



Субмезомасштабные вихри в прибрежной части Черного моря и их роль в распространении взвешенного вещества

**Алескерова А.А., Кубряков А.А., Лишаев П.Н., Станичный С.В., Морозов А.Н.,
Медведева А.В., Плотников Е.В.**

18 всероссийская научная конференция «Современные проблемы
дистанционного зондирования Земли из космоса»

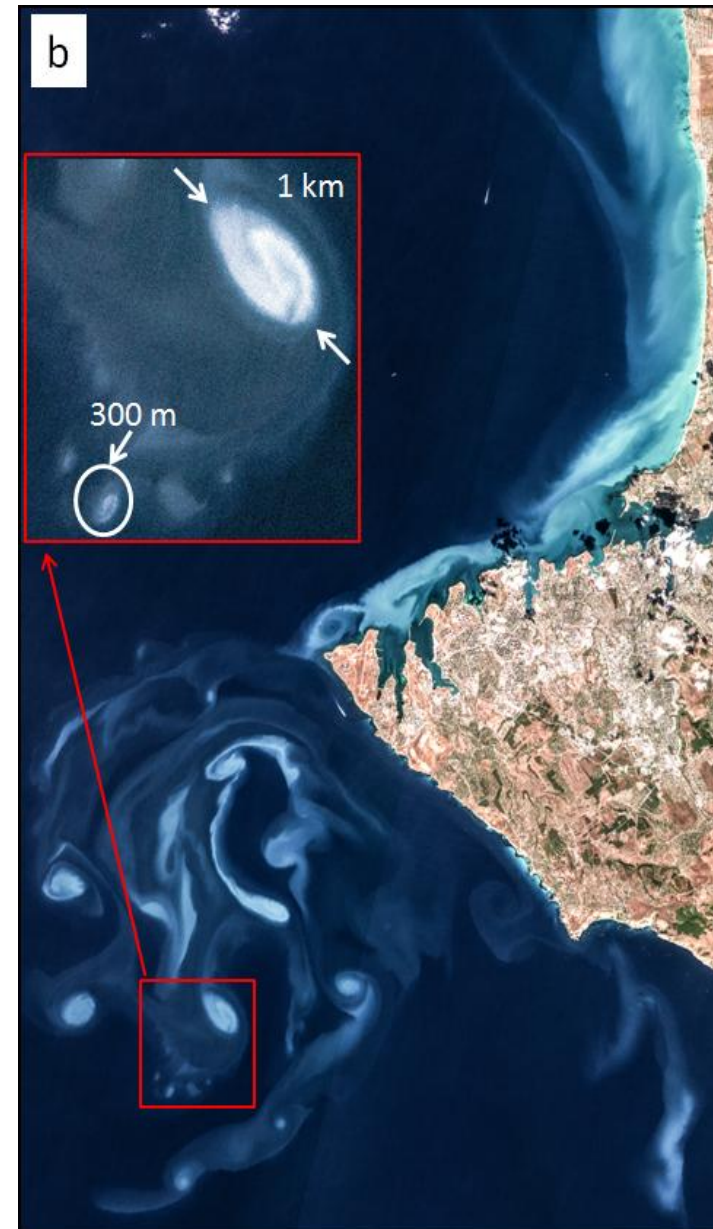
г. Москва 2020

Малые размеры и высокие орбитальные скорости субмезомасштабных вихрей приводят к высоким значениям завихренности и вертикальной скорости (10-100 м/день), что существенно может влиять на термохалинную структуру и стратификацию океана.

Они вызывают вертикальные потоки биогенных элементов, особенно интенсивные во фронтальных зонах, что может способствовать или подавлять цветение фитопланктона, значительно влияя на функционирование морской экосистемы.

Высокие значения завихренности в субмезомасштабных вихрях могут способствовать их возможности захватывать вещество и переносить в своем ядре без перемешивания.

В (Зацепин и др, 2011) на основе контактных измерений получены орбитальные скорости (0.25-0.5 м/с) в субмезомасштабных вихрях, что свидетельствует о высоких числах Россби в этих образованиях.



Цель работы - исследовать субмезомасштабные вихри в прибрежной зоне, причины образования и механизмы их влияния на перенос взвешенного вещества на основе измерений спутников и БПЛА

Данные

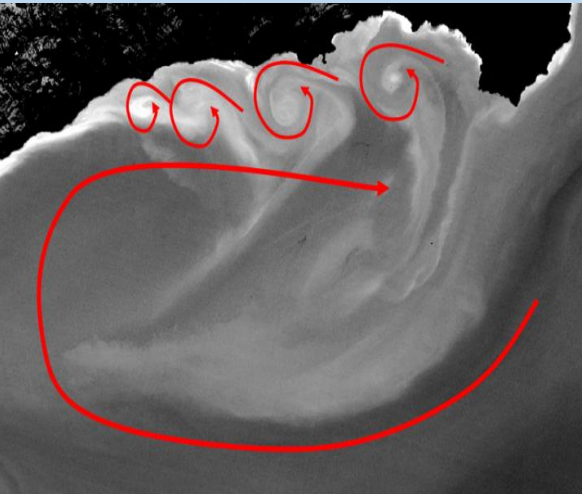
1. Изображения **Sentinel-2** и **Landsat 5,7,8** с высоким разрешением использовались для изучения мелкомасштабной структуры субмезомасштабных вихрей.

2. Ежедневные данные **Modis-Aqua** и **-Terra**, и **VIIRS Level 2** по яркости восходящего излучения и хлорофиллу А с разрешением 1 км были использованы для описания воздействия субмезомасштабных вихрей.

3. БПЛА DJI MAVIC PRO

DJI MAVIC PRO	
Размеры (в сложенном состоянии)	В 83 мм x Ш 83 мм x Д 198 мм
Масса (с аккумулятором, пропеллерами)	734 г
Максимальная скорость полета	65 км/ч
Максимальная высота подъема	500 м
Максимальное время полета	27 мин (без ветра и скорости 25 км/ч)
Точность позиционирования	По вертикали: +/- 0.1 м По горизонтали: +/- 0.3 м
FOV	78.8° 26 мм
Максимальный размер кадра фотосъемки	4000x3000 px

Образование субмезомасштабных вихрей на периферии антициклонов

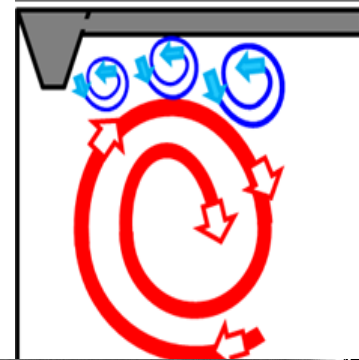


Landsat-8, 21 августа 2017

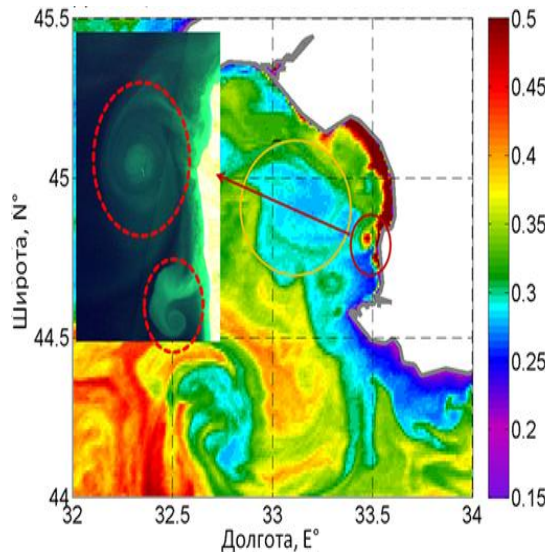
Анализ спутниковых данных за многолетний период показал, что одним из основных механизмов генерации субмезомасштабных вихрей в прибрежной зоне Крыма является неустойчивость на периферии синоптических антициклонов (Zatsepin et al., 2011, 2019; Elkin et al., 2013, 2014; Manucharayan et al., 2013)

