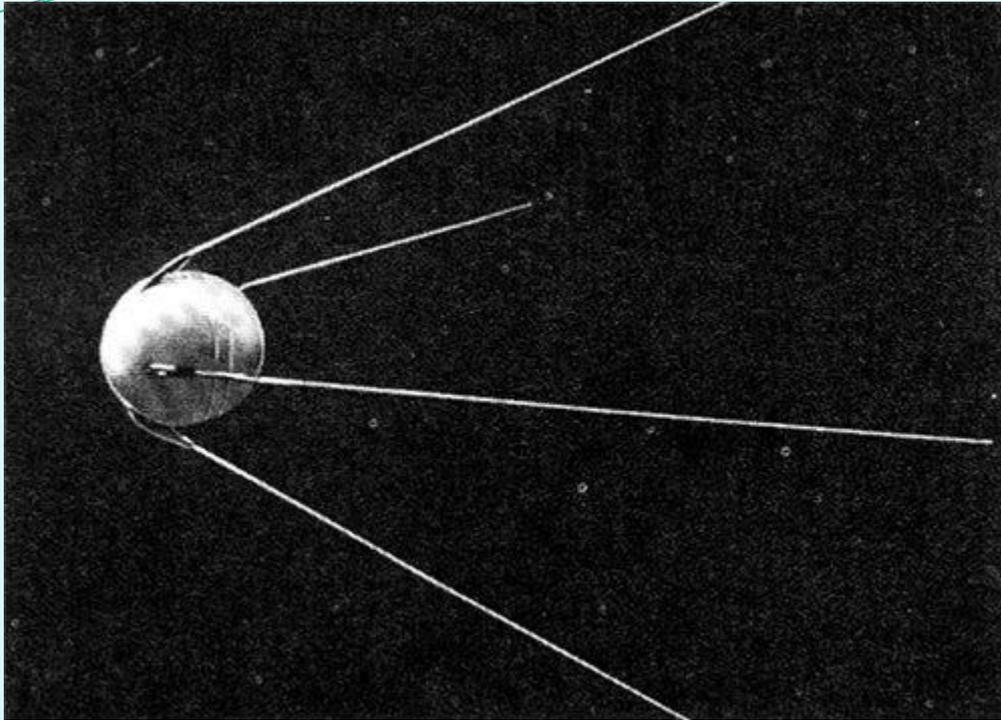


ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ (ВКЛЮЧАЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫЕ) ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОКЕАНА

М.И. Митягина

Институт космических исследований РАН

Первый искусственный спутник Земли



4 октября 1957 года в космос был выведен первый в мире искусственный спутник Земли, открывший космическую эру в истории человечества

Космический аппарат ПС-1 (простейший спутник-1)
шар диаметром 58 сантиметров
вес 83,6 килограмма,

Четыре штырьковые антенны длиной 2,4 и 2,9 метра для передачи сигналов работающих от батареек передатчиков

Первый спутник, предназначенный для исследования мирового Океана



Seasat (Seafaring Satellite), NASA JPL

Запуск - 27 июня 1978

Полезная нагрузка

1. **Первый исследовательский (необоронного назначения) радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА) L-диапазон (23 см), НН –поляризация**
2. **Альтиметр**
3. **СВЧ скаттерометр (направление и сила ветра)**
4. **СВЧ-радиометр (ТПО)**
5. **Радиометр оптического диапазона (видимый + ИК)**

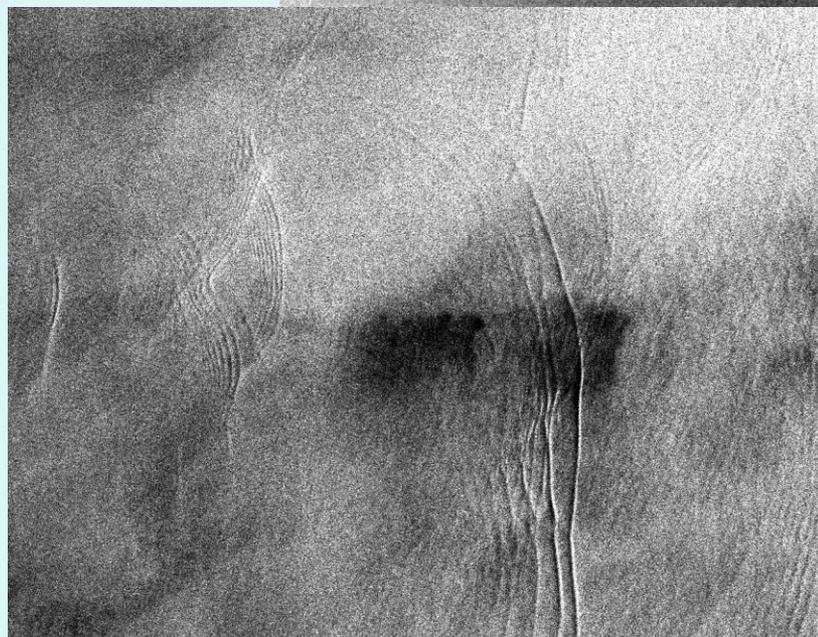
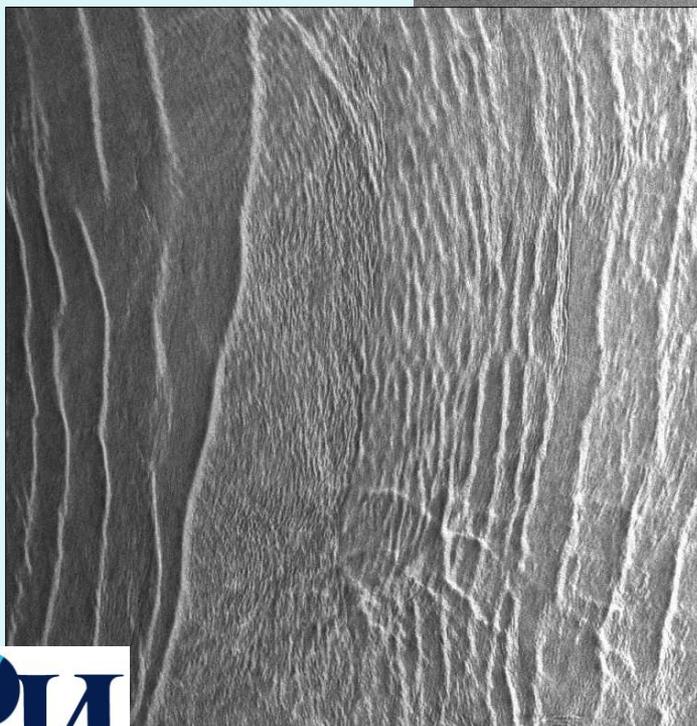
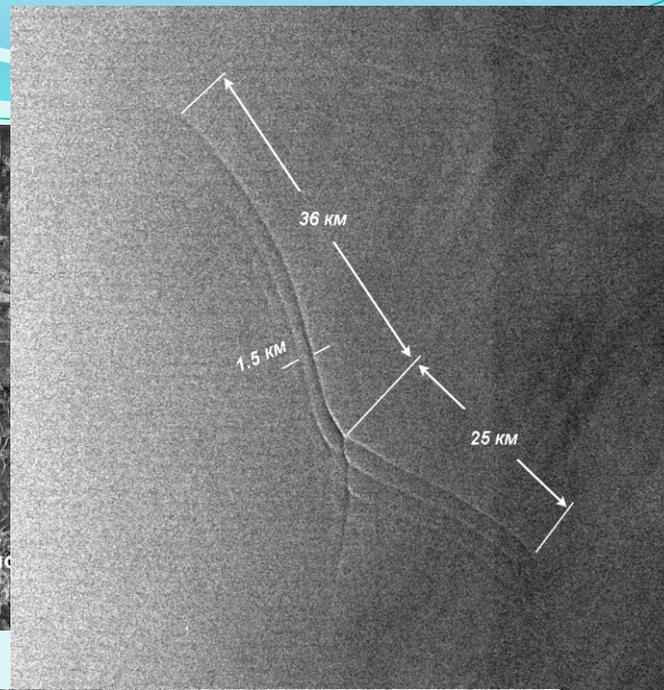
Seasat функционировал 110 дней

За это время было собрано больше информации об океане, чем за предыдущие 100 лет судовых исследований

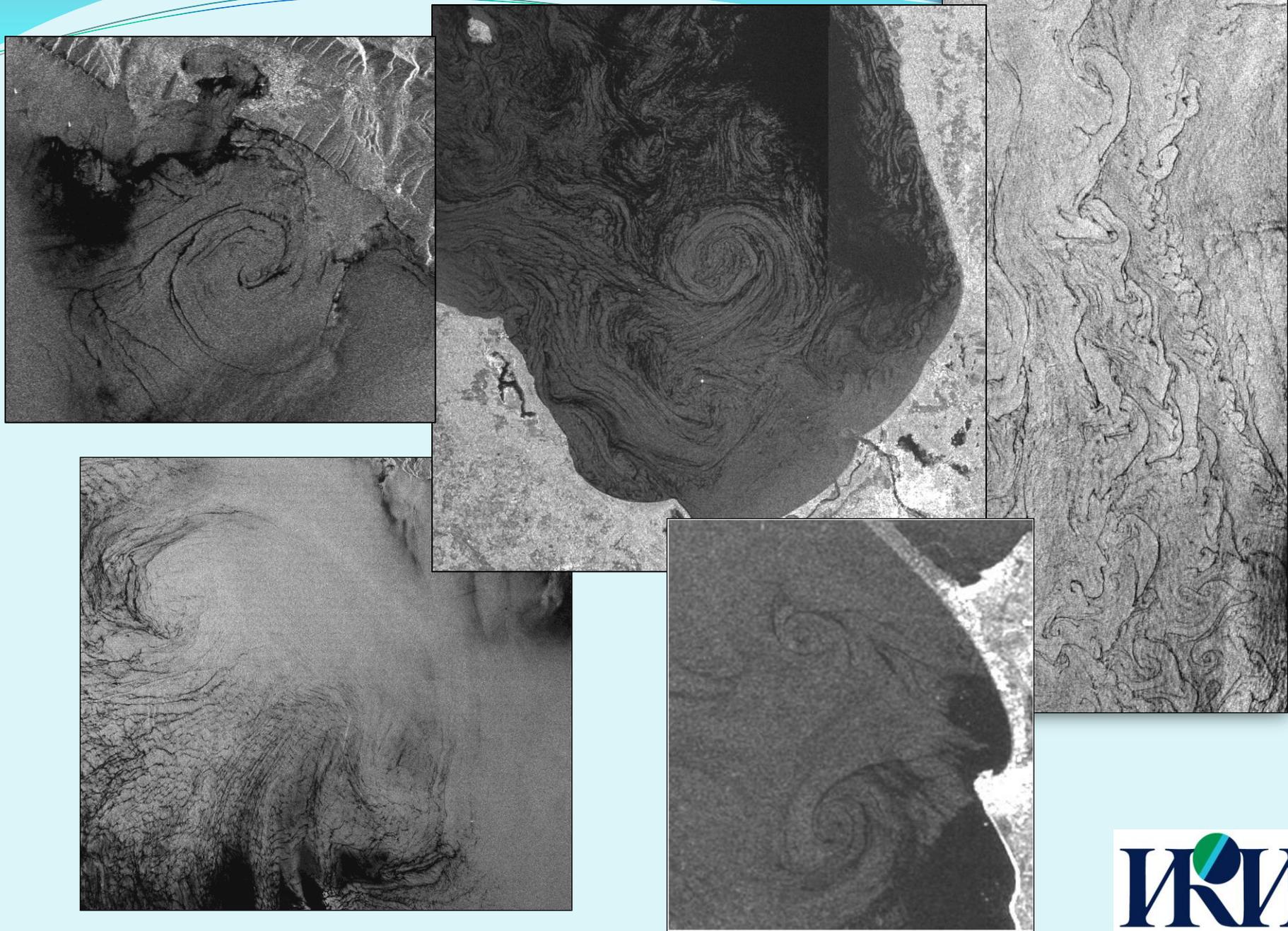
Краткие сведения о спутниковых радиолокаторах с синтезированной апертурой

