

# Особенности мезомасштабной циркуляции вод, выявленные в ходе спутникового мониторинга северо-восточной части Черного моря

*Митягина М.И., Лаврова О.Ю.*

**Институт космических исследований РАН**



# ПРОЕКТЫ

INTAS 03-51-4987 «Slicks as indicators of marine processes (SIMP)»

Спутниковый мониторинг состояния и загрязнения российского сектора Азовского и Черного морей (совместно с ГУП «Планета»)

## ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Возможность заказывать и получать спутниковые радиолокационные данные сенсоров ENVISAT ASAR и ERS-2 SAR предоставлена Европейским космическим агентством в рамках проектов:

- ✓ AO3.224 “Investigation of perturbing action of atmospheric and internal oceanic processes on the waved sea surface using ocean remote sensing data”
- ✓ C1P.1027 “Lee waves and vortex streets behind natural obstacles in ocean and atmosphere”
- ✓ AO Bear 2775 “Detection and characterisation of organic pollution in the coastal environment (DeCOP)”

*Использованные в презентации цветосинтезированные изображения сенсора MODIS ИСЗ Terra/Aqua любезно предоставлены нашими коллегами из МГИ НАНУ (Севастополь)*



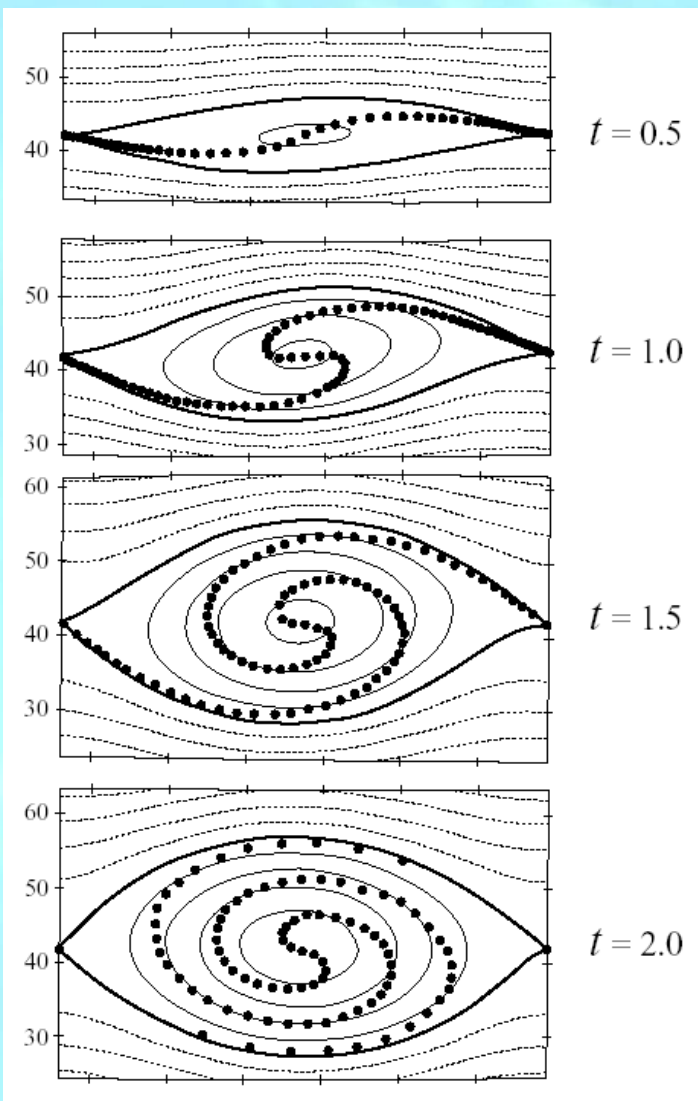
## СОДЕРЖАНИЕ



- **Вихри малых масштабов ( 1-10 км) в прибрежной зоне.  
Сезонная изменчивость их проявления**
- **Вихревые диполи. Наблюдение с использованием радиолокационных, оптических и ИК данных**
- **Поверхностные проявления внутренних волн в Черном море, выявленные из данных спутниковой радиолокации**

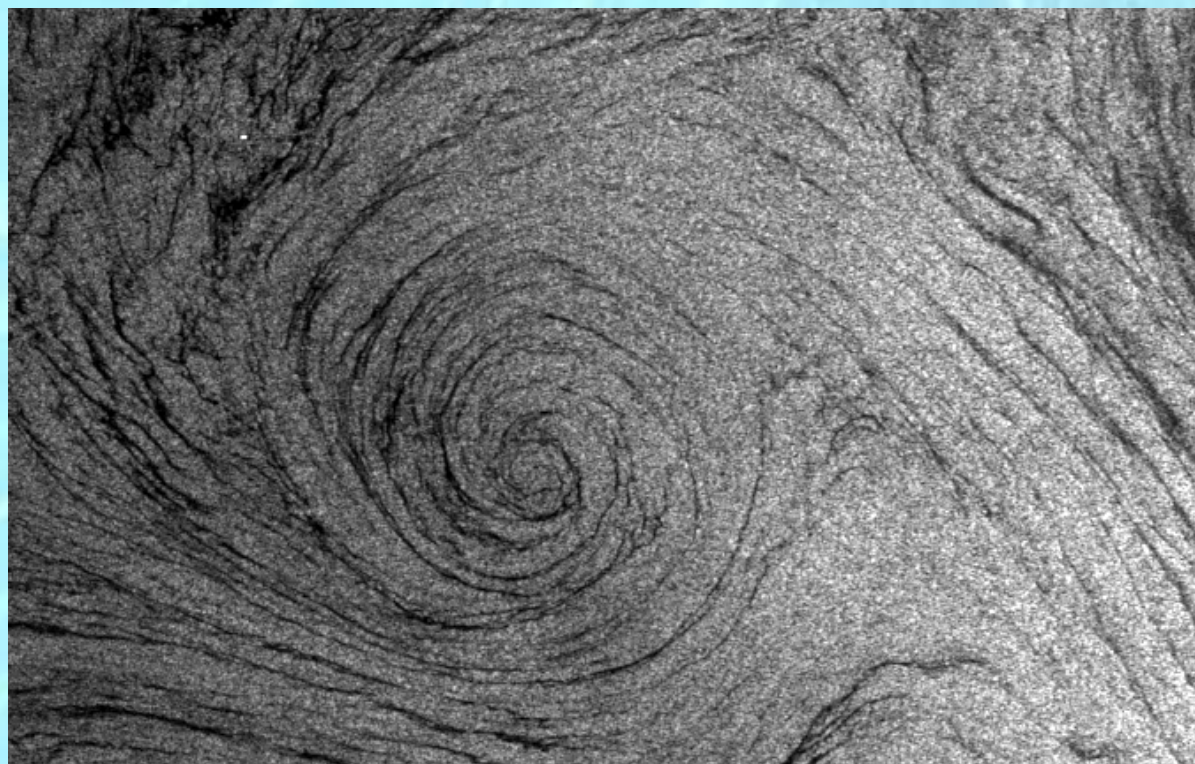
***Мезо -  $\gamma$  масштаб : 2-20 км***

# Спиралеобразные вихри



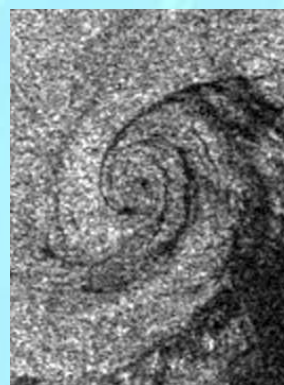
**Численная модель развития  
циклонического  
спиралеобразного вихря (  
Corcos and Sherman 1976, 1984)**

**Горизонтальная сдвиговая  
неустойчивость+ротация**



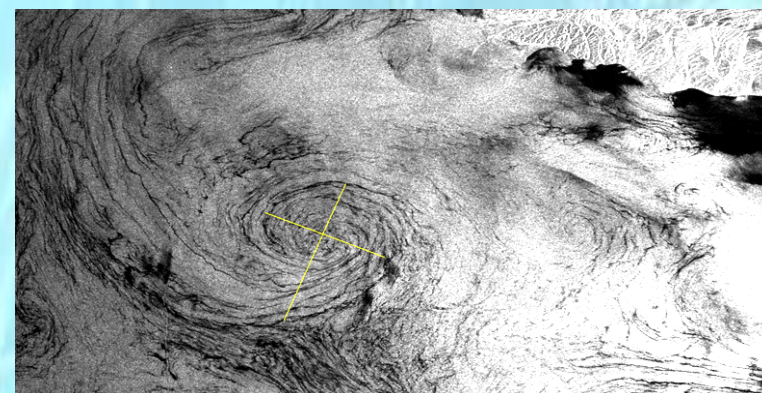
**ASAR Envisat 10.05.07**

**Циклонический вихрь размером 22,5 км**



**ASAR Envisat 15.08.06**

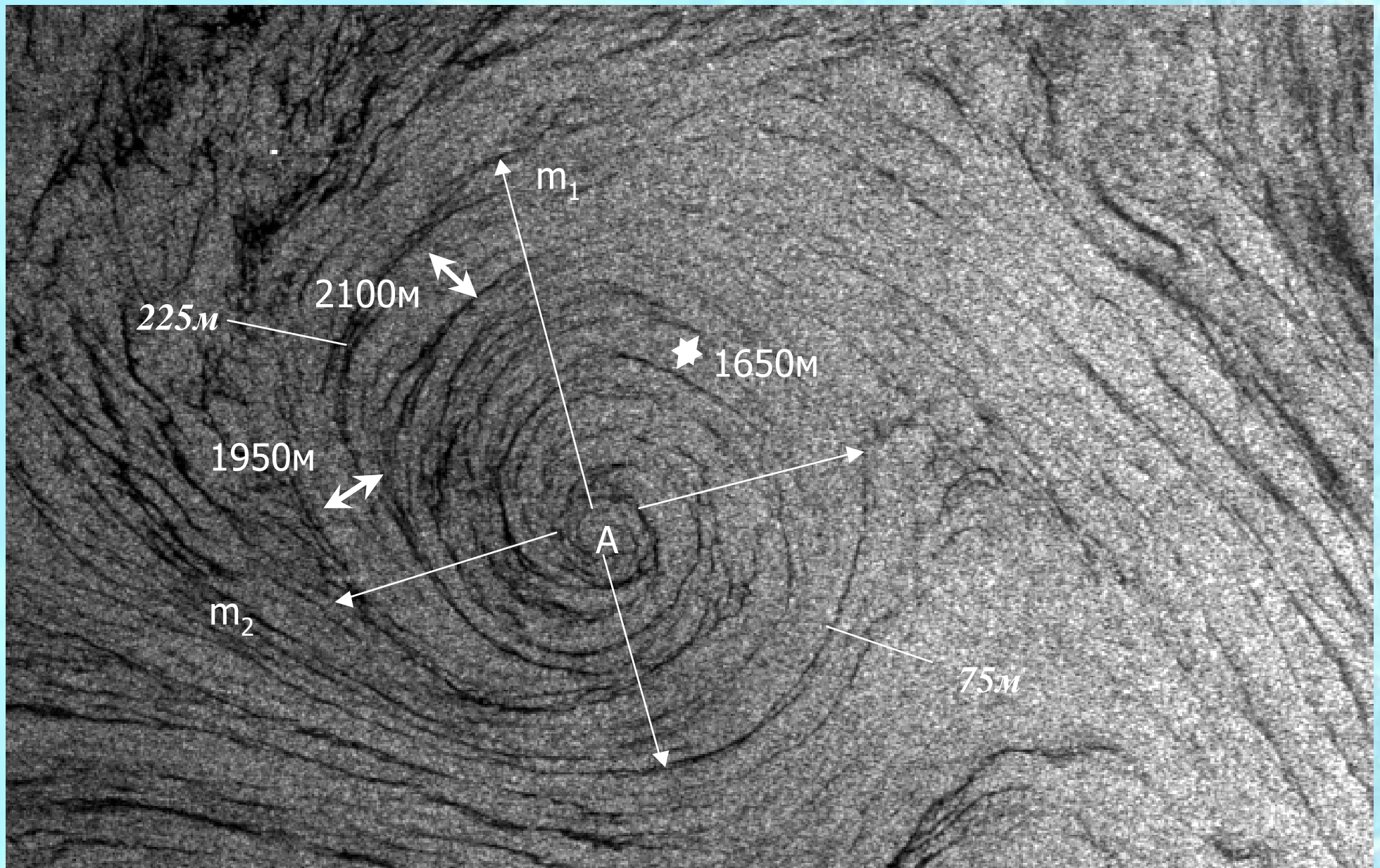
**Циклонический вихрь  
размером 3,25 км**



