

Спутниковый радиолокационный мониторинг нефтяных загрязнений морской поверхности

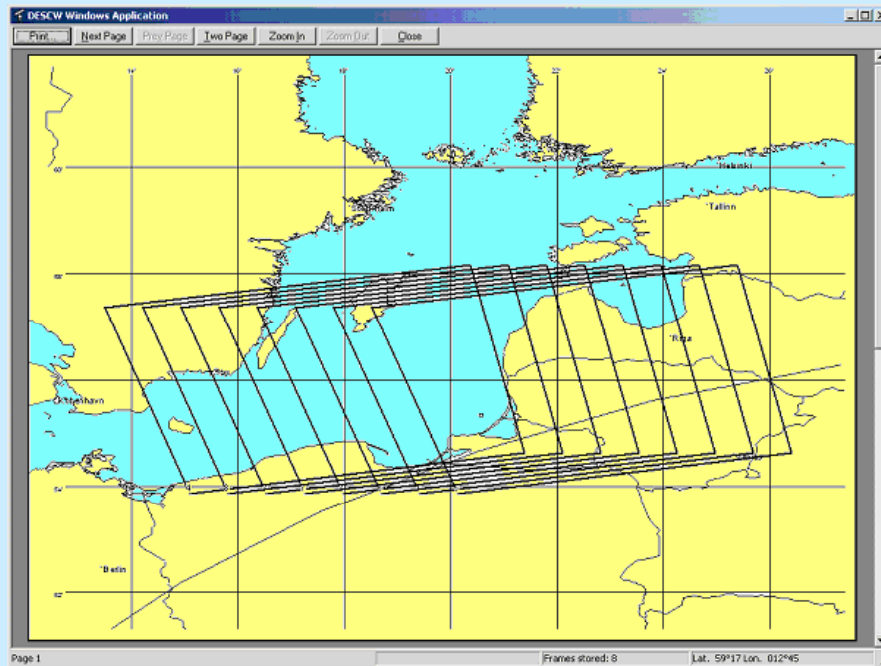
М. Митягина

Институт космических исследований РАН



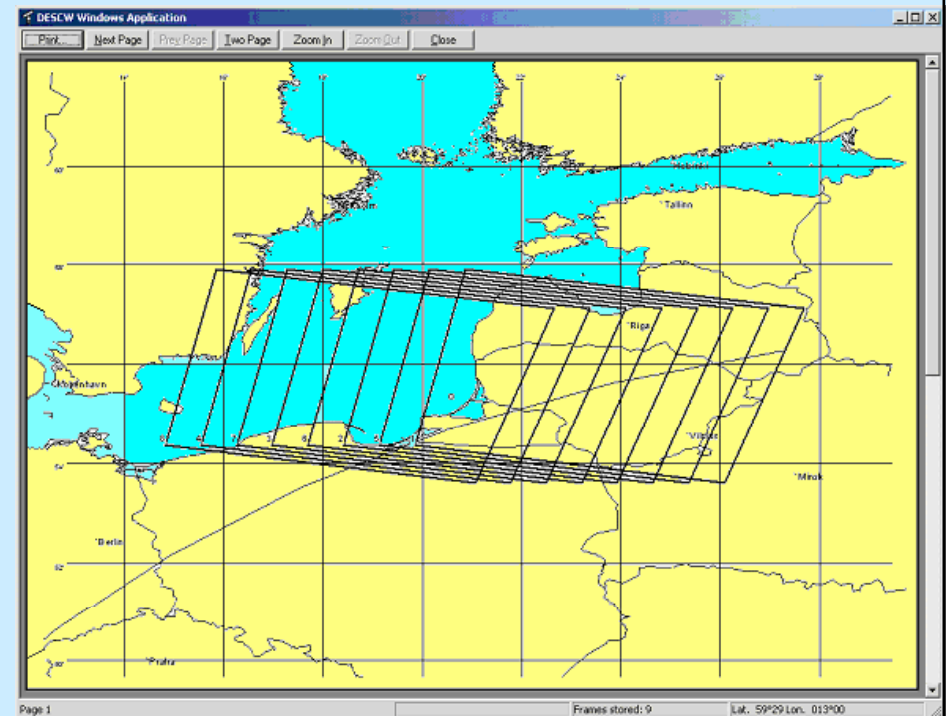
ПОКРЫТИЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ КАДРАМИ ASAR ENVISAT. 35-ДНЕВНЫЙ ЦИКЛ НИСХОДЯЩИХ И ВОСХОДЯЩИХ ВИТКОВ

35-суточный орбитальный цикл
спутника - 16 кадров



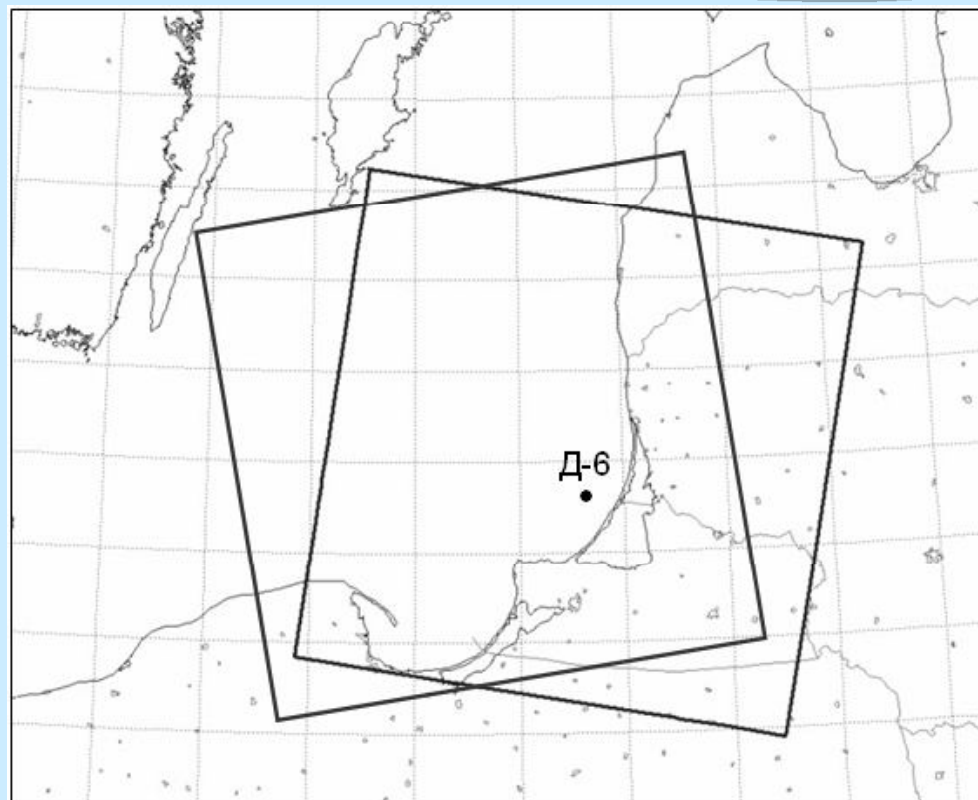
Восходящие витки

Средний интервал между последовательными съёмками - 52.5 часа, Минимальный интервал - 11.5 часов
Максимальный интервал - до 4.5 суток



Нисходящие витки

ВАРИАНТЫ ПОКРЫТИЯ РАЙОНА ПЛАТФОРМЫ Д-6 ИЗОБРАЖЕНИЯМИ RADARSAT



Для сокращения наиболее длительных, 4.5-суточных разрывов между съёмками *ENVISAT* (которых набиралось по 2 на каждый 35-суточный цикл) заказывались съёмки *RADARSAT*.

Благодаря солнечно-синхронной орбите спутников съёмки проводились всегда примерно в одно и то же время: *ENVISAT* – в 8:50-9:10 на нисходящих витках и в 20:00-20:20 на восходящих витках, *RADARSAT* – 4:50-5:10 на нисходящих витках и в 16:05-16:30 на восходящих витках (время по Гринвичу).

**С 1 июля 2004 г. по 30 ноября 2005
г. было получено, обработано и
проанализировано :**

230 РЛИ *Envisat ASAR*

17 РЛИ *RADARSAT SAR*

ОБРАБОТКА ДАННЫХ : 1-Й ЭТАП. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЛИ

1. Координатная привязка по навигационным данным, содержащимся в служебной информации к каждому изображению. В результате изображение представляется в координатах долгота-широта

2. Вырез определённого фрагмента РЛИ в окрестностях платформы, соответствующего согласованному с ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть» району мониторинга

3. Подбор в интерактивном режиме гистограммы для вырезанного фрагмента с целью наилучшего визуального восприятия основных информативных сигнатур на морской поверхности

ОБРАБОТКА ДАННЫХ : 2-Й ЭТАП. ТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЛИ

Основной метод диагностики нефтяных загрязнений – экспертная оценка

Учитывается комплекс факторов: ветровые условия, состояние волнения, присутствие других океанических явлений, проявляющихся в виде сигнатур, подобных нефтяным пятнам.

– Идентификация нефтяных пятен по их геометрическим и текстурным признакам, а также с учётом наличия поблизости судов – потенциальных источников загрязнения. Для улучшения надёжности идентификации пятен активно привлекаются метеоданные и спутниковые (QuikSCAT) данные по скорости ветра.

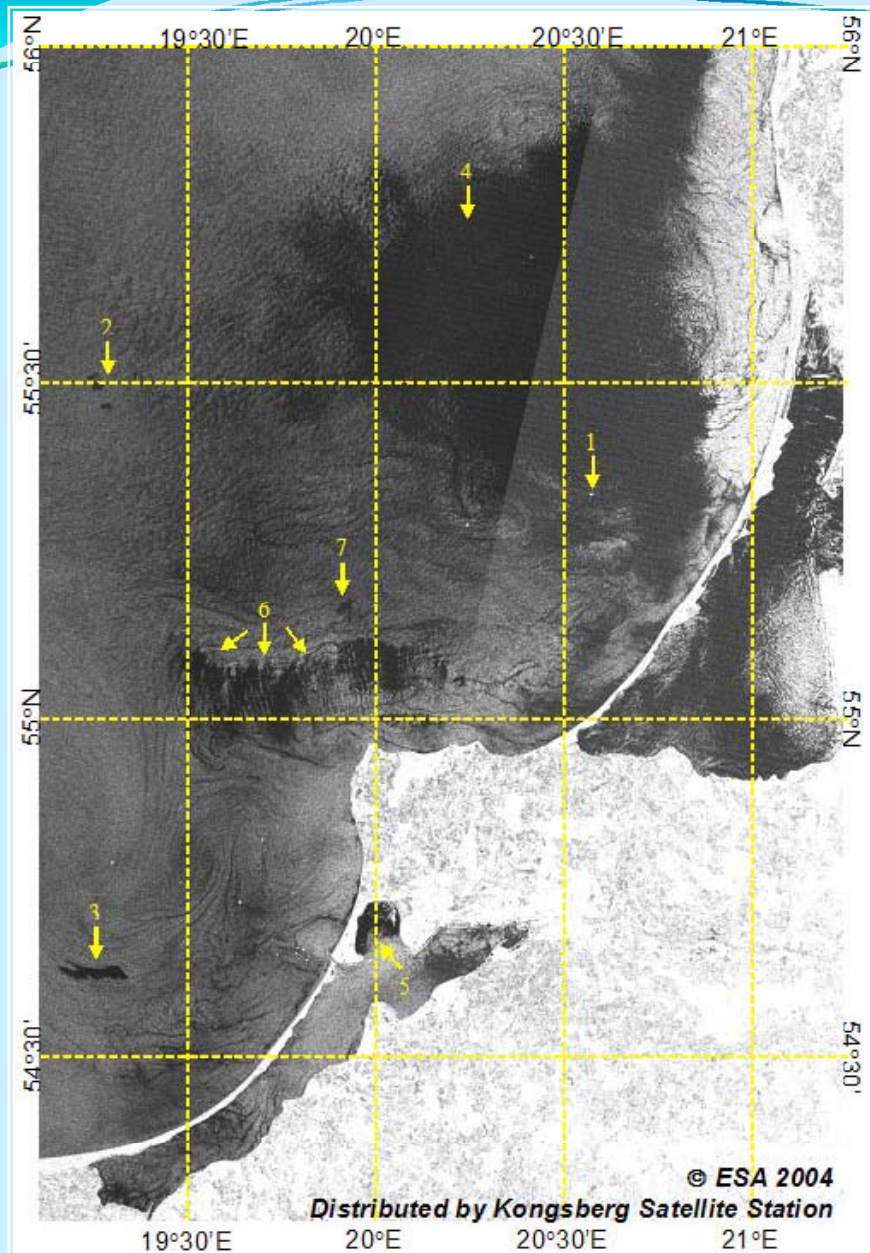
– Определение координат и площади пятен.

– Определение возможных источников появления пятен (судов, стационарных платформ, береговых терминалов и предприятий, трубопроводов).