ИСЗ	SEASAT	ERS-1/2	Алмаз	JERS-1	RADARSAT-1	Envisat	RADARSAT-2	TERRA-SAR/X
Страна	США	ЕС	СССР	Япония	Канада	Европа	Канада	Германия
Год вывода на орбиту	1978	1991/1995	1991	1992	1995	2002	2007	2008
Диапазон	L	C	S	L	C	C	C	X
Частота зондирующего сигнала (ГГц)	1.275	5.25	3.1	1.275	5.3	5.7	5.3	9.65
Длина волны зондирующего сигнала (см)	23.5	5.66	9.6	23.5	5.66	5.66	5.66	3.13
Поляризация	ГГ	ВВ	ГГ	ГГ	ГГ	ГГ,ВВ, ВГ, ГВ	ГГ,ВВ, ВГ, ГВ	ГГ,ВВ, ВГ, ГВ
Угол падения (градусы)	20	23	17-62	39	20-50	15-45	20-60	20-55
Ширина полосы обзора по наземной дальности (км)	100	100	30-60	75	50-500	56-400	18-500	10/30/100
Пространств. разрешение (м)	25	25	25	18	8-100	25-75	3 -100	1/3/16

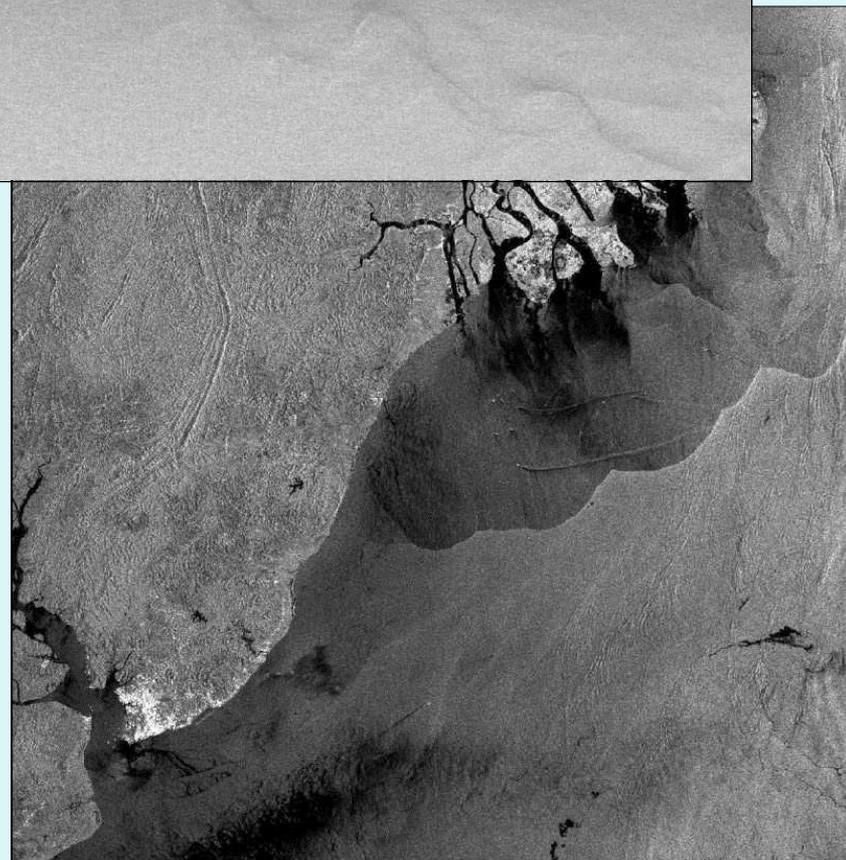
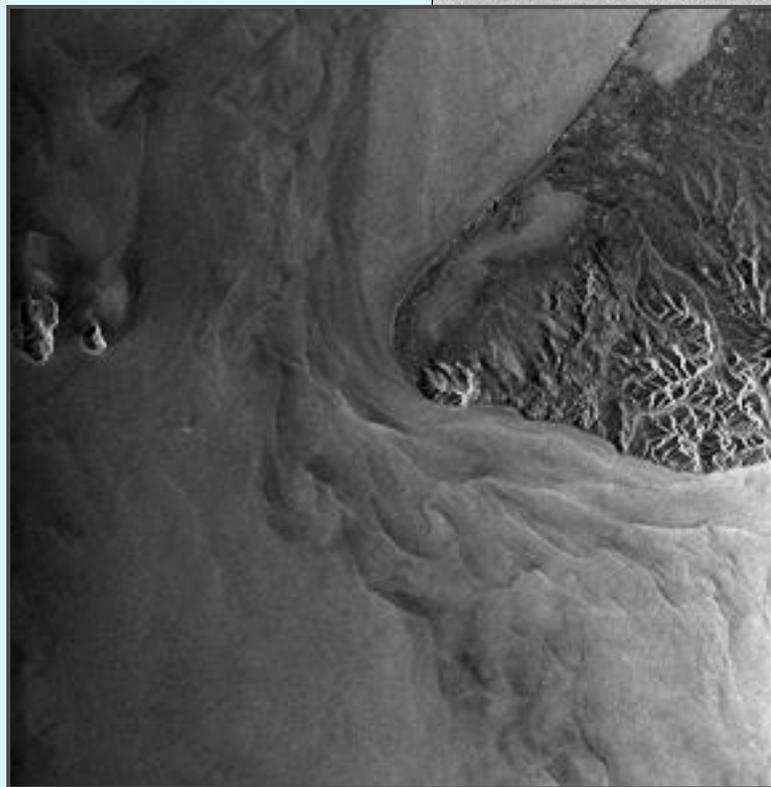
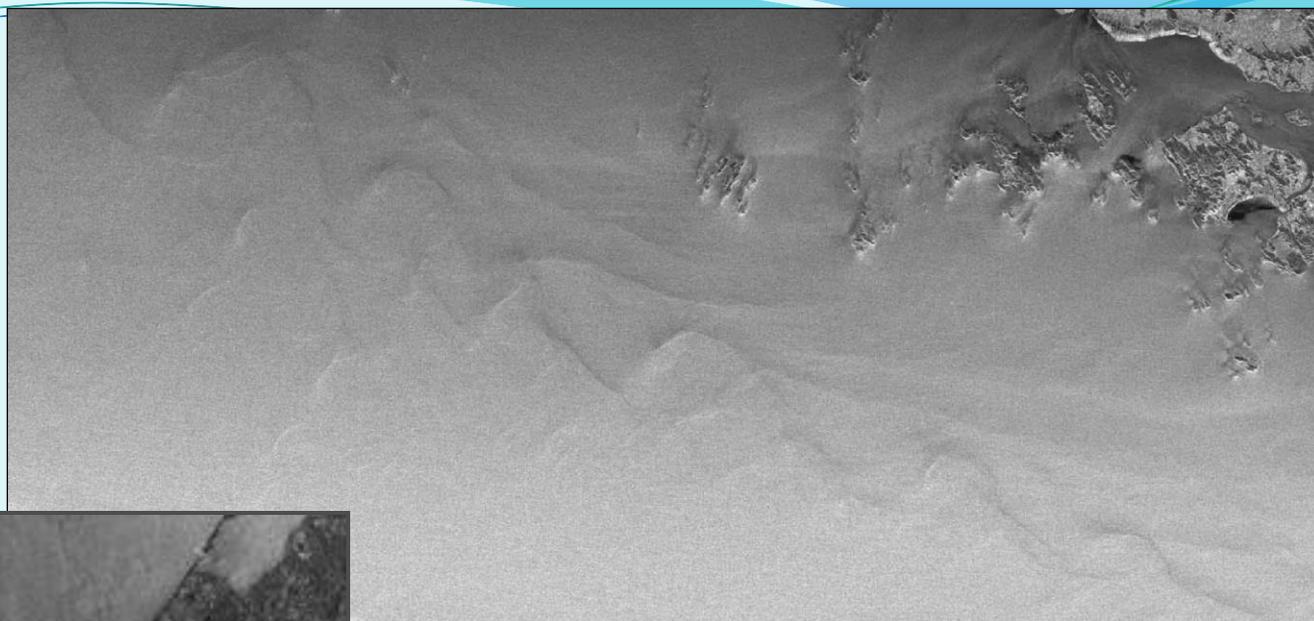
Поверхностные проявления ВВ в морях и океанах



