

**Проблемы локализации центра и
анализа формы глаза тропических
циклонов на инфракрасных спутниковых
изображениях с помощью машинного
обучения и компьютерного зрения**

Якушева Анна Николаевна (1)

Ермаков Дмитрий Михайлович (1,2)

(1) Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

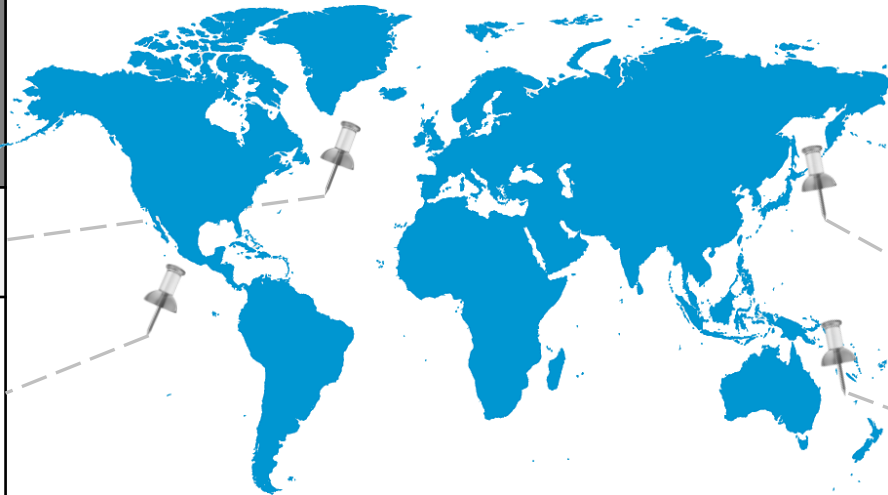
(2) Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова
РАН, Фрязинский филиал (ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН),
Фрязино, Московская обл., Россия

Обзор исследований

Локализация центра ТЦ					
Статьи	Данные	Метод	Тестовый набор	Метрика	Ошибка
Wimmers et al. (2010)	ПМВ 85–92 ГГц	Алгоритм ARCHER	241 изображение	СКО (RMSE)	0,173°
Neeru et al. (2011)	ИК 10,3-11,3 мкм	Алгоритм спирального центрирования	Два случая ТЦ	CAO (MAE)	0,4°
Wimmers et al. (2016)	ПМВ 85–92 ГГц	Алгоритм ARCHER-2	ТЦ Атлантики 2012 г.		0,59°
Lu et al. (2019)	ИК 10,3-11,3; 11,5–12,5; 3,5–4,0 мкм ВП 6,3–7,6 мкм ВИД 0,55–0,90 мкм	Алгоритм спирального центрирования	29 случаев ТЦ		СКО (RMSE)
Wang et al. (2020)	ИК 10,3-11,3 мкм	Метод Хафа	134 изображения	CAO (MAE)	0.237°
Shin (2022)		Алгоритм спирального центрирования	190 случаев ТЦ	СКО (RMSE)	0.6°
Liu et al. (2022)		Векторы ветра	2 случая ТЦ	CAO (MAE)	0,37°
Qingxiang (2022)		Метод Хафа	2 случая ТЦ		0,18°
Wang et al. (2023)		ИК 10.4, 12.3 мкм ВП 6.2 мкм	Глубокое обучение		490 изображений

Данные

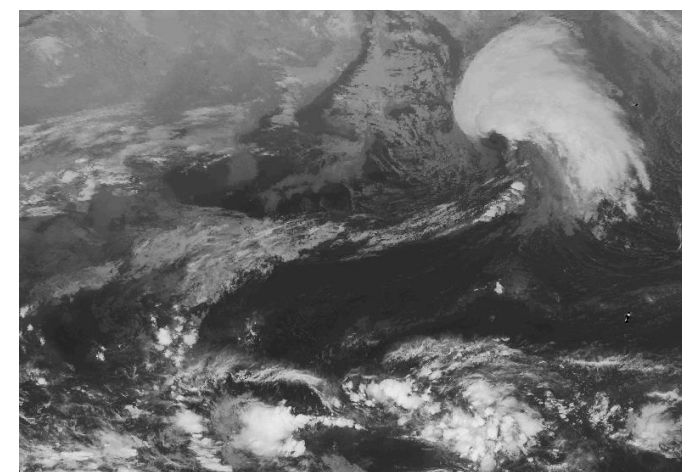
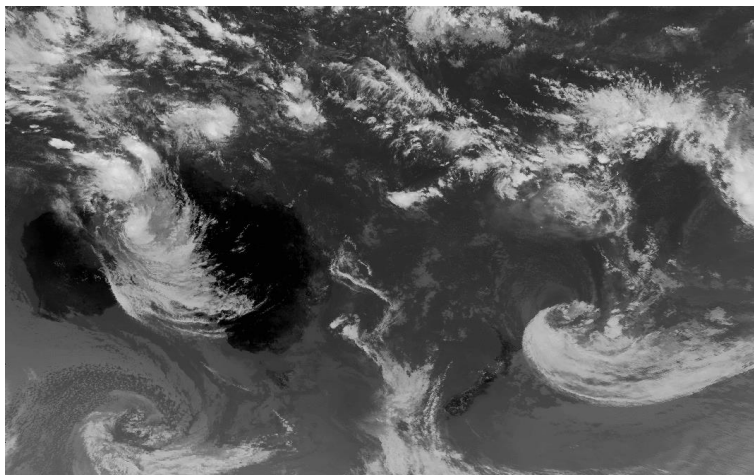
Акватория	Количество изображений
Атлантика	5320
Восточная часть Тихого океана	5873



Акватория	Количество изображений
Северо-Западная часть Тихого	24123
Юго-Западная часть Тихого	12290

Goes/Himawari

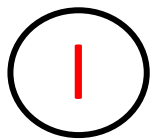
10.3-11.2 мкм



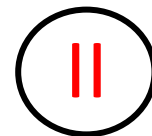
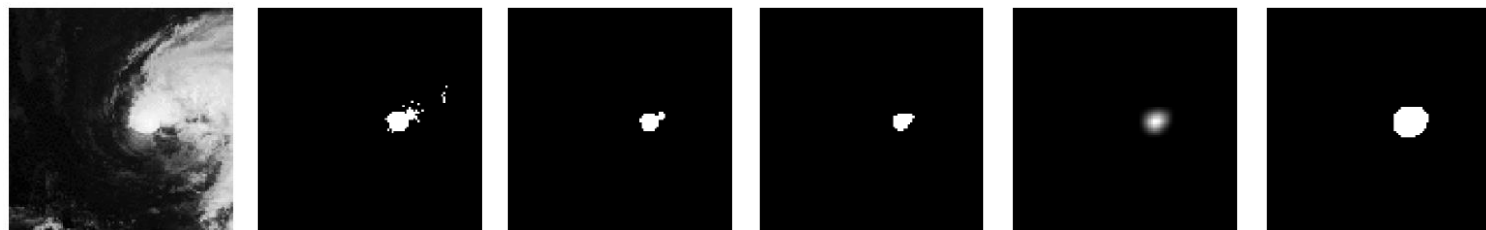
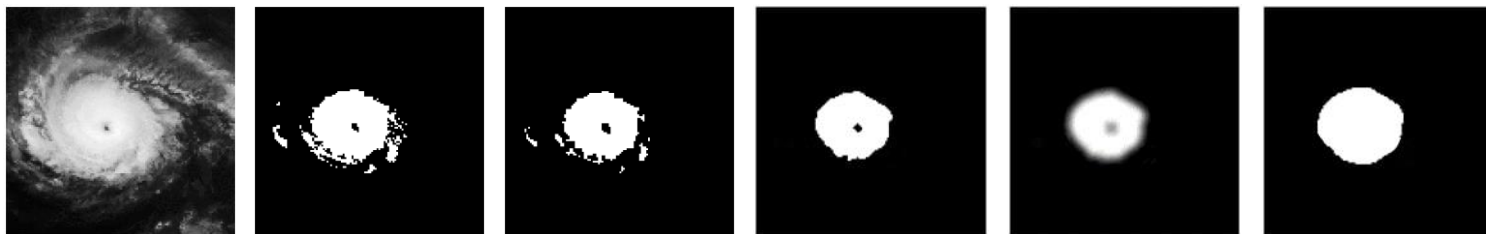


Локализация центра тропического циклона. Метод Хафа

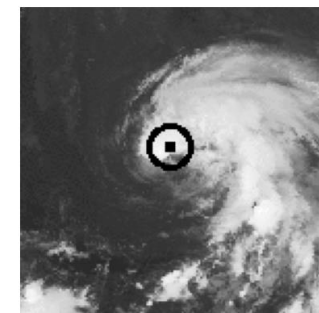
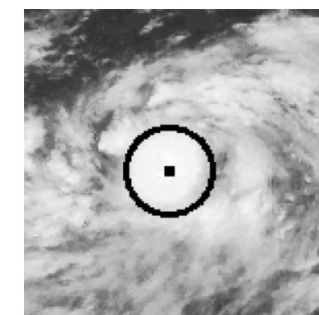
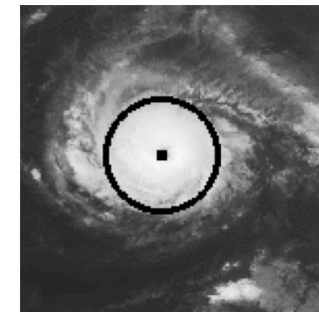
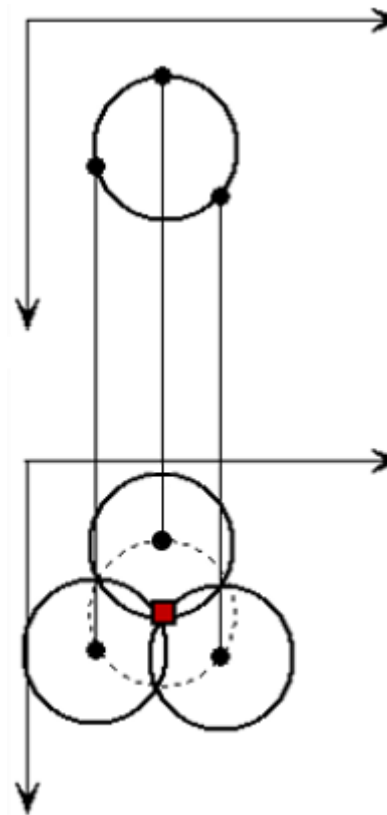
Алгоритм преобразования и поиска окружности