**ASAR Envisat 16.02.07**

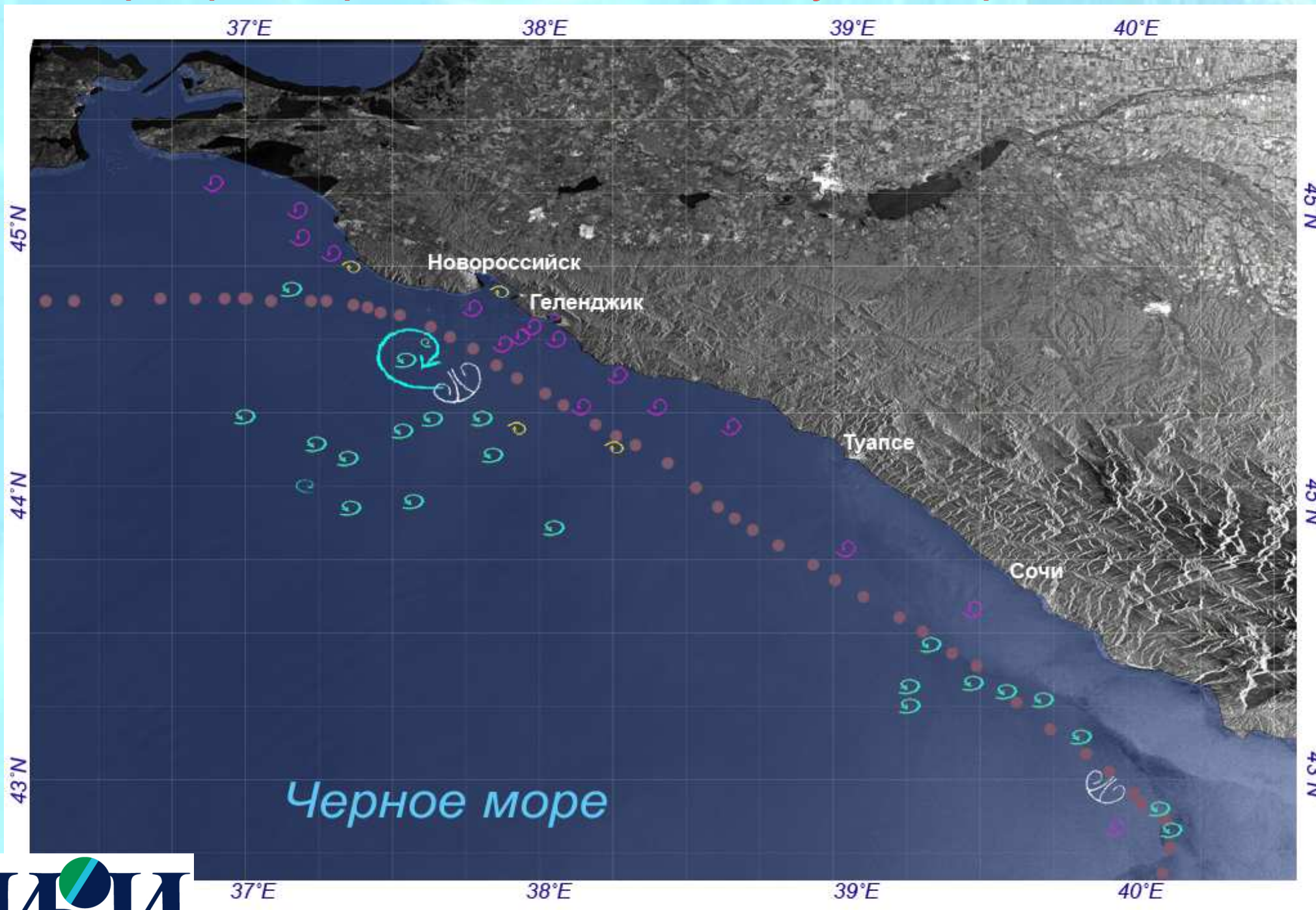
**Циклонический вихрь размером 4,5 км**

# Спиралеобразные вихри

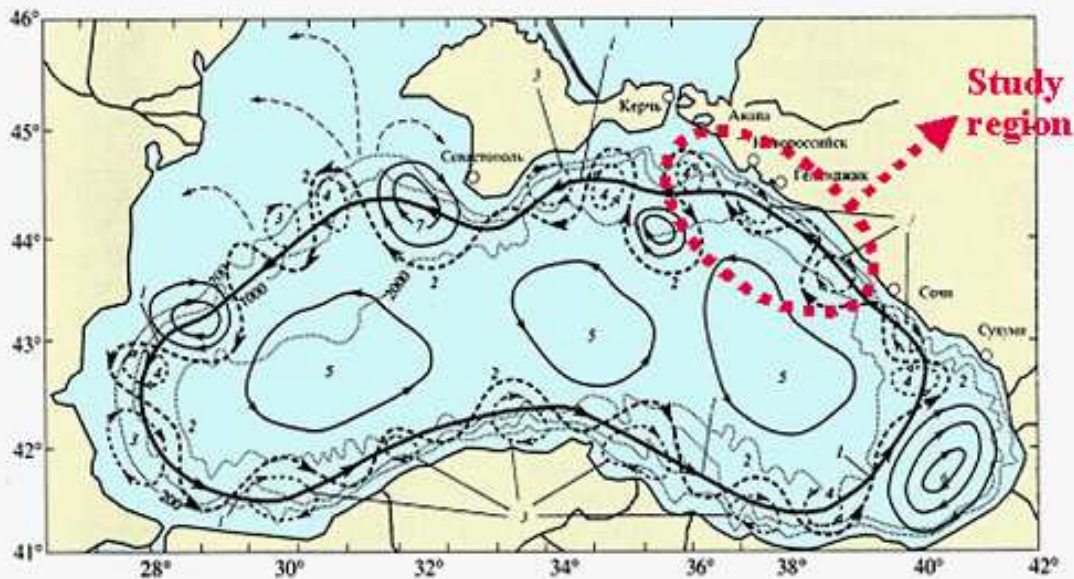


Возможность оценить долю пленок биогенного происхождения, вовлеченных в вихревую структуру в целом и сконцентрированных в зонах конвергенции

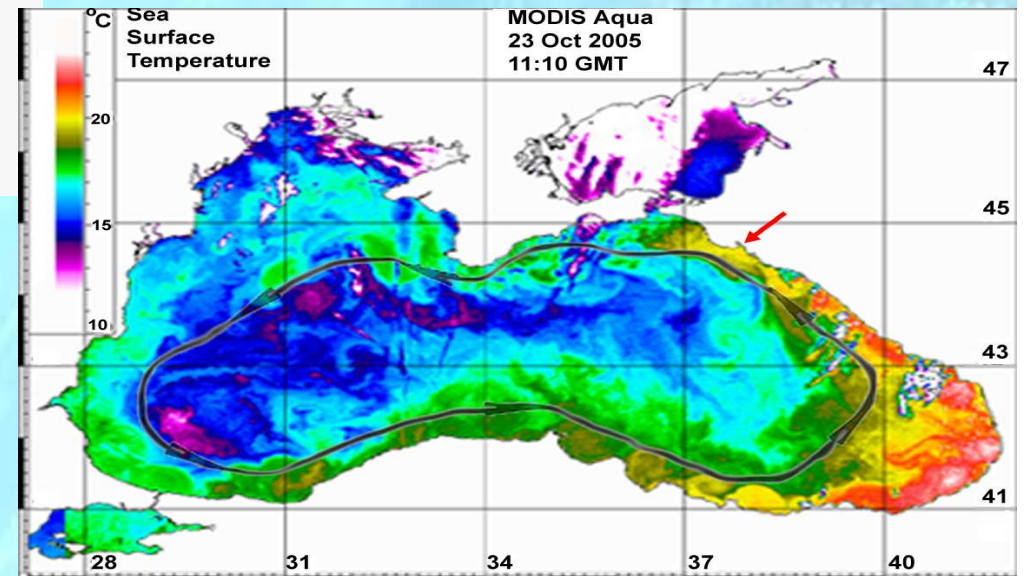
# Обобщенная карта-схема распределения вихревых структур в северо-восточном секторе Черного моря, выявленных по данным спутниковой радиолокации



# Общая схема циркуляции Черного моря.

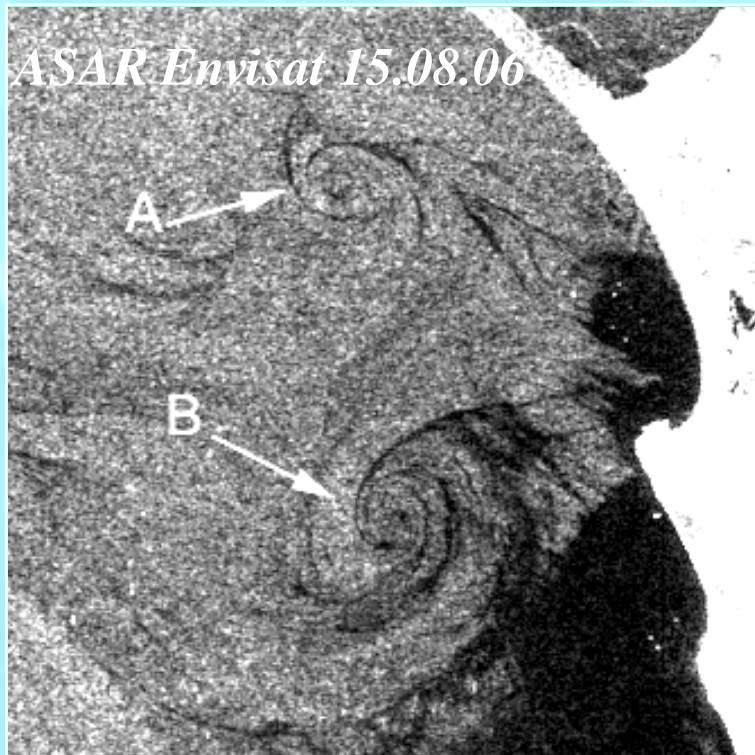


Основное Черноморское течение (ОЧТ) характеризуется высокой гидродинамической неустойчивостью. Эта нестабильность под влиянием синоптической изменчивости ветра и особенностей рельефа дна приводит к меандрированию ОЧТ и образованию вихрей с обеих сторон основного стержня.