– Отслеживание направления, скорости дрейфа пятен (на основании данных о ветре и течениях) и их исчезновения по серии последовательных снимков, прогноз направления и скорости переноса пятен

Координаты обнаруженных нефтяных пятен фиксируются и в дальнейшем используются для отслеживания их распространения на последующих снимках. В особых случаях пятна оконтуриваются, наносятся на координатную сетку, а также даётся их увеличенное изображение. При наличии поблизости судов, на которых может пасть подозрение как на источник загрязнения, определяются координаты этих судов

РЕЗУЛЬТАТ ЭКСПЕРТНОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ РЛИ



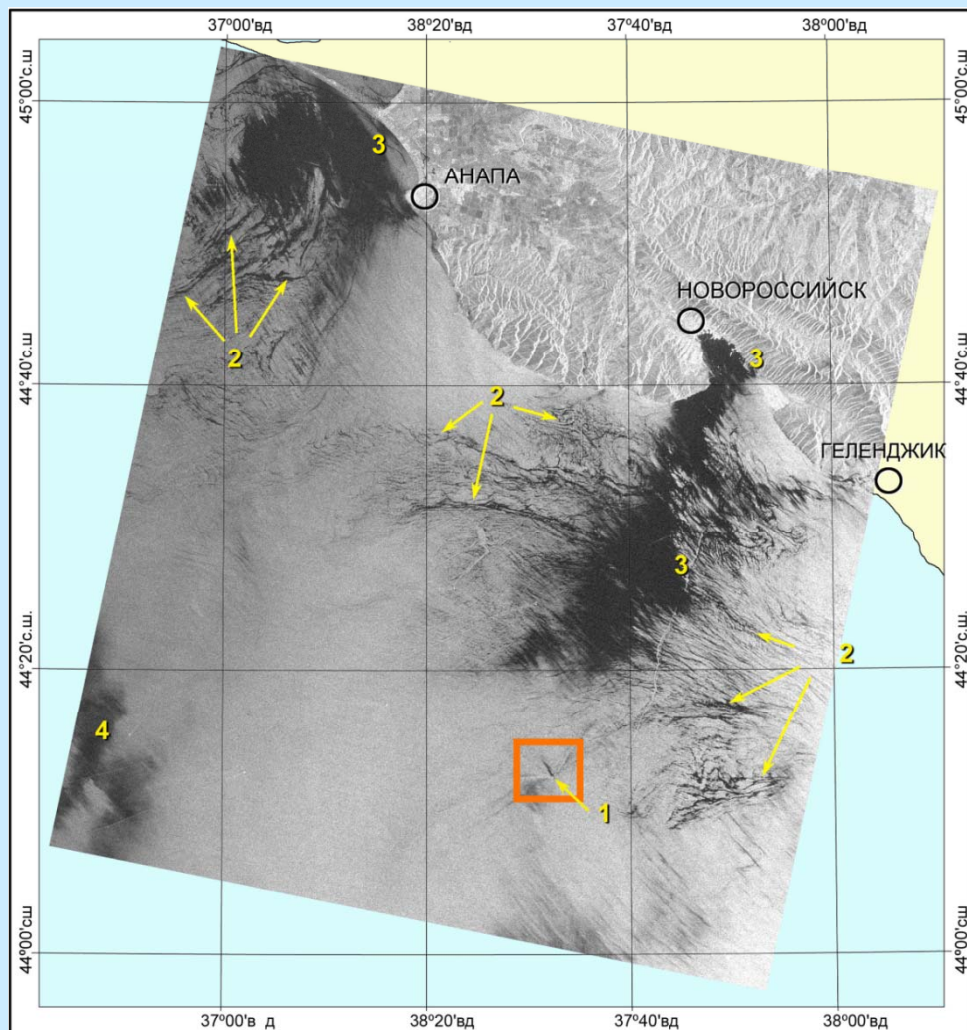
Envisat ASAR - изображение юго-восточной части Балтийского моря. 11 августа 2004, 09:06:01 GMT. Орбита – 12801, Трек – 222, Кадр – 2484).

- 1 – платформа Д-6,
- 2 – «старое» нефтяное загрязнение ($19^{\circ}15'E, 55^{\circ}27'N$),
- 3 – «старое» нефтяное загрязнение ($19^{\circ}12'E, 54^{\circ}38'N$)
- 4 – зона штиля
- 5 – область ветровой тени,
- 6 – скопление ПАВ органического происхождения
- 7 – пятно ПАВ.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ «ПОДОБИЙ» НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

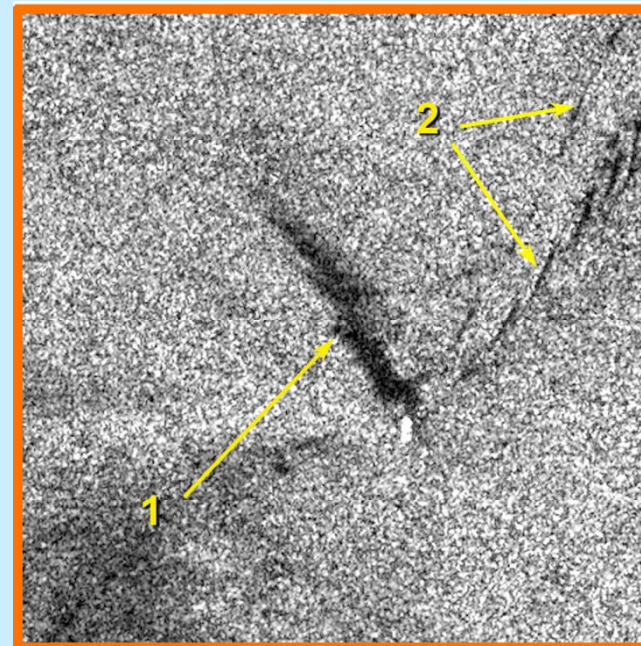
Геофизическое явление	Форма проявления на радиолокационном изображении	Районы возникновения	Гидрометеорологические условия
Естественные биогенные пленки	Отражают структуру течений	Прибрежные зоны	Разрушаются при скорости ветра >7 м/сек
Области локального ослабления ветра	Обширные зоны пониженного рассеяния	Повсеместно	Скорость ветра <2 м/сек
Области ветровой тени	Ориентированные по направлению ветра области пониженного рассеяния вблизи побережья	Вблизи береговой черты при гористом рельефе побережья	Даже при сильном ветре вплоть до 15 м/сек
Дождевые ячейки	Светлые ячеистые структуры с темным центром	Повсеместно	Интенсивные дожди и сильный ветер
Внутренние волны в океане	Узкие протяженные полосы квазипериодического усиления и ослабления рассеяния	Район свала глубин	Скорость ветра <8 м/сек
Внутренние волны в атмосфере	Широкие полосы квазипериодического усиления и ослабления рассеяния	Повсеместно	Устойчивая стратификация приподнятого слоя атмосферы, сдвиговые течения в атмосфере
Свежий лед «сало»	Обширные зоны пониженного рассеяния	Обычно вблизи береговой черты, на границе ледового покрова	Холодное время года
Области цветения водорослей	Обширные компактные области пониженного рассеяния с четкими границами	Повсеместно	Теплое время года

ФАКТОРЫ, ЗАТРУДНЯЮЩИЕ РАСПОЗНАВАНИЕ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ. ЕСТЕСТВЕННЫЕ БИОГЕННЫЕ ПЛЕНКИ, ОБЛАСТИ ЛОКАЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ВЕТРА



ИСЗ ENVISAT, ASAR, разрешение 12,5 м

31.05.2006 07:49 GMT

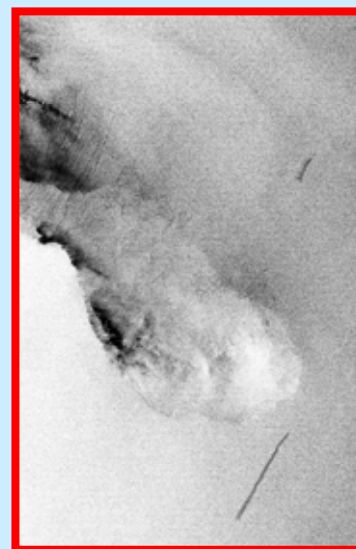
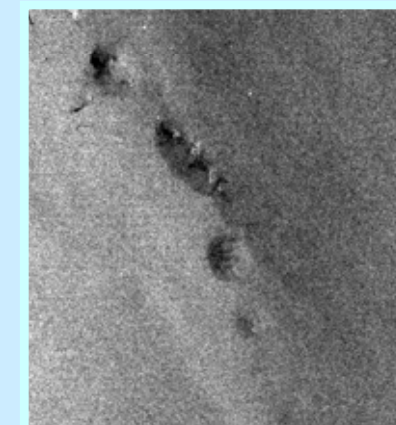
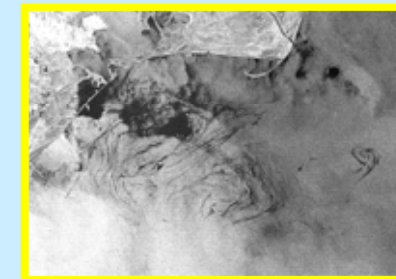
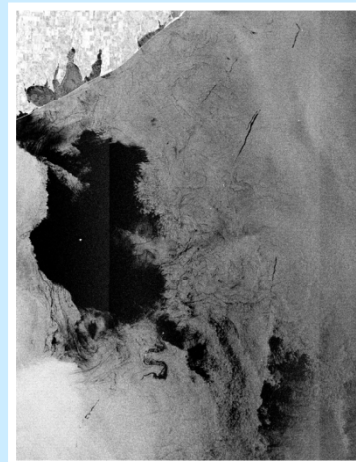
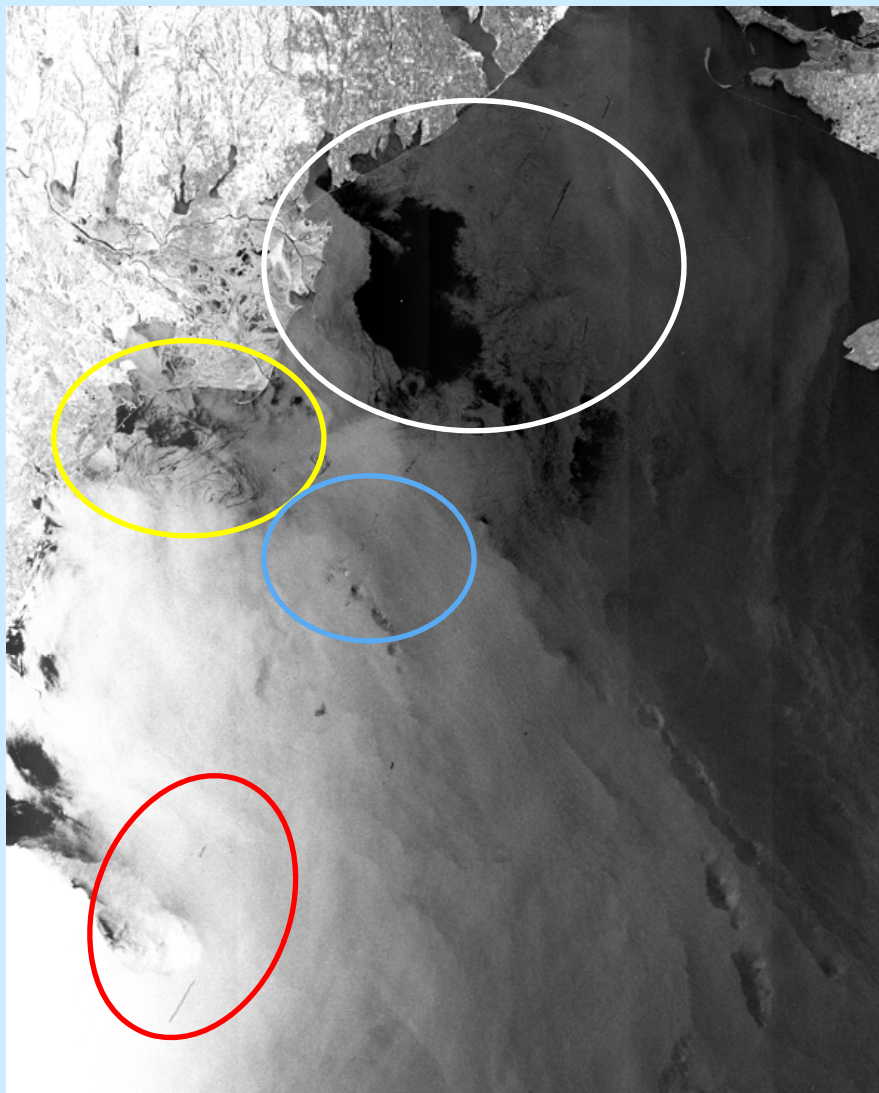


Площадь нефтяного загрязнения -

0,8 км²

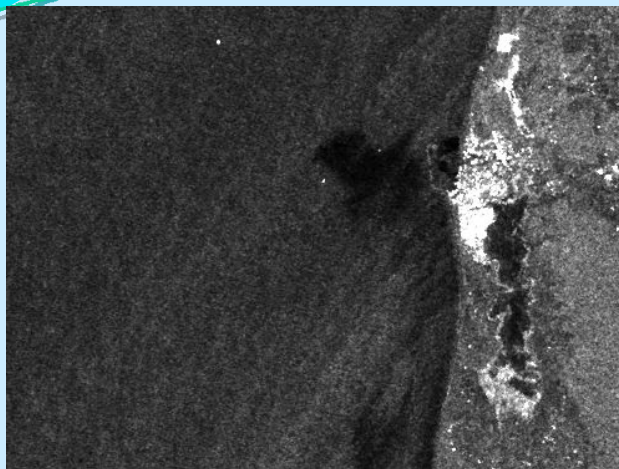
- 1 - пленки нефтяных загрязнений с судов
- 2 - пленки биогенных загрязнений вдоль линий тока поверхностных течений
- 3 - области повышенного биогенного загрязнения вследствие локальных “вспышек” цветения фитопланктона
- 4 - область ветрового затишья

**ФАКТОРЫ, ЗАТРУДНЯЮЩИЕ РАСПОЗНАВАНИЕ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ
МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ. ЕСТЕСТВЕННЫЕ БИОГЕННЫЕ ПЛЕНКИ, ОБЛАСТИ
ЛОКАЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ВЕТРА, ЦВЕТЕНИЕ ВОДОРОСЛЕЙ, ДОЖДЕВЫЕ
ЯЧЕЙКИ**



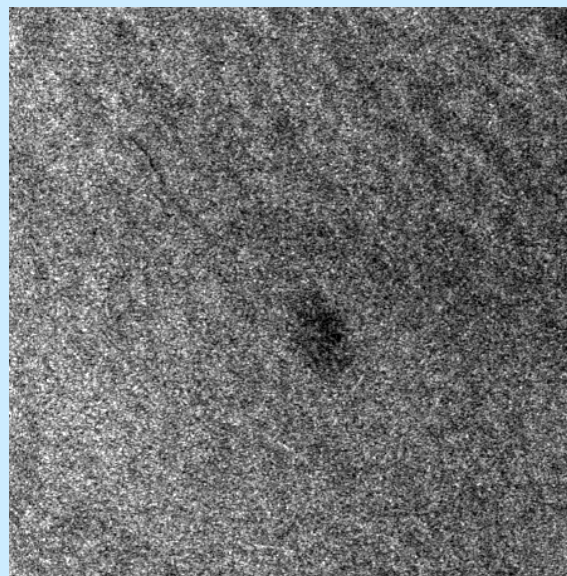
Envisat ASAR (WSM) 13 марта 2009, 19: 41 GMT

ФАКТОРЫ, ЗАТРУДНЯЮЩИЕ РАСПОЗНАВАНИЕ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ. МОЛОДОЙ ЛЕД



Лед в районе порта Лиеная 6 марта 2005 г.