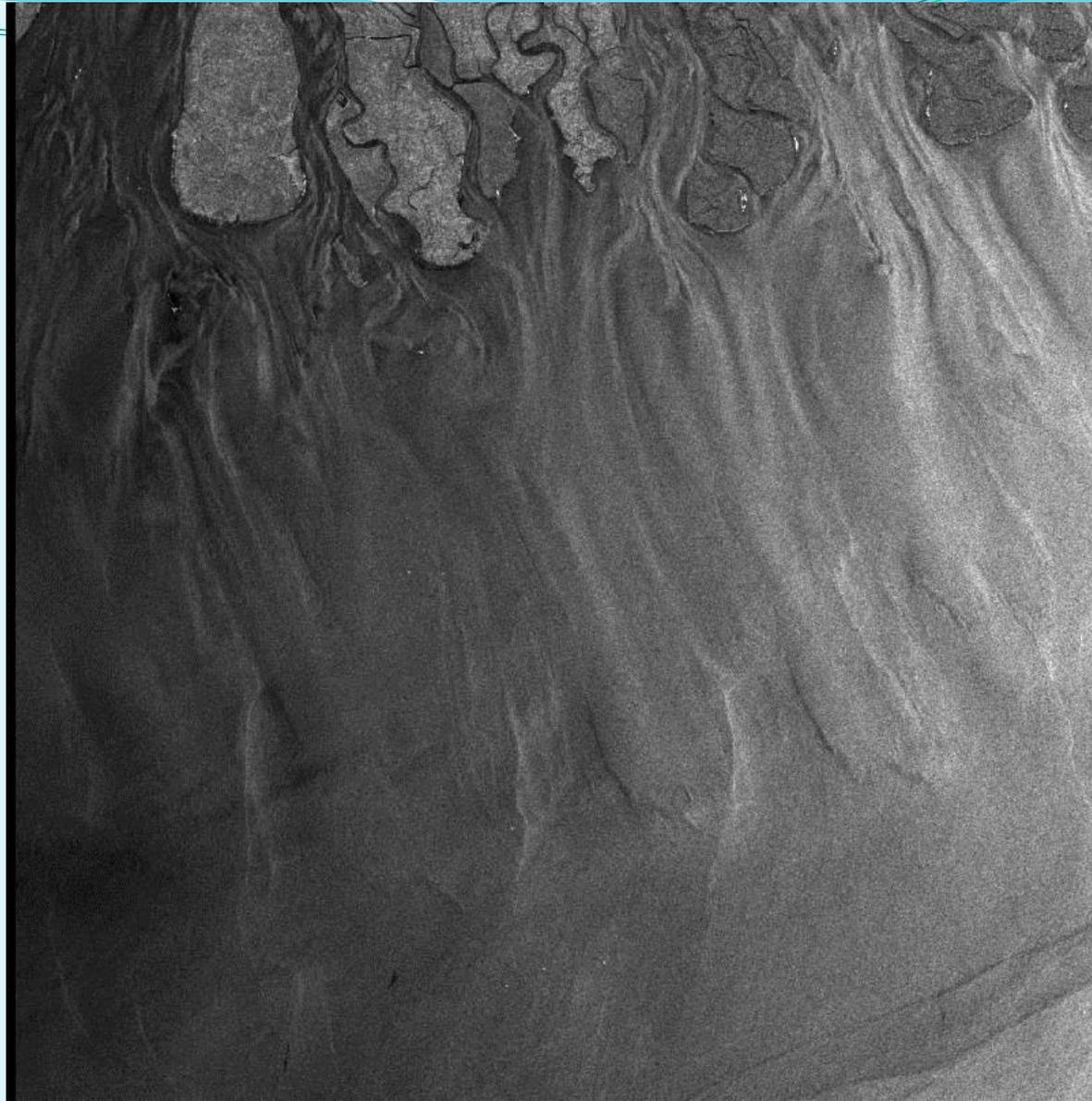
Вихревые структуры



Фронты и течения

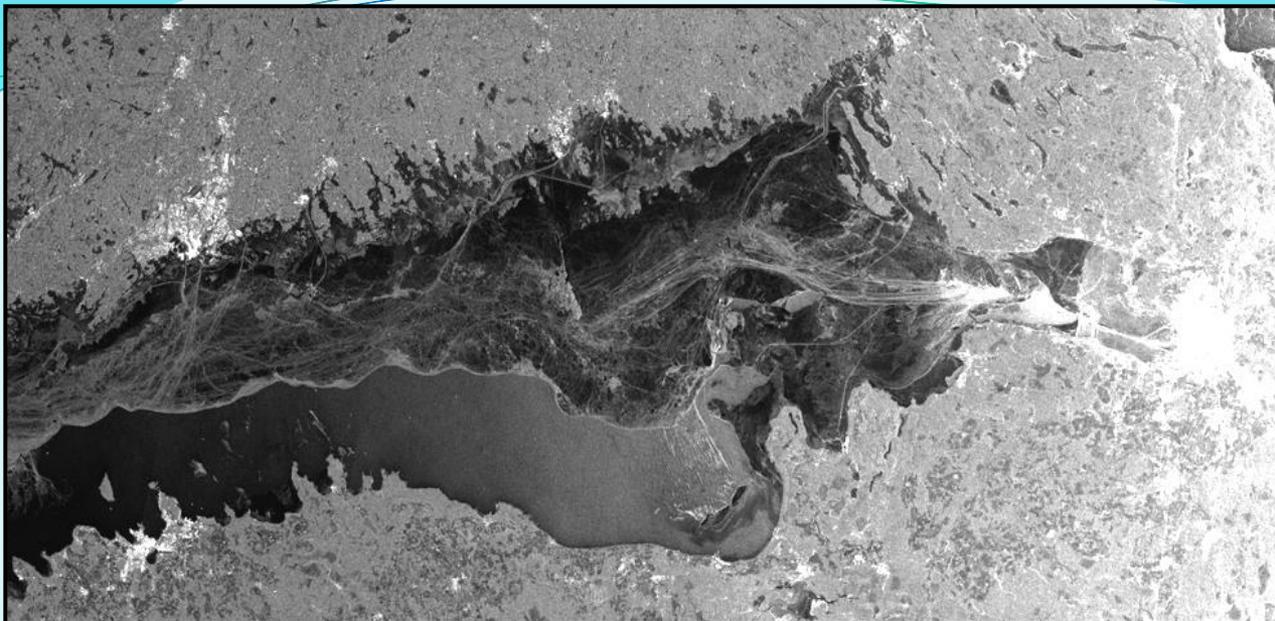


Донная топография



Бенгальский залив. Дельта р. Ганг

Анализ ледовой обстановки

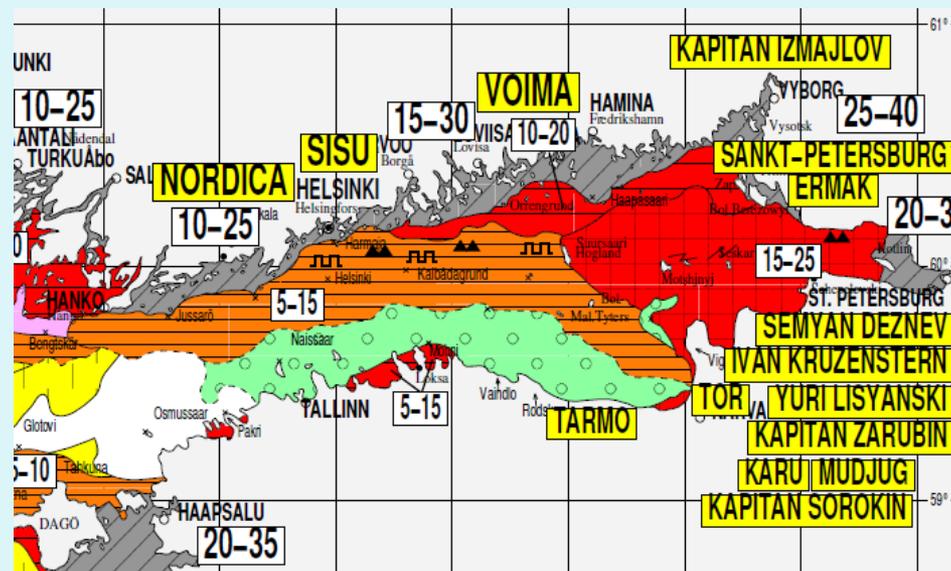


Ледовая обстановка в Финском заливе 31 января 2010 г.

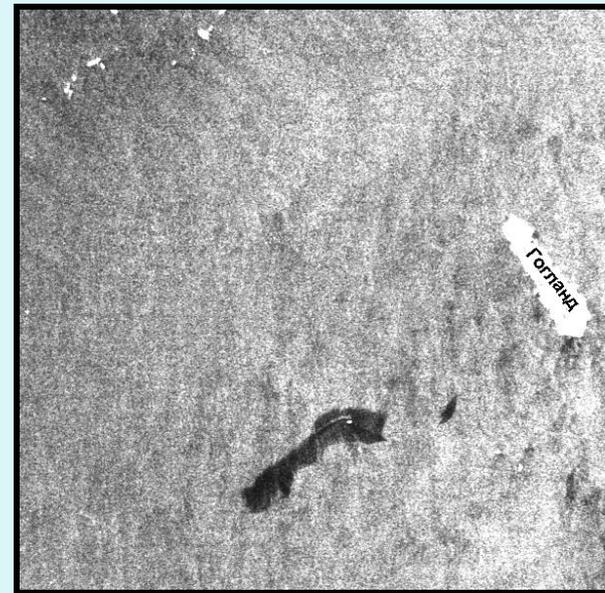
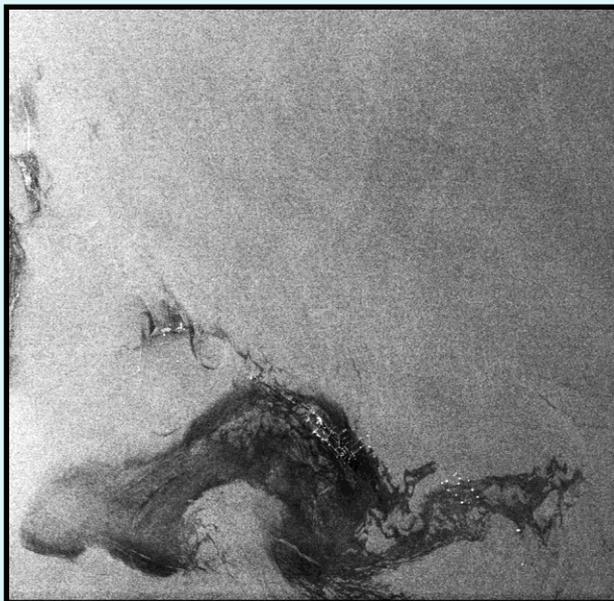
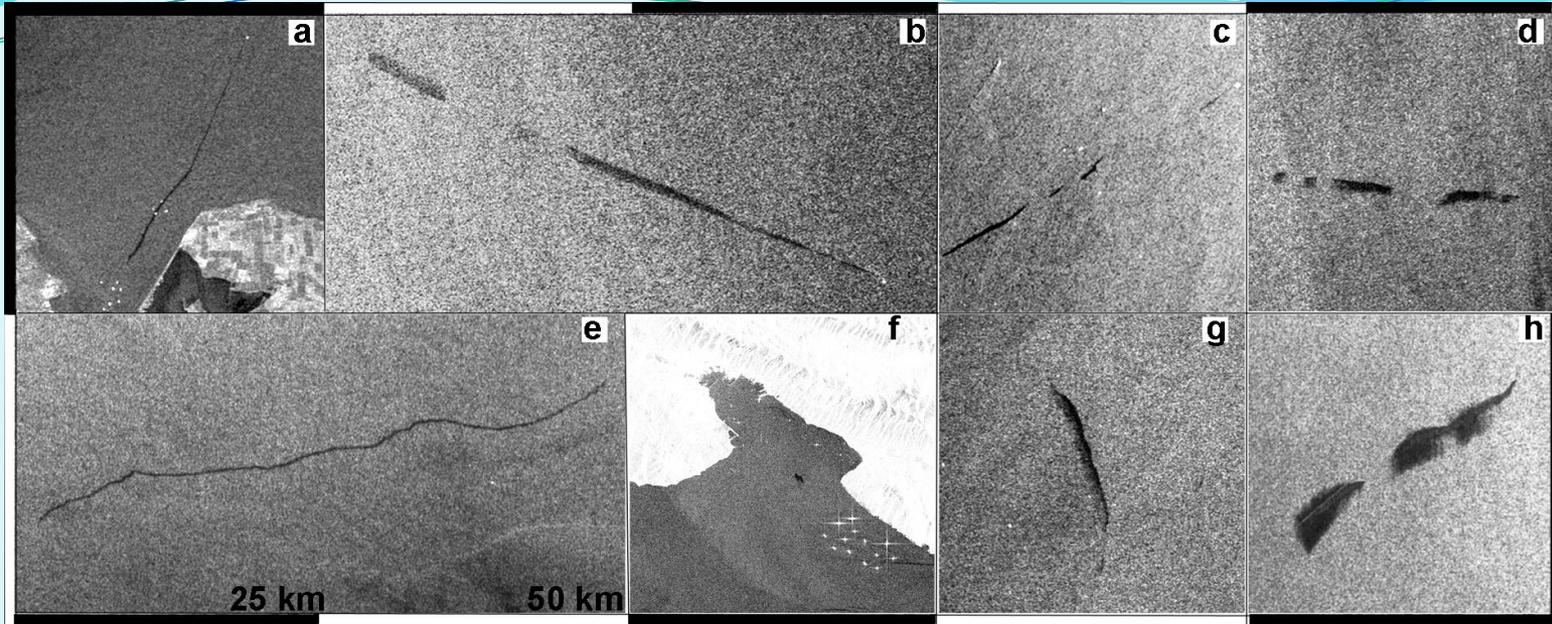
Возможность контролировать ледовую обстановку и сухоходство в зимнее время при любых погодных условиях и в любое время суток.

Фрагмент ASAR Envisat изображения (слева) и карта ледяного этого района за данное число, полученная по данным судовых наблюдений (внизу)

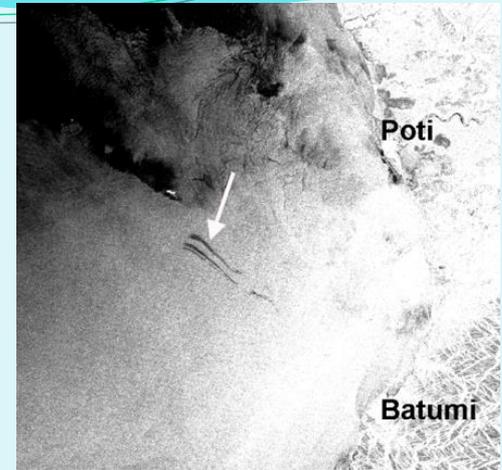
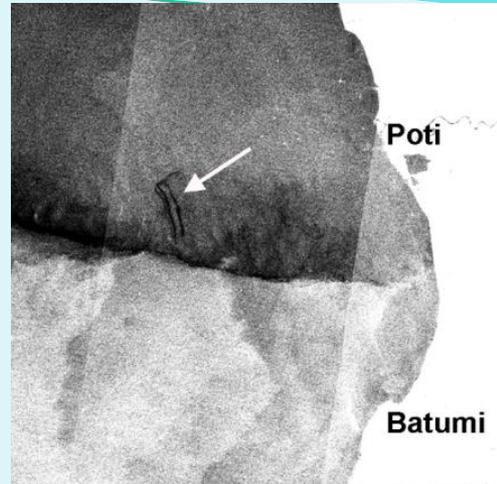
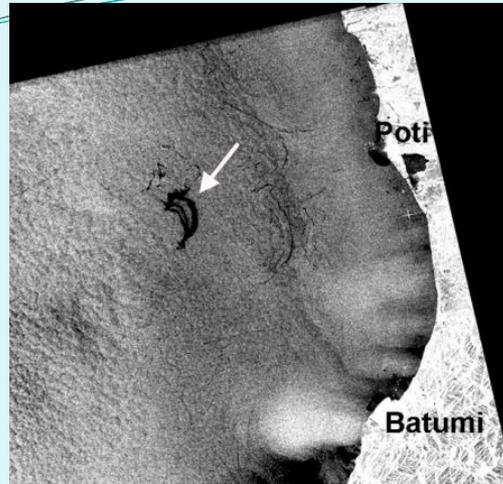
©<http://www.smhi.se>



