

МЕТОДЫ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИИ В ПРИМЕНЕНИИ К НАБЛЮДЕНИЮ МЕЗО- И СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ФРОНТОВ

*М.И. Митягина**

Институт космических исследований РАН



Десятая международная Школа-семинар: «Спутниковые
методы и системы исследования Земли». 09.04 - 12.04.2019,
г. Таруса



ФРОНТЫ И ФРОНТАЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ – ОДНИ ИЗ ВАЖНЕЙШИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДИНАМИКИ ВОД

- Границы между водами с различными физическими характеристиками
- Области наиболее интенсивного перемешивания
- Обладают сложной структурой и высокой пространственно-временной изменчивостью.



Прибрежный фронт, разделяющий распресненные и морские воды в заливе Ла-Плата на подходе к г. Монтевидео (Уругвай)

КЛАССИФИКАЦИЯ ОКЕАНСКИХ ФРОНТОВ

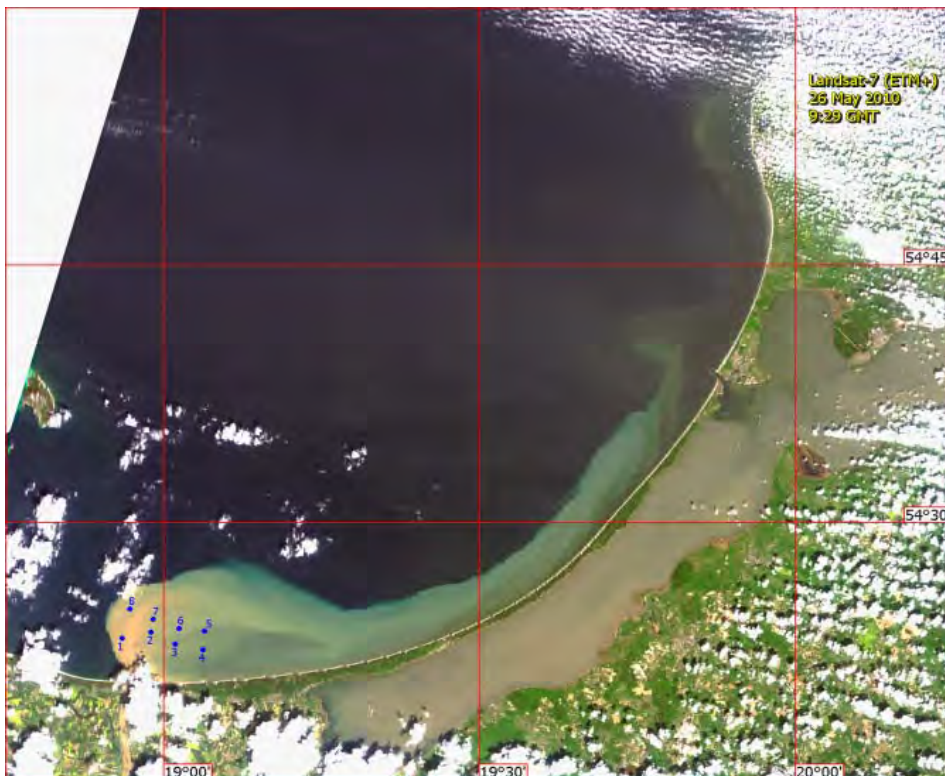


Tomczak M. (1996). Fronts in shallow seas and estuaries

ФРОНТЫ И ФРОНТАЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ – ОДНИ ИЗ ВАЖНЕЙШИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДИНАМИКИ ВОД

- ❑ Многочисленность, разнообразие и всемасштабность фронтов в океане делают их чрезвычайно трудным объектом для описания и изучения.
- ❑ К сожалению, многие необходимые наблюдения за фронтами до сих пор не реализованы, и фронты малых масштабов (сотни метров - единицы км в поперечнике) к настоящему моменту изучены недостаточно.
- ❑ Методы восстановления пространственно-временных характеристик океанических фронтов по их проявлениям на радиолокационных изображениях морской поверхности существенно расширяют возможности получения информации с высоким пространственным разрешением о пространственно-временной изменчивости, особенностях зарождения, эволюции и распространения фронтов меньших масштабов, а также о волновых процессах и вихревых возмущениях, ими порождаемых

ОТОБРАЖЕНИЕ ФРОНТОВ В СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ВИДИМОГО ОНА

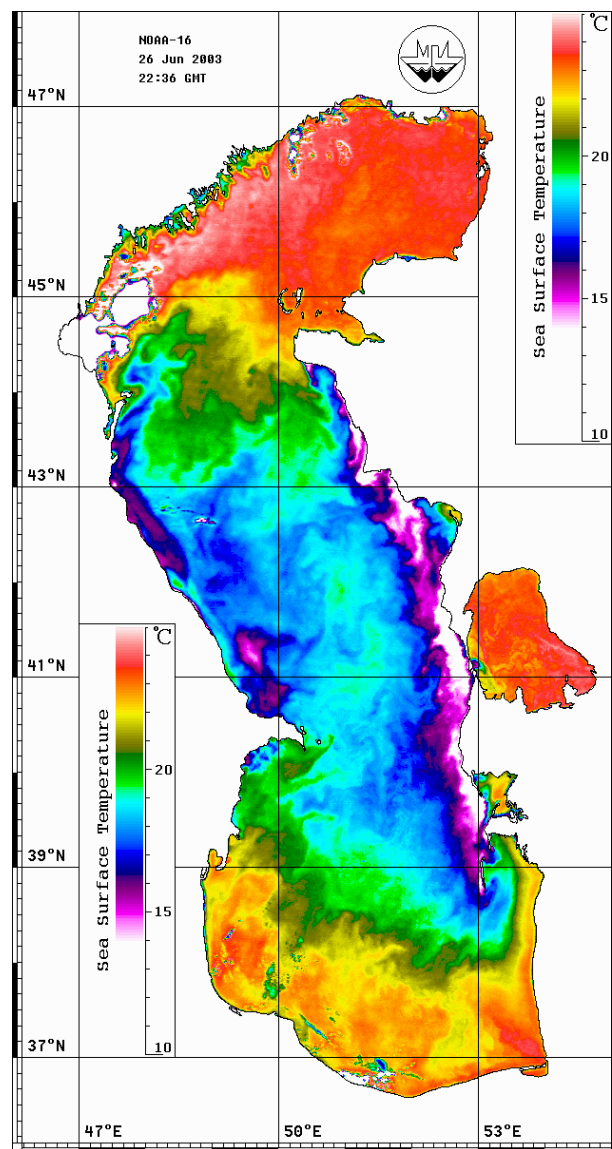


Различия в цветности
вступающих во
взаимодействие
вод

Особенно характерно для
фронтов прибрежной зоны

*Распространение плюма реки Вислы в
Гданьском заливе ETM +Landsat-7
цветосинтезированное изображение в
«естественных цветах» от 26 мая 2010,
9:29 GMT*

ОТОБРАЖЕНИЕ ФРОНТОВ В СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ИК ДИАПАЗОНА



РАЗЛИЧИЯ В ТЕМПЕРАТУРЕ СОПРИКАСАЮЩИХСЯ ВОДНЫХ МАСС/ТЕЧЕНИЙ.

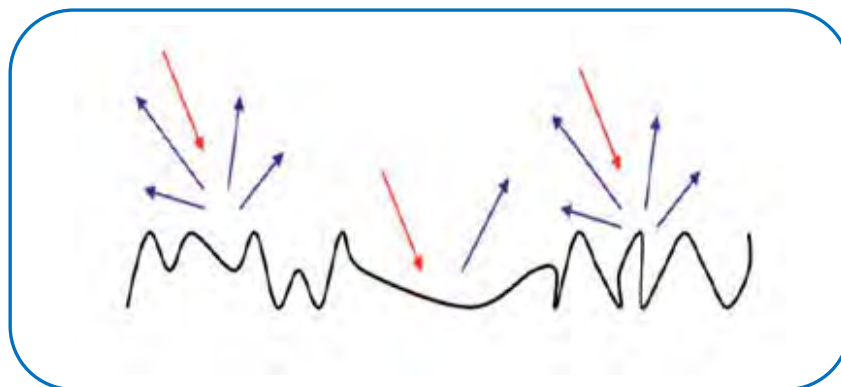
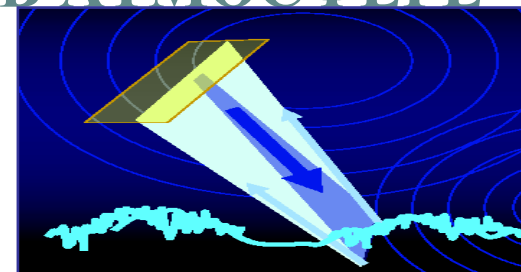
- Летний апвеллинг имеет большое значение для Каспийского моря, наблюдается ежегодно вдоль всего восточного побережья Среднего Каспия и частично проникает даже в Южный Каспий.
- Подъем холодных глубинных вод происходит с различной интенсивностью в результате воздействия преобладающих в летний сезон юго-восточных ветров.
- Ветер этих румбов вызывает отток тёплых поверхностных вод от берега и подъем более холодных вод из промежуточных слоев.
- На поверхности воды наблюдается понижение температуры (7 — 15 °C)..

Зона апвеллинга многофронтальна. Она включает фронты, связанные с подъемом нижележащих вод к поверхности и выходом на поверхность термоклина, фронты на границах трансформированных в результате прогрева и перемешивания апвеллинговых вод, а также фронты на границах сопровождающих апвеллинг когерентных структур – струй и вихрей

*Синоптическая ситуация с интенсивным апвеллингом одновременно у западного и восточного побережий Каспия:
ИК-изображение со спутника NOAA-16 3 июля 2003 г.*

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ВИЗУАЛИЗИРУЮТ ДВИЖЕНИЯ КАК В ОКЕАНЕ, ТАК И В АТМОСФЕРЕ

Атмосферные, так и внутриокеанические процессы тем или иным способом модулируют короткие гравитационно-капиллярные волны на поверхности океана, что в свою очередь проявляется в модуляциях радиолокационного сигнала

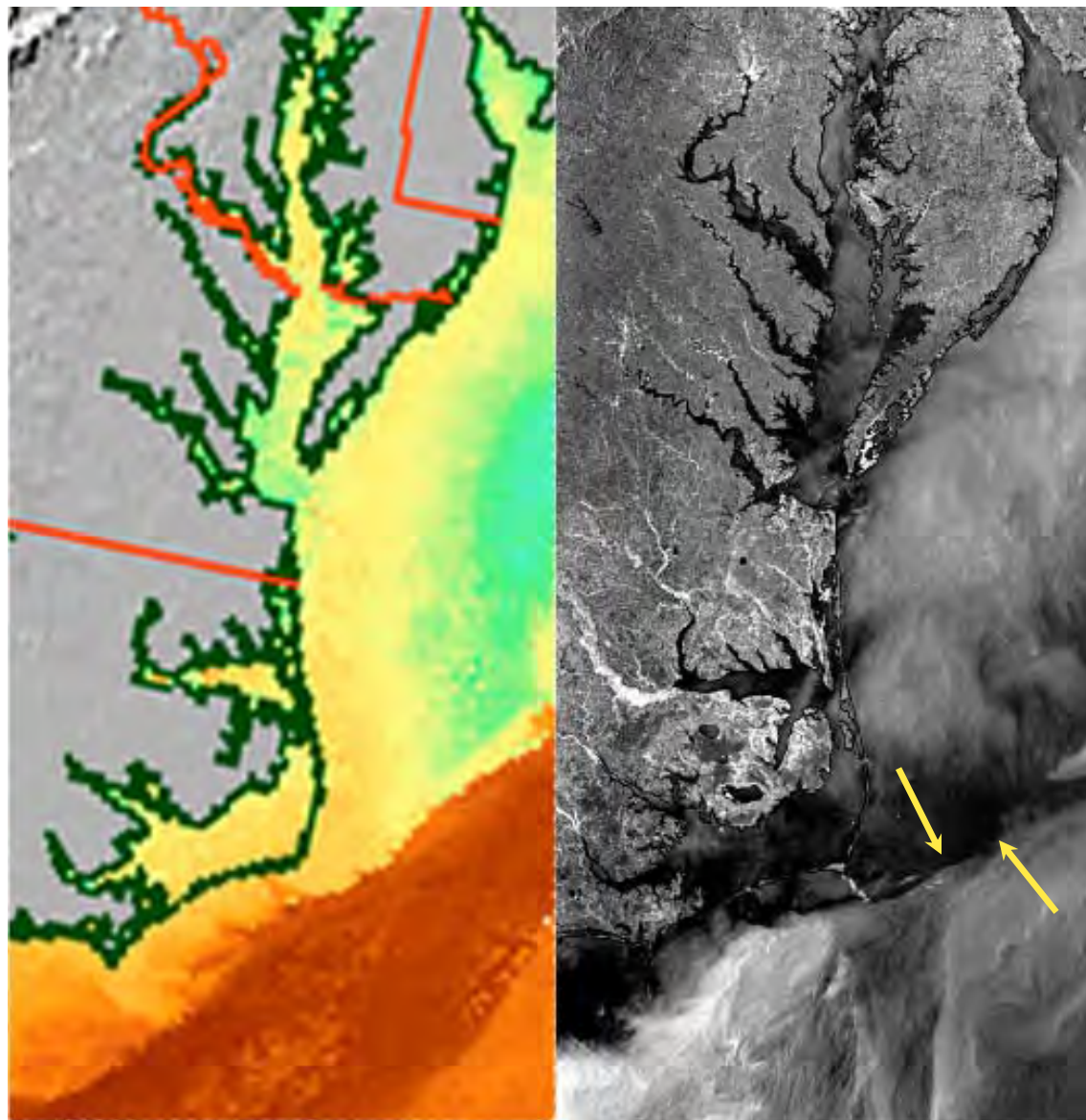


Оптический диапазон	Радиолокация
Видимый – только в светлое время суток. ИК- круглосуточно	Круглосуточно. Нет зависимости от солнечного освещения
Влияние облачности	Не зависит от облачного покрытия
Необходимость атмосферной коррекции	Отсутствует влияние состояния атмосферы.
Мало зависит от диэлектрических свойств подстилающей поверхности	Зависимость от диэлектрических свойств подстилающей поверхности
Мало зависит от шероховатости подстилающей поверхности (приповерхностный ветер)	Мало зависит от шероховатости подстилающей поверхности (приповерхностный ветер)

ОТОБРАЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

- ❑ скопления в зонах конвергенции поверхностных течений пленок ПАВ (темная(ые) полоса(ы) на РЛИ) ;
- ❑ трансформации как поля ГКВ, так и поля крупных волн в зонах сдвига скорости течения и конвергенции (светлая полоса на РЛИ);
- ❑ трансформации атмосферного погранслоя над фронтальной зоной с резкими градиентами температуры (граница на РЛИ, разделяющая зоны разной яркости (интенсивности)).