Ледовые карты, получаемые из Шведского института метеорологии и гидрологии (SMHI), указывают на границу молодого льда. При отсутствии этой дополнительной информации данное пятно пониженного рассеяния могло бы быть интерпретировано либо как ветровая тень (учитывая направление ветра), либо как нефтяное загрязнение (особенно это касается наиболее темной верхней части пятна).



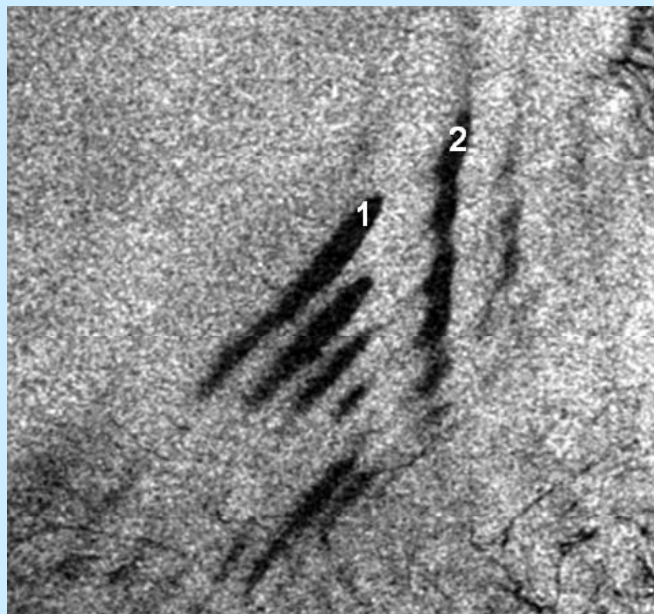
02 февраля 2010, 20:10 GMT



05 февраля 2010, 09:20 GMT

В отдельных случаях, области пониженного рассеяния, связанные с гашением ряби во время образования молодого льда, имеют такой же характер, как и при нефтяном загрязнении

ФАКТОРЫ, ЗАТРУДНЯЮЩИЕ РАСПОЗНАВАНИЕ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ. ЕСТЕСТВЕННЫЕ БИОГЕННЫЕ ПЛЕНКИ. ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В ПРИВОДНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ



*Проявление внутренних волн в атмосфере на
РЛИ морской поверхности 10 апреля 2005 г.*

Радиолокационные образы АГВ, как правило, имеют достаточно характерный вид и не вызывают трудности при интерпретации радиолокационных изображений.

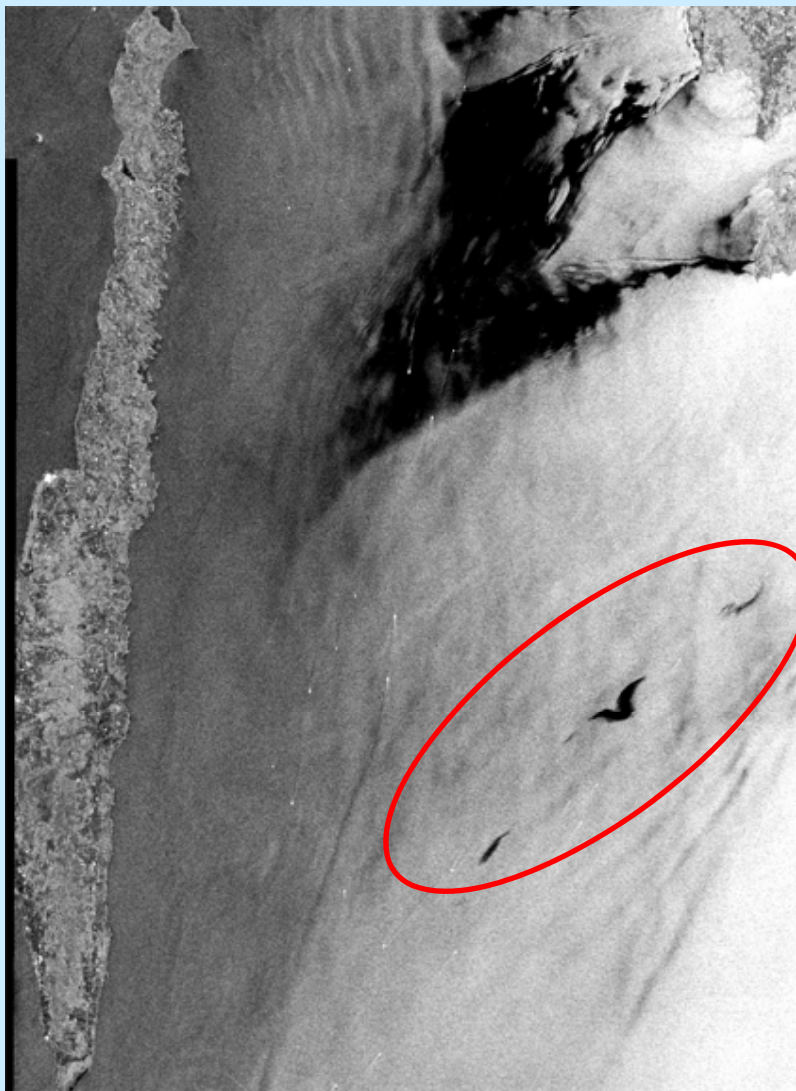
Однако, если в кадр попадает часть цуга или даже единичная волна, то такая ситуация может вызвать некоторые затруднения в определении происхождения области пониженного рассеяния.

Каждая отдельная волна, вне связи с другими могла бы быть интерпретирована как значительный сброс нефтепродуктов с судна.



*ERS-2 SAR, 25 апреля
2009, 09:40 GMT*

ФАКТОРЫ, ЗАТРУДНЯЮЩИЕ РАСПОЗНАВАНИЕ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ. ОБЛАСТИ СКОПЛЕНИЯ ЦВЕТУЩИХ ВОДОРОСЛЕЙ



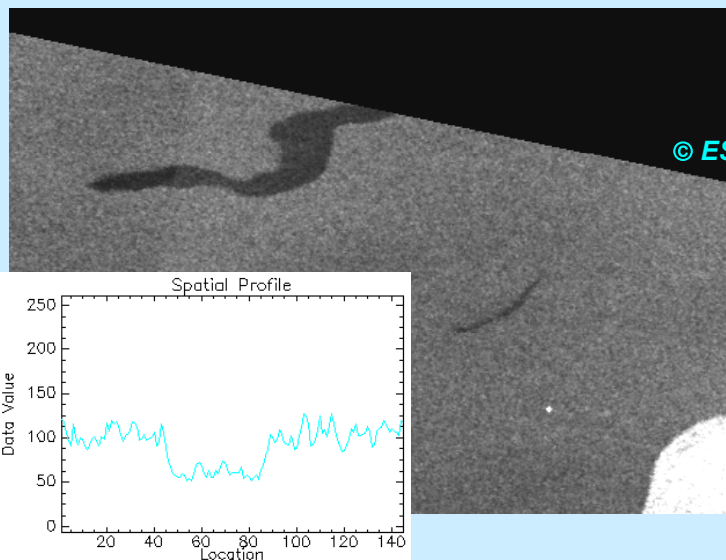
ERS-2 ASAR, 01 мая 2009, 09:50 GMT

Серьезной проблемой, возникающей при определении нефтяных загрязнений, является их схожесть с областями скопления цветущих водорослей.

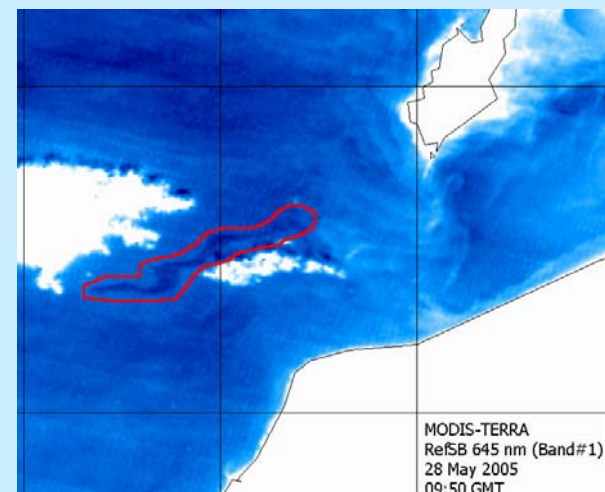
Как правило, их радиолокационные контрасты идентичны. Наличие только одного радиолокационного изображения не позволяет однозначно определить источник подавления радиолокационного сигнала.

Для повышения надежности извлечения необходимой информации из данных радиолокационного зондирования необходимо привлекать для совместного анализа данные, получаемые разными сенсорами с разных спутников в оптическом и ИК диапазонах.

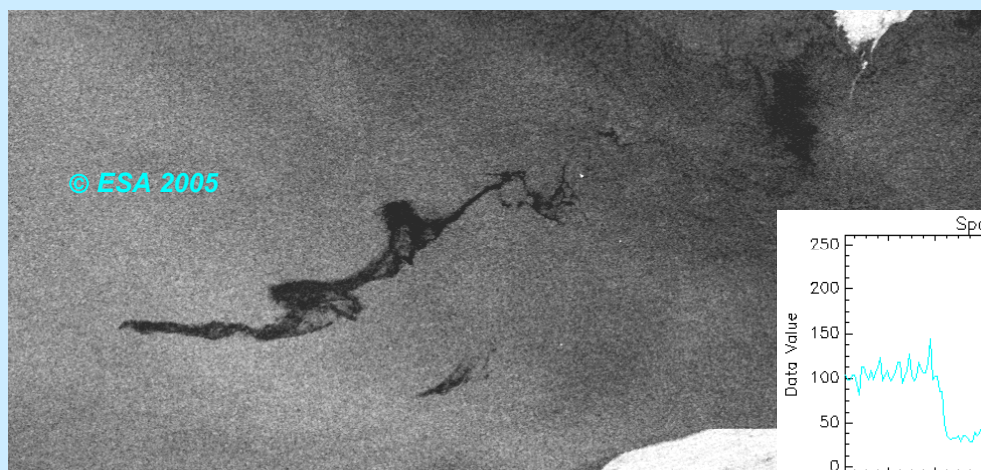
ФАКТОРЫ, ЗАТРУДНЯЮЩИЕ РАСПОЗНАВАНИЕ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ. ОБЛАСТИ СКОПЛЕНИЯ ЦВЕТУЩИХ ВОДОРОСЛЕЙ



*ASAR Envisat – изображение.
28 мая 2005, 08:51 GMT*

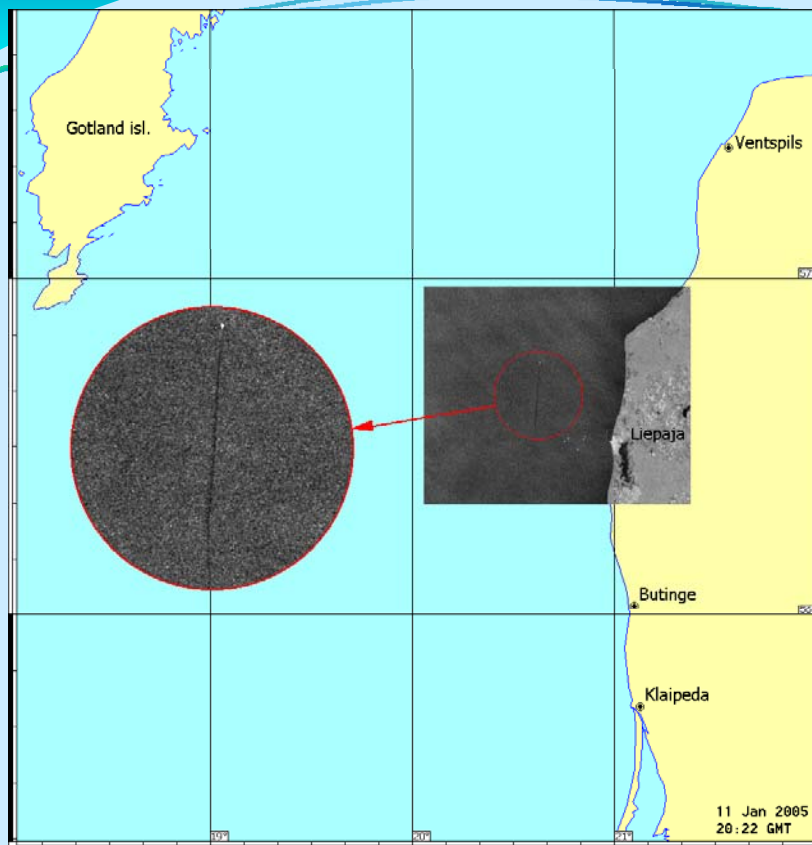


*Изображение MODIS/Terra
28.05.05, 09:50 GMT. Красным цветом отмечено
темное пятно, видимое на РЛИ*