Предобработка изображений



Метод Хафа поиска окружности



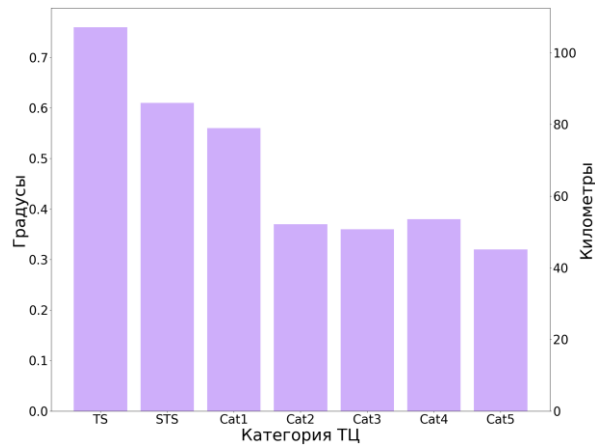
Результаты

Средняя абсолютная ошибка:

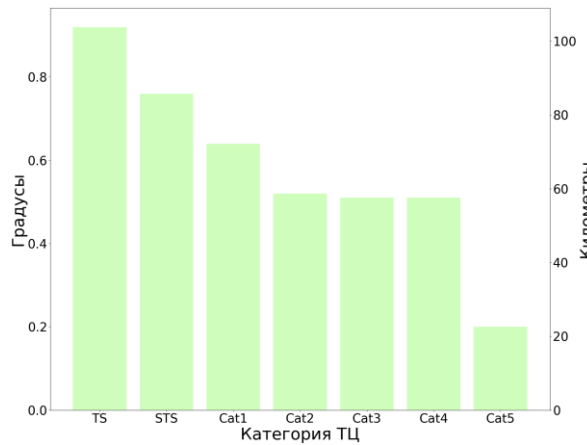
$$CAO = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(x_{true,i} - x_{pred,i})^2 + (y_{true,i} - y_{pred,i})^2}$$

Распределение CAO

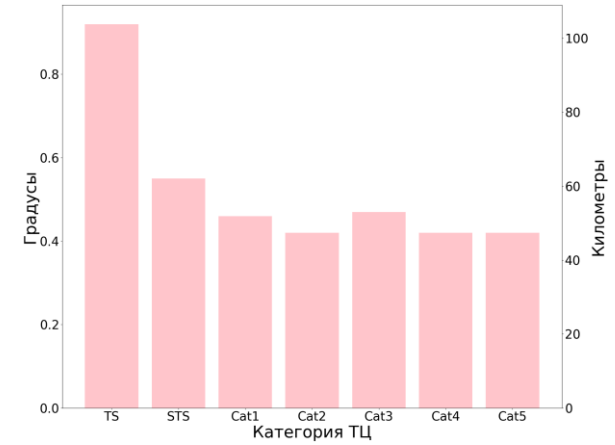
Собственный набор



JMA



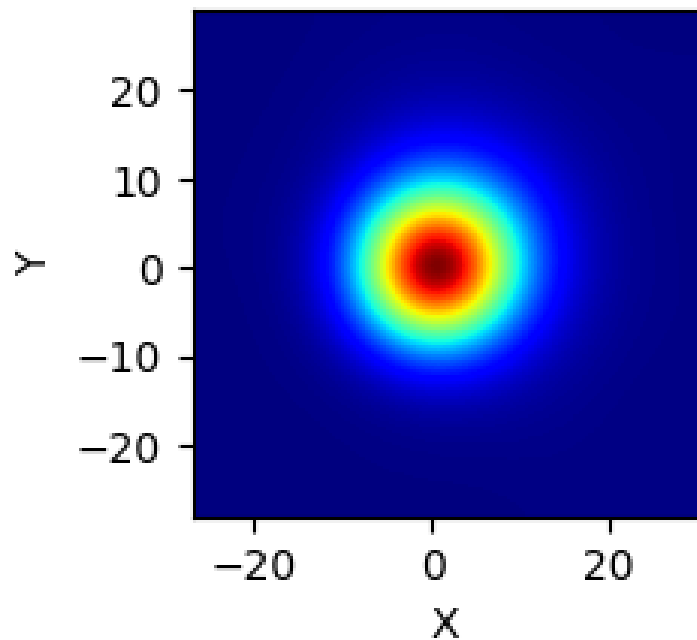
TCIR



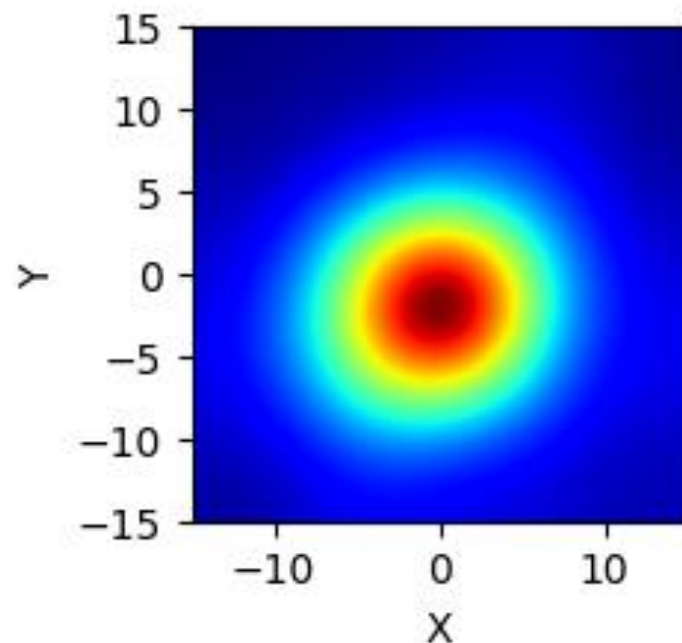
Количество данных	CAO
Собственный набор данных	
3059 (35-160 узлов)	0.45°
JMA	
1695 (35-135 узлов)	0.75°
TCIR	
2384 (35-160 узлов)	0.54°