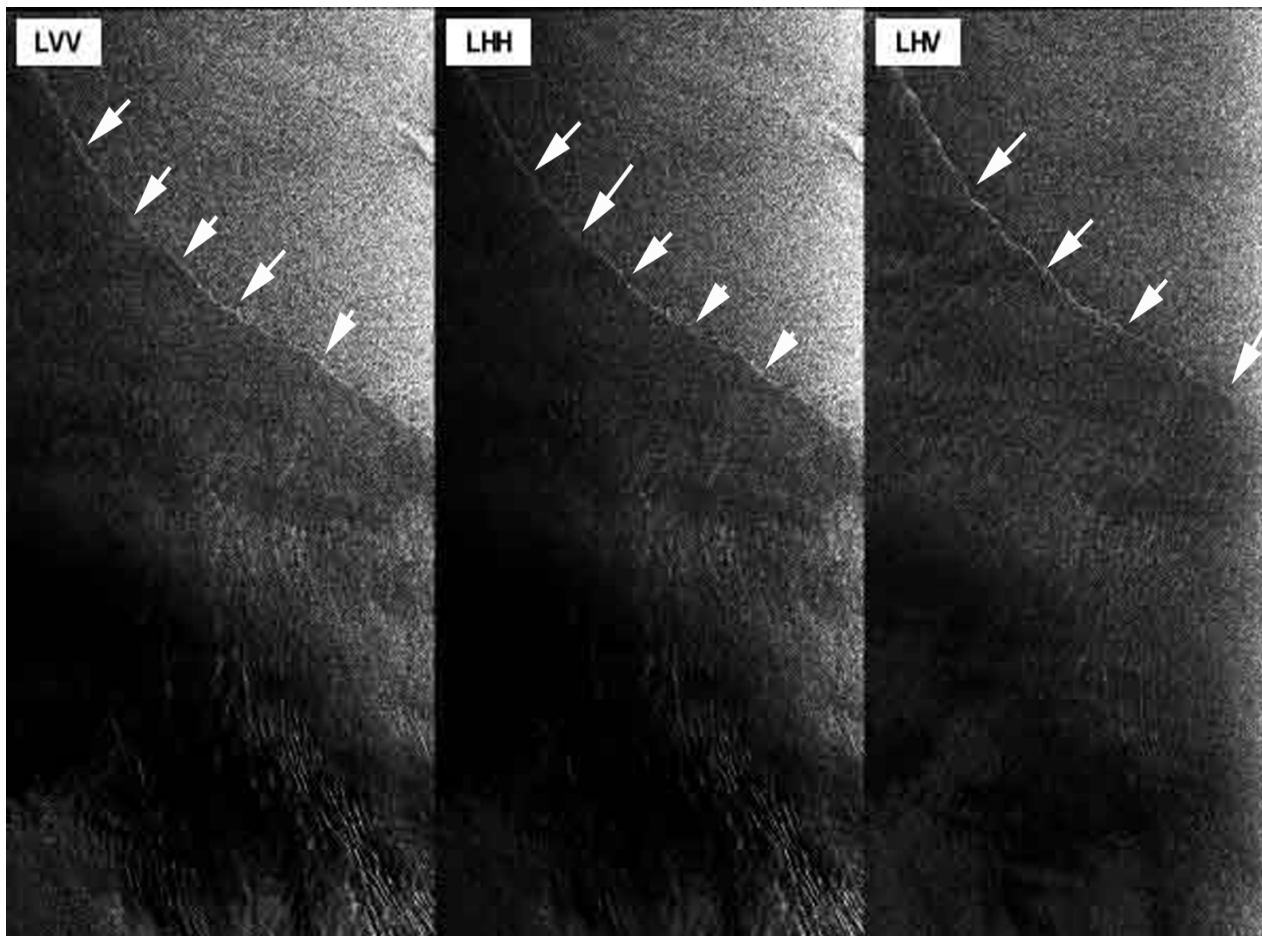
ФРОНТ ОКЕАНСКОГО ТЕЧЕНИЯ



The Gulf Stream off North Carolina imaged via AVHRR (thermal infrared) (left panel - 1300 UTC) and

RADARSAT-1 (C-band, HH) (right panel – 23:00 UTC) on 16 October 1996 under low winds (between 2 and 3 m s⁻¹).

Surface temperatures in AVHRR image range from 15°C (light green) to 30°C (red).

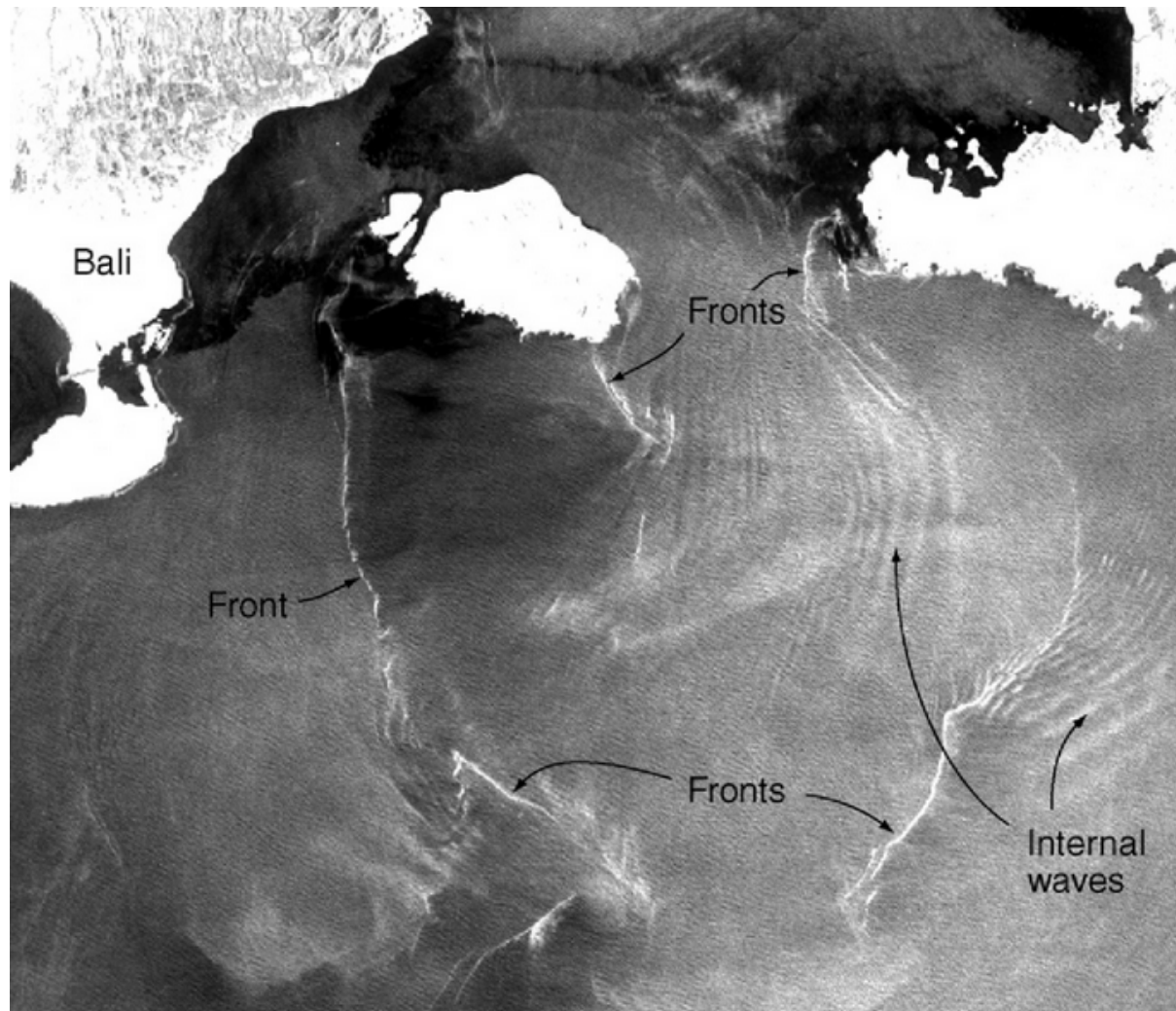


ФРОНТ ОКЕАНСКОГО ТЕЧЕНИЯ

Температура и соленость мощных течений (Гольфстрим и др) обычно сильно отличаются от характеристик окружающей воды. В результате меняется поверхностное натяжение воды, а вместе с ним и спектр поверхностной ряби.

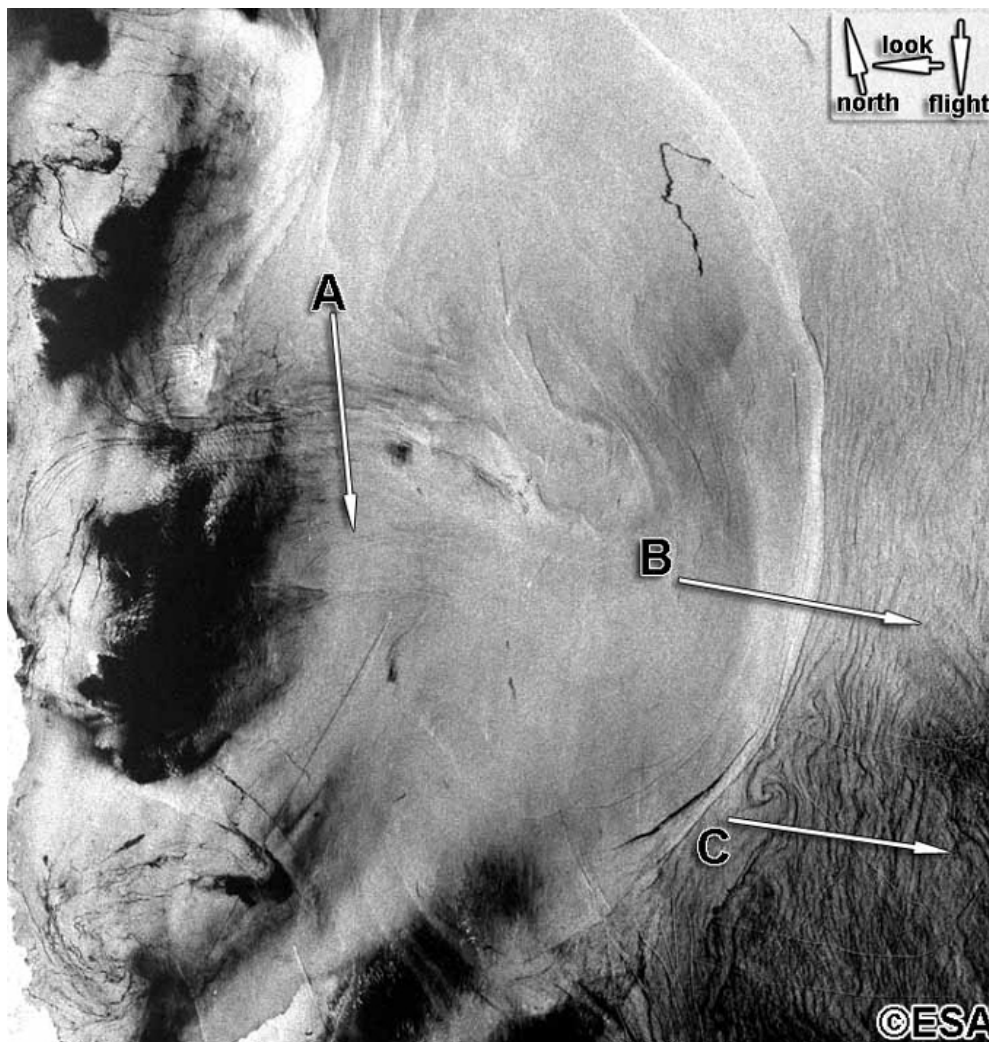
Радиолокационное изображение границы холодного Галапагосского течения, полученное при помощи радиолокатора с синтезированной апертурой SIR C/X

ФРОНТ ОКЕАНСКОГО ТЕЧЕНИЯ



Множественные
поверхностные
проявления
локальных
фронтов

ERS-2 SAR
Lombok Straits



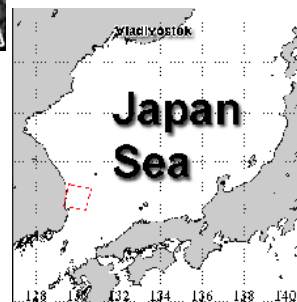
ERS-2 SAR
September 27, 1999
North-west Pacific
Japan Sea

ФРОНТ ОКЕАНСКОГО ТЕЧЕНИЯ

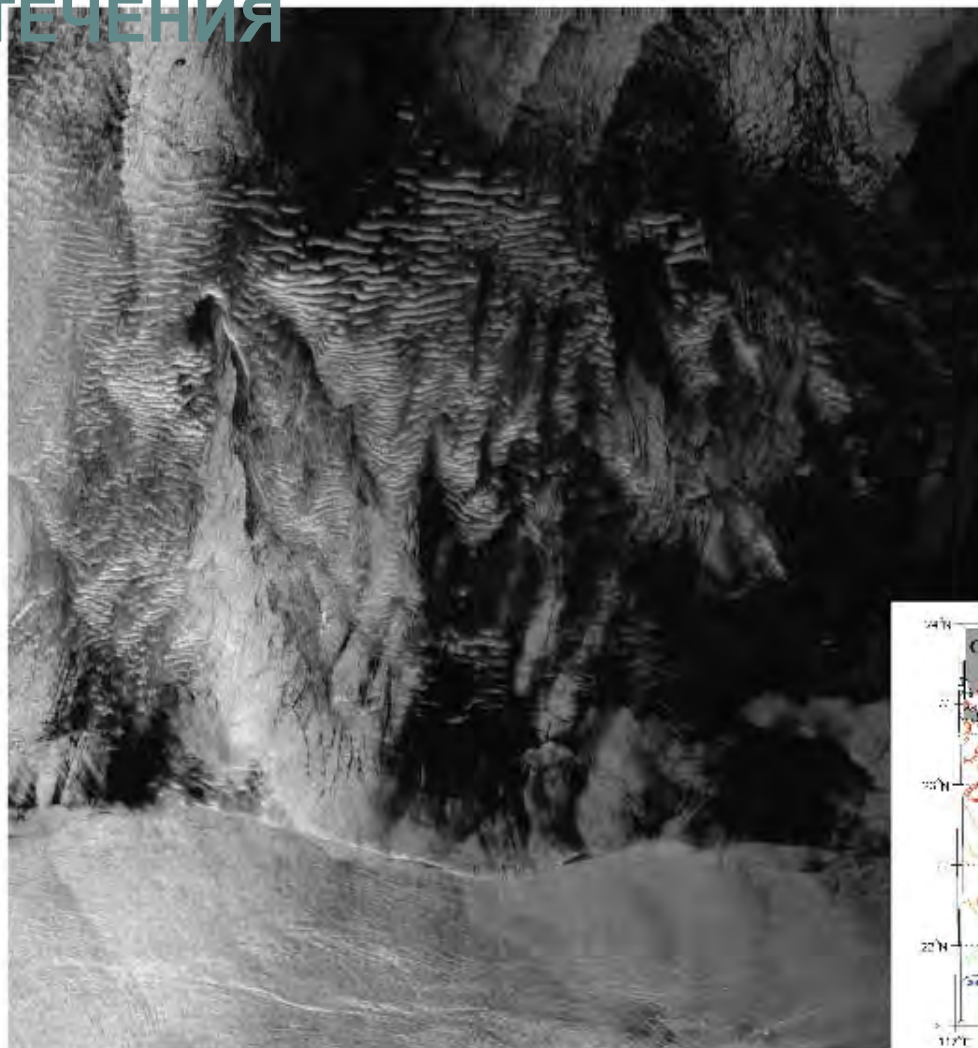
Регион Восточно-Корейского теплого течения в Японском море.

Течение направлено к северу вдоль восточного побережья Кореи, отделяется от побережья на 38 параллели и отклоняется на северо-восток, где встречается с холодными суб-арктическими водами Ю формируя субарктический фронт в Японском море. Примерно 40°N.

Ситуация, отображенная на РЛИ:
Холодные воды Прибрежного Холодного Северо-Корейского течения проникли на юг (36°N).
Сформировалась дугообразная конвергентная зона радиусом 50 км на западной кромке Восточно-Корейского теплого течения
А- сечение через струйное течение
В- сечение через фронт Восточно-Корейского теплого течения
С- сечение через область нитевидных сликов



ДОННАЯ ТОПОГРАФИЯ + ФРОНТ ОКЕАНСКОГО ТЕЧЕНИЯ



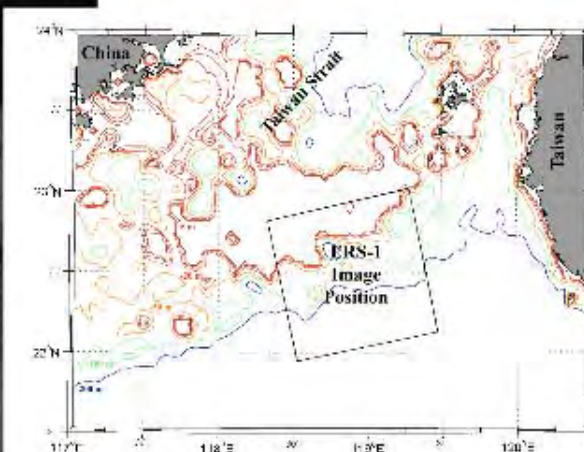
ERS-1 (C-band, VV) SAR
image acquired 27 July 1994.

