



*Субмезомасштабные
процессы у побережья Крыма по
измерениям спутников Landsat и MODIS*

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.

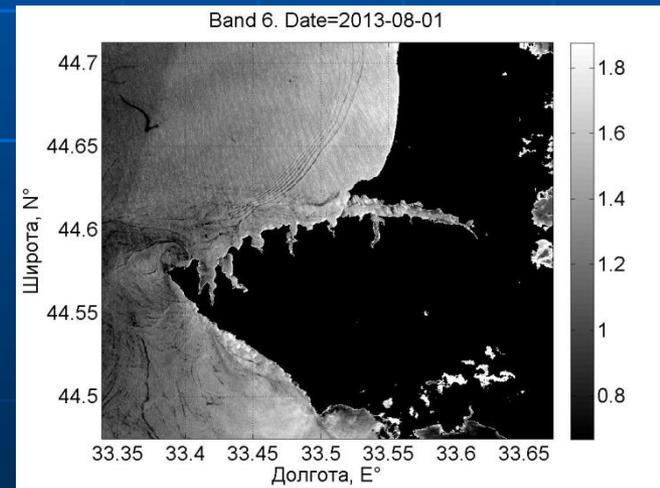
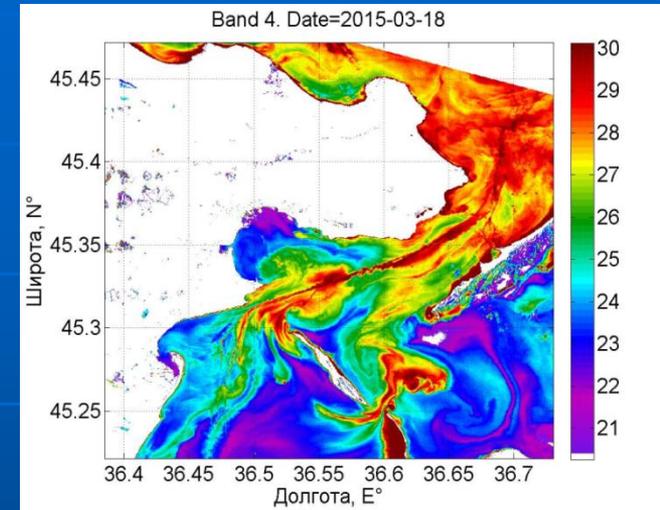
14 Открытая Всероссийская конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
г. Севастополь 2016

С появлением спутников с высоким пространственным разрешением стало возможно **исследование субмезомасштабных и мелкомасштабных процессов** (размерами 100 метров - 10 км) за длительный период

Эти процессы значительно влияют на перемешивание и горизонтальный обмен, перенос тепла, соли, биогенов. Субмезомасштабные процессы важны для понимания диссипации энергии крупномасштабных и синоптических движений.

Хорошим **трассером** для их изучения является взвешенное вещество.

Потоки взвешенного вещества является хорошим **индикатором мест размывания и аккумуляции** берегов.



Цель работы - исследование субмезомасштабных процессов в прибрежных районах Черноморского региона и их влияние на пространственно-временное распределение температурных и оптических характеристик морской поверхности.

Данные

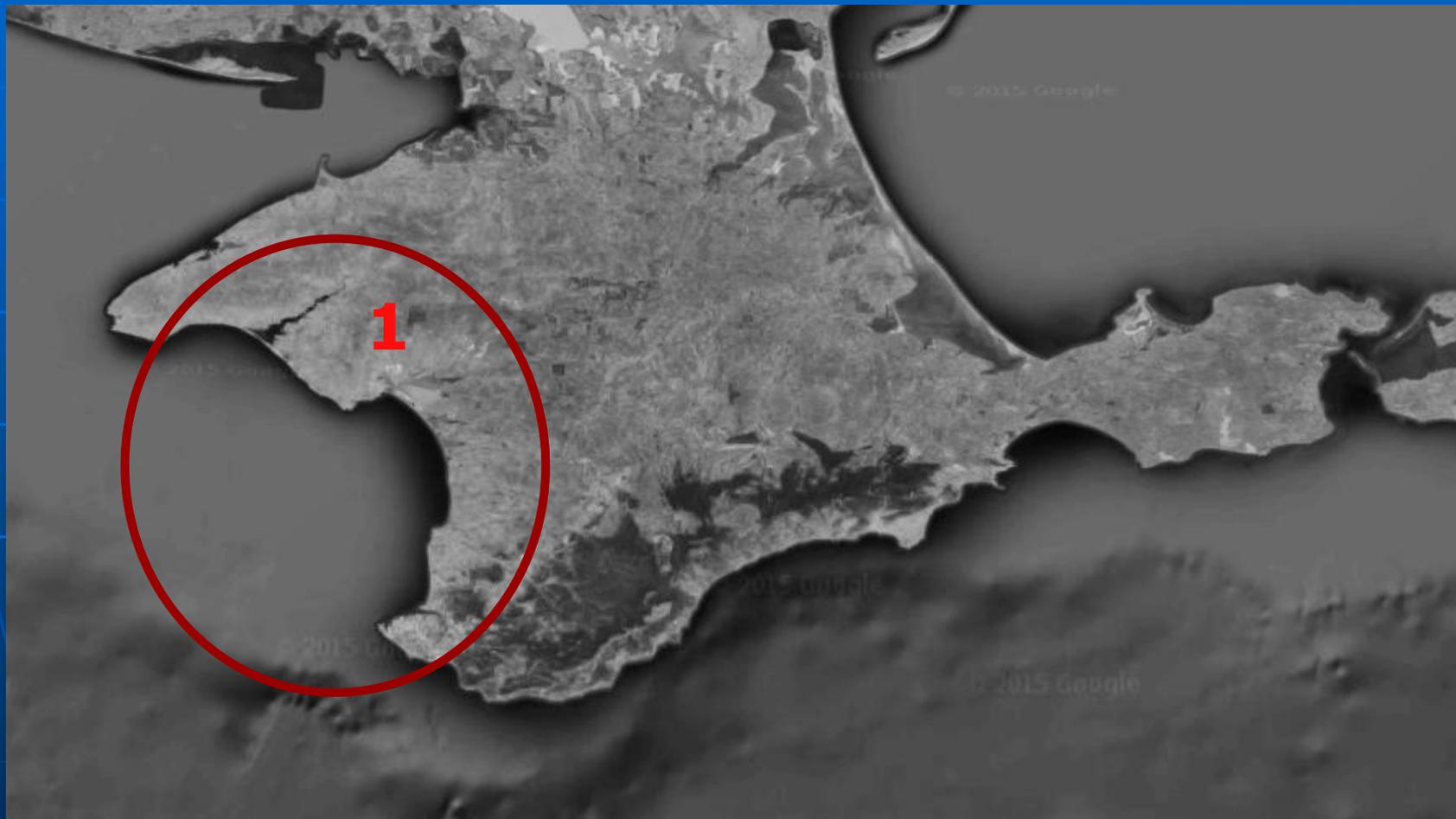
Использовались данные со спутников **Landsat** 4,5,7 и 8 за более, чем 30 период (с 1983-по наст. время, всего 1500 сцен) и измерения прибора **MODIS** с 2001 года Level 2.

Спутники **Landsat** 7 и 8 имеет пространственное разрешение **15-30 м** для видимого и **60-100 м** для теплового ИК.

Спутники **Landsat** 4 и 5 - **30 м** для видимого излучения и **80 м** для ИК

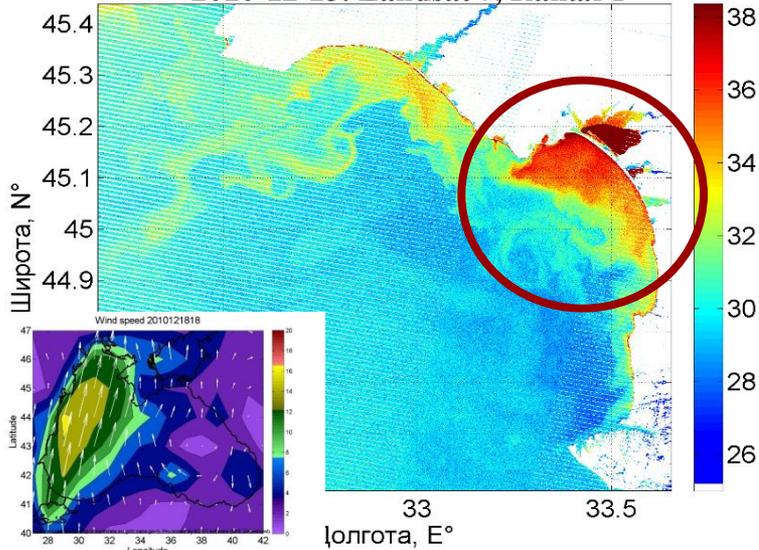
Пространственное разрешение для прибора **MODIS** составляло **1 км** для видимого диапазона.