Распределение центров ТЦ на разных наборах данных

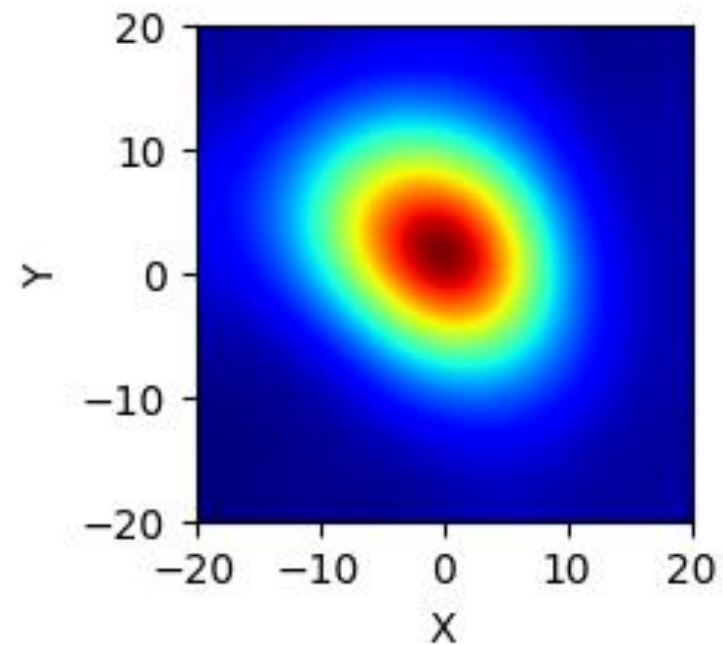
Собственный набор данных



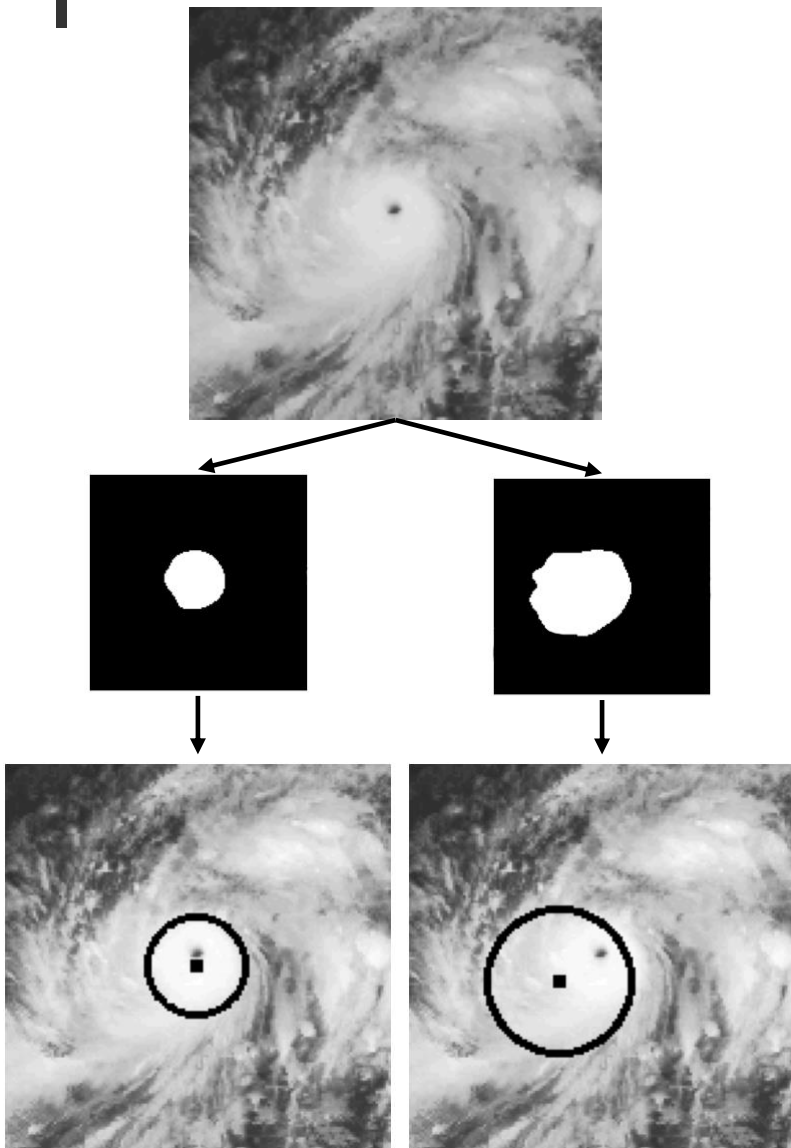
TCIR



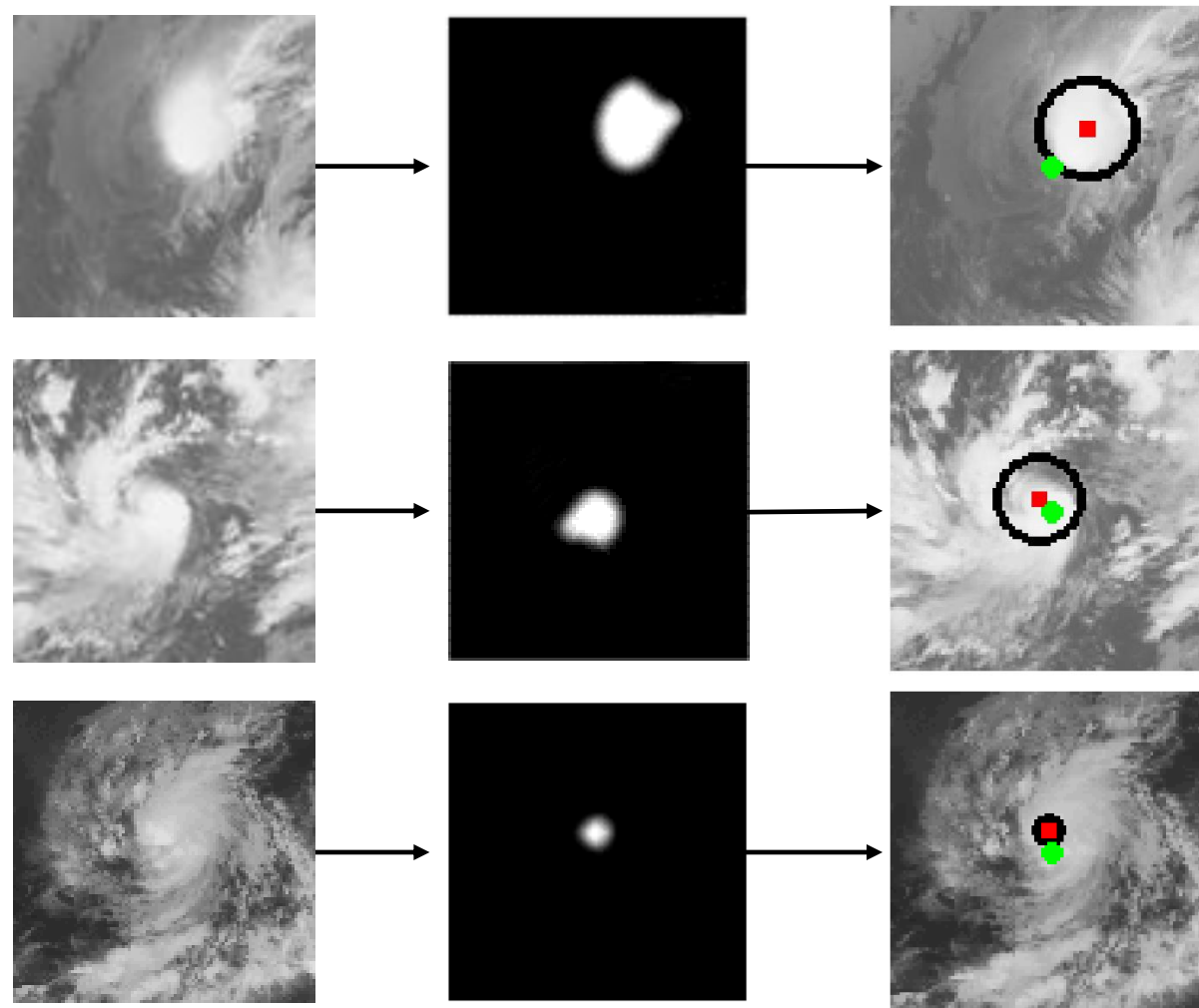
JMA




Обсуждение ошибок



- Центр с помощью алгоритма поиска окружности
- Центр по данным НУЦ





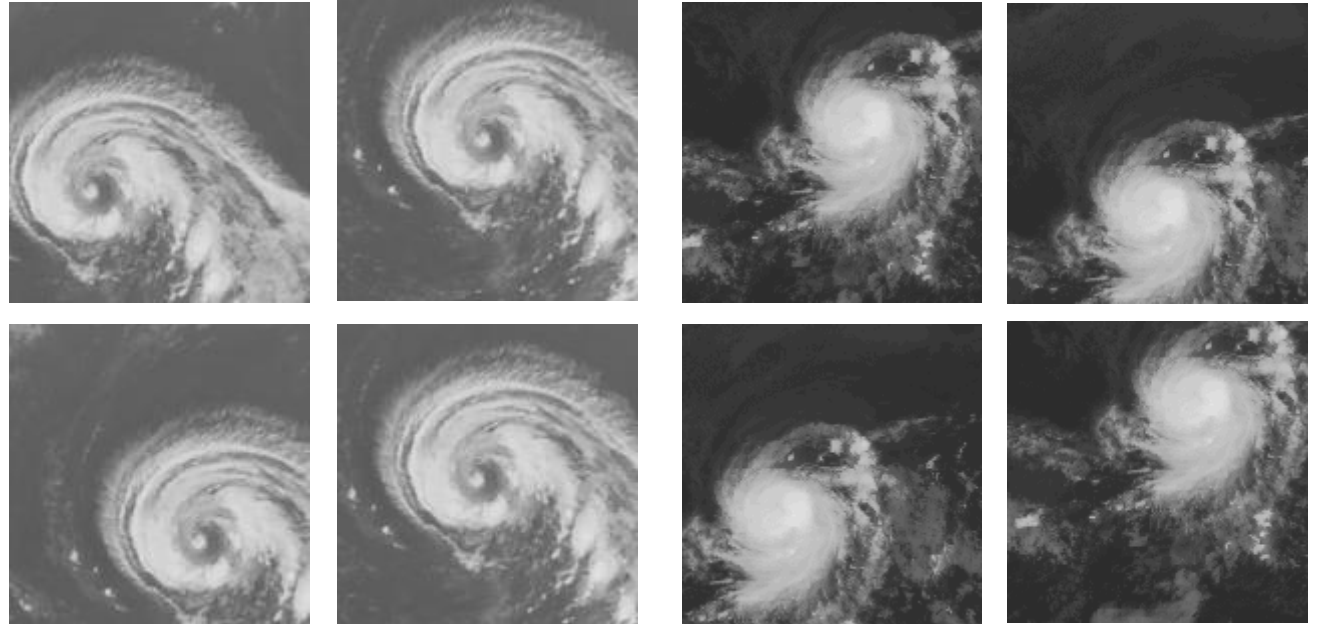
Локализация центра тропического циклона с помощью нейронной сети

Предобработка данных

Аугментация

01

Изображение смещается в определённом диапазоне



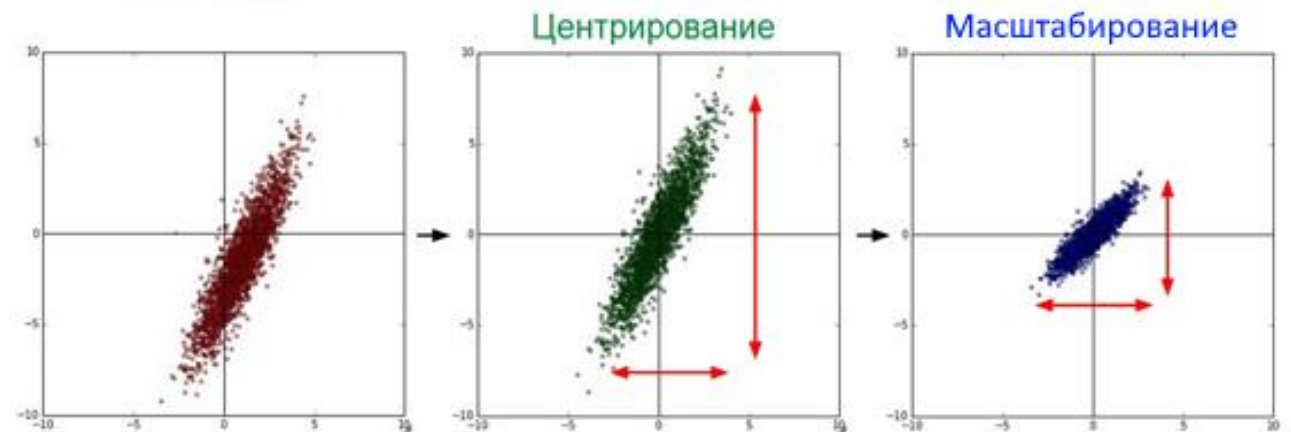
Нормализация

02

Центрирование данных по нулю

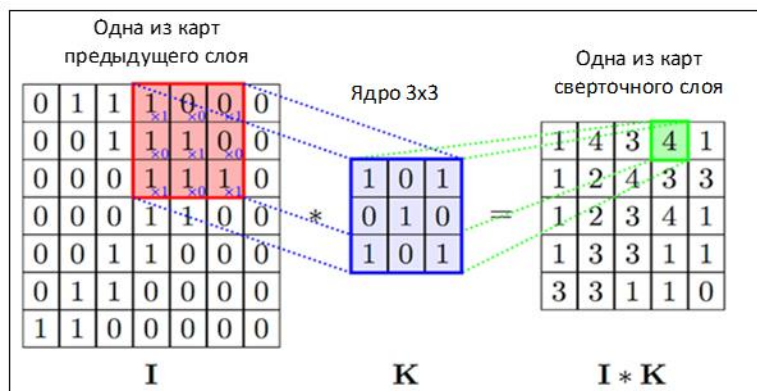
03

Масштабирование. Разделение данных по каждому измерению на их стандартное отклонение.