На периферии антициклонов:

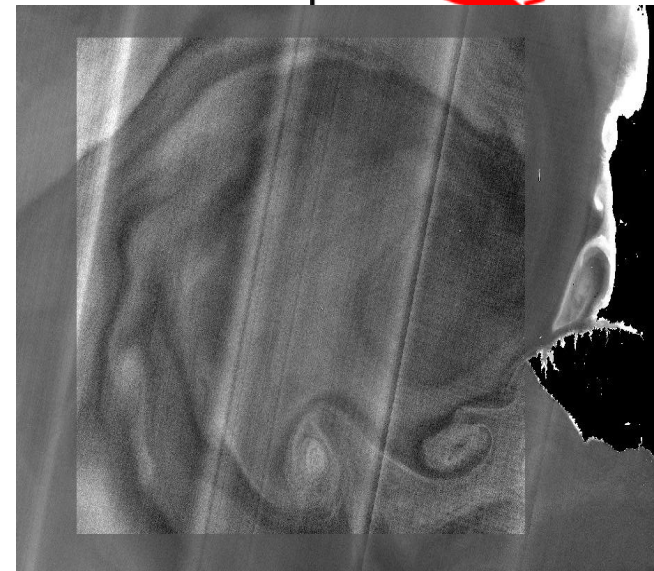
- интенсивный сдвиг скорости, который усиливается трением о берег



Sentinel-2, 9 апреля 2019



Sentinel-2, 9 сентября 2017

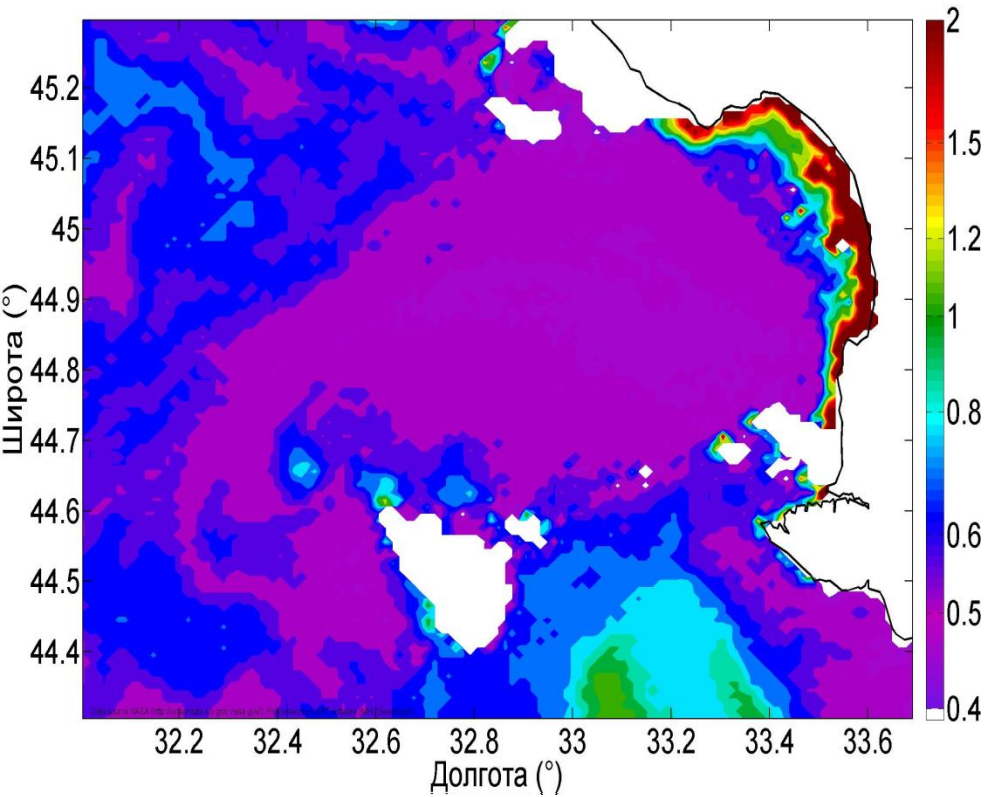


Landsat - 8, 4 августа 2020

Отрыв субмезомасштабных вихрей от берега

Циклоны, захватившие взвешенное вещество, способны отрываться от берега и транспортировать взвесь на расстояние более, чем 100 км

2020-08-06



MODIS



Sentinel-2 за 4 августа 2020 г

Контактные измерения ADCP 3 августа 2020 года

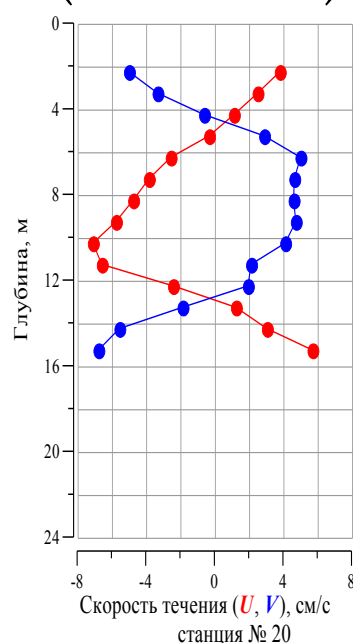
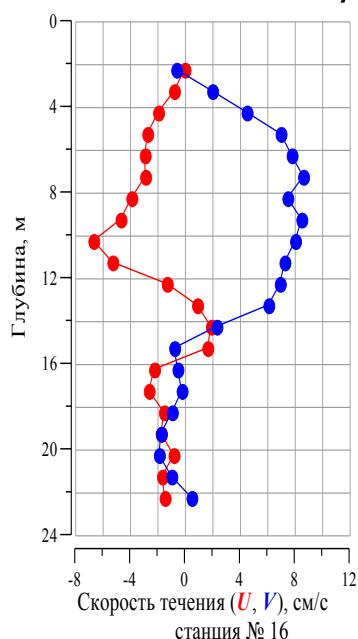
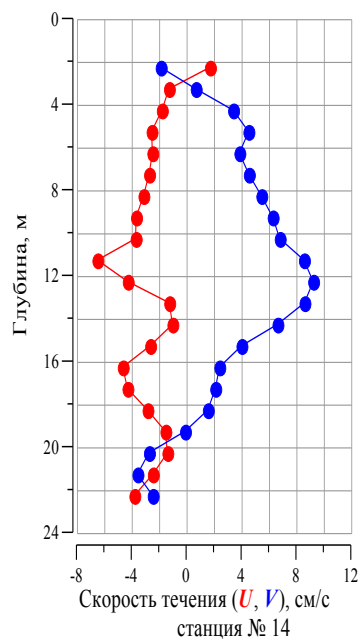
Морозов А.Н.