Западный берег Крыма



Каламитский залив

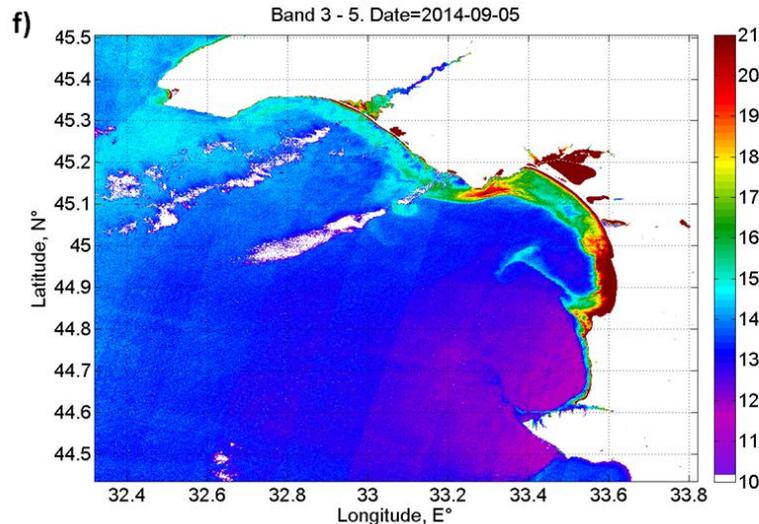
2010-12-23. Landsat 7, Канал 1



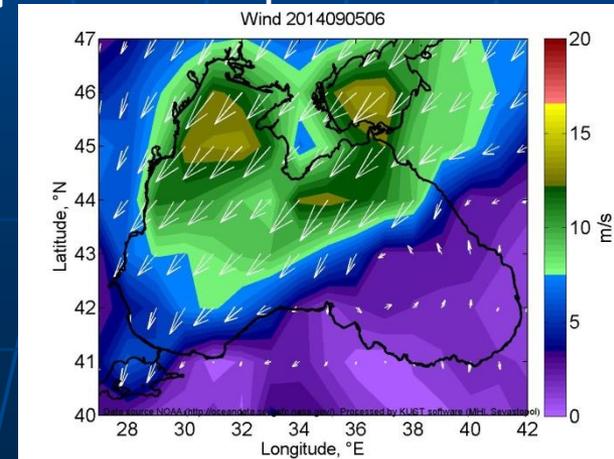
При действии **южных штормов** взмученные воды концентрируются в районе Каламитского залива.

Здесь береговая линия у м. Евпаторийский меняет свое направление и препятствует движению взвешенного вещества на север.

Часть взвешенного вещества продвигается далее на север, за м. Евпаторийский, в виде достаточно широкой прибрежной струи мутных вод.



Подобное движение взвешенного вещества наблюдается и при **северо-восточных штормовых ветрах**



Мыс Евпаторийский

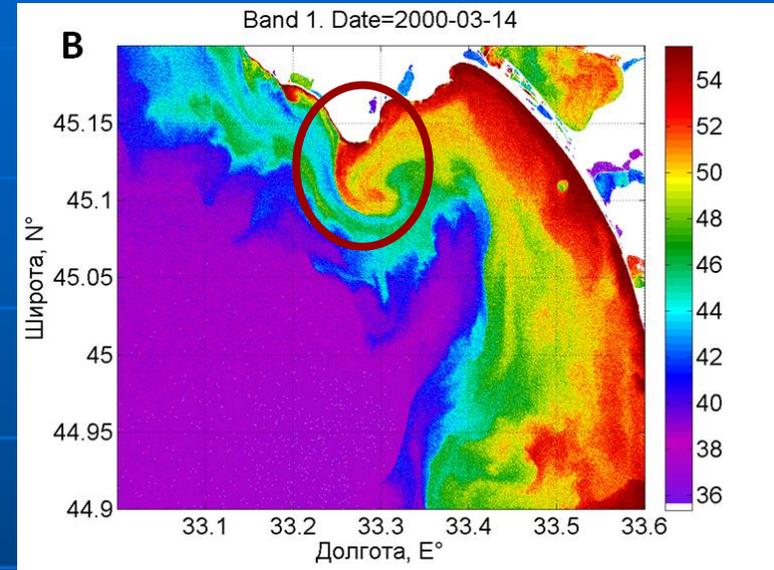
образование грибовидных структур



23 сентября 2009 г.,
снимок со спутника
Landsat 5

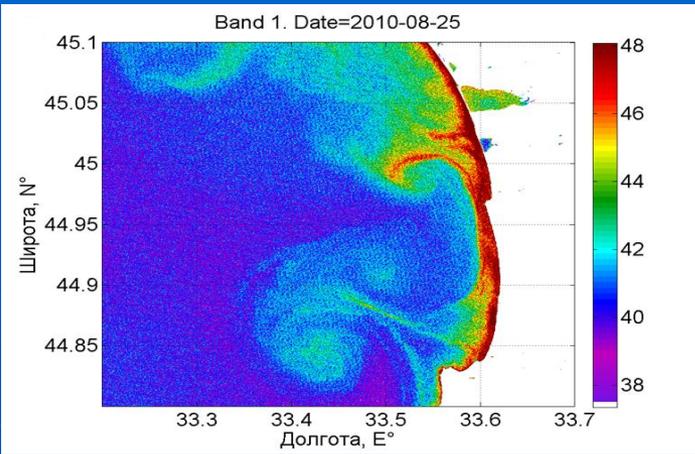


16 февраля 2002 г.,
снимок со спутника
Landsat 7

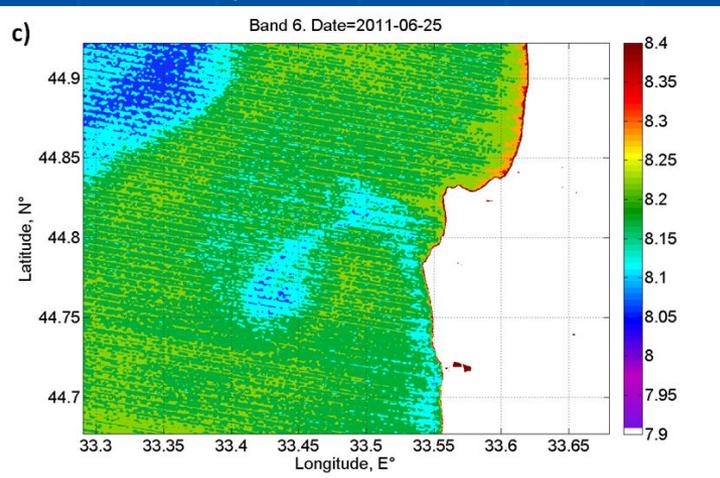


14 марта 2000 г.,
по данным Landsat 7

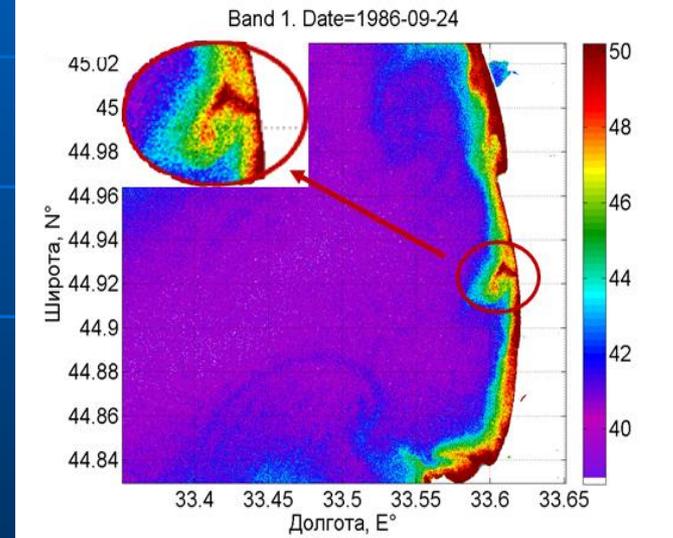
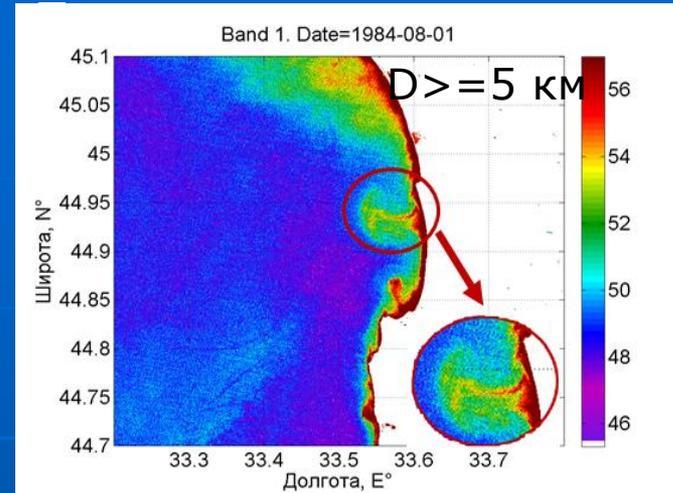
Побережье у поселка Николаевка и мыса Лукулл