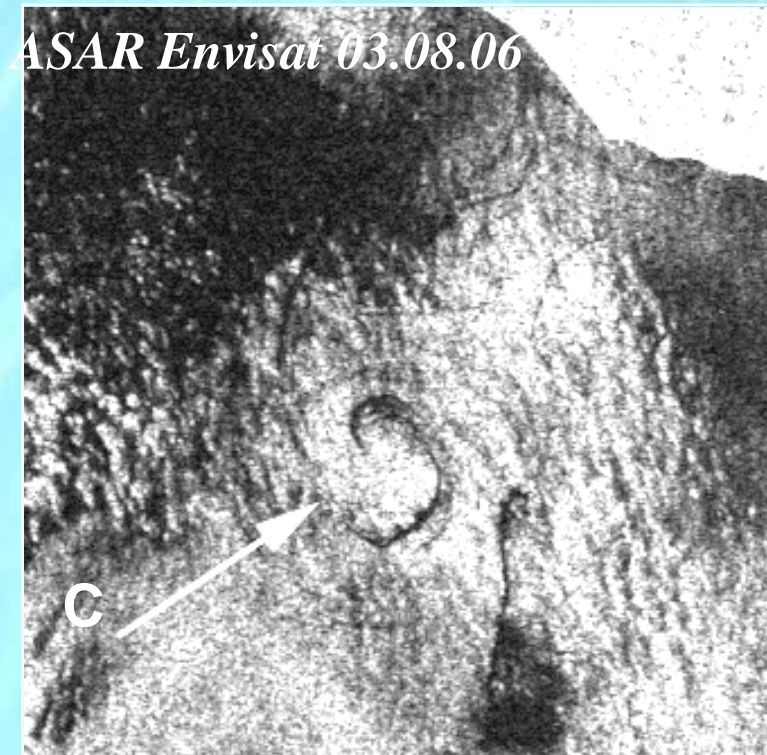


Поле поверхностной температуры, восстановленное по данным MODIS-Aqua от 23.10.05. Хорошо прослеживаются ОЧТ и прибрежные антициклонические вихри

# Вихри малых масштабов (летний период)

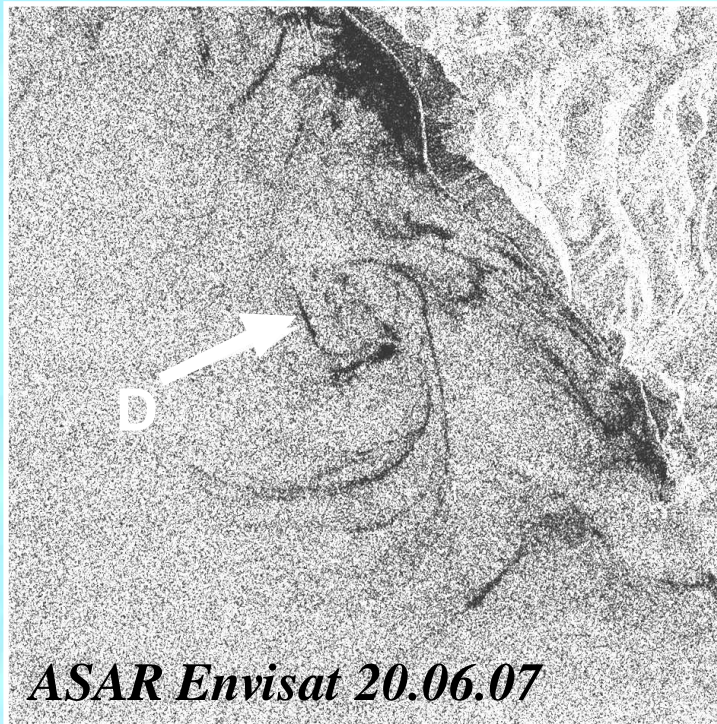


A - 3,75 км  
B - 3 км



C - 4,5 км

D - 2,5 км

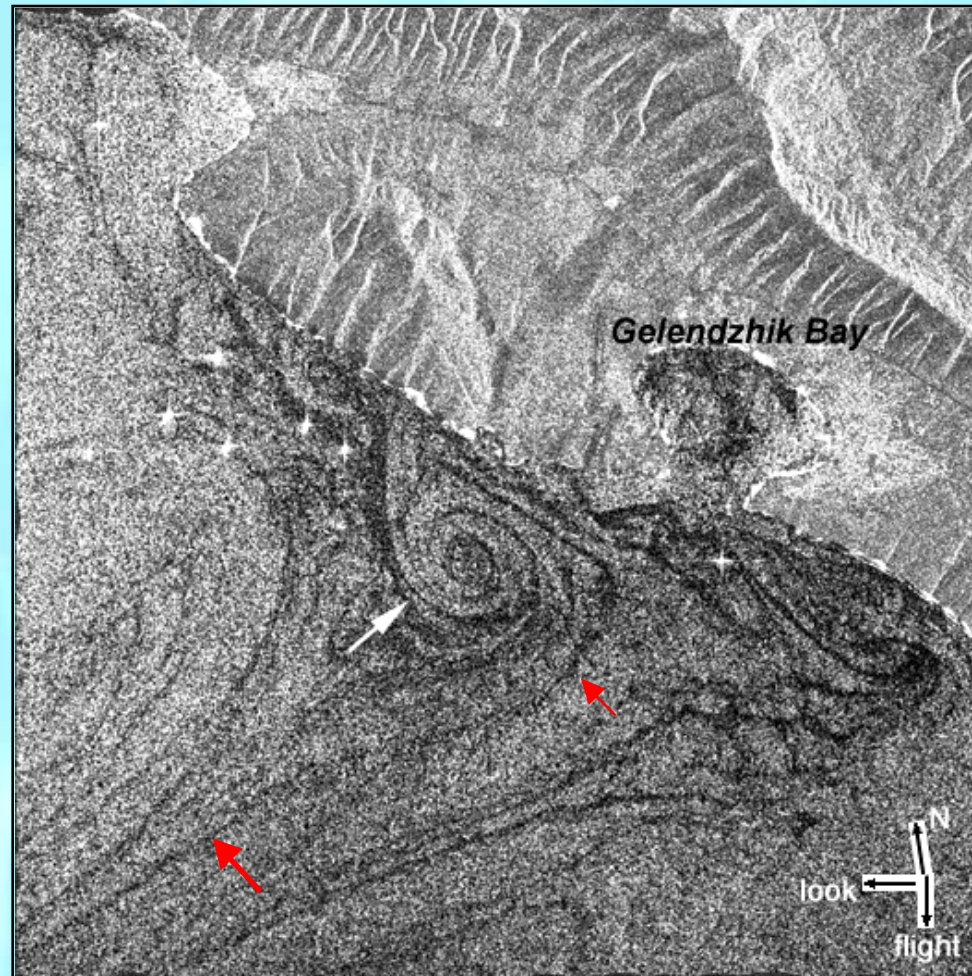


E - 4,25 км

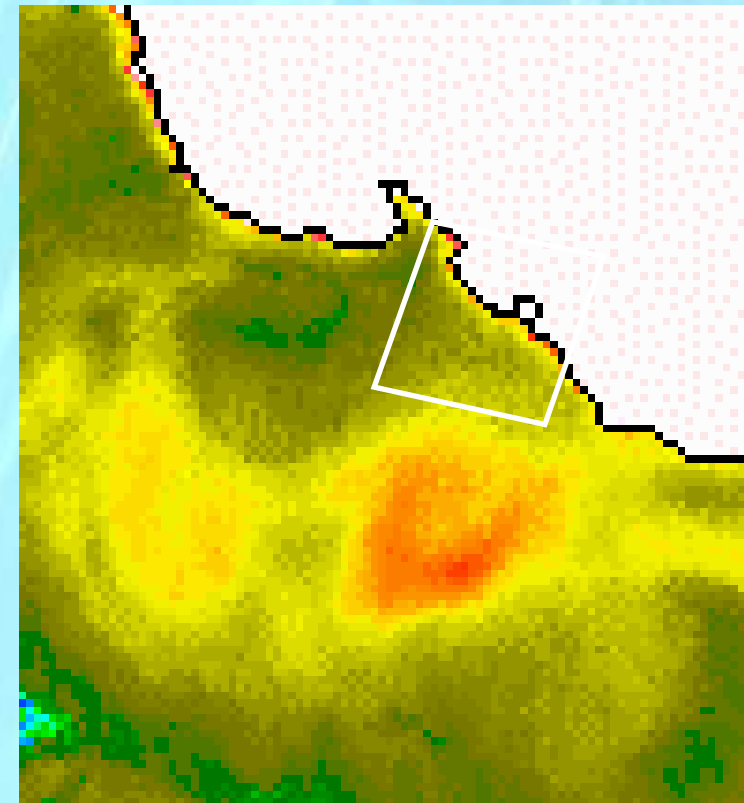




# Вихри малых масштабов (летний период)

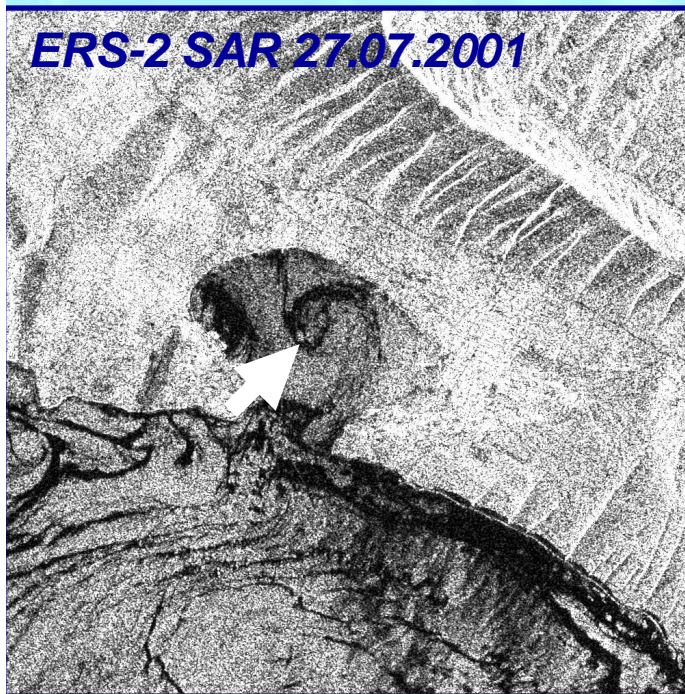


*Envisat ASAR. 03.08.2006. 25 x 25 км  
Циклонический вихрь размером 3.5 км*



*AVHRR NOAA.  
Поле температуры морской  
поверхности.*

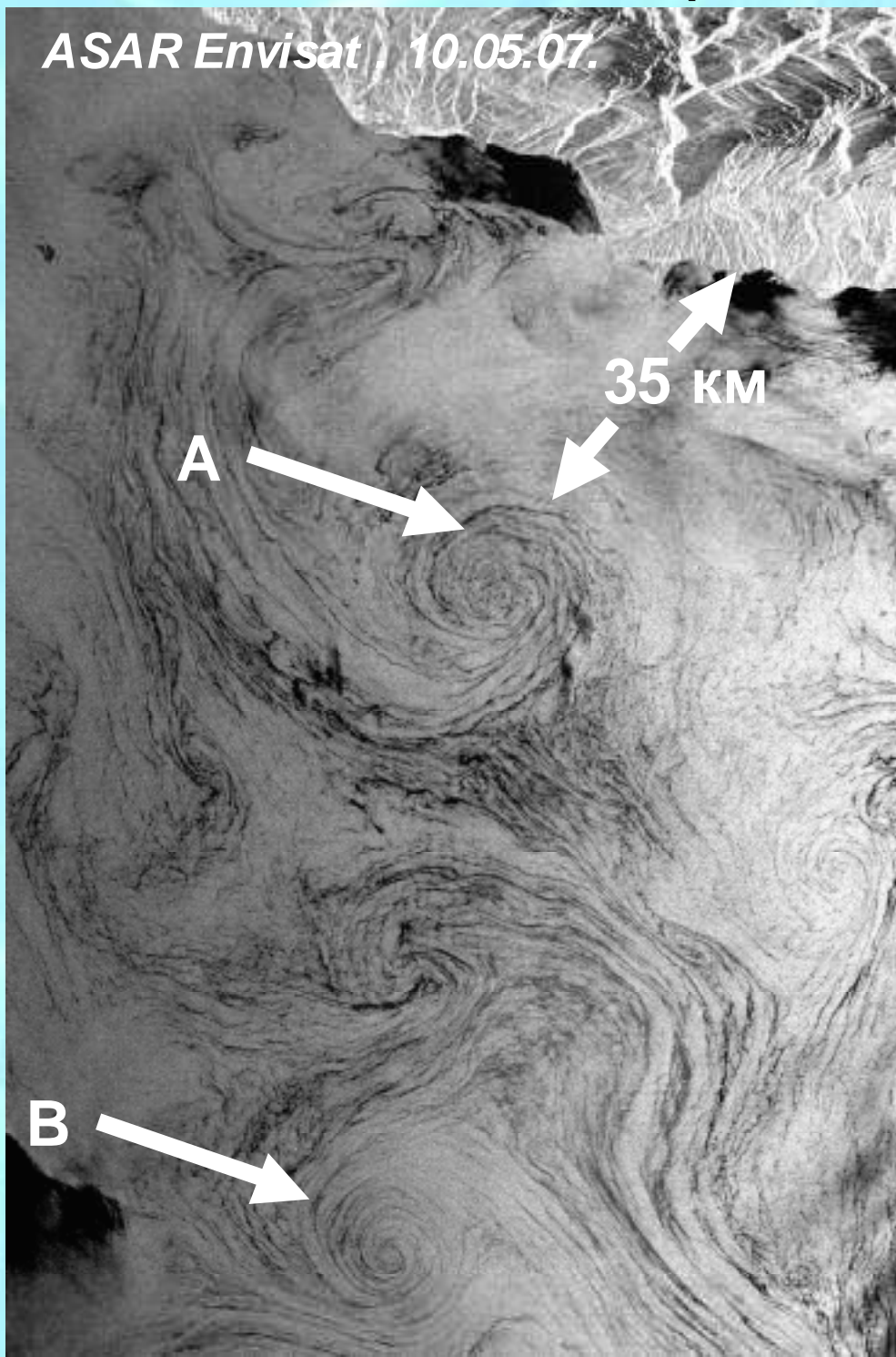
# Вихри в Геленджикской бухте



- **Закрытая бухта**
- **Большое количество поверхностных пленок.**
- **Процесс водообмена занимает 1-10 дней**
- **Вихри, попадающий в бухту при юго-восточном ветре играют значительную роль в процессе водообмена и являются важным фактором, влияющим на очищение бухты.**
- **Первоначальный диаметр 2-3 км**
- **Время жизни 1-10 дней**

