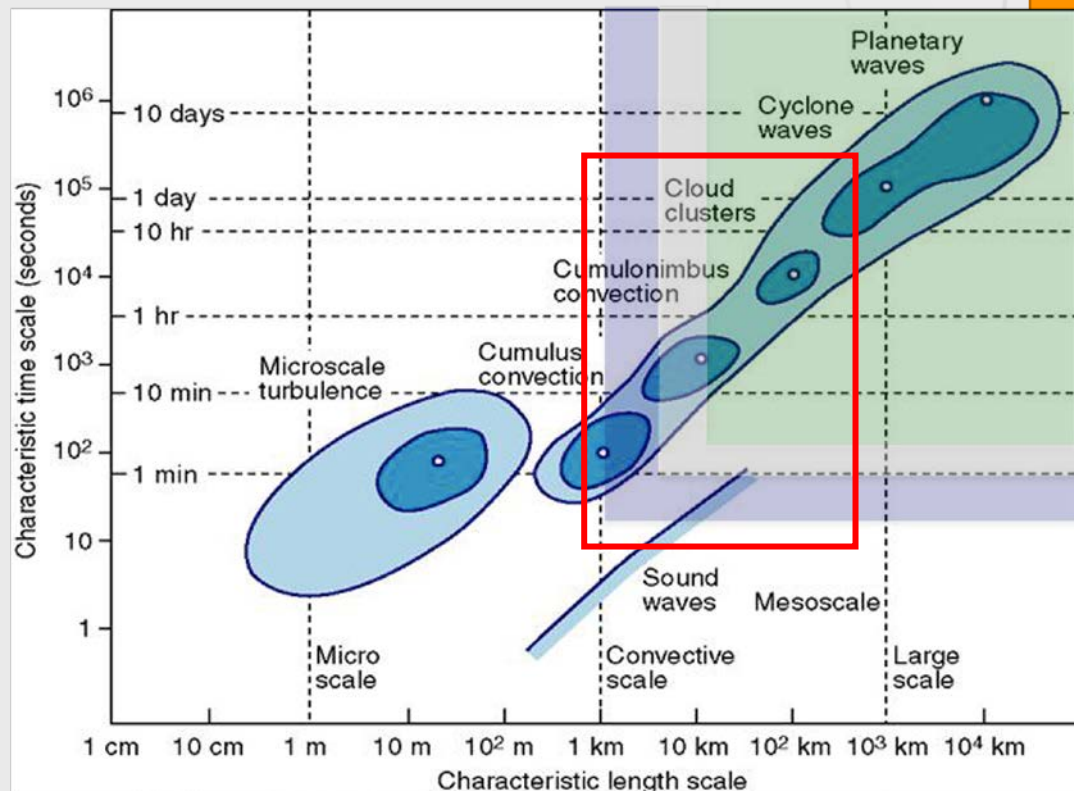
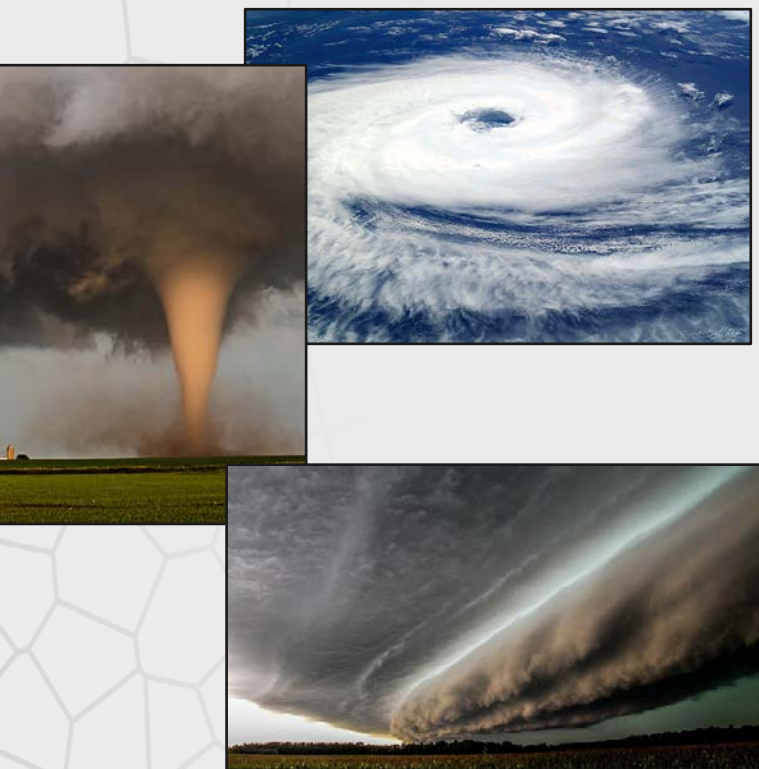


КЛИМАТОЛОГИЯ МЕЗОМАСШТАБНЫХ **ВИХРЕВЫХ** КОГЕРЕНТНЫХ СТРУКТУР СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

Гавриков Александр, Кошкина Василиса

МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВИХРИ В АТМОСФЕРЕ



ЗАДАЧИ

1

**Как автоматически выделить вихрь в
двумерных и трехмерных данных?**

Например в реанализе или данных численного моделирования

2

**Разработать систему отслеживания
(трекинга) вихрей**

3

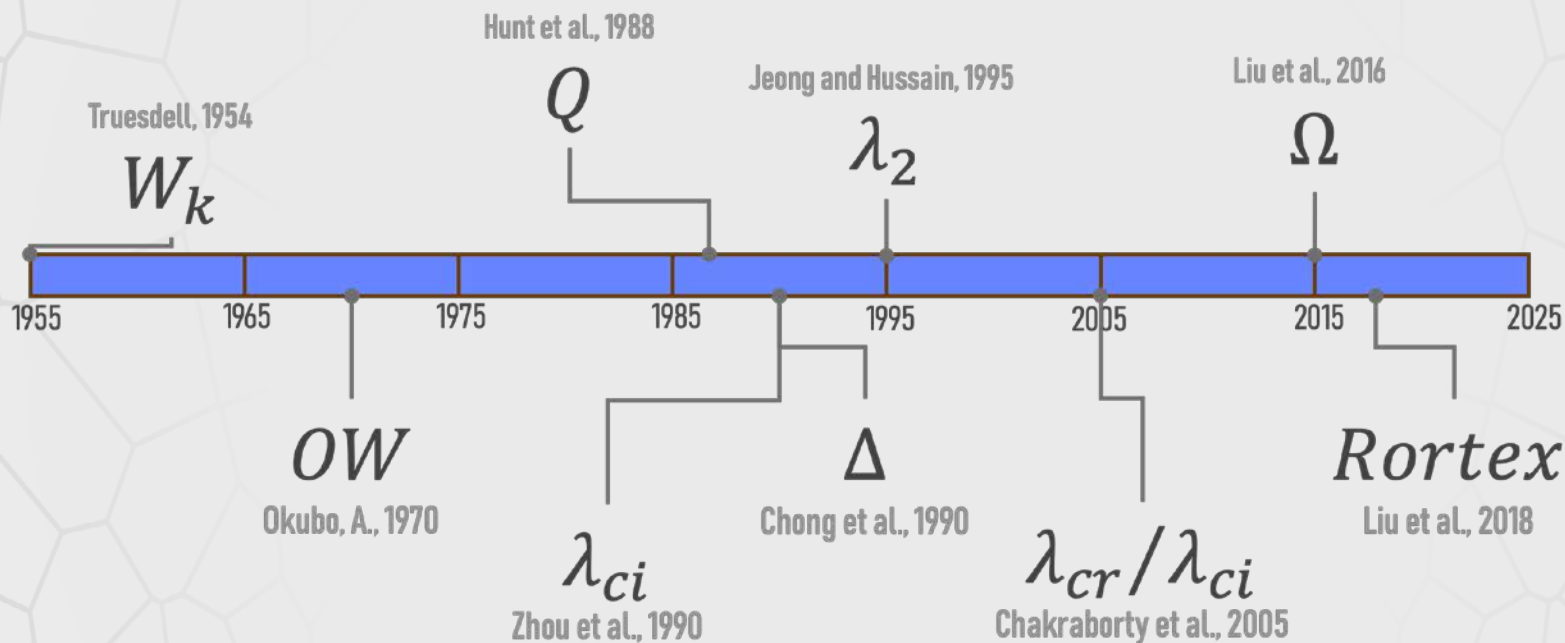
**Разработать систему классификации вихрей по
различным типам**

Мезомасштабные вихри имеют совершенно разные типы:
тропические циклоны, полярные мезоциклоны, грозовые
комплексы, торнадо, кататические процессы и пр.

Как автоматически выделить **1** вихрь в двумерных и трехмерных данных?