Генерация грибовидных структур, образование которых связано с возникающим сдвигом течений

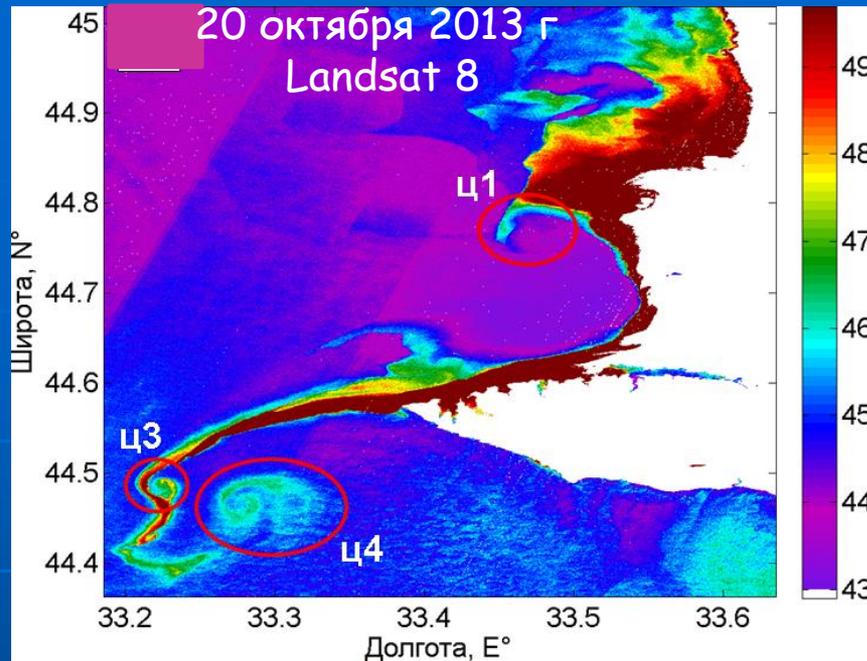


Образующиеся вихри характеризуются пониженными значениями температуры в их ядрах, поэтому их также можно наблюдать и на картах яркостной температуры в ИК-канале

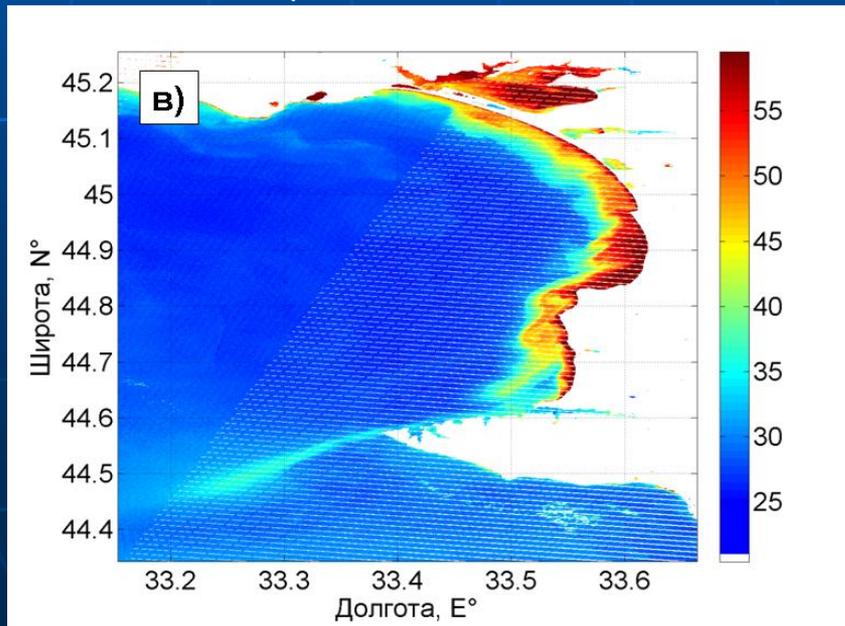


Интенсивная струя впадающих речных вод может вызывать возникновение грибовидных структур небольшого размера, около 1-4 км

Севастопольская бухта и мыс Херсонес.



14 августа 2003 г Landsat 7



Наблюдается образование мощного вдольберегового течения шириной ~ 1 км и интенсивное распространение взвеси в южном направлении.

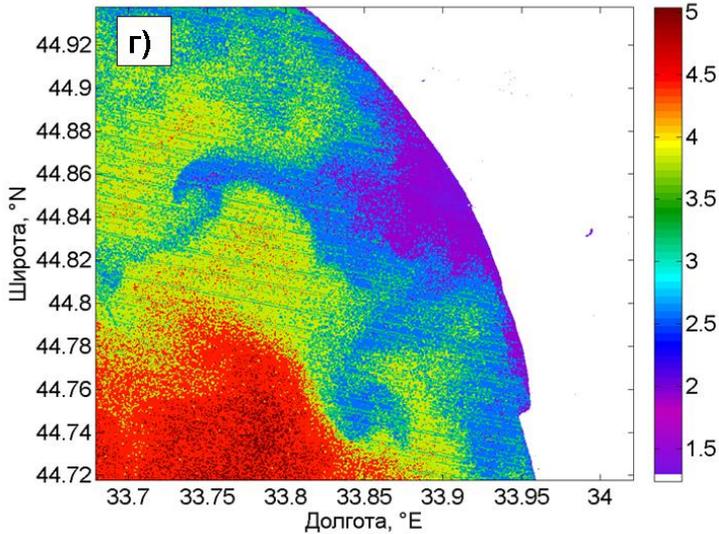
Часть мутных вод задерживается у топографического препятствия - м. Лукулл, а часть выносится вместе с течением в открытое море на значительное расстояние от берега (трассер наблюдается на расстояниях до 50 км).

Взвешенное вещество в этом районе открытого моря с большой вероятностью будет подхвачено основным черноморским течением, и не будет возвращено к берегам Крыма.

Образование выносов вдоль всего побережья западного Крыма

18 января 2003 года

10.40-12.50 μm . 2003-01-18

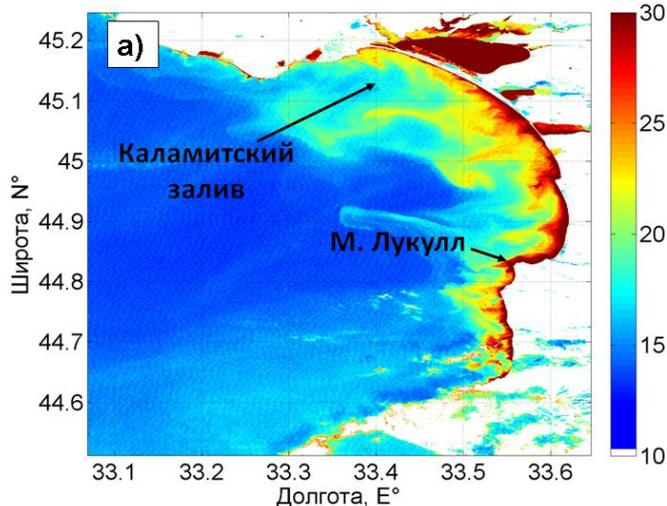


При действии западного штормового ветра возникает сложная температурная структура на западном побережье Крыма, которая хорошо видна в поле яркостной температуры.

По мере развития релаксации нагона на его периферии наблюдается образование **циклонических вихрей** и ряда **филамент** расположенных с определенной периодичностью.