# Вихри малых масштабов (весна-осень)

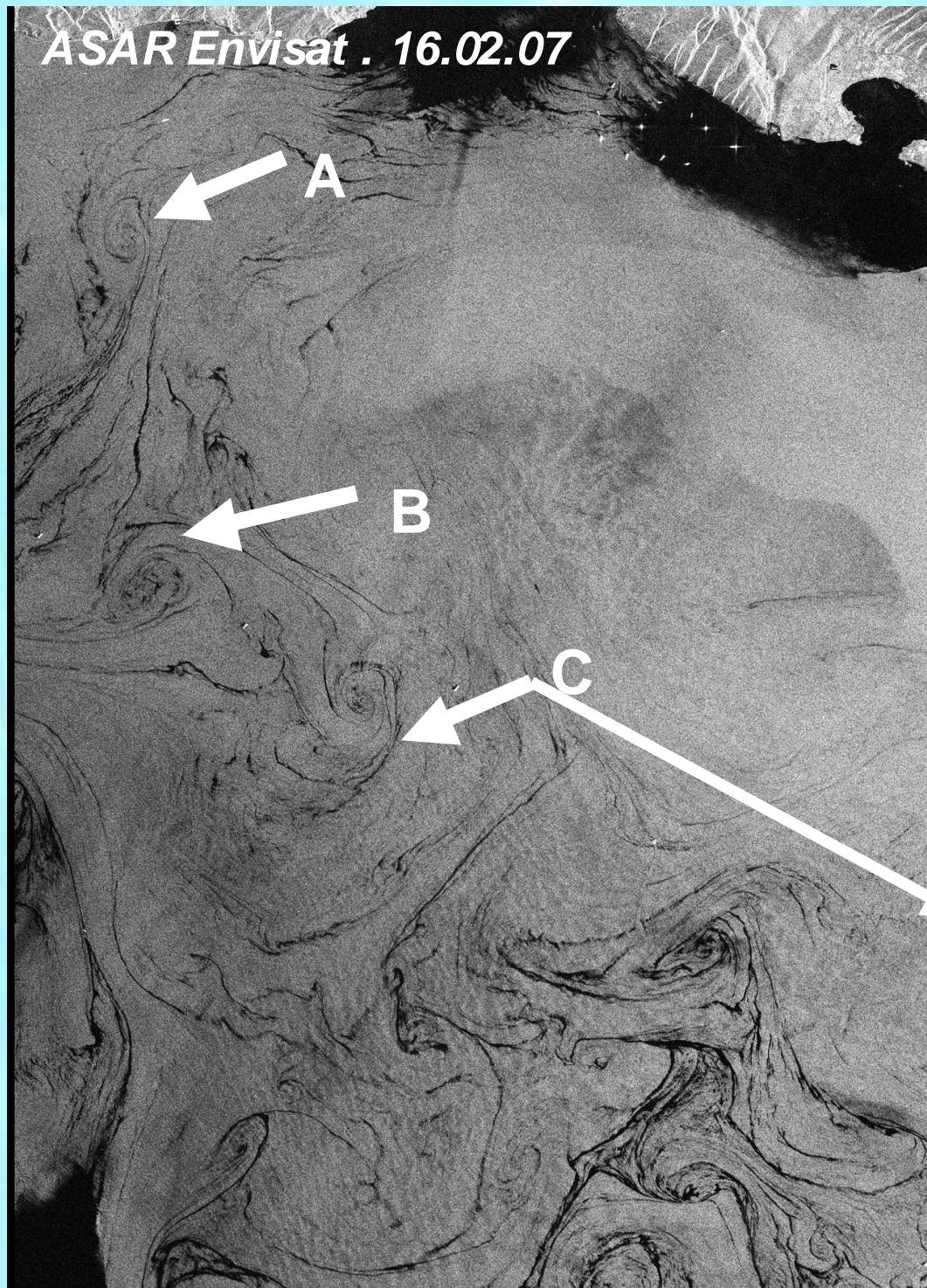
ASAR Envisat , 10.05.07.



**A - 22,5 км**

**B - 25 км**

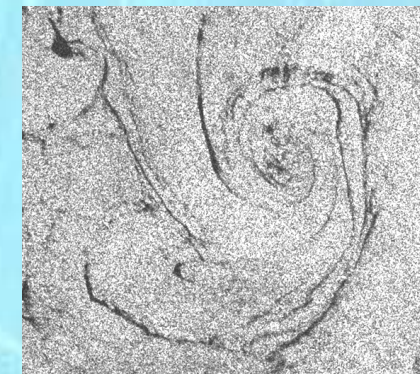
# Вихри малых масштабов (весна-осень)



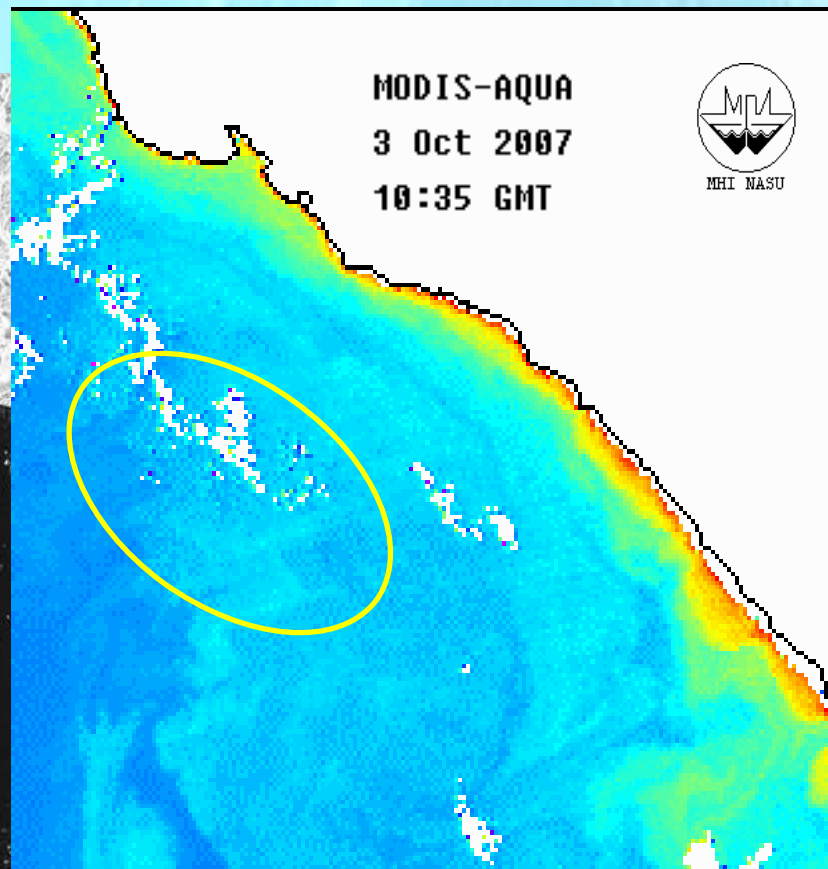
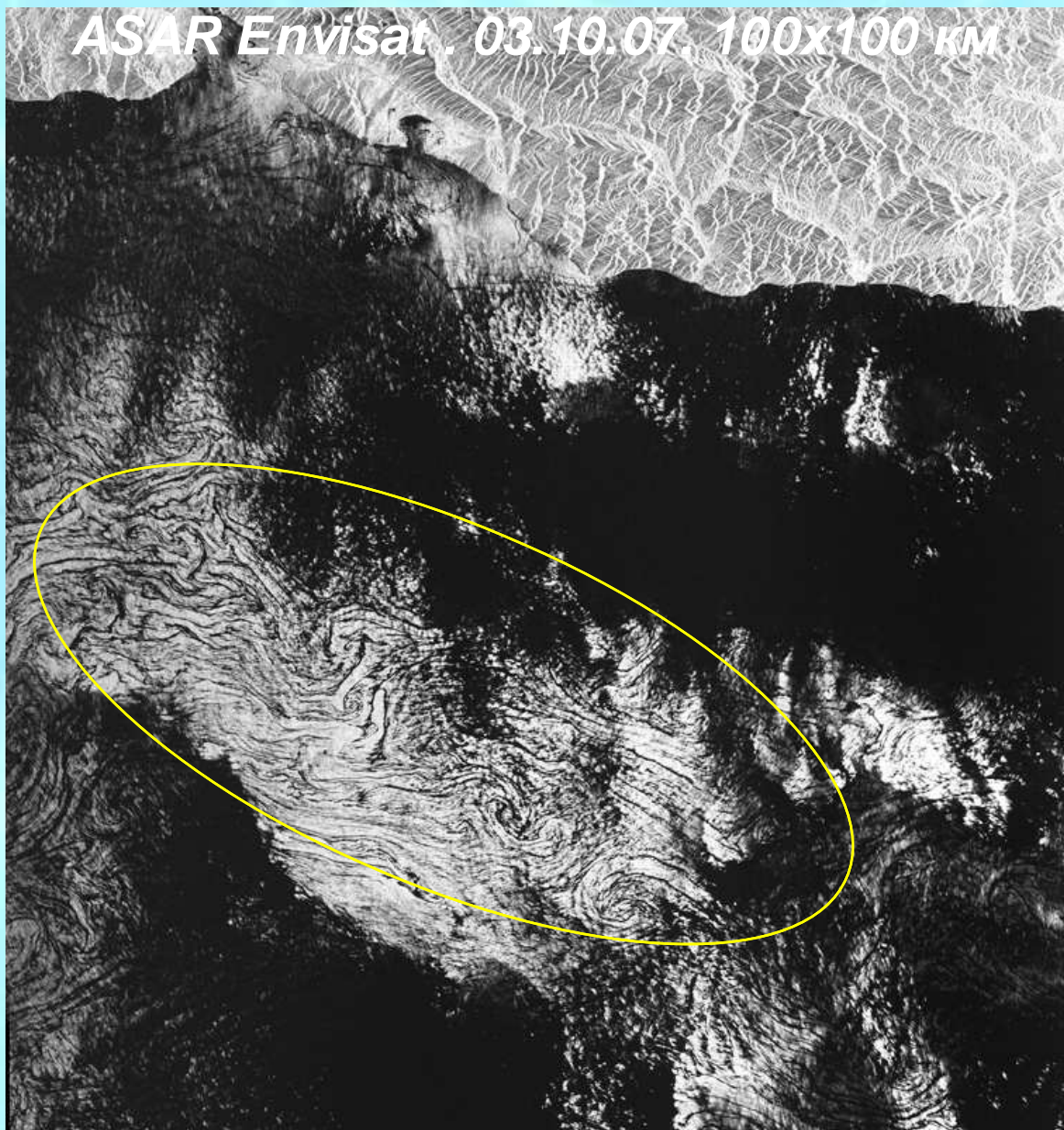
**A - 4,5 км**

**B - 5 км**

**C - 7x7 км**



# Вихри малых масштабов (весна-осень)



- Спиралевидные структуры
- Механизм проявления – концентрация поверхностных пленок в зонах конвергенции течений