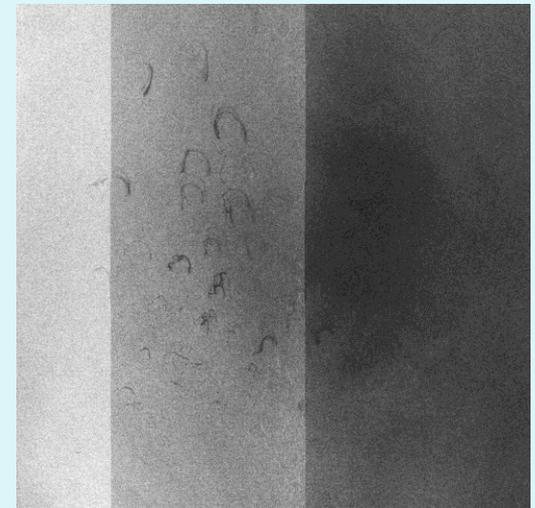
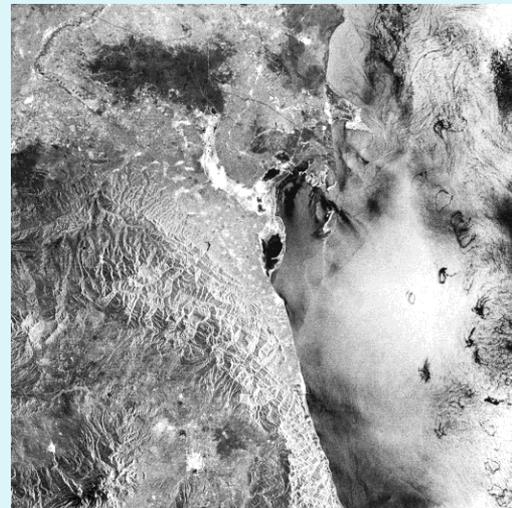
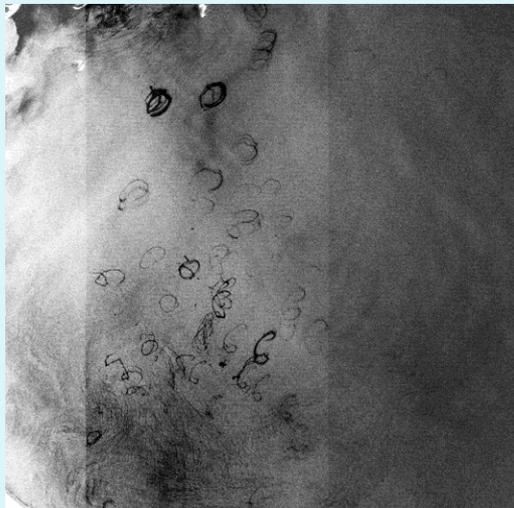
Нефтяное загрязнение морской поверхности (1)



Нефтяное загрязнение морской поверхности (2)

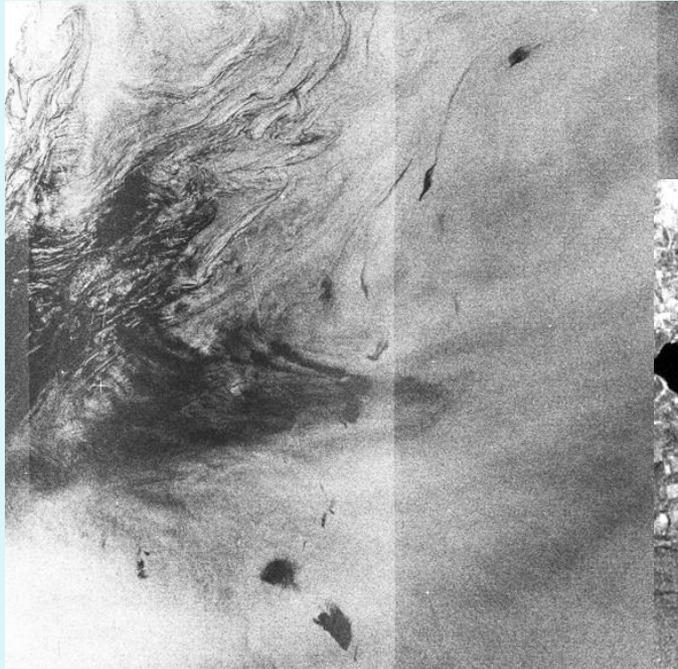


Примеры сликовых образований, связанных с естественными выходами углеводородов в юго-восточной части Черного моря



Примеры сликовых образований, связанных с естественными выходами углеводородов в южной Каспии

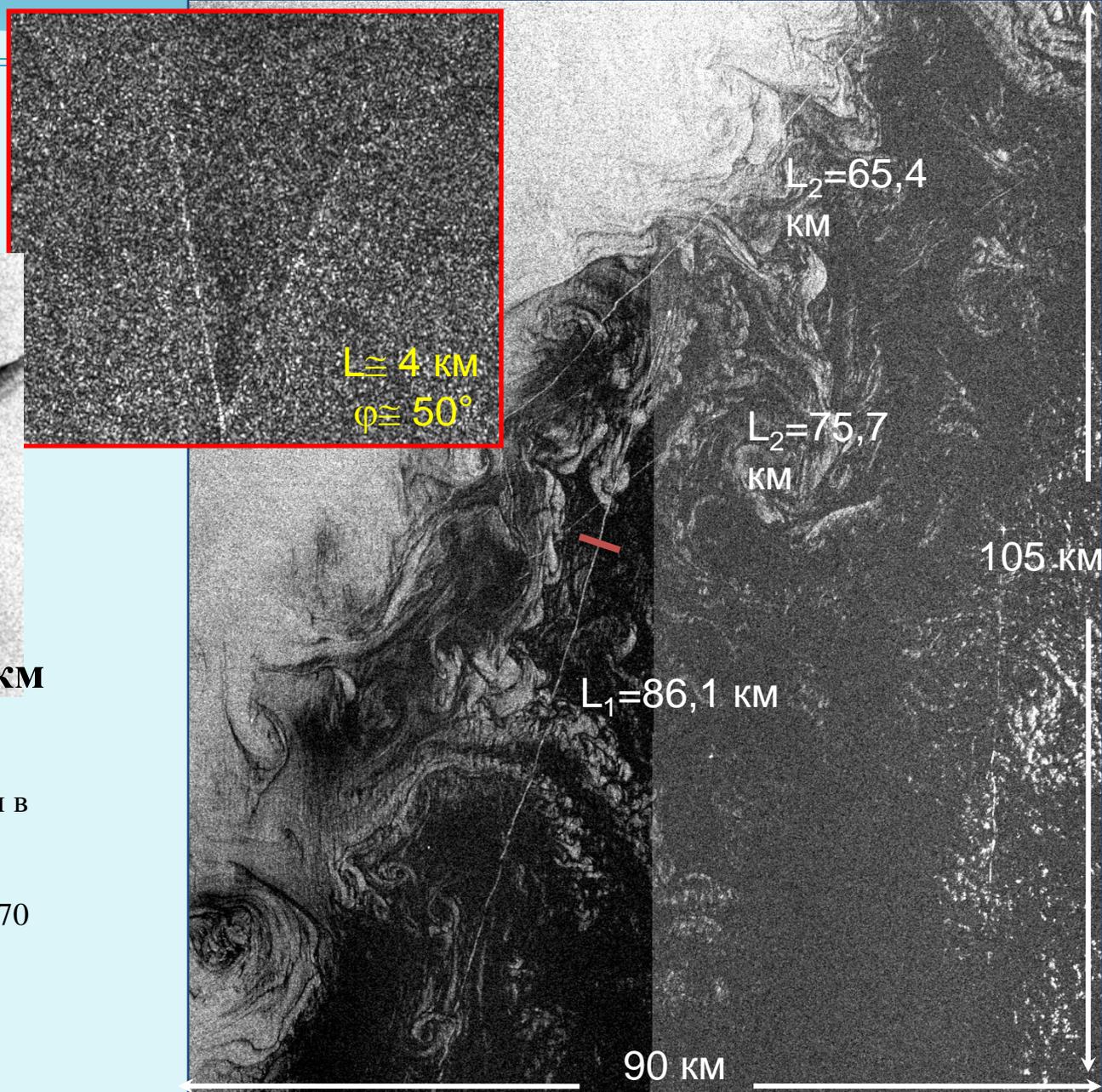
Биогенные пленки



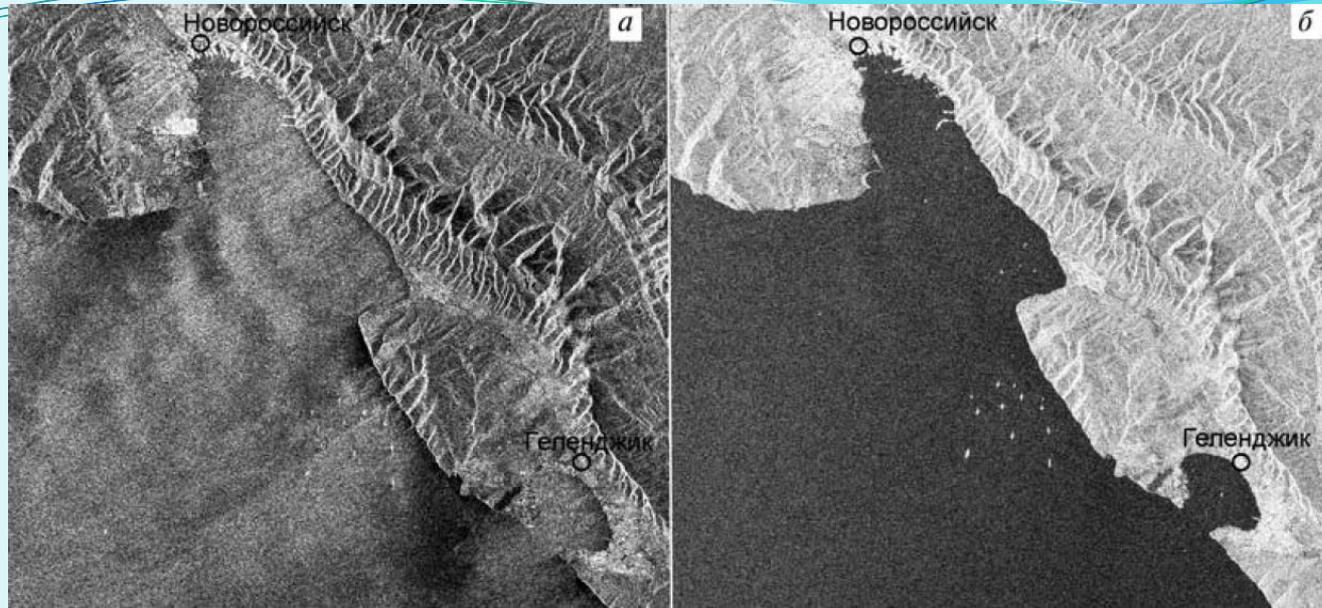
Корабельные следы



Длинные следы повышенной яркости постоянно проявляются в областях активного цветения фитопланктона.
Длина следов достигает 130 – 170 км.
Время жизни > 6 часов