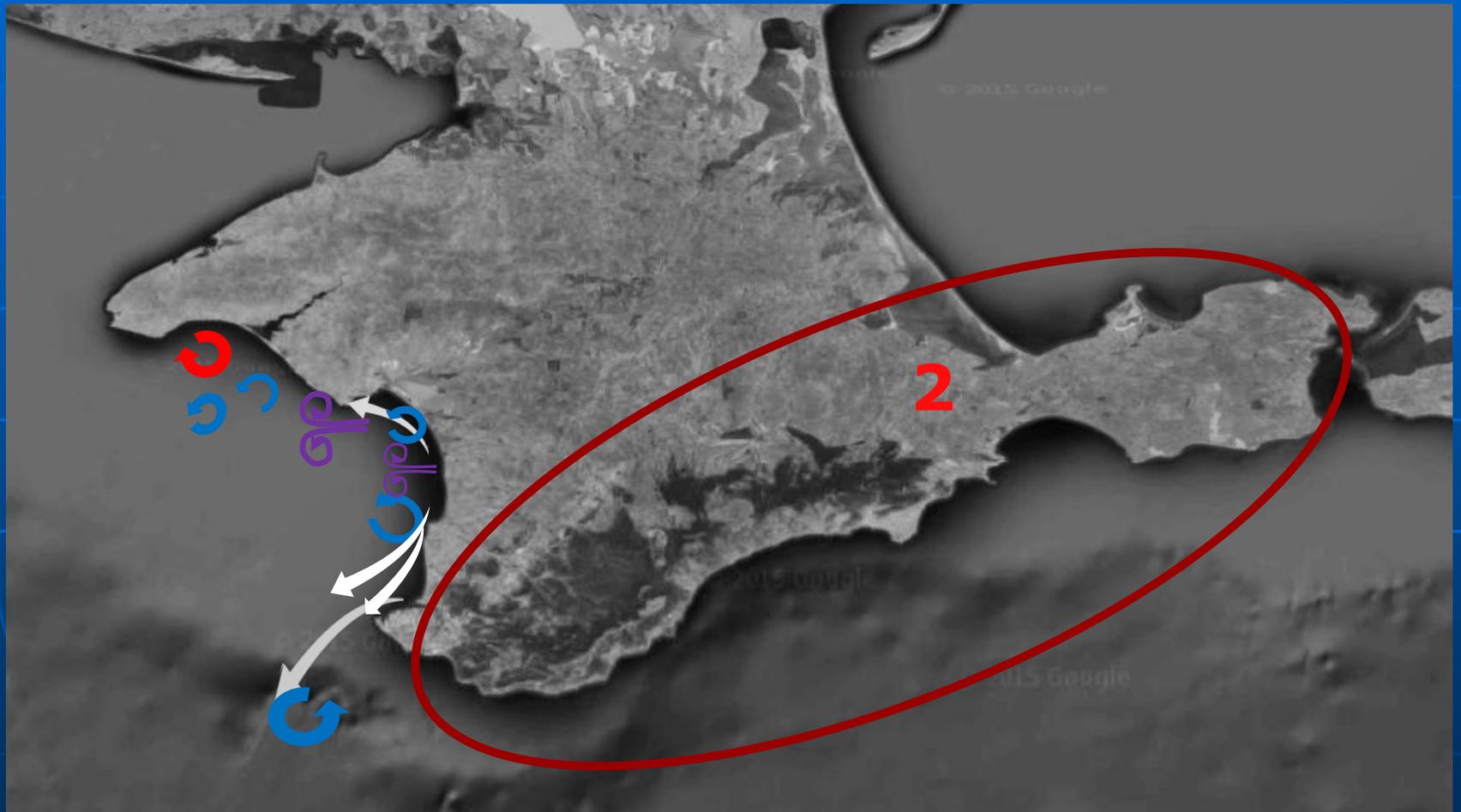
Landsat 7

Канал 1, $\lambda=0.45-0.52$ мкм

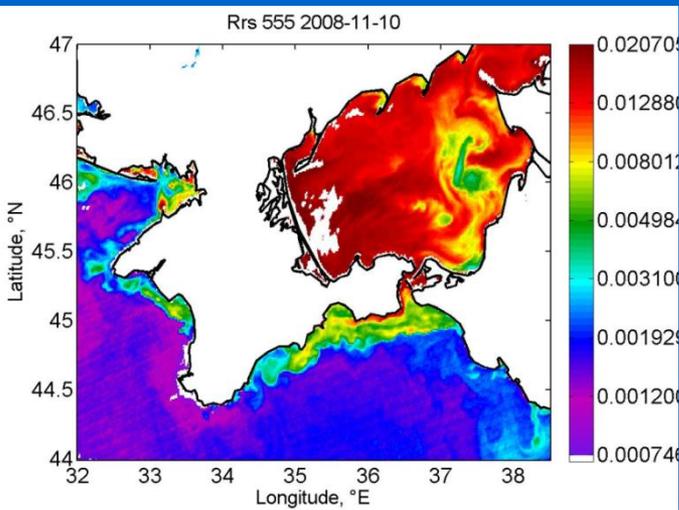


Размеры небольших циклонических вихрей составляют от **1 до 3 км**, а крупных - от **10 до 20 км**. Они выносят взвешенное вещество на значительное расстояние от берега в сторону противоположную действию ветра.

Юго-восточный берег Крыма



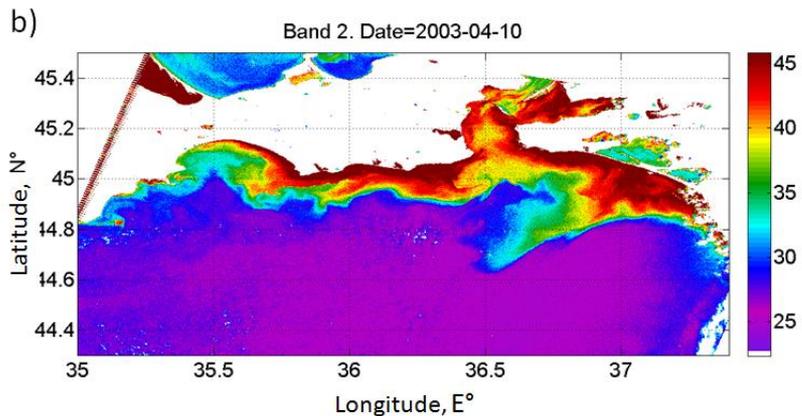
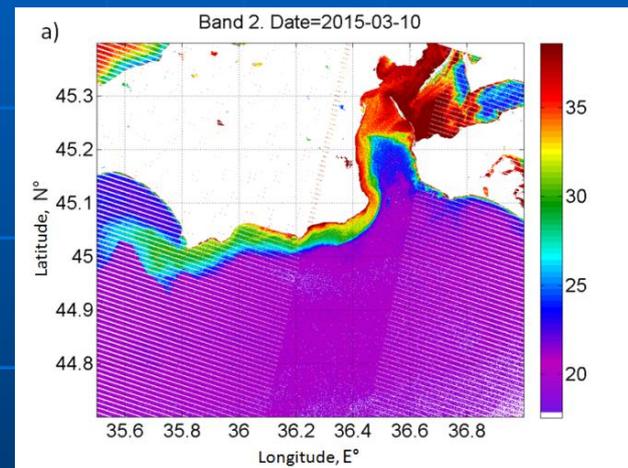
Распространение Азовских вод по акватории Черного моря по спутниковым данным высокого разрешения



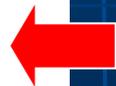
Оптические свойства Азовских вод значительно отличаются от Черноморских вод и их распространение можно отчетливо наблюдать на спутниковых оптических снимках. Они могут далеко проникать вдоль Крымского побережья (Щербак и др., 2007)



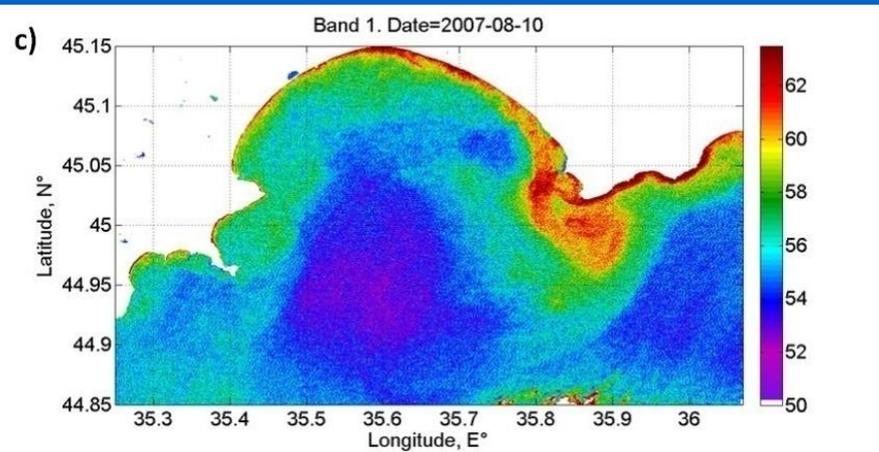
При сильном северо-восточном и северном ветре образуется интенсивный прибрежный поток Азовских вод, богатых взвешенным веществом, который распространяется вдоль берега Крым на запад.



