



Применение искусственных  
нейросетей для восстановления  
параметров тропических  
циклонов по их спутниковым  
изображениям

**Якушева Анна Николаевна (1,2)**  
**Ермаков Дмитрий Михайлович (2,3)**

(1) МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет космических  
исследований, Москва, Россия

(2) Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

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

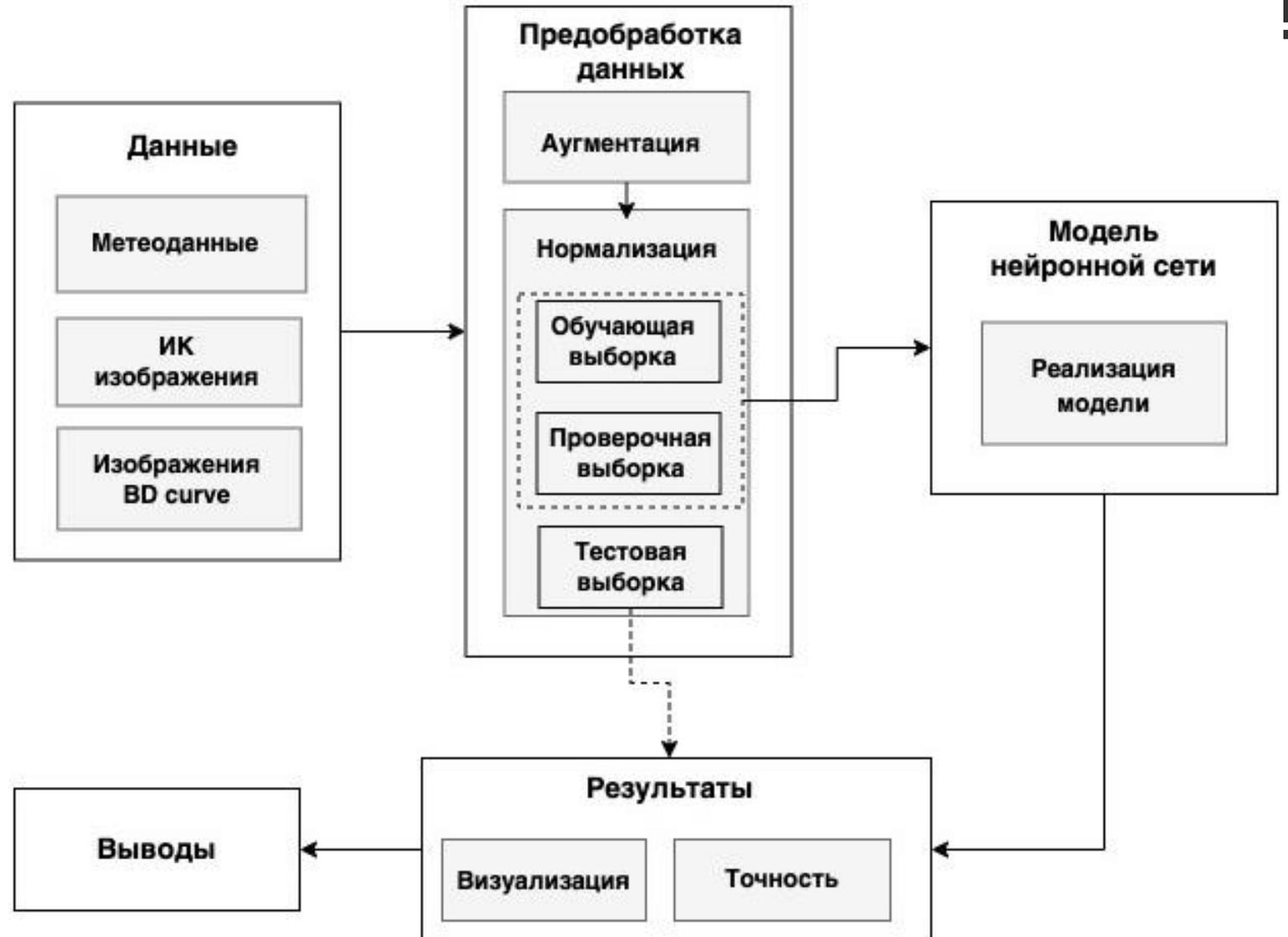
# Обзор исследований

Статьи	Данные		Тестовый набор	RMSE (узлы)
Yong Zhao и др. (2016)	IR	10,3-11,3 мкм	52 случая за 2008–2009 года	12,69
Jay Samuel Combinido и др. (2018)	IR	10,2-11,5 мкм	ТЦ Тихого океана за 2015 – 2016	13,23
Velden, Herndon (2018)	IR, PMW	10,2-11,5 мкм 85 - 89 ГГц		8,3