### Летний период

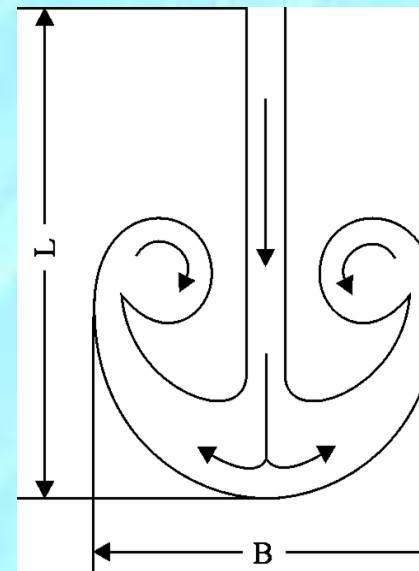
- Изолированные вихри
- Малые размеры 2-6 км
- Локализуются в непосредственной близости береговой черты
- Преимущественно циклонические
- Квази-двумерные структуры (?)
- Малое время жизни
- Вклад ветра в формирование ( прямой и опосредованный)

### Осенне-весенний период

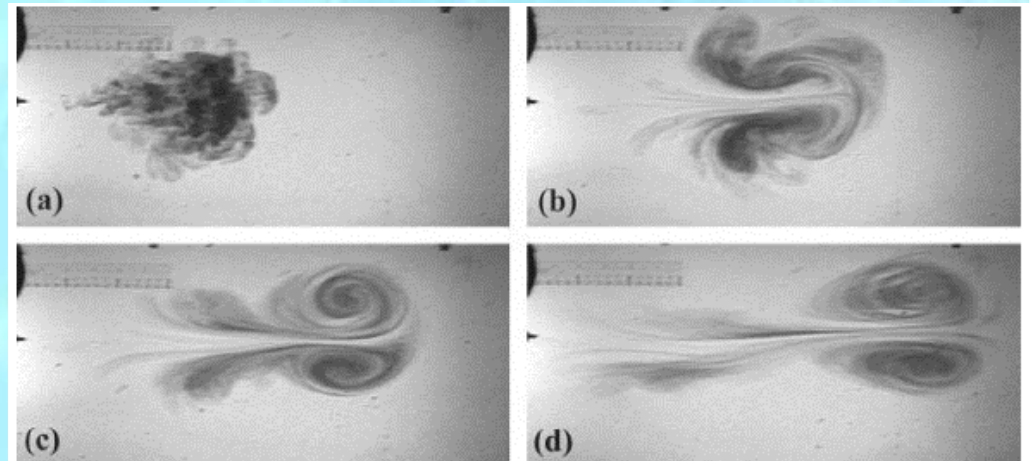
- Проявляются как совокупность вихрей – вихревые кластеры
- Размеры 4-30 км
- На границе ОЧТ
- Присутствуют и циклонические и антициклонические вихри
- Осуществляют как горизонтальное, так и вертикальное перемешивание
- Больше время жизни
- Меандрирование течения и разрушение вихрей большего масштаба

# Вихревые диполи

- Квазисимметричные структуры, сочетающие узкую струю с парой вихрей противоположного знака на конце
- возникают при локальном кратковременном приложении импульса к поверхности или приповерхностному слою воды
- являются эффективным механизмом горизонтального перемешивания
- способны переносить на большие расстояния скалярные характеристики (солевые, тепловые и биологические составляющие водной массы)
- играют важную роль в обмене между шельфовой и глубоководной зонами
- На данных дистанционного зондирования вихревые диполи проявляются благодаря естественным поверхностным трассерам различного происхождения

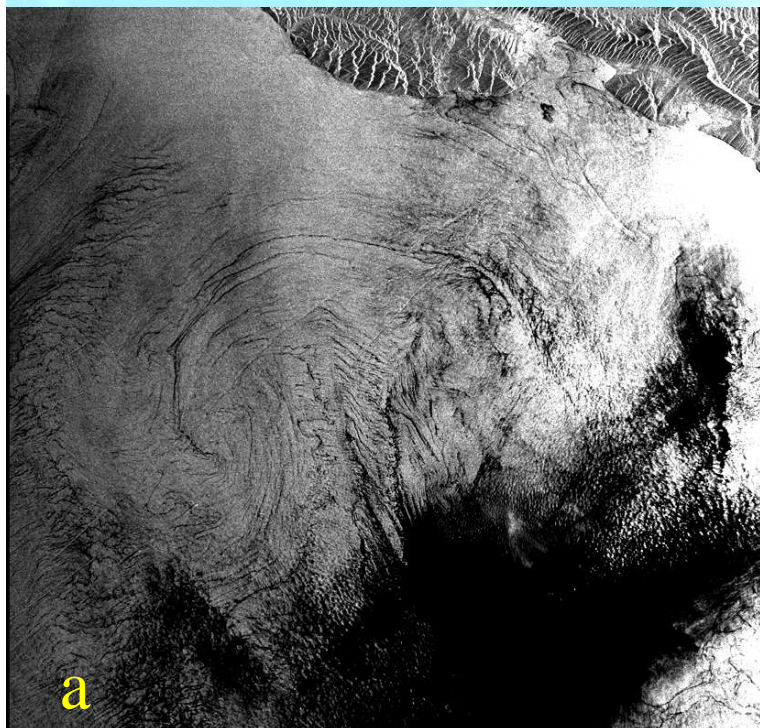


- $L$  - длина струи
- $B$  - размер вихревой пары
- $L \sim B$
- Ширина струи  $B < 10-25\%$  от  $L$



Формирование вихревого диполя в стратифицированном сдвиговом течении. Эксперимент в бассейне. (Voropaev et al., 2001)

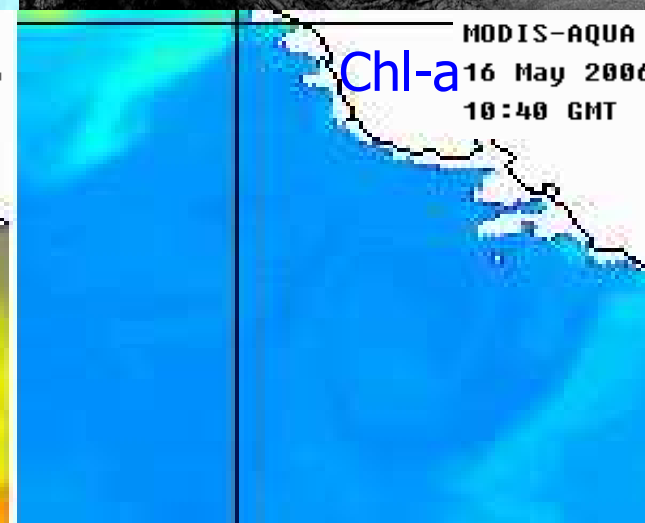
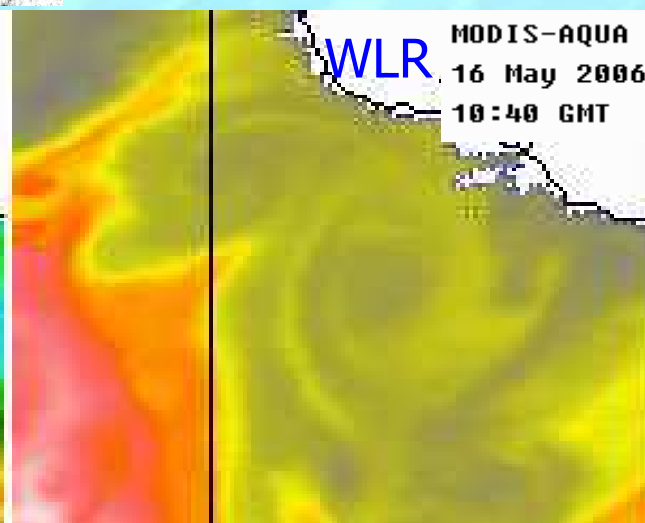
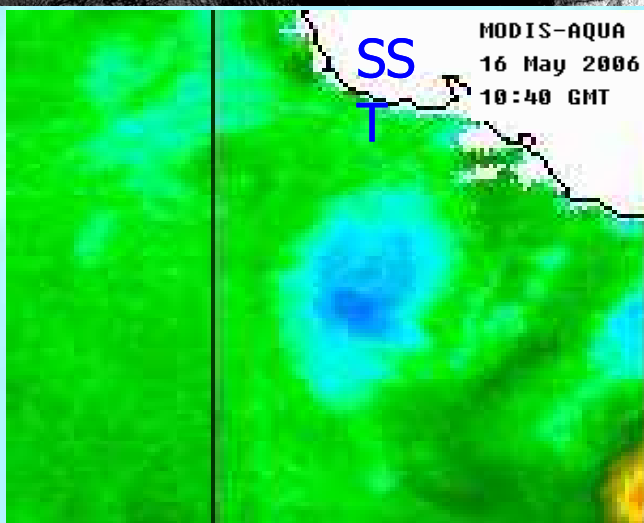
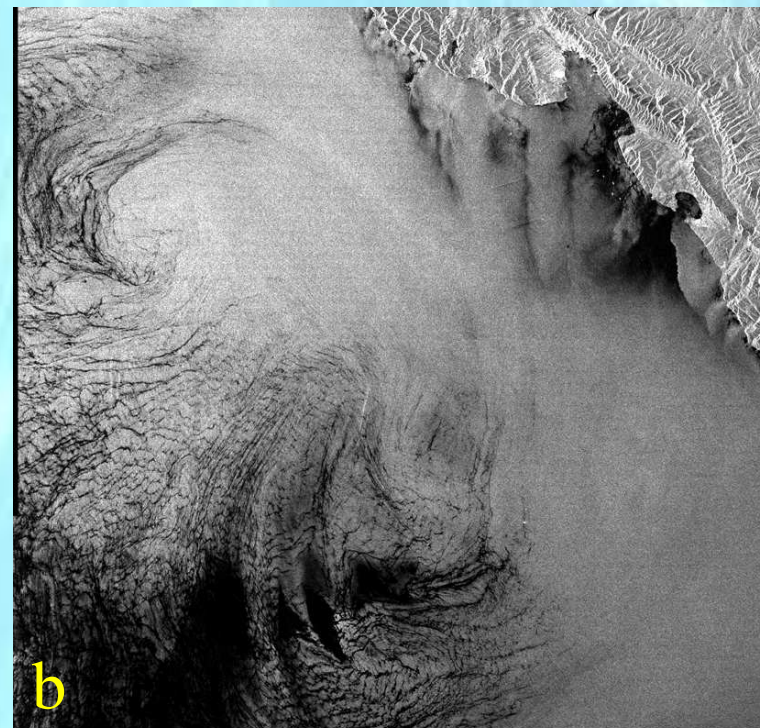
# Вихревые диполи



Грибовидное течение,  
визуализируемое сликами.  
Envisat ASAR VV-поляризация,  
19 июня 2006