Например в реанализе или данных
численного моделирования

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА ПО МЕТОДАМ ВЫДЕЛЕНИЯ КОГЕРЕНТНЫХ СТРУКТУР



Rortex критерий

хотим повернуть так, чтобы
Oz была сонаправлена с
осью вращения

имеем

$$\nabla \vec{v} = \begin{vmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{vmatrix}$$

$$\nabla \vec{V} = \begin{vmatrix} \frac{\partial U}{\partial X} & \frac{\partial U}{\partial Y} & 0 \\ \frac{\partial V}{\partial X} & \frac{\partial V}{\partial Y} & 0 \\ \frac{\partial W}{\partial X} & \frac{\partial W}{\partial Y} & \frac{\partial W}{\partial Z} \end{vmatrix}$$

существование оси вращения
доказывается разложением Шура:
Если $\nabla \vec{v}$ имеет **одно** действительное и
два комплексно-сопряжённых
собственных значения, то:

$$\nabla \vec{v} = Q \nabla \vec{V} Q^T$$

$$\nabla \vec{V} = \begin{vmatrix} \lambda_{cr} & -\frac{1}{2}R & 0 \\ \frac{1}{2}R + \varepsilon & \lambda_{cr} & 0 \\ \xi & \eta & \lambda_r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & -\frac{R}{2} & 0 \\ \frac{R}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \varepsilon & 0 & 0 \\ \xi & \eta & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \lambda_{cr} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{cr} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_r \end{vmatrix}$$

вращение сдвиг вытягивание

$$R = \vec{\omega} \cdot \vec{r} - \sqrt{(\vec{\omega} \cdot \vec{r})^2 - 4\lambda_{ci}^2}$$

$$\vec{R} = R\vec{r}$$

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

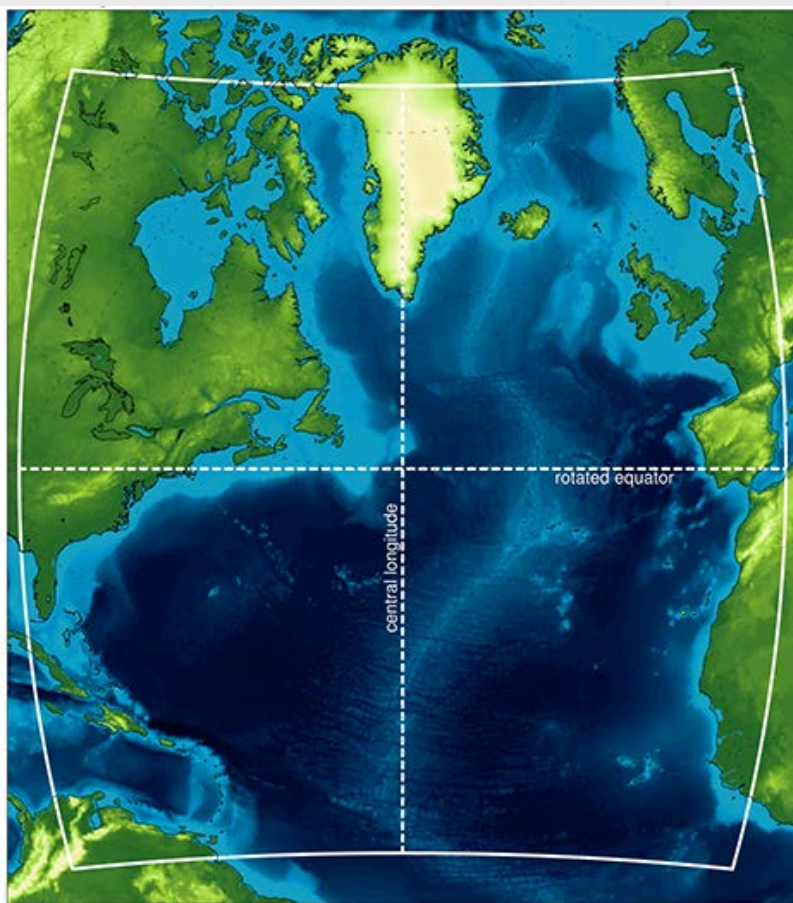
NAAD

Gavrikov et al., 2020

Региональный высокоразрешающий исторический атмосферный прогноз над Северной Атлантикой NAAD (North Atlantic Atmospheric Downscaling).

Основные особенности:

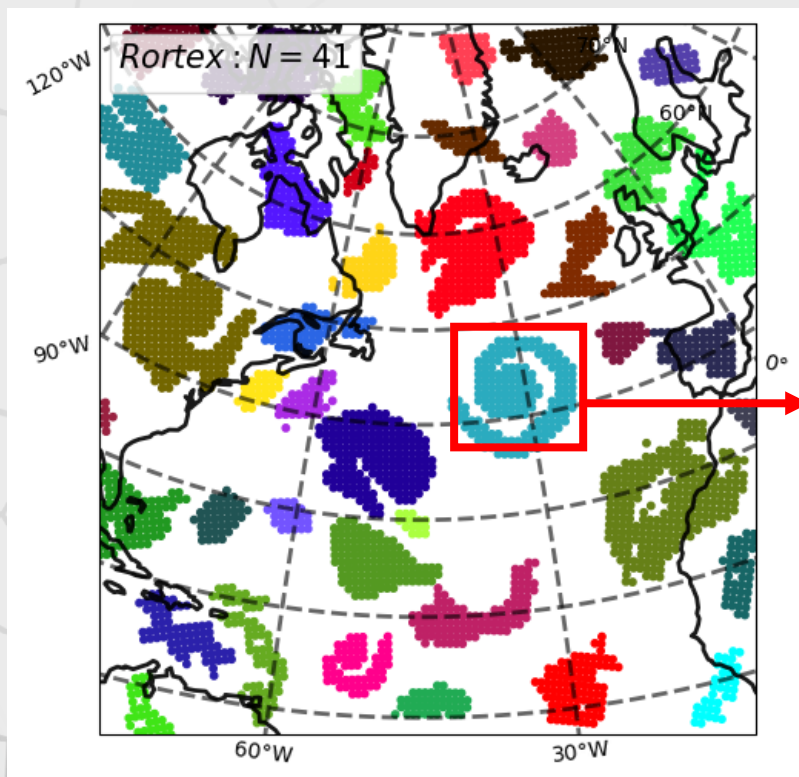
- NAAD HiRes и LoRes (77 и 14 км)
- Модель WRFv3
- Период 1979–2018 гг
- Форсинг ERA-Interim



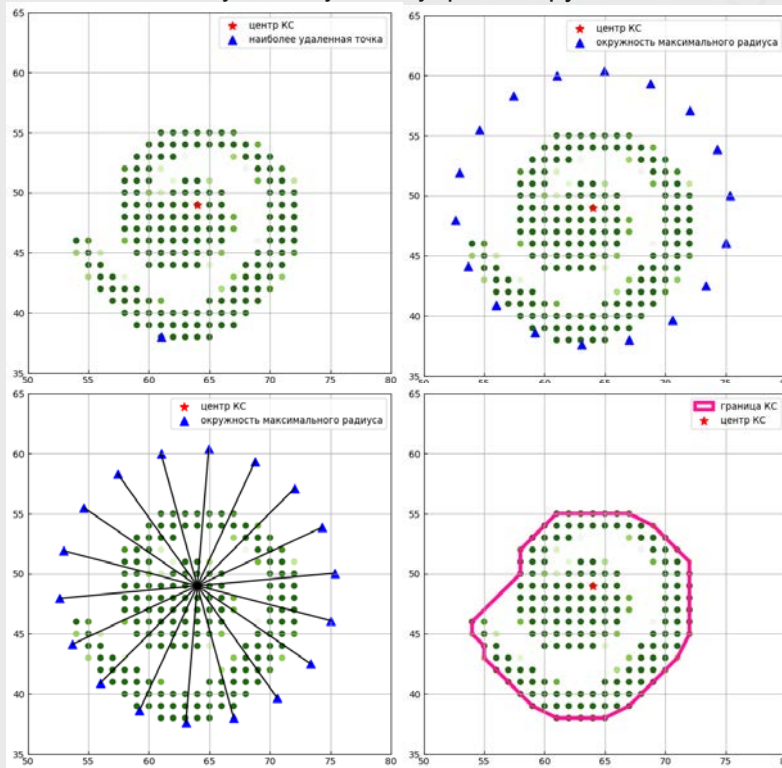
Кластеризация методом DBSCAN

Применение метода DBSCAN на высоте 500 гПа.
Цветом показаны отдельно выделенные структуры.

(Koshkina et al., 2023)



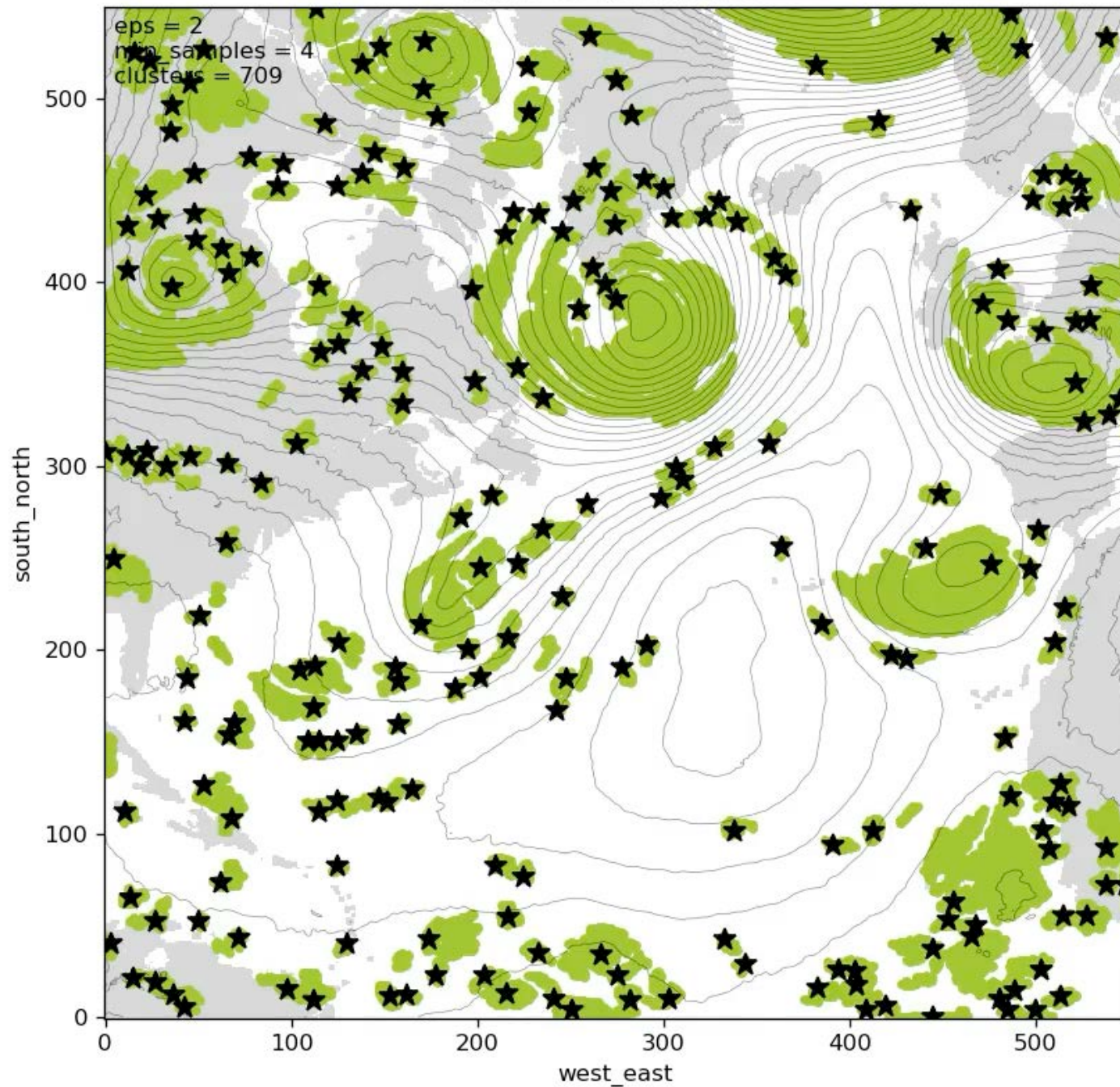
Ищем наиболее удаленную точку. Строим окружность максимального радиуса



Ищем точки, ближайшие к радиальным прямым

Граница вихря по радиальному методу найдена!