Juhyun Lee и др. (2019)	IR, WV, SWIR	10.7-12.0, 6.7, 3.9 мкм	С-3 часть Тихого океана за 2017	8,32
Kunsheng Xiang (2019)	PMW	85 - 89 ГГц	С-3 часть Тихого океана за 2017	11,55
Boyo Chen и др. (2019)	IR, WV, PMW	10.7, 6.7 мкм 85-92 ГГц	96 ТЦ за 2017 год	8,39
Wimmers, Velden (2019)	PMW	37, 85–92 ГГц	ТЦ за 2007, 2017 года	14,3
Статьи	Данные		Метод	Точность
Pradhan и др. (2018)	IR	10.2-11.5 мкм	Саффира-Симпсона	95%
Chong Wang и др. (2019)			Саффира-Симпсона	93,3%
Jianyin Zhou и др. (2020)			4 класса по стадиям ТЦ	95,12%.
Shuailong Jiang и др. (2022)			Саффира-Симпсона	97,12%

# Постановка задачи

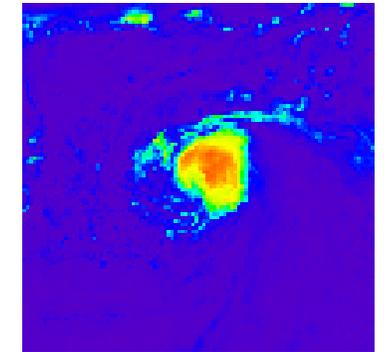
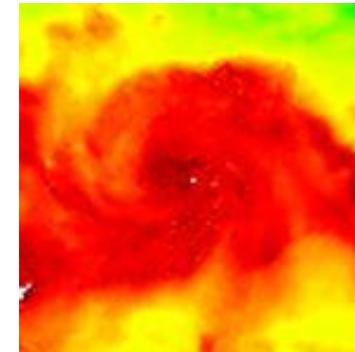
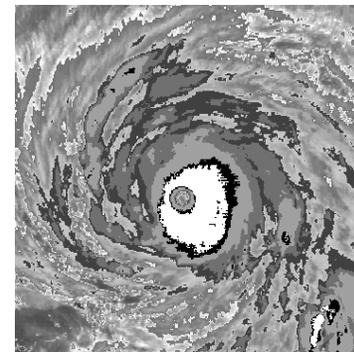
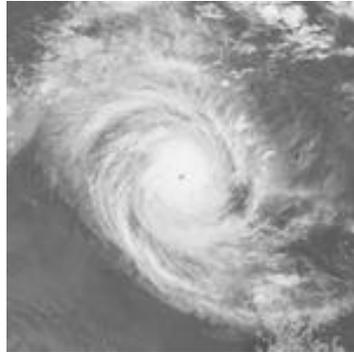
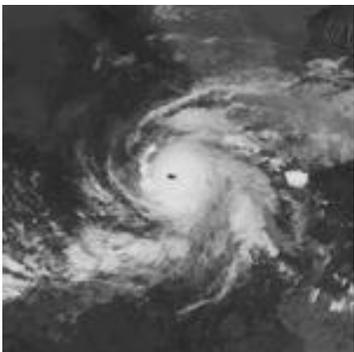