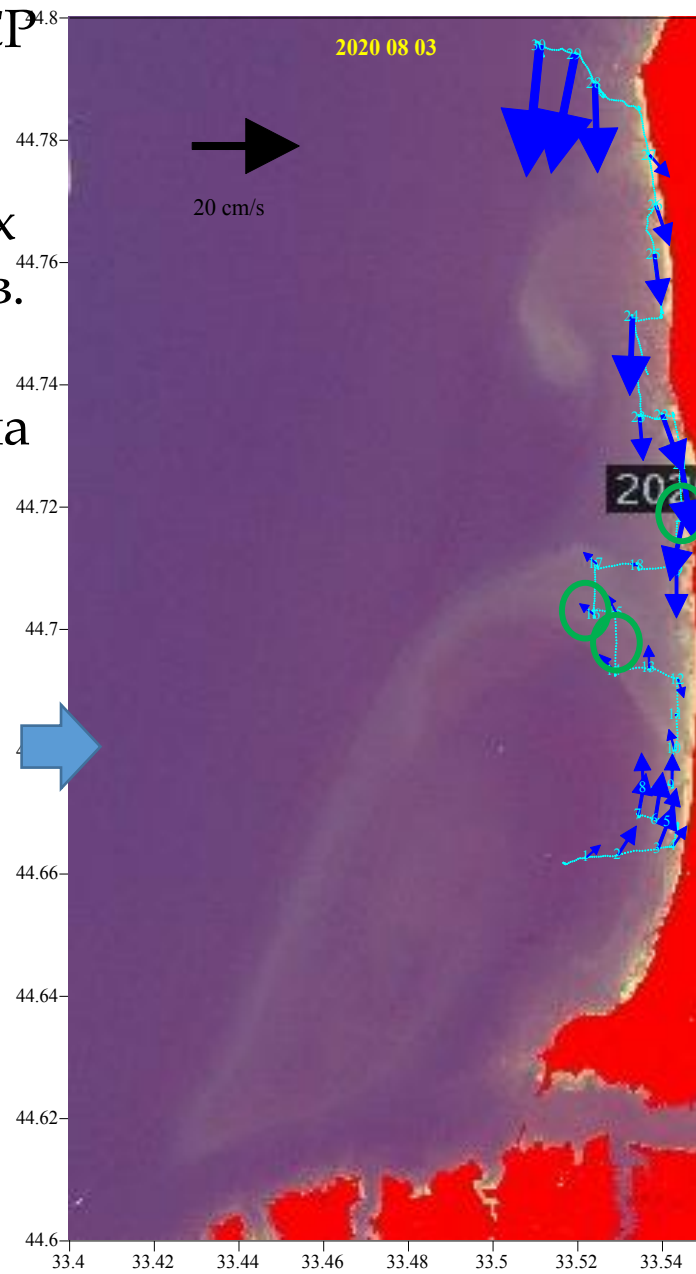
ADCP RDI 600

В экспедиции 3 августа 2020 г при помощи буксировки ADCP получены контактные измерения скорости в прибрежной части нескольких субмезомасштабных циклонов.

Скорости течений в циклоне радиусом 4 км максимальны на глубине 10 м и составляли около 10-15 см/с ($Ro=0.3-0.4$)



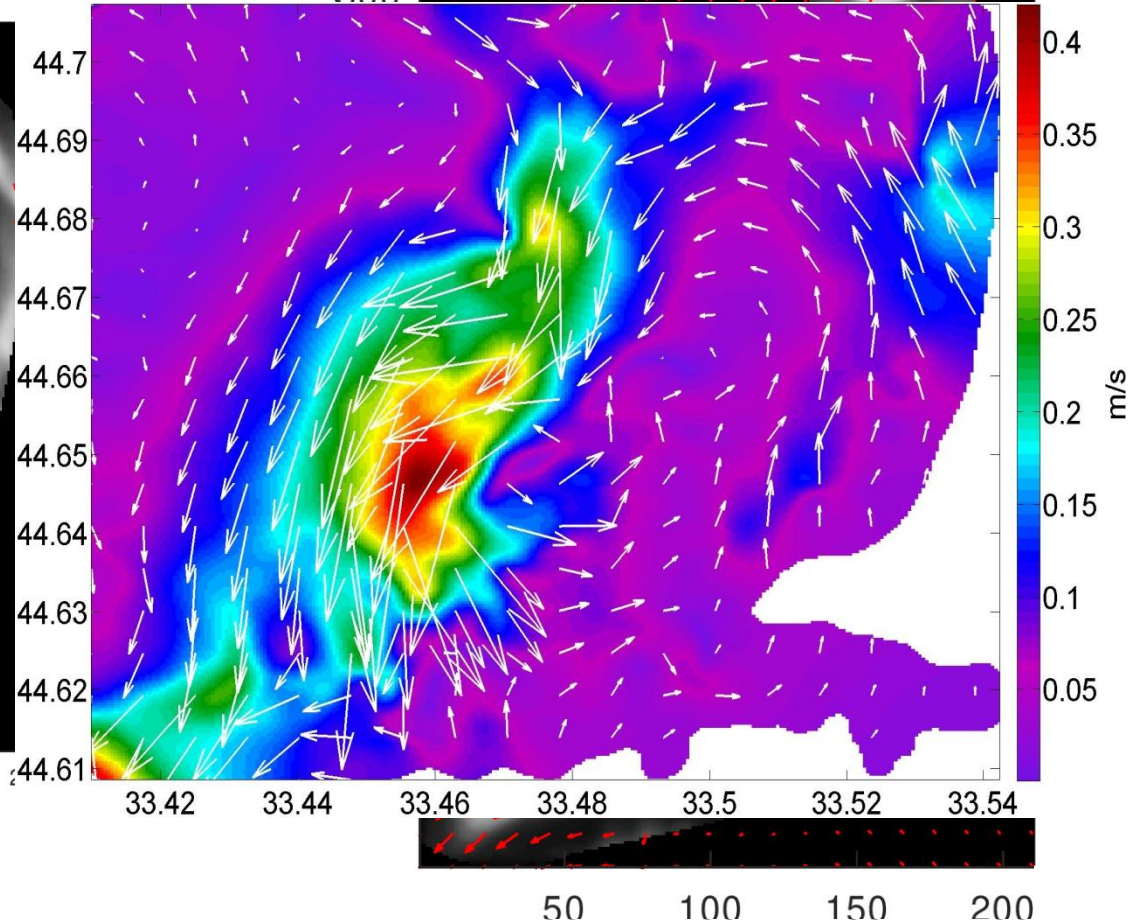
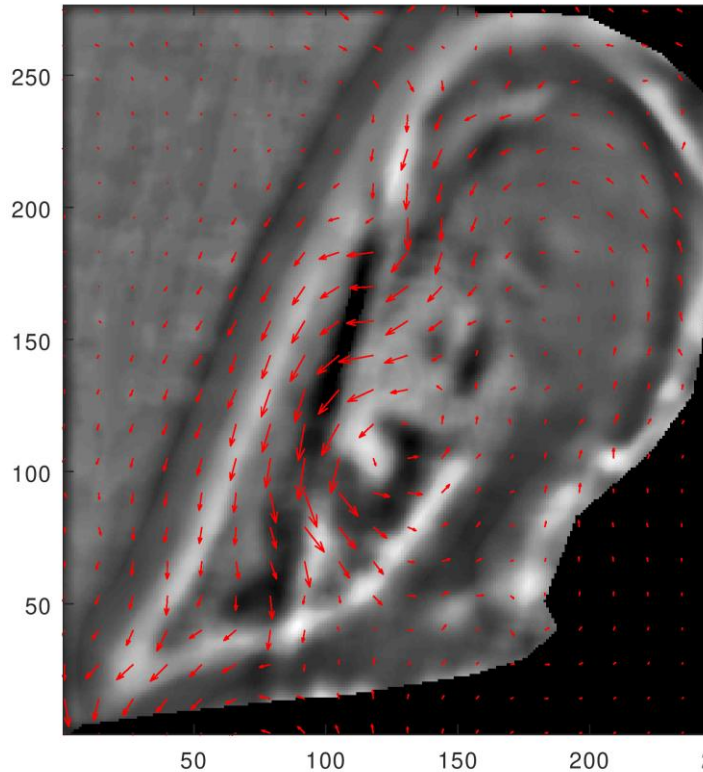
Профили скорости