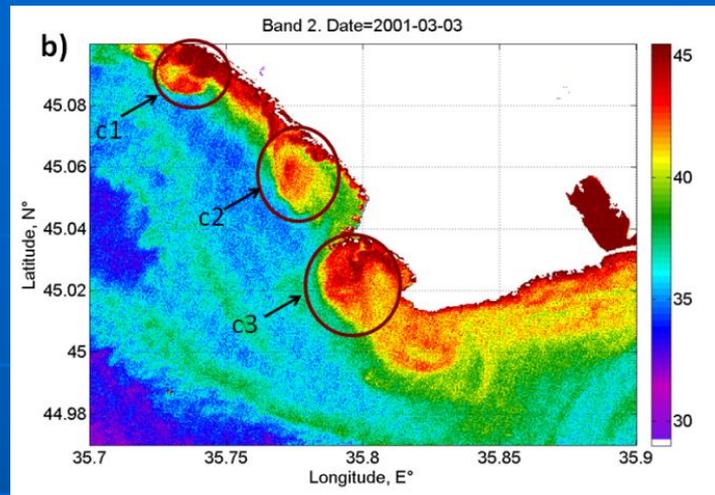
При южных ветрах Азовские воды продвигаются и на запад и на восток, вдоль побережья Керченского и Таманского полуостровов. Впоследствии они подхватываются ОЧТ и меняют свое направление



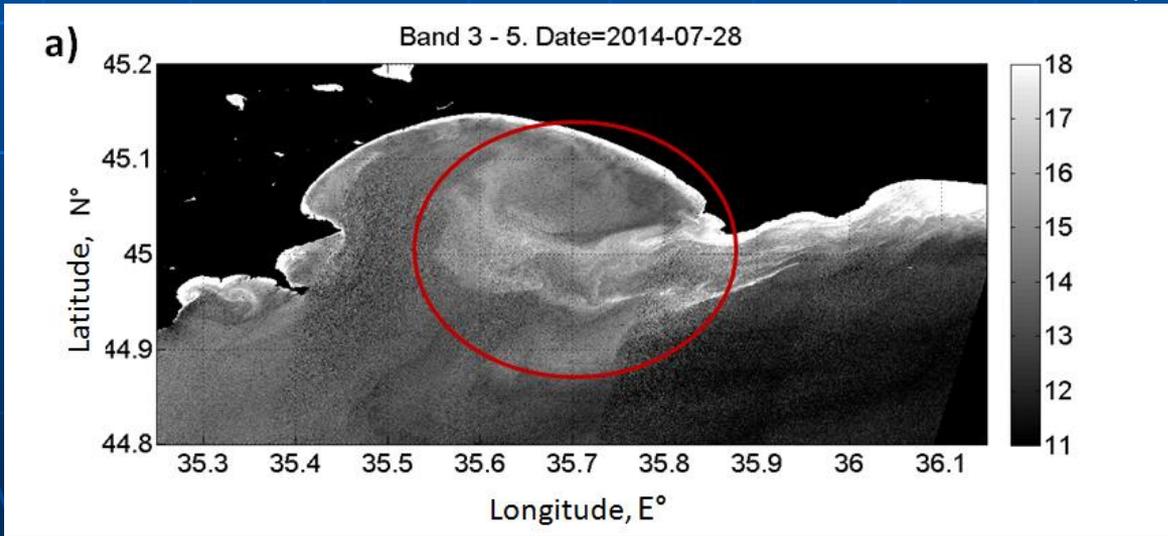
Динамические процессы у м. Чауда



При северных ветрах образуется мощный циклонический вихрь



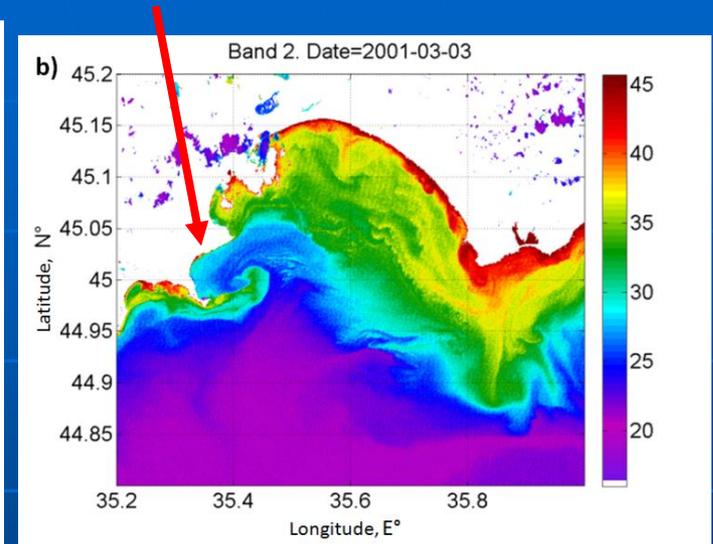
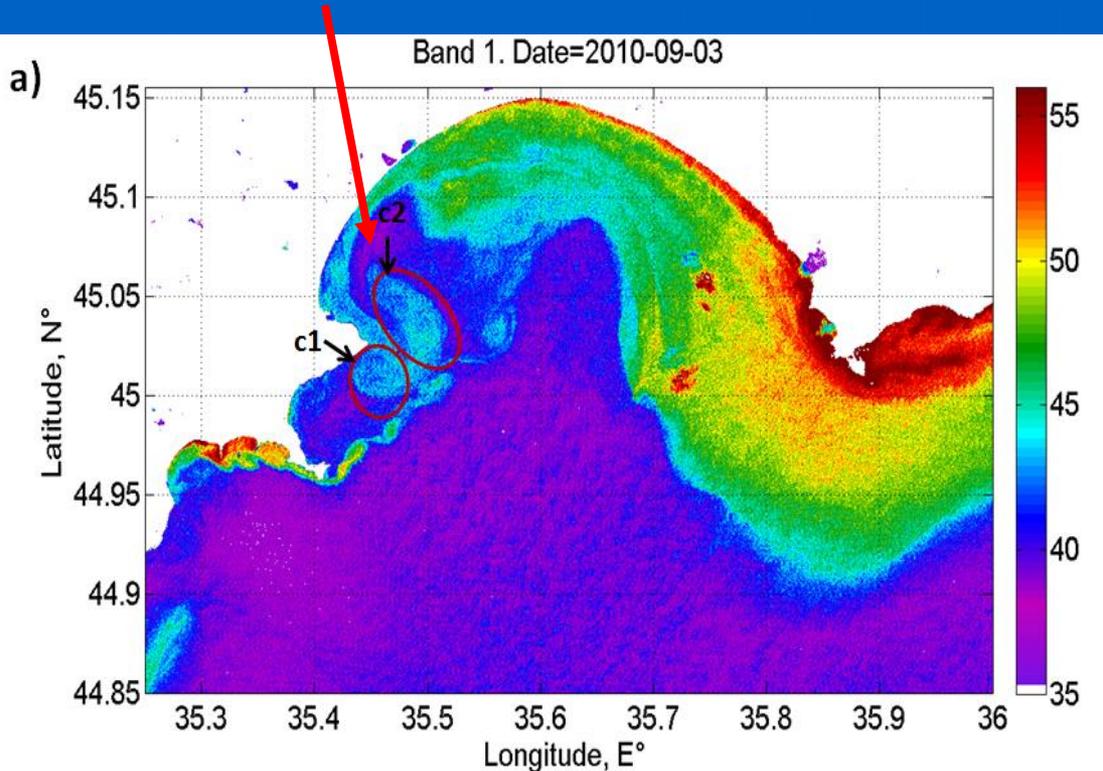
При южном ветре вдоль берега - циклонические вихри, диаметром ~2 км



Антициклонический вихрь аккумулирует взвесь в бухте, диаметр ~10 км

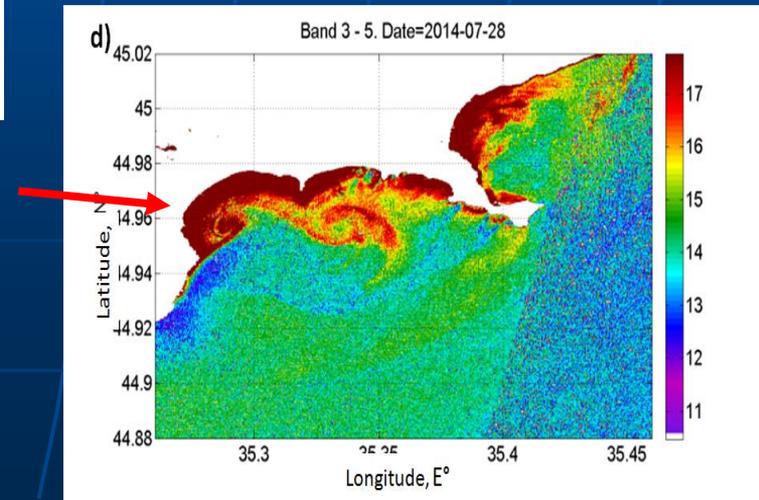
Феодосийский залив и бухта Коктебель

За мысами у Феодосийского залива часто можно наблюдать возникновение грибовидных структур, одиночных вихрей или цепочек вихрей



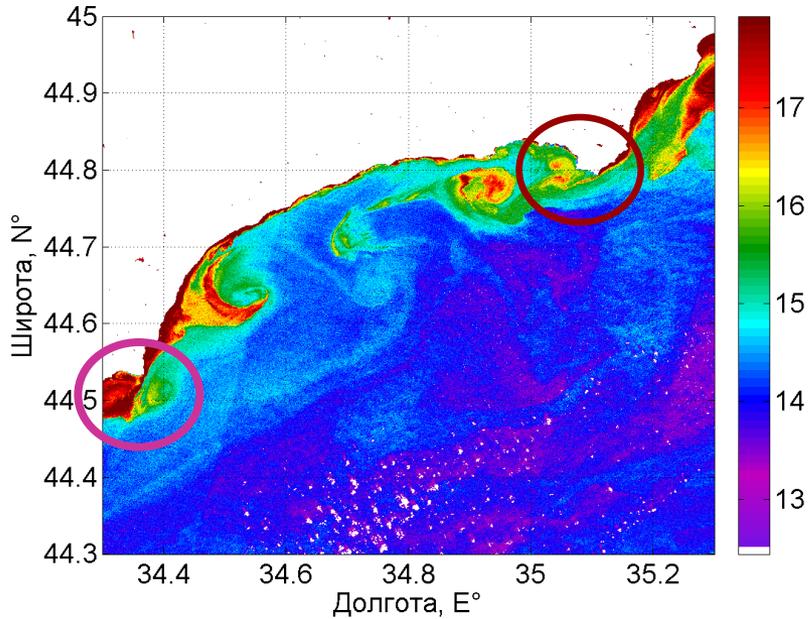
Размеры вихрей связаны с размерами топографических препятствий и составляют от 1 до 5 км

Выносы взвешенного вещества грибовидными структурами вдоль берега на расстояние 6 км.