2010-08-15 00:00:00

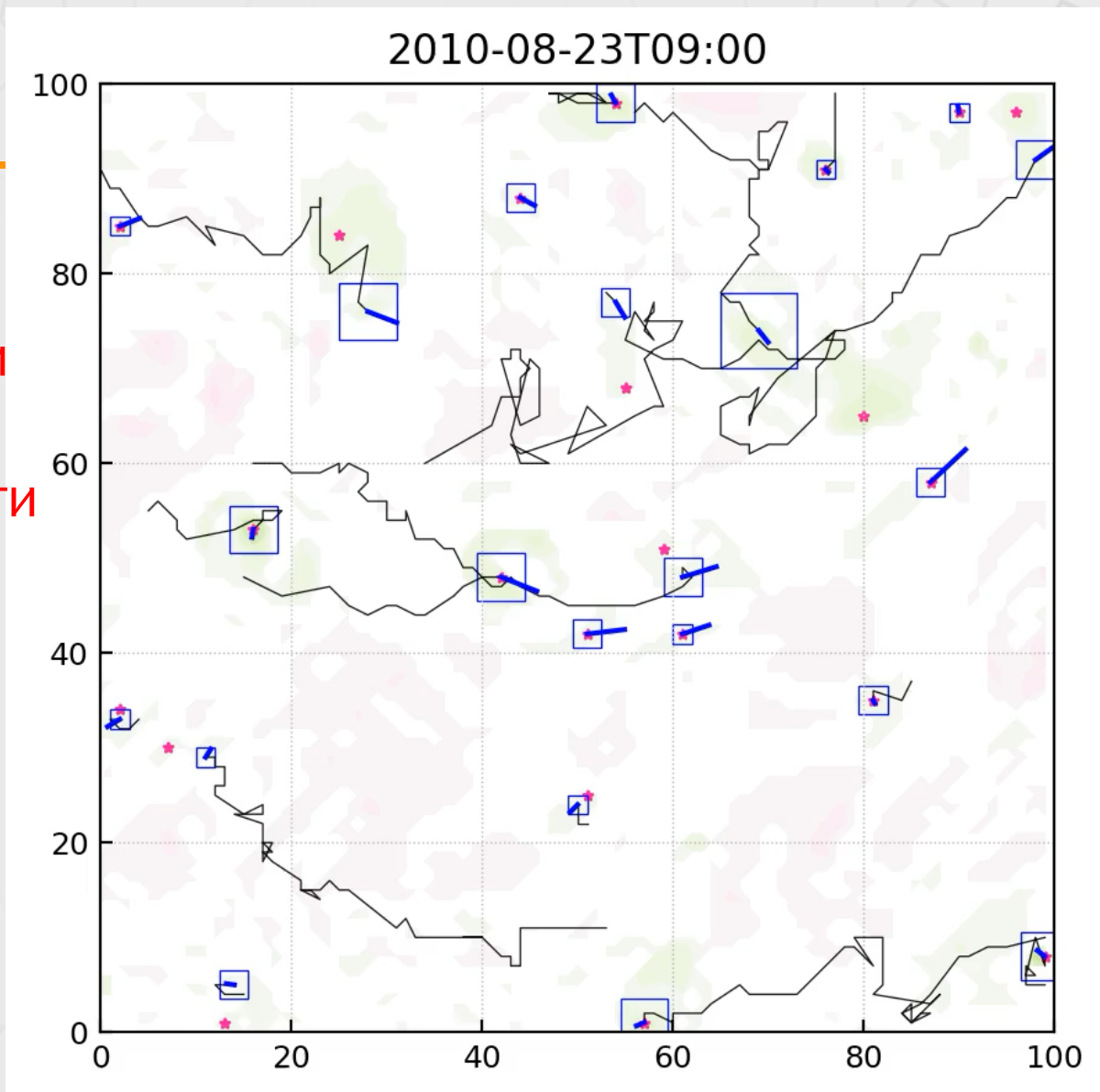


2

Система отслеживания (трекинга) вихрей

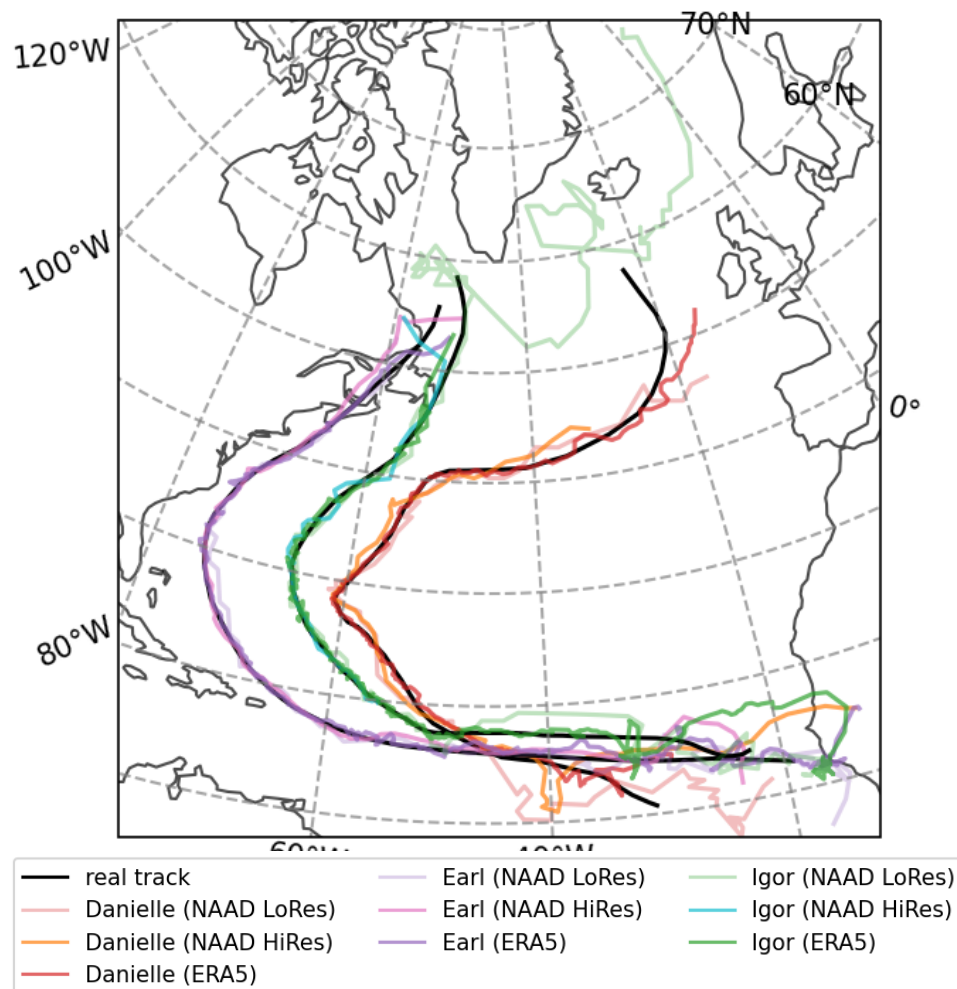
СИСТЕМА ТРЕКИНГА В РАБОТЕ

К сожалению,
проверить
насколько треки
удовлетворяют
действительности
практически
невозможно