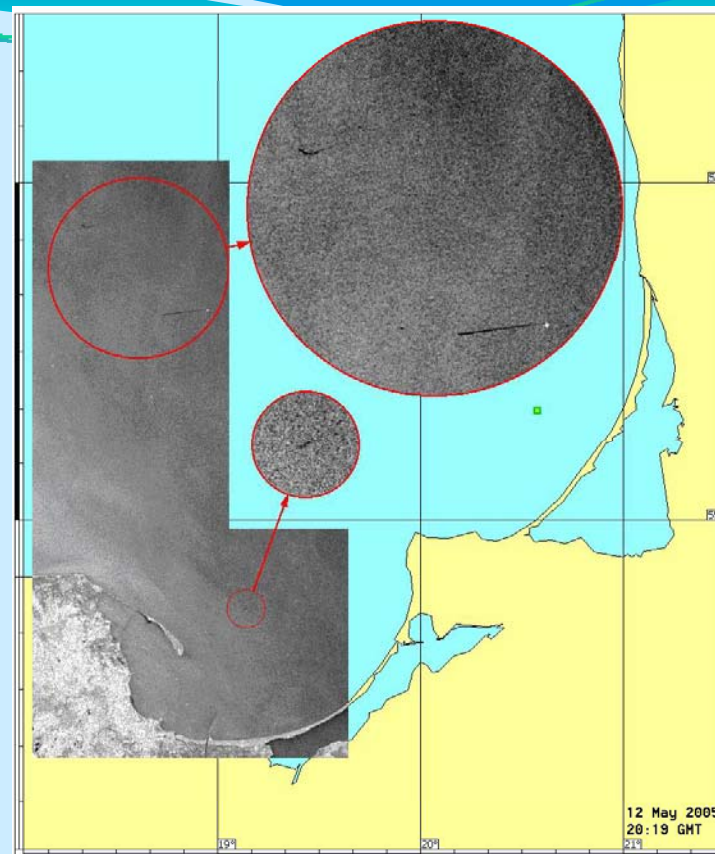
*ASAR Envisat – изображение. 28 мая 2005, 20:16 GMT.
Площадь пятна 97 км²*

СВЕЖИЕ СБРОСЫ С ДВИЖУЩИХСЯ СУДОВ



11 января 2005, 20:25 GMT

*Сброс нефтепродуктов с судна к западу от Лиеная.
Длина шлейфа 31.3 км, площадь 9.6 км²*

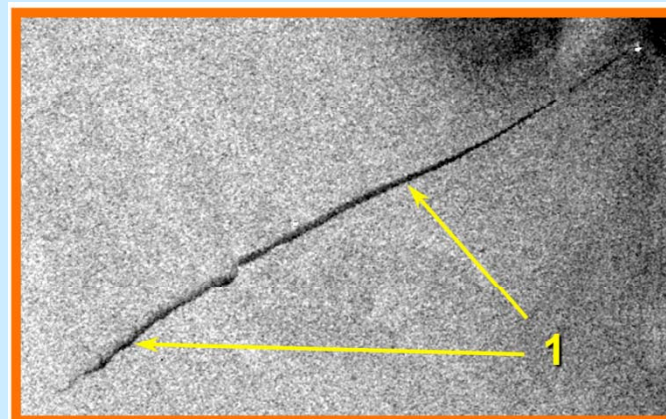
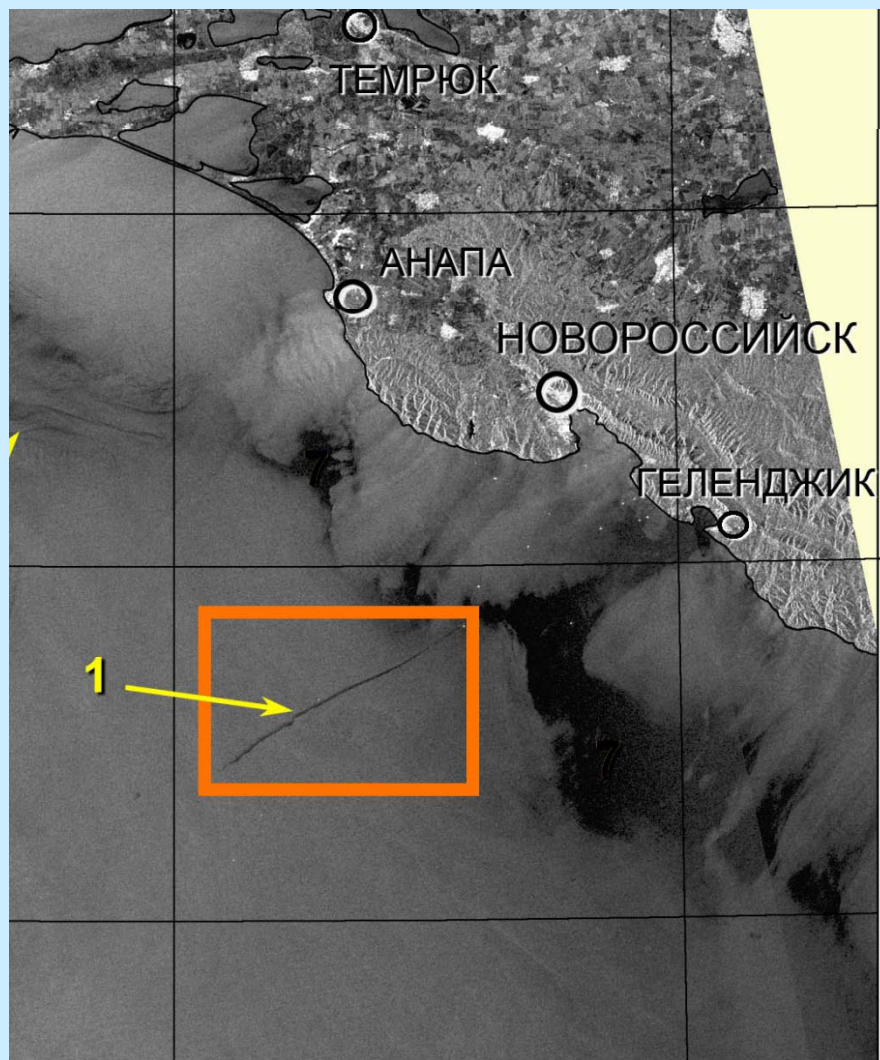


12 мая 2005, 20:19 GMT

*Сброс нефтепродуктов с судна.
Длина шлейфа 15 км, площадь 4.3 км²*

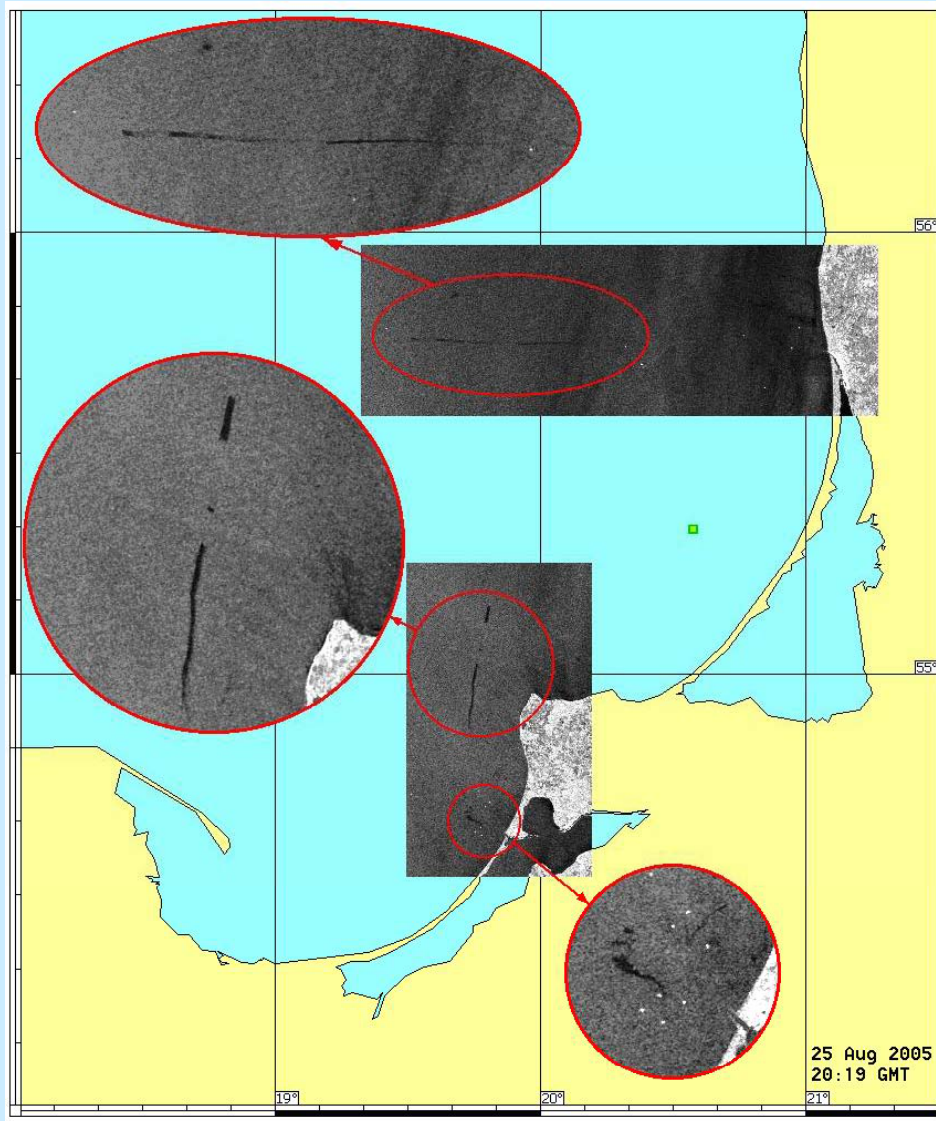
При сбросе с судна в движении пятно нефтепродуктов, в отсутствие сильного ветра и волнения, проявляется на РЛИ в виде узкой полосы понижения сигнала, повторяющей маршрут движения корабля. Чаще всего, это узкая прямая полоса или полоса с изломом. Если сброс происходил во время радиолокационной съемки или непосредственно перед ней, то полоса сужается в сторону более свежей её части, и, как правило, удается идентифицировать и судно-виновника сброса. Суда могут сбрасывать нефтепродукты на протяжении нескольких десятков километров своего пути.