От м. Меганом до м. Аю-даг

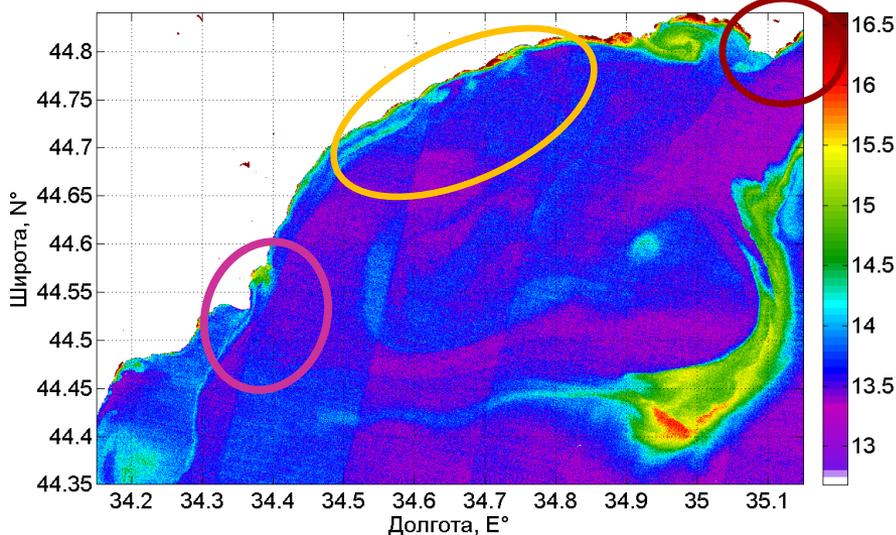
Band 3 - 5. Date=2015-03-09



Образование
циклонического
вихря за
м. Меганом ~5
км

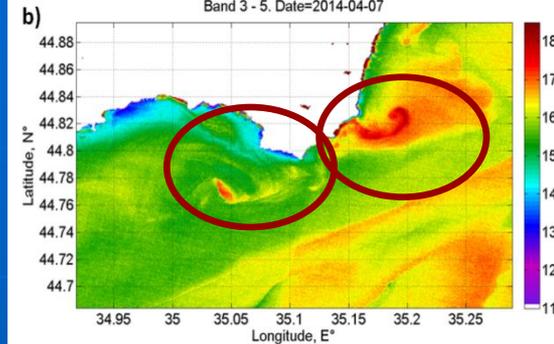
От м. Пещерного до
м. Аю-Даг
образуются
субмезомасштабные
процессы, размеры
которых не
превышают 1 - 2 км

Band 3 - 5. Date=2014-09-30

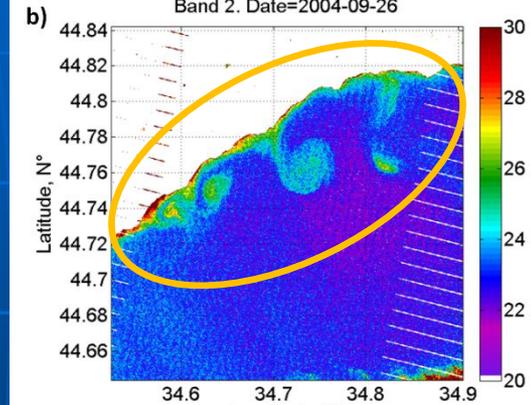


У м. Аю-Даг
наблюдается
циклонический
вихрь диаметром
до 2 км или
струйное течение,
выносящее взвесь
в открытое море