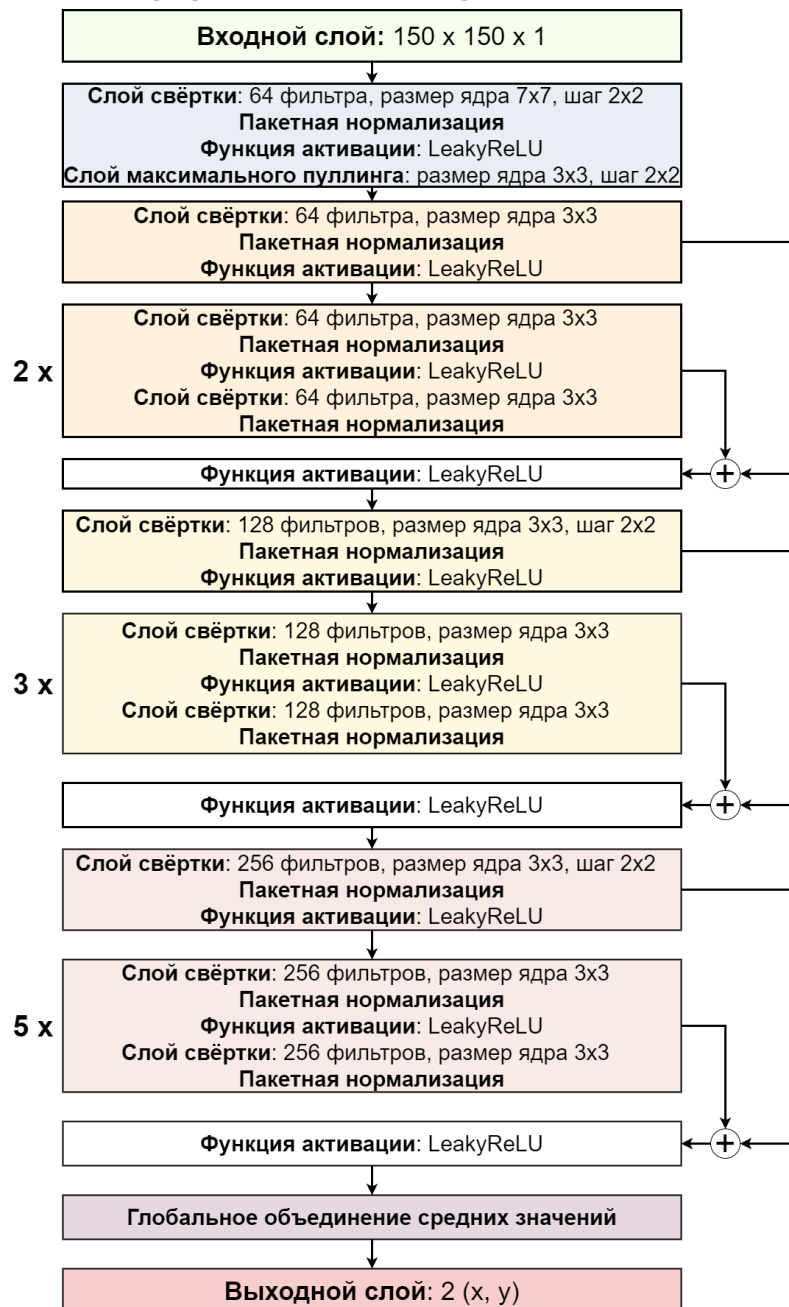
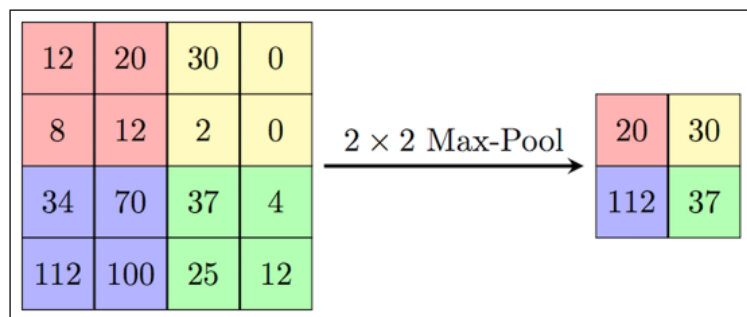


Архитектура нейронной сети

❖ Свёрточный слой



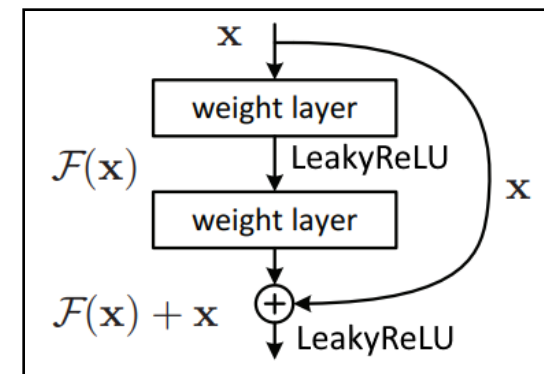
❖ Слой максимального пуллинга



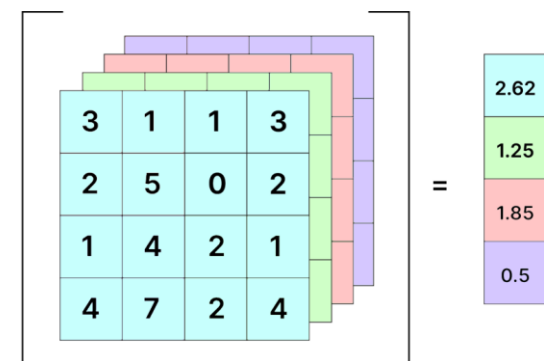
❖ Функция активации «LeakyReLU»:

$$f(x) = \begin{cases} 0,2 x & x < 0 \\ x & x \geq 0 \end{cases}$$

❖ Пропуск соединений



❖ Глобальное объединение средних значений



Обучение нейронной сети

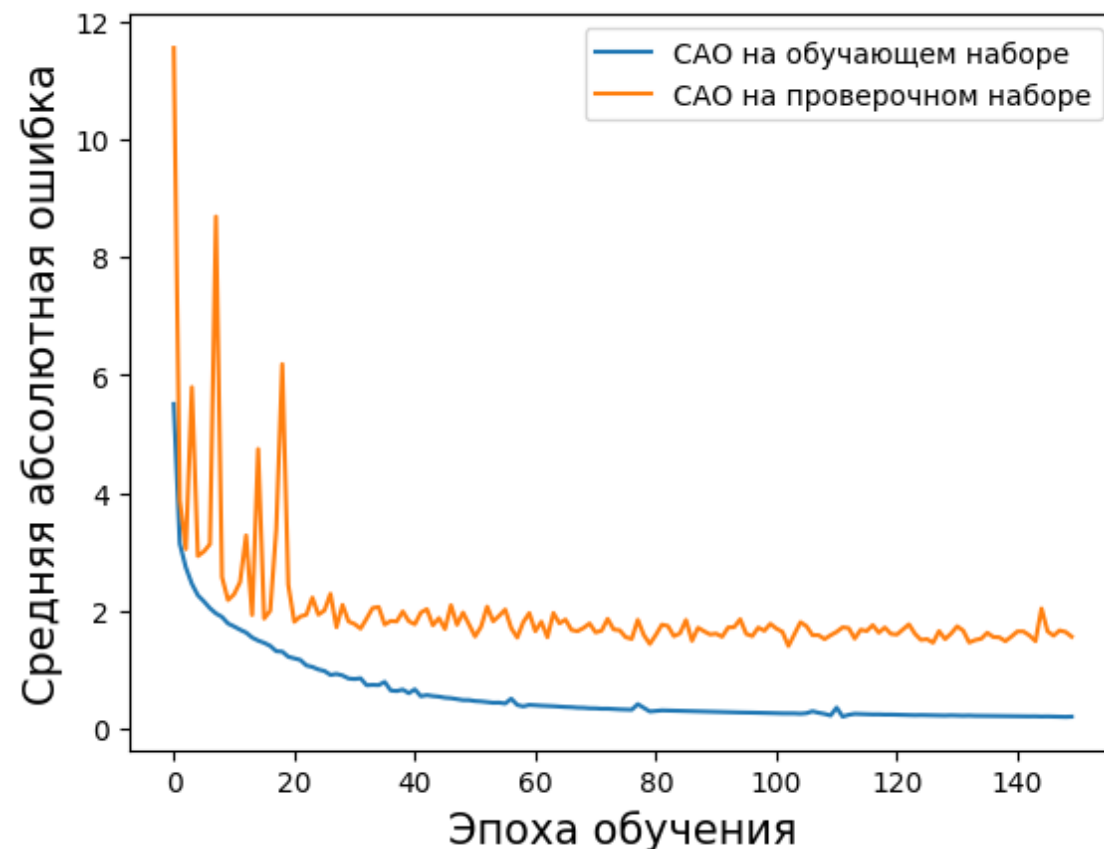
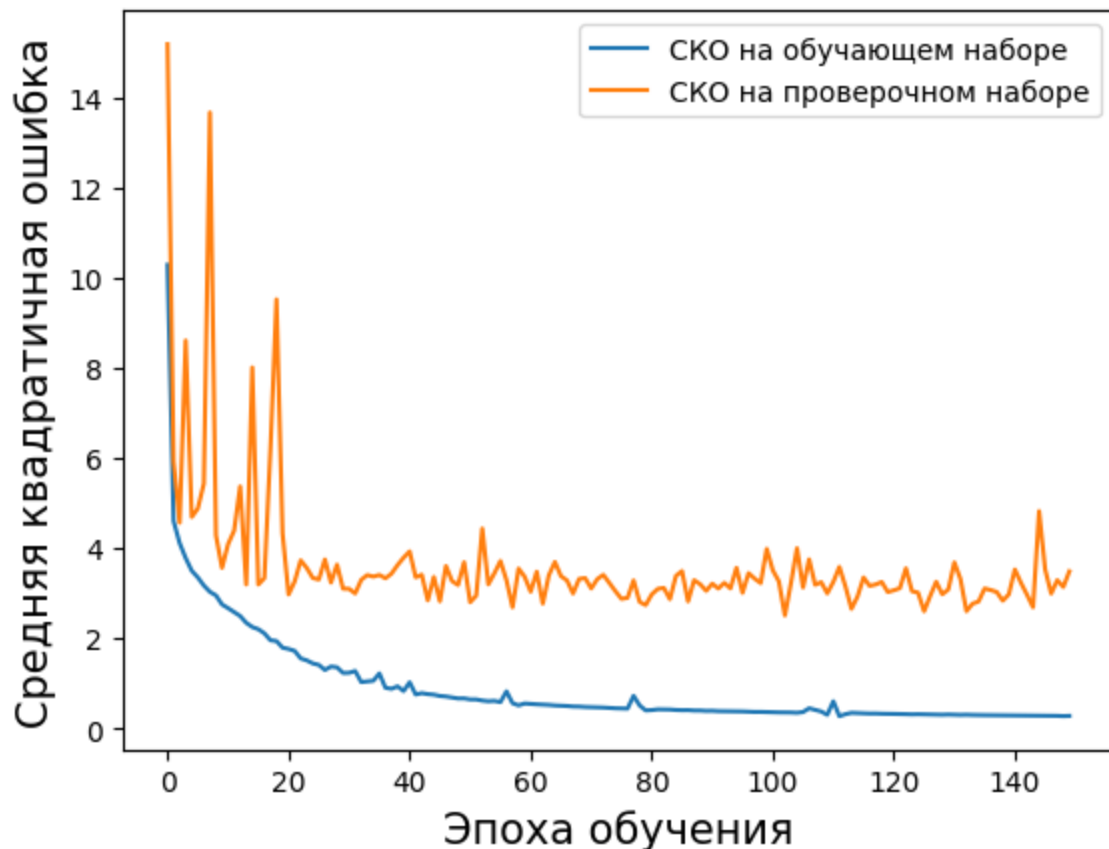
❖ Оптимизатор - Adam