ВАЛИДАЦИЯ ТРЕКОВ НА ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНАХ

трек NOAA - черный, наш трек — красный



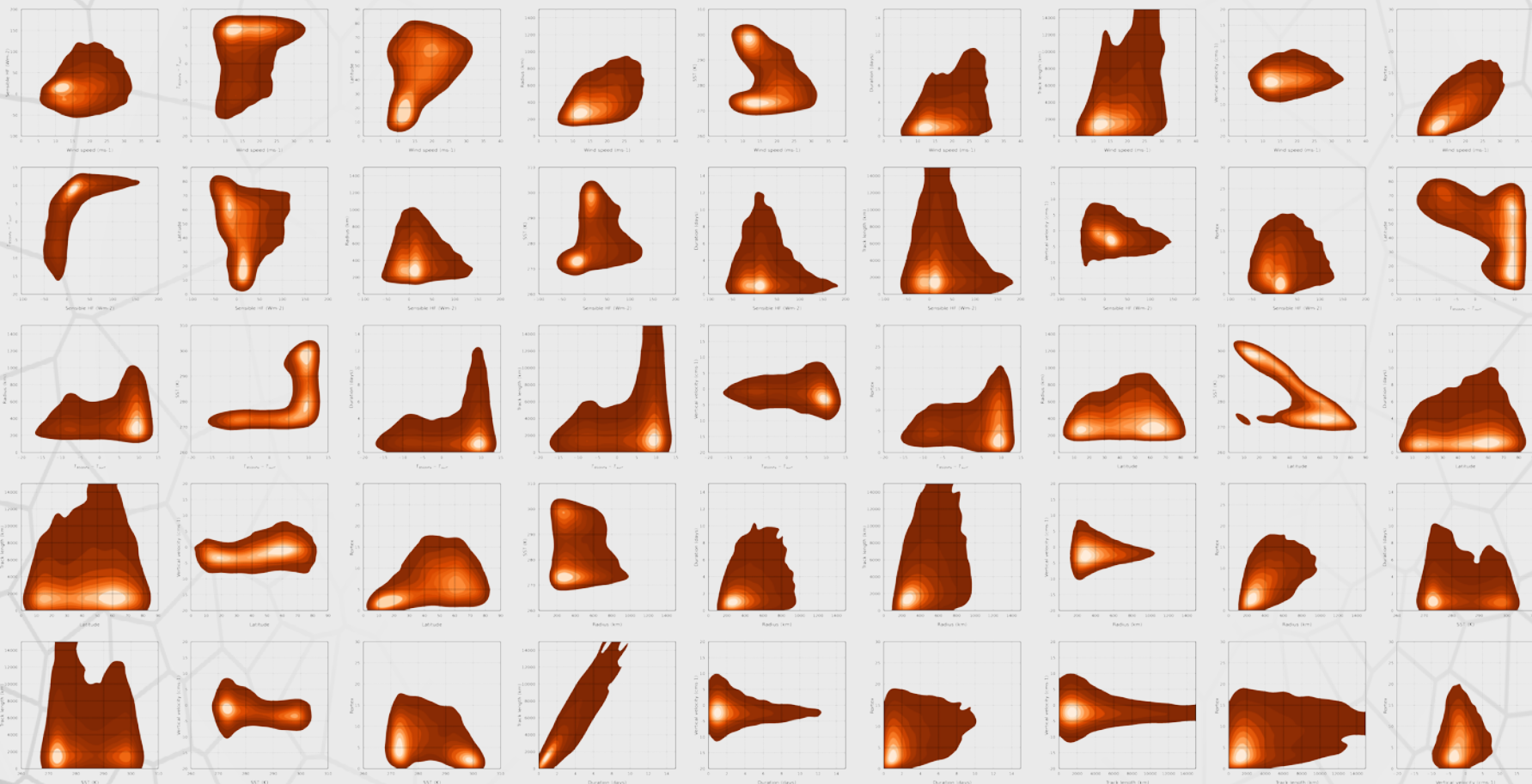
3

Разработать систему классификации вихрей по различным типам

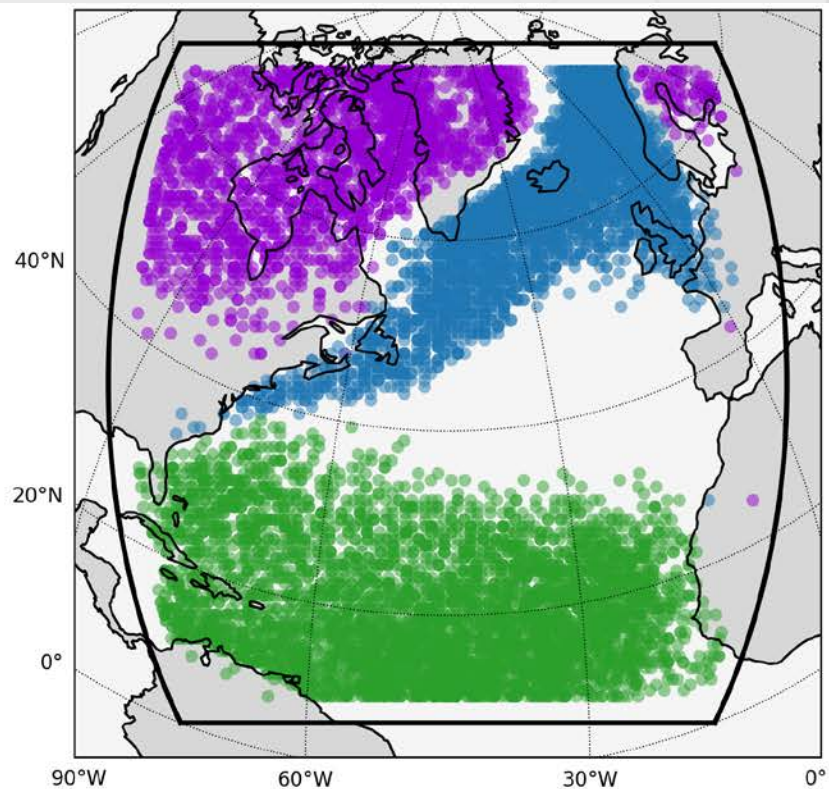
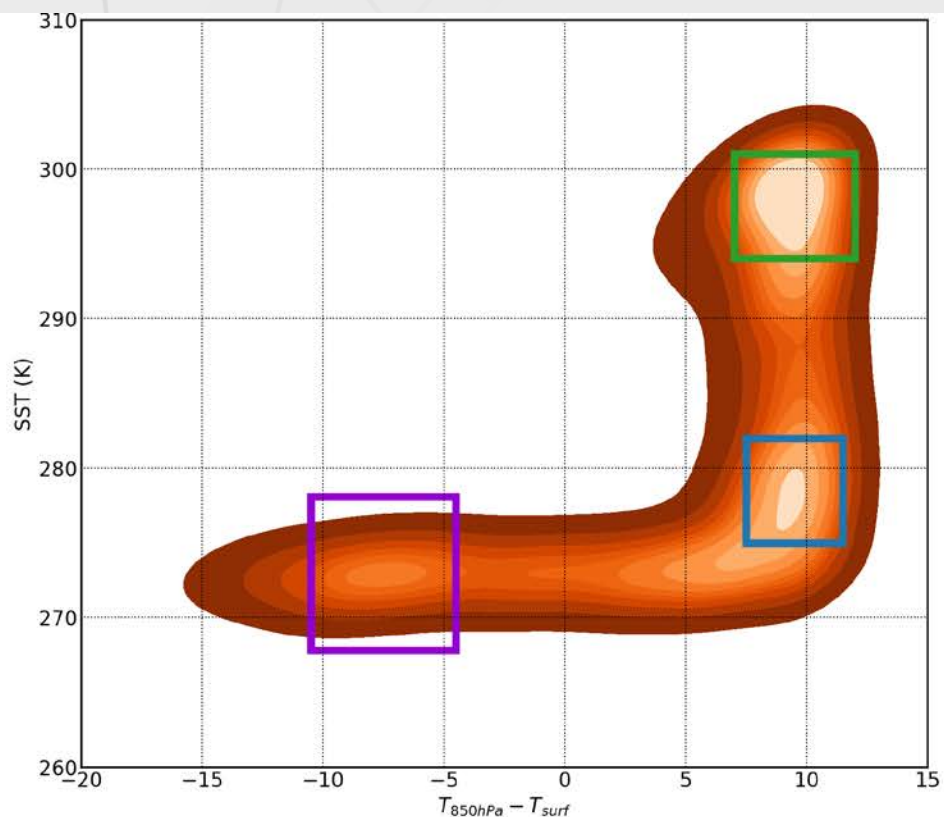
Мезомасштабные вихри имеют совершенно разные типы: тропические циклоны, полярные мезоциклоны, грозовые комплексы, торнадо, кататические процессы и пр.

КЛИМАТОЛОГИЯ МЕЗАМАСШТАБНЫХ СТРУКТУР (зима за 40 лет)

Season winter; rotation C; tracks 20214



ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ГРАДИЕНТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНОСТИ

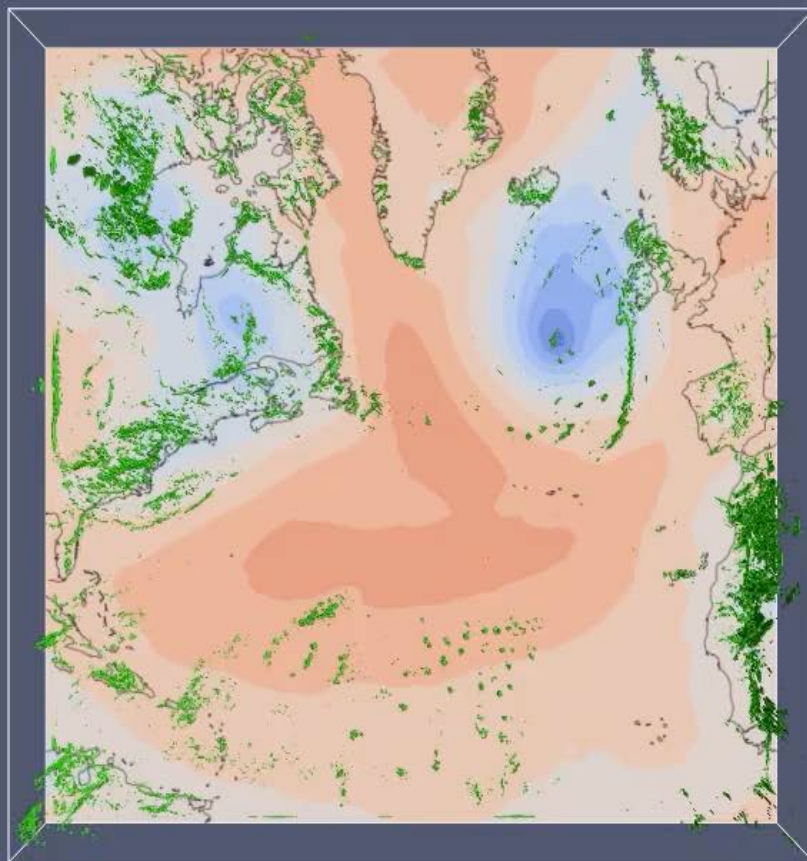


ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ВЫВОДЫ и ПЛАНЫ

1. RORTEX работает удовлетворительно и может быть использован для выделения вихрей в данных с большим (относительно микромасштабной турбулентности) разрешением

https://github.com/KoshkinaVS/vortex_identification

1. Однако все еще наблюдаются проблемы с определением внешней границы. Планируется доработка метода.
2. Технология отслеживания (трекинга) вихрей сейчас значительно упрощена. Планируется переход на более надежную систему на основе ИИ. Для этого сейчас делается ручной трекинг небольших периодов.
3. Статистическая характеристика в пространстве параметров вихрей показала потенциальную возможность делить мезомасштабные структуры на типы. Планируется применить многомерную классификацию.