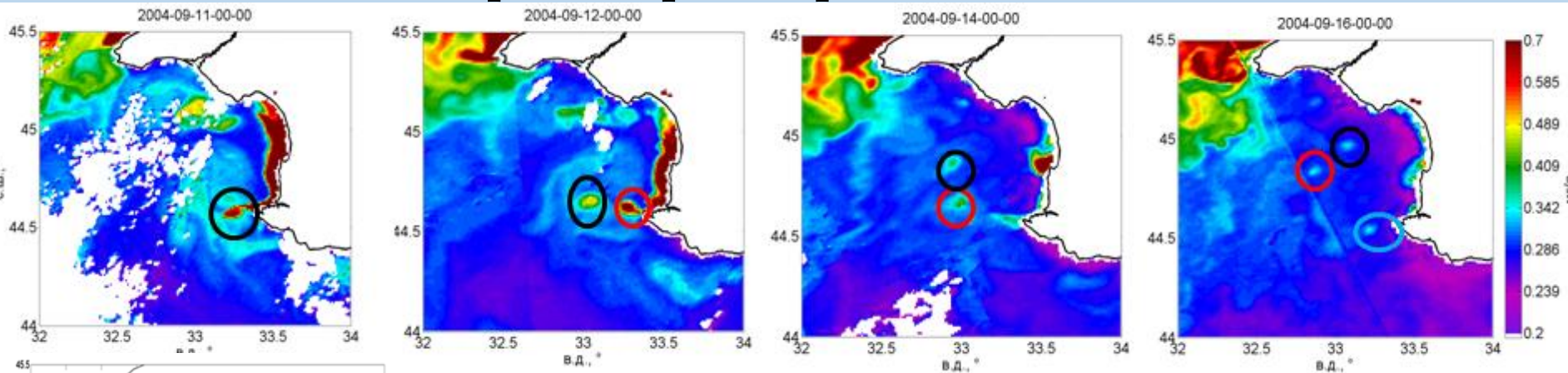
Динамические характеристики прибрежных субмезомасштабных вихрей

Поле скорости восстановлено по алгоритму вариационной ассимиляции данных. Эта методика использует обращение уравнения переноса и является дифференциальным методом восстановления оптического потока.

Плотников Е.В.

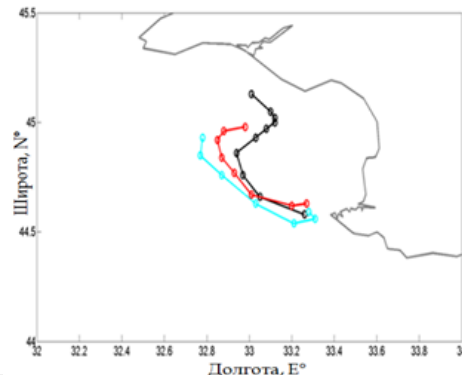


Влияние вихрей на транспорт взвешенного вещества

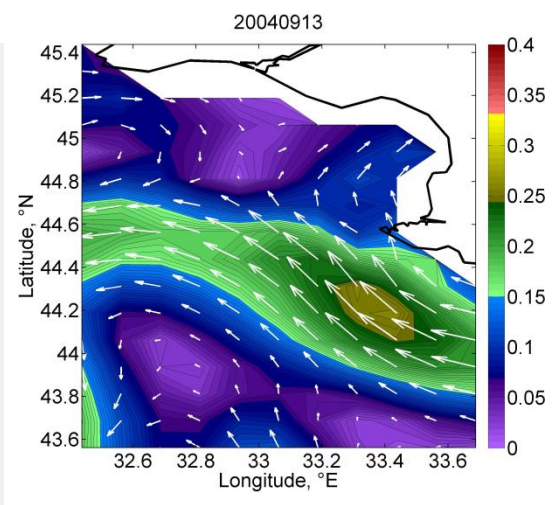


MODIS, 11-16 сентября 2004 год

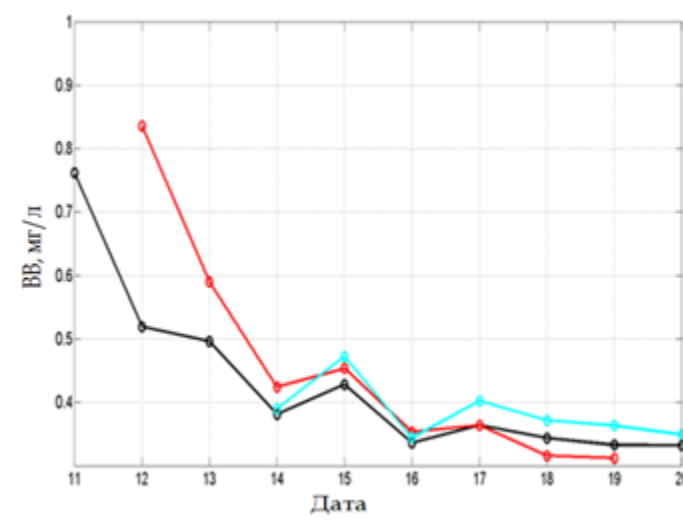
Прибрежные вихри двигаются со скоростью фонового потока (0.2 -0.4 м/с), осуществляя быстрое поступление прибрежных взвесей в глубоководную часть бассейна



Расчет перемещения

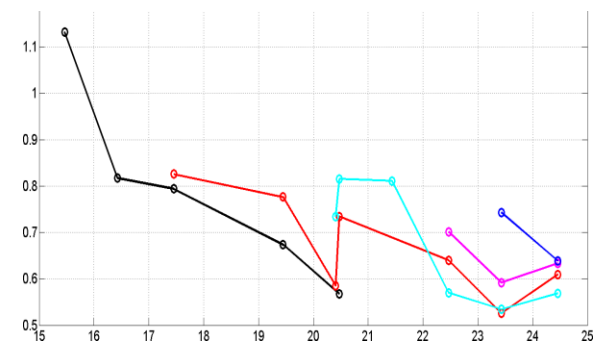
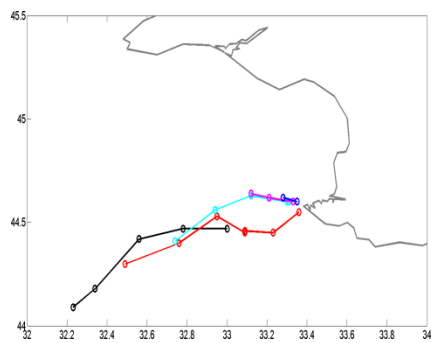
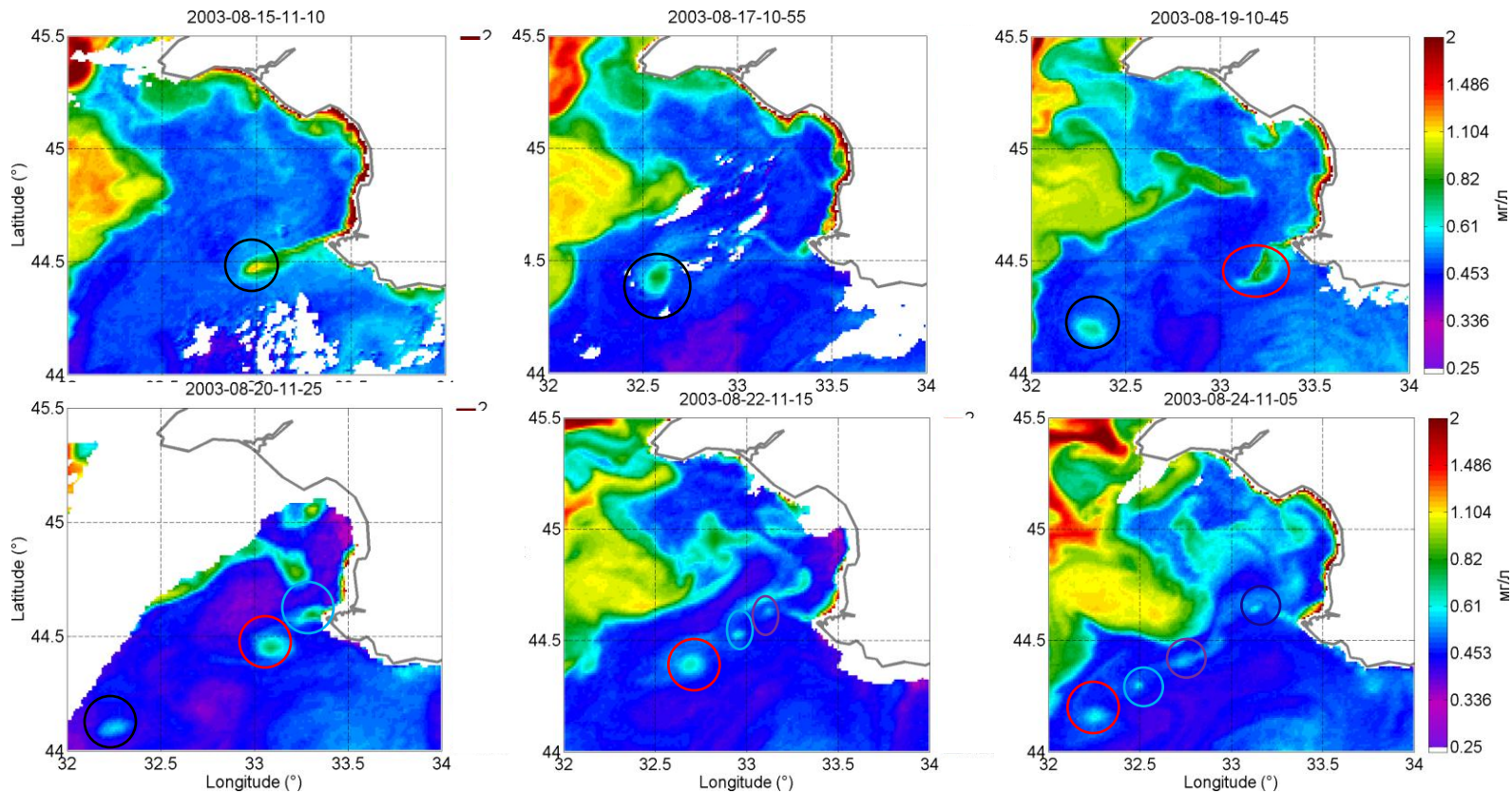


Геострофические скорости



Изменение концентрации взвеси в ядрах вихрей

Влияние вихрей на транспорт взвешенного вещества

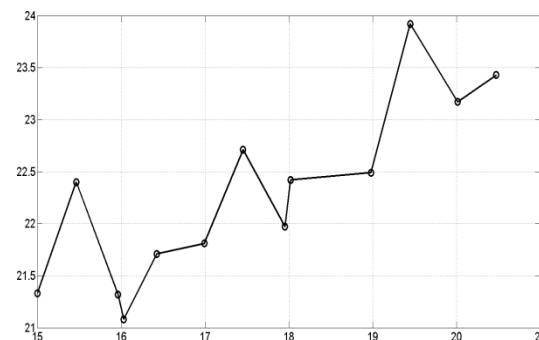
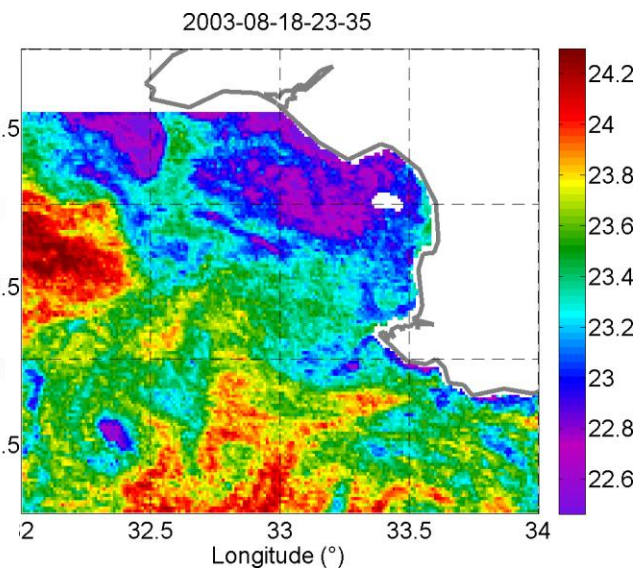
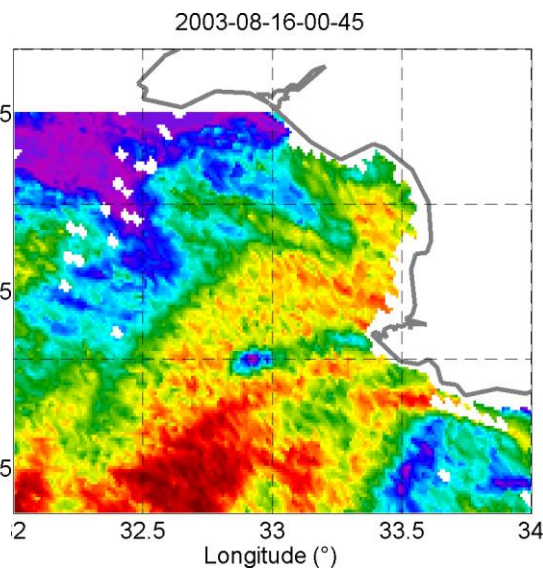
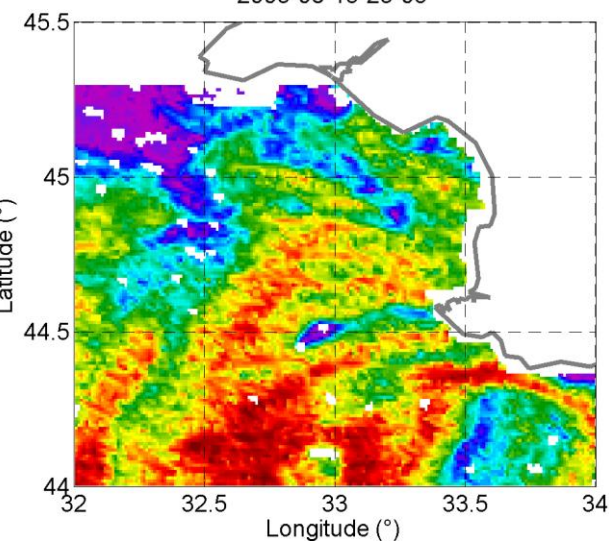
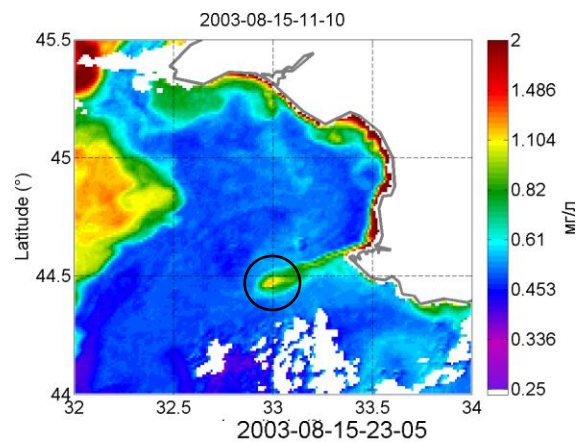


Траектория движения вихрей

Изменения значений концентрации хлорофилла в ядрах вихрей

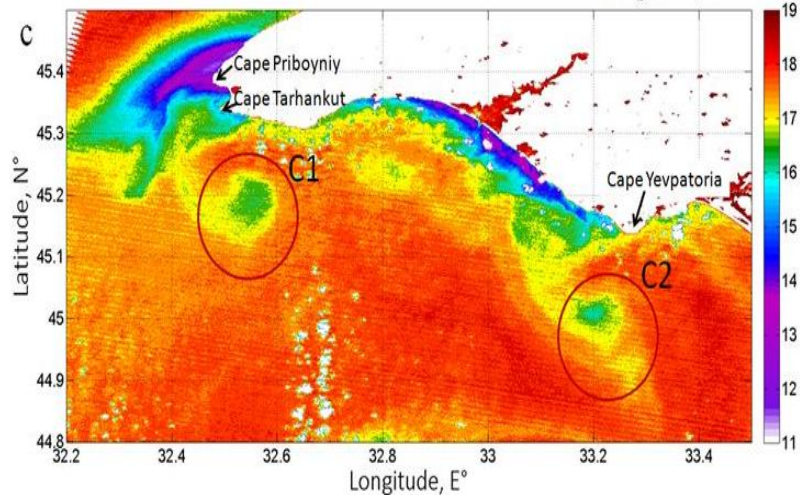
Влияние вихрей на транспорт взвешенного вещества

Температура в ядрах вихрей растет, что связано с перемешиванием вод вихря с окружающими водами.

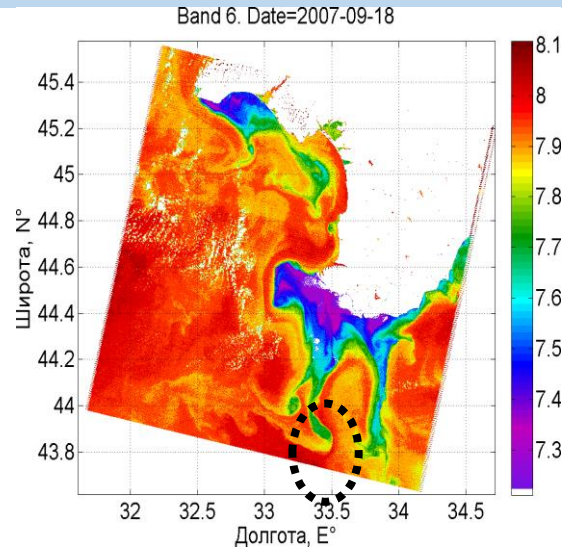


Изменение значений температуры в ядре вихря

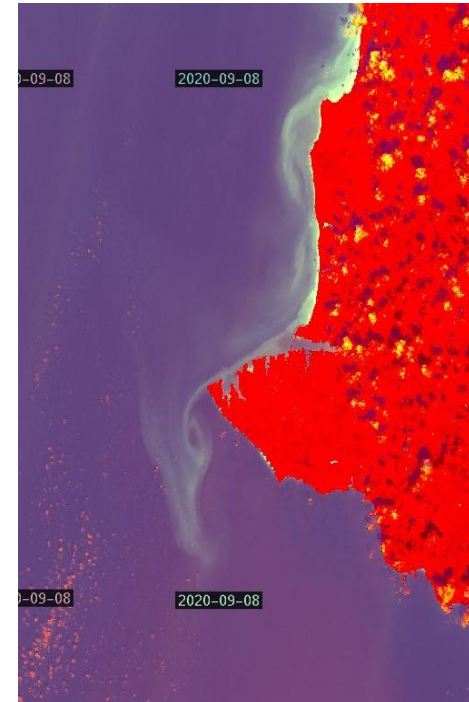
Образование субмезомасштабных вихрей на периферии апвеллингов



Температура Ladnsat-5, 21 июля 2009г



Температура Ladnsat-5,
18 сентября 2007



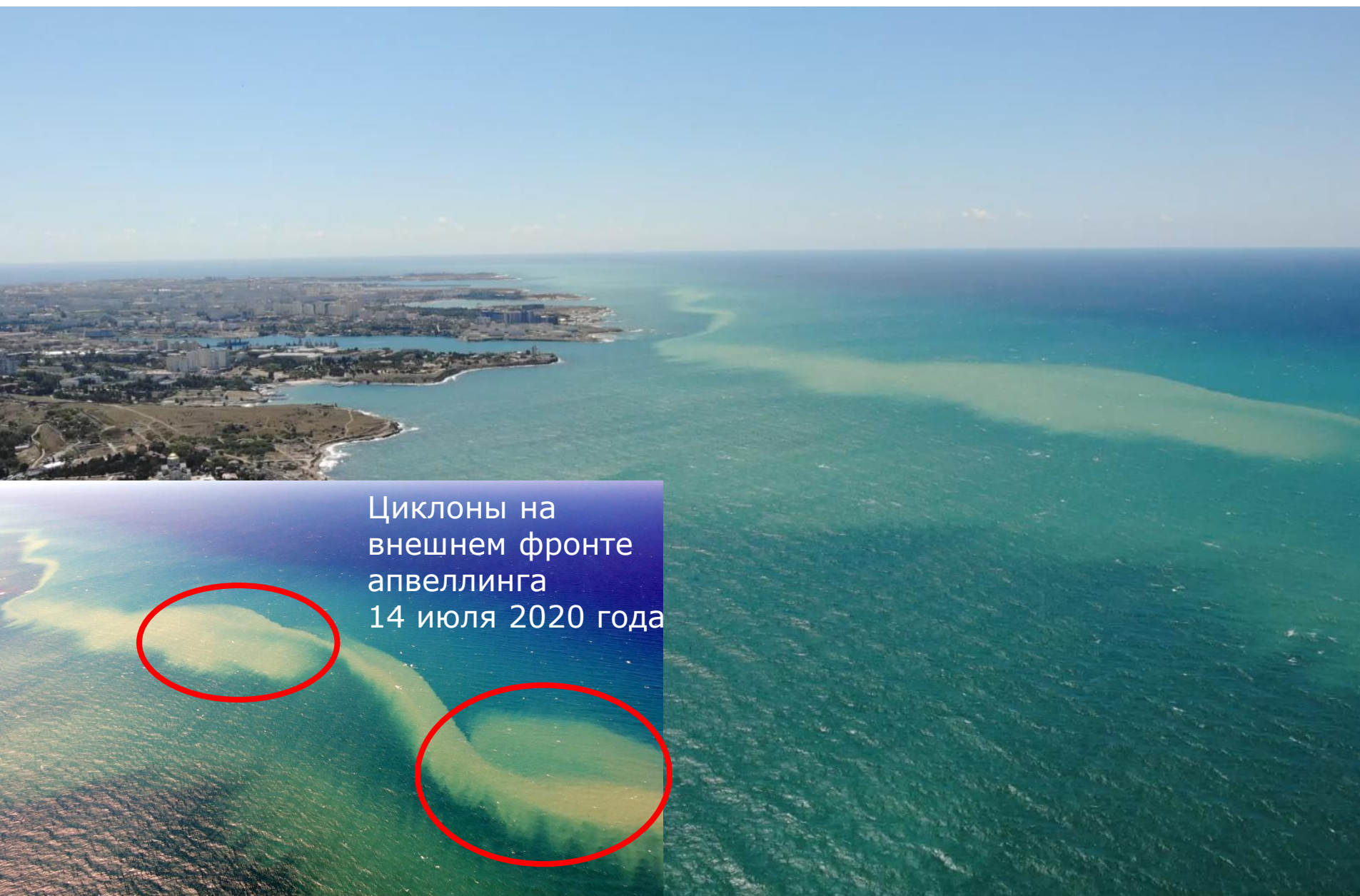
Образование субмезомасштабного циклона на периферии фронтального течения на апвеллинге

При развитии апвеллинга:

- холодные воды натекают на теплые, что приводит к конвективной неустойчивости и образованию субмезомасштабных циклонов (Thomas et al., 2005; Thomas et al., 2007, Machadevan et al., 2006; Capet et al., 2008)
- сдвиг скорости на фронтальных (плотностных) течениях на границе апвеллинга приводит к баротропной неустойчивости



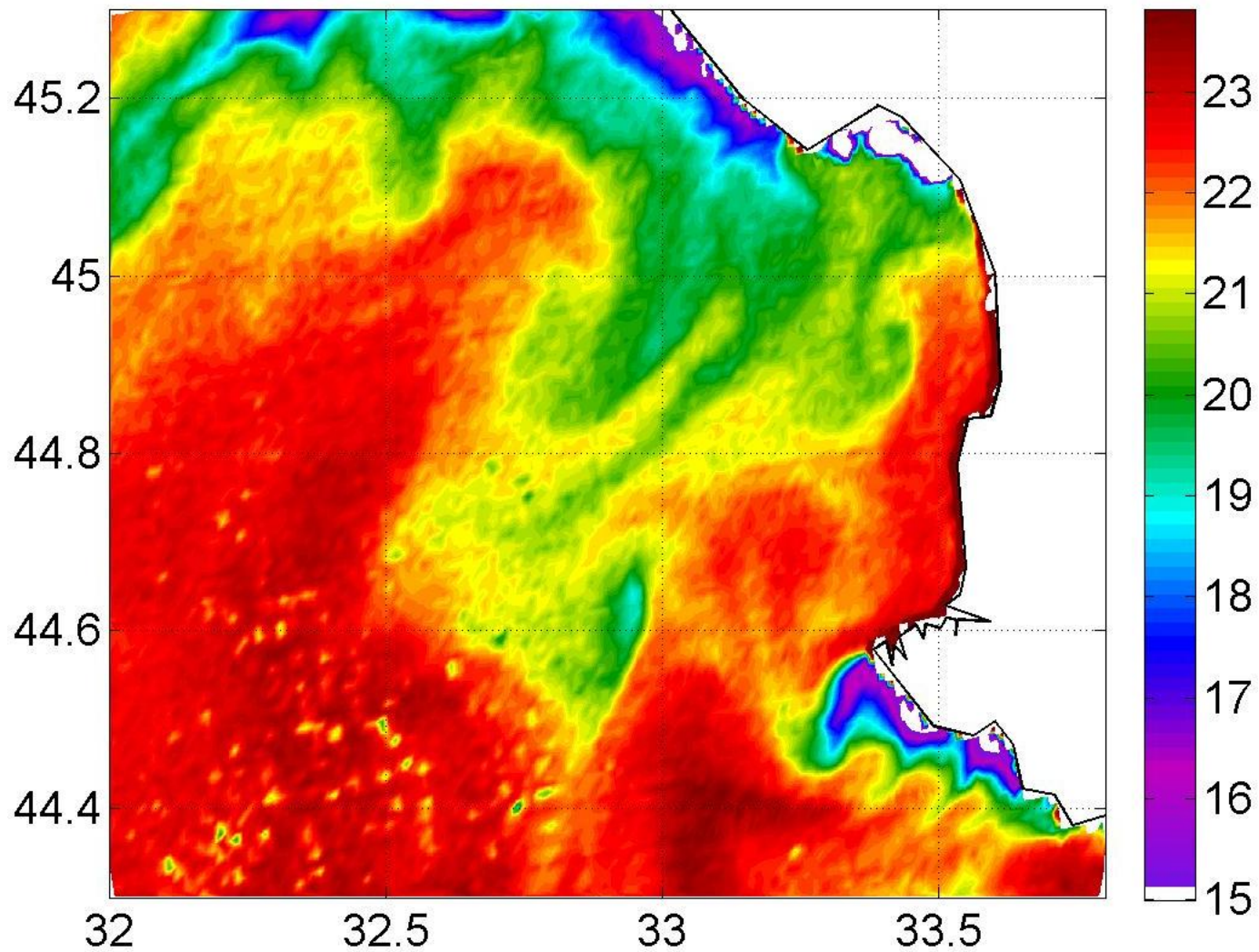
Вихри на фронте апвеллинга по наблюдениям БПЛА



Циклоны на
внешнем фронте
апвеллинга
14 июля 2020 года

Вихри на фронте апвеллинга по наблюдениям БПЛА

20200714



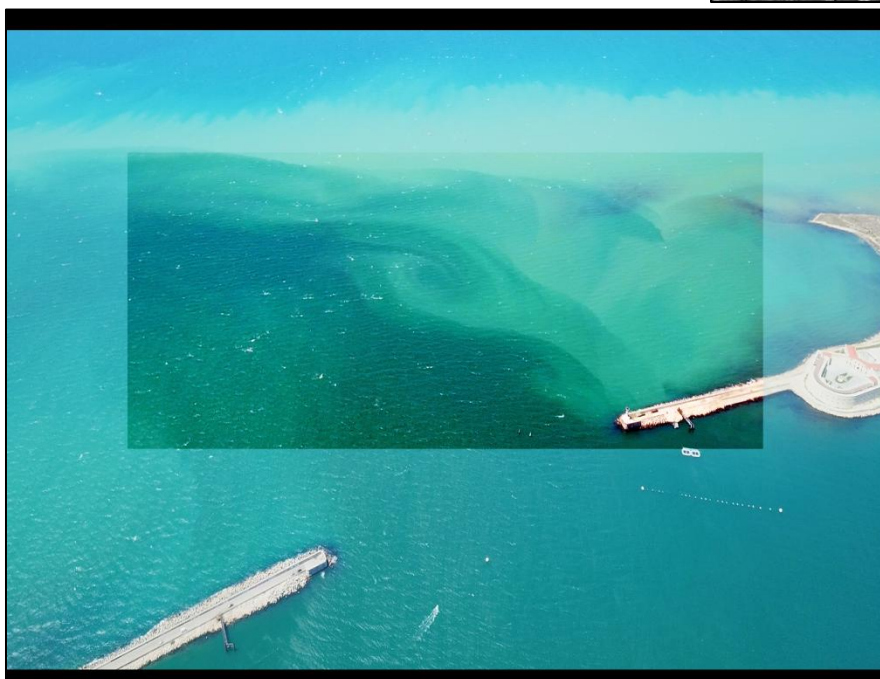
Температура по данным MODIS

Вихри на фронте апвеллинга по наблюдениям БПЛА

Антициклоны на внутреннем фронте апвеллинга 14 июля 2020 года



Антициклон в градиентах ИК



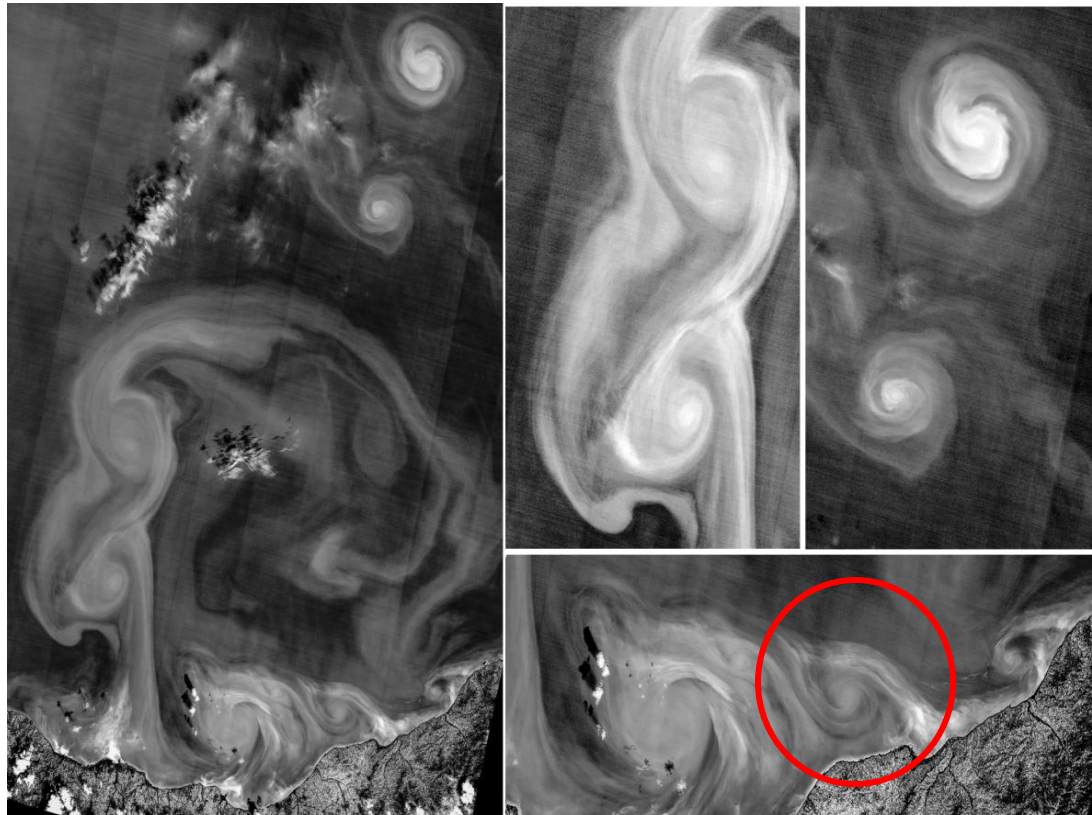
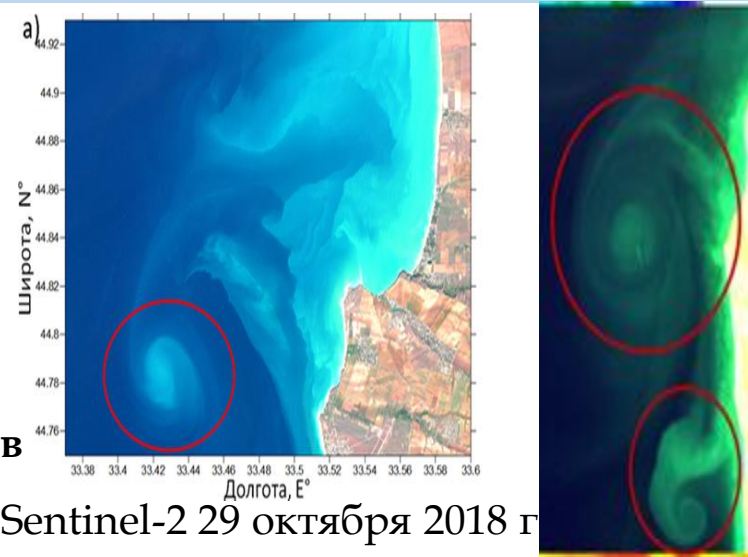
Антициклоны на внутреннем фронте апвеллинга.
09 июля 2020

Конвергенция и аккумуляция взвеси в субмезомасштабных вихрях

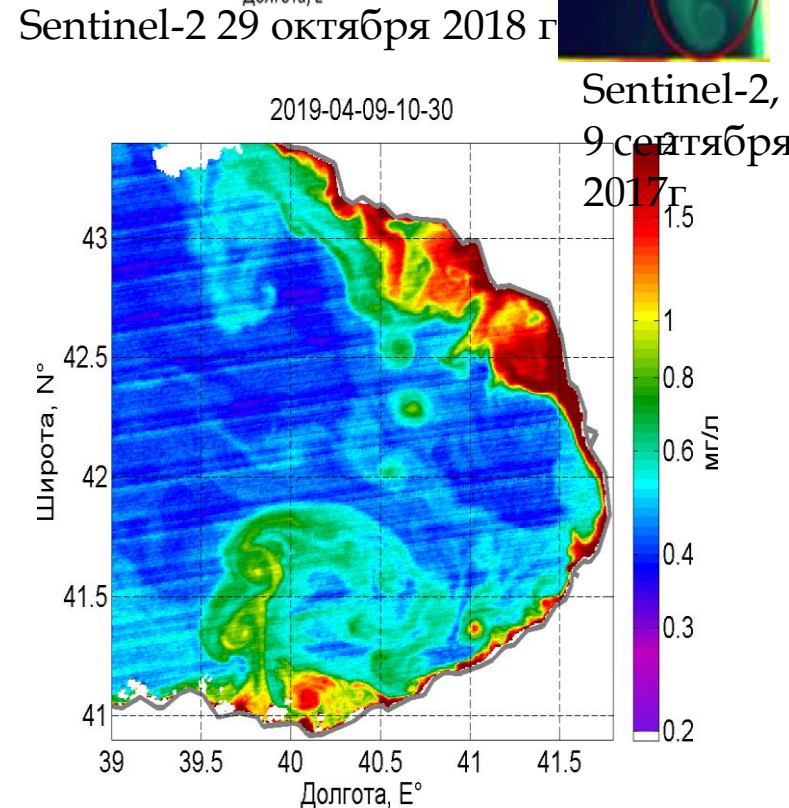
- В подавляющем большинстве случаев наблюдается спиралевидное циклоническое вращение взвеси направленное в центр вихря - >
- В субмезомасштабных циклонах наблюдается конвергенция вод, а не дивергенция как на мезомасштабах

$$\text{div}(V) < 0$$

В результате взвесь аккумулируется в центре циклонов



Sentinel-2, 9 апреля 2019



Выводы

- ✓ Прибрежные субмезомасштабные циклоны, преимущественно наблюдающиеся по спутниковым данным, вызывают конвергенцию вод, в отличие от синоптических циклонов.
- ✓ Субмезомасштабные вихри способны захватывать и переносить взвесь на расстояние , достигающее нескольких 100 км от берега, являясь еще одним механизмом доставки биогенных элементов в глубоководную часть моря.
- ✓ Важными механизмами генерации вихрей в прибрежной зоне является взаимодействие синоптических антициклонов с берегом и мысами, а также образование фронтальных вихрей на границе апвеллингов (Zatsepin et al., 2019; Aleskerova et al., 2020)
- ✓ Оптическая видеосъемка позволяет определять динамическую структуру вихрей с очень высоким разрешением (до нескольких метров).



Благодарю за внимание!!!