

# МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВИХРИ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО АЛЬТИМЕТРА SWOT

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт»

Жук В. Р.

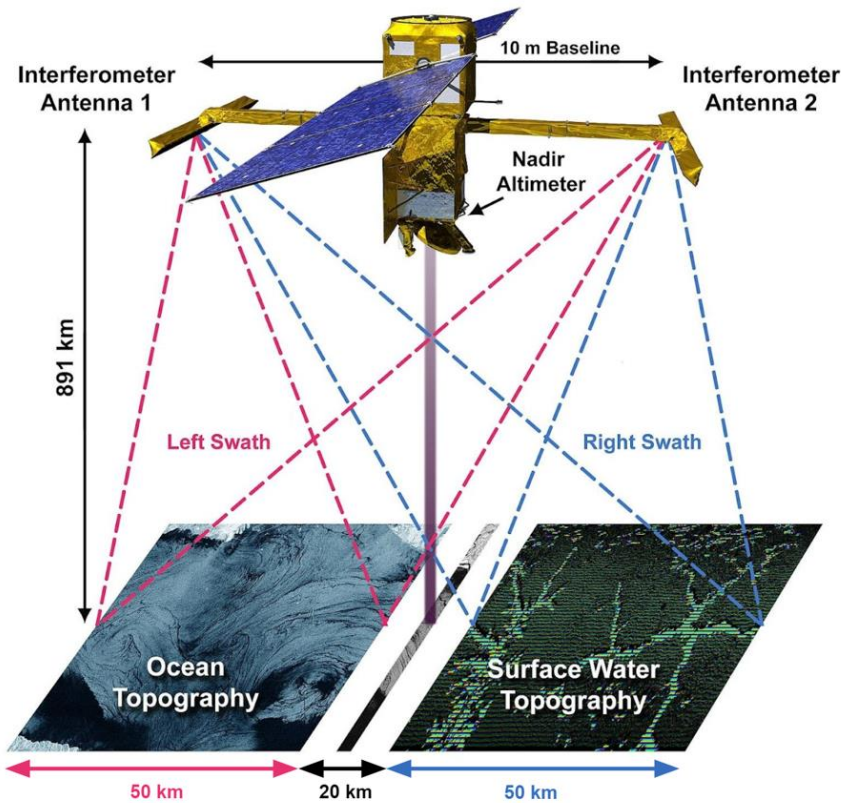
- Мезомасштабные вихри — ключевой элемент климата и экосистемы Черного моря, контролирующие перенос тепла, биогенных веществ и уровень биопродуктивности.
- Традиционная спутниковая альтиметрия не позволяла детально изучать полную картину вихреобразования, особенно на субмезомасштабном уровне.
- Запуск революционной миссии SWOT открывает уникальные возможности для исследования структуры и эволюции вихрей с беспрецедентным разрешением
- Комплексный анализ данных SWOT и оптических данных MODIS позволяет получить новое качество информации о пространственно-временной изменчивости циркуляции моря.

## **Цель работы:**

Оценить возможности данных спутниковой альтиметрии нового поколения (миссия SWOT) для выявления и анализа пространственно-временной изменчивости мезо- и субмезомасштабной вихревой динамики Черного моря в сравнении с существующими альтиметрическими продуктами (DUACS) и данными реанализа.

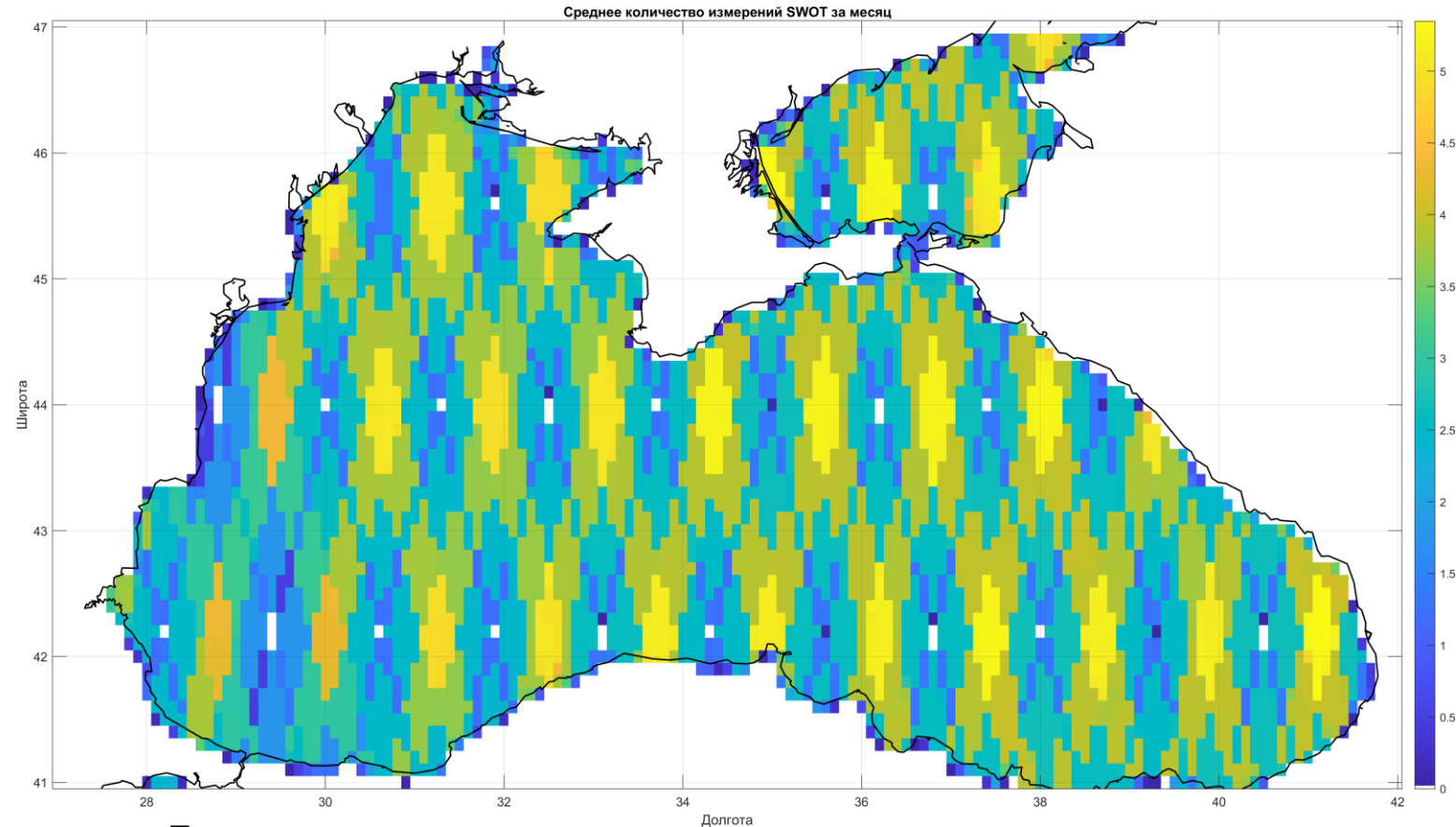
# Данные альтиметра The Surface Water and Ocean Topography (SWOT)

- Наклон орбиты 77,6 deg
- Высота: ~890 km
- Частота повторения 21 день
- Точность измерения высоты поверхности моря < 1,2 см (для 2 км)
- Запущен 16.12.2022



Схематическое изображение спутника SWOT

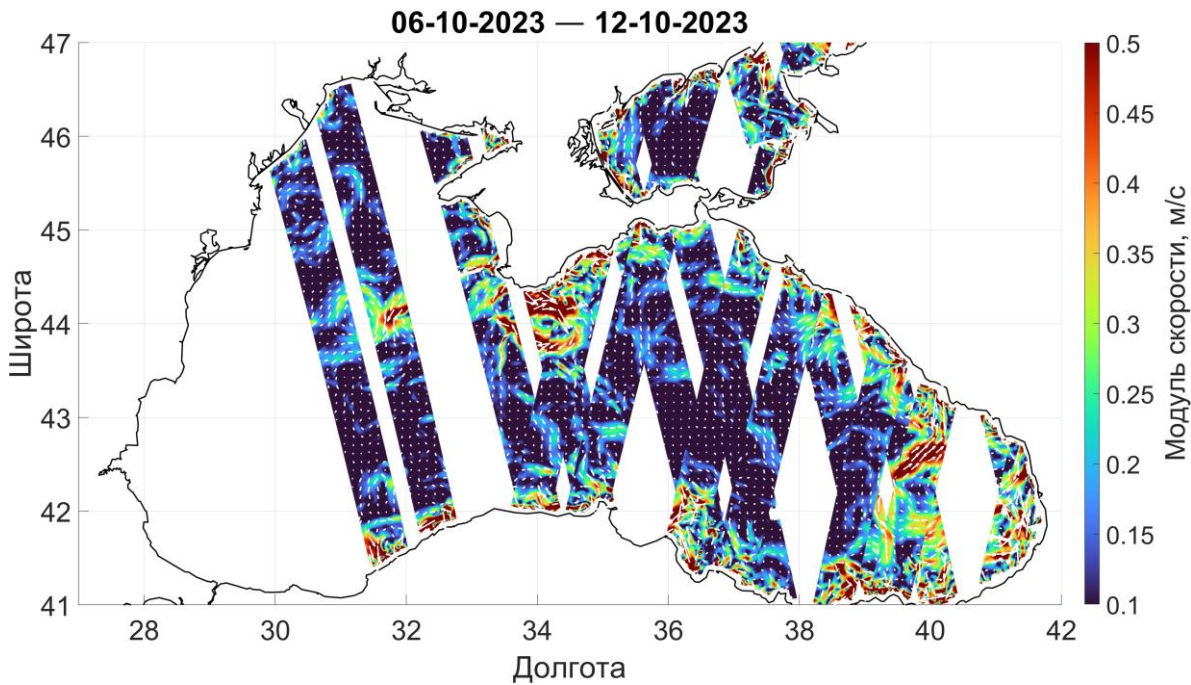
Использовалась экспертная сглаженная версия продукта L3 миссии SWOT (L3\_LR\_SSH, Expert v2.0.0) с разрешением около 2 км. Данные доступны с 2023 года



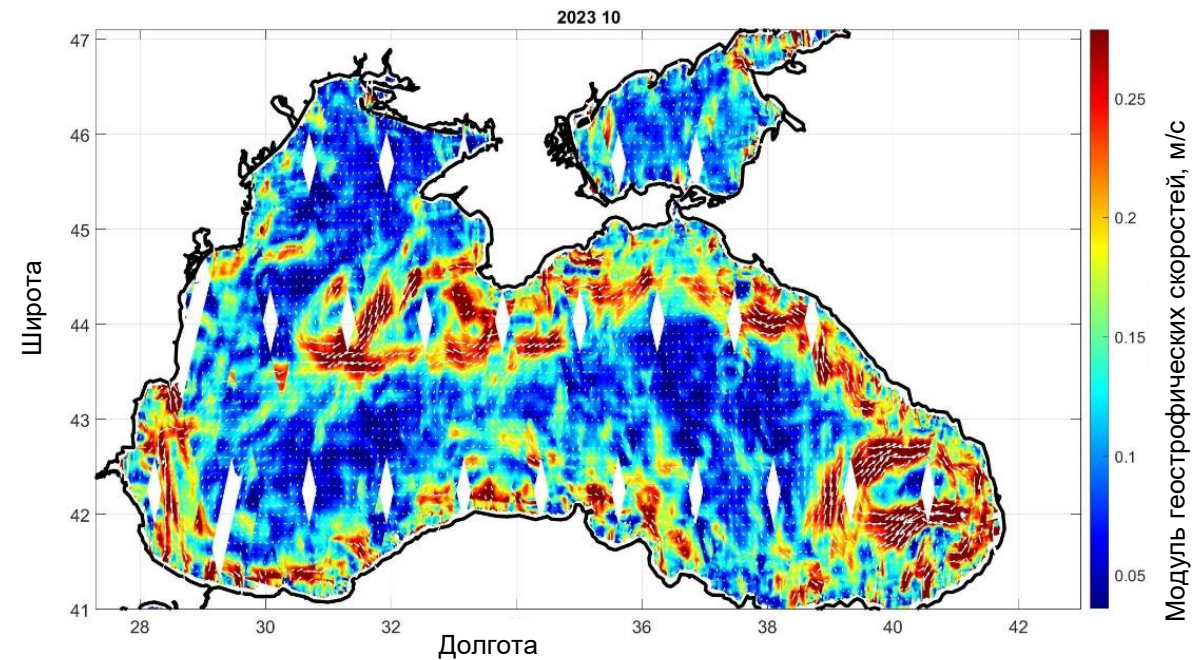
Пространственное распределение среднемесячного количества уникальных треков в Черном море, попадающих в ячейку  $0,1 \times 0,1^\circ$  для периода с 11 августа 2023 по 25 августа 2025

# Данные альтиметра The Surface Water and Ocean Topography (SWOT)

Данные альтиметрии SWOT позволяют идентифицировать как отдельные вихревые структуры, так и устойчивые элементы циркуляции, такие как Батумский вихрь и особенности ОЧТ.



Доступные треки SWOT в Черном море для периода с 6 по 12 октября 2023

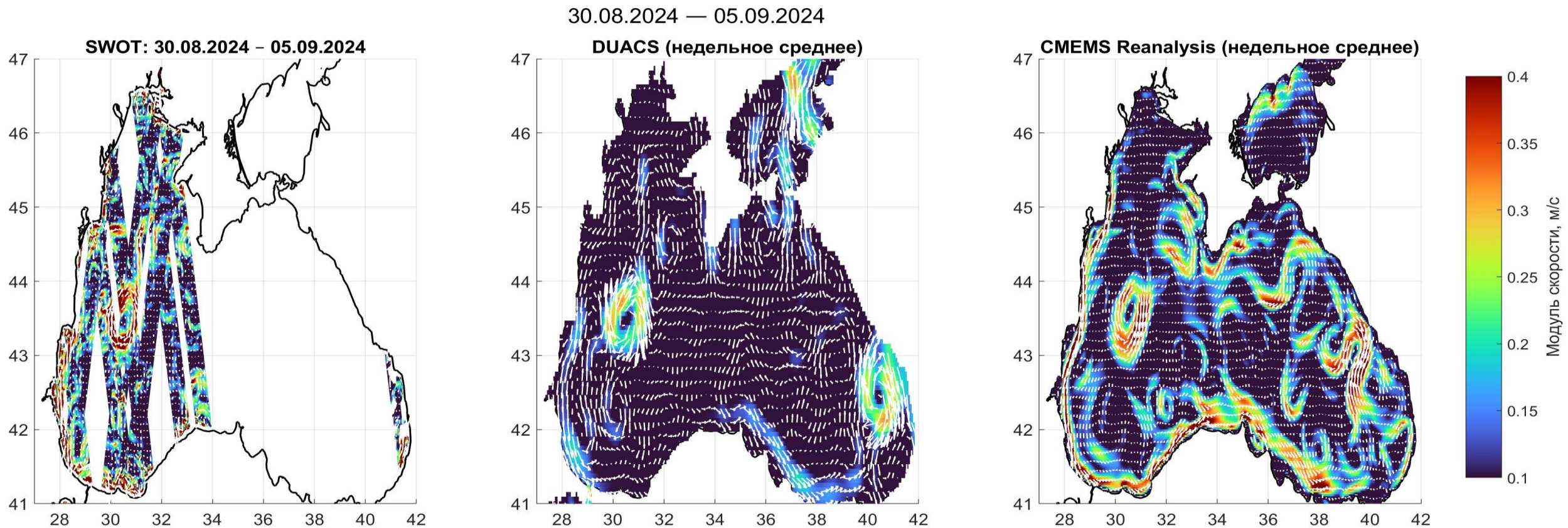


Поле течений в Черном море, осредненное для октября 2023

# Сопоставление с данными DUACS и реанализа

Данные SWOT сопоставлялись с результатами реанализа BLKSEA\_ANALYSISFORECAST\_PHY\_007\_001, основанного на гидродинамической модели Чёрного моря с разрешением  $\sim 3$  км.

Для сравнения также использовался альтиметрический продукт DUACS, рассчитанный методом оптимальной интерполяции с объединением данных различных спутниковых миссий.



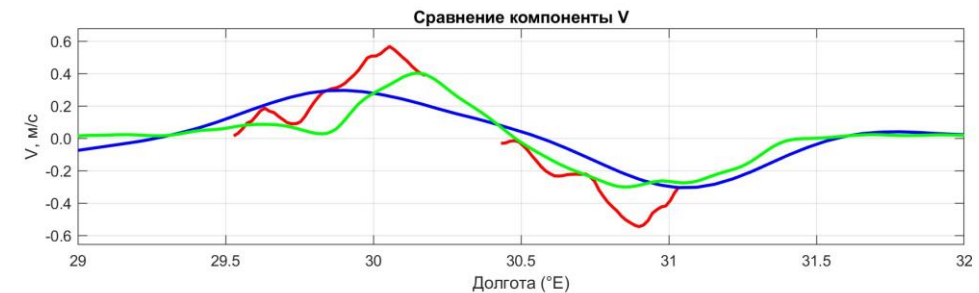
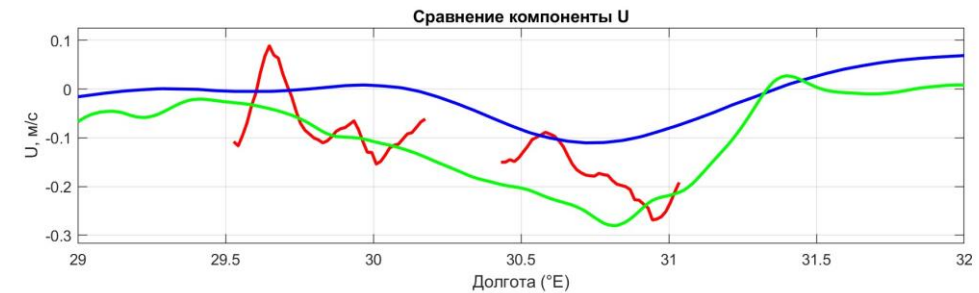
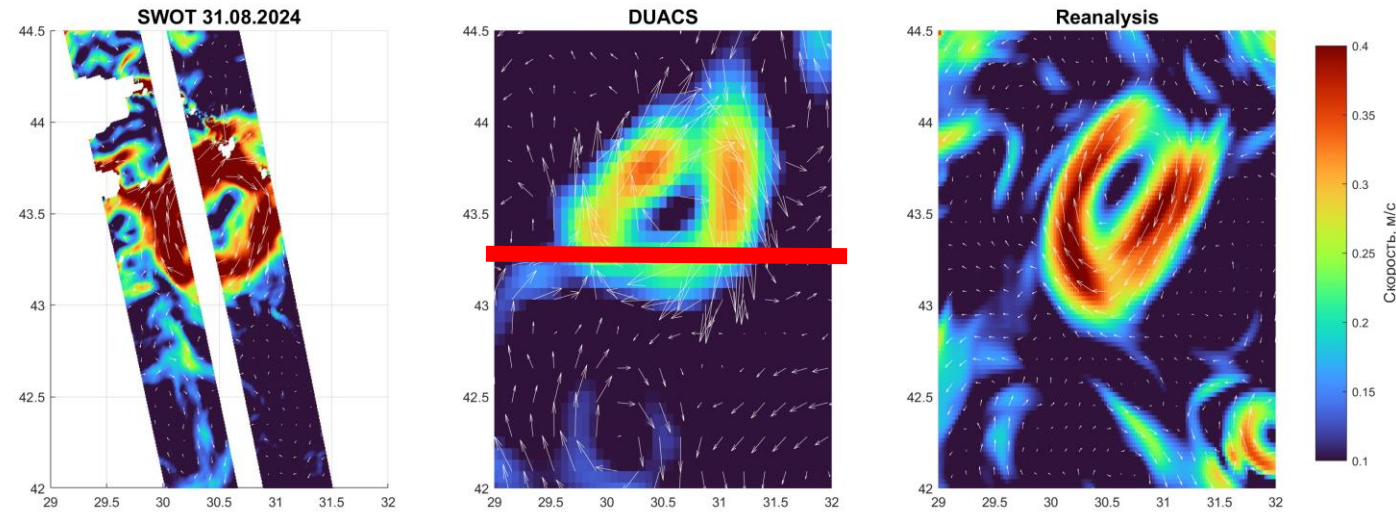
Поле скорости течений по данным SWOT, DUACS и реанализа 30 августа — 5 сентября 2024

# Сопоставление с данными DUACS и реанализа

По данным SWOT аномалии геострофических скоростей выше, чем в DUACS и реанализе, при этом различия модуля скорости вдоль долготного разреза достигают 0,3 м/с и 0,2 м/с соответственно.

Существенные расхождения наблюдаются для обеих компонент скорости, при этом для меридиональной компоненты фиксируется смещение положения максимума значений скорости относительно других наборов данных.

Сравнение SWOT / DUACS / Reanalysis — 31.08.2024

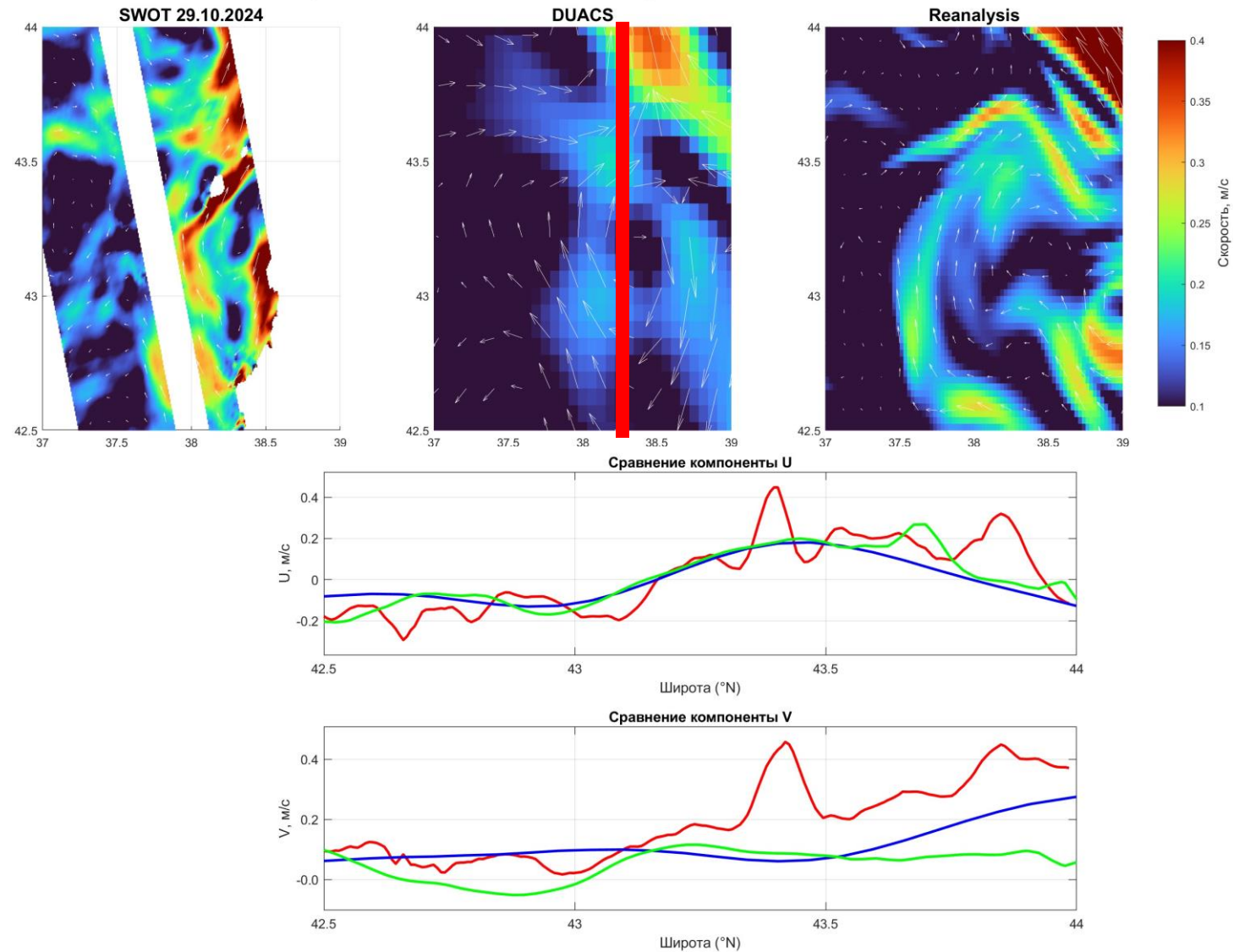


Крупный мезомасштабный вихрь, наблюдаемый 31 августа 2024  
Изменчивость меридиональной и зональной компоненты течений  
вдоль долготы по данным SWOT, DUACS и реанализа

# Сопоставление с данными DUACS и реанализа

29 октября разница U-компоненты течений по данным SWOT вдоль зонального разреза находится в пределах 0,2 м/с  
V-компонента отличается значительно до 0,3 м/с

Сравнение SWOT / DUACS / Reanalysis — 29.10.2024



Крупный мезомасштабный вихрь, наблюдаемый 29 октября 2024  
Изменчивость меридиональной и зональной компоненты течений  
вдоль широты по данным SWOT, DUACS и реанализа

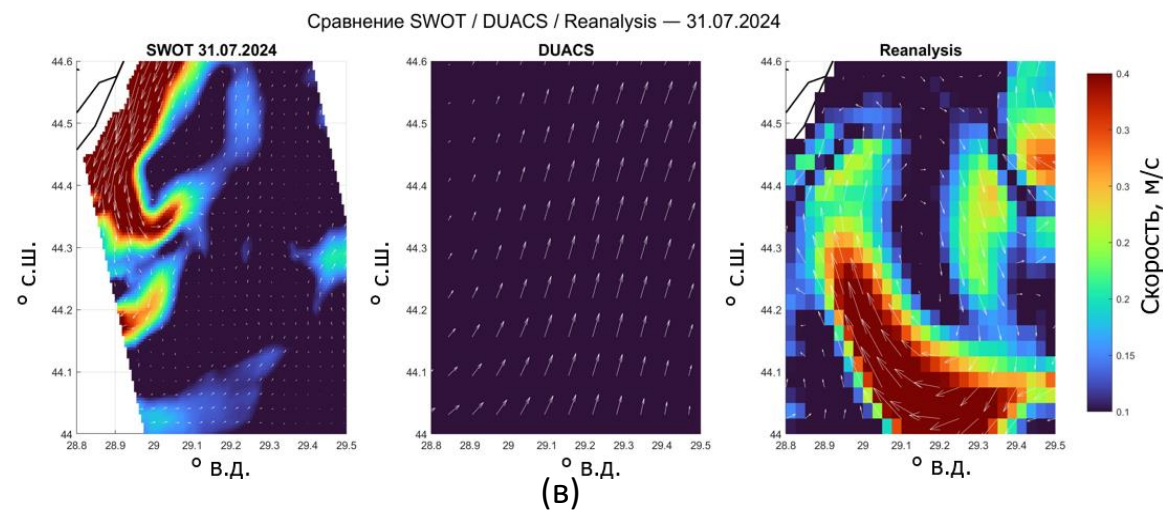
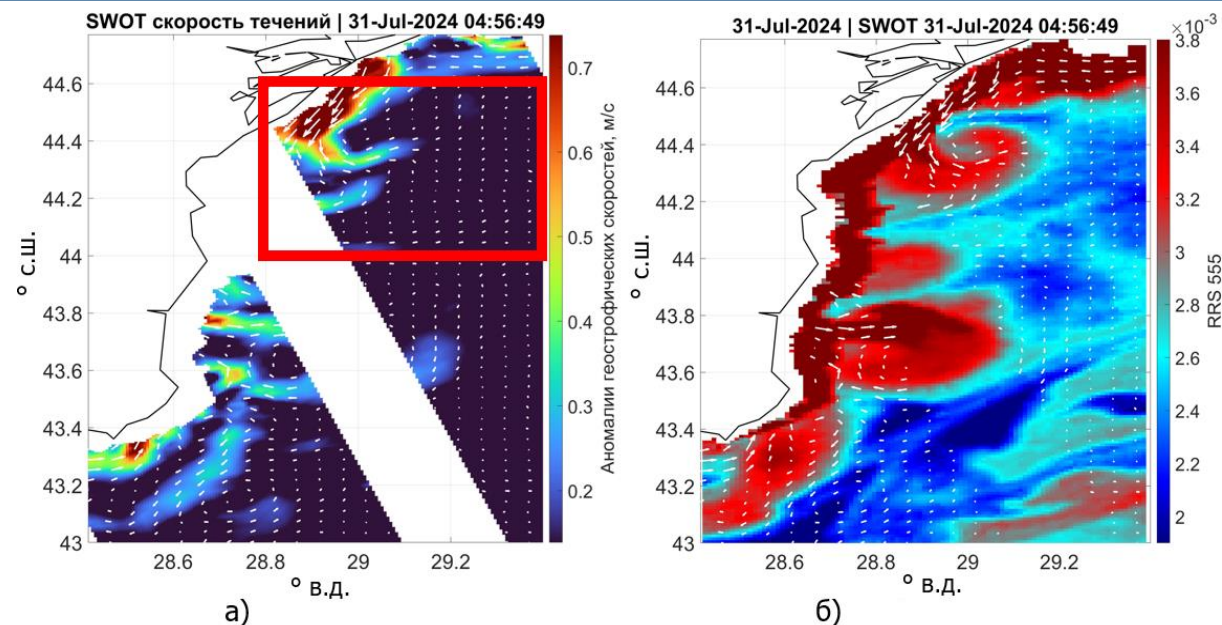
# Сопоставление SWOT с MODIS RRS 555

Сопоставление данных SWOT с измерениями прибора MODIS RRS 555 в Азово-Черноморском бассейне указывает на их согласованную динамику. Повышенные (до  $3,8 \times 10^{-3}$ ) значения RRS 555 соответствуют повышенным значениям модуля скорости SWOT (свыше 0,7 м/с).

Заметно понижение как модуля скорости, так и значений RRS по мере удаления от берега в более глубоководную часть.

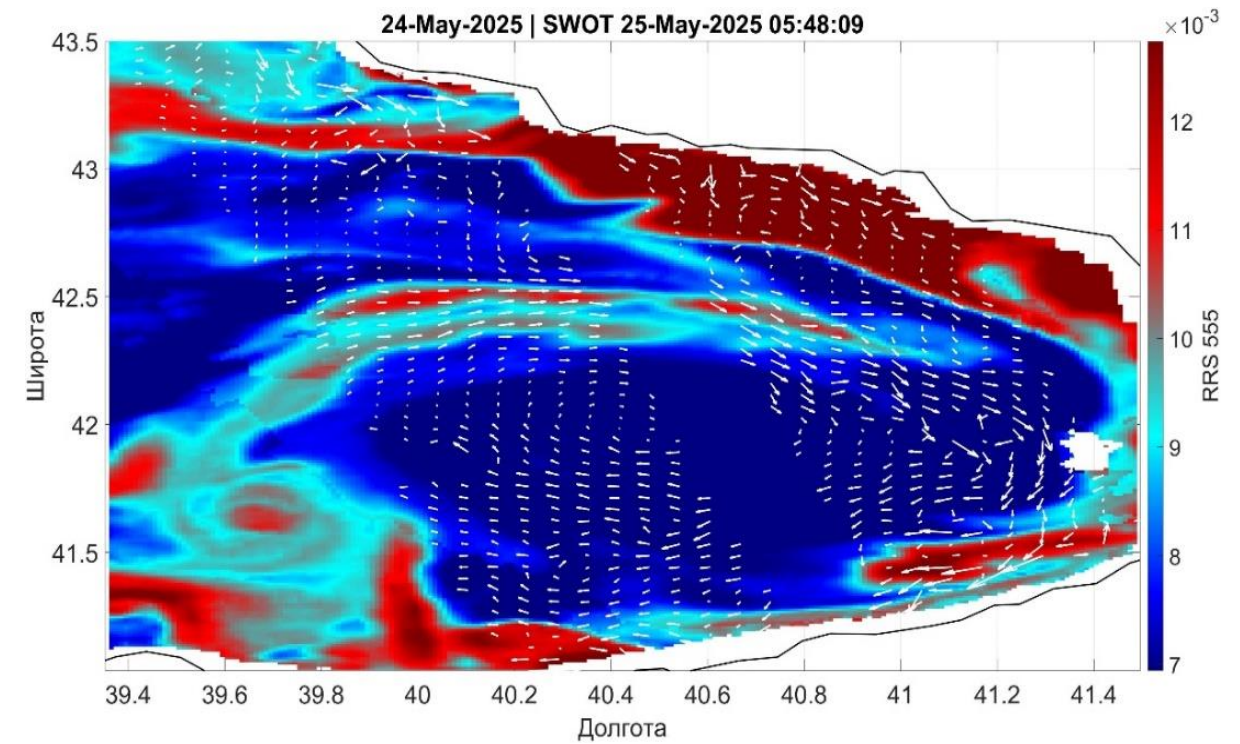
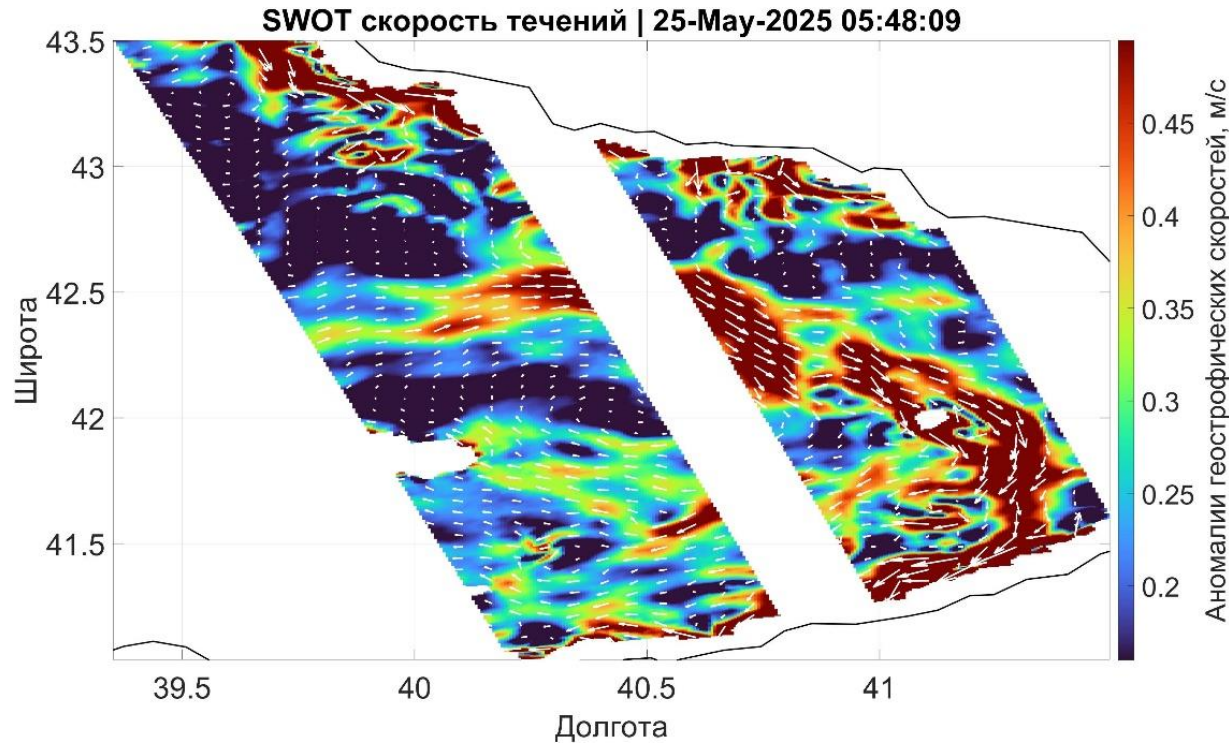
Реанализ и данные альтиметрии DUACS не воспроизводят наблюдаемый по данным SWOT мезомасштабный вихрь 31 июля.

При этом различаются как направление, так и модуль скоростей течений, что подчеркивает необходимость использования данных спутников с высоким пространственным разрешением для ассимиляции в расчетах моделей.



Аномалии геострофических скоростей по данным SWOT в северо-западной части Черного моря (а); Коэффициент спектральной яркости MODIS 555 нм и поле течений по данным SWOT (б); Поле скорости течений по данным SWOT, DUACS и реанализа (в).

# Сопоставление SWOT с MODIS RRS 555



Поле течений по данным SWOT и распределение коэффициента спектральной яркости MODIS 555 нм 25 мая 2025

## Выводы

1. Подтверждено ключевое преимущество SWOT: данные миссии обеспечивают качественно новый уровень детализации ( $\sim 1-2$  км) по сравнению с традиционной альтиметрией ( $\sim 7$  км) и реанализом ( $\sim 3$  км), что позволяет уверенно идентифицировать мезо- и субмезомасштабные вихри.
2. Выявлены систематические расхождения: Поля скорости течений в продуктах DUACS и реанализа являются существенно более сглаженными и занижают интенсивность течений на  $0,2 - 0,3$  м/с по сравнению со SWOT. Некоторые вихревые структуры возможно отслеживать только по данным SWOT.
3. Высокая пространственная корреляция данных SWOT с оптическими измерениями MODIS (RRS 555 нм) доказывает их надежность для картирования динамических процессов (вихрей, фронтов).