СВЕЖИЕ СБРОСЫ С ДВИЖУЩИХСЯ СУДОВ



*19 сентября 2006 . 19:19 GMT
Длина шлейфа около 50 км,
площадь загрязнения 9.2 км²*

МНОГОКРАТНЫЕ СБРОСЫ С ДВИЖУЩИХСЯ СУДОВ

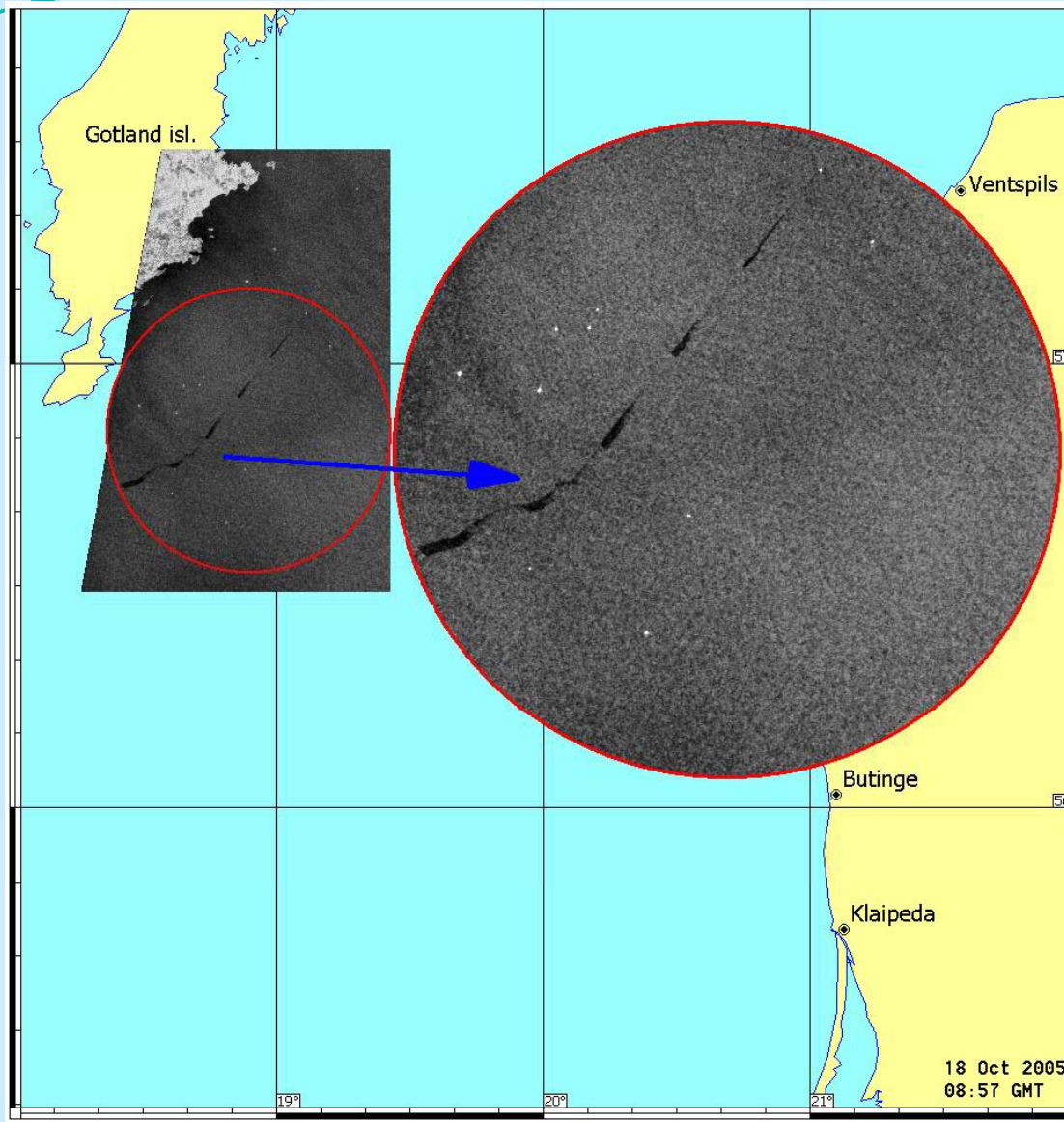


25 августа 2005 20:19 GMT

На широте г. Клайпеда выделяется четкий прерывистый след протяженностью около 34 км. Заканчивается он яркой точкой, отмечающей положение движущегося судна. Разлив происходит в момент радиолокационной съемки, растекание пленки еще в самом начале – полоса сужена по направлению к судну и контраст её с окружающей поверхностью не высок.

Гораздо большим контрастом с окружающим фоном и степенью растекания пленки отличается прерывистая полоса протяженностью 22 км, расположенная к западу от м. Таран. Этот разлив произошел несколькими часами раньше, и судно-виновника выявить невозможно

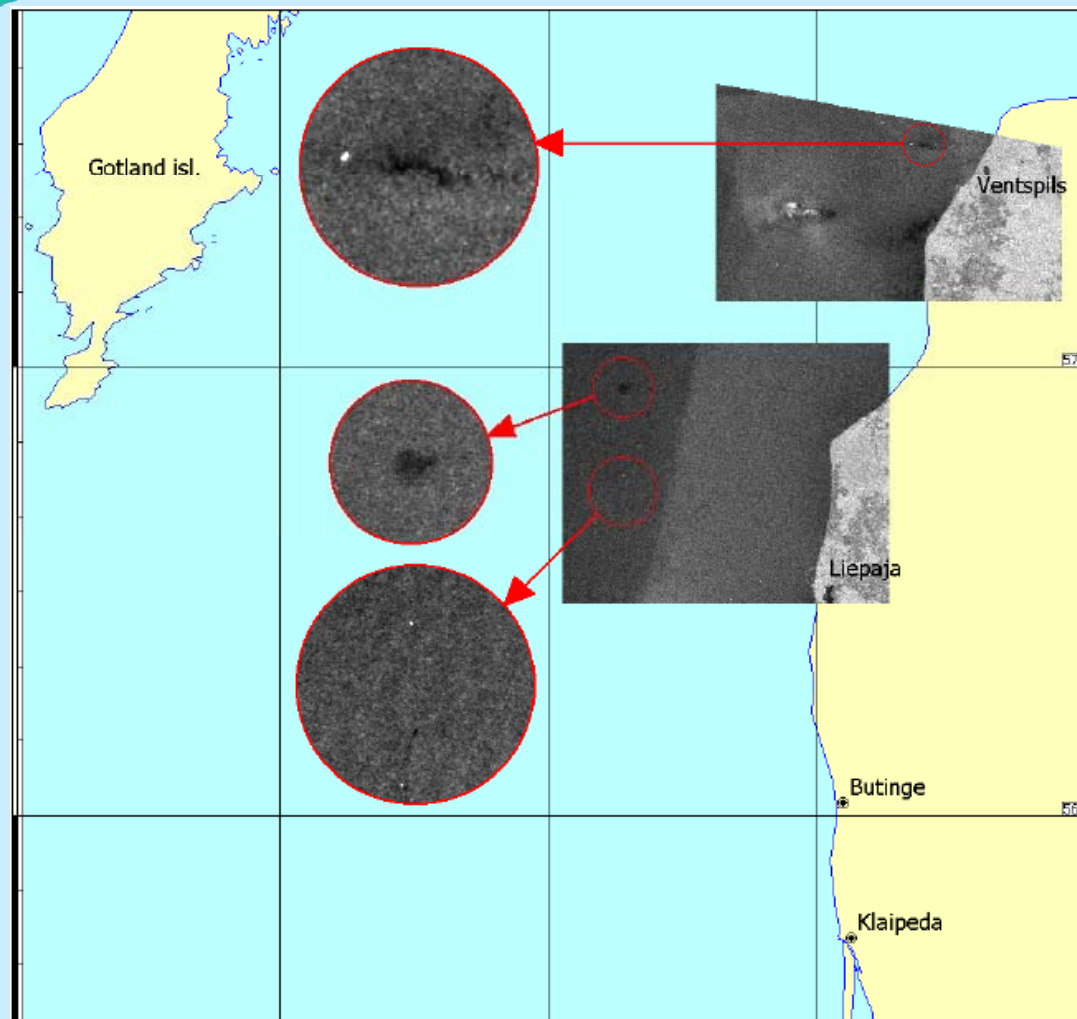
МНОГОКРАТНЫЕ СБРОСЫ С ДВИЖУЩИХСЯ СУДОВ



От южной оконечности о. Готланд почти на 80 км тянется прерывистый след за судном (яркая точка), движущимся на северо-восток. Очевидно, сброс осуществлялся в несколько этапов, общая площадь загрязнений на момент радиолокационной съемки составляет порядка 67.5 км²

18 октября 2005, 08:57 GMT

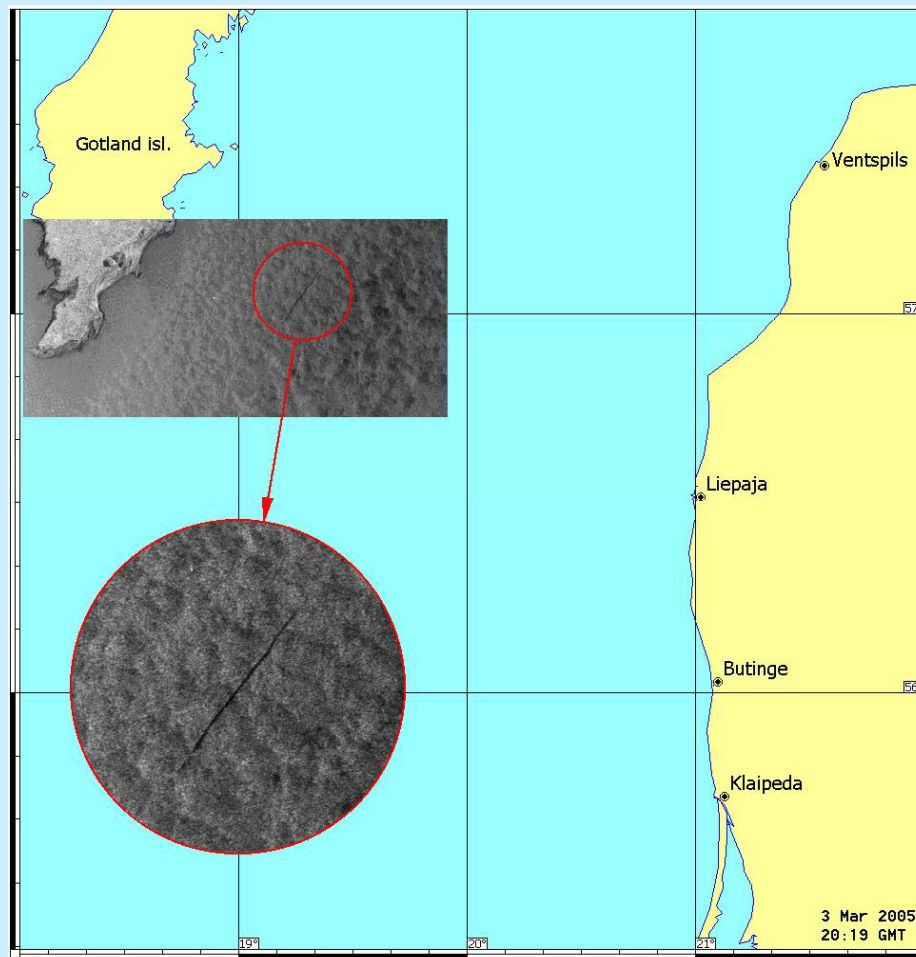
СБРОС С НЕПОДВИЖНОГО СУДНА



При сбросе с неподвижного судна, в отсутствие ветра и волнения, растекание нефти происходит более или менее равномерно во все стороны, поэтому пятно принимает округлую форму.

*24 августа 2004, 08:57 GMT
Три нефтяных пятна в районе Вентспилса
и к северо-западу от Лиепая*

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОУСЛОВИЙ



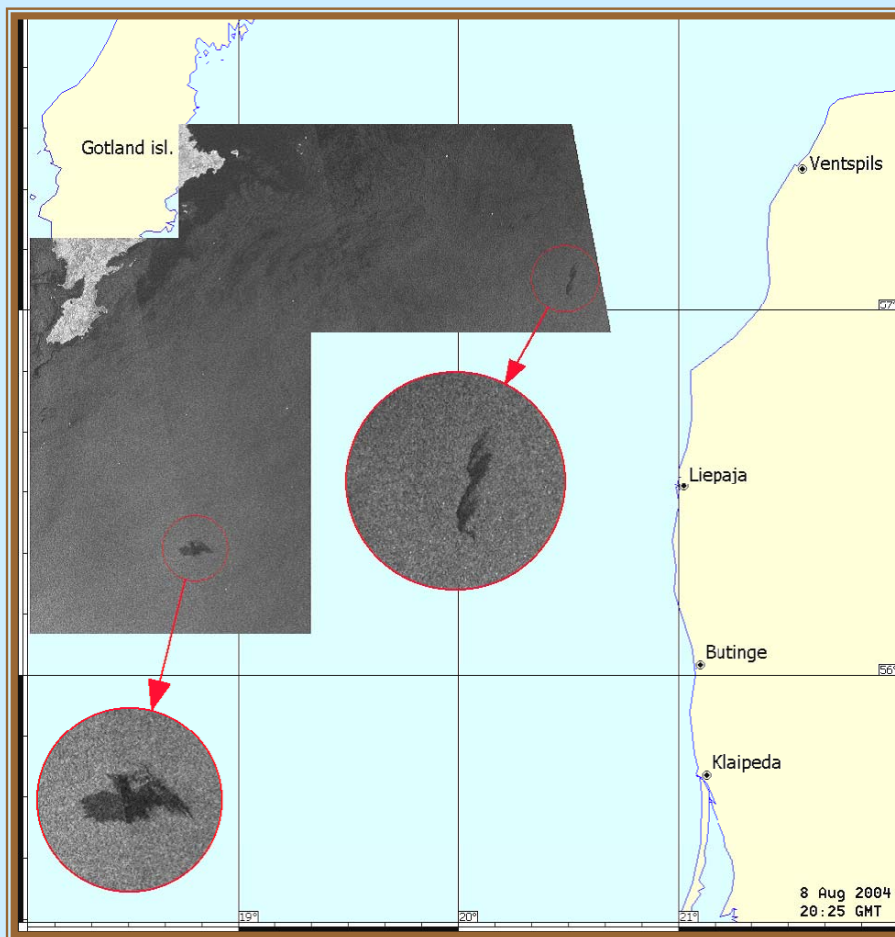
3 марта 2005г., 20:19 GMT

Усложнение гидрометеорологических условий – усиление приводного ветра, развитие волнения – затрудняет распознавание нефтяных пленок. Достаточно свежий разлив из движущегося судна.

Однако форма полосы уже не такая четкая, как в предыдущих случаях, сужение в сторону более свежей части разлива определить не так легко, а кроме того, нельзя однозначно указать на судно-виновника разлива.

Осложняющим фактором в данном случае является неустойчивая стратификация пограничного слоя море-атмосфера, дающая неровный, ячеистый фон на изображении.

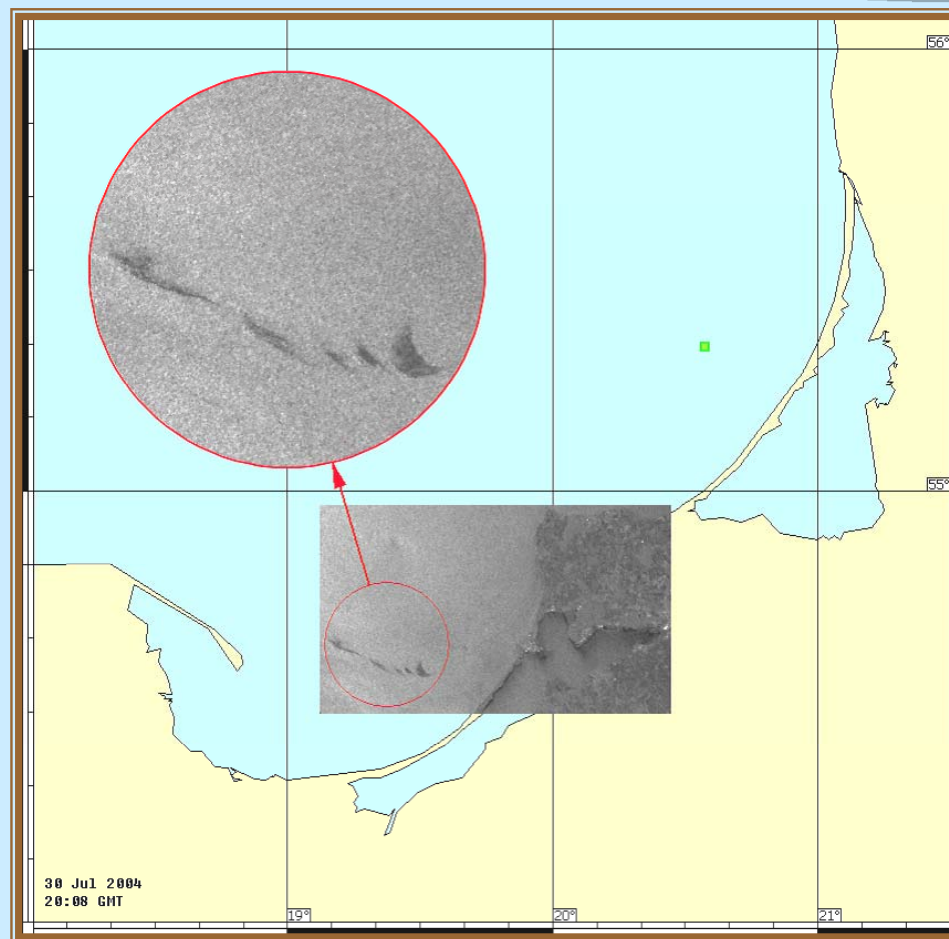
«СТАРЫЕ» НЕФТЯНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ. ВЛИЯНИЕ ВЕТРА



*8 августа 2004, 20:25 GMT.
2 пятна нефтяных загрязнений к югу и к
востоку от о-ва Готланд*

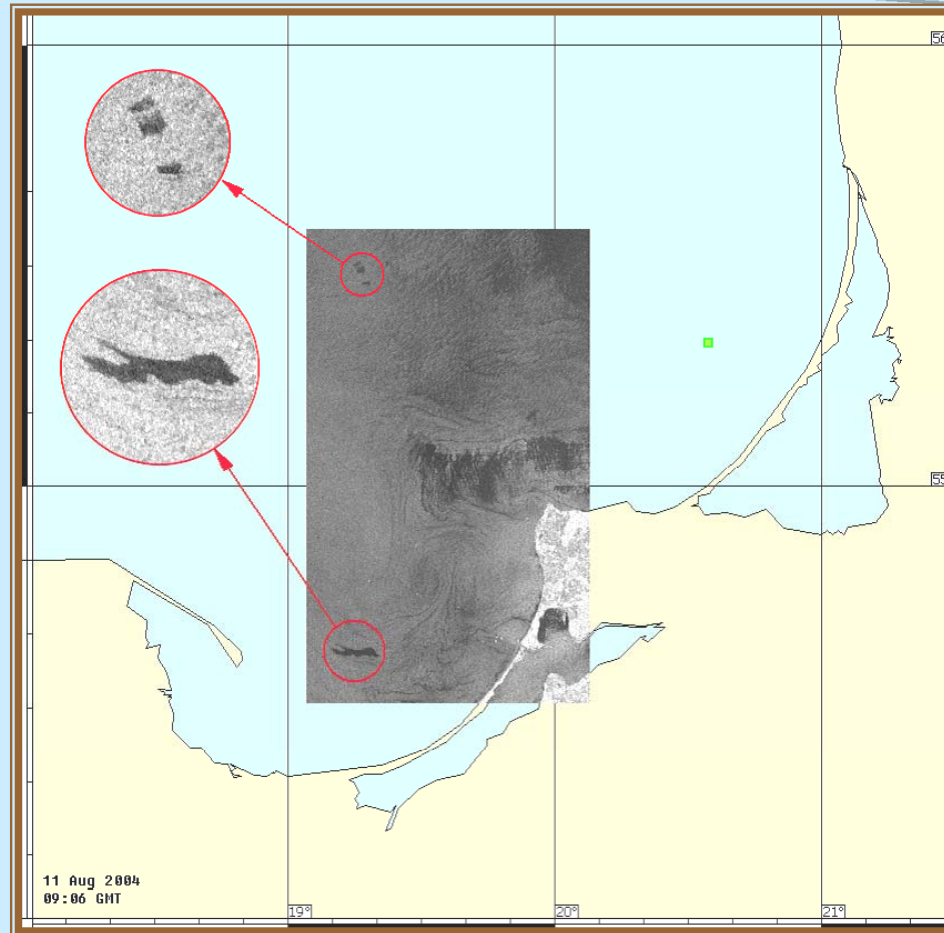
Ветер существенно влияет на внутреннюю структуру нефтяного разлива, как напрямую, так и опосредовано. Под непосредственным воздействием ветра пленка нефти перемещается, а нефть аккумулируется на подветренной стороне пятна

«СТАРЫЕ» НЕФТЯНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ. ВЛИЯНИЕ ВЕТРА



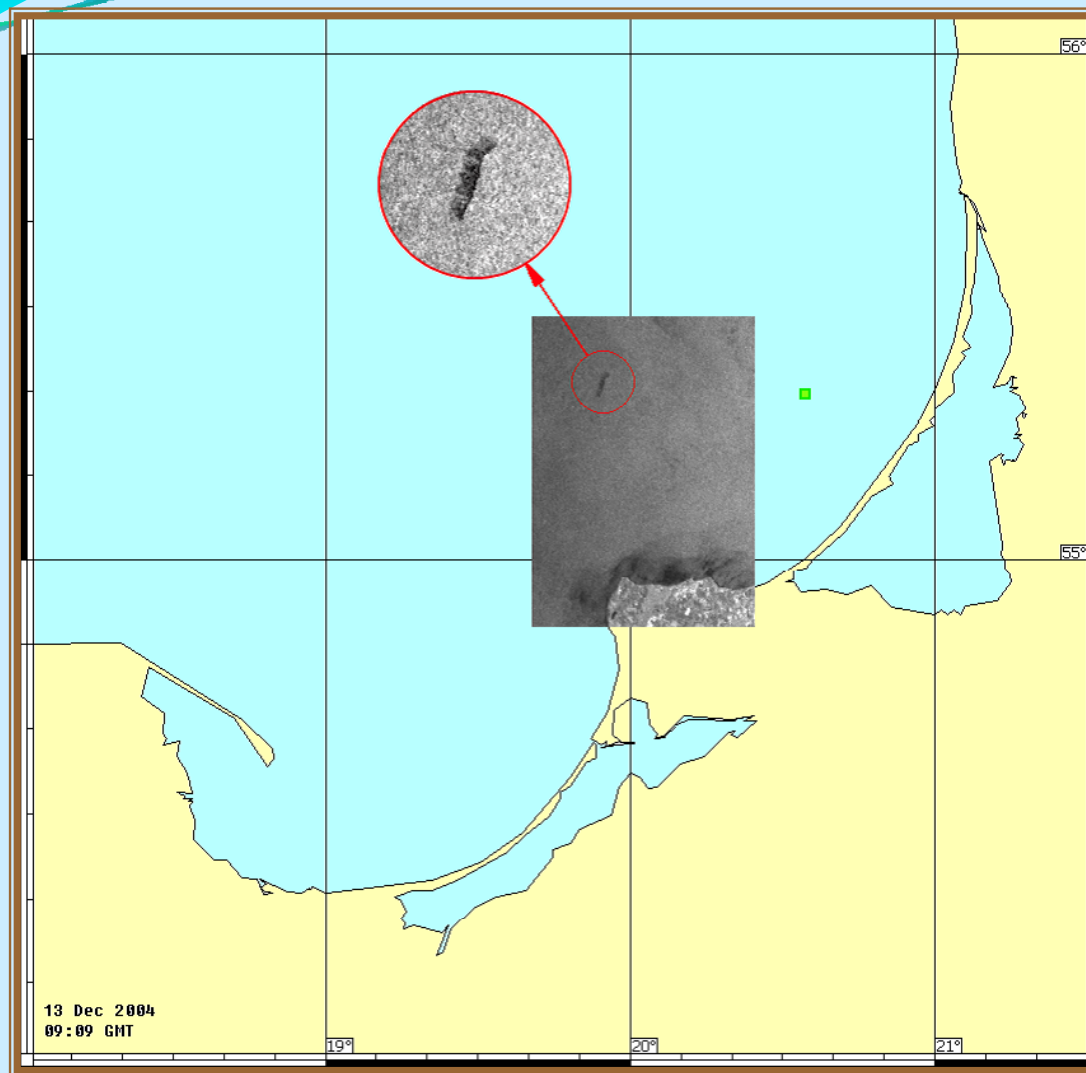
30 Июля 2004, 20:08 GMT.
Цепочка нефтяных пятен. Oil spills chain:
Длина – 26км, совокупная площадь
загрязнения – 20.3 km²

«СТАРЫЕ» НЕФТЯНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ. ВЛИЯНИЕ ВЕТРА



*11 Августа 2004, 09:06 GMT.
Крупное нефтяное пятно в Гданьском
заливе (23 km^2) и цепочка пятен. Общая
площадь загрязнения 10 km^2*

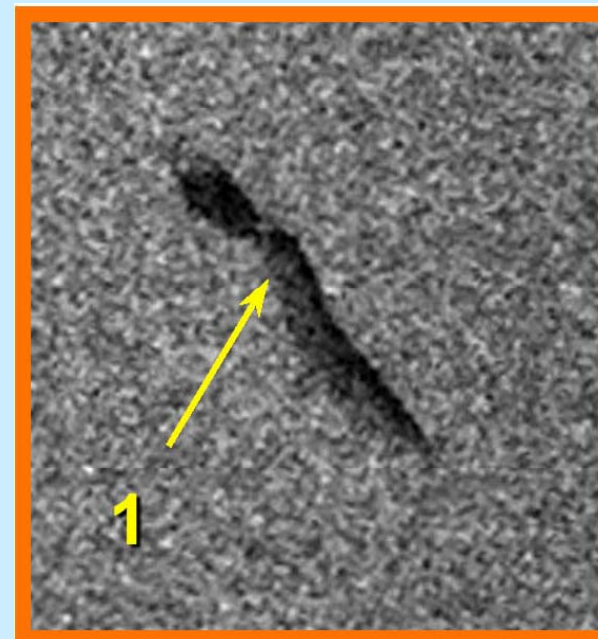
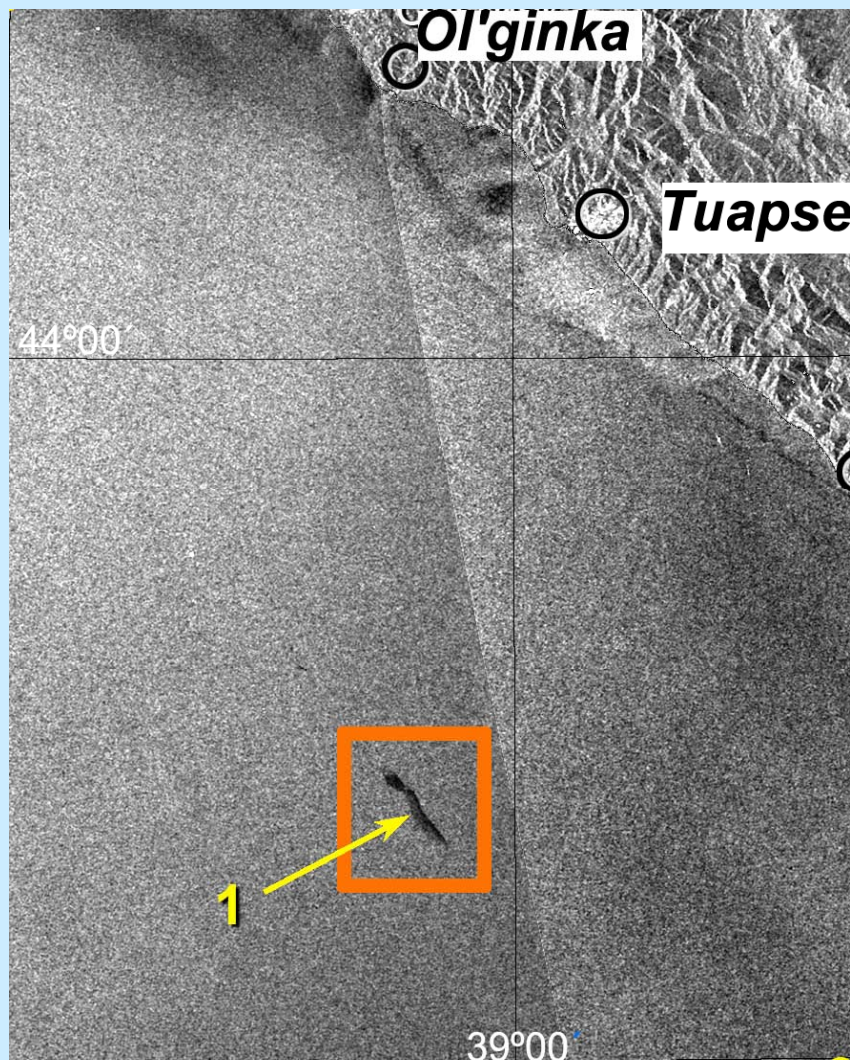
ТРАНСФОРМАЦИЯ НЕФТЯНЫХ ПЯТЕН (ГРЕБЕНКА)



Приповерхностный ветер возбуждает динамические процессы в верхнем слое воды. Наиболее распространенный из таких процессов – циркуляция Ленгмюра, представляющая собой вытянутые по ветру вихри перемежающихся направлений. Движение воды в вихрях происходит в плоскости, перпендикулярной направлению скорости ветра. Тем самым на поверхности моря возникают перемежающиеся зоны дивергенции и конвергенции. В последних и концентрируется нефть. Пятно приобретает характерный вид «гребенки».

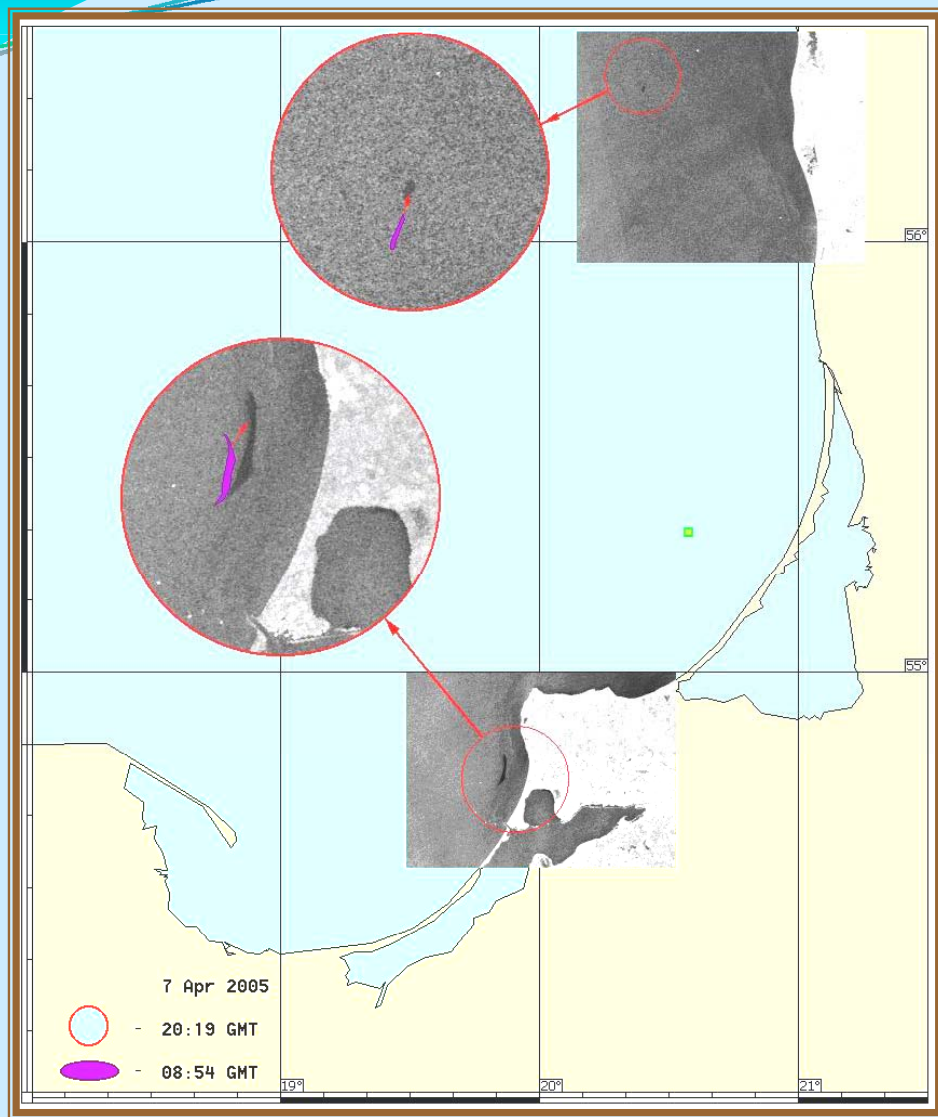
13 December 2004, 09:09 GMT.

ТРАНСФОРМАЦИЯ НЕФТЯНЫХ ПЯТЕН (ГРЕБЕНКА)



*11 июля 2006 , 19:19 GMT
Общая площадь загрязнения 4.0 km²*

ТРАНСФОРМАЦИЯ НЕФТЯНЫХ ПЯТЕН



7 April 2005, 08:54 GMT+20:19 GMT

Drift and transformation of the oil spill.

Пример того, насколько может измениться форма и положение пятен за половину суток даже при стабильных метеорологических условиях.

В течение 11 ч. 25 мин. этого дня метеорологические условия существенно не менялись. Ветер изменил направление с южного на юго-западное, скорость его оставалась в пределах 8 – 9 м/с.

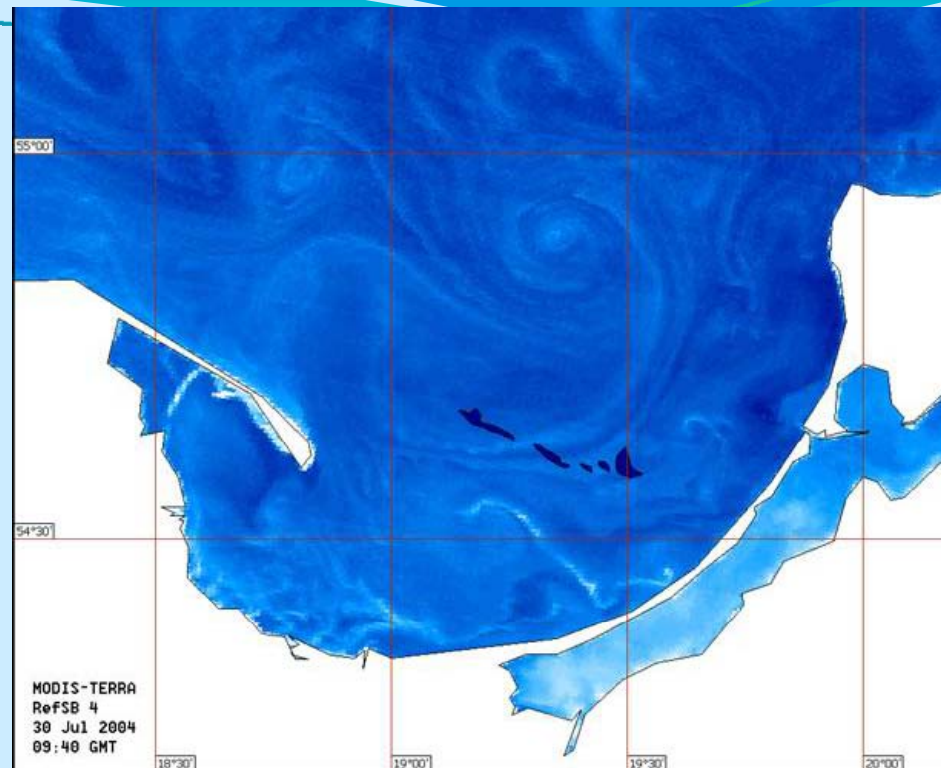
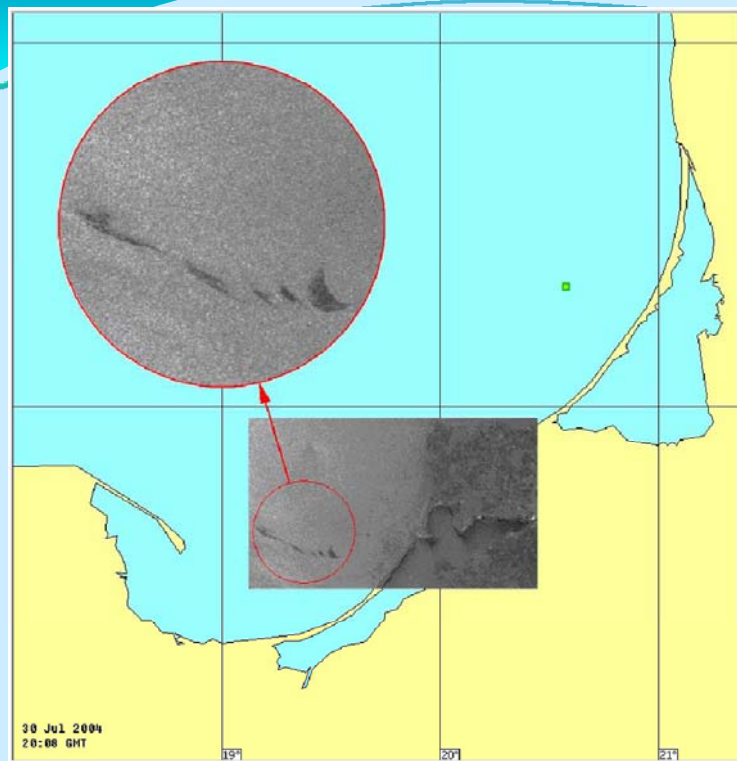
Стратификация пограничного слоя море-атмосфера сохранялась устойчивой, высота волн не превышала 1 м.

За время между съемками, пятно, расположенное к северу от выхода из Балтийского канала, несколько растеклось в северо-восточном направлении, Протяженность пятна увеличилась с 5.4 км до 8.5 км, общая площадь выросла с 2.8 км² до 3.8 км².

Пятно, расположенное к западу от г. Швентой, сместилось и растеклось в восточном направлении. Площадь его увеличилась с 0.9 км² до 1.5 км².

Анализ фактической эволюции пятен нефтяных загрязнений в случаях, когда данные позволяют это сделать, имеет большое значение с точки зрения совершенствования моделей, используемых для расчета дрейфа и трансформации пятен нефтяных загрязнений

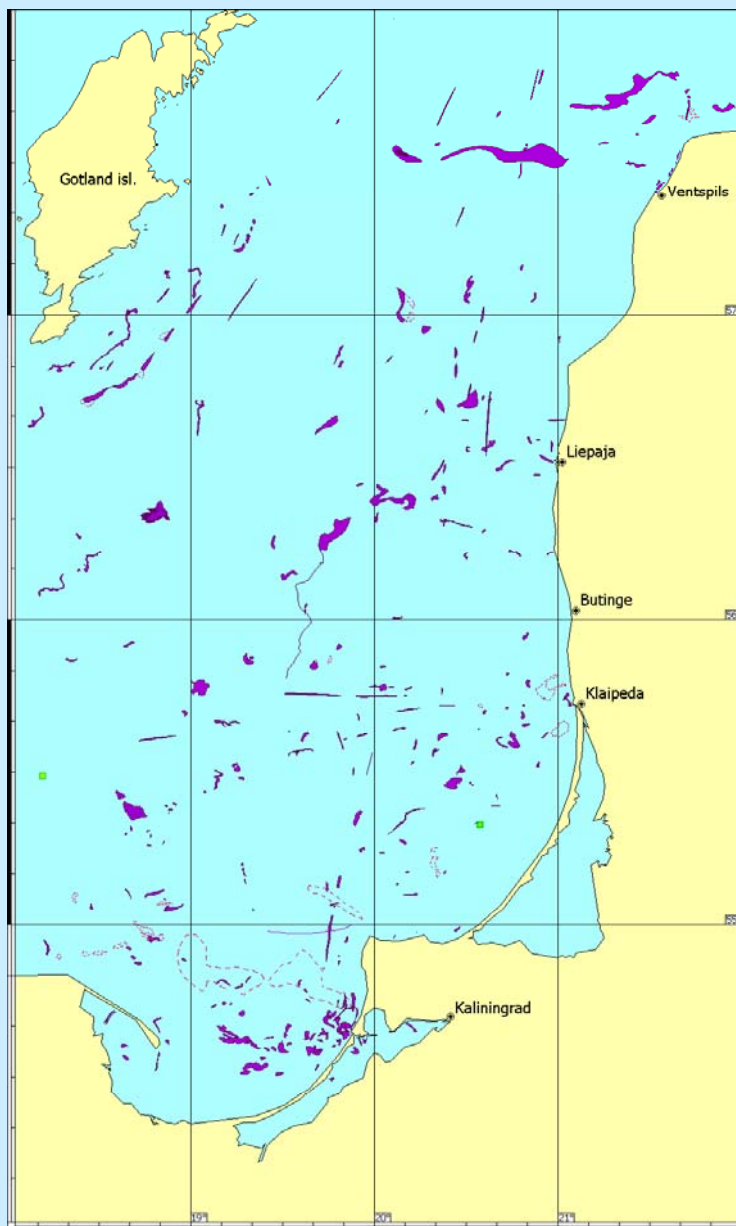
ТРАНСФОРМАЦИЯ НЕФТЯНЫХ ПЯТЕН



Специфическая форма рассматриваемого нефтяного загрязнения позволила предположить, что первоначально крупное нефтяное загрязнение вытянутой формы было локализовано восточнее, а затем под влиянием течений и ветра дрейфовало в западном направлении и распалось на отдельные пятна. Эту стадию деградации первоначального нефтяного пятна и зарегистрировало радиолокационное изображение. Сопоставление радиолокационного изображения с оптическими изображениями спутника MODIS различных каналов, полученных утром того же дня в 09:40 GMT, (Рис. 34б, на котором нефтяные пятна перенесены с РЛИ), выявило, что цепочка загрязнений вытянута в западном направлении по периферии антициклонической части диполя (грибовидного течения), которое является комбинацией узкой струи с парой вихрей противоположного знака на конце. Это грибовидное течение расположено в центре Гданьского залива. Предположительно, 30-го июля перемещение этих нефтяных сликов могло определяться интенсивностью вихревых движений в диполе, движением самого диполя, который за период с 28-го по 30-е июля повернулся по часовой стрелке на 90°, а также скоростью и направлением ветра.