Поляризационные особенности РСА изображений



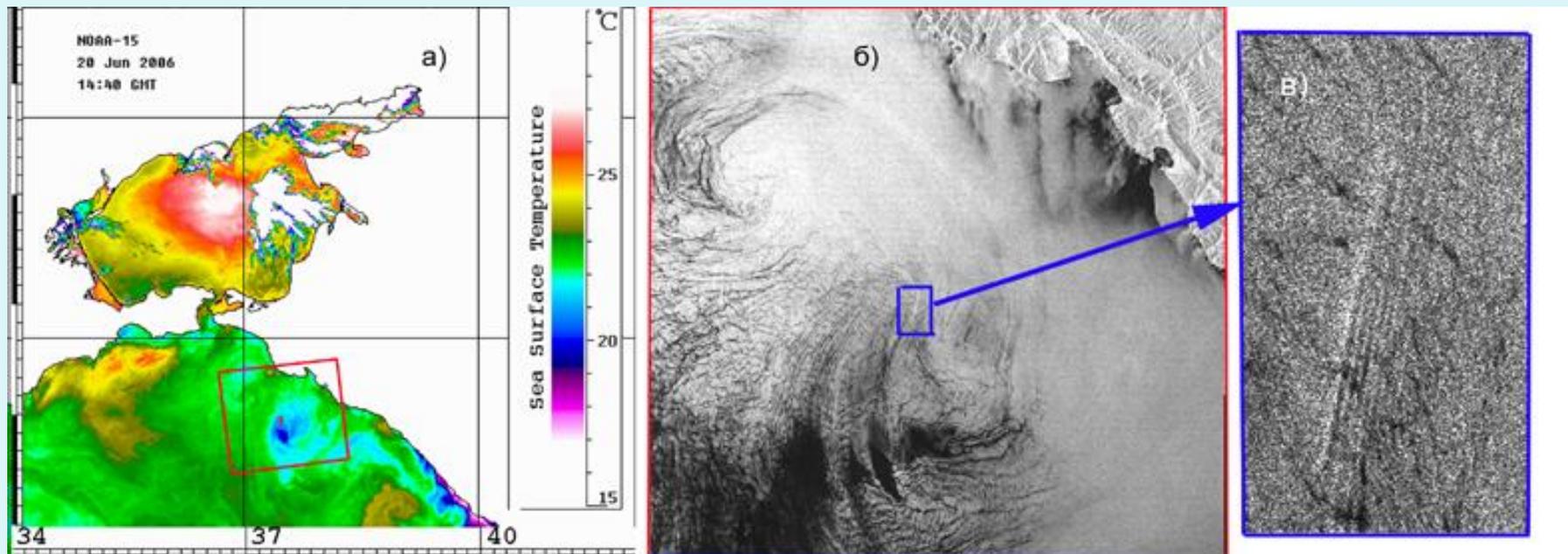
Фрагмент изображения Envisat ASAR от 27.08.2005, 19:13 UTC:

а — VV-поляризация; б — VH-поляризация

- 1) Разделение сигнатур процессов в океане и атмосфере над ним
- 2) Вариации поля ветра /поверхностные течения
Нефтяные слики /подобия

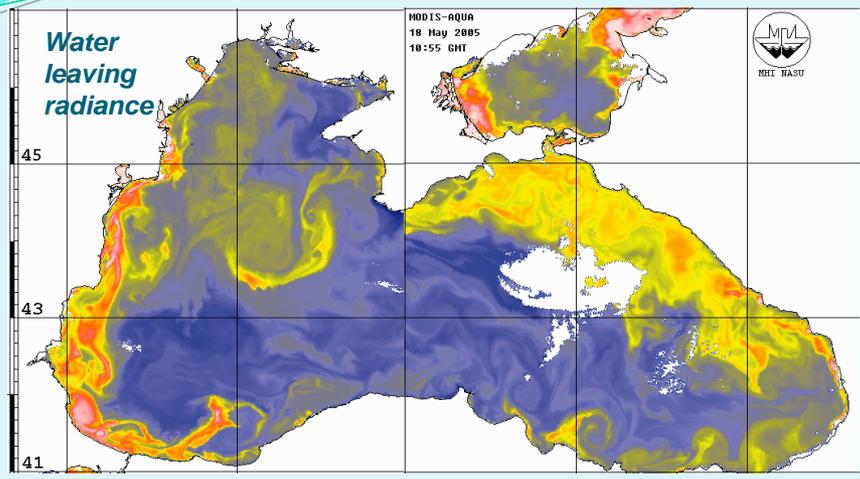
Kudryavtsev, VN, Chapron, B, Myasoedov, AG, Collard, F, Johannessen, JA . 2012 . On Dual Co-Polarized SAR Measurements of the Ocean Surface . IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters . Vol.10 , No 4 .761 – 765

Совместный анализ РСА –изображений и данных оптических сенсоров (1)

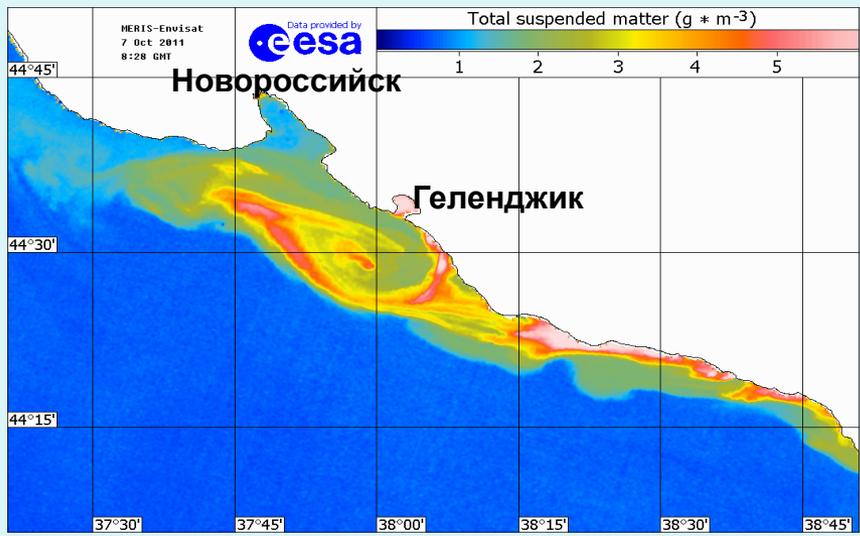


- а) Поле поверхностной температуры, восстановленное из данных AVHRR NOAA от 20.06.06 в 14:40 UTC;
- б) ASAR Envisat изображение, полученное 19 июня 2006 года в 19:10 UTC с разрешением 12,5 м;
- в) радиолокационные образы поверхностных проявлений пакета внутренних волн

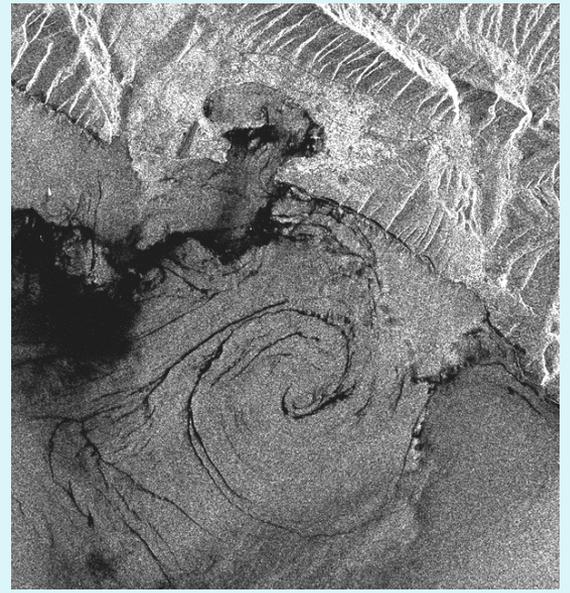
Совместный анализ РСА –изображений и данных оптических сенсоров (2)



MODIS Aqua (слева)
Landsat-5 TM (справа)



MERIS Envisat (слева)
ERS-2 SAR (справа)



Наилучший результат достигается при комплексном использовании спутниковых данных



Краткие сведения о спутниковых сенсорах оптического диапазона

- Сканирующие спектрорадиометры MODIS ИСЗ Terra/Aqua (36 каналов)
- Радиометры AVHRR спутников серии NOAA (5 каналов)
Разрешение 250 м – 1 км.
- Сканирующие радиометры, OLI Landsat 8 (9 каналов), ETM+ ИСЗ Landsat 7 (8 каналов), TM Landsat-5 (7 каналов).
Разрешение 15, 30 и 60 м
- Многоканальный сканирующий спектрорадиометр MERIS (15 настраиваемых каналов) ИСЗ Envisat; разрешение на местности 260 м.
15 спектральных каналов

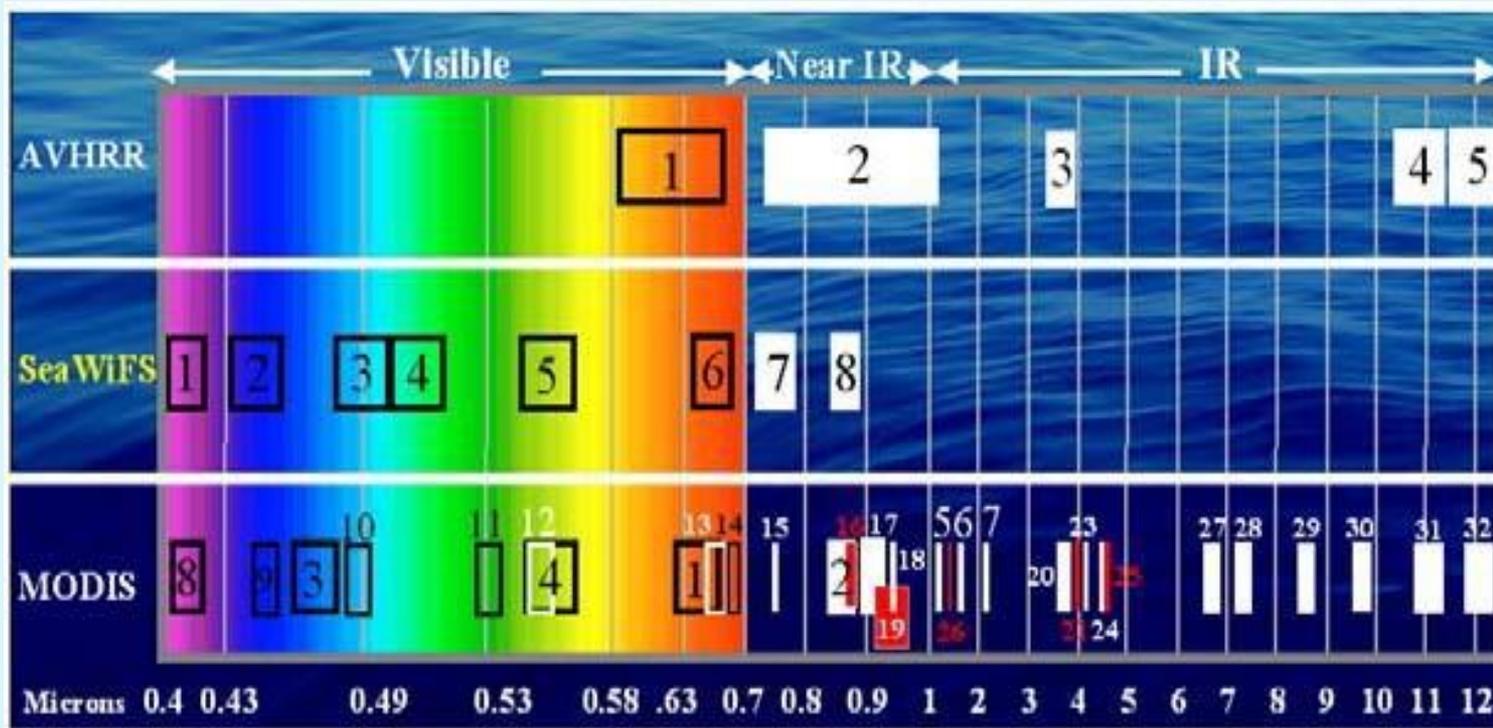
Гиперспектральные / многоканальные сенсоры (1)

Многоканальный сенсор	Гиперспектральный сенсор
Несколько изображений «отдельных участках частот» от видимого до инфракрасного спектра	Одновременно формирует изображения на всех участках спектрального диапазона и получает спектры всех пикселей сцены (Куб данных)
	Важно не количество измеряемых спектров, а узость и последовательность измерений

20 каналов перекрывают диапазон 500-700нм,
ширина каналов 10нм → гиперспектральный

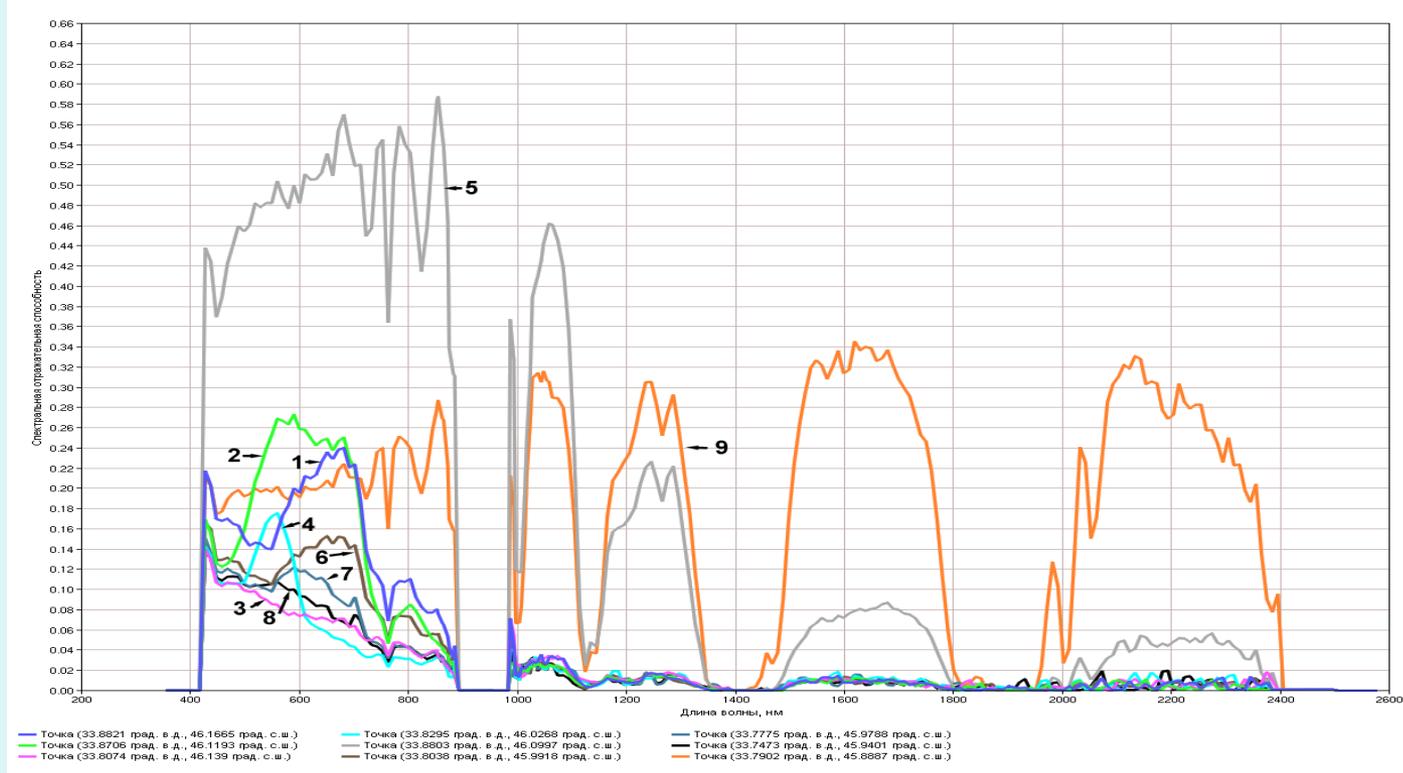
20 отдельных каналов в видимой, ближней,
коротковолновой, средней и длинноволновой ИК-
областях → многоканальный

Гиперспектральные / многоканальные сенсоры (2)



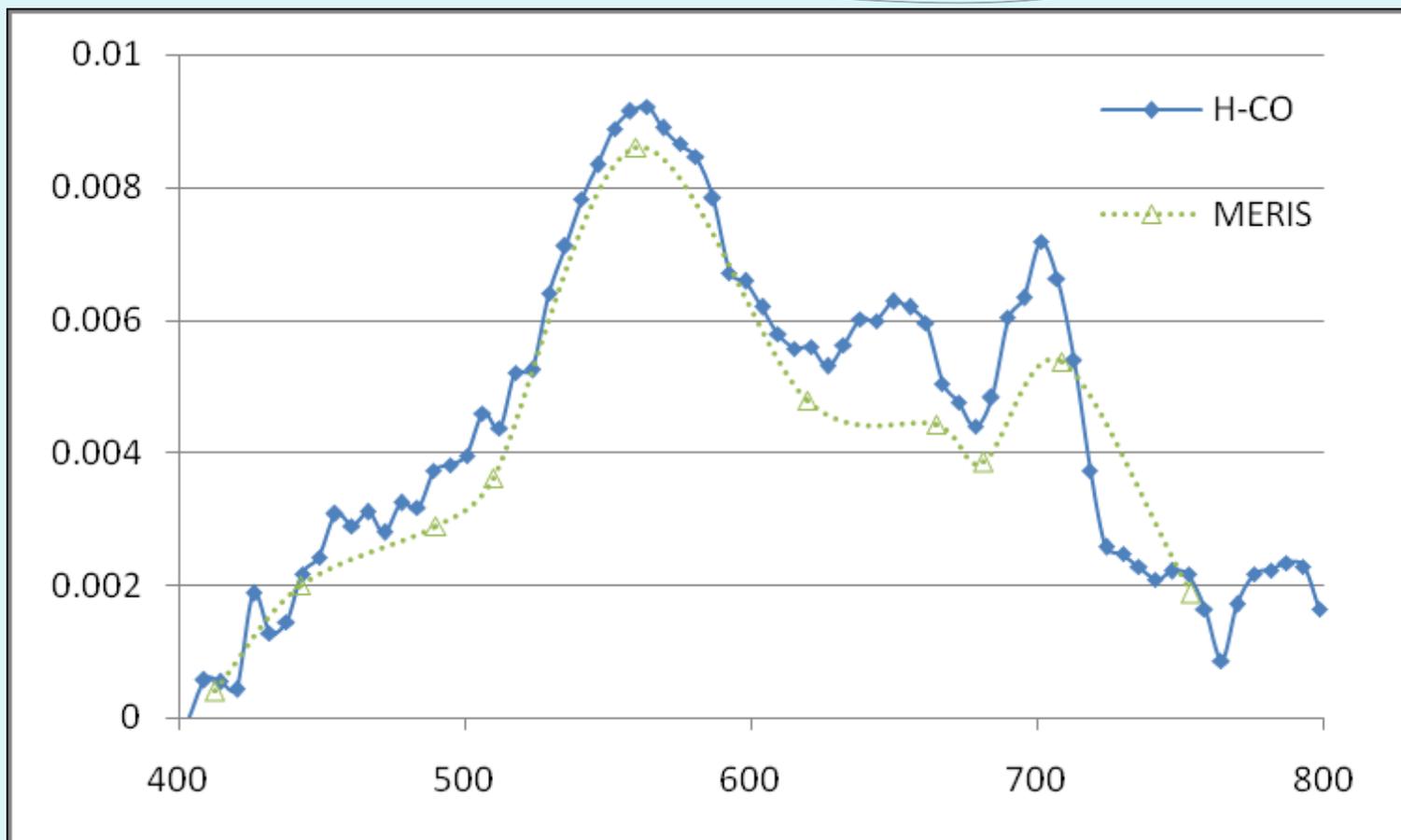
Спектральные диапазоны радиометров AVHRR (NOAA), SeaWiFS (Orbview-2) и MODIS (Terra и Aqua)

Гиперспектральные / многоканальные сенсоры (3)



Графики спектральной отражательной, восстановленной по данным гиперспектрального сенсора Hyperion

Использование большого числа спектральных признаков позволяет получать дополнительную информацию об объектах исследования,



Сравнение спектров отражательной способности

Использование большого числа спектральных признаков позволяет получать дополнительную информацию об объектах исследования,

Гиперспектральные сенсоры (1)

Гиперспектрометр *HYPERION* (*Hyperion*
(*High Resolution Hyperspectral Imager*) ИСЗ
EO-1. November 21, 2000

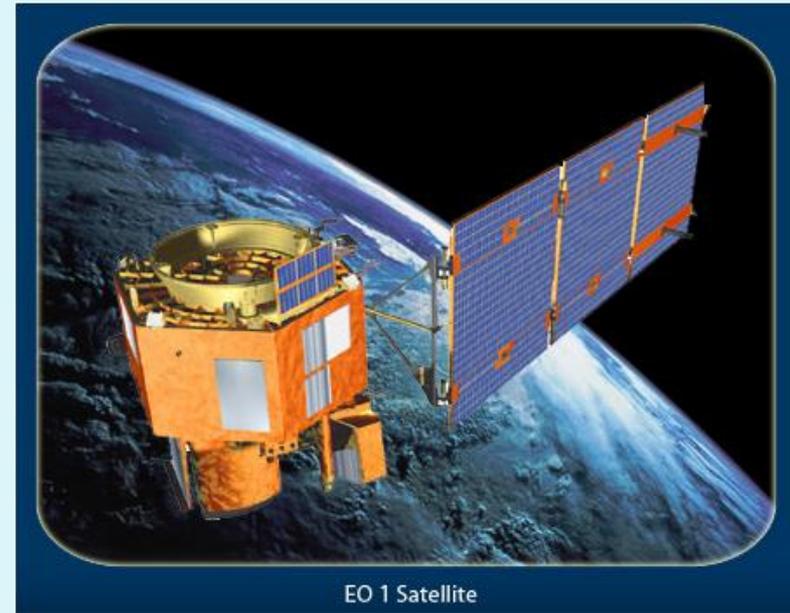
220 спектральных каналов
спектральный диапазон 400 - 2500 нм

Спектральное разрешение 10 нм

Разрешение на местности 30 м

Размер сцены 7,5 x 100 км.

Возможность получения данных через сеть
Internet данные: <http://glovis.usgs.gov/> .



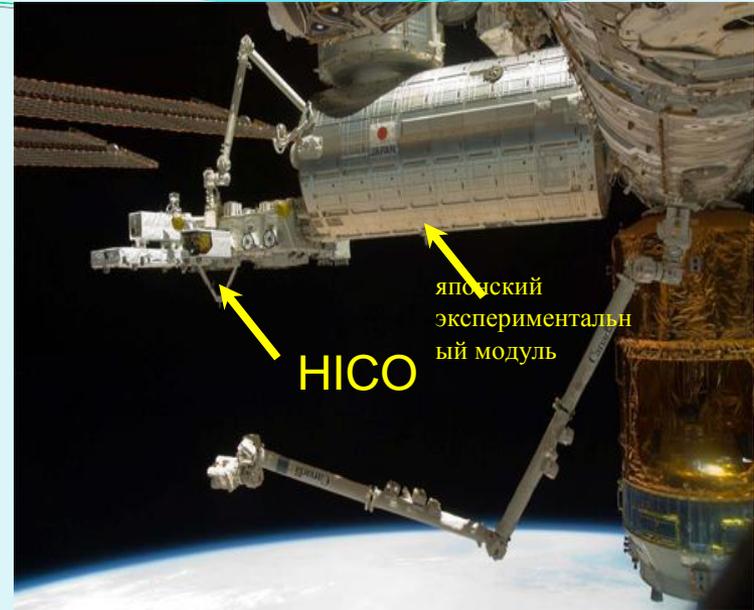
Гиперспектральные сенсоры (2)

HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Oceans)
NASA + Naval Research Laboratory
установлен на международной космической станции,
японский экспериментальный модуль (10 сентября 2009)

102-х спектральных канала
Спектральном диапазоне 380 – 960 нм
Спектральное разрешение 5,7 нм
Разрешение на местности 92 м
Размер сцены 42 x 190 км.

Съемки в широтных пределах от 60 С.Ш. до 60 Ю.Ш.
(Определяется геометрией полета МКС)

Коллектив ИКИ РАН имеет возможность
получать данные сенсора HICO
в рамках соглашения
между ИКИ РАН и Naval Research Laboratory



Гиперспектральные сенсоры (3)

ИСЗ ПРОБА (Project for On Board Autonomy)

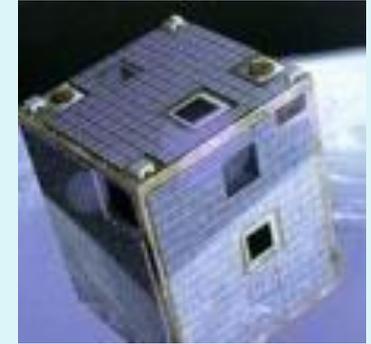
Европейское космическое агентство

22 октября 2001 г

Размер бытовой стиральной машины

Объем < 1 куб.м

Вес = 94 кг



CHRIS (Compact High Resolution Imaging Spectrometer)

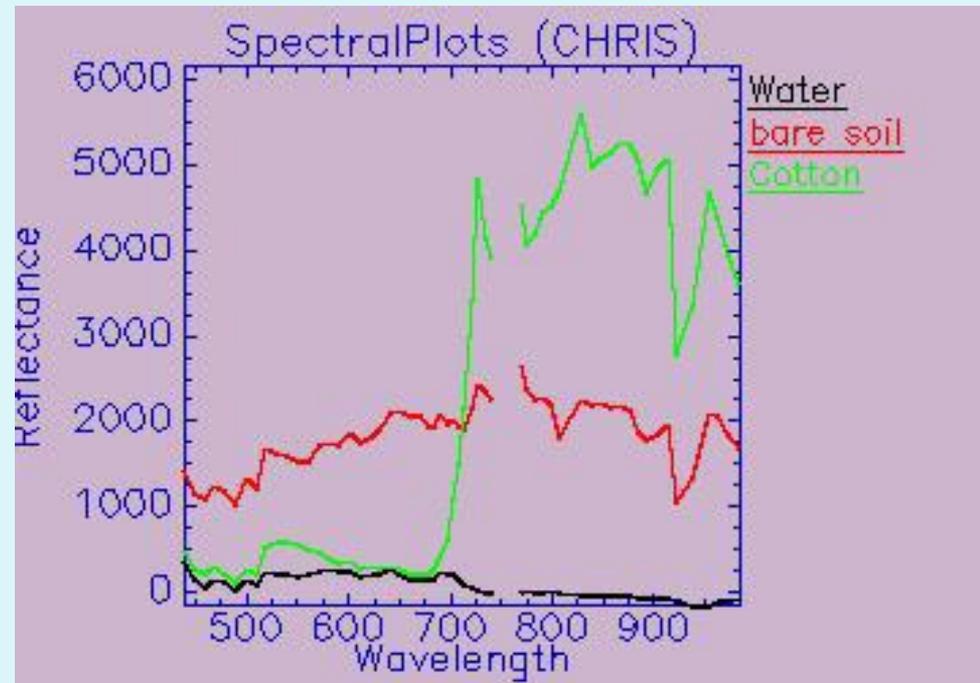
Компактный : 79X26X20 см

Спектральный диапазон 415-1050 нм

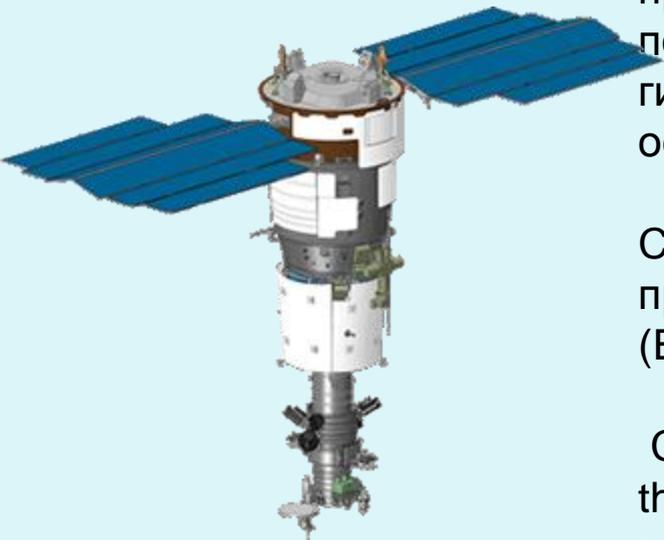
Спектральное разрешение от 1,3 до 12 нм

Разрешение на местности 18 /30 м

Ширина полосы 14 км.



Гиперспектральные сенсоры (4)



До последнего времени большинство программ исследования Земной поверхности при помощи спутниковых гиперспектральных сенсоров осуществлялись в США.

Сенсор Hyperion установлен на принадлежащем NASA ИСЗ EO-1 (Earth Observing-1).

Сенсор HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean) является частью программы, финансирующей NRL (Naval Research Laboratory) [12,13].

Однако, с вводом в действие в 2013г. российского спутника Ресурс-П, оснащенного гиперспектральной съемочной аппаратурой (ГСА) (http://www.mcc.rsa.ru/resurs_p.htm) ситуация изменилась.



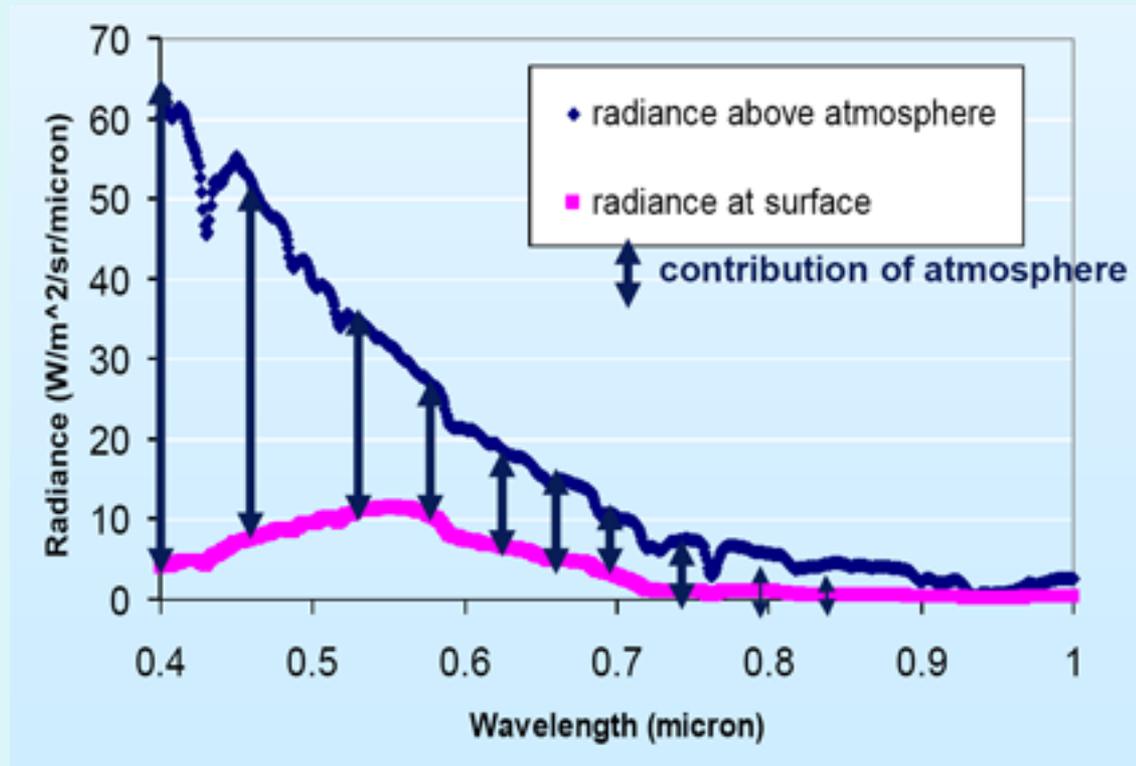
Гиперспектральные сенсоры (5)

Первоначально гиперспектральные методы развивались в приложении к исследованию суши:

- Алгоритмы классификации почв и растительного покрова,
- Выявление засоленных почв,
- Распознавание дорог и типов их покрытия,
- Распознавание искусственных объектов, как открыто стоящих, так и закамуфлированных,
- Задачи поиска полезных ископаемых и пр.

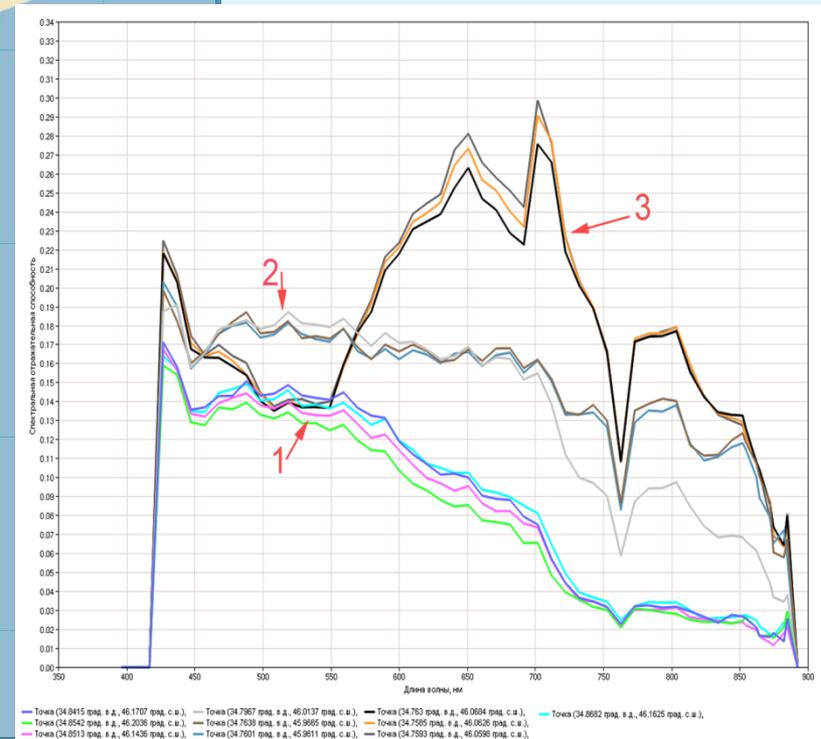
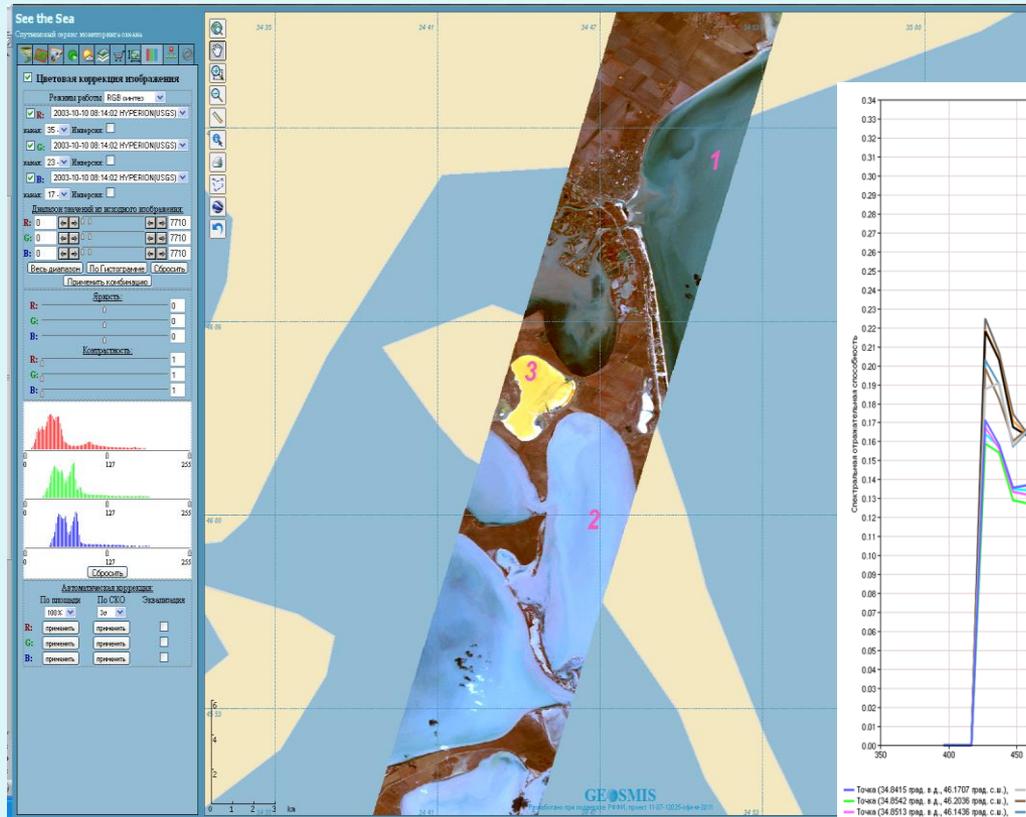
Применение данных гиперспектральных сенсоров спутникового базирования для наблюдения процессов и явлений в океане потребовало развития значительно более сложных алгоритмов по сравнению с сушей.