❖ Функция ошибки – Дисперсия (MSE)

❖ Метрики оценки нейросети во время обучения:

CAO (MAE)

СКО (RMSE)



Результаты

❖ Средняя абсолютная ошибка:

$$CAO = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(x_{true,i} - x_{pred,i})^2 + (y_{true,i} - y_{pred,i})^2}$$

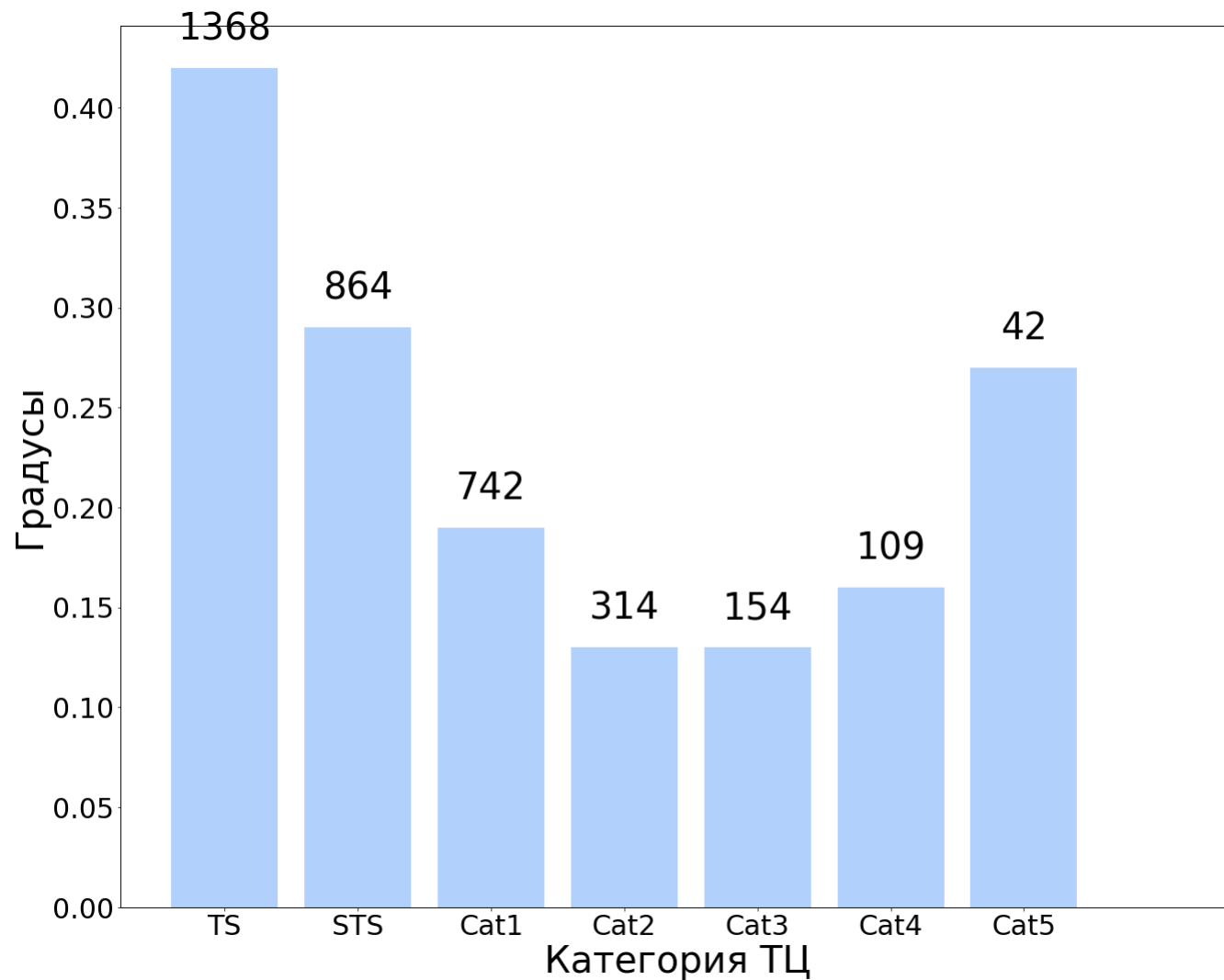
❖ Средняя квадратичная ошибка:

$$CKO = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(x_{true,i} - x_{pred,i})^2 + (y_{true,i} - y_{pred,i})^2]}$$

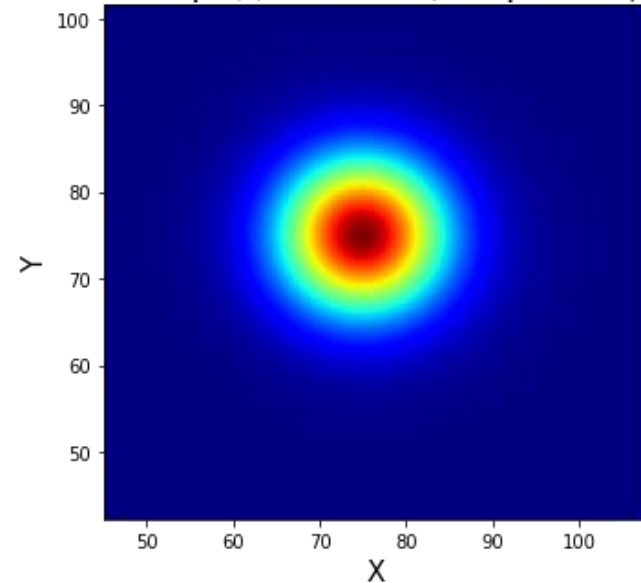
Тестовый набор ТЦ (года)	Количество	CAO	CKO
2007, 2009, 2012, 2017	3593	0.28° 30.85 км	0.49° 54.18 км
2005, 2014, 2016, 2019	4366	0.36° 40.18 км	0.55° 60.96 км

Результаты

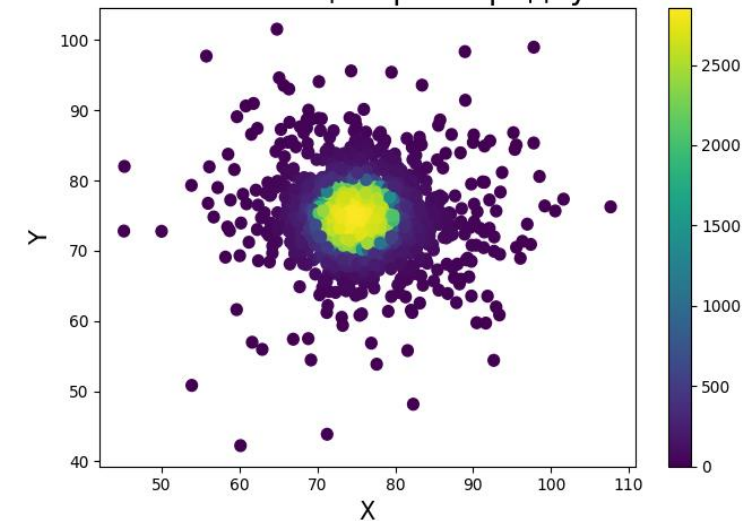
Распределение средней абсолютной ошибки



Распределение центров ТЦ



Количество центров в радиусе





Оригинальное
изображение

Тепловая карта
значимости

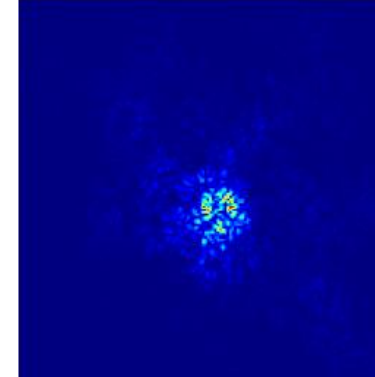
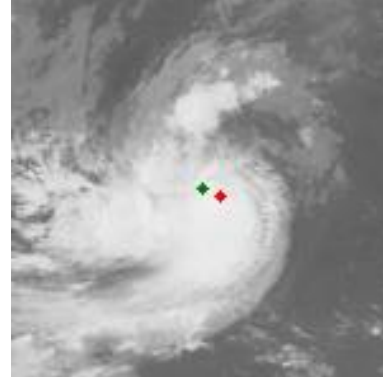
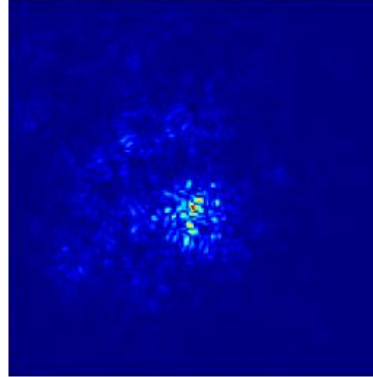
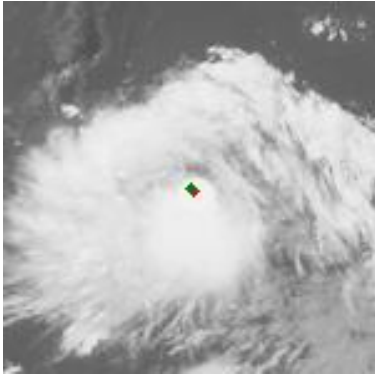
Оригинальное
изображение