Танские отмели вблизи побережья Тайваня.

Глубина 10-20 м. (Верхняя часть РЛИ)

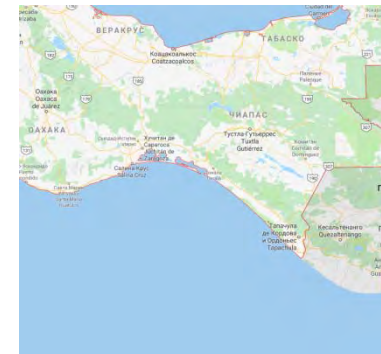
Нижняя часть РЛИ – Тайваньское течение.

Яркие линии- поверхностные проявления фронтов, повторяющие очертания изобат.

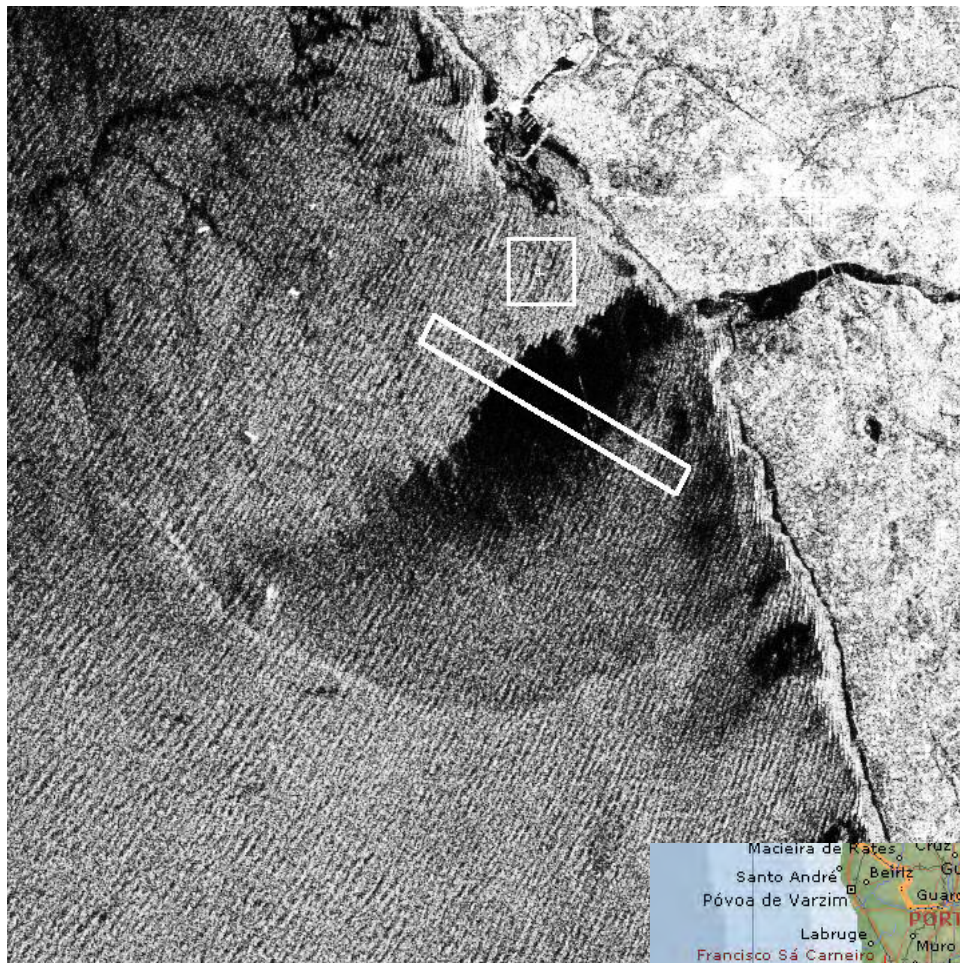


ФРОНТЫ ОКЕАНСКИХ ТЕЧЕНИЙ

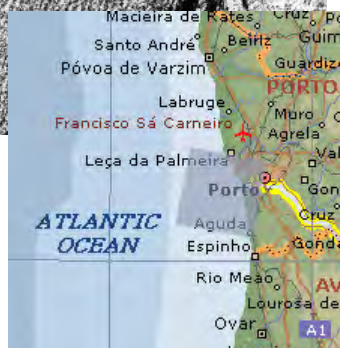
Проявления нескольких
фронтов течений вблизи
Мексики. Тихий океан.



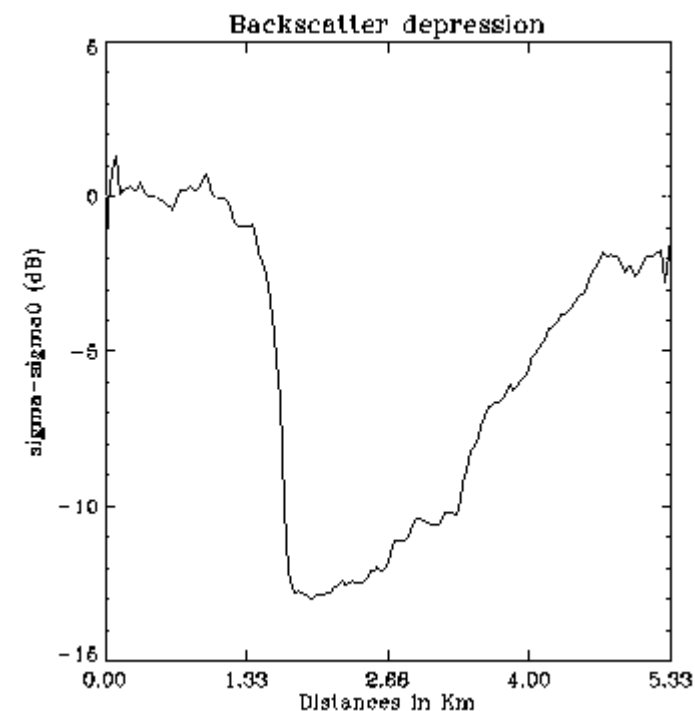
ERS-2 SAR image of (3 April 1996, 16:50 UTC),
(from <http://www.ifm.uni-hamburg.de/ers-sar>, ©
ESA).



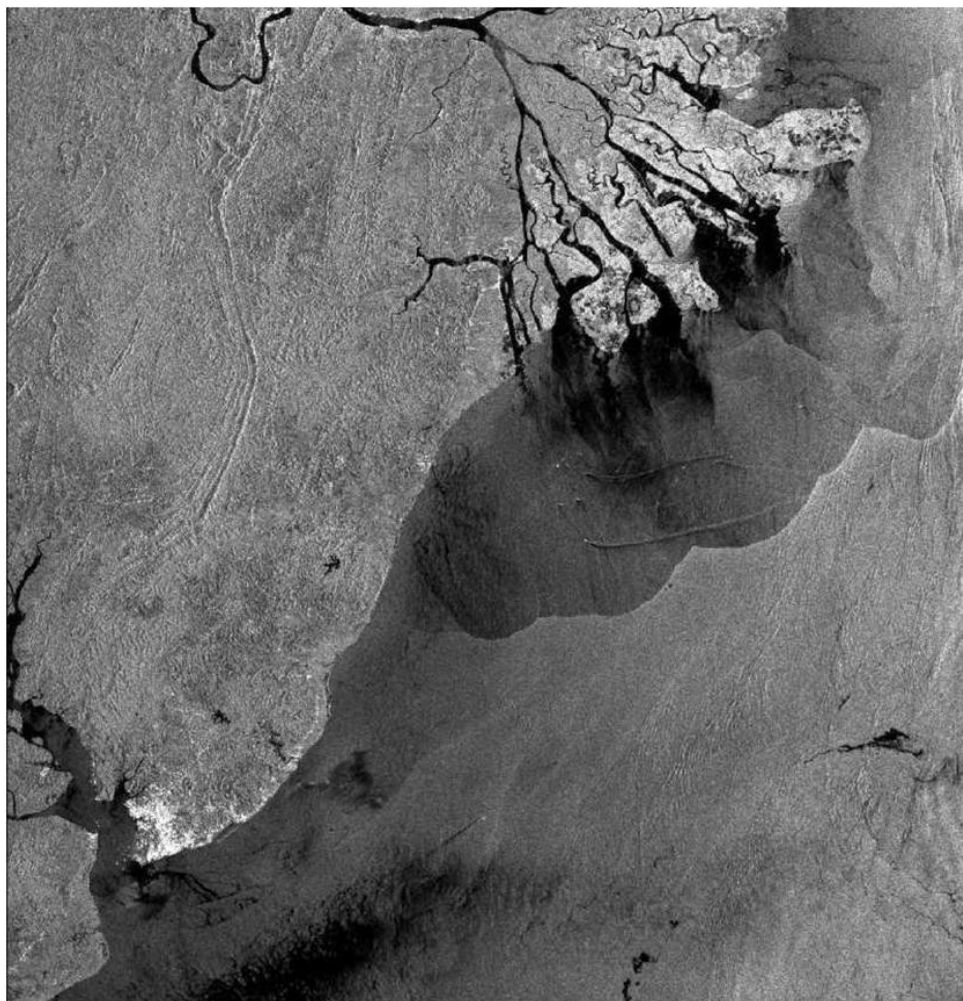
ERS-2 SAR
November 15, 2000
North-East Atlantic
Portuguese coast
Douro River mouth



РЕЧНОЙ «ПЛЮМ»+ ЗЫБЬ



Отчетливо выделяется фронт
речной воды, распространяющейся
на расстояние до 10 км от устья



РЕЧНОЙ «ПЛЮМ»

Прибрежный фронт р. Кутай (о. Калимантан, Индонезия), разделяющий речные и морские воды в Макасарском проливе на РЛИ ERS-2 (12.12.1999, 02:29 UTC). © ESA

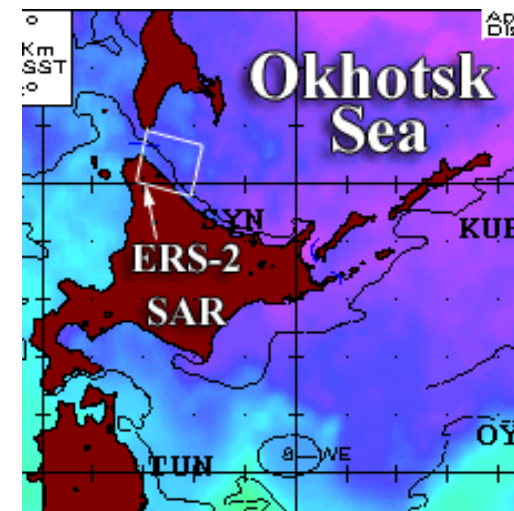
ОКЕАНСКИЕ ВИХРИ

Циклонические вихри на фронте теплого течения Соя. Пролив Лаперуза.

Яркая белая полоса шириной около 1 км обусловлена сдвигом течения и начинается вблизи о-ва Камень Опасности, где расположены холодные воды. Линия очерчивает границу, разделяющую теплые воды течения Соя и холодные прибрежные воды.



ERS-2
May 13, 2002
Okhotsk Sea



РАСПОЗНАВАНИЕ ФРОНТОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НА РЛ-ИЗОБРАЖЕНИЯХ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

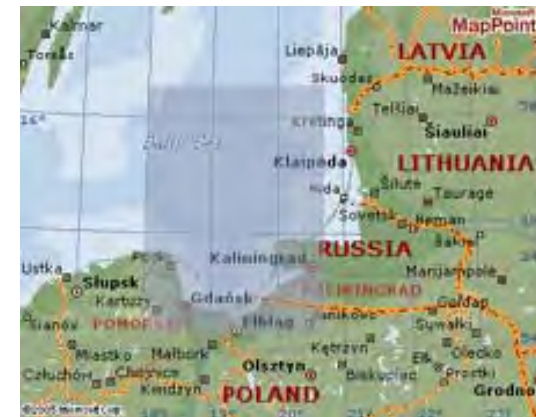
- ❑ Фронты являются характерной чертой циркуляции как в атмосфере, так и в океане.
- ❑ Существенные различия между этими двумя средами (по их физическим параметрам, уравнениям состояния, типам стратификации, скейлинговым коэффициентам и т. д.) не позволяют ожидать стопроцентной аналогии между этими двумя средами.
- ❑ Удивительно, что, несмотря на вышеупомянутые различия, океанические и атмосферные фронты имеют много общего как в своей динамике, так и в самом процессе их формирования.

АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ

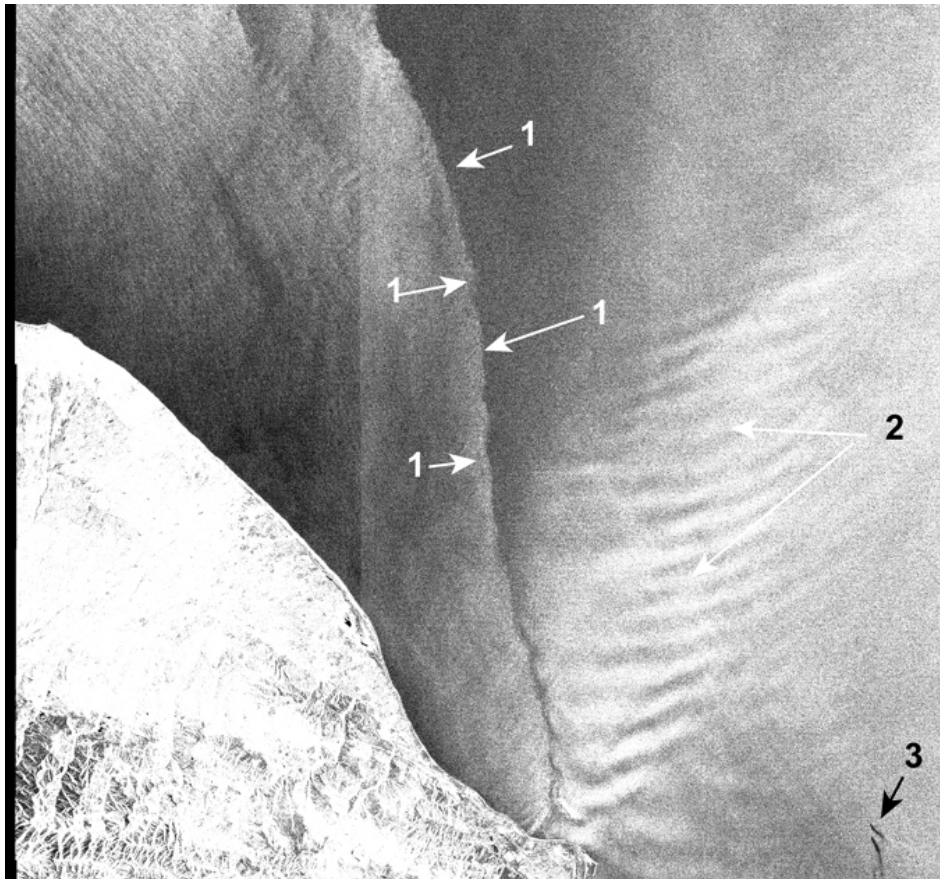
Отчетливо выраженный фронт
в атмосфере над юго-восточной
Балтикой



Envisat ASAR
June 13, 2005 at 20:14
South-East Baltic Sea



АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ



Центральный Каспий.

1 – Проявления атмосферного фронта

2 – Пакет квази-линейных АГВ

3- нефтяное загрязнение на морской поверхности

Envisat ASAR

September 04, 2004 at 06:46

Caspian Sea

Baku region



АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ



Северо-восточная часть Черного моря.

Холодный воздух движется с востока (от берега)

Большие градиенты температуры атмосферы и атмосферного давления.