Гиперспектральные сенсоры (6)



Повышаются требования к атмосферной коррекции, поскольку ее ошибки могут существенно исказить или даже сделать невозможным расчет биооптических параметров воды.

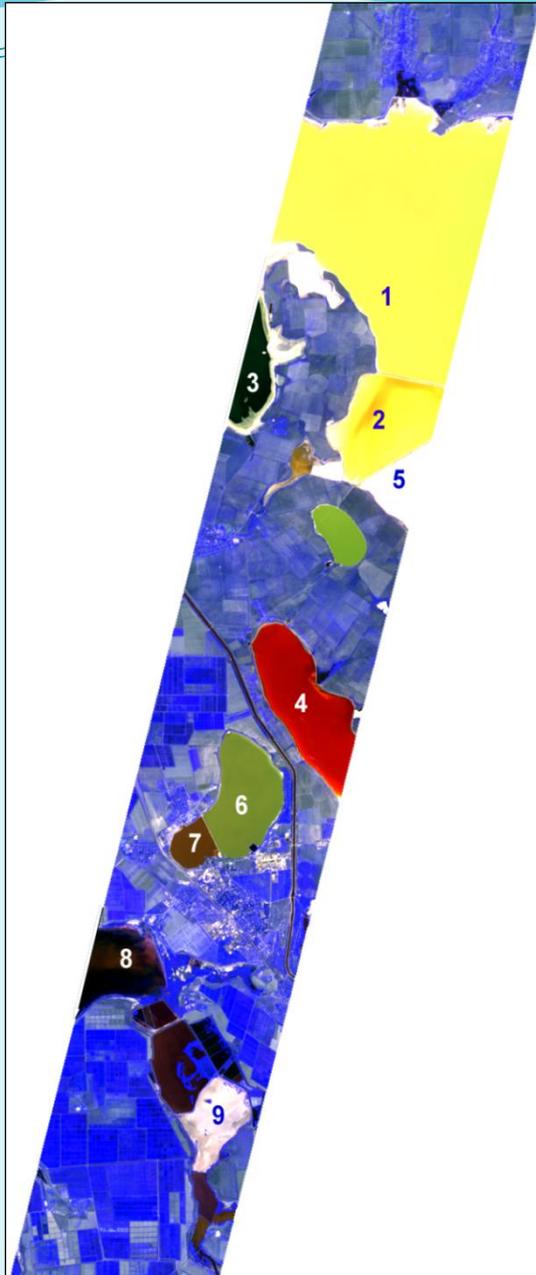
Пример разделения различных типов вод на основе извлечения спектральных профилей гиперспектральных изображений и анализа спектральных отражательных способностей различных участков водной поверхности



Композитное изображение, построенное на основе спектральных каналов сенсора Hyperion за 10.10 2003 г., специально подобранных для решения задачи разделения различных типов вод

Спектральная отражательная способность различных типов вод в видимом и ближнем ИК-диапазонах, восстановленная по данным гиперспектрального сенсора Hyperion, полученным 10.10 2003 г.

Пример распознавания антропогенных загрязнений различного происхождения в Перекопских озерах.



Цветосинтезированное изображение сенсора *Hyperion* от 30.08.2003. Цифрами обозначены точки, в которых строились графики спектральной отражательной способности :

1 - западная часть Сиваша, где находится отстойник-накопитель опасных сернисто-кислых отходов от производства диоксида титана ГАК «Крымский титан»;
2 – отделенная от отстойника (1) плотиной акватория, также отстойник;

3 – залив Сиваша с относительно чистой водой;

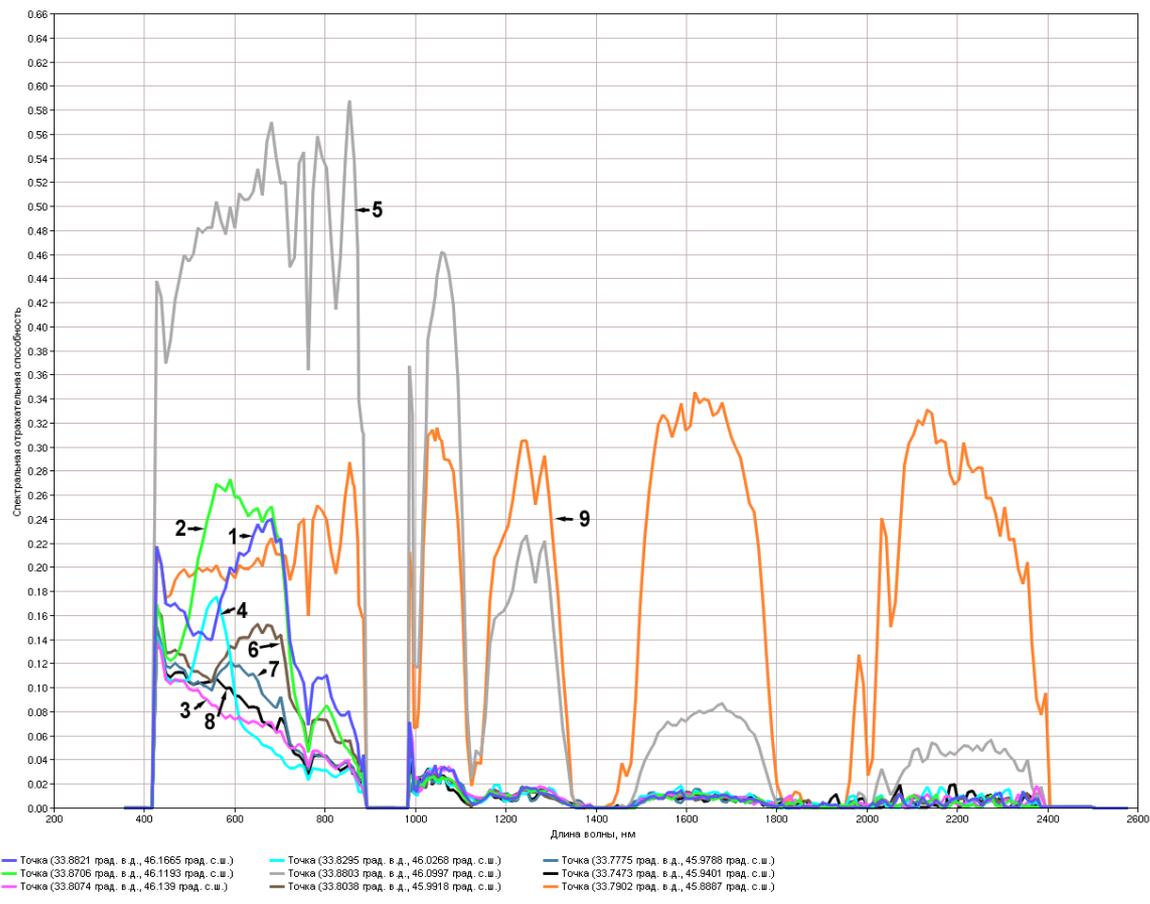
4 – северо-западная часть озера Красное, используемое ОАО «Крымский содовый завод» в качестве накопителя-испарителя промстоков;

5 - мелкий залив Сиваша, в котором резко повышена концентрация солей;

6,7 – разделенные дамбой северная и южная акватории озера Старое, используемые как сырьевая база для бромного и содового заводов;

8 – прибрежная часть Каркинитского залива Черного моря;

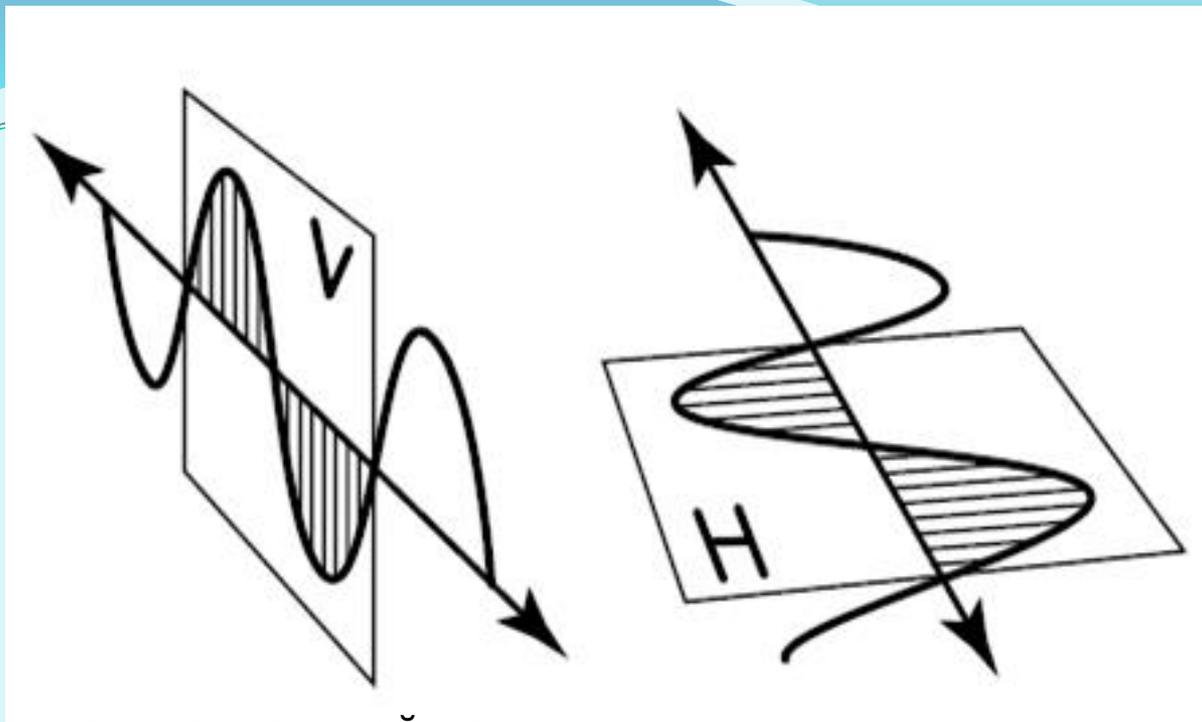
9 – восточная часть запруды реки Воронцовка, мелкий, сильно прогреваемый водоем



Графики спектральной отражательной способности 9-ти различных типов вод в видимом и ближнем ИК-диапазонах, восстановленной по данным гиперспектрального сенсора Nuregion, полученным 30.08 2003 г.
 Цифры – соответствуют графикам, полученным в 9-ти точках, выбранных в различных водоемах

Успехов в Ваших изысканиях!

**Материалы подготовлены в рамках проекта
РФФИ 13-07-12017 офи-м**



При горизонтальной поляризации излучения вектор электрического поля **EH** параллелен подстилающей поверхности. При вертикальной поляризации вектор излучения **EV** **направлен под углом падения к местной вертикали** (рис. 2.1).

В зависимости от конструктивных особенностей и режима работы РЛС приемо-

передающие системы могут осуществлять излучение и прием:

- на вертикальной (VV) поляризации;
- горизонтальной (HH) поляризации;
- перекрестных поляризациях (VH и HV).