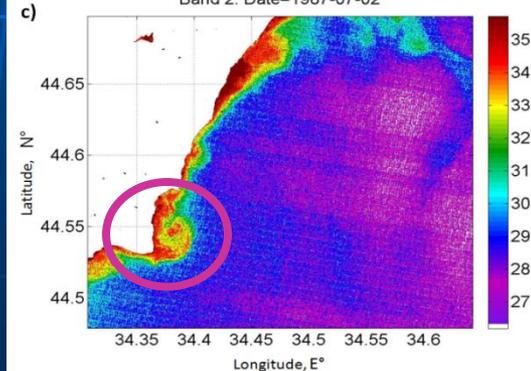
Band 3 - 5. Date=2014-04-07



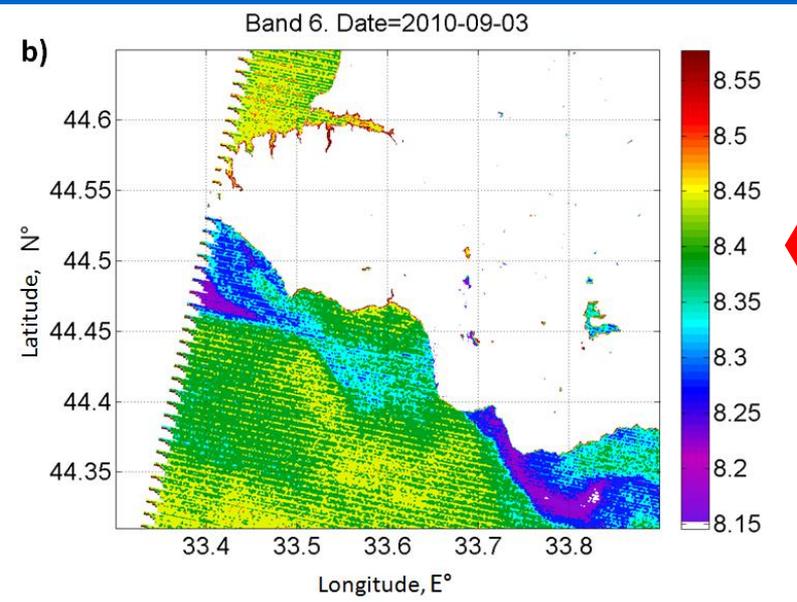
Band 2. Date=2004-09-26



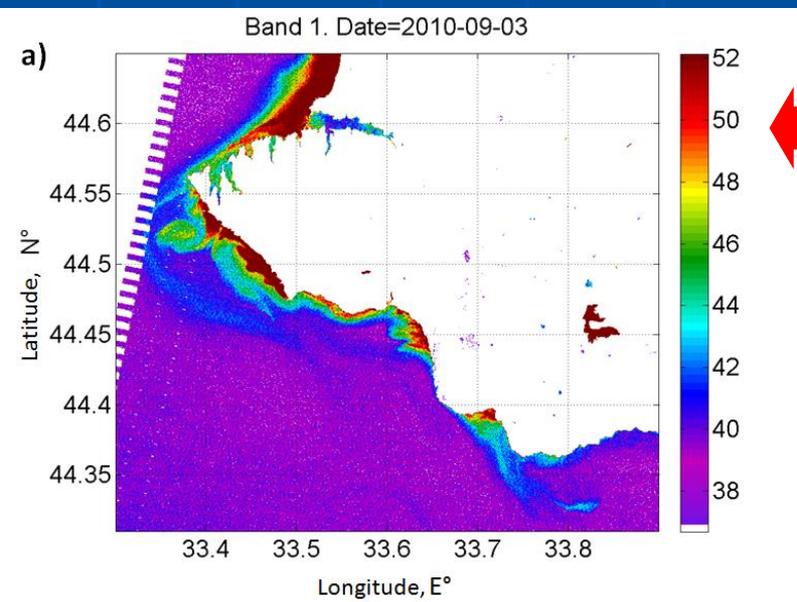
Band 2. Date=1987-07-02



Южный берег Крыма



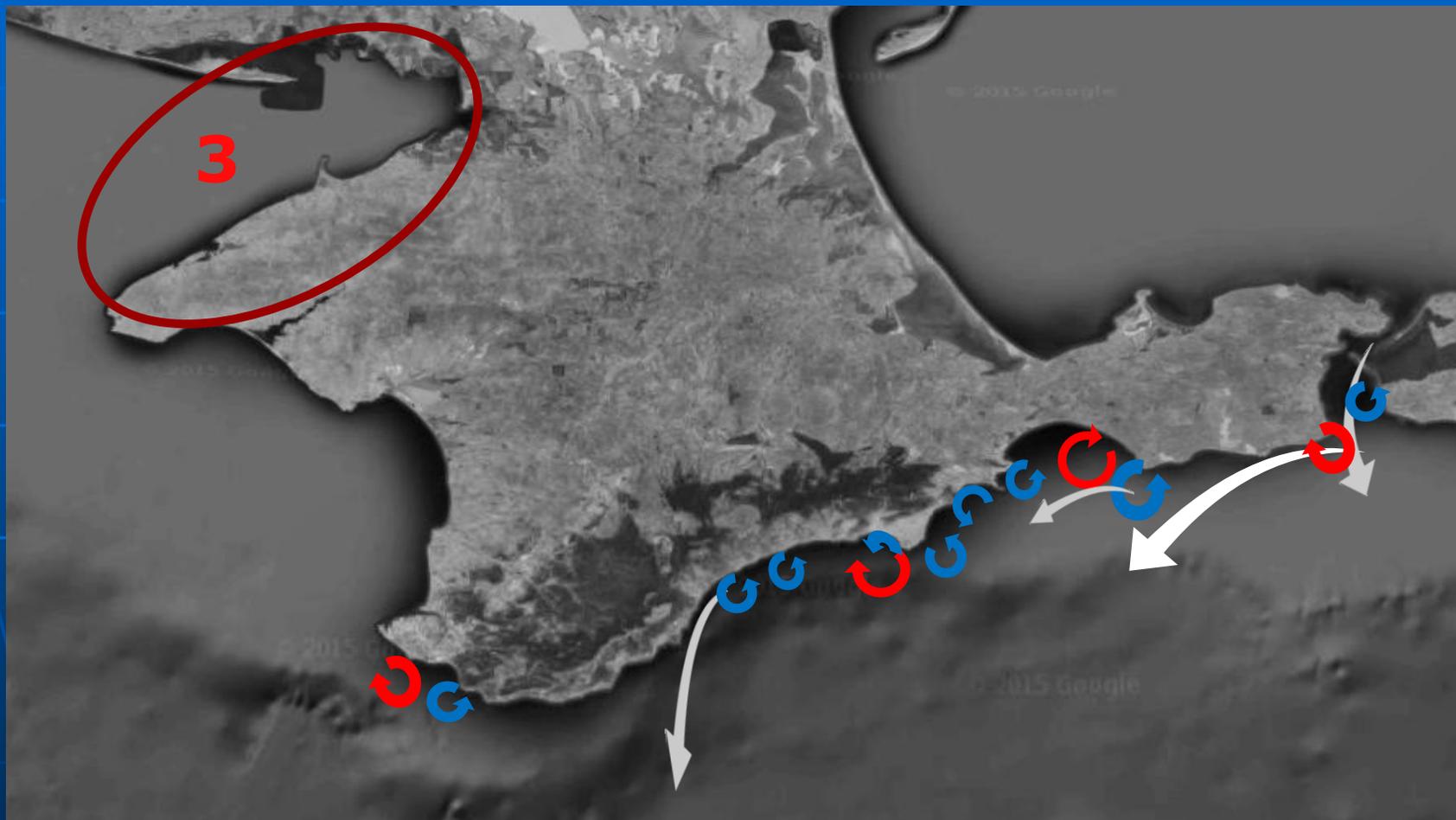
Пониженные значения яркостной температуры в ИК-канале показывает места образования двух локальных апвеллингов, которые распространяются в виде двух струй.



Аналогичные структуры заметны на снимке в оптическом диапазоне.

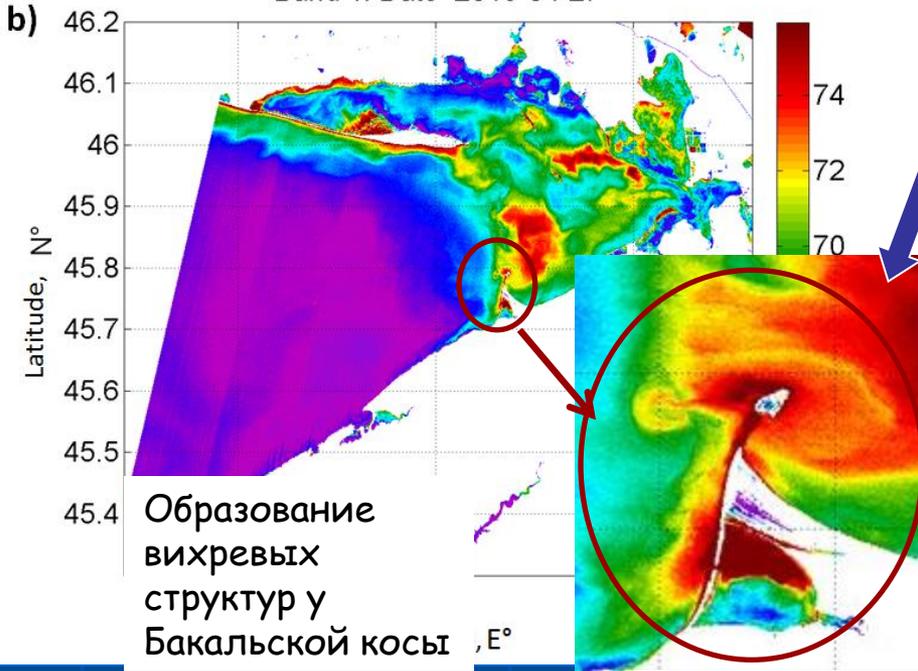
Подъем глубинных богатых биогенами вод может служить триггером для цветения фитопланктона в этих районах. Вероятной причиной повышенных значений яркости является биологические компоненты, а не взвешенное вещество.

Каркинитский залив



Динамика Каркинитского залива по данным высокого разрешения

Band 1. Date=2013-04-27



Бакальская банка значительно влияет на распространение взвешенного вещества и биологических компонентов в воде.

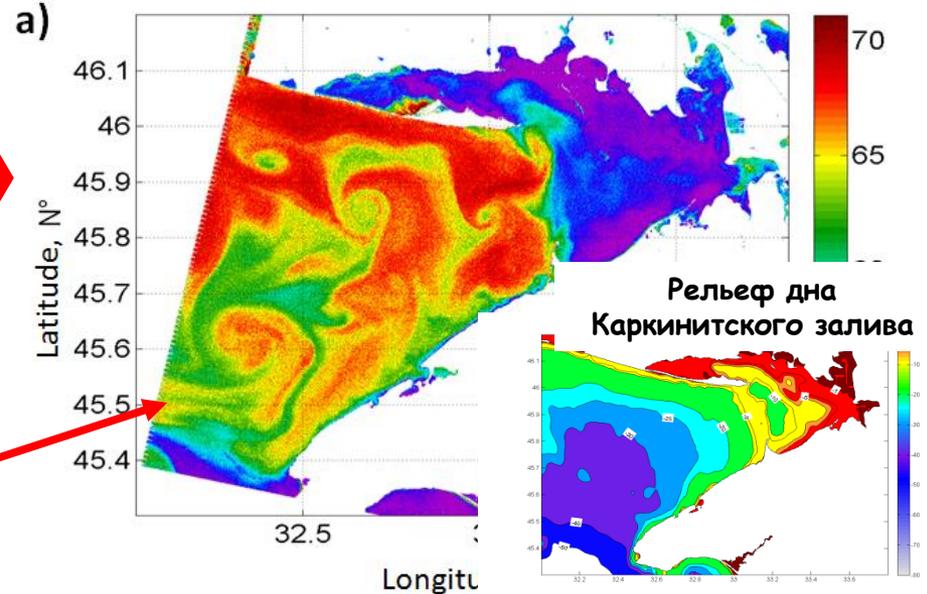
При значительных скоростях ветра, в прибрежной зоне Каламитского залива и у о. Джарылгач наблюдается **повышенная яркость**, связанная со взмучиванием **донных осадков**.

Мутные воды не проникают дальше **Бакальской банки** оставаясь на мелководье, и, таким образом, донные осадки перераспределяются в **глубине залива**

Распространяясь со стороны северо-западного шельфа, воды богатые фитопланктоном или взвешенным веществом не проникают вглубь залива, а распространяются **только до Бакальской банки**.