Тепловая карта
значимости

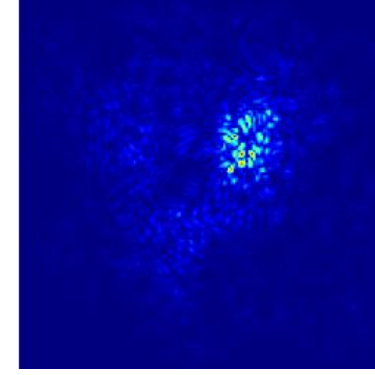
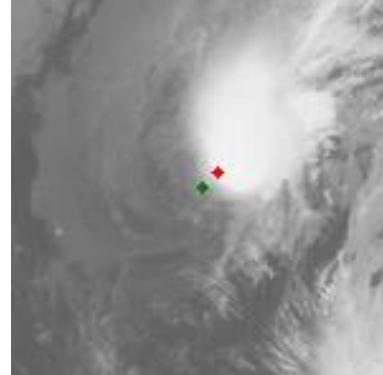
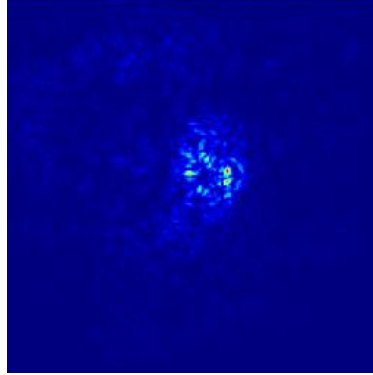
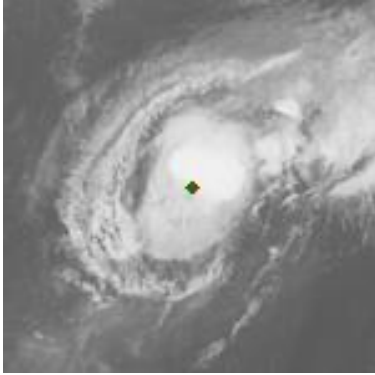
● Центр по оценке
нейросети

● Центр по данным
НУЦ

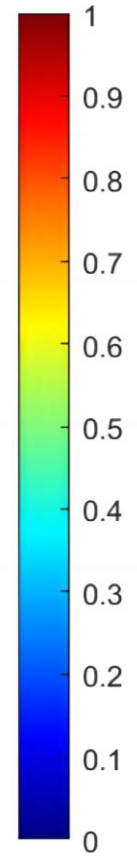
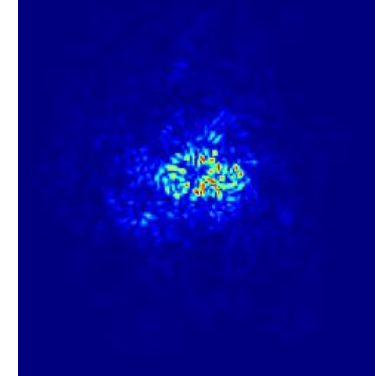
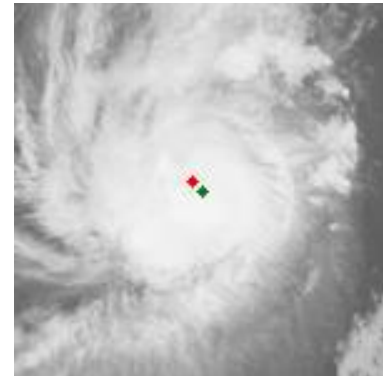
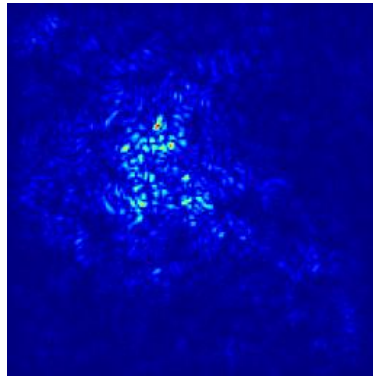
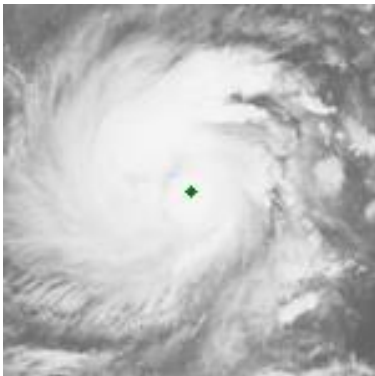
TS



STS

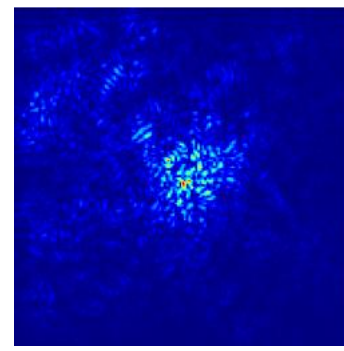
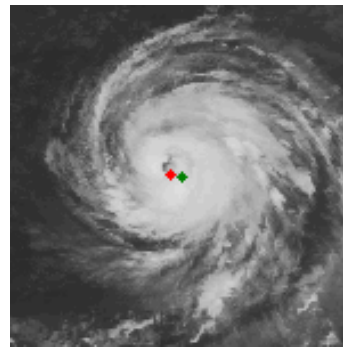
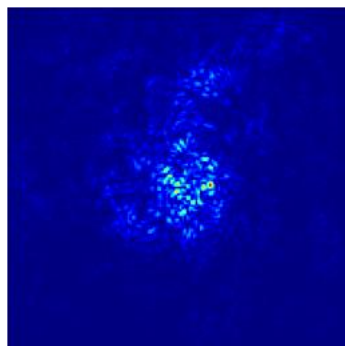
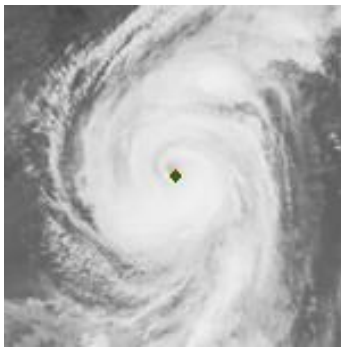


Cat1

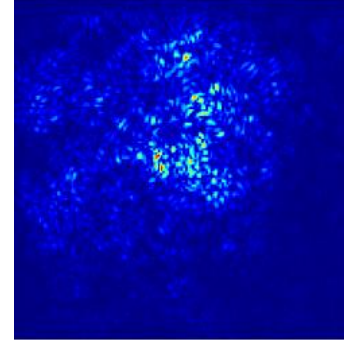
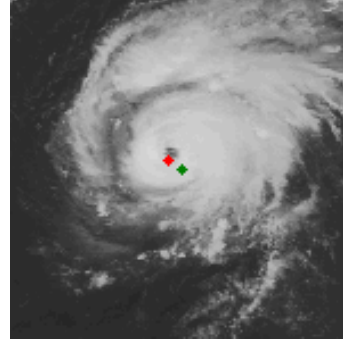
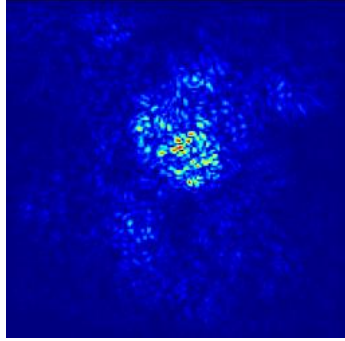
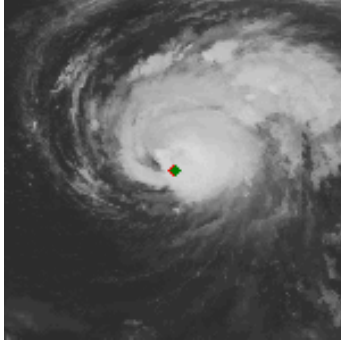




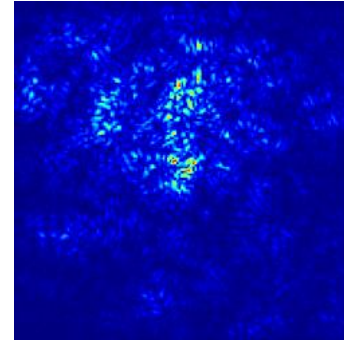
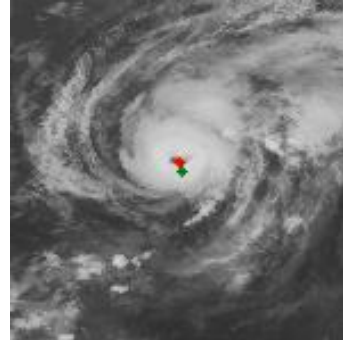
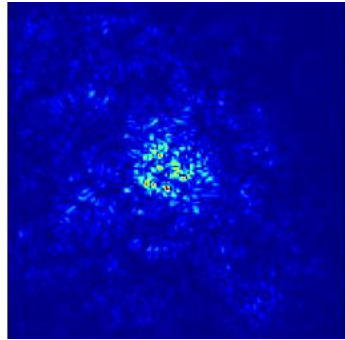
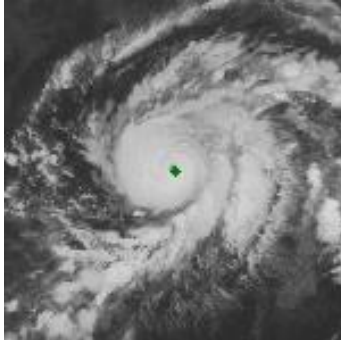
Cat2