a) 07:52 UTC  
b) 19:10 UTC

Этот вихревой диполь  
проявился на изображениях  
MODIS Aqua от 20.06.06

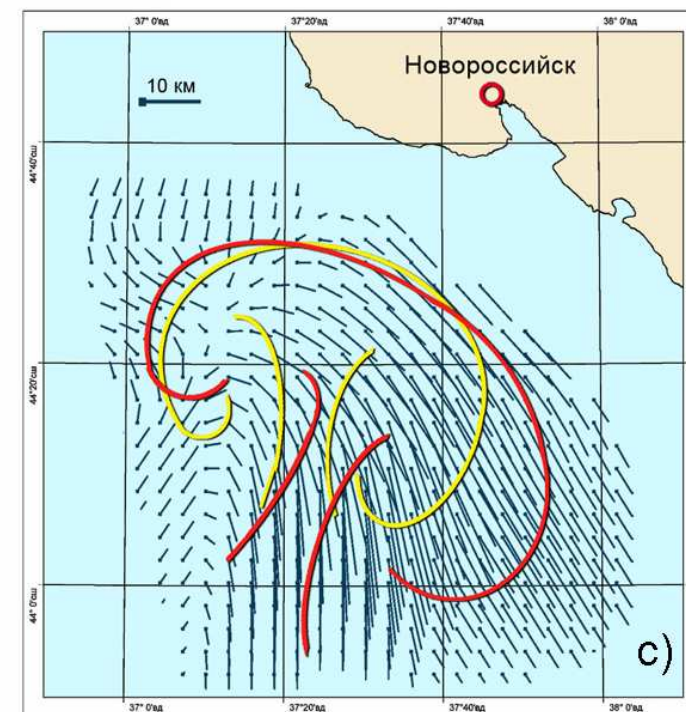
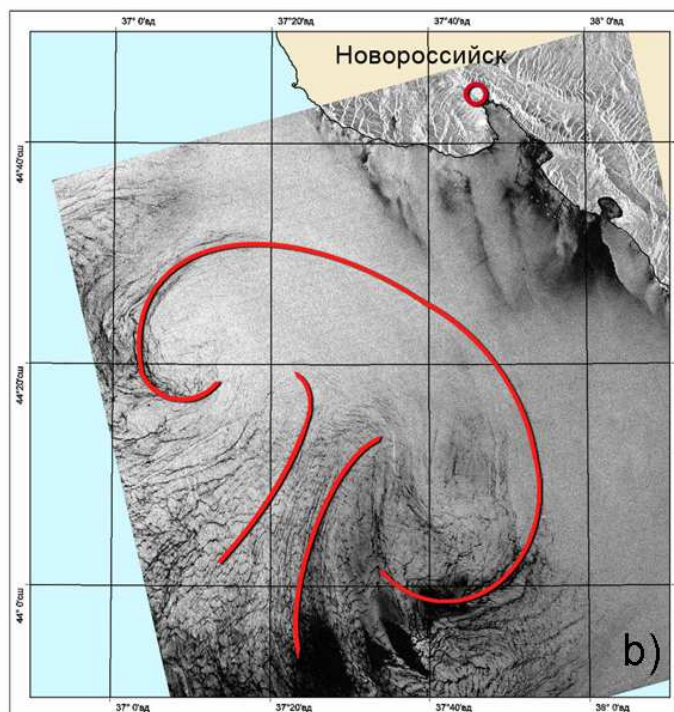
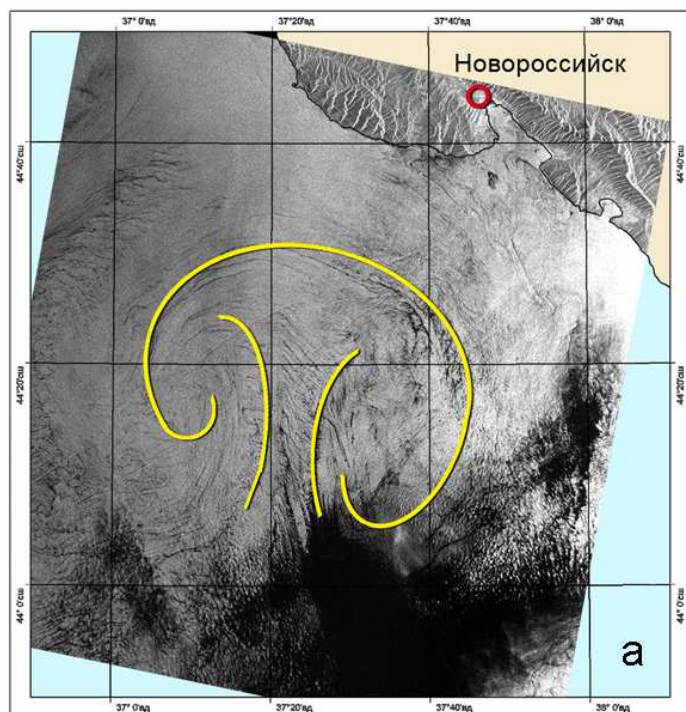


Максимальные концентрации хлорофилла примерно соответствуют  
конвергентным зонам грибовидных структур

Температурные контрасты - более размытые и слабо выраженные



**Пример определения скорости и направления локального поля  
поверхностных скоростей, связанных с вихревым диполем, по данным  
двух радиолокационных изображений, полученных с интервалом 11 часов**



**ИС3 Envisat, ASAR 19.06.2006.  
07:52 GMT**

**ИС3 Envisat, ASAR  
19.06.2006. 19:10 GMT**

**Карта –схема перемещения  
вихревого диполя**

$$L_1 = 62 \text{ км}$$

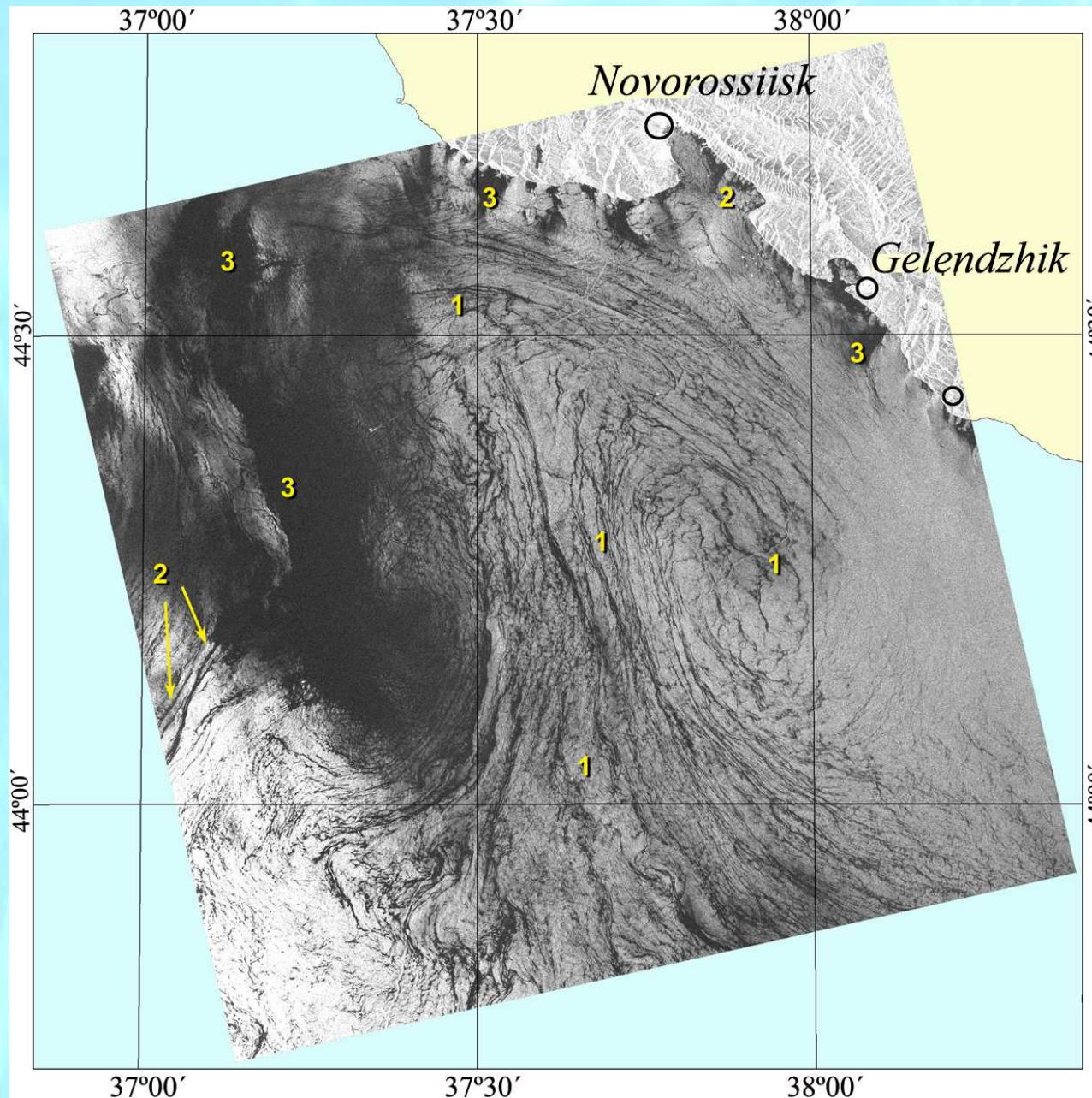
$$V_1 = 67 \text{ км}$$

$$L_2 = 78 \text{ км}$$

$$V_2 = 278 \text{ км}$$

**Скорость перемещения циклонической составляющей диполя  
0.05-0.1 м/сек в направлении СВ, антициклонической – 0,2-0,3  
м/сек в направлении ЮВ**