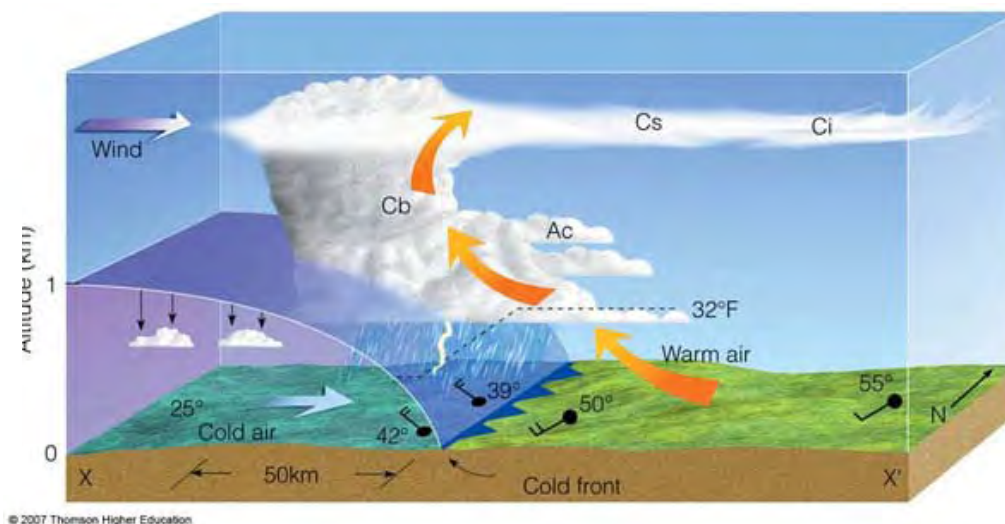
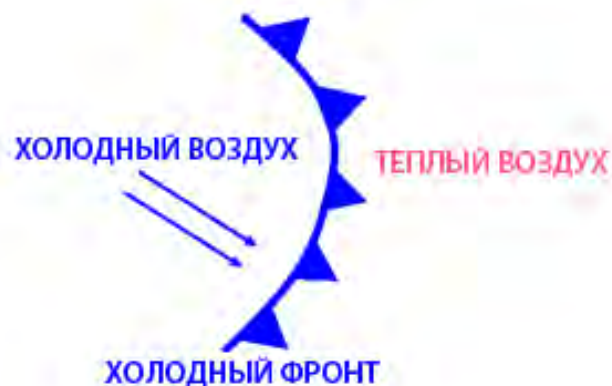
Вторжение холодного воздуха над теплой морской поверхностью привело к развитию атмосферной конвекции

ERS-2 SAR
October 04, 1999 at 08:21
North-East Black Sea



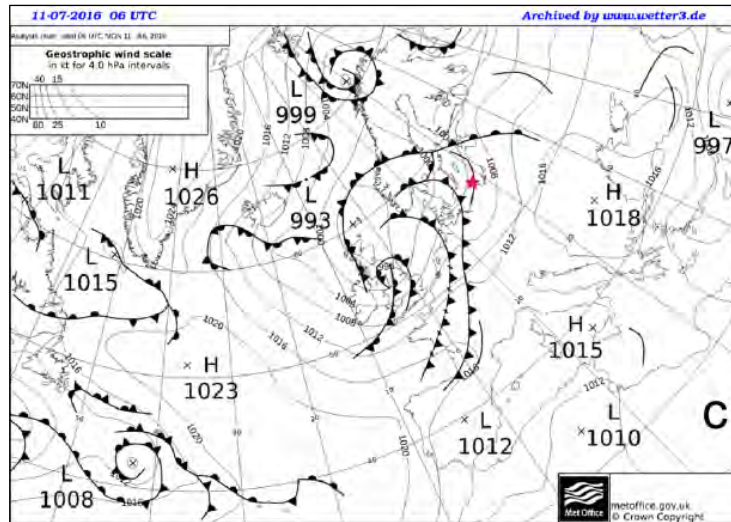
- ❑ Hereafter we examine SAR signatures of atmospheric fronts that differ in types.
- ❑ Three case studies are provided, based on SAR imagery, registered during our survey of the southwest Baltic Sea.
- ❑ Below it is shown in what a way SAR can reveal mesoscale and small-scale patterns of cold fronts, warm fronts, and occluded fronts. Particular attention is paid to the capability of SAR to reveal small-scale and mesoscale features of atmospheric fronts.
- ❑ The SAR signatures specific for different frontal types will be outlined that can be used for the identification of fronts by their kind.
- ❑ These features are not usually detectable using traditional observational data of optical sensors because of their small dimensions and because upper-level clouds often mask them.

ХОЛОДНЫЙ АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ

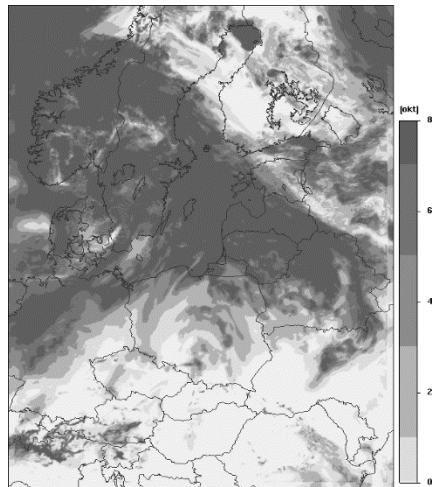


- Холодный фронт практически всегда связан с областью низкого атмосферного давления.
- Перемещается в сторону тёплого воздуха.
- Более плотный холодный воздух движется быстрее тёплого, подтекая под него и выталкивая его вверх. При этом нижние слои холодного воздуха отстают в своём движении от верхних и фронтальная поверхность круто поднимается над поверхностью Земли.
- Подъем тёплого воздуха приводит к развитию облачности, грозам и осадкам .

ХОЛОДНЫЙ АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ

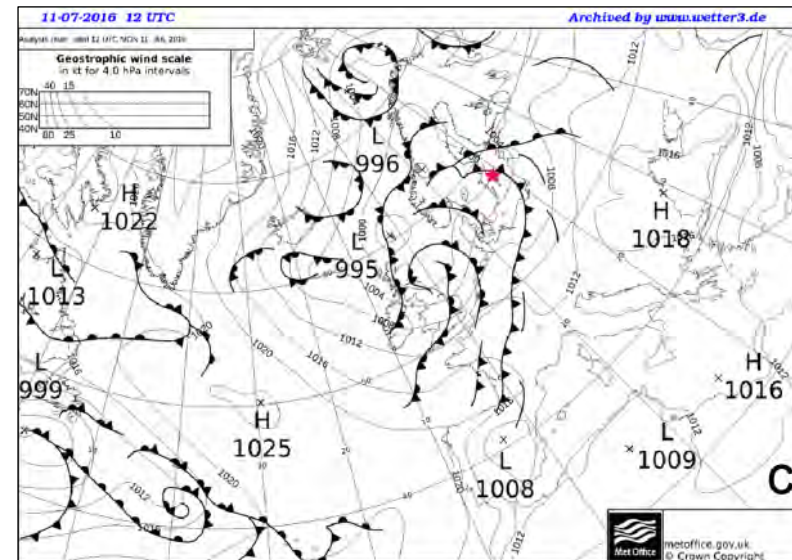


UK MetOffice surface analysis valid at 06:00 UTC 11 July 2016. Red star shows the SAR image placing.



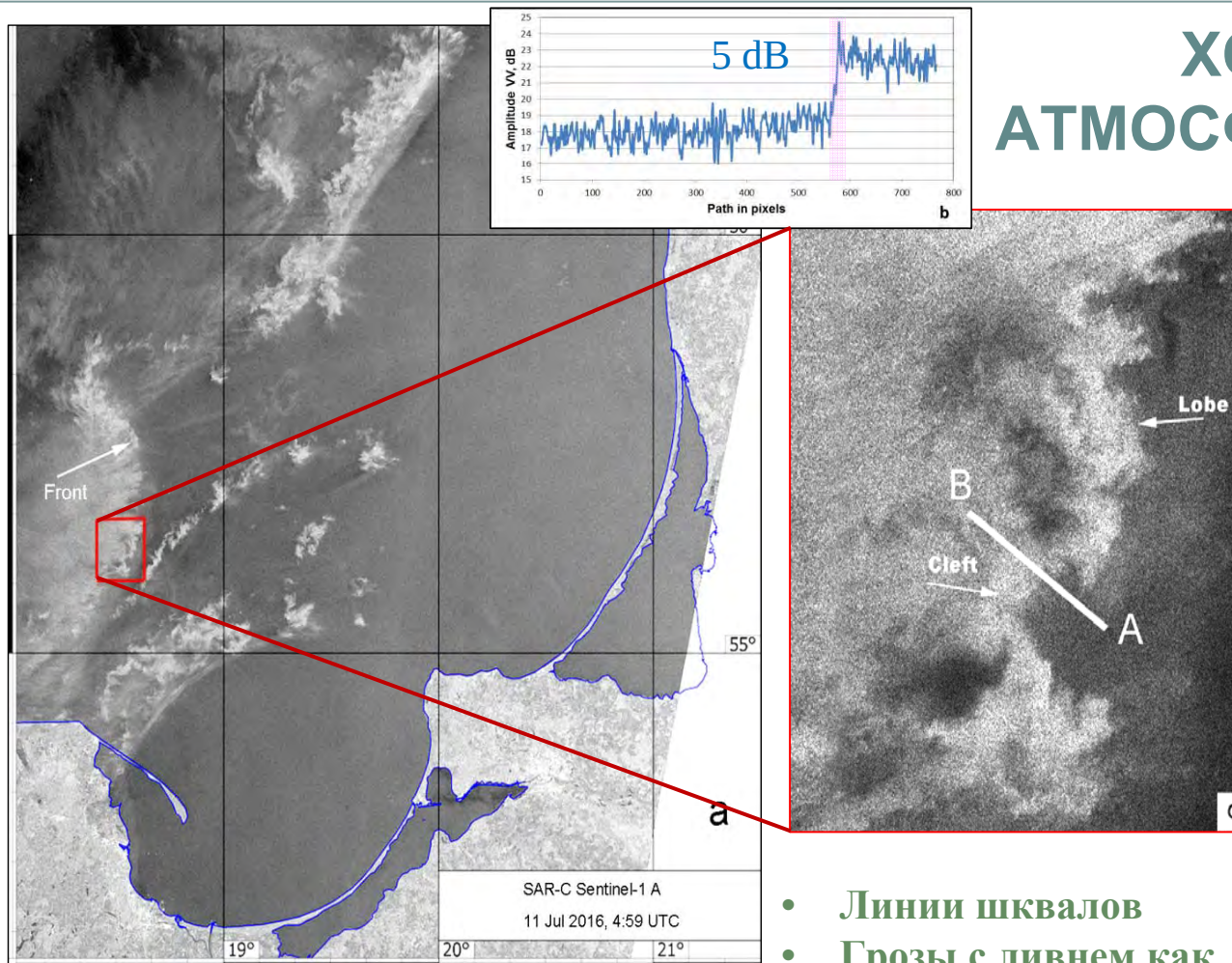
- Наблюдалась сплошная облачность, 100%.

11 июля 2016 г. Юго-Восточная Балтика находилась под воздействием области пониженного атмосферного давления с центром над Северным морем. Погодные условия формировались под влиянием атмосферных фронтов.



UK MetOffice surface analysis valid at 12:00 UTC 11 July 2016. Red star shows the SAR image placing

ХОЛОДНЫЙ АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ



«Рваная» граница

The leading edge of a cold front looks uneven in the SAR image of the sea surface, and consists of a series of lobe and cleft instabilities. Clefts may be described as V-shaped indentations in the front that propagate and merge along the front, and lobes may be described as a series of localized bursts along the front that appear as projecting noses with bulges or buttresses which continually change shape. The existence of lobe and cleft patterns indicates that the corresponding SAR frontal signature is that of a cold front.

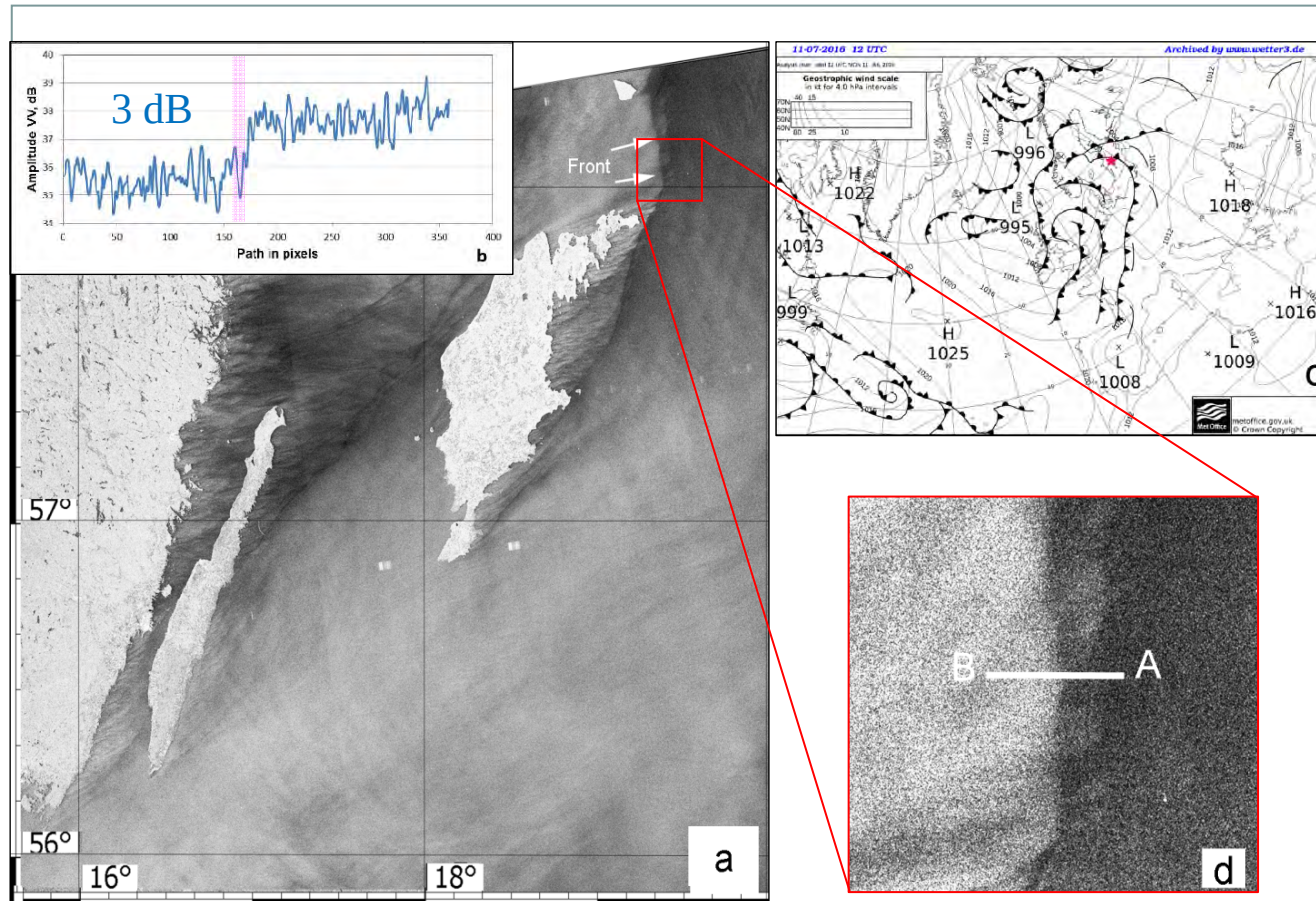
* Lobe - выступ

Cleft - углубление

- Линии шквалов
- Грозы с ливнем как результат развития кучево-дождевых облаков перед фронтом
- Усиление рассеяния

A part of the Sentinel-1A SAR image of a cold front in the marine atmosphere over the southeastern Baltic Sea taken on 11 July 2016 at 04:59 UTC. The front is oriented north-south and moving toward the northeast;

ХОЛОДНЫЙ АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ



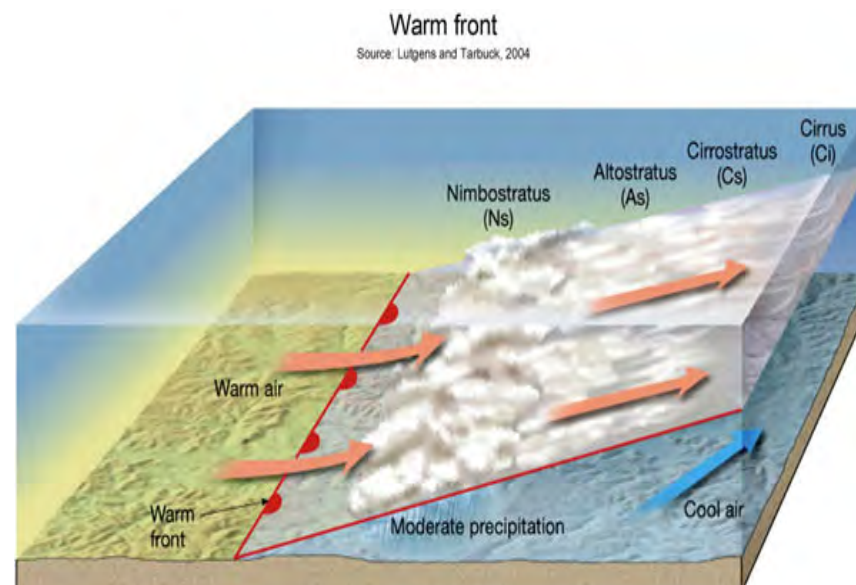
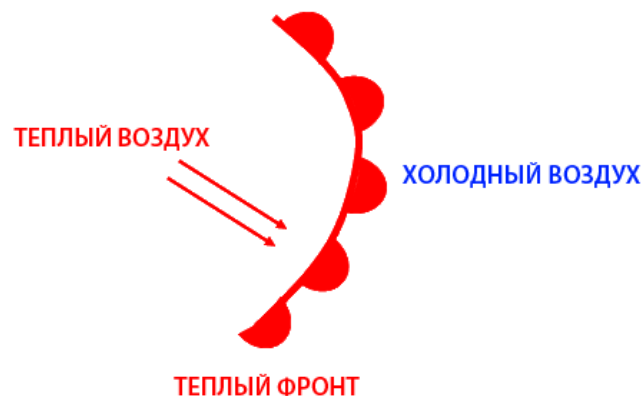
a) A part of the Sentinel-1A SAR image of a cold front in the marine atmosphere over the southeastern Baltic Sea taken on 11 July 2016 at 16:35 UTC. The front is oriented north-south and moving toward the northeast;

b) Variations in radar signal along the transect across the front leading edge;

c) UK MetOffice surface analysis valid at 06:00 UTC 11 July 2016. Red star shows the SAR image placing.

d) Zoomed SAR image showing detail of the leading front edge. The variations in the radar backscatter shown in (b) were taken along the white line AB.

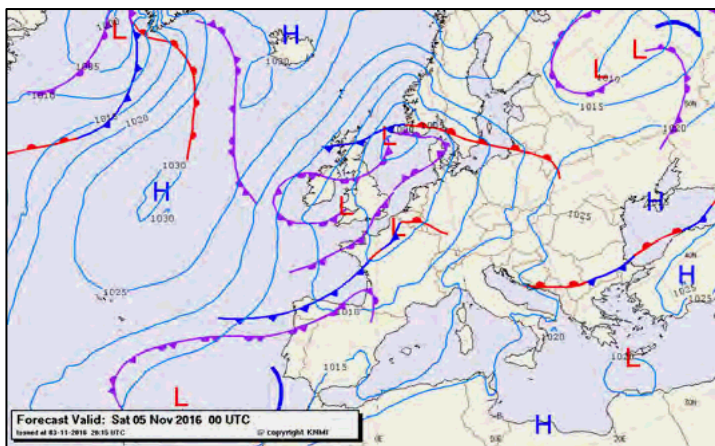
ТЕПЛЫЙ АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ



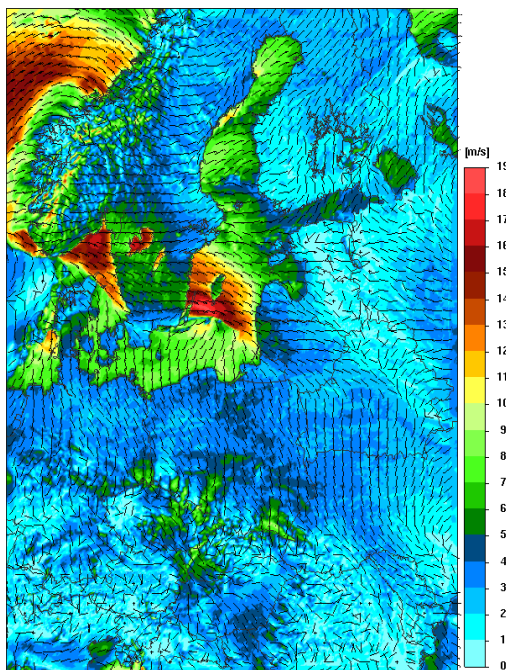
- *Теплый фронт* перемещается в сторону холодного воздуха, более активной в этом случае оказывается теплая воздушная масса. Теплый воздух натекает на отступающий холодный, поднимаясь вверх по плоскости раздела (восходящее скольжение).
- При отступлении холодного воздуха нижние его слои в результате трения о поверхность несколько отстают и фронт поднимается очень полого.
- При медленном поднятии тёплого воздуха формируются типичные облачные системы.

- Слоисто-дождевые
- Высокослоистые
- Перисто-слоистые
- Перистые

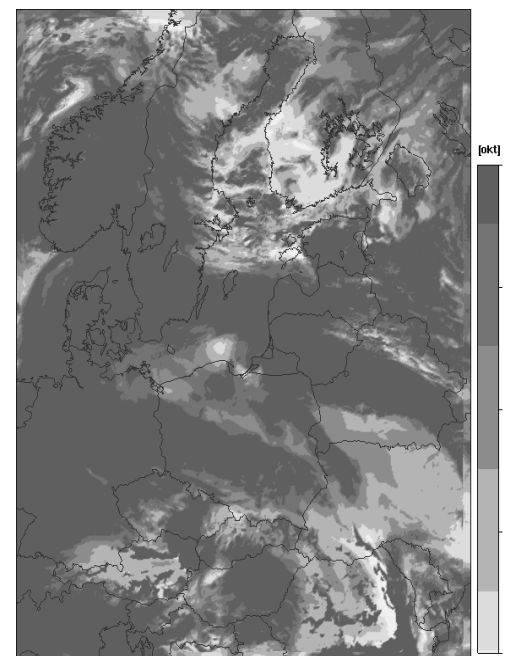
ТЕПЛЫЙ АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ



05.11.2016 04:56 GMT Юго-Восточная Балтика находилась под влиянием циклона с центром над Северным морем. Погодные условия формировались прохождением атмосферного фронта

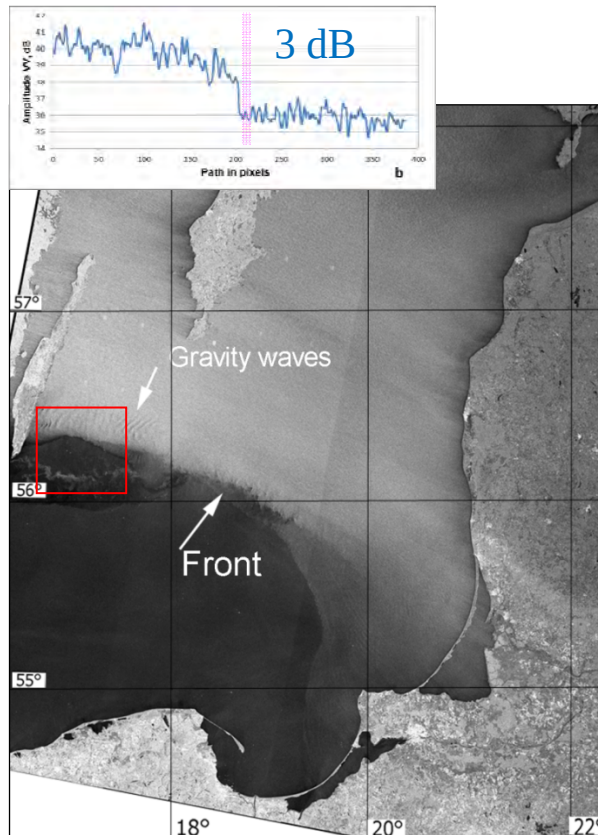


Поле приводного ветра было неоднородно по скорости и направлению. Преобладал умеренный ветер южного направления со скоростью 8-10 м/с. Перед линией фронта скорость ветра усиливалась до 15 м/с.



Наблюдалась сплошная облачность

ТЕПЛЫЙ АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ

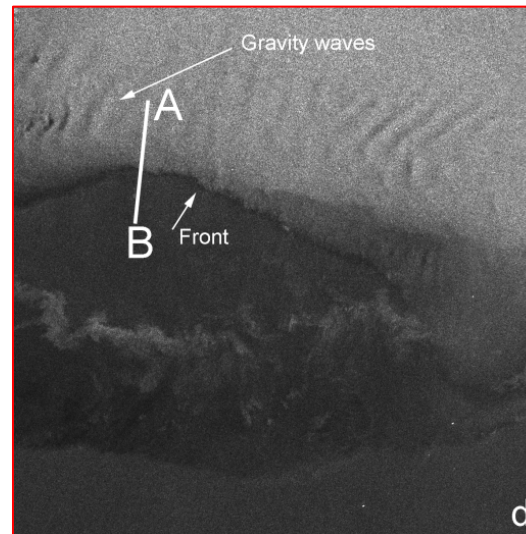
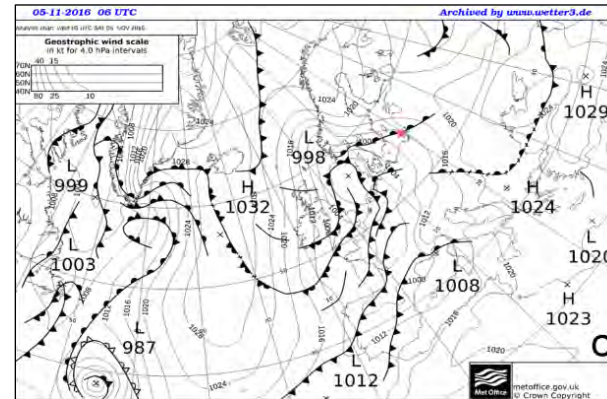


a) A part of the RADARSAT-2 SAR image of a warm front in the Baltic Sea taken on 5 November 2016 at 04:56 UTC. The front is oriented west–east and moving northward;

b) Variations in radar signal along the transect across the front leading edge;

c) UK MetOffice surface analysis valid at 06:00 UTC 5 November 2016. Red star shows the SAR image placing

d) Zoomed SAR image showing detail of the leading front edge. The variations in the radar backscatter shown in (b) were taken along the white line AB.



➤ The SAR signature of the warm front boundary looks smoother than those of the cold front discussed above.

➤ It meanders in response to small-scale vortices. This frontal “waviness” is assumed to be a result of horizontal shear instability.

➤ Another characteristic feature of the SAR signature of a warm front is the existence of quasi-linear bands of smooth amplification and attenuation of backscattered signal aligned nearly perpendicular to the front and extending about 10 – 15 kilometres to the front cold side. These structures are SAR signatures of shear-driven gravity waves

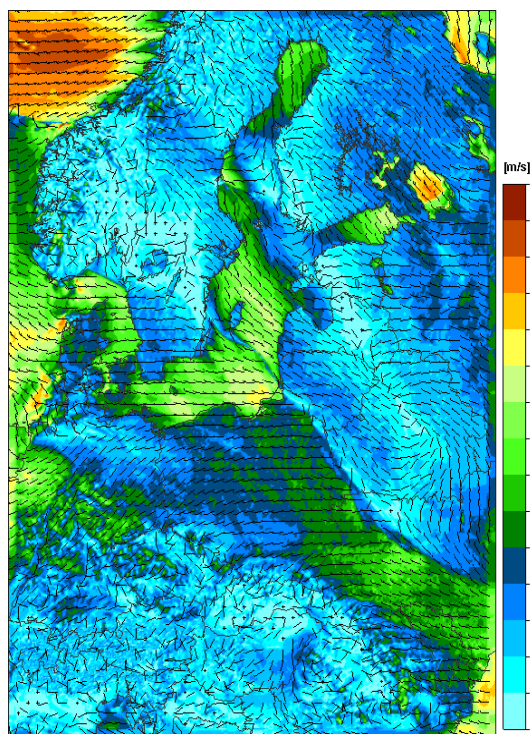
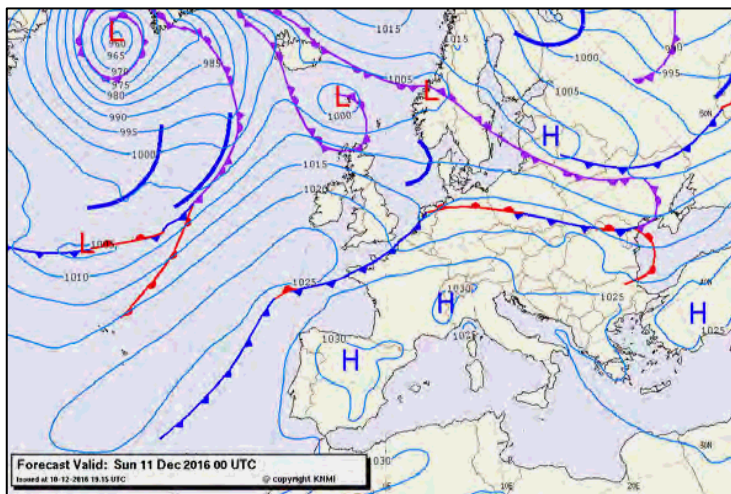
АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ ОККЛЮЗИИ



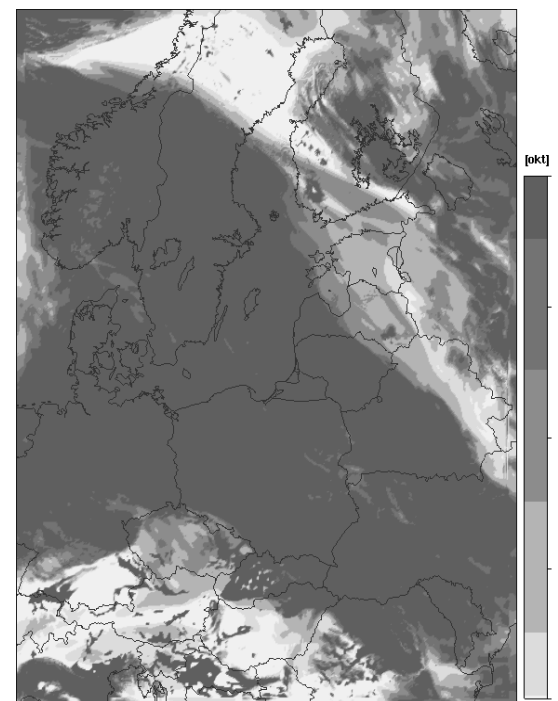
- При смыкании теплого и холодного фронтов возникает *фронт окклюзии*.
- Смыкание фронтов происходит поэтому, что холодный фронт, перемещаясь быстрее теплого, может нагнать его.
- Теплый воздух, оказавшийся в пространстве между двумя фронтами, вытесняется вверх, и холодные воздушные массы двух фронтов соединяются.
- В зависимости от того, которая из двух соединяющихся холодных масс теплее, окклюзия происходит по типу
холодного фронта
или по типу теплого фронта

АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ ОККЛЮЗИИ

11.12.2016 04:50 GMT Юго-Восточная Балтика
находилась в ложбине атмосферного давления

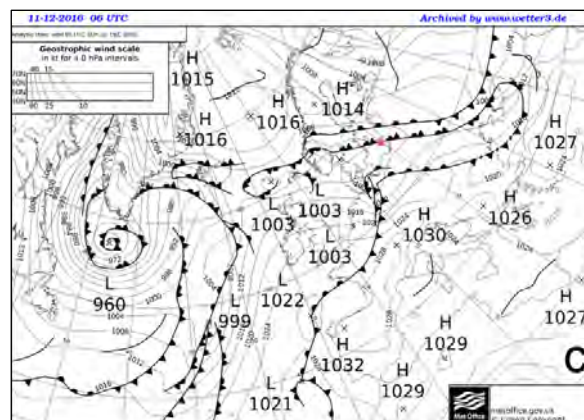
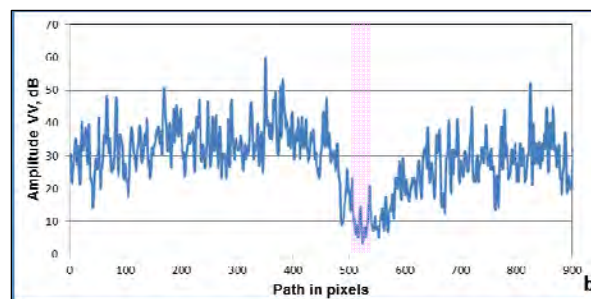
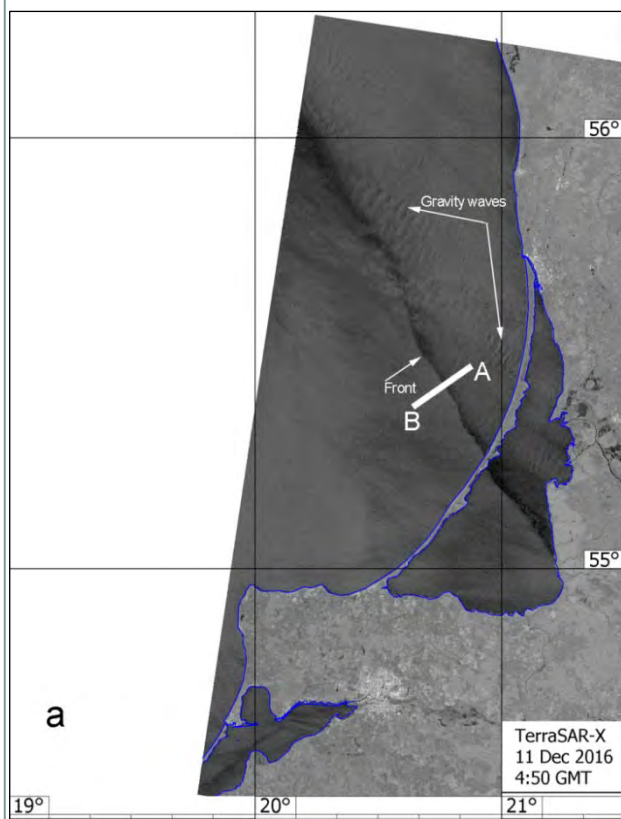


Наблюдался ветер
переменного
направления.
Южнее атмосферного
фронта – юго-западный
ветер;
севернее фронта – юго-
восточный со
скоростью 9-11 м/с.