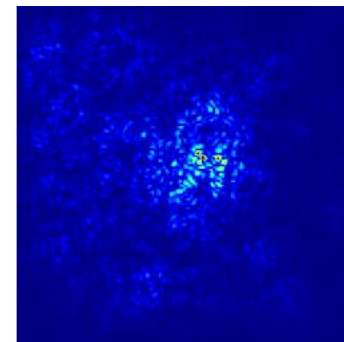
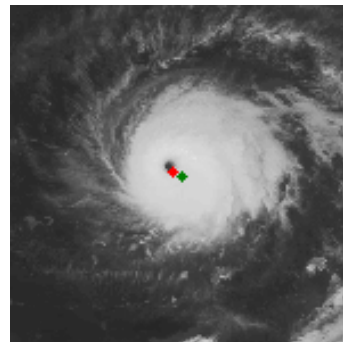
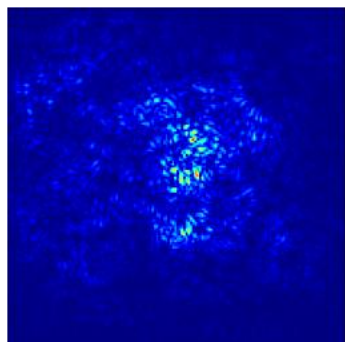
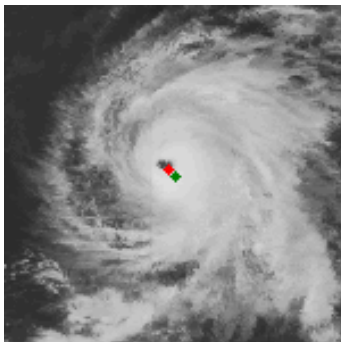
Cat3



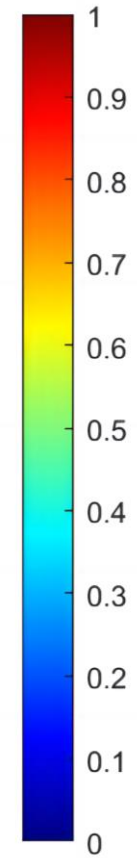
Cat4



Cat5



- Центр по оценке нейросети
- Центр по данным НУЦ





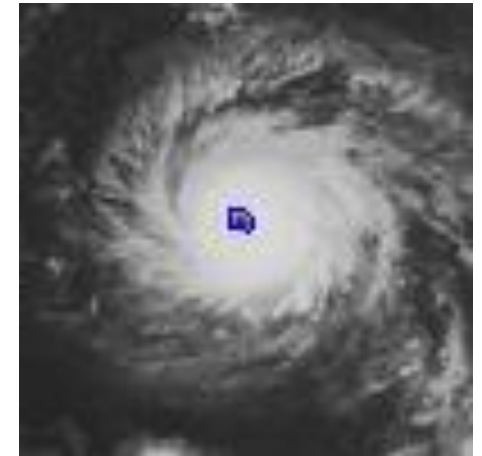
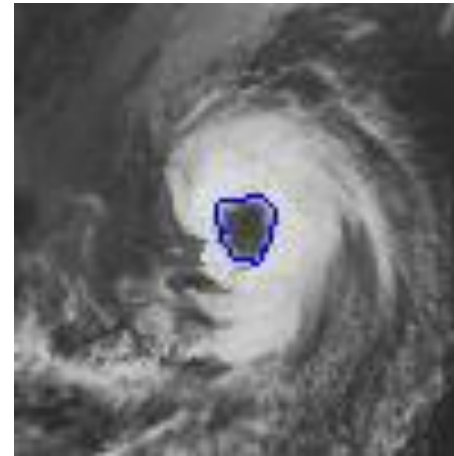
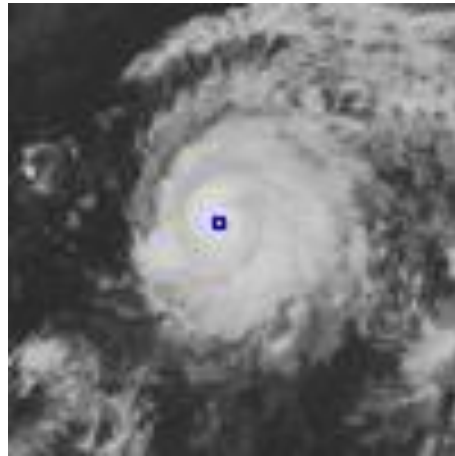
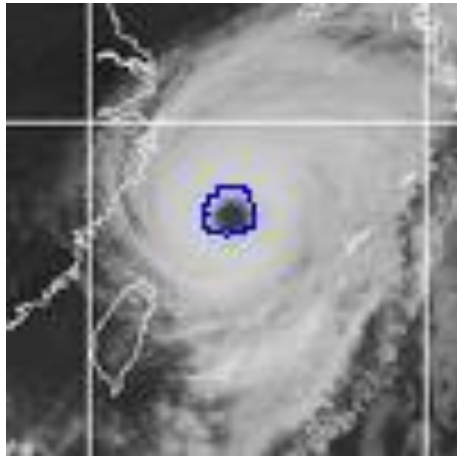
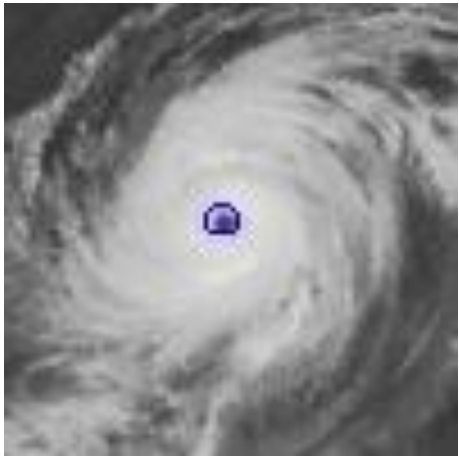
Анализа формы глаза тропических циклонов

Описание алгоритма

1. Поиск контуров с помощью градиентов
2. Для каждого контура определяется расстояние от центра масс до восстановленного нейросетью центра
3. Определяется индекс окружности по следующей формуле

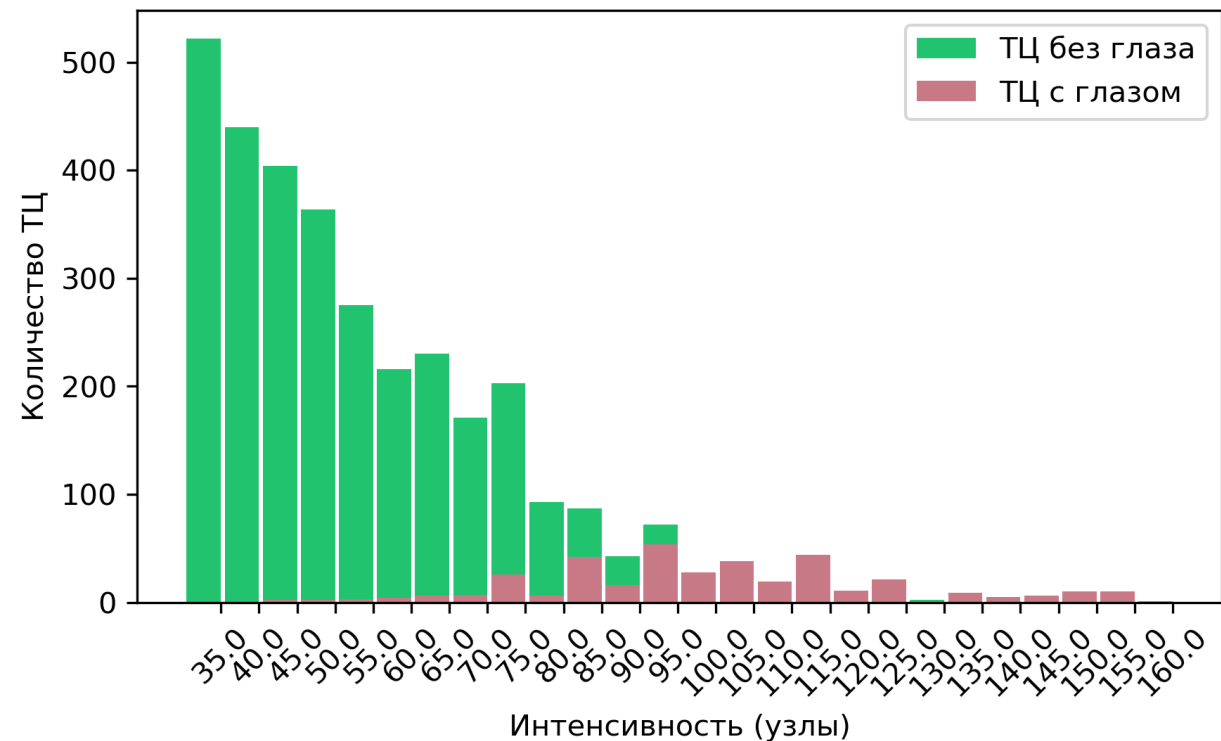
$$\frac{r_{max} - r_{min}}{r_{max} + r_{min}}$$

4. Определяется площадь каждого контура
5. Взвешенное решение

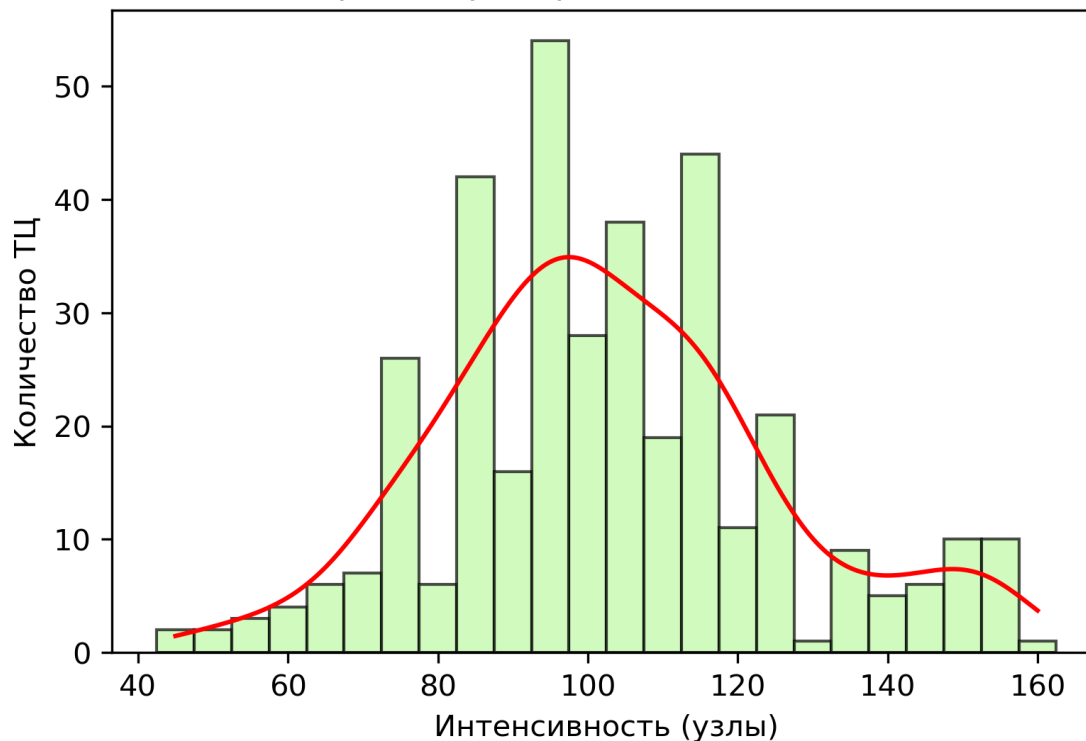


Результаты

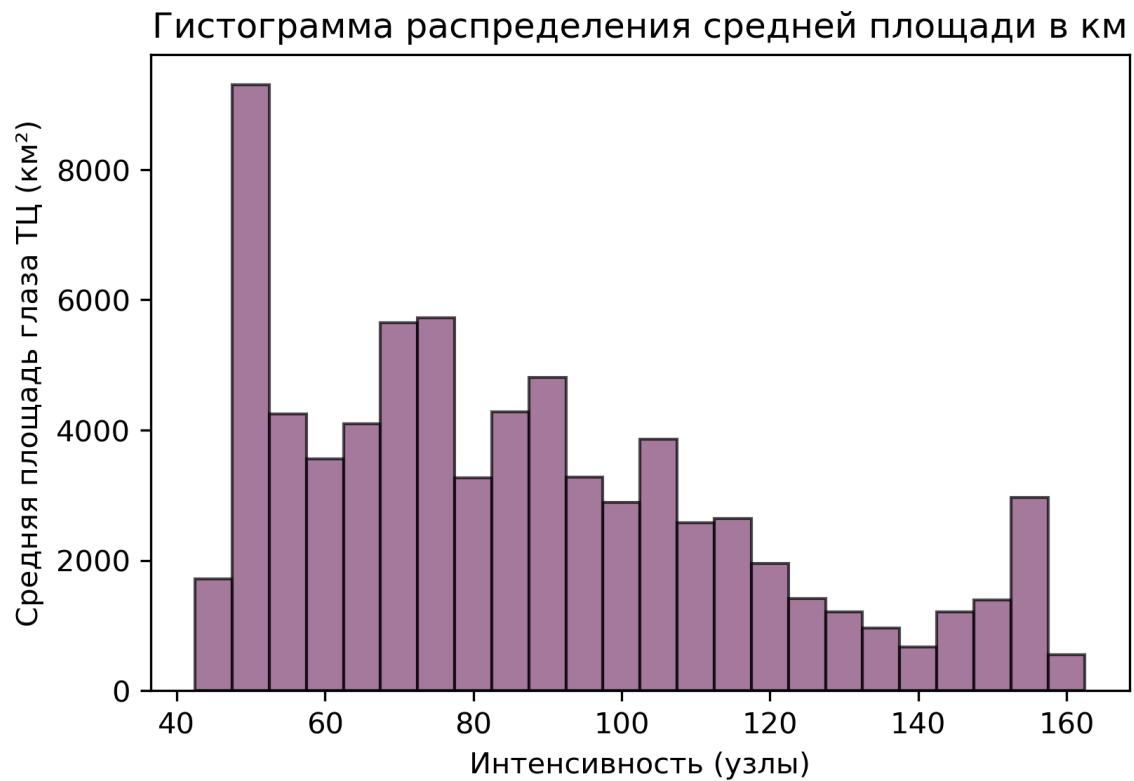
Соотношение ТЦ с глазом и без



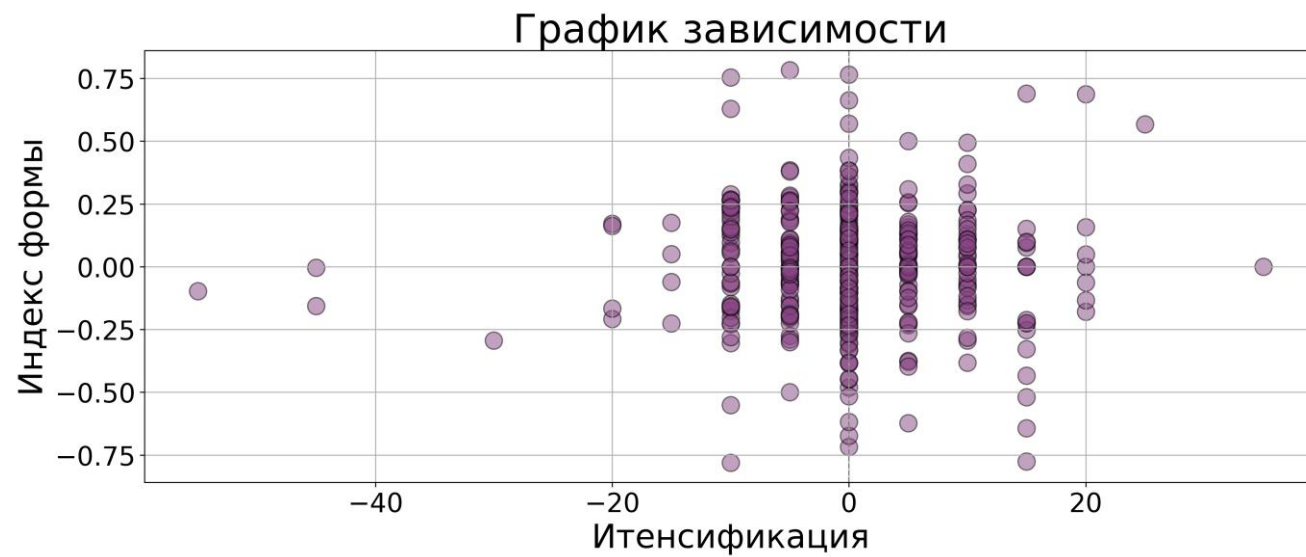
Гистограмма распределения ТЦ с глазом



Результаты



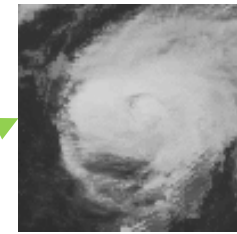
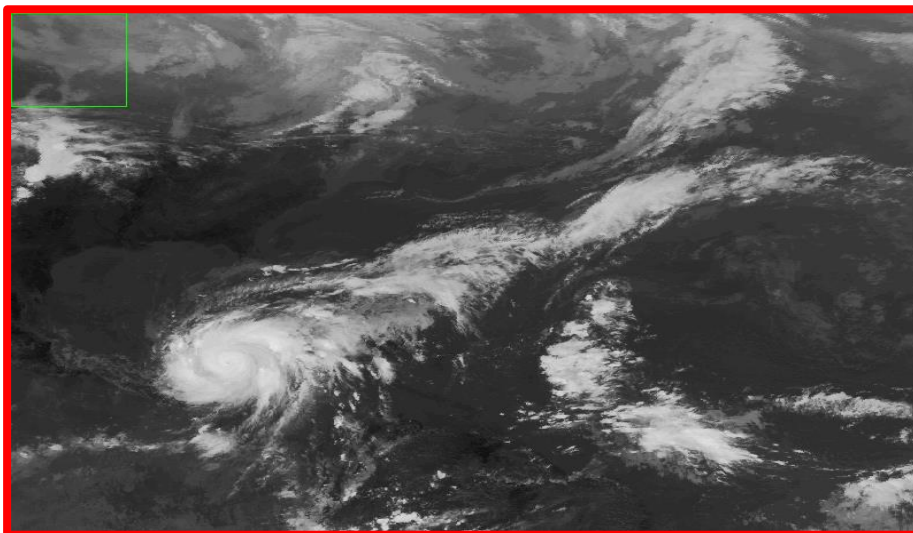
$$Ind = \frac{r_{max} - r_{min}}{r_{max} + r_{min}}$$



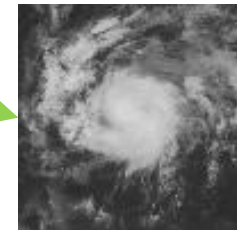
Система восстановления характеристик ТЦ

1. Детектирование и локализация ТЦ
Точность 98%, СКО 0.49°

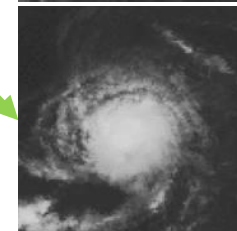
2. Восстановление интенсивности, определение
наличия и характеристик глаза. СКО 11.3 узла



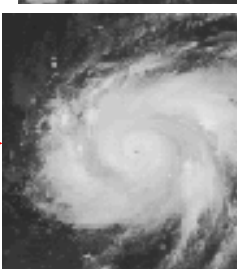
Интенсивность : 80.85 узлов
Координаты: 29.8 С 72.0 З



Интенсивность : 67.10 узлов
Координаты: 12.8 С 54.4 З



Интенсивность : 25.06 узлов
Координаты: 12.2 С 54.4 З



Интенсивность: 112.63 узлов
Координаты: 17.4 С 83.4 З
Есть глаз



Спасибо за внимание!