# Вихревые диполи



**L= 87,5 км**

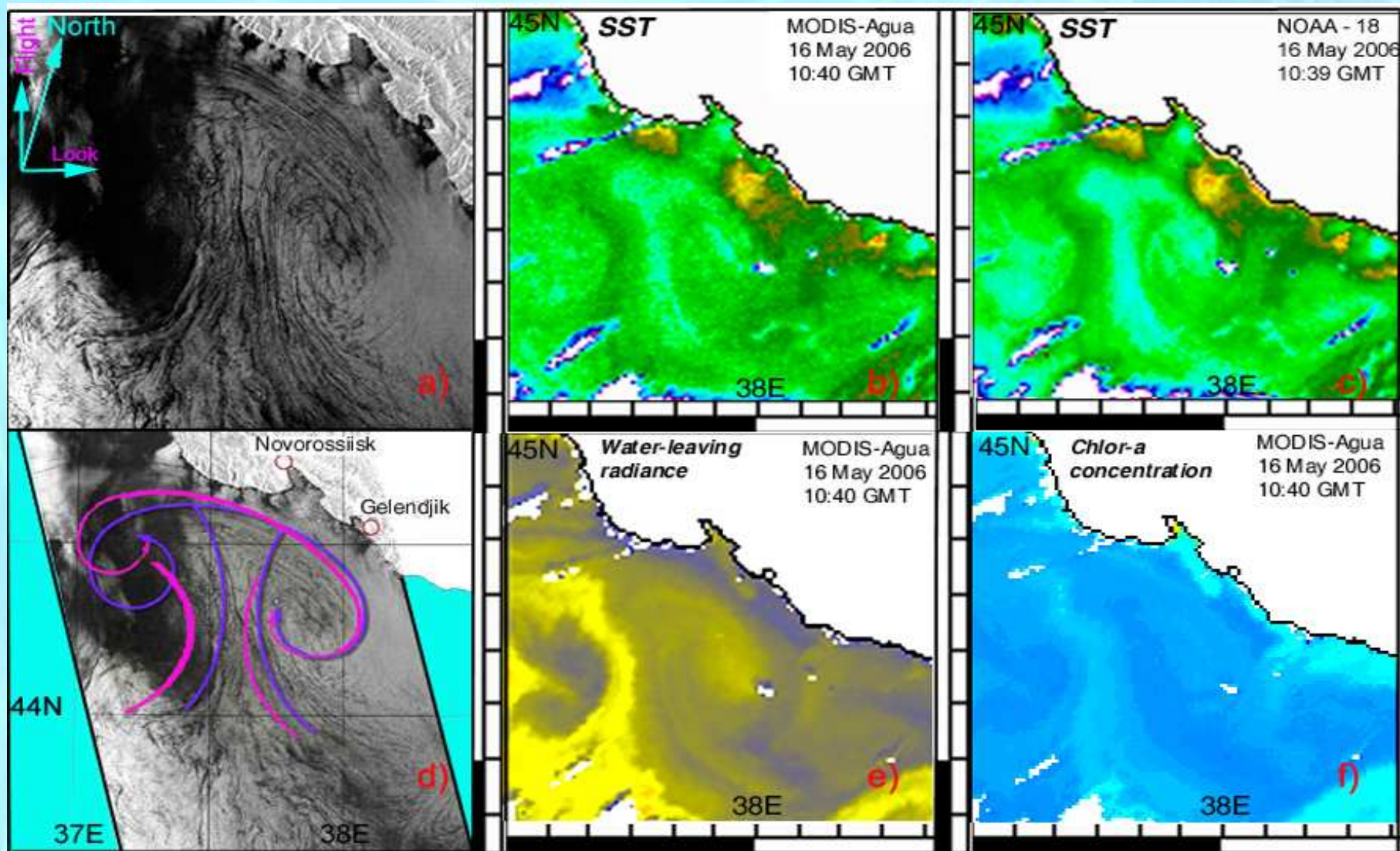
**B=65 км**

*Envisat ASAR. 15.05.06*

*Вихревой диполь, визуализируемый сликами поверхностно-активных веществ*

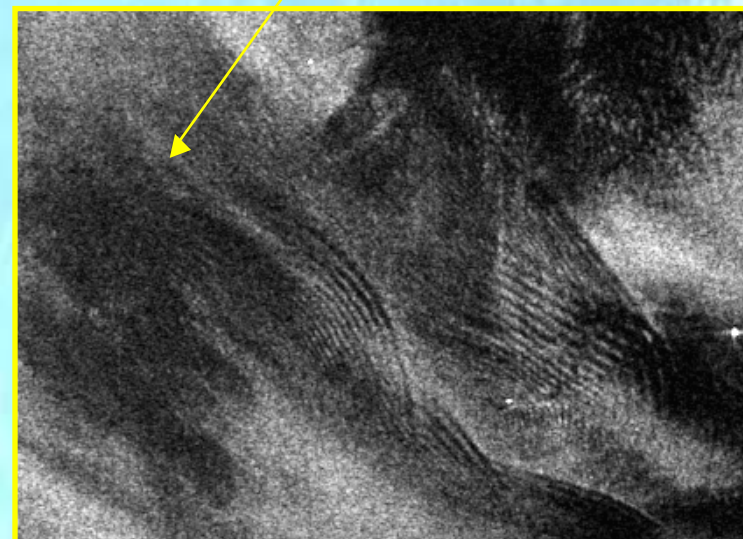
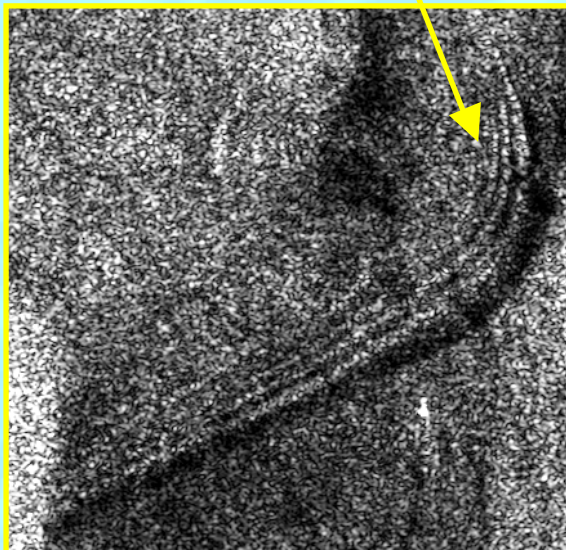
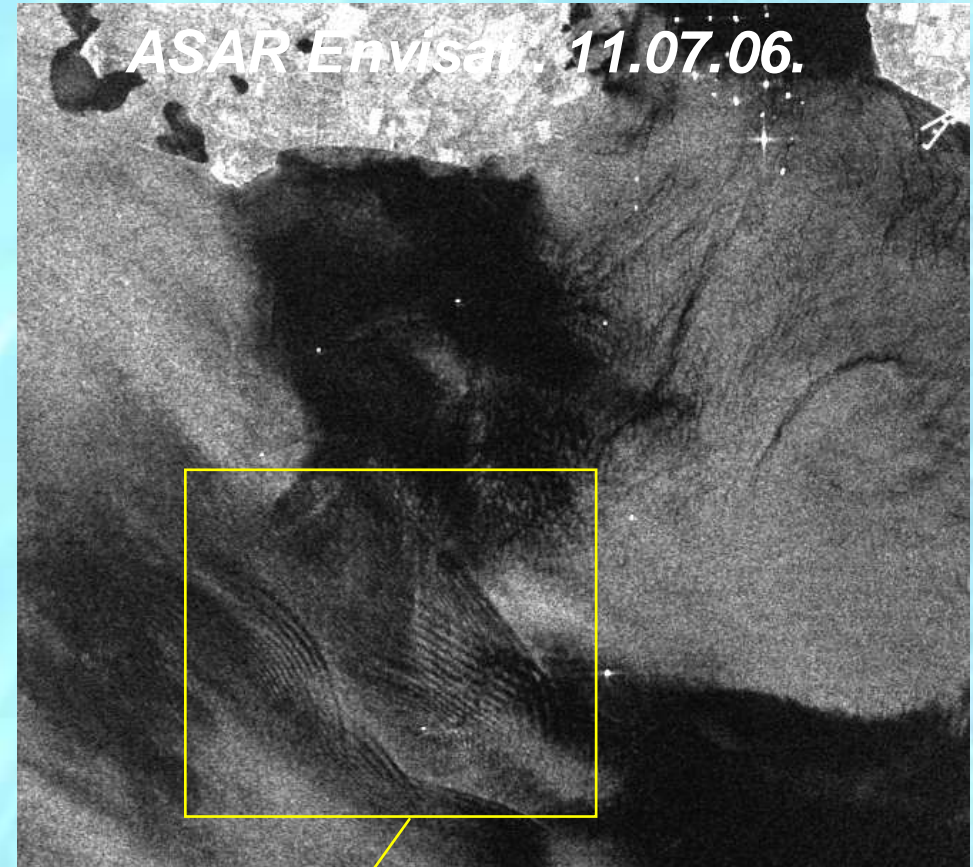
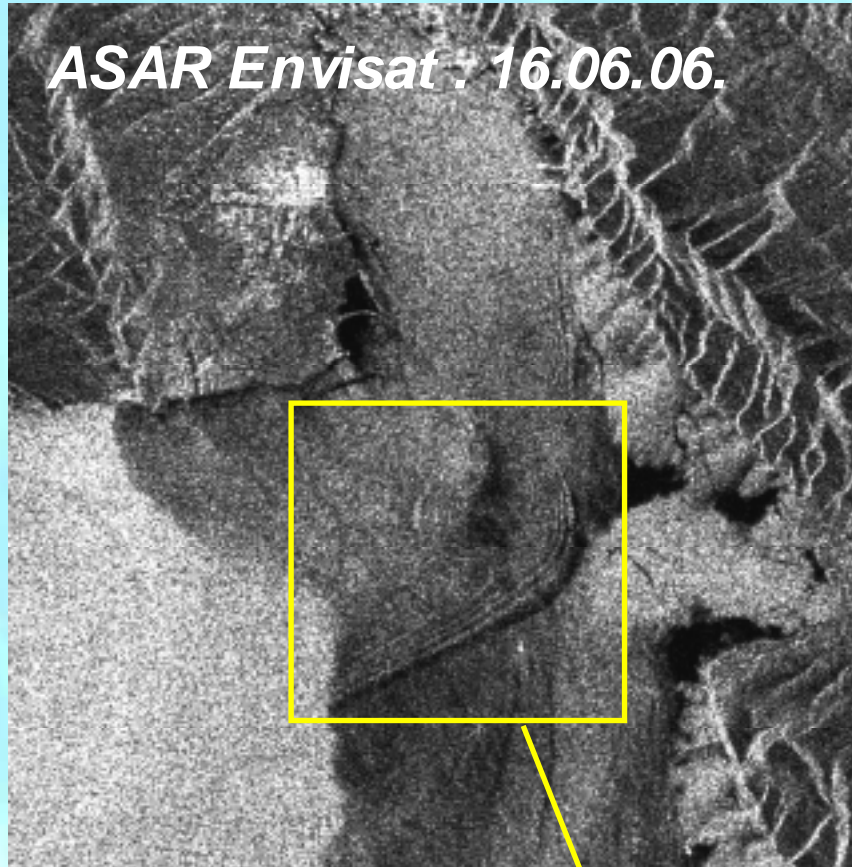


# Вихревые диполи

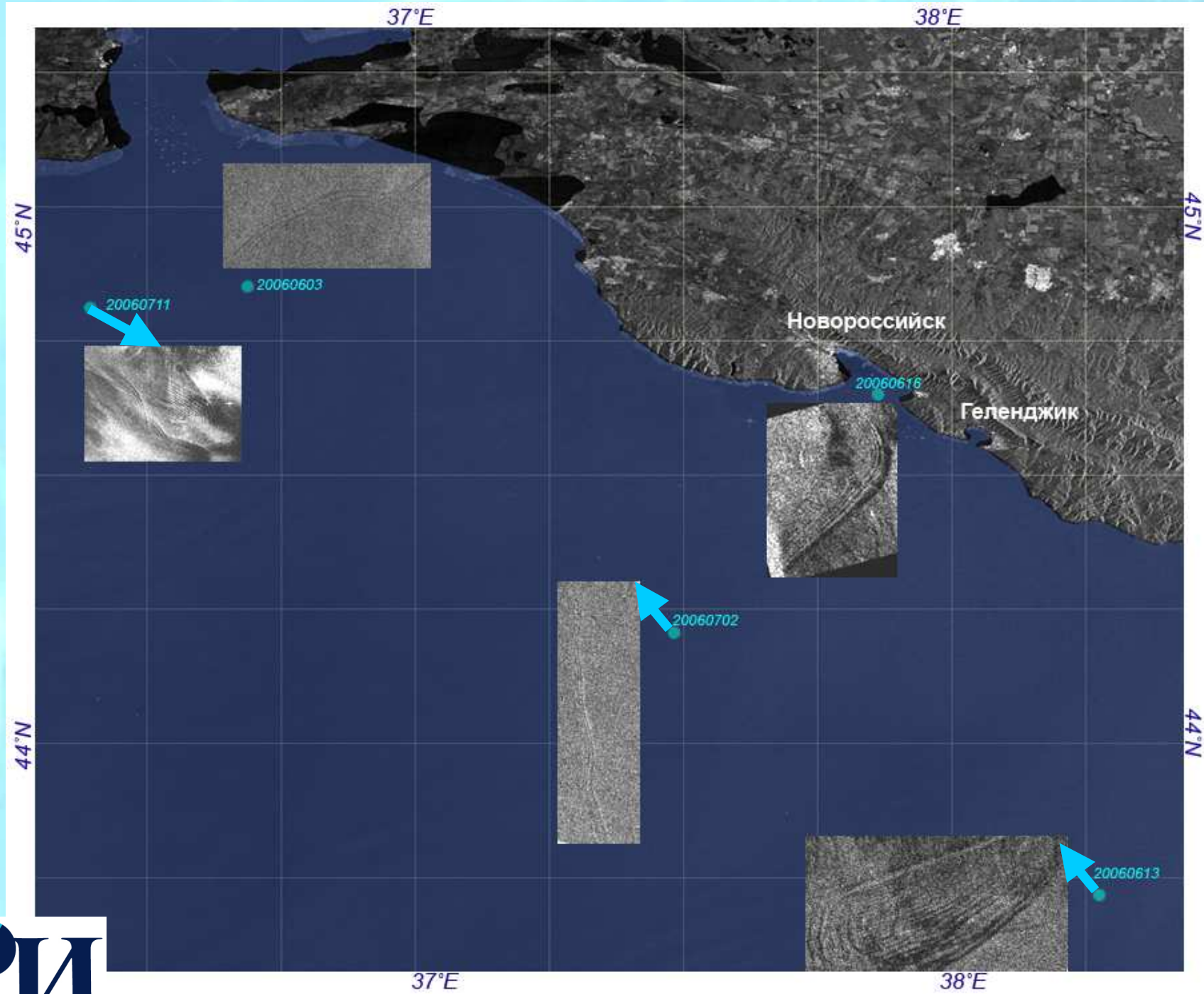


- a) Вихревой диполь, визуализируемый снимками поверхностно-активных веществ. Envisat ASAR 15.05.06;
- b) поле поверхностной температуры, восстановленное из данных MODIS Aqua;
- c) поле поверхностной температуры, восстановленное из данных AVHRR NOAA от 16.05.06;
- d) Схематическое изображение развития вихревого диполя (сиреневый – ASAR Envisat; розовый – MODIS Aqua);
- e) карта WLR, восстановленная из данных MODIS Aqua от 16 мая 2006;
- f) Концентрация хлорофилла-а восстановленная из данных MODIS Aqua от 16 мая 2006