Наблюдалась сплошная
облачность

АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ ОККЛЮЗИИ



a) A part of the TerraSAR-X image of a well-defined occluded front with gravity waves in the marine atmosphere over the southeastern Baltic Sea taken on 11 December 2016 at 04:50 UTC. The front is oriented northwest-southeast and moving toward the northeast; b) Variations in radar signal along the transect across the front leading edge; c) UK MetOffice surface analysis valid at 06:00 UTC 5 November 2016. Red star shows the SAR image placing..

The backscattered signals ahead of and behind the front are comparable in magnitude.

On the front line, however, signal experiences a drop-off and the front line in the SAR images is seen as a thin curved strip of low backscatter. The pink area in the graph marks the area of the sharp decrease about 20 dB in the amplitude of the backscattered signal at the leading front edge.

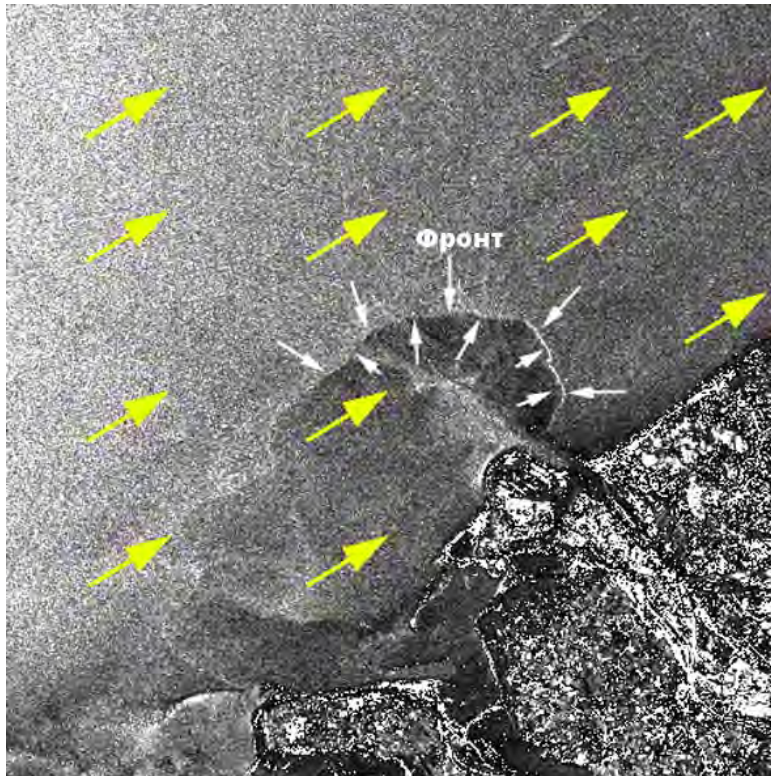
Signatures of gravity waves in the marine atmosphere are also seen in the SAR image ahead of the occluded front; however, they are oriented at a more acute angle than in the case of a warm front discussed above.

ПРОЯВЛЕНИЕ ФРОНТОВ В ЗАМКНУТЫХ МОРЯХ

НА РЛИ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

- ❑ скопления в зонах конвергенции поверхностных течений пленок ПАВ (темная(ые) полоса(ы) на РЛИ) ;
- ❑ трансформации как поля ГКВ, так и поля крупных волн в зонах сдвига скорости течения и конвергенции (светлая полоса на РЛИ);
- ❑ трансформации атмосферного погранслоя над фронтальной зоной с резкими градиентами температуры (граница на РЛИ, разделяющая зоны разной яркости (интенсивности)).

ФРОНТЫ РЕЧНЫХ «ПЛЮМОВ»



Фрагмент (48 км × 48 км) РЛИ сенсора ERS-1 SAR, полученного 13.10.1993 в 21:46 UTC

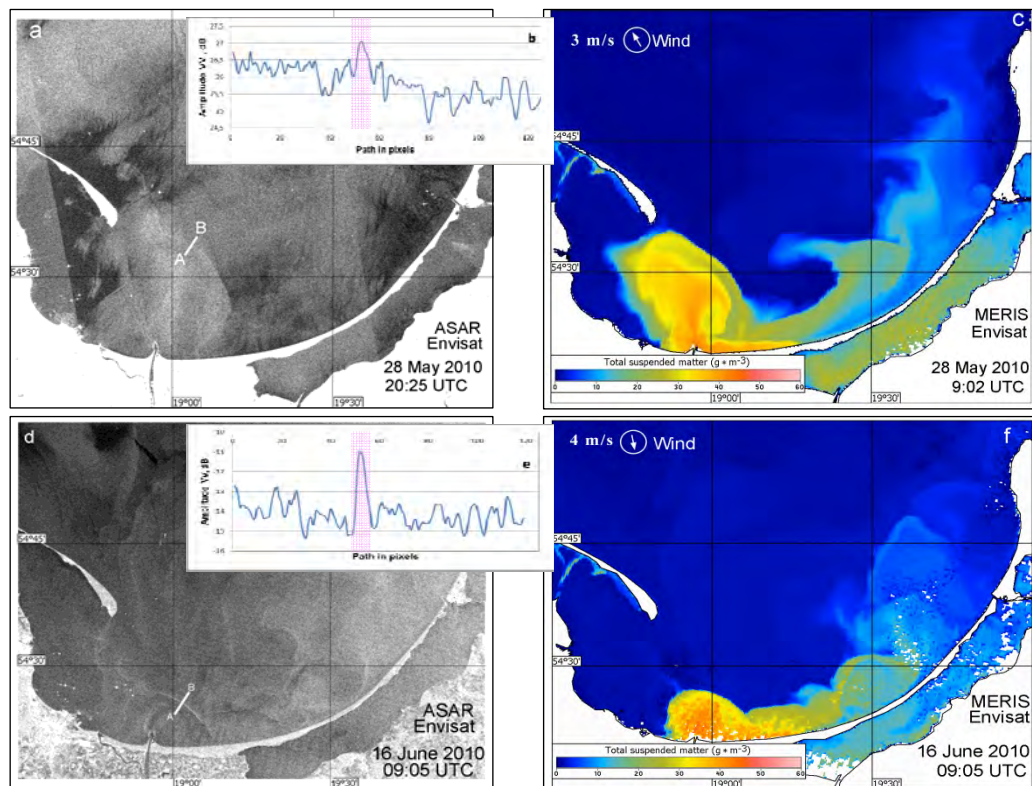
In these studies, spatial patterns associated with the river plume are mainly linked to the phase of the tide in the outflow area, and general characteristics of the structure and evolution of a river plume subjected to the action of strong tidal currents.

- Границы между более легкой пресной водой и более плотной соленой морской водой вблизи устья.
- Узкие зоны значительных горизонтальных градиентов плотности на поверхности моря
- Линии раздела или «демаркации», выраженные сменой цвета, скоплением мусора или пены, скоплением пленок

РЛИ получено над районом впадения реки Рейн в море. На РЛИ отчетливо выявляются проявления линзы пресной воды, локализованной поверх соленых вод Северного моря. Белые стрелочки указывают на положение фронтального скачка, наиболее ярко проявляющегося в северо-восточной части линзы. Вариации обратного рассеянного сигнала обусловлены вариациями гравитационно-капиллярной составляющей поля поверхностного волнения, связанными с их гидродинамической модуляцией переменными течениями.

ФРОНТЫ РЕЧНЫХ «ПЛЮМОВ».

Р. Висла после аномально сильного паводка (май 2010 г.)



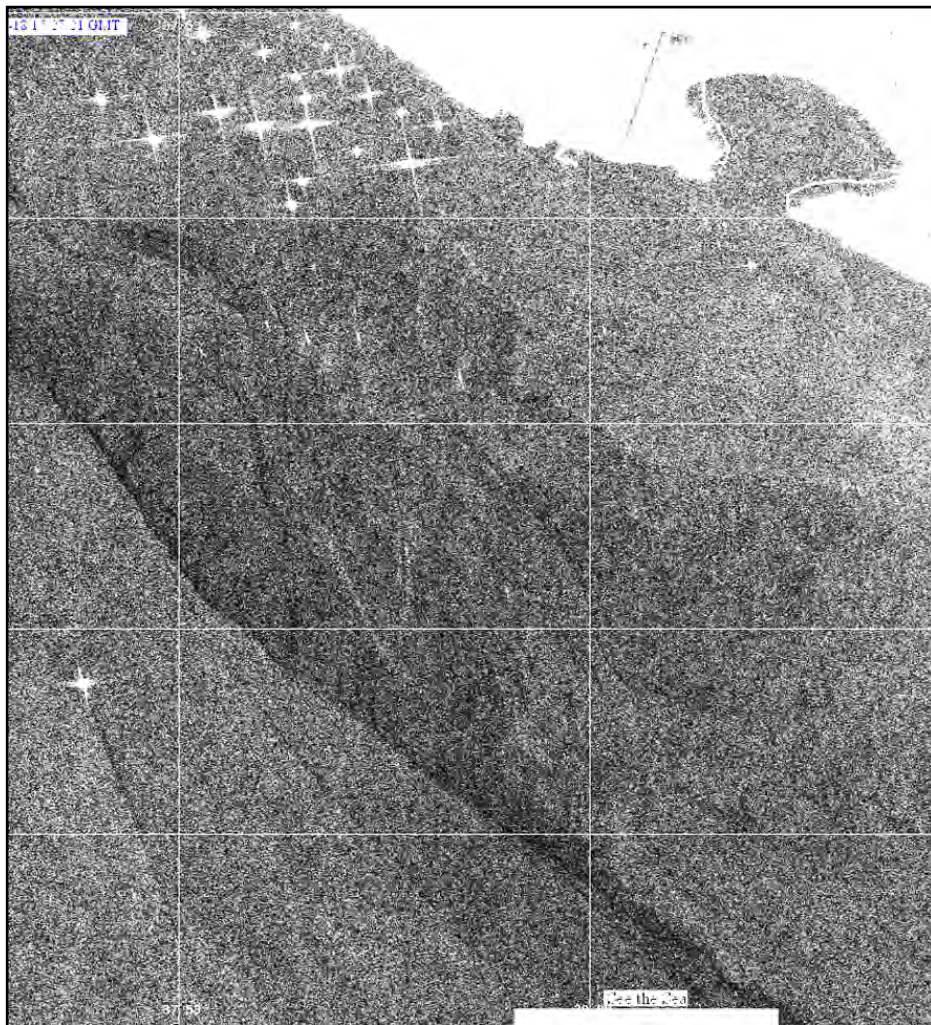
Площадь 630 кв.км, ширина фронтальной линии 400м , РЛ-контраст 3 дБ

Площадь 125 кв.км, ширина фронтальной линии 400м , РЛ-контраст 1,5 дБ

Изменения шероховатости поверхности на границах фронта обусловлены взаимодействием коротких поверхностных волн с градиентами поверхностных течений

- a) Envisat ASAR . 28 May 2010 at 20:25 UTC.;
- b) Variations in radar signal along the transect across the Vistula surface front leading edge;
- c) Suspended matter chart from Envisat MERIS. 28 May 2010 at 09:02 UTC;
- d) Envisat ASAR. 16 June 2010 at 09:05 UTC
- e) Variations in radar signal along the transect across the Vistula surface front leading edge;
- f) Suspended matter chart from Envisat MERIS .16 June 2010 at 09:05 UTC.

ПРИБРЕЖНЫЕ ФРОНТЫ, ПРОЯВЛЯЮЩИЕСЯ ПОСРЕДСТВОМ СЛИКОВ



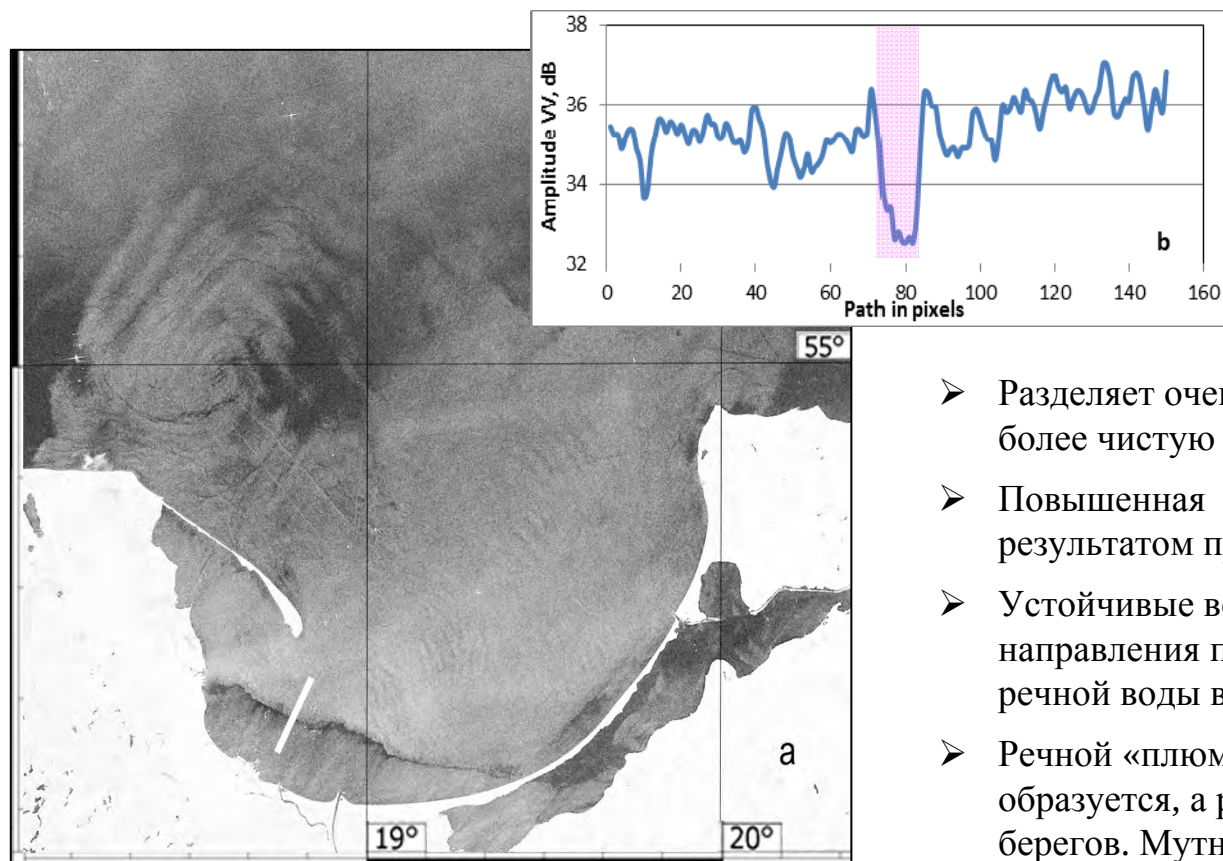
SAR Sentinel-1B. 2018-07-18 15:27:21

Сликовая полоса почти прямолинейна и расположена на существенном удалении от берега примерно над изобатой 1000 м. Ширина - до 200 м

Раздел между встречными вдольбереговыми течениями – восточным (прибрежное) и западным (мористее) проявляется на поверхности в виде слика.