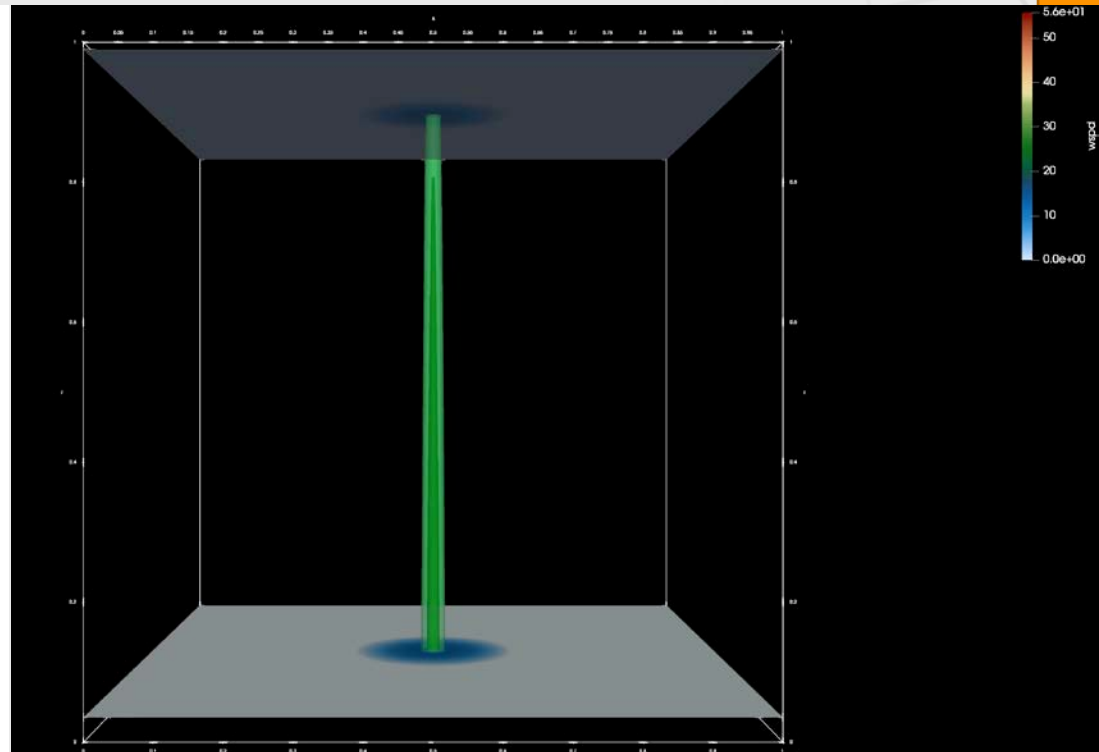
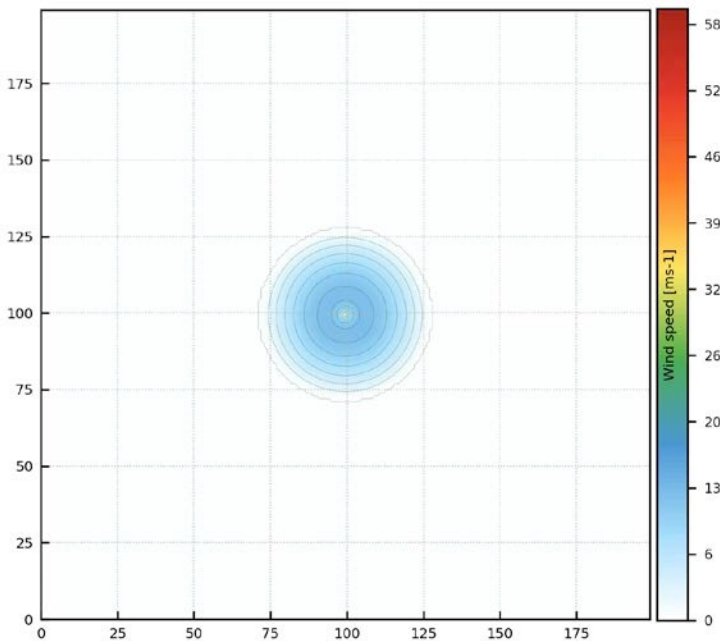


Идеализированный тропический циклон (ТЦ)

Негидростатическая модель WRF

Разрешение 5/15 км

Область 3000 X 3000 км



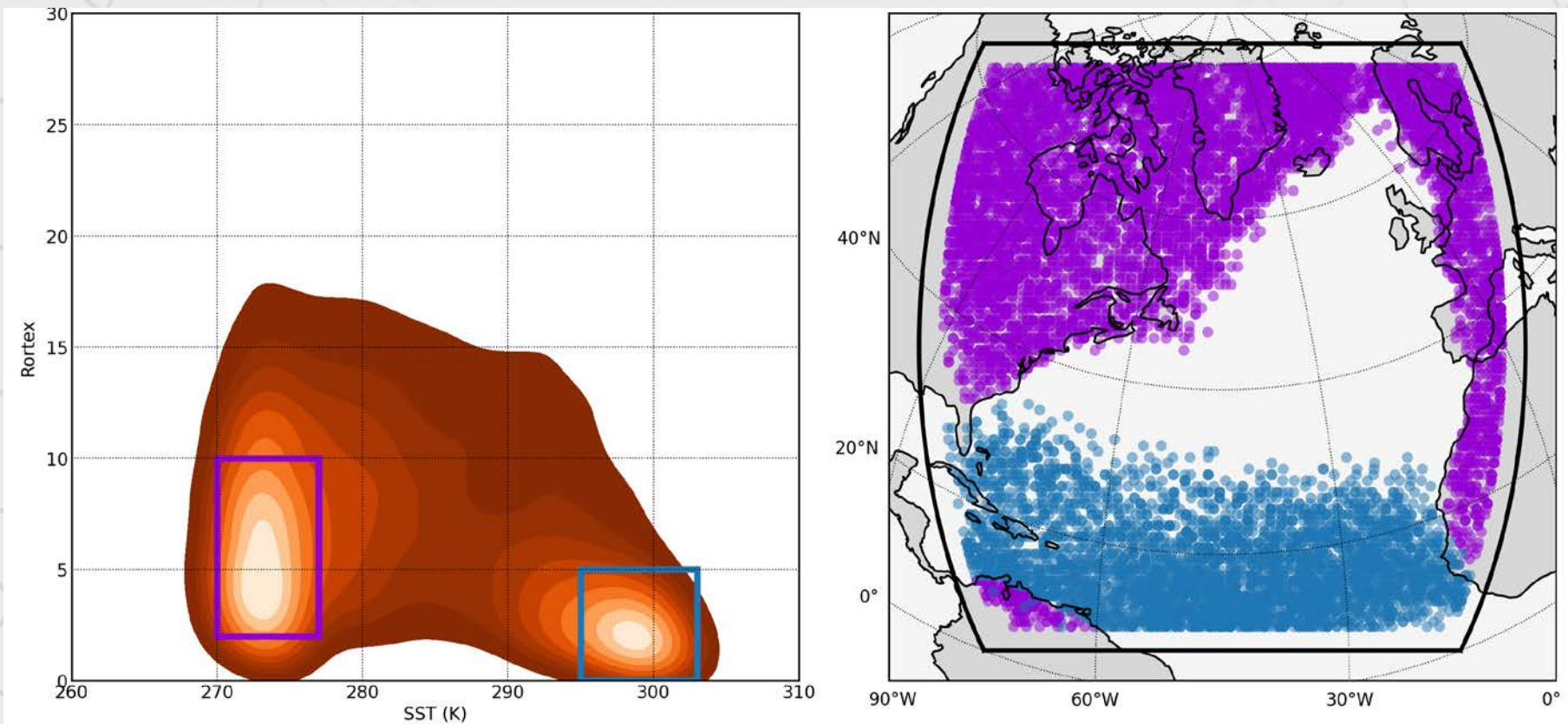


Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Лаборатория Взаимодействия Океана и Атмосферы
и Мониторинга Климатических Изменений (ЛВОАМКИ)

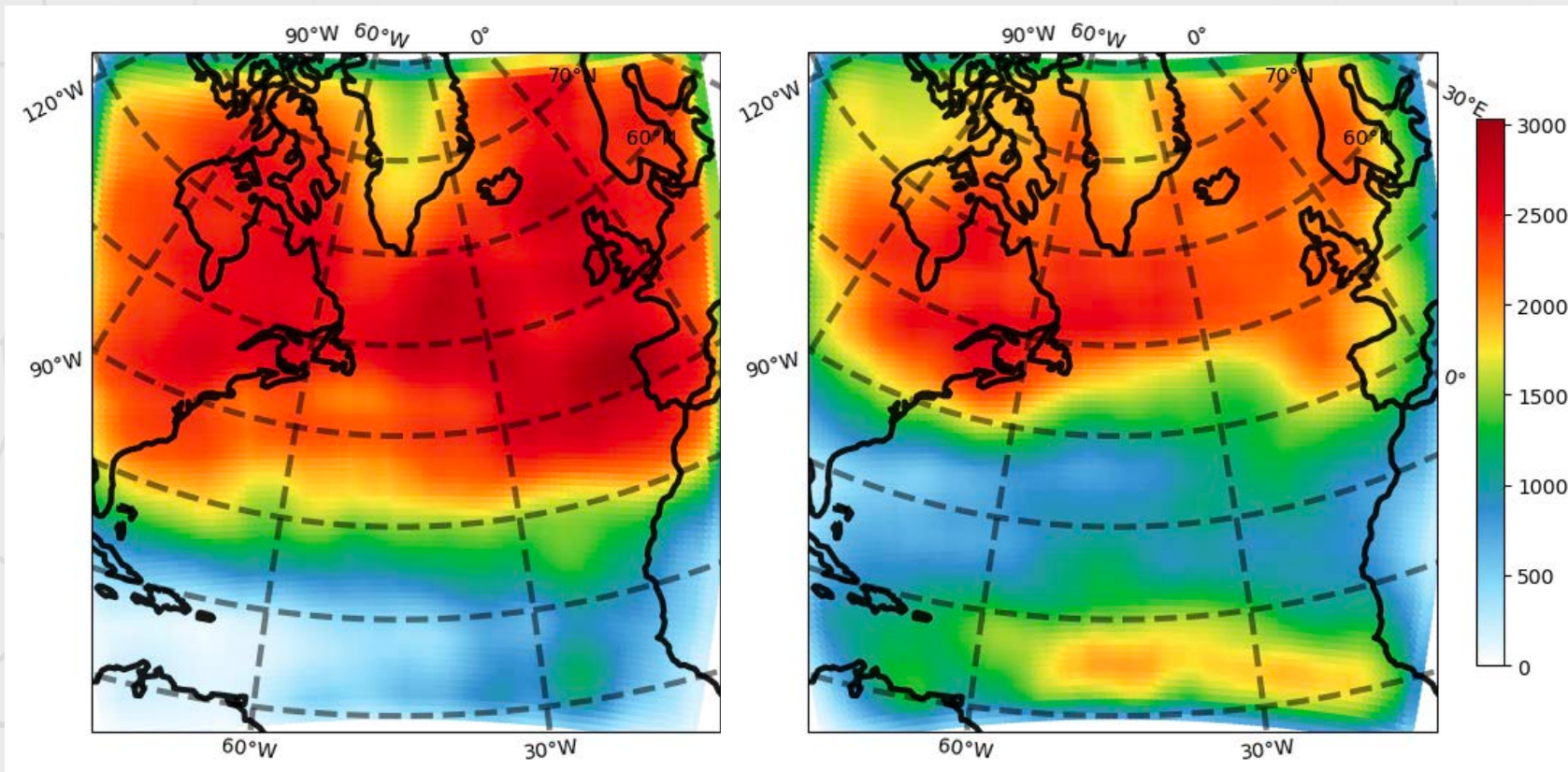


28 November
2024

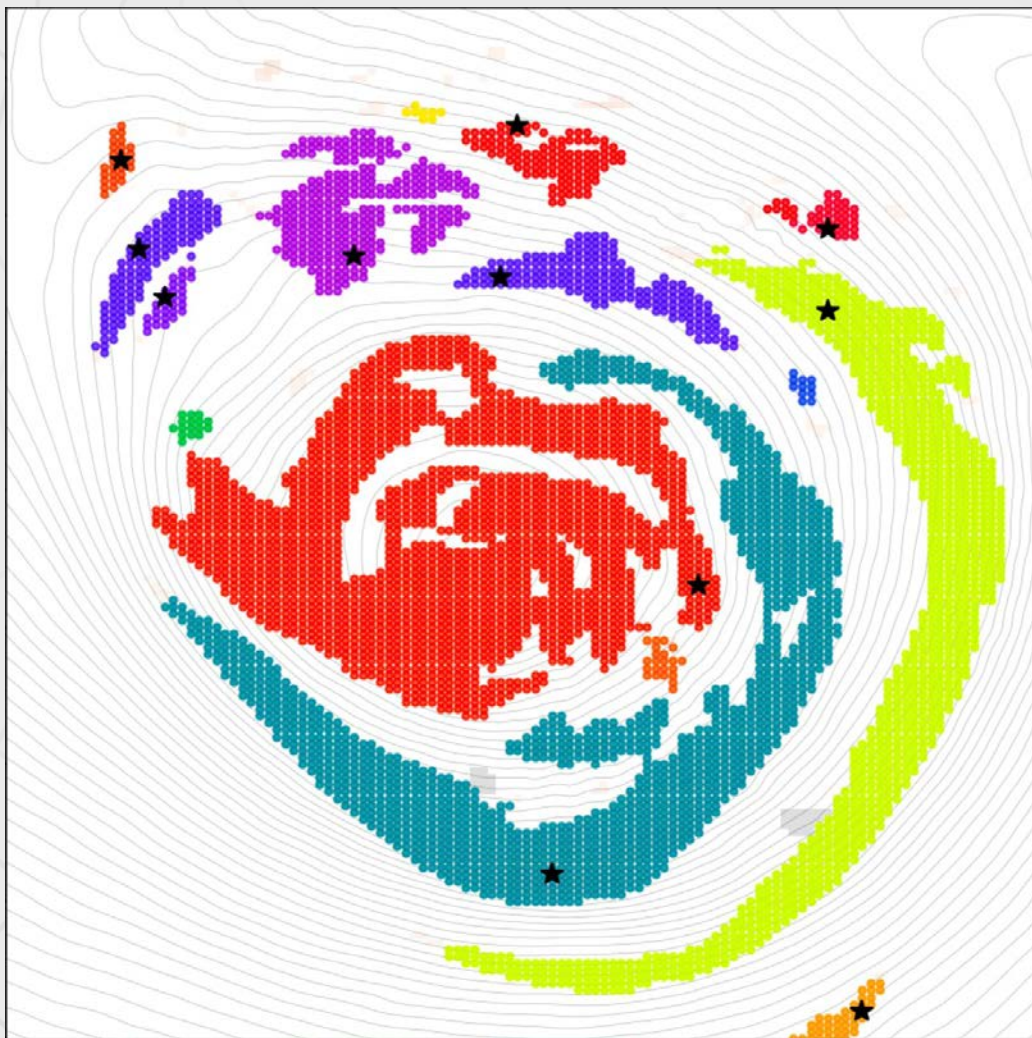
RORTEX И ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНОСТИ



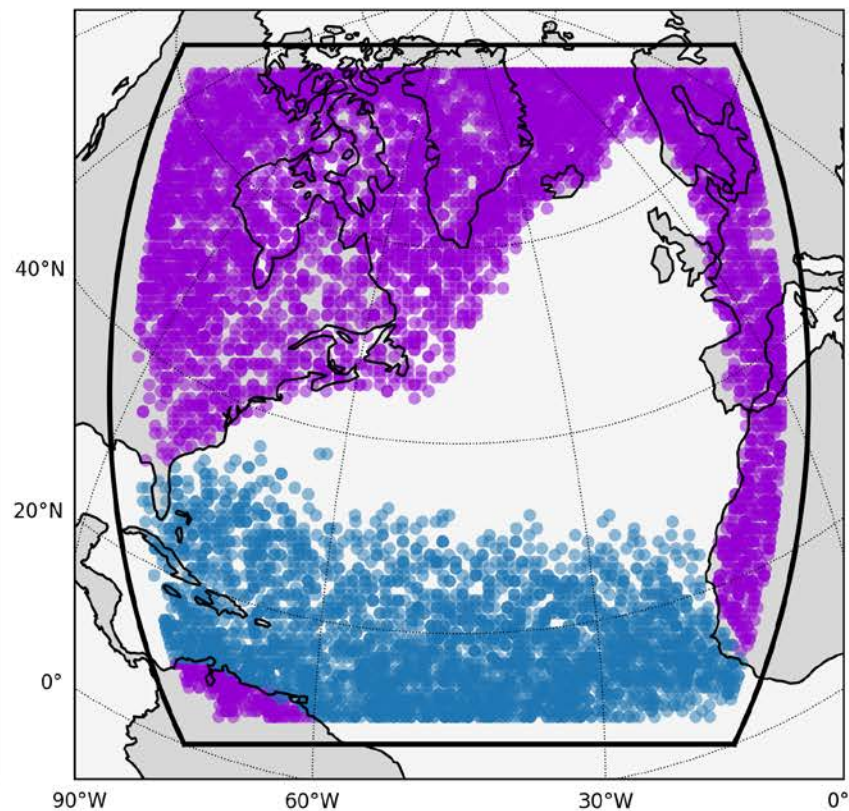
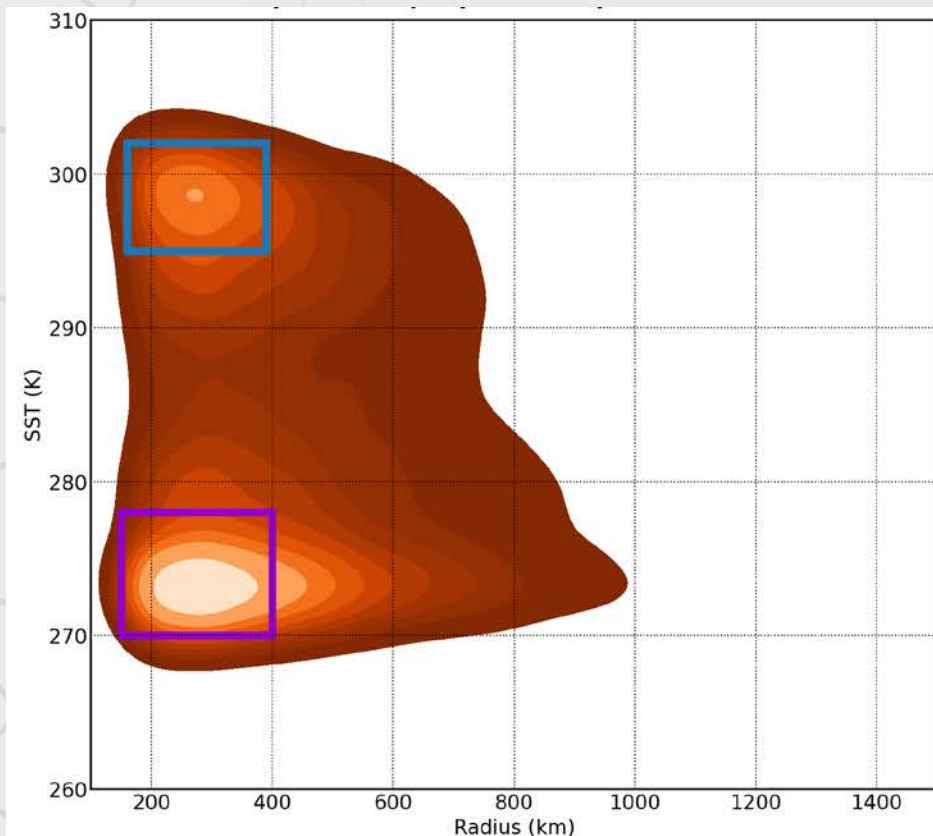
ПЛОТНОСТЬ ТРАЕКТОРИЙ ВИХРЕЙ ЗА ЗИМУ/ЛЕТО 2010 г.



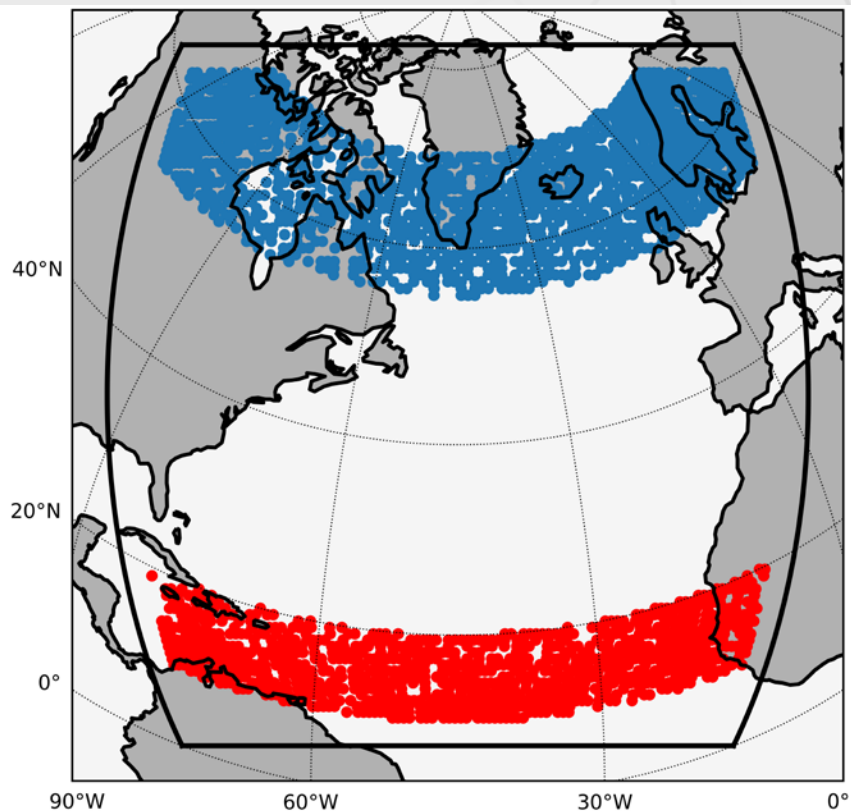
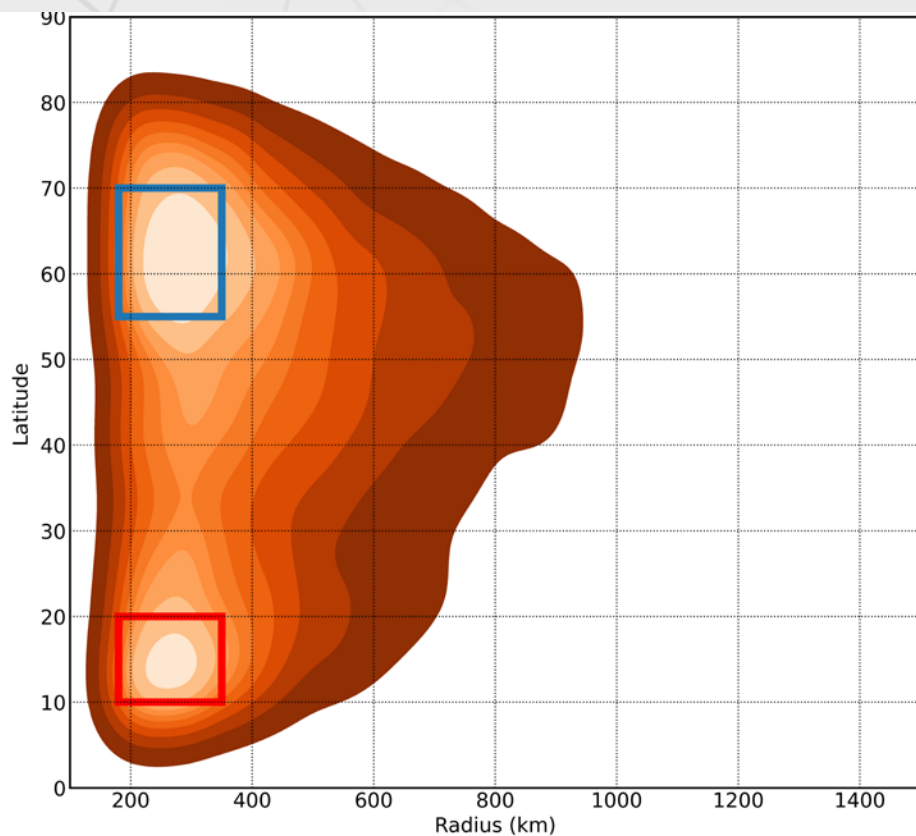
Циклон и его внутренняя структура



РАДИУС И ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНОСТИ



РАДИУС И ШИРОТА

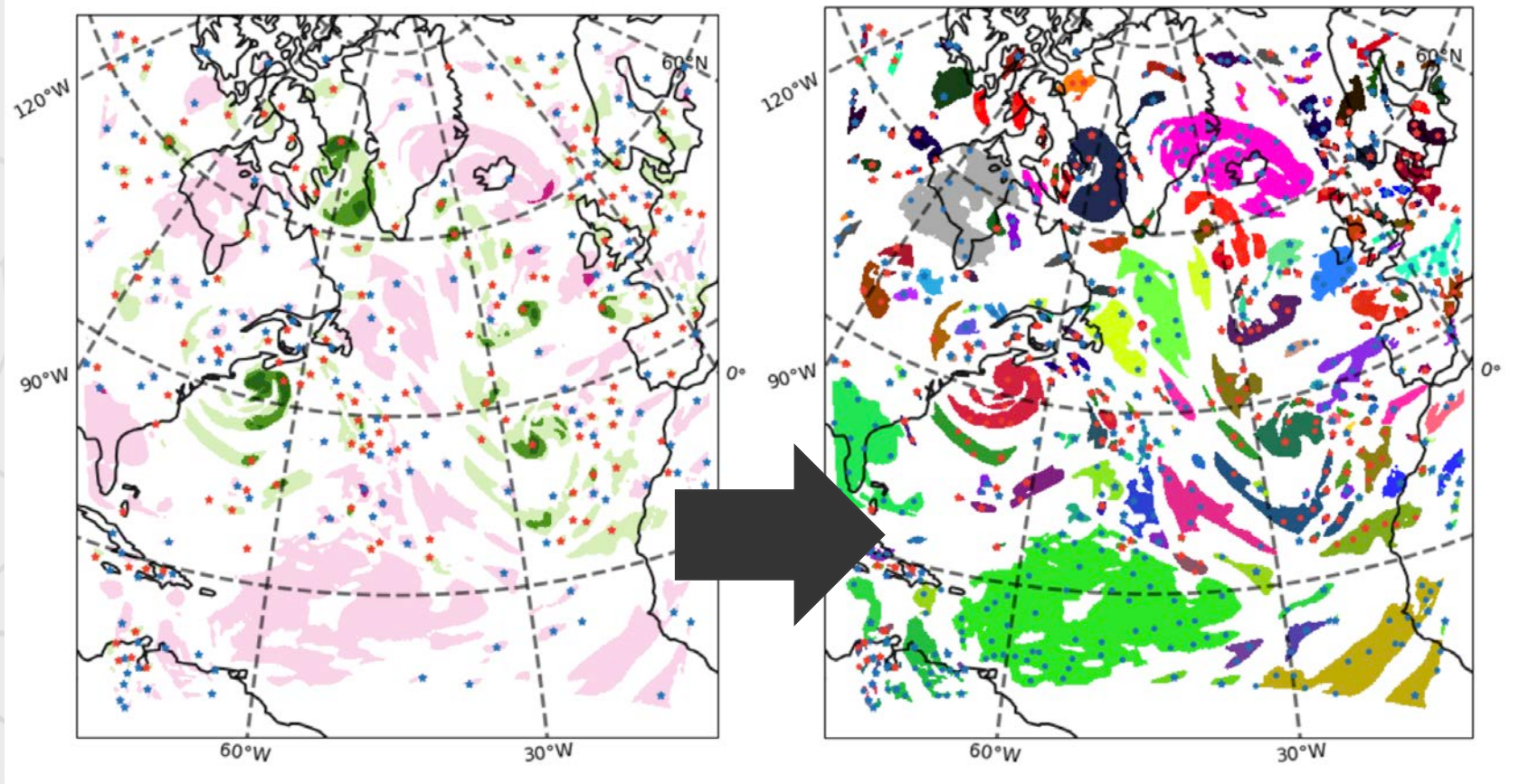


ИТОГОВЫЙ АЛГОРИТМ

Поиск всех изолированных областей (методом DBSCAN) и
выкидывание тех, что меньше 50 узлов

RORTEX для циклонического (зеленый) и
антициклонического (розовый) вращения

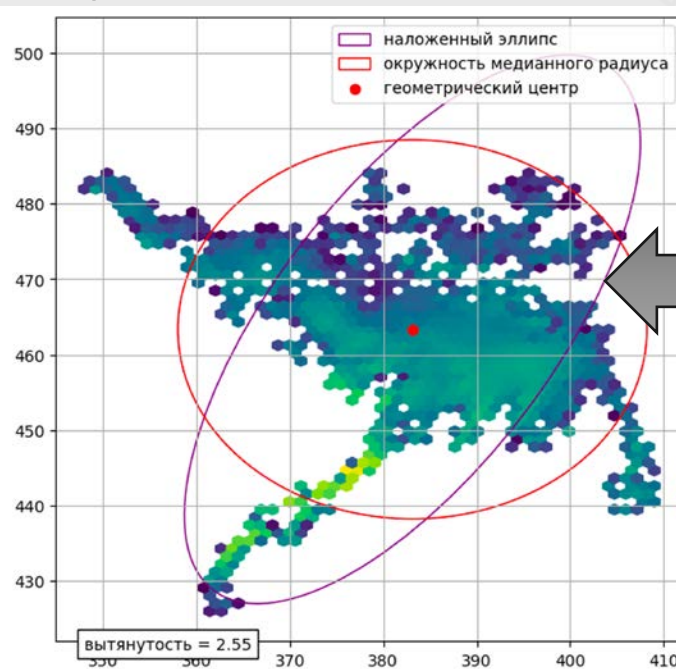
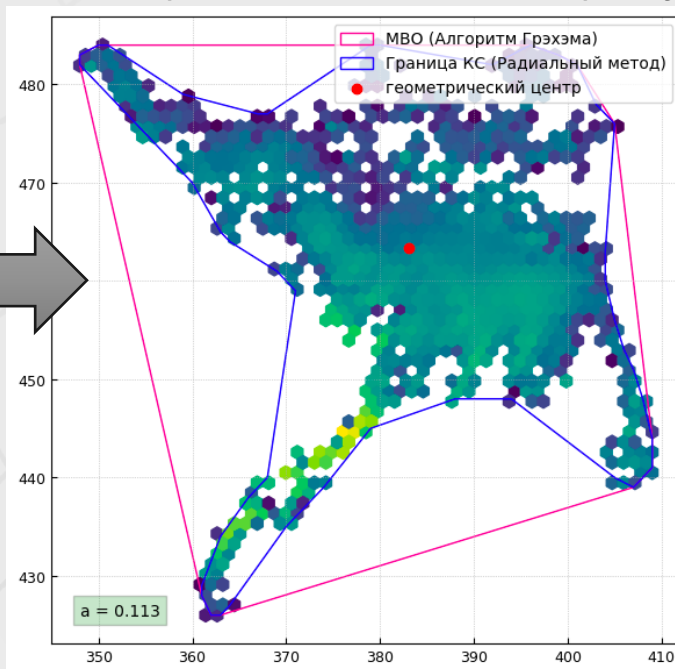
DBSCAN



ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

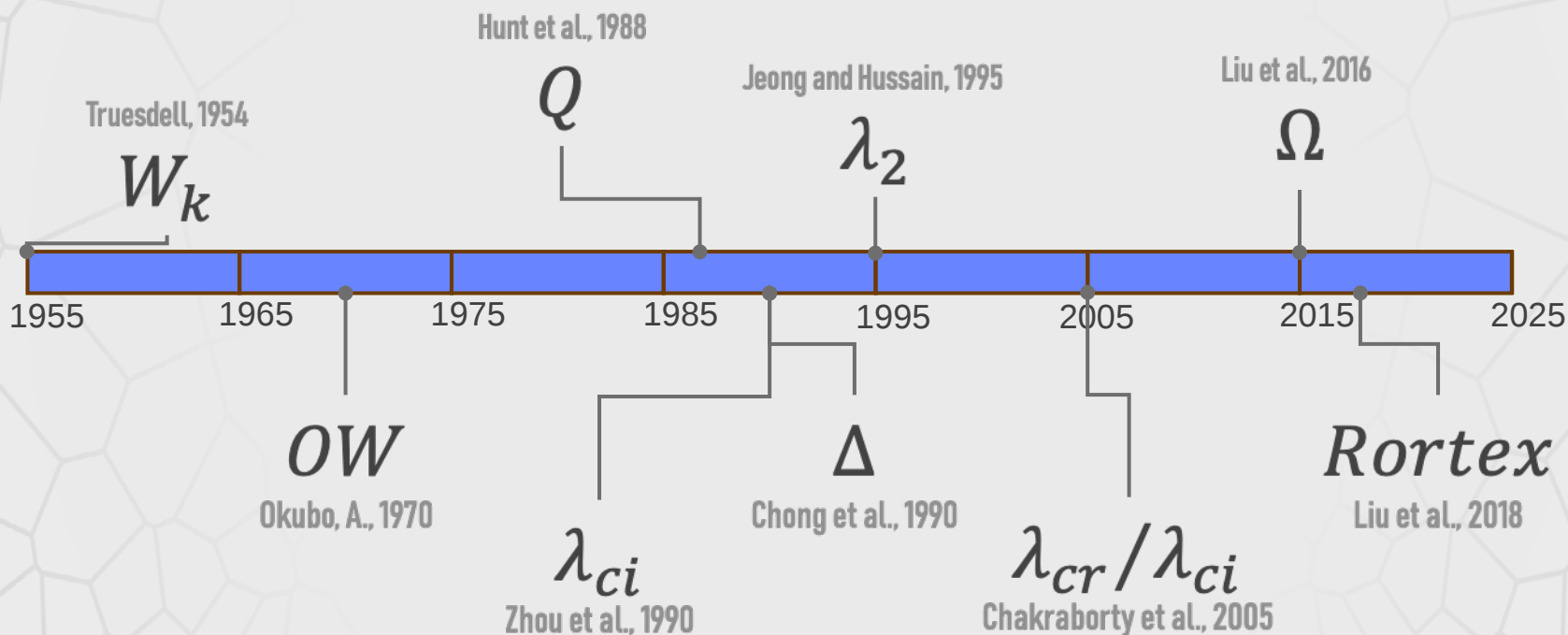
Розовый – определение минимальной выпуклой оболочки методом Грэхэма; синий – оценка вихревой области радиальным методом

Два способа описать произвольную форму КС окружности и наименьшего эллипса для определения медиального радиуса и для получения условных характеристик формы



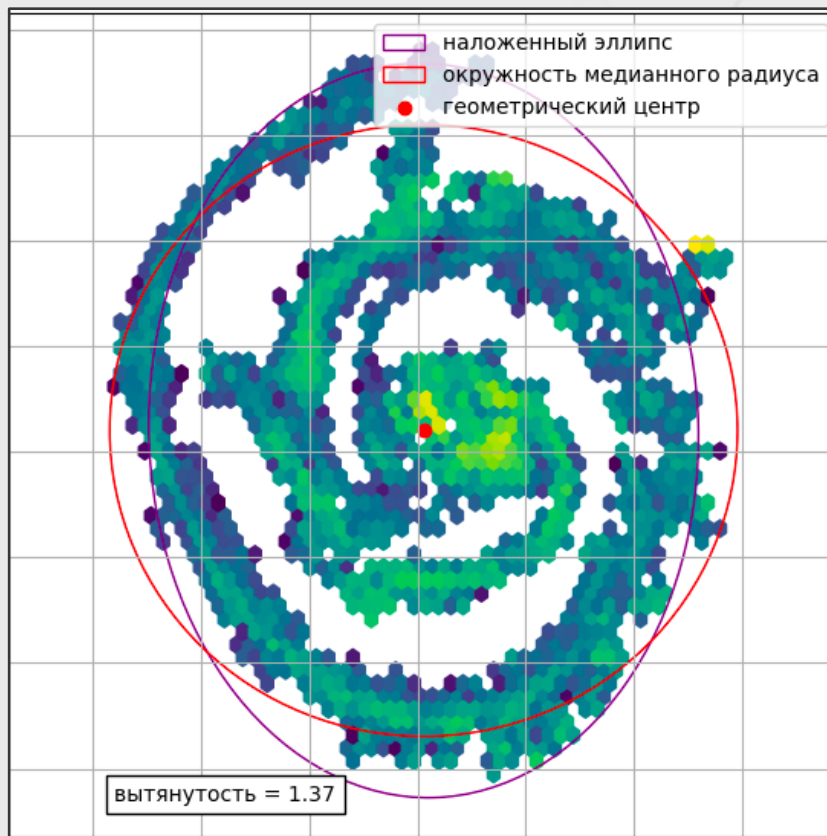
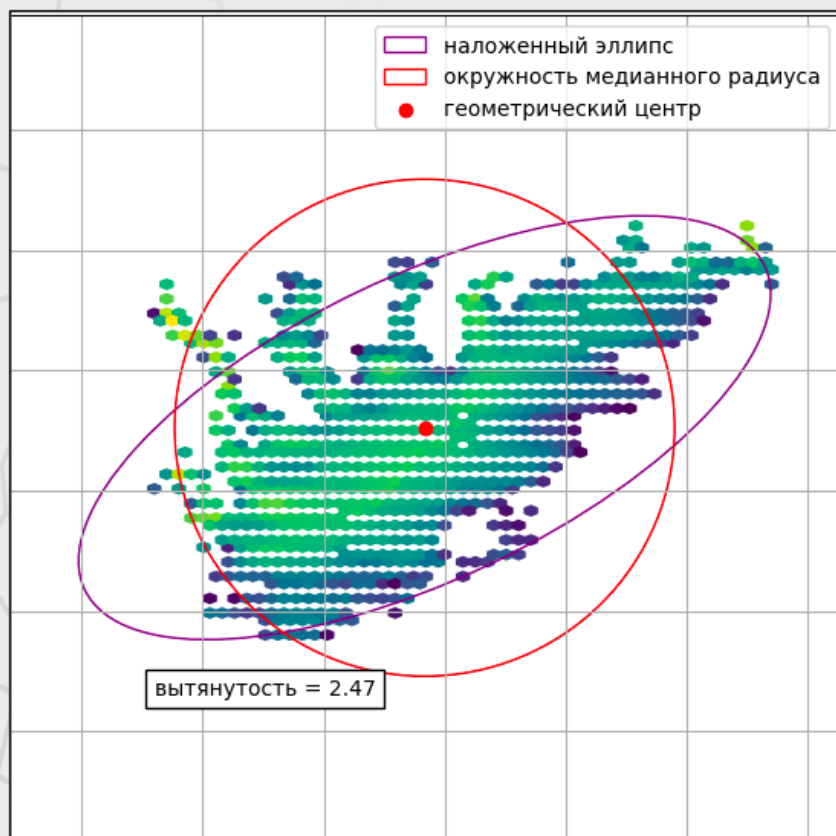
Окружность – для оценки радиусов КС (медиана значений радиусов по методу радиусов)

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА ПО МЕТОДАМ ВЫДЕЛЕНИЯ КОГЕРЕНТНЫХ СТРУКТУР



ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Другие примеры оценки сложных геометрических форм
разного масштаба



ПРИМЕНЕНИЕ RORTEX-КРИТЕРИЯ

Rortex-критерий на высоте 500 гПа
на данных NAAD LoRes
28 августа 2010.