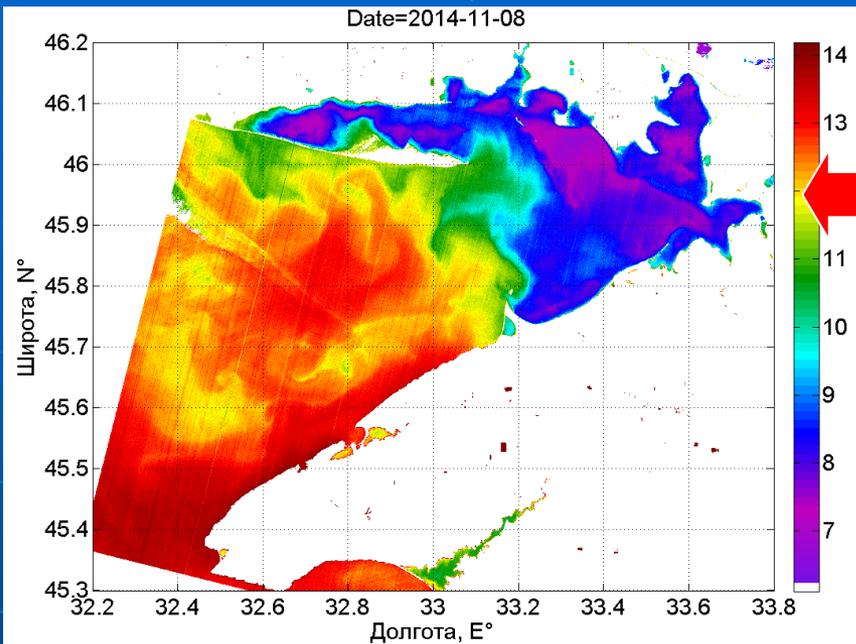
По данным Landsat в заливе можно наблюдать большое кол-во вихревых структур радиусом 2-10 км

Band 1. Date=2000-08-21



Температура Каркинитского залива

зимний период



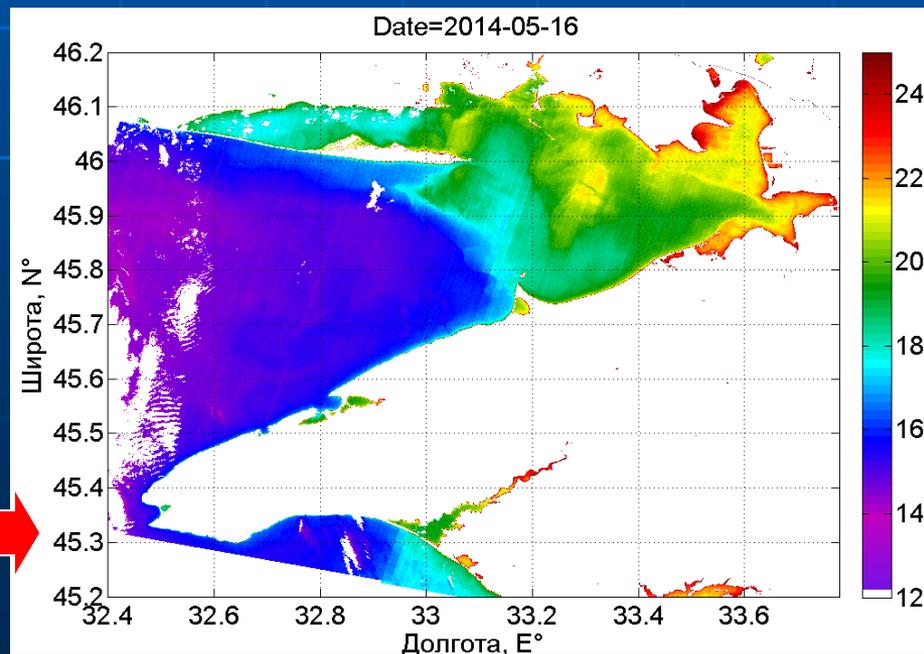
Зимой температура в мелководной части значительно ниже, чем в глубоководной части залива.

В мелководных акваториях термическая конвекция быстро достигает дна и вода охлаждается сильнее, чем в глубинной части, где слой перемешивания больше.

Разница в температуре вод составляет $\sim 7^\circ$

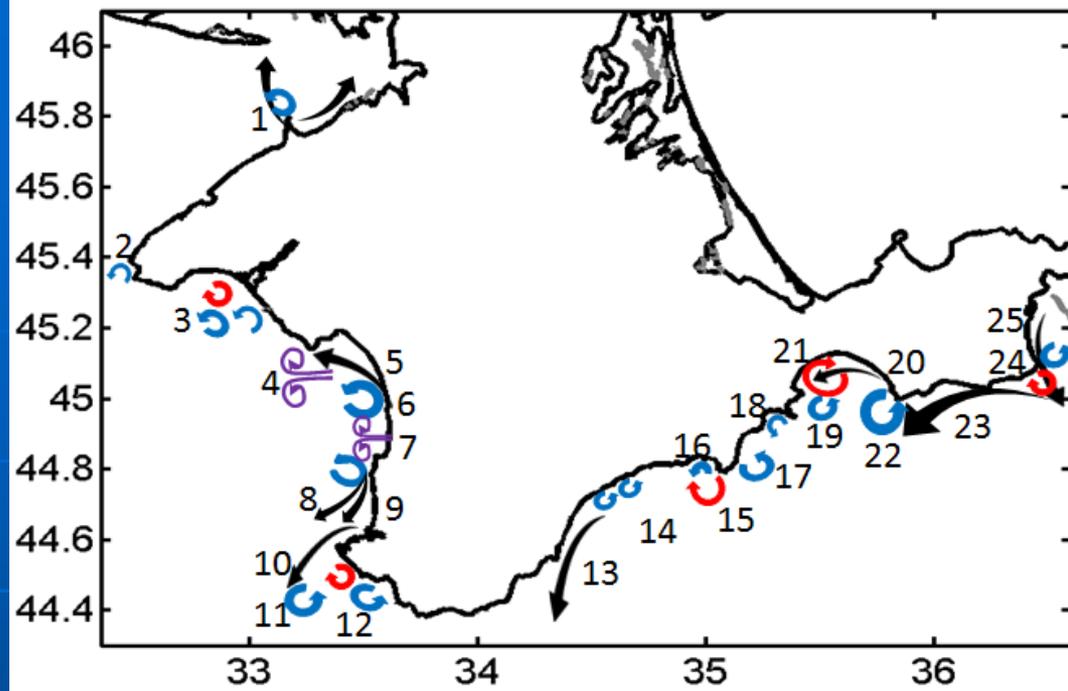
В весенне-летнее время более прогретая вода у берега, находится в треугольнике Бакальская коса – Перекопский залив – о. Джарылчаг.

Весенне-летний период



Субмезомасштабные процессы у берегов Крыма

1. Поток вдоль Бакальской банки и вихри у Бакальской косы
2. Циклонические вихри у м. Тарханкут
3. Циклонические и антициклонические вихри у берегов о. Донузлава
4. Образование грибовидных структур у м. Евпаторийский
5. Поток взвеси с юга в Каламитский залив при штормовом южном ветре
6. Циклонические вихрь у п. Николаевка
7. Грибовидные образования у стока реки Булканак
8. Циклонические вихри у м. Лукулл
9. Поток взвеси с севера вдоль берега и от м. Лукулл в открытое море



9. 10. 11. Поток взвеси с севера вдоль берега Севастопольской бухты до м. Херсонес и отрыв ее от берега в открытое море и образование на конце циклонического вихря
12. Циклонические и антициклонические вихри у южного берега Крыма
13. Струйное течение от м. Аю-Даг
14. Циклонические вихри 1-2 км у побережья от м. Аю-Даг до м. Пещерного
15. Антициклонический вихрь за м. Меганом с западной его стороны
16. Циклонический вихрь 1-2 км в бухте Новый свет
17. Циклонический вихрь у м. Меганом с восточной стороны
18. Циклонический вихрь в бухте Коктебель
19. У м. Кийим-Атлама образуется вихрь или цепочка циклонических вихрей; грибовидная структура
20. Струйное течение от м. Чауда по Феодосийскому заливу
21. Антициклонический вихрь от м. Чауда
22. Циклонический вихрь у м. Чауда
23. Струйное течение от Керченского пролива вдоль Крымского побережья
- 24 и 25. циклонический и антициклонический вихри у м. Такиль

Выводы

На основе архива спутниковых измерений Landsat с 1983 по 2016 гг с высоким пространственным разрешением было:

- проведено **картирование** субмезомасштабных динамических процессов у побережья Крыма и изучено их влияние на перенос взвешенного вещества.
- **Основными причинами образования** этих процессов являются: особенности строения береговой линии - они возникают за топографическими препятствиями, в основном за мысами, и в углублениях берега, небольших бухтах. Значительное влияние на их динамику оказывает сила и направление ветра, а также прибрежные течения.
- проведены **анализ и классификация** субмезомасштабных процессов, оказывающих определяющее влияние на распространение взвеси при **штормовых ветрах** различных направлений.

A glowing blue and white Earth from space, showing the curvature of the planet and city lights at night. The Earth is centered in the frame, with a bright blue glow around its edge. The text "Благодарю за внимание!!!" is overlaid in white, bold, sans-serif font across the middle of the image.

Благодарю за внимание!!!