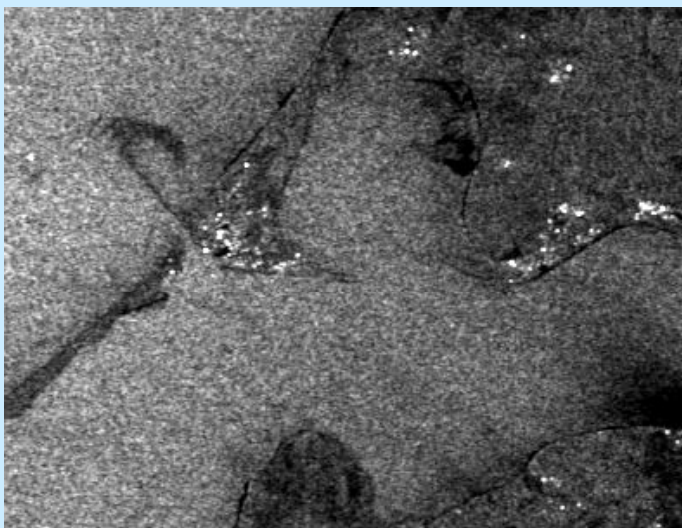
Согласно прогнозу модели Seatrack Web, цепочка нефтяных пятен должна была перемещаться в южном направлении под воздействием полей ветра и течения и в течение двух дней достичь Вислинской косы. Отклонение прогнозных данных от данных наблюдений объясняется тем, что эта численная модель не всегда способна учитывать наличие таких мезо- и мелкомасштабных динамических особенностей, как вихри, диполи, струи, филаменты, меандры и т.д. На Рис. 34б видно, что нефтяные слики перемещаются практически вдоль линий тока антициклонического вихря. Небольшое смещение объясняется разницей в 10 часов между моментами съемки MODIS (утро) и ENVISAT (вечер).

СВОДНАЯ КАРТА ВСЕХ НЕФТЯНЫХ ПЯТЕН, ОБНАРУЖЕННЫХ В ЗАДАННОМ РАЙОНЕ С 1 ИЮЛЯ 2004 Г. ПО 30 НОЯБРЯ 2005 Г.

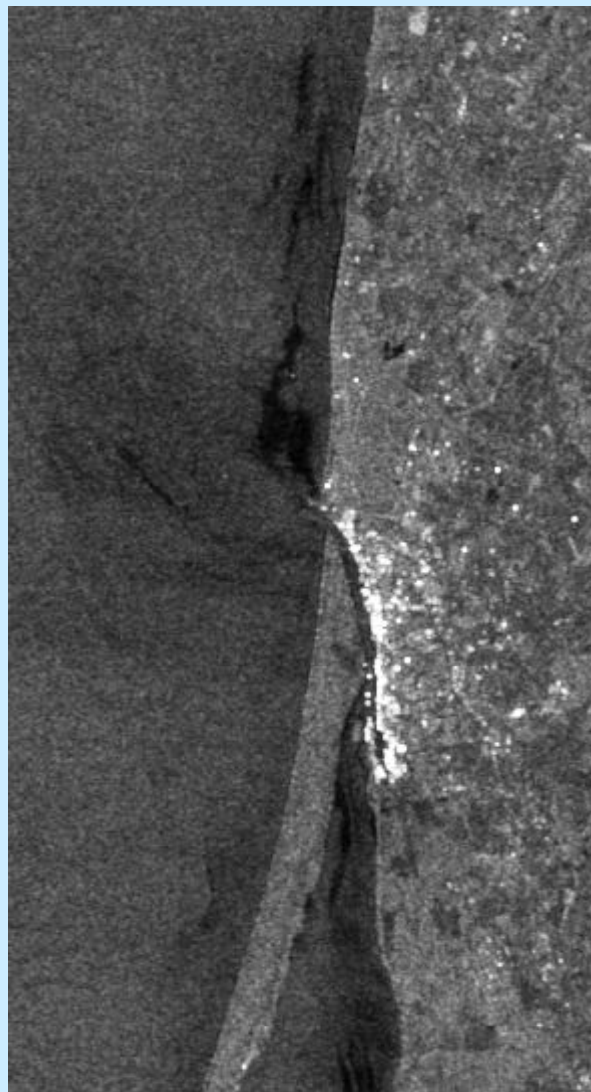


Выявлено 274 отдельных
пятна нефтепродуктов на
поверхности юго-восточной
части Балтийского моря.

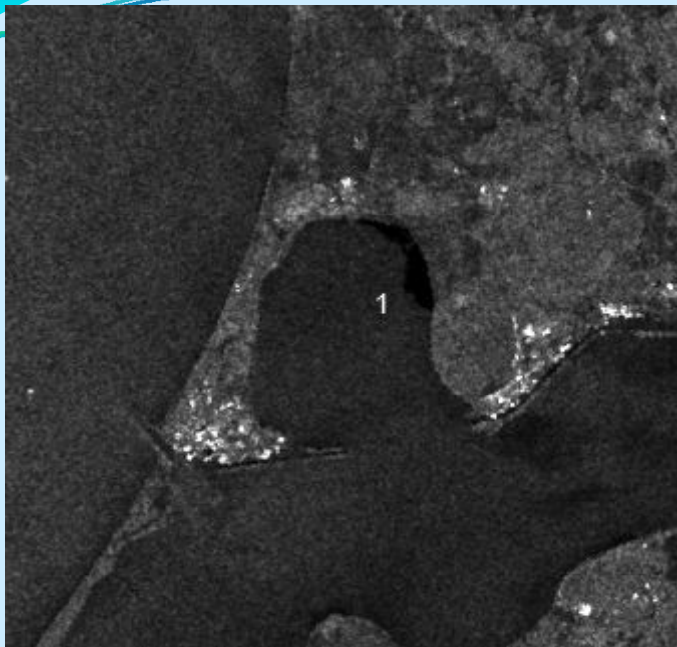
ВЫНОСЫ И БЕРЕГОВЫЕ СТОКИ



За время проведения спутникового мониторинга неоднократно наблюдались выносы загрязненных вод из Куршского и Калининградского заливов через каналы. Особенно часто данная ситуация наблюдалась в весенний период, когда в заливы во время весеннего половодья с выносами многочисленных рек и речушек попадает большое количество органических веществ



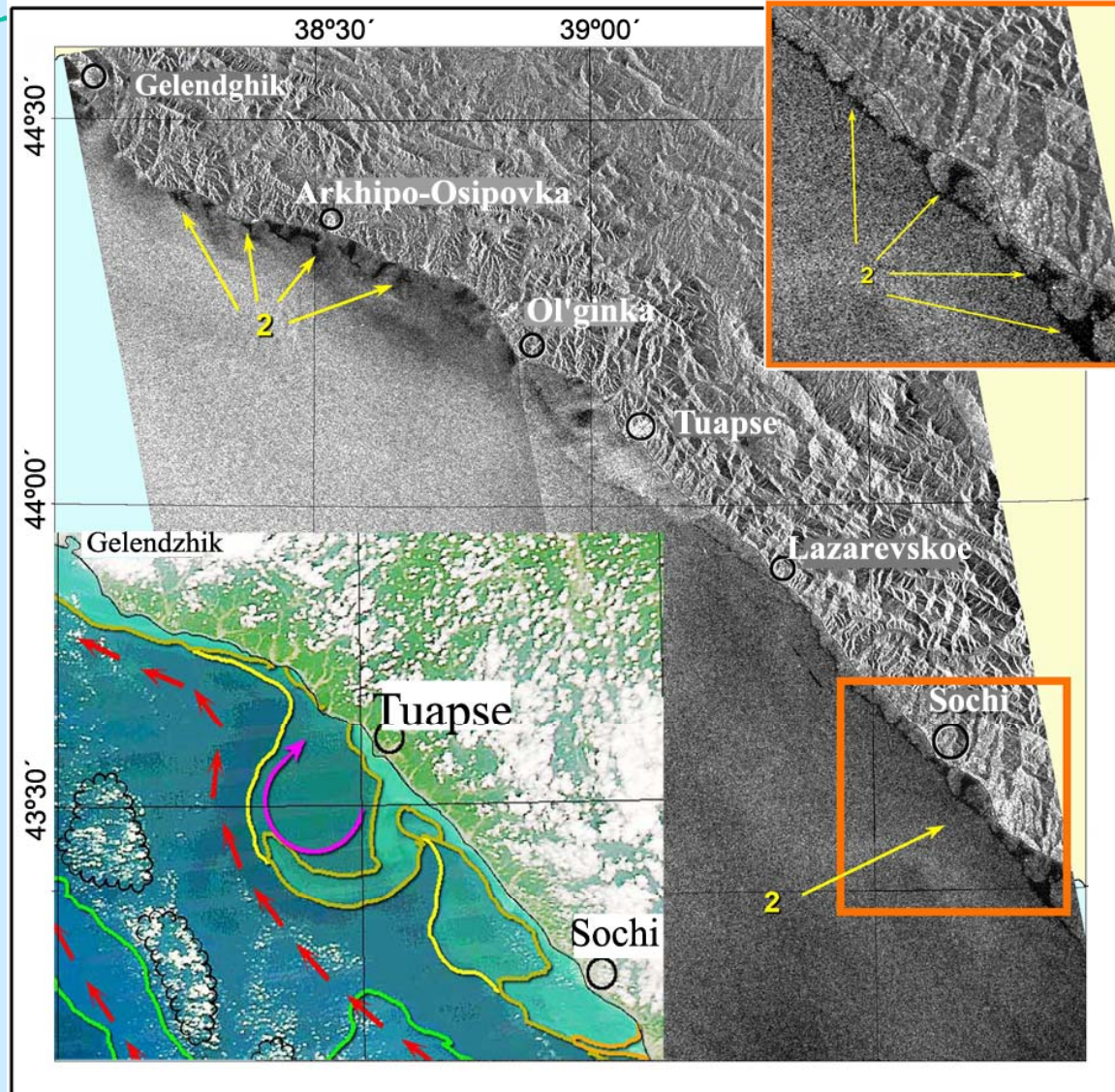
ВЫНОСЫ И БЕРЕГОВЫЕ СТОКИ



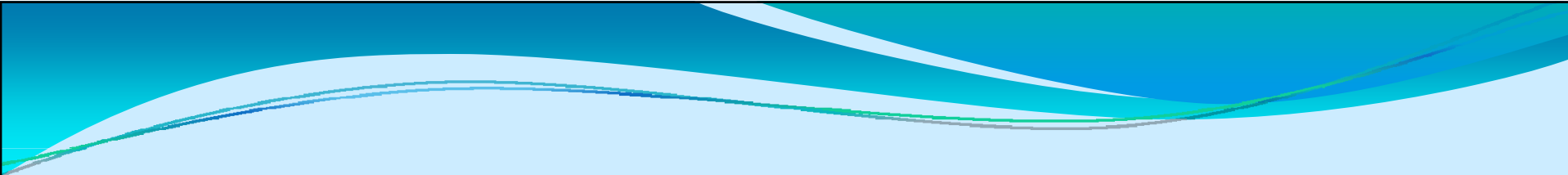
*Антропогенное загрязнение
вблизи выхода из
Калининградского отводного
канала 31 октября 2005 г.*

Фрагмент ASAR ENVISAT изображения, полученного 31.10.05 в 20:14:06 GMT. Изображение получено в условиях достаточно сильного юго-юго-восточного ветра со скоростью 8-10 м/с у побережья. На рисунке цифрой 1 отмечена область пониженного рассеяния в районе Приморской бухты вблизи выхода из Калининградского отводного канала. Эта область отмечалась как на вечернем РЛ-изображении от 28.10.2005, так и на утреннем снимке 31.10.05. Пятно пониженного рассеяния сохраняет компактную простую форму с четкими гладкими границами. Нет никаких сомнений, что оно вызвано наличием на морской поверхности антропогенных загрязнений, сбрасываемых через отводной канал.

ВЫНОСЫ И БЕРЕГОВЫЕ СТОКИ



Outflows of rivers
and brooks
a) ASAR Envisat
image of the
northeastern part of
the Black Sea
acquired
11.07.2006, 19:19
GMT
b) Map of water
state and circulation
superimposed
on Aqua MODIS
image



Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 08-05-00831-а, 10-05-00428-а).

Спутниковые радиолокационные данные предоставлены Европейским космическим агентством в рамках проектов Bear 2775, C1P.1027 и C1P.6342.

Спасибо за внимание!