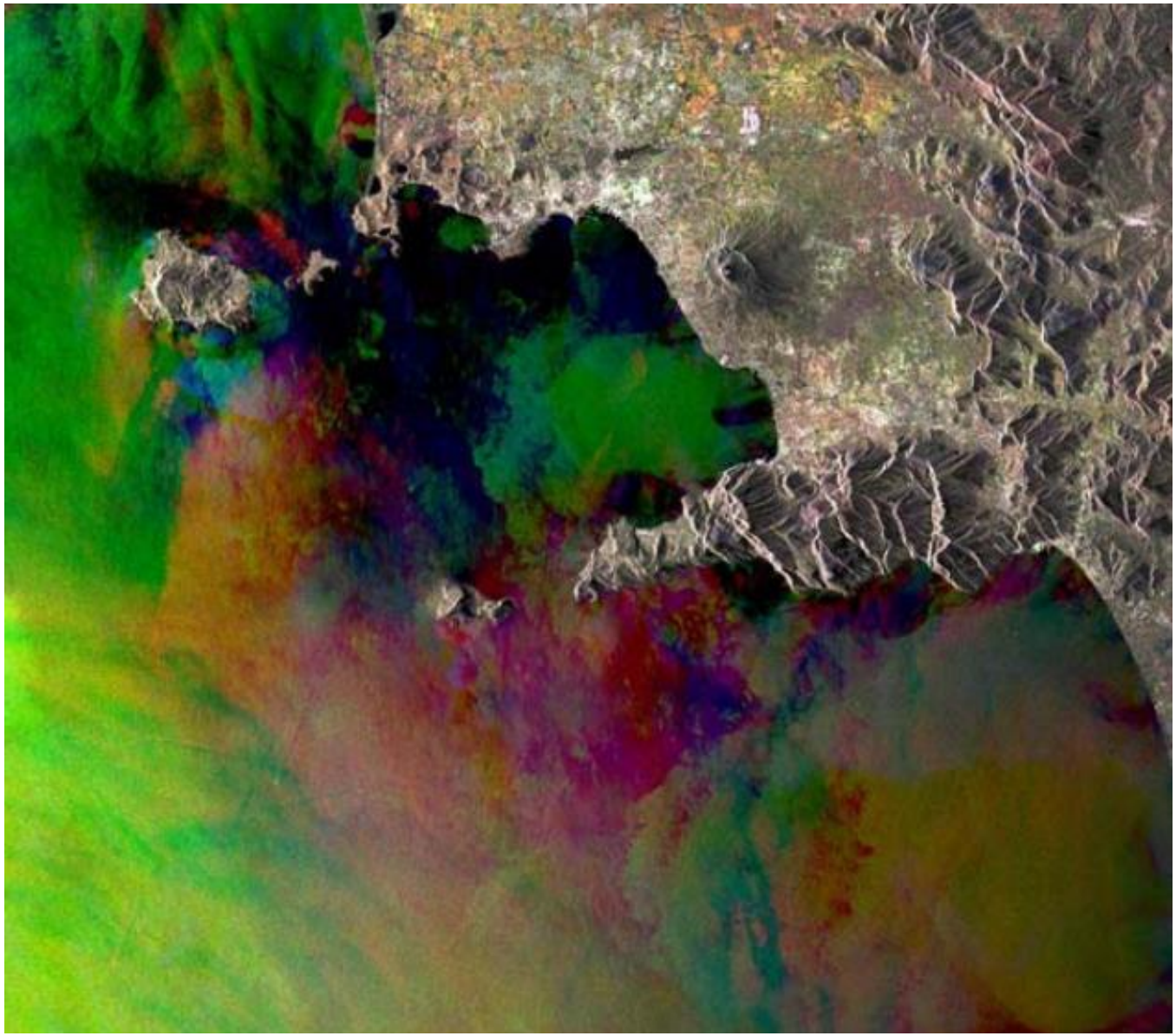
Области применения данных дистанционного зондирования, полученных со спутников ERS-1/2 чрезвычайно широка.

Это и отслеживание ледовой и снеговой обстановки в приполярных районах, и наблюдение за стихийными бедствиями (наводнениями, подвижками ледников; пожарами и т.д.) вне зависимости от погоды и времени суток, и создание карт посевных площадей, оценка урожайности, состояния посевов, контроль использования земель, и создание карт породного состава лесов, состояния насаждений, незаконных вырубок и т.д.

Основная цель полета ERS-1/2 состояла в наблюдении за океаническим и морским ледовым покровом, что, в свою очередь, дает необходимую информацию относительно взаимодействия атмосферы с поверхностью океана для моделей климата.

КА информировал о циркуляции энергии в океанических водах, позволял провести более точные оценки массового баланса ледяных пластов Арктики и Антарктики, улучшал контроль за динамикой прибрежных процессов и уровнем загрязнения.

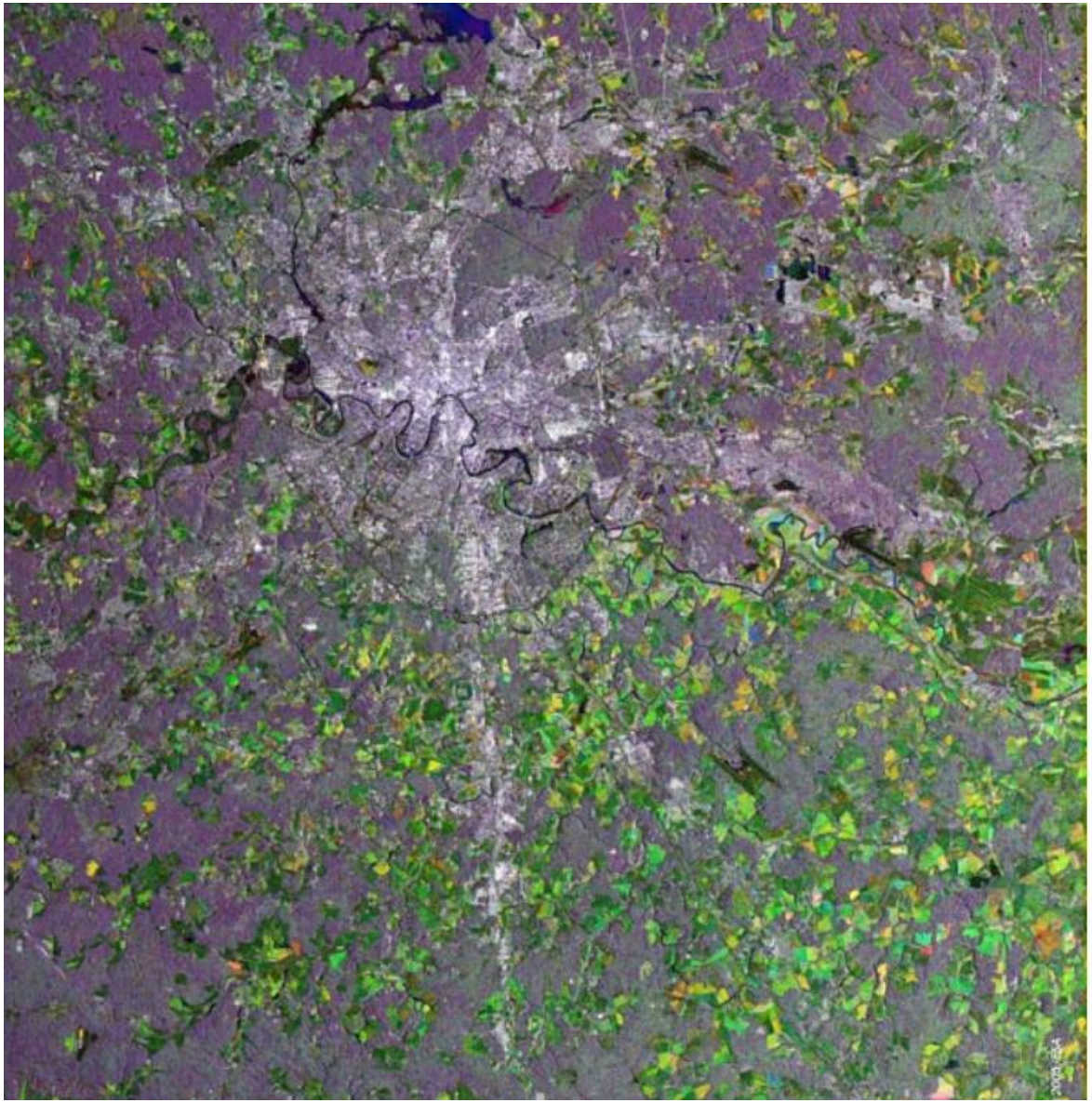
Неаполитанский залив, SAR. Временной композит: Red–11 февраля 2004 г. Green– 21 апреля 2004 г. Blue–30 июня 2004



Вена, SAR, Временной композит: Red–17 мая 2004 г. Green–26 июля 2004 г., B - 24 марта 2003



Подмосковье, SAR. Временной композит: Red–20 июня 2004 г., Green–11 апреля 2004 г Blue–25 августа 2004 г.



# КА ДЗЗ ENVISAT-1

В рамках проекта POEM (Polar Orbit Earth observation Mission programme) Европейским космическим агентством ESA 1 марта 2002 года запущен КА 89 Envisat-1, который обеспечивал преемственность непрерывных наблюдений, ранее начатых с помощью спутников серии ERS.

Данные с КА Envisat-1 позволяют решать широкий круг океанографических задач, осуществлять мониторинг снегового и ледового покровов, сбор информации о химическом составе атмосферы, особенностях протекания водооборота и энергетического баланса и др.

Руководство созданием космического аппарата Envisat-1 было возложено на фирму Dornier, разработку модульной спутниковой платформы PPF осуществляла компания British Aerospace, панели солнечных батарей — фирма Fokker.

# КА ДЗЗ ENVISAT-1

**Технические характеристики КА Envisat**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Оператор | ESA | | |
| Оборудование (см. рис.3.7) | Лазерный рефлектор (LRR); радиолокационный высотомер (RA-2); аппаратура глобального мониторинга озона (GOMOS); спектрометр среднего разрешения (MERIS); интерферометр Михельсона (MIPAS); трассовый сканирующий радиометр (AATSR); сканирующий спектрометр (SCIAMACHY); микроволновый радиометр (MWR); орбитографический и радиопозиционный доплеровский радиолокатор (DORIS); радиолокатор БО с синтезированной апертурой (ASAR). | | |
| Масса, кг | 8211 | | |
| Орбита:<br>Высота, км<br>Наклонение, град<br>Период обращения, мин | Круговая, солнечно-синхронная<br>799,8<br>98,55<br>100,59 | | |
| Мощность, Вт | 7000 | | |
| Телеметрия | X-band; | | |
| Спектральный диапазон, см | 5,6 (С-диапазон) на пяти различных поляризациях (VV, HH, VV/HH, HV/HH, VH/VV). | | |
| Режимы съемки | | | |
| | Среднего разрешения (Image Mode) | Низкого разрешения (Wide Swath mode) | Глобального мониторинга (Global Monitoring mode) |
| Номинальное пространственное разрешение, м | 30 | 150 | 1000 |

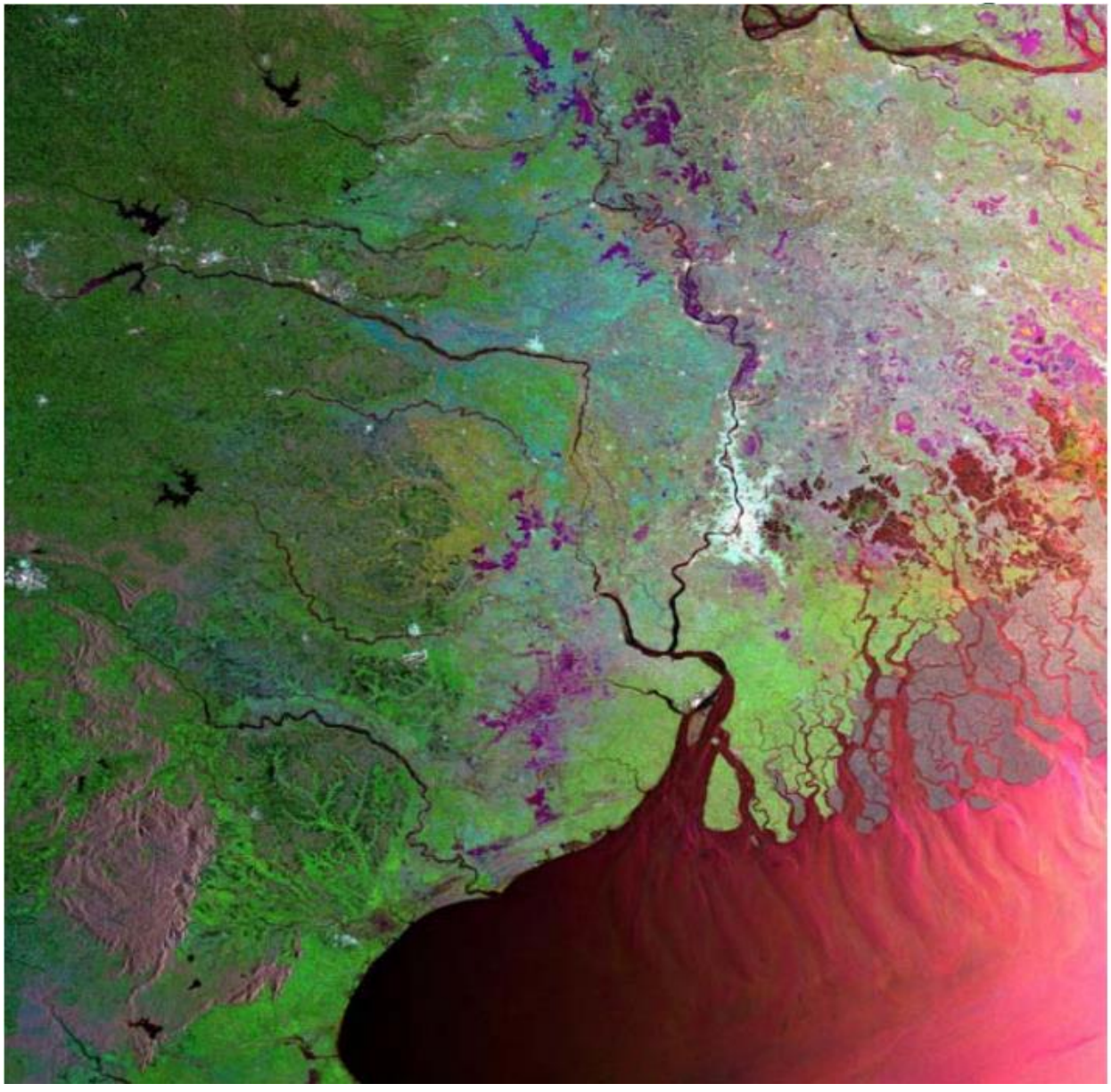
# КА ДЗЗ ENVISAT-1

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ширина полосы съемки, км | 100 | 400 | 400 |
| Скорость передачи данных Мбит/с | 105 | | |
| Радиометрическое разрешение, бит/пиксель | 8 | | |
| Формат файлов | CEOS | | |
| Обработка | Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция.<br>Приведение к картографической проекции | | |
| Периодичность съемки, сут. | 2,5 - 35 | | |
| Срок выполнения заказа, дн.<br>архивные данные<br>съемки на заказ | <br><br>7 - 14<br>7 - 40 | | |
| Минимальная площадь заказа: | Одна квадратная сцена с длиной равной ширине полосы съемки для любого режима | | |

Волгоград, ASAR - Wide Swath mode. Разрешение -150 м. Синтез: Red– HV, Green–HH, Blue–HV/HH, 16 апреля 2003 г.



Западная Бенгалия, ASAR - Wide Swath mode. Разрешение 75 м.
Временной композит: Red–2 марта 2003 г., Green–14 октября 2003 г.,
Blue– 6 апреля 2004 г.



# КА ДЗЗ JERS-1

Космический аппарат разведки природных ресурсов Земли JERS-1 (Japan Earth Resources Satellite, японское название Fuyo-1) является первым японским спутником, на борту которого установлен комплекс аппаратуры ДЗЗ, включающий в себя как пассивную оптико-электронную камеру, так и радиолокационную систему с синтезированной апертурой антенны.

Информация, получаемая с борта ИСЗ JERS-1, давала возможность решать следующие задачи: - поиск полезных ископаемых и энергоносителей, землепользование, поиск скоплений рыбы и мониторинг береговой зоны моря, охрана окружающей среды и предупреждение об опасных природных явлениях; ведение сельского и лесного хозяйства и многое другое.

Космический аппарат JERS-1 был выведен на околокруговую солнечносинхронную орбиту 11 февраля 1992 г. двухступенчатой японской ракетой носителем H-1 с полигона Tanegashima.

Радиолокационная система JERS-1 представляет РЛС БО с синтезированной апертурой антенны ASAR (реальные размеры антенной решетки 11,9 х 2,5 м) предназначена для всепогодной съемки земной поверхности и береговой зоны моря с получением радиолокационных изображений среднего разрешения.

# Пример изображения с OPS (OPtical Sensor), разрешение 2 м



# Радиолокационная система КА ALOS

Учебник. Мониторинг природной среды аэрокосмическими средствами, с.100

**Характеристики РЛС БО PALSAR КА ALOS**

| | |
|---|---|
| Страна | Япония |
| Оператор | NASDA |
| Подрядчик | NEC Corp |
| Оборудование | PCA L-диапазона PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar |
| Масса, кг | 4000 |
| Орбита<br>Высота, км<br>Наклонение орбиты, град<br>Период повторного просмотра, сут | Круговая, солнечно-синхронная<br>691,65<br>98,16<br>46 |
| Мощность, Вт | 7000 |
| Телеметрия | L-band |

| Режим работы РСА | | | |
|---|---|---|---|
| Параметры | Детальный (Fine) | Обзорный (ScanSAR) | Поляризационный (Polarimetric) |
| Номинальное пространственное разрешение, м | 7 – 44 | 14 – 88 | 24 – 89 |
| Ширина полосы съемки, км | 40 – 70 | 350 – 350 | 20 – 65 |

# *Спасибо за внимание!*



Галапагосские острова