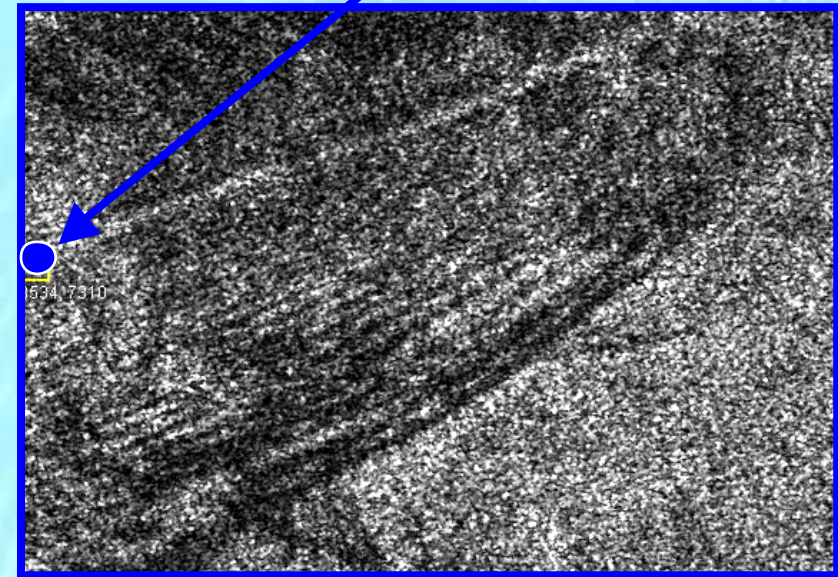
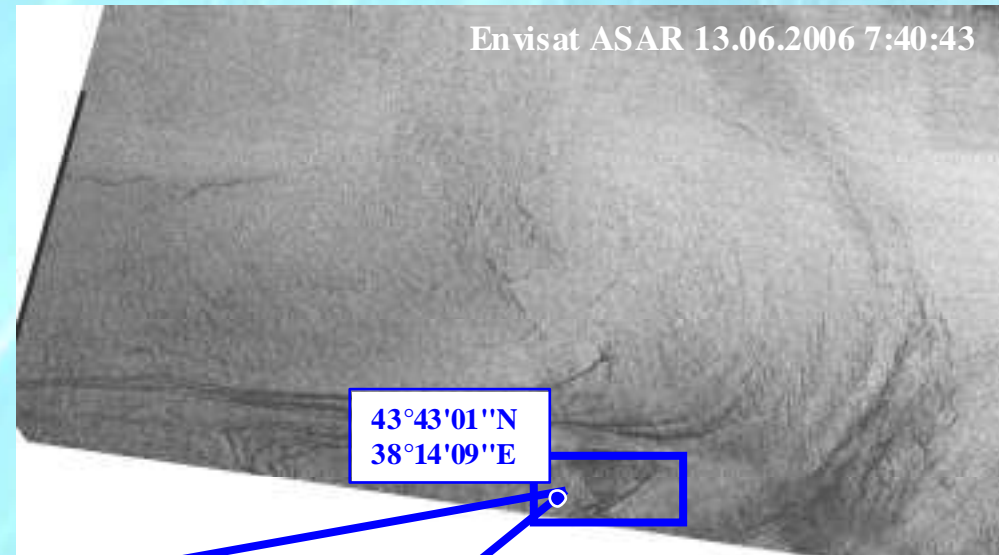
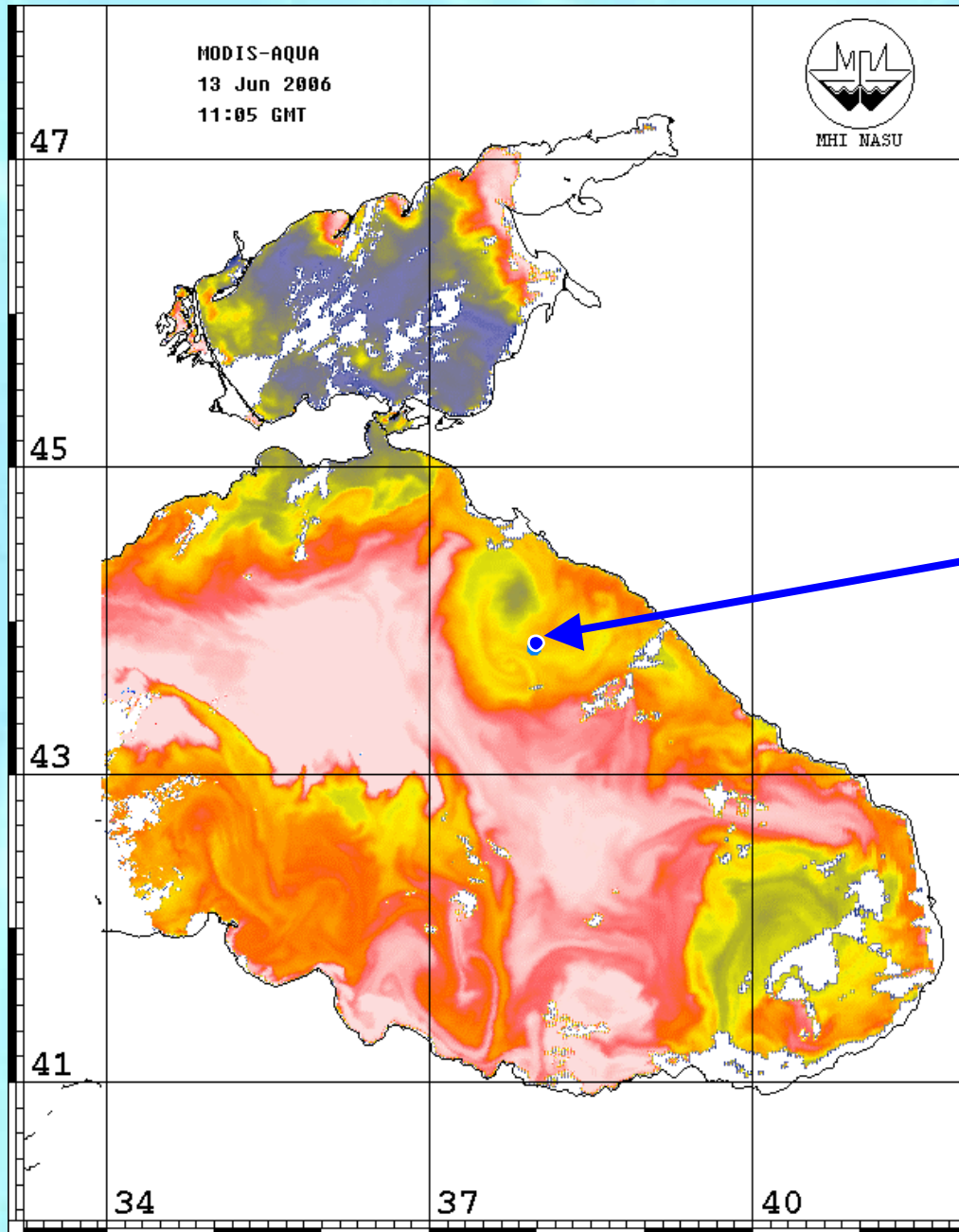
Поверхностные проявления внутренних волн в северо-восточной части Черного моря, выявленные по данным спутниковой радиолокации



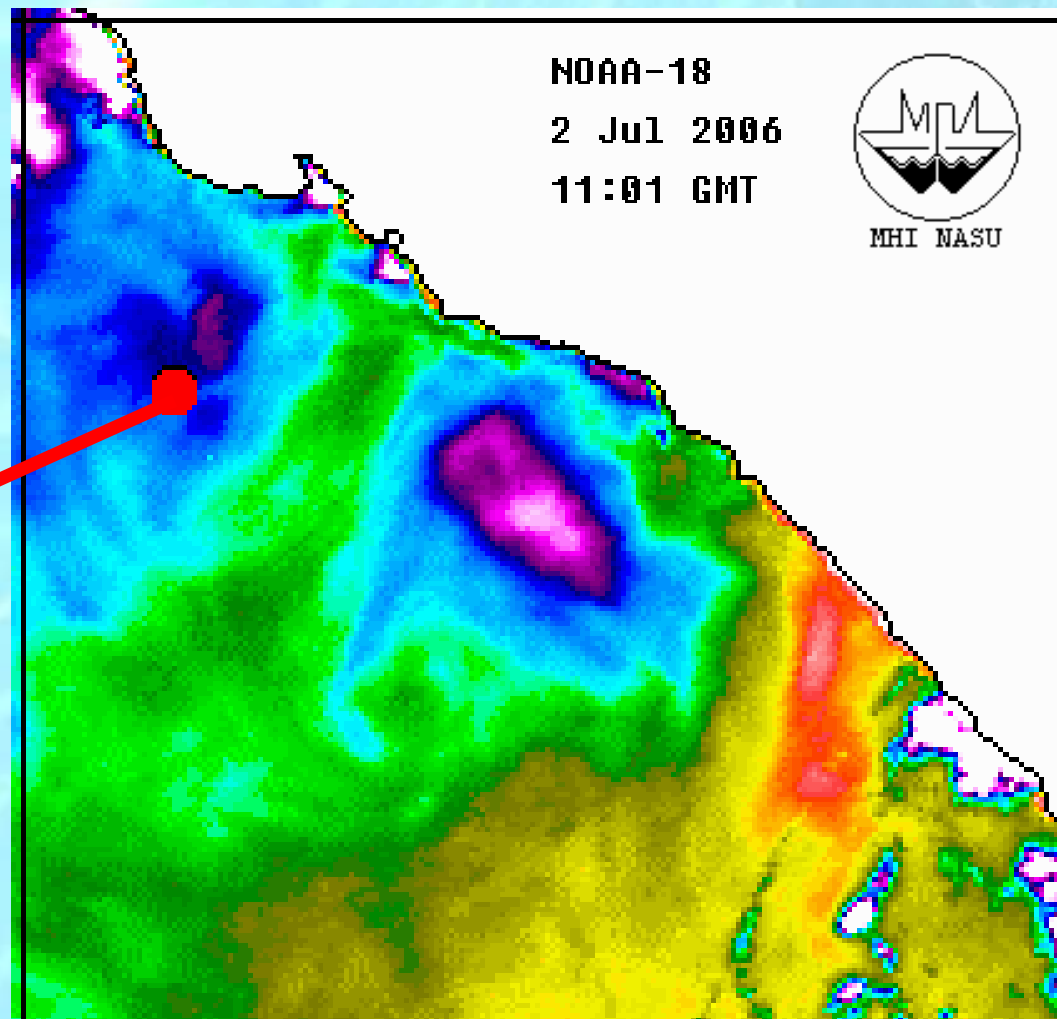
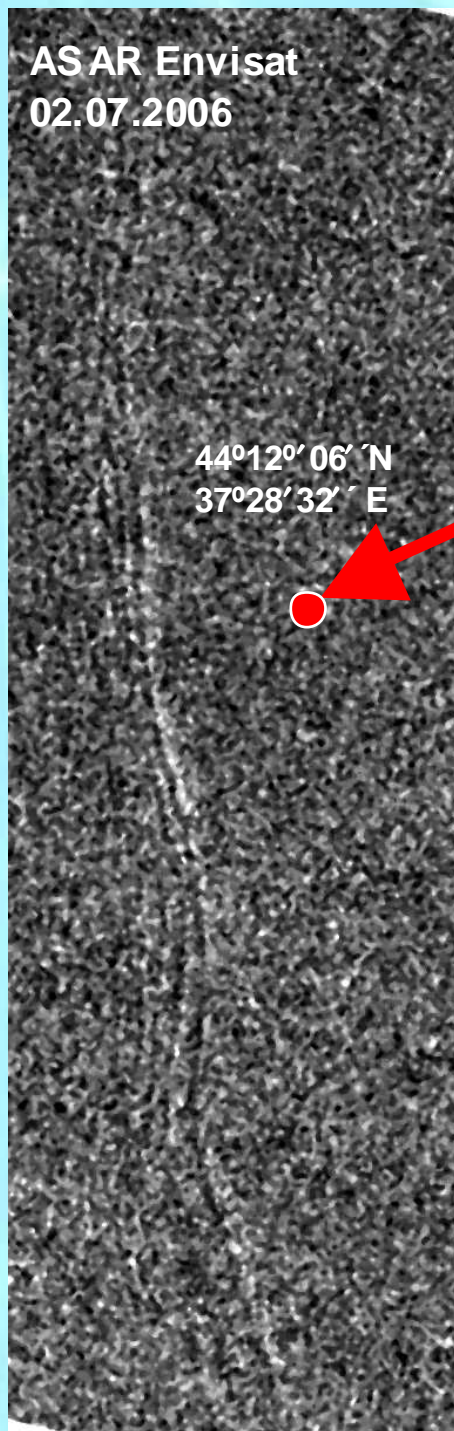
# Поверхностные проявления внутренних волн в северо-восточной части Черного моря, выявленные по данным спутниковой радиолокации



# Поверхностные проявления океанических внутренних волн



# Поверхностные проявления океанических внутренних волн



**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ**