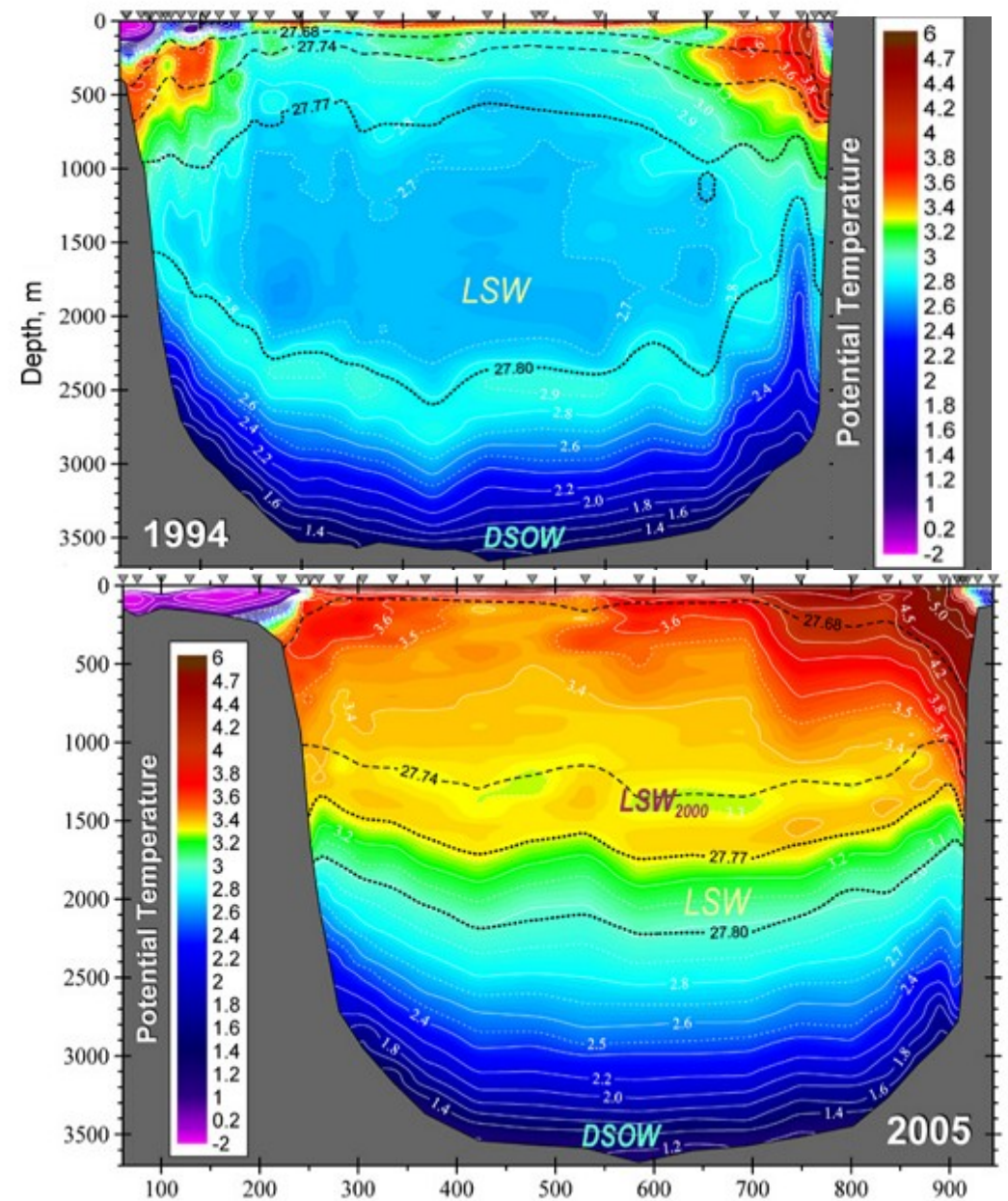




Self-Supervised Eddy Embeddings for Inninger Rings Analysis in the Labrador Sea

Факторы формирования глубокой конвекции

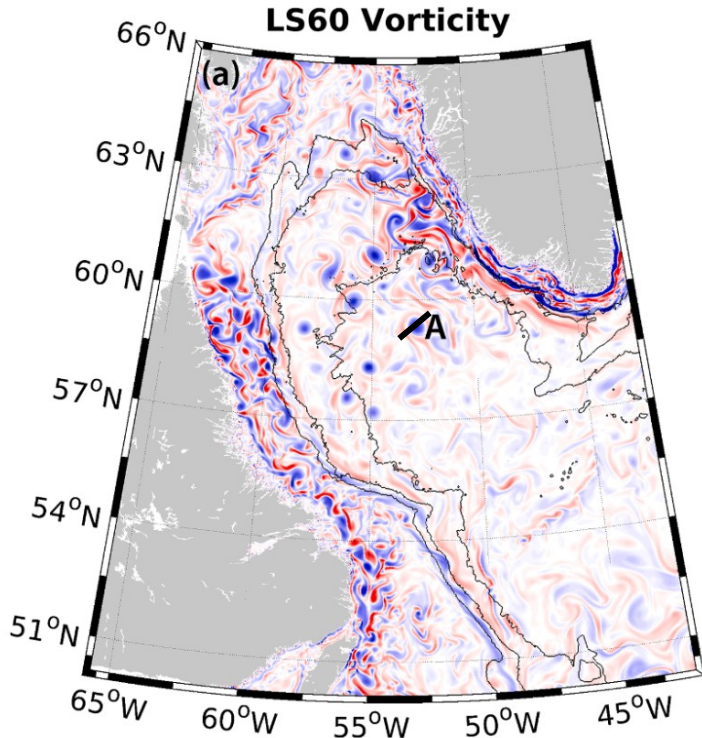
- Интенсивный теплообмен с атмосферой
- сохранение условий стратификации моря Лабрадор после предыдущих конвективных сезонов
- региональная циркуляция (внутренние и пограничные течения)
- горизонтальная адвекция тепла, солености и пресной воды



Yashayev, 2007

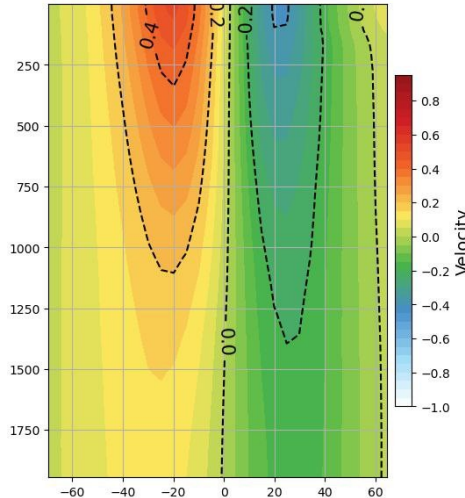
Кольца Ирмингера

Вертикальная структура колец Ирмингера

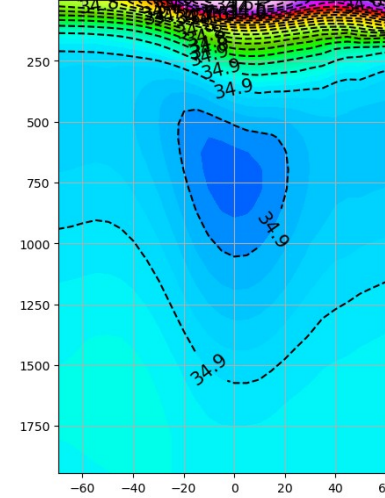


Относительная завихренность,
нормированная на параметр Кориолиса

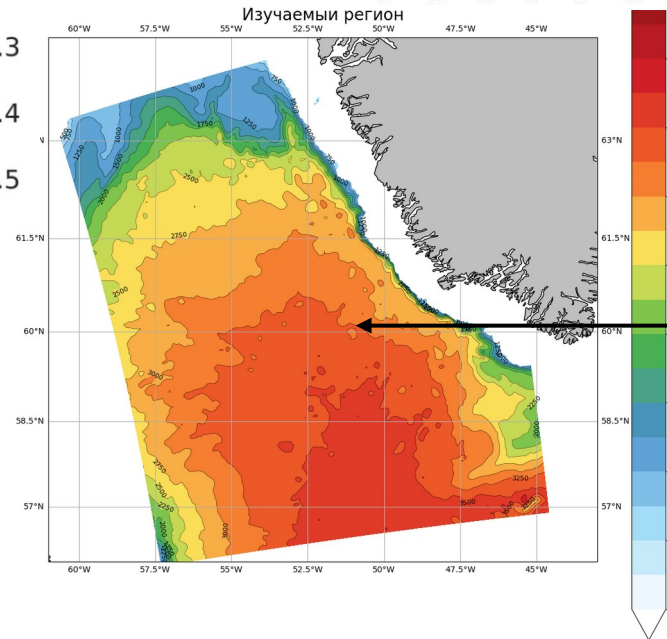
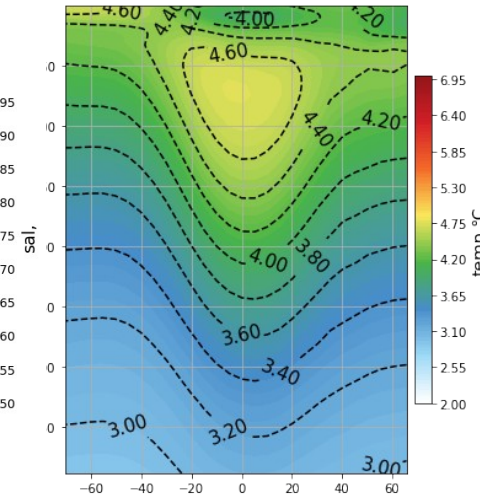
Меридиональная
скорость, м/с



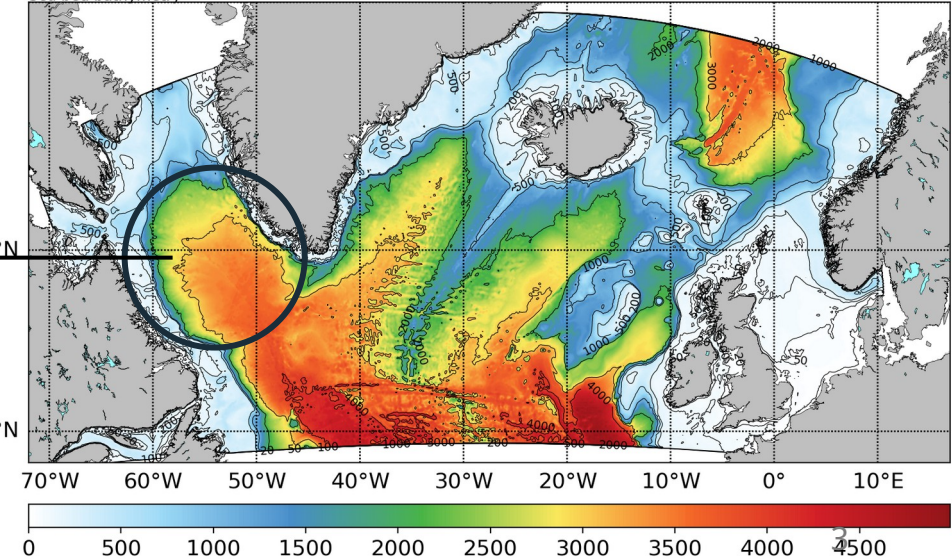
Соленость, ‰



Температура, °C



Sea bed bathymetry



Используемые данные

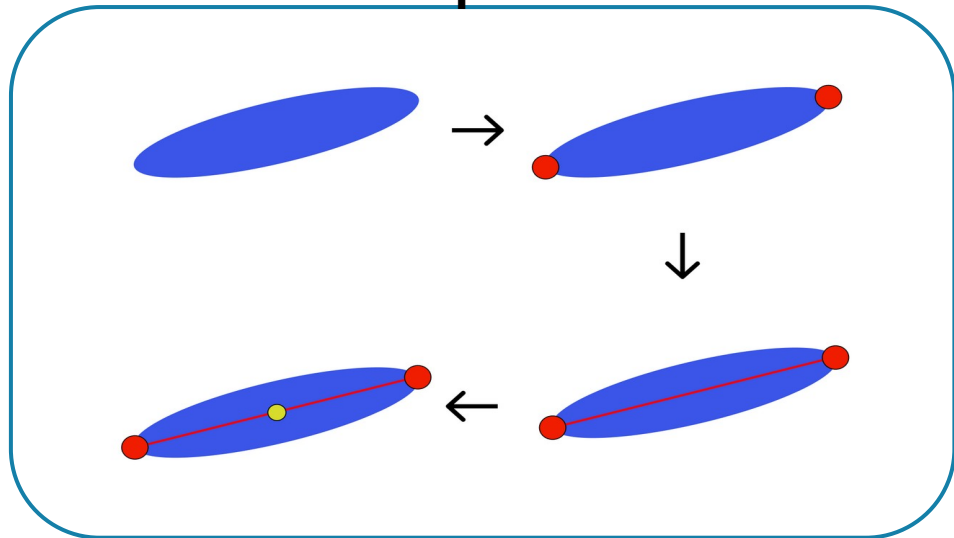
GLORYS12 (NEMO 3.1)

NNATL12 (NEMO 4)

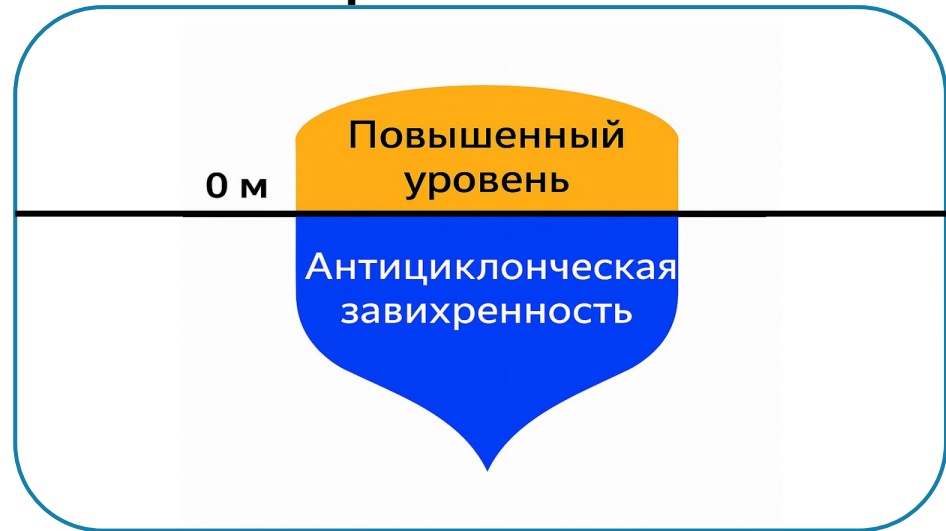
Разрешение	1/12°(3.5–6 км)	1/12° (3.5–6 км)
Вертикальные уровни	50	75
Размер сетки	1201 × 301	934 × 402
Период	1993–2018	1994–2015
Батиметрия	ETOPO1	ETOPO (1'), GEBCO08 (30")
Частота записи	1 сутки	1 сутки

Методы идентификации вихрей

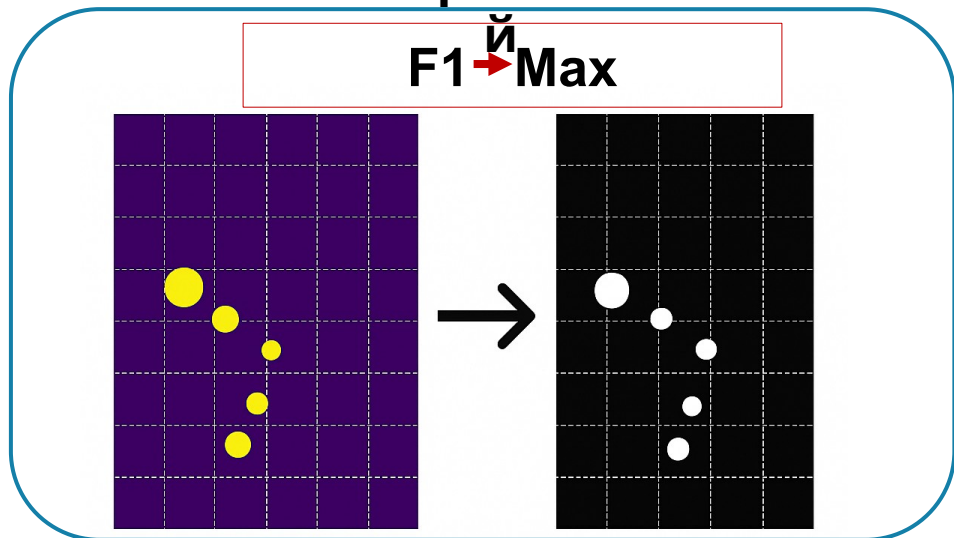
Экспертный



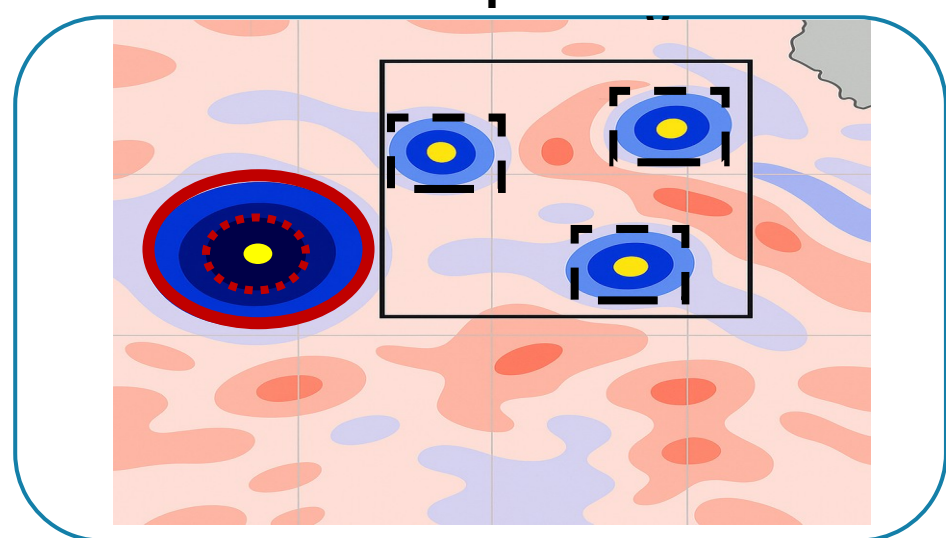
Эвристический



Нейросетево



Оптимизированный

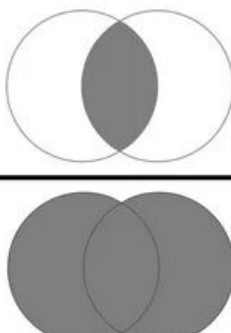


Как оценить качество метода?

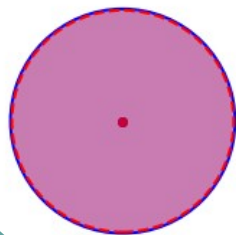
Точность (Precision) - это мера того, насколько точно алгоритм создает метки вихрей, минимизируя количество ложных срабатываний

Полнота (Recall) — это мера способности алгоритма обнаружить все вихри без пропуска, не беря во внимание количество ложных срабатываний

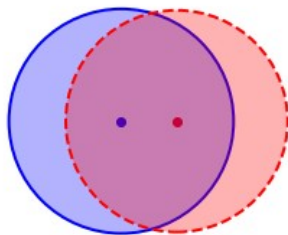
IoU (Intersection over Union) – пересечение, деленное на объединение

$$\text{IoU} = \frac{\text{Area of Overlap}}{\text{Area of Union}}$$


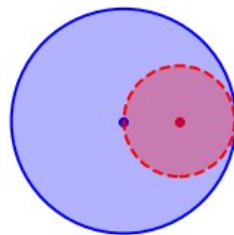
IoU=1.00



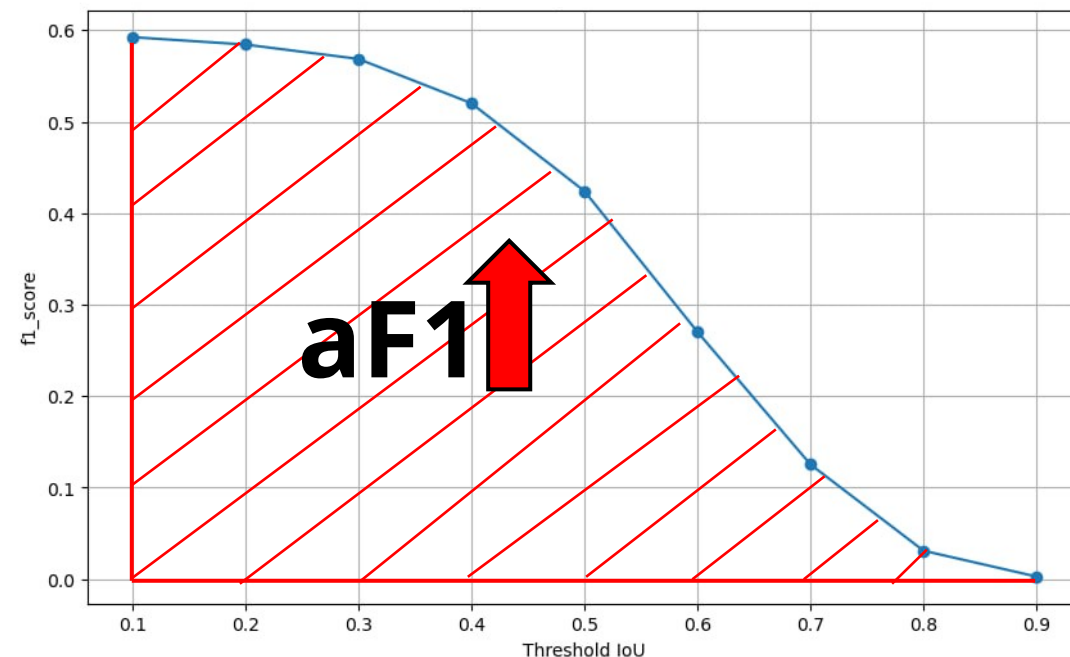
IoU=0.52



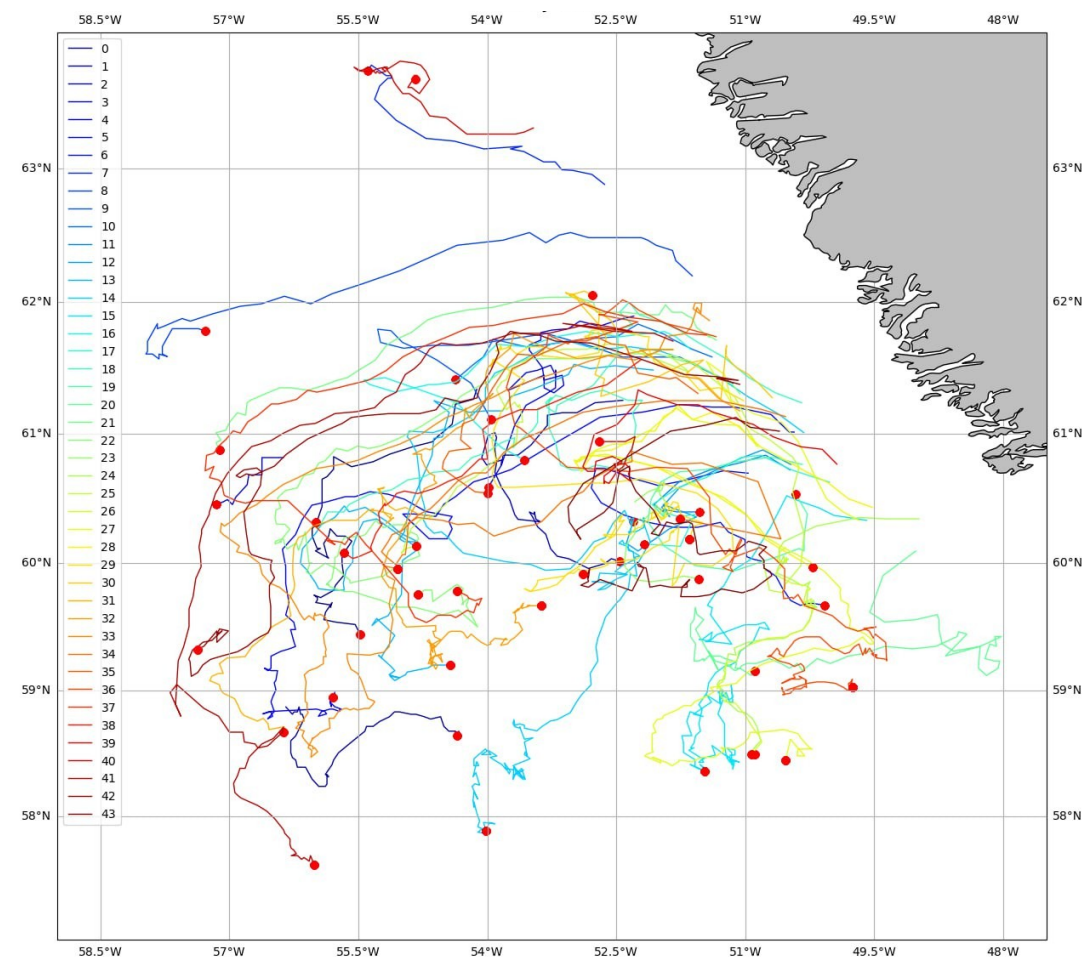
IoU=0.25



$$F1\ Score = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall}$$

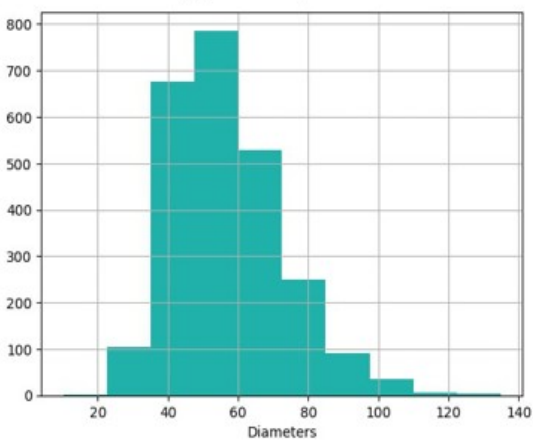


Экспертный метод

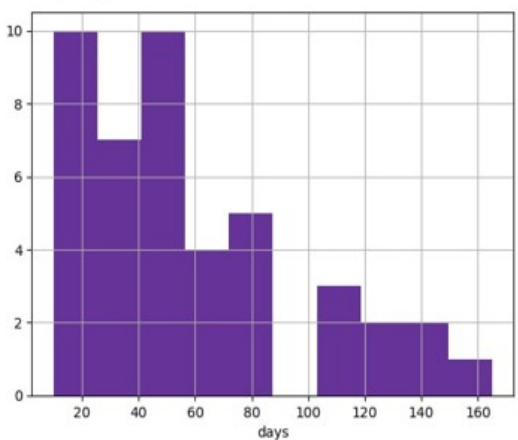


Траектории Колец Ирмингера по данным экспертной разметки за 1995 год. Цветом показаны траектории каждого уникального вихря, красными точками обозначены окончания траекторий.

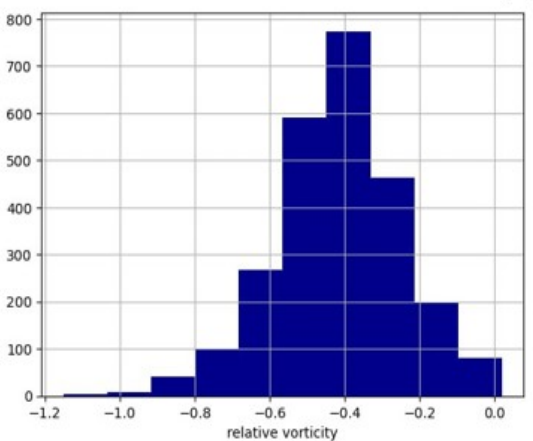
Диаметры КИ



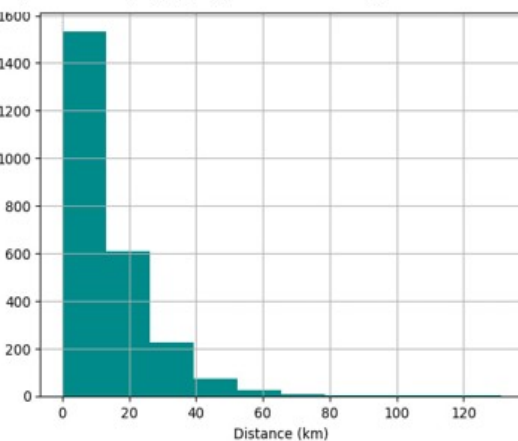
Продолжительность жизни КИ



Интенсивность КИ



Дистанция между двумя последовательными шагами



Метод	Качество	Скорость
Экспертный	1	50 часов

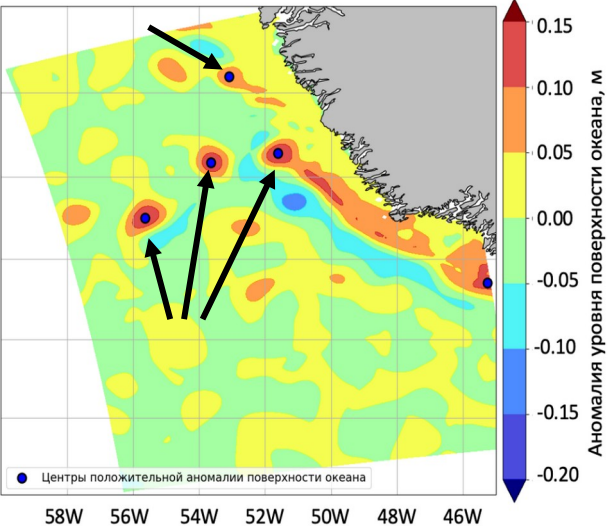
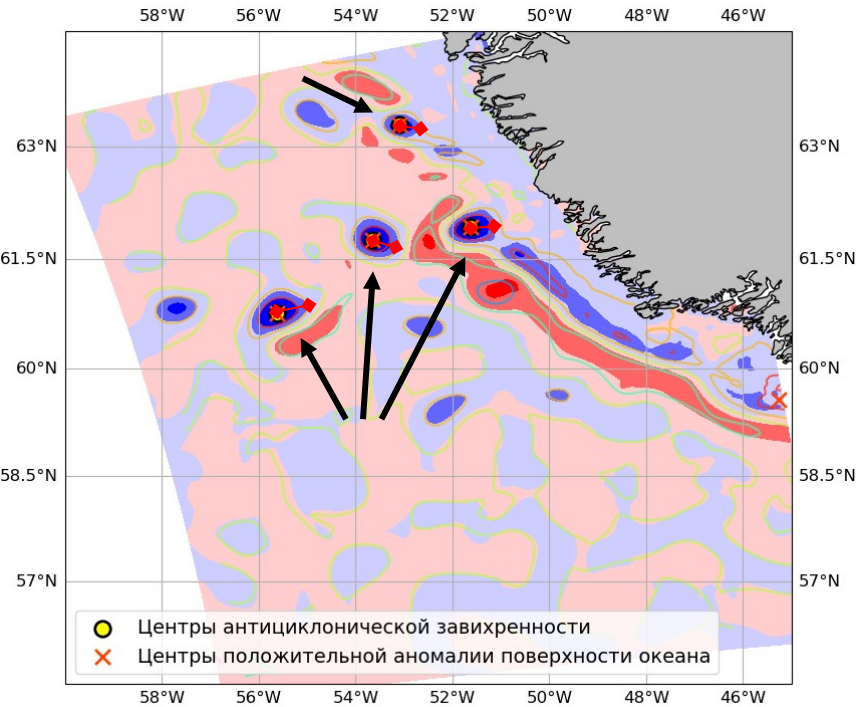
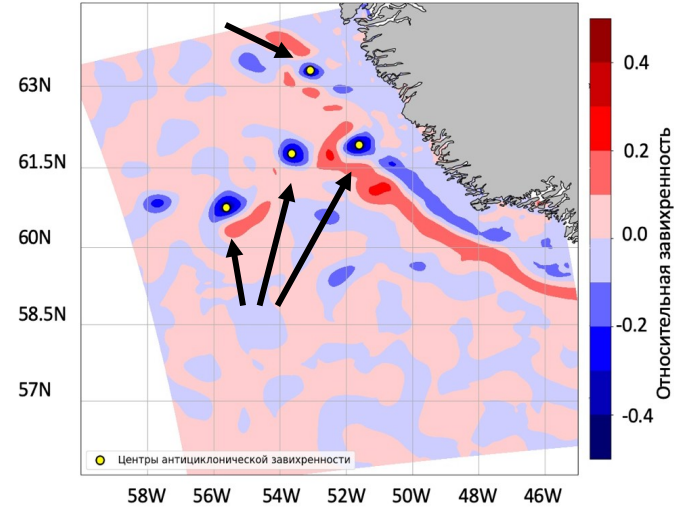
Эвристический метод

Относительная завихренность

- фильтрация мелкомасштабного шума
- поиск локальных минимумов завихренности
- выборка экстремумов по пороговому значению

Уровень поверхности океана

- фильтрация мелкомасштабного шума
- расчет пространственной аномалии УПО
- Поиск локальных максимумов АУПО
- выборка экстремумов по пороговому значению



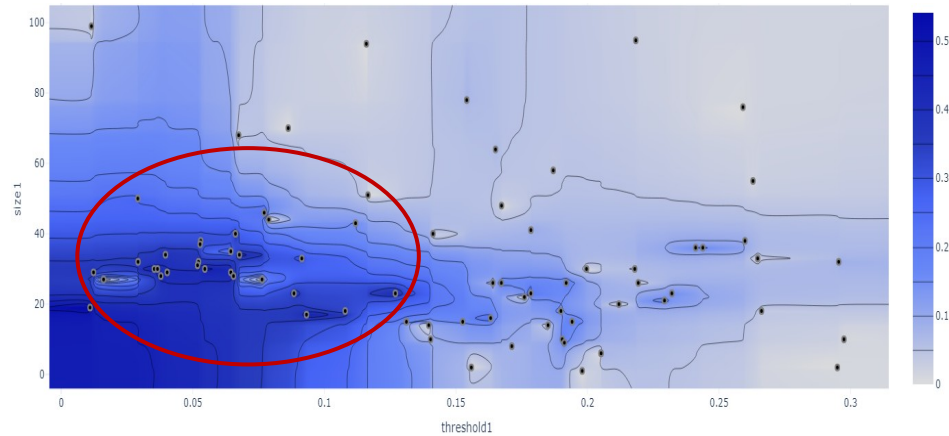
—♦— Радиус вихря

Метод	Качество	Скорость
Экспертный	1	50 часов
Эвристический	0.232	43,4 секунд

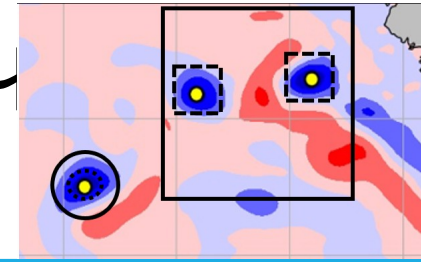
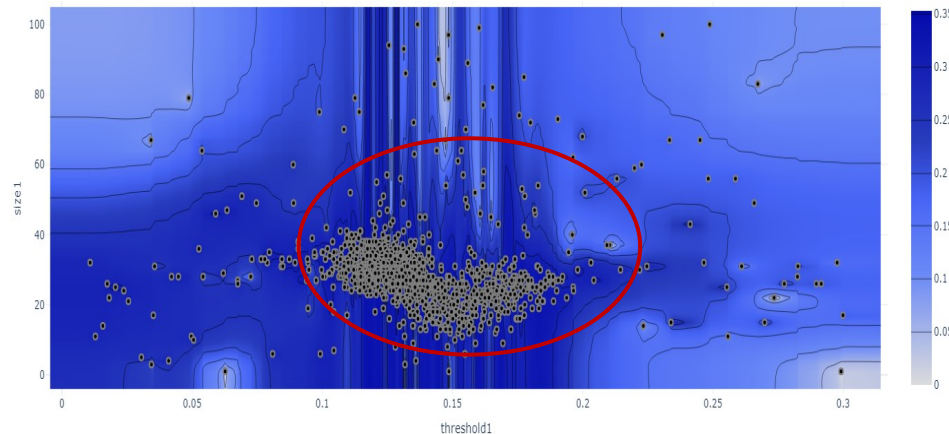
Оптимизированный эвристика



Распределение плотности вероятности в начале оптимизации



Распределение плотности вероятности в конце оптимизации



Алгоритм поиска
центра вихря

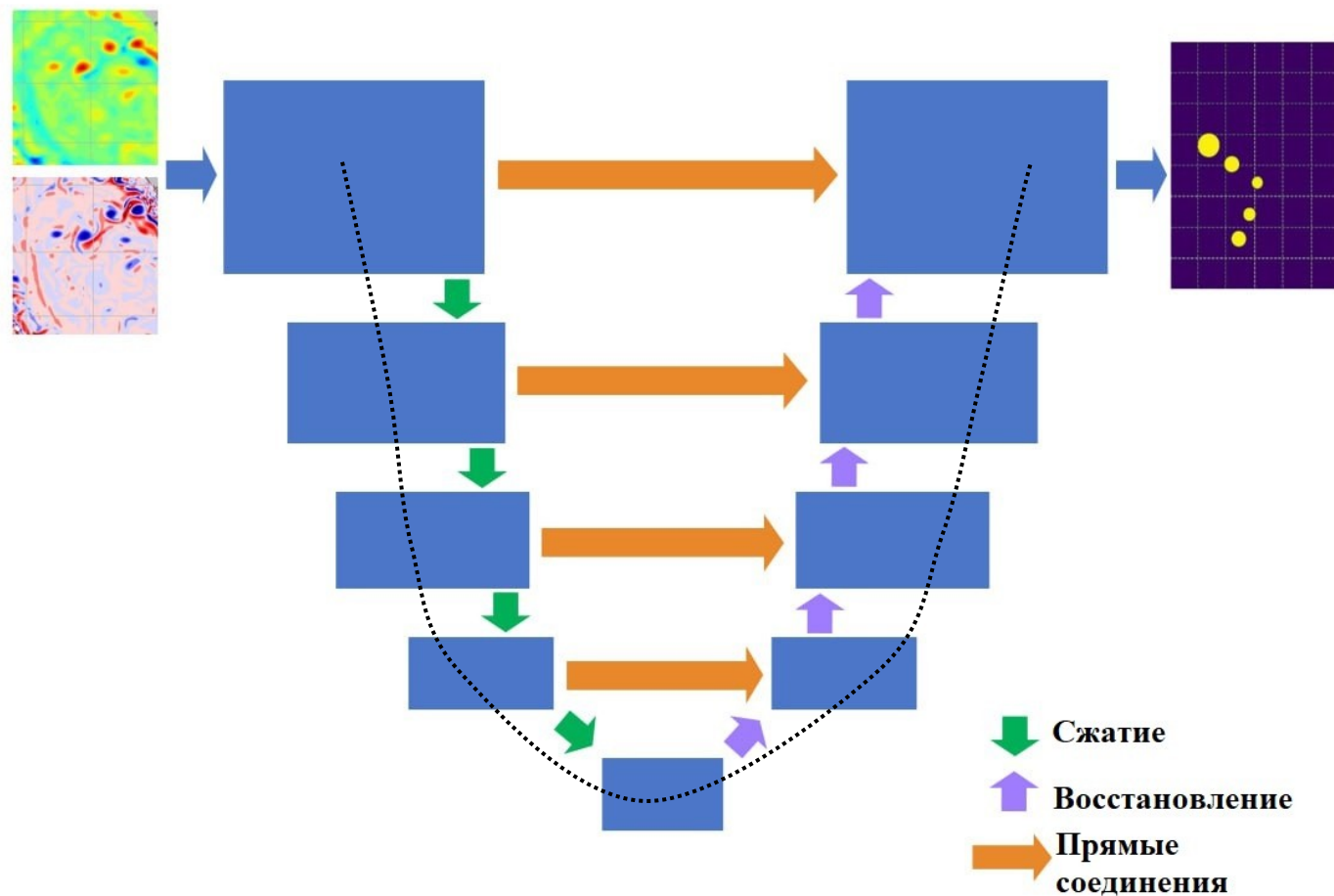
- Размер окрестности поиска локального минимума относительной завихренности A_c
- Пороговое значение T_c , по которому производится фильтрация значений относительной завихренности для нахождения центра вихря
- Размер окрестности поиска локального максимума аномалии уровня поверхности моря A_n
- Пороговое значение T_n , по которому производится фильтрация значений аномалии уровня поверхности моря для нахождения центра вихря
- Пороговое значение T_r , по которому производится фильтрация значений относительной завихренности для нахождения радиуса вихря
- Радиус R_c , в пределах которого производился поиск отфильтрованных по пороговому значению T_r узлов сетки

Алгоритм поиска
радиуса вихря

Метод	Качество	Скорость
Экспертный	1	50 часов
Эвристический	0.232	43,4 секунд
Оптимизированный эвристический	0.352	40,3 секунд

Нейросетевой метод

Архитектура U-Net



Нейросетевой метод

Разметка оптимизированного
эвристического алгоритма в
данных реанализа **GLORYS12**

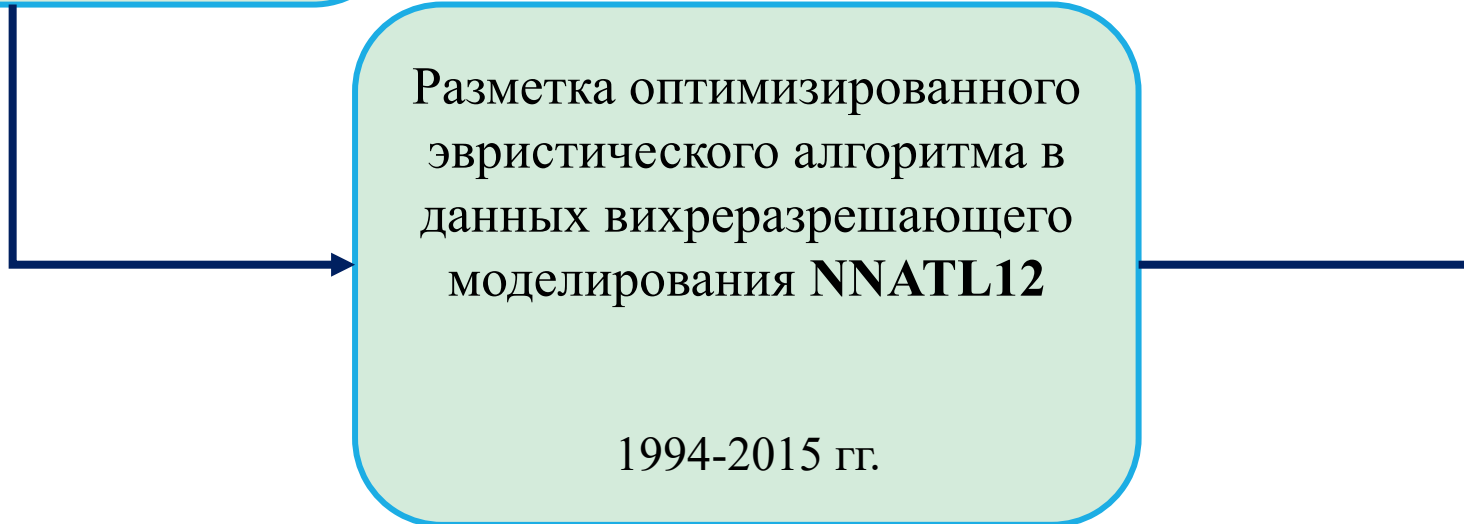
1993-2018 гг.

Экспертная разметка в
данных вихреразрешающего
моделирования **NNATL12**

1995 г.

Разметка оптимизированного
эвристического алгоритма в
данных вихреразрешающего
моделирования **NNATL12**

1994-2015 гг.



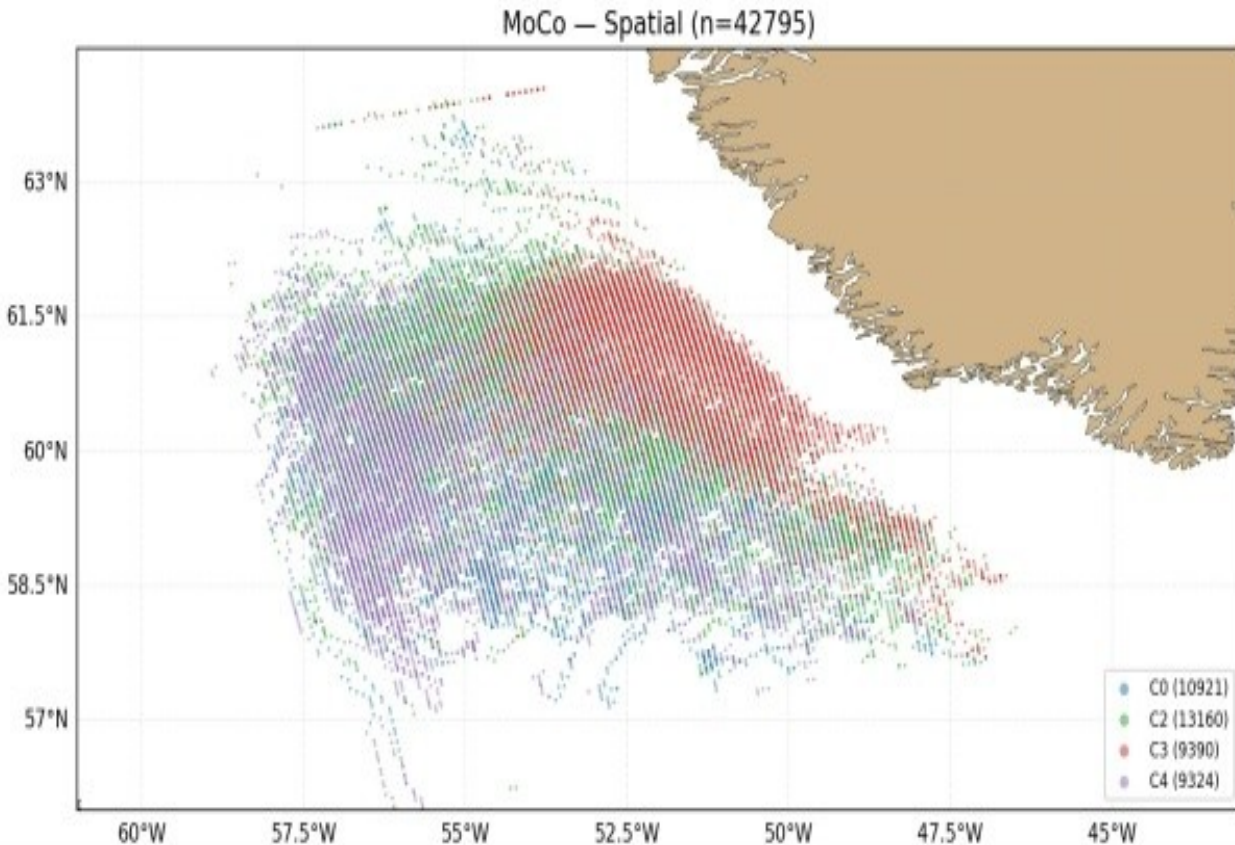
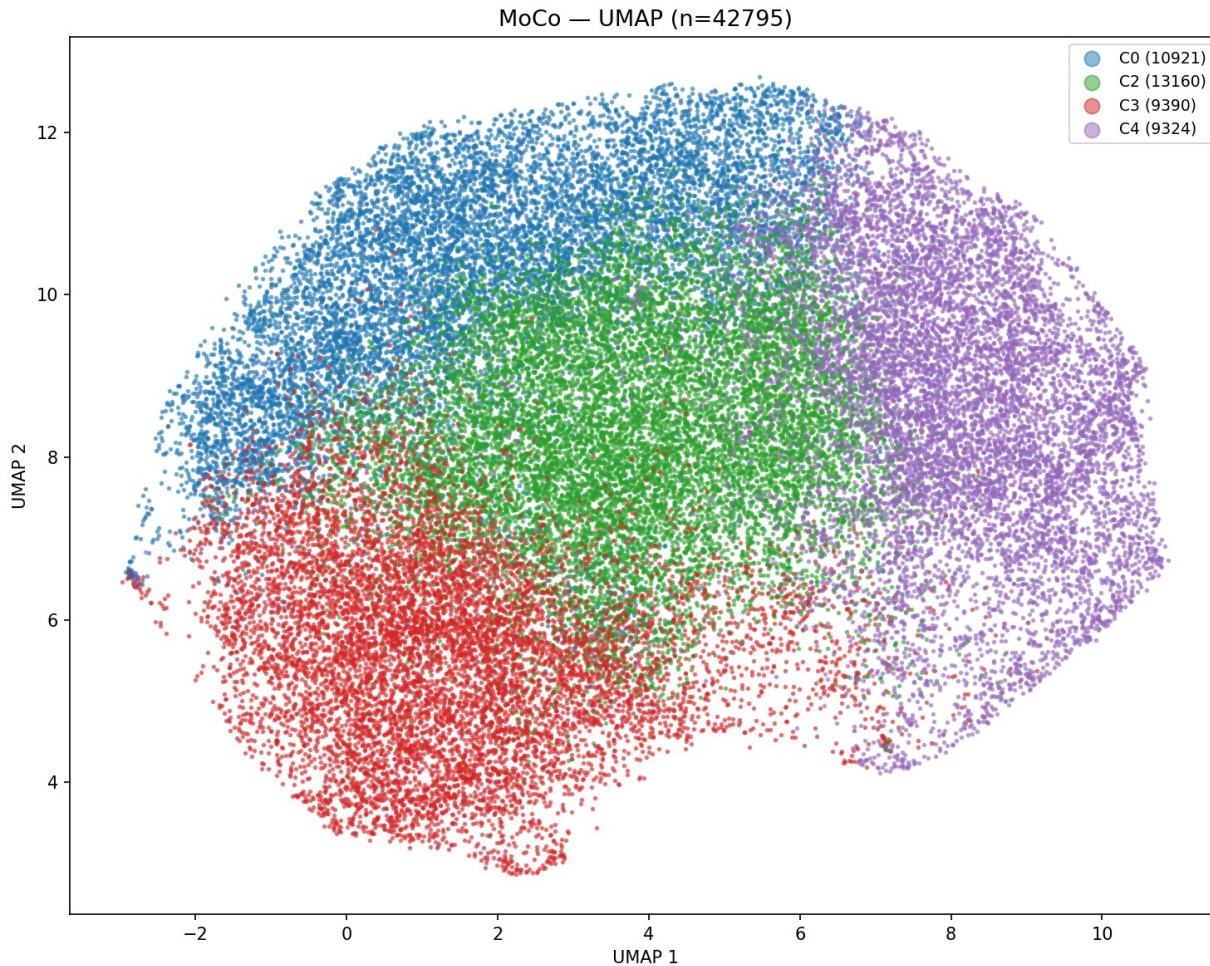
Результаты методов детекции

Метод	Качество	Скорость
Экспертный	1	50 часов
Эвристический	<u>0.232</u>	43,4 секунд
Оптимизированный эвристический	0.352	40,3 секунд
Нейросетевой	<u>0.904</u>	4,6 секунд

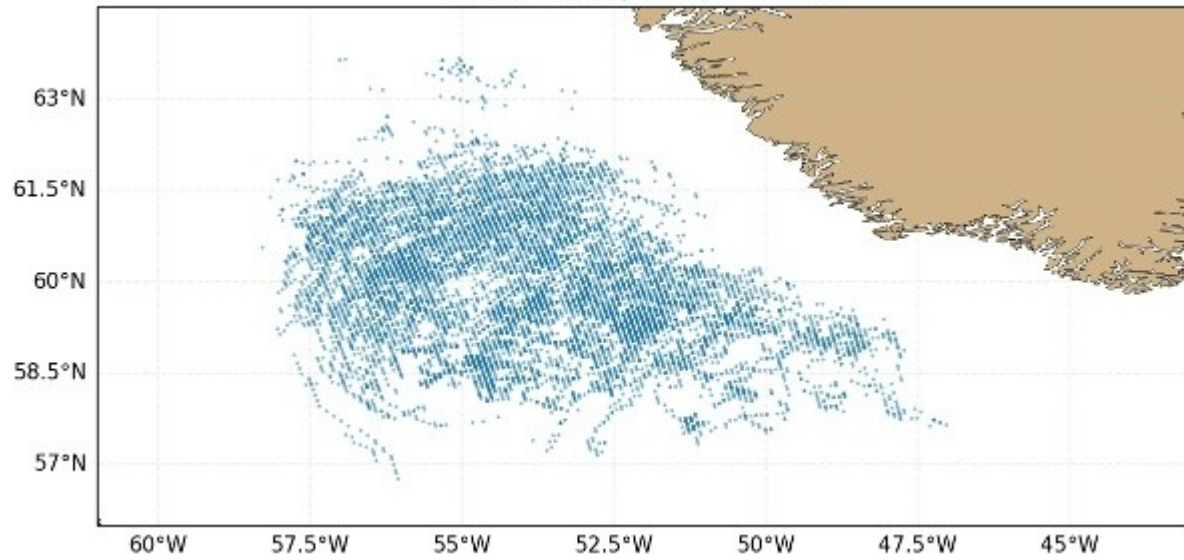
Оптимизация по F1-мере привела к улучшению качества идентификации на **52%**

Качество нейросетевого алгоритма превосходит эвристический до оптимизации на **290%** и на **157%** по сравнению с эвристическим алгоритмом после оптимизации

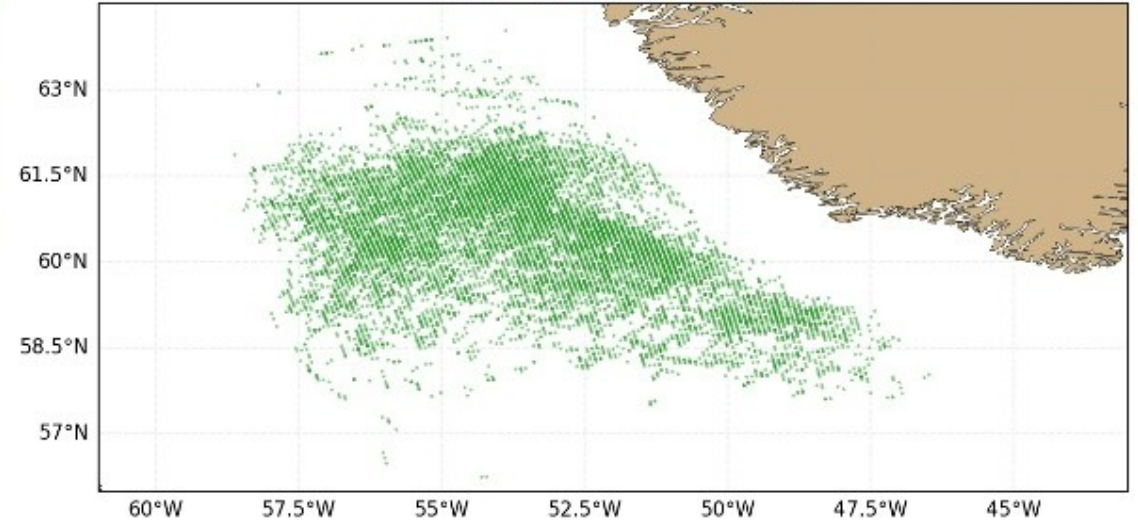
Контрастивное обучение (MoCo)



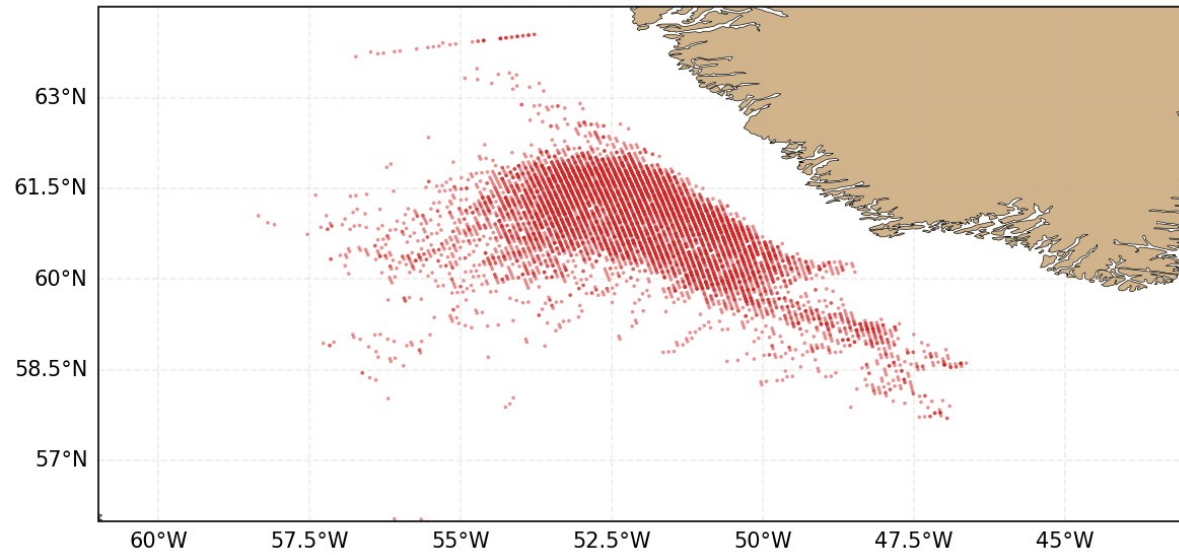
MoCo — C0 Spatial (n=10921)



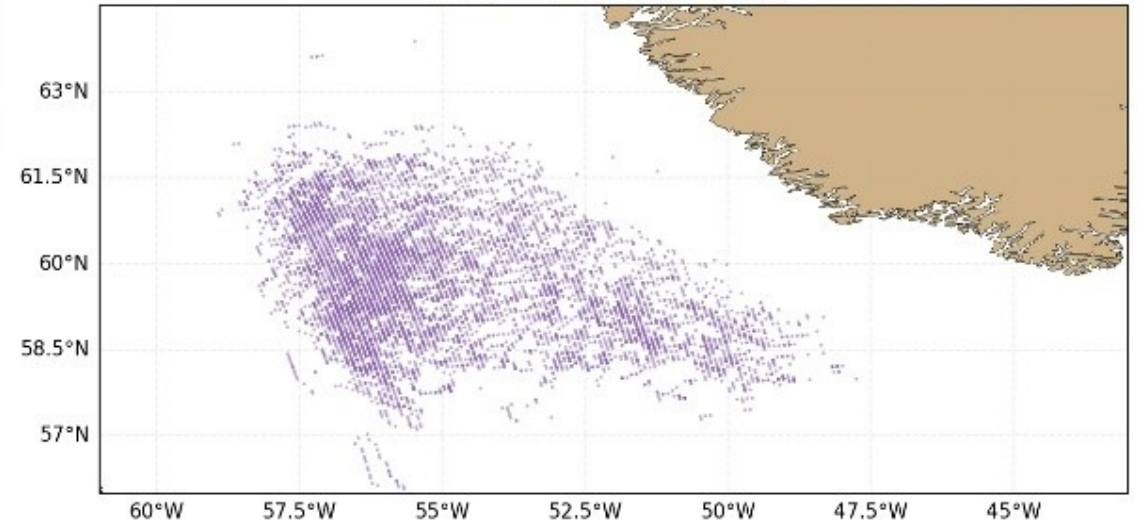
MoCo — C2 Spatial (n=13160)



MoCo — C3 Spatial (n=9390)

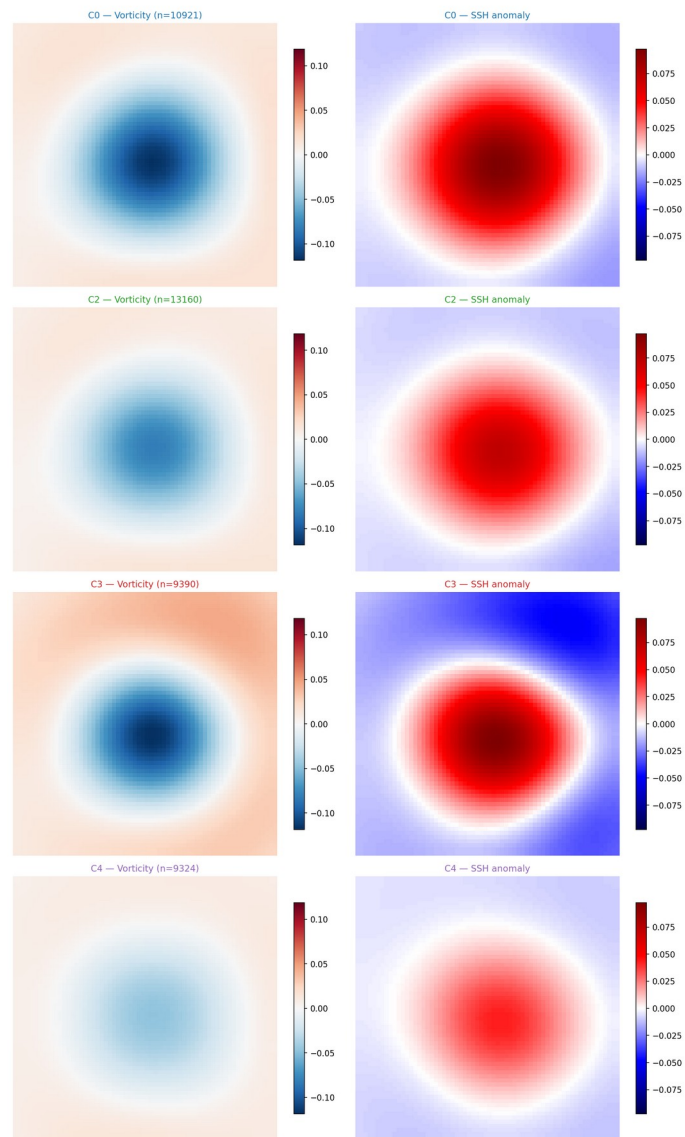


MoCo — C4 Spatial (n=9324)



Композиты по кластерам

Поверхность



Глубина