Сликовая полоса на морской поверхности обозначает границу, где имеет место смена знака интенсивного вдольберегового течения

ПРИБРЕЖНЫЕ ФРОНТЫ, ПРОЯВЛЯЮЩИЕСЯ ПОСРЕДСТВОМ СЛИКОВ

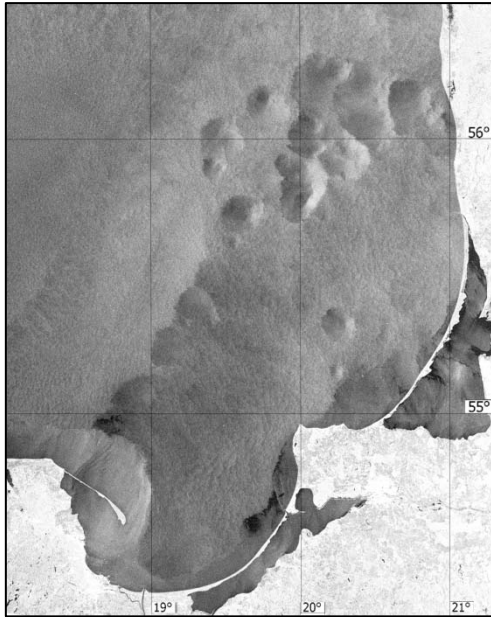


- Одиночный вытянутый слик
- Ориентация с северо-запада на юго-восток
- Длина около 50 км, ширина от 0,5 до 1 км.

a) Radarsat-2 SAR. 04 August 2016.16:35 UTC.
b) Variations in radar signal along the transect across the front leading edge.

- Разделяет очень мутные прибрежные воды и более чистую воды Гданьского залива.
- Повышенная мутность воды является результатом притока Вислы.
- Устойчивые ветры северо-восточного направления препятствуют распространению речной воды в залив.
- Речной «плюм» в Гданьском заливе не образуется, а речная вода распределяется вдоль берегов. Мутные воды попадают в ловушку в районе между береговой и фронтальной линией, оставаясь там в течение некоторого времени.
- Такая ситуация способствует накоплению выносов Вислы в прибрежной зоне.

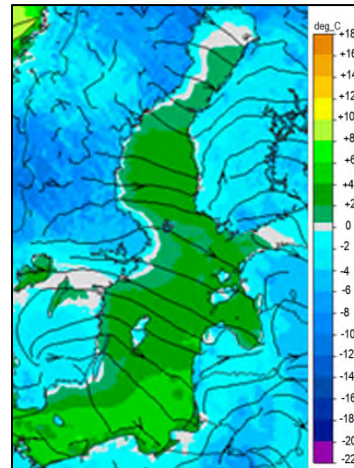
МЕЛКОМАСШТАБНЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ФРОНТ В МОРЕ



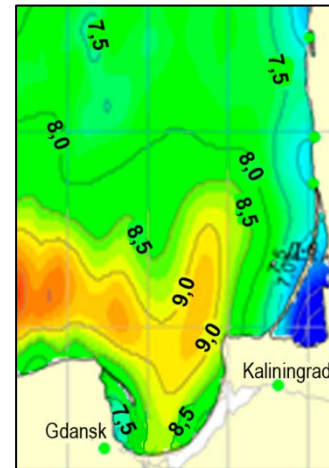
RADARSAT-2.12.11.2016.

Слабый северо-восточный ветер. Однородное поле температуры воздуха. Атмосферные фронты в зоне интереса не зарегистрированы

- Неустойчивая стратификация пограничного слоя развивается там, где температура морской поверхности выше, чем у приповерхностного воздуха.
- При неустойчивой стратификации мы наблюдаем поверхностные проявления конвективных движений в приповерхностном слое.
- Видна пятнистая структура, соответствующая атмосферным конвективным ячейкам с размерами от 2,5 до 25 километров.
- Размеры ячеек и интенсивность конвективных процессов в приповерхностной атмосфере зависят от степени термодинамической неустойчивости.



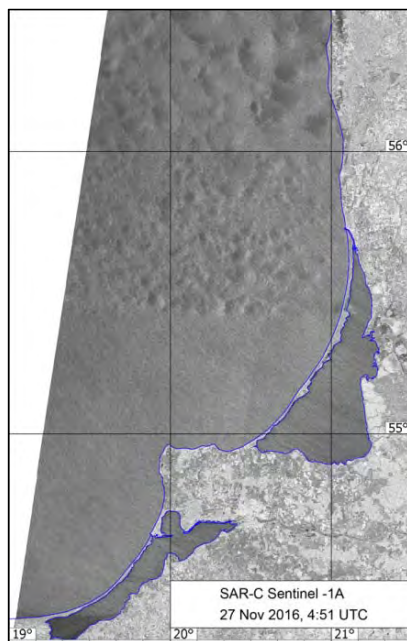
Air temperature



SST chart

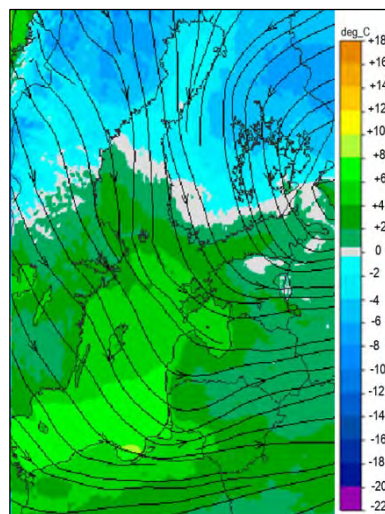
- Фронтальные зоны, характеризующиеся сильными градиентами температуры поверхности, могут разделять области, различающиеся устойчивостью атмосферного пограничного слоя атмосферы (АПГ) над ними.
- Ситуацию часто можно наблюдать при небольшой скорости ветра и относительно слабых температурных контрастах между морской поверхностью и приповерхностным воздухом.
- В этих случаях устойчивая стратификация пограничного слоя развивается над более холодной водой и неустойчивая или нейтральная — над более теплой водой.

МЕЛКОМАСШТАБНЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ФРОНТ В ПРИВОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

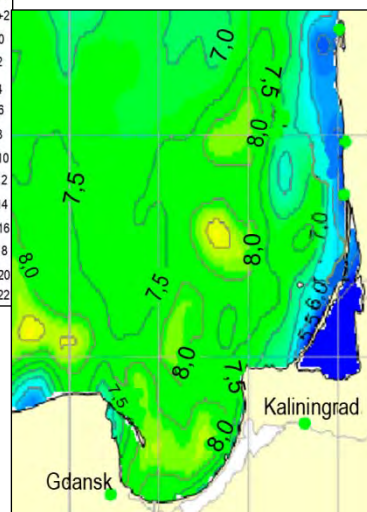


Sentinel-1A SAR .
27.11.2016

Air temperature



SST chart



- На РЛИ отчетливо видна почти горизонтальная линия, разделяющая его на две части
- Размеры конвективных ячеек увеличиваются от 4 км у границы до 20 км в верхней части изображения.
- Нижняя половина изображения не имеет отпечатков конвективных движений в приповерхностной атмосфере.
- Расположение и форма линии границы приблизительно соответствуют таковой изотермы 6°C на карте приземной температуры воздуха.
- Поверхность моря теплее, чем приповерхностный воздух, если температура воздуха ниже 6°C ,
- Пограничный слой становится нестабильным, и создаются условия для развития конвекции.

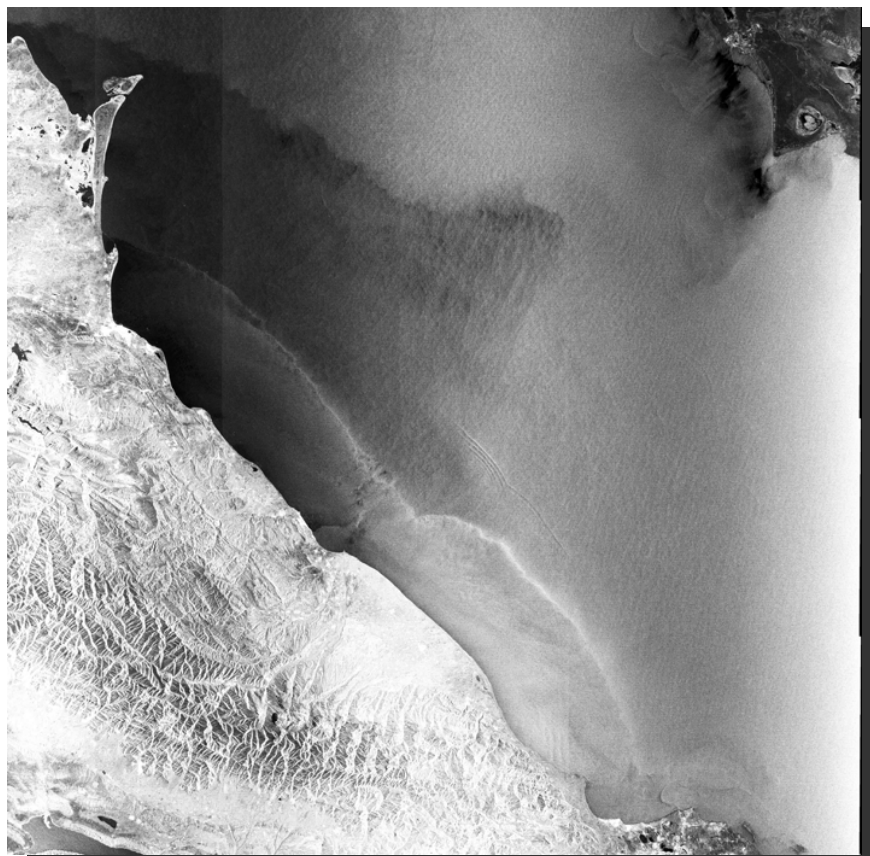
На момент получения снимка погодные условия на юго-востоке Балтики формировались под воздействием циклона с центром над Санкт-Петербургским регионом.

Северо-западный ветер со скоростью 12-13 м / с.

Поле SST практически однородно, средняя температура около $7,5^{\circ}\text{C}$.

ВКЛАД ФРОНТАЛЬНОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ В ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР И ВНУТРЕННИХ ВОЛН

АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ + ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В МОРЕ



ASAR Envisat. 11 сентября 2011 г. 06:52 UTC

Через район съемки 11 сентября 2011 г. проходил **атмосферный фронт окклюзии**, образовавшийся в тылу циклона, определявшего синоптические условия в районе интереса

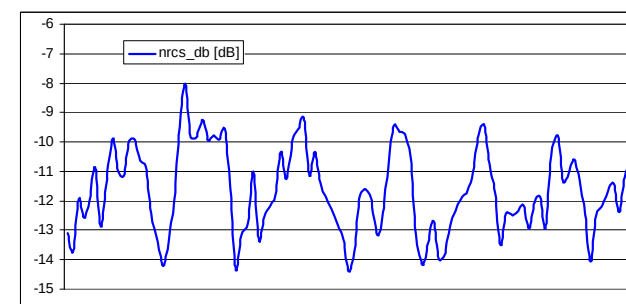
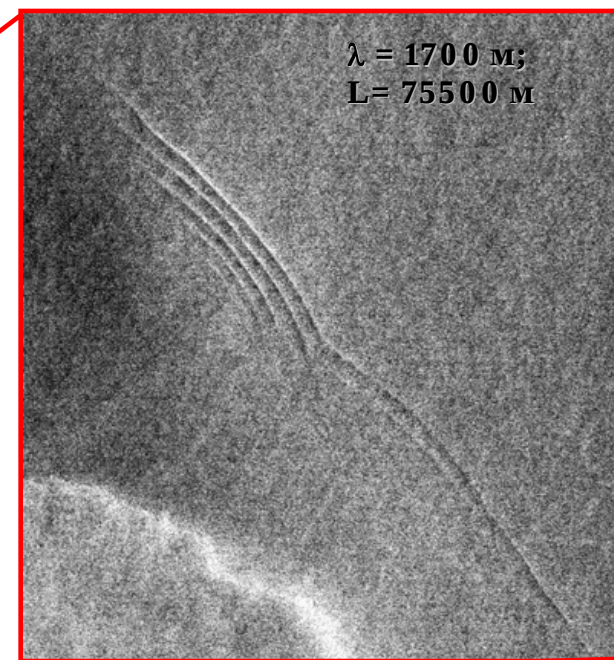
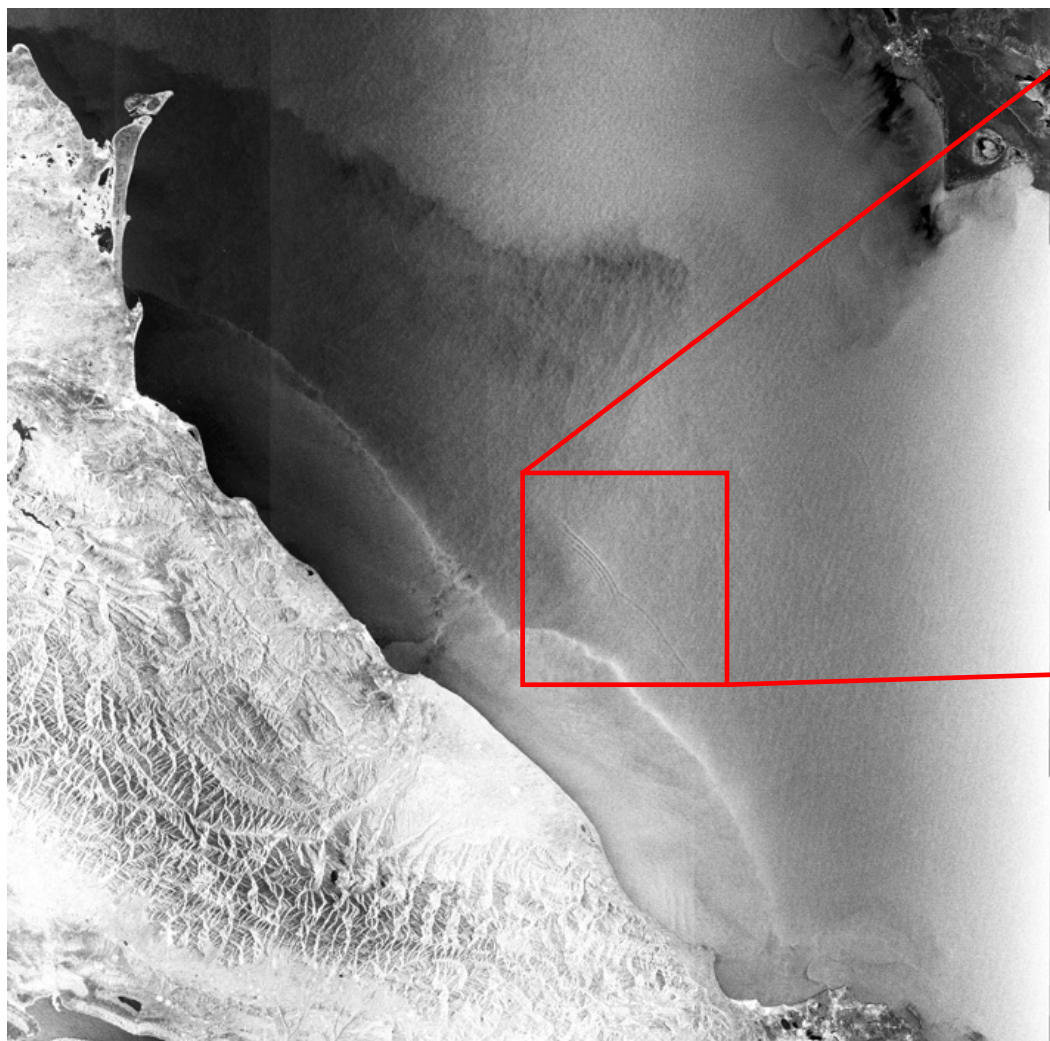
Фронтальный характер процесса подтверждают:

- Наличие ложбины давления, характерной для атмосферных фронтов.
- Падение давления сопровождалось поворотом ветра против часовой стрелки от северо-северо-западного до юго-восточного направления.
- Существенно возросла скорость ветра.



Метеорологические данные взяты на сайте «Расписание погоды» (<http://rp5.ua>).

АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ + ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В МОРЕ

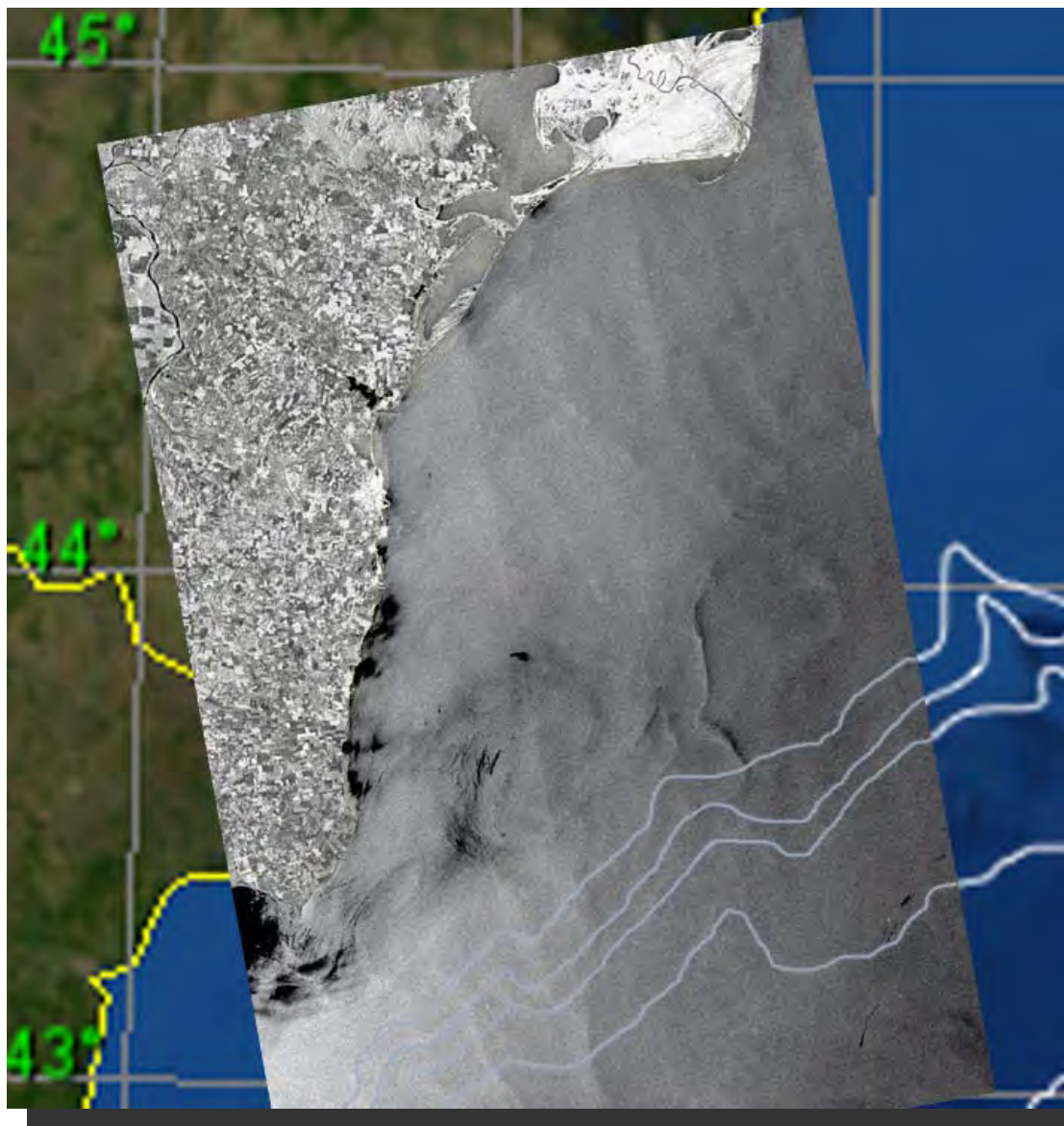


Envisat ASAR WSM, 75 m
2010-09-11 06:52

Десятая международная Школа-семинар: «Спутниковые методы и системы исследования Земли». 09.04 - 12.04.2019, г. Таруса

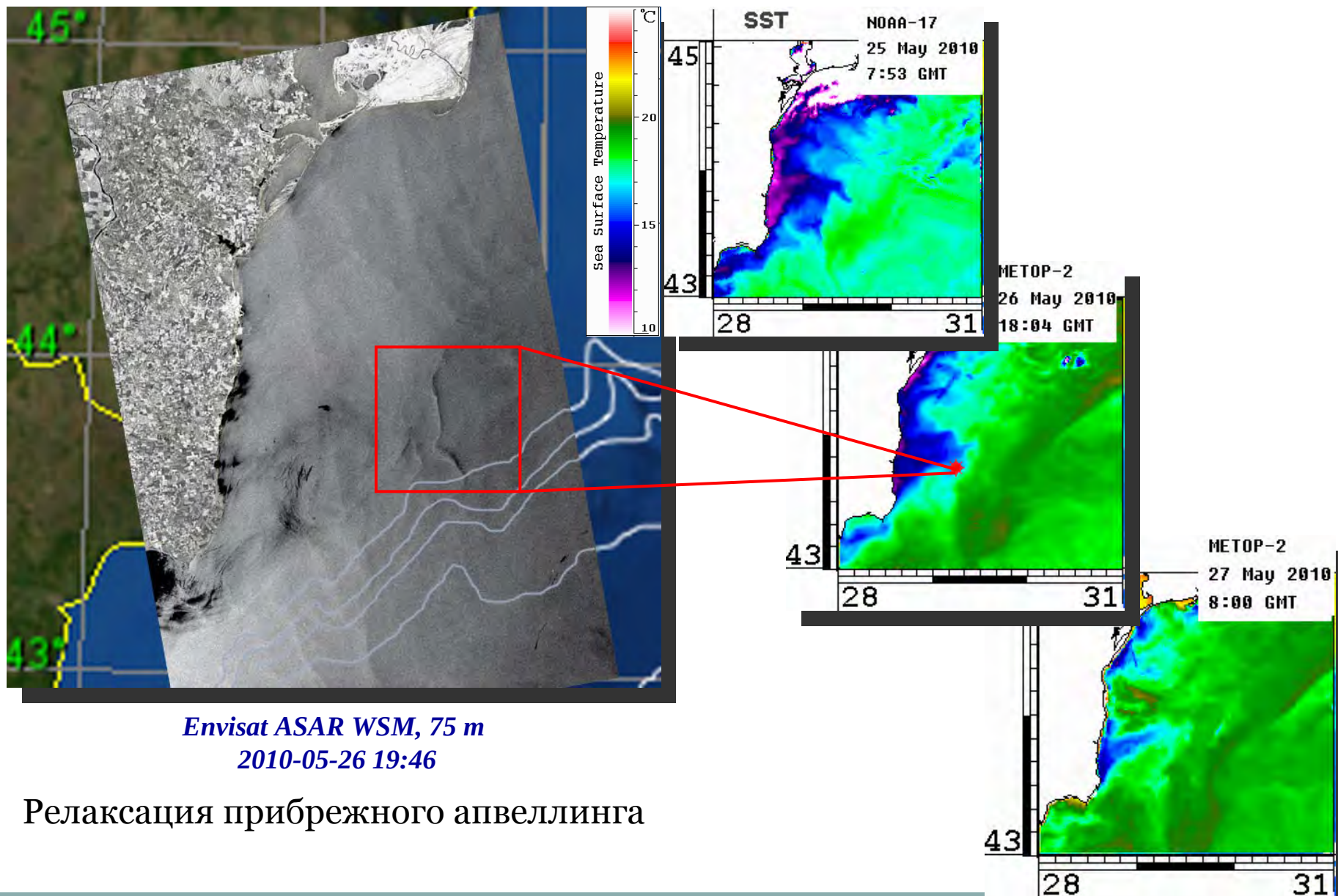


ФРОНТ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ + ВВ

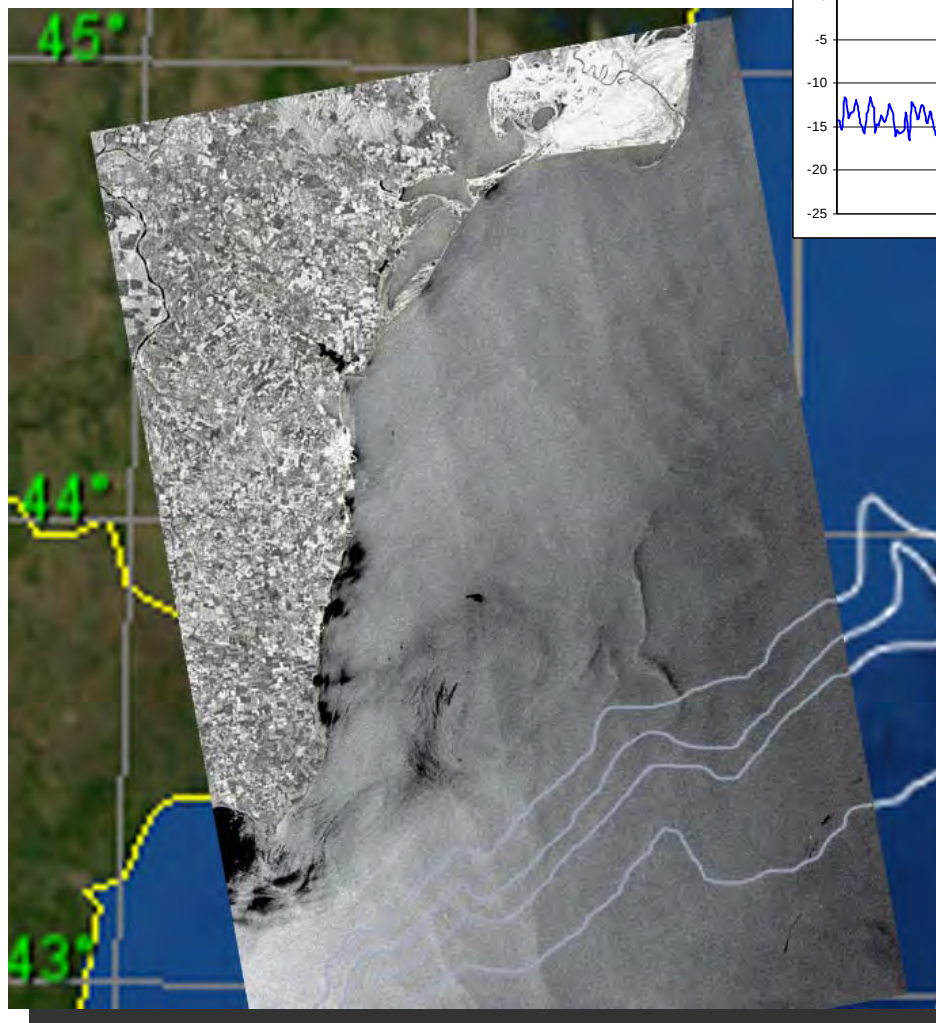


Envisat ASAR WSM, 75 m
2010-05-26 19:46

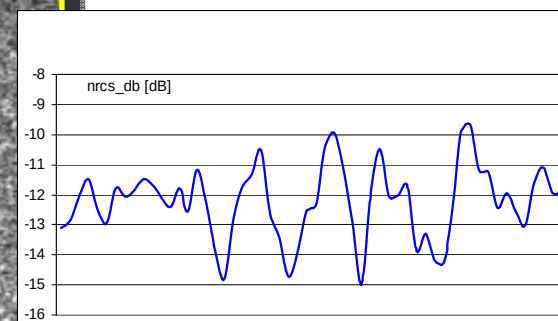
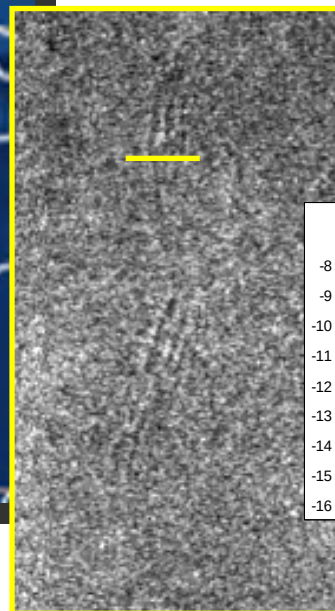
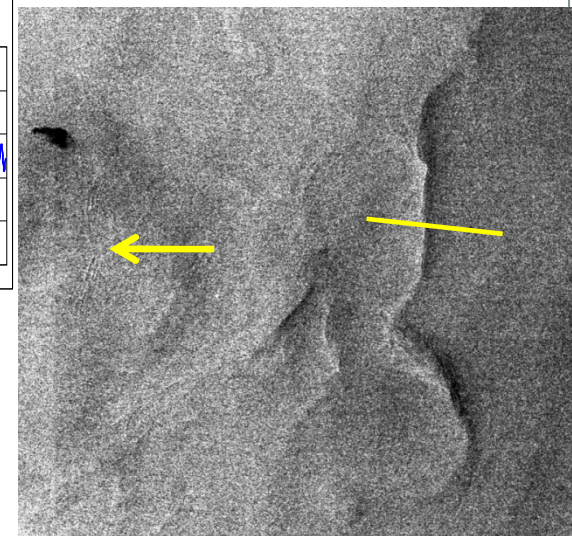
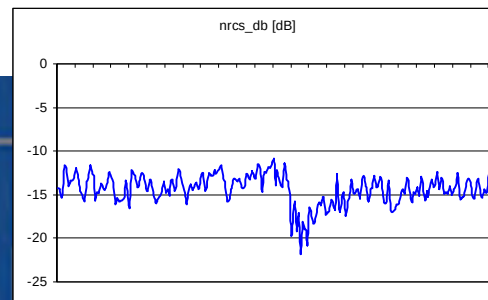
ФРОНТ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ +ВВ



ФРОНТ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ + ВВ



Envisat ASAR WSM, 75 m
2010-05-26 19:46



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 296 с.

Young, G. S., Sikora, T. D., Winstead, N. S., "Use of synthetic aperture radar in fine-scale analysis of synoptic-scale fronts at sea," Weather Forecasting 20, 311-327 (2005).

Hessner, K., Rubino, A., Brandt, P. Alpers, W. "The Rhine Outflow Plume Studied by the Analysis of Synthetic Aperture Radar Data and Numerical Simulations," Journal of Physical Oceanography 31, 3030-3044 (2001).

Marina I. Mityagina and Olga Yu. Lavrova "Satellite remote sensing of submesoscale fronts in inner seas", Proc. SPIE 10784, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2018, 107840Y (10 October 2018); doi: 10.1117/12.2323974; <https://doi.org/10.1117/12.2323974> .

Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Костяной А. Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий.— М.: ИКИ РАН, 2016.— 334 с.

Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН. 2011. 480 с

Работа поддержана РФФИ в рамках проекта № 17-05-00715

Спасибо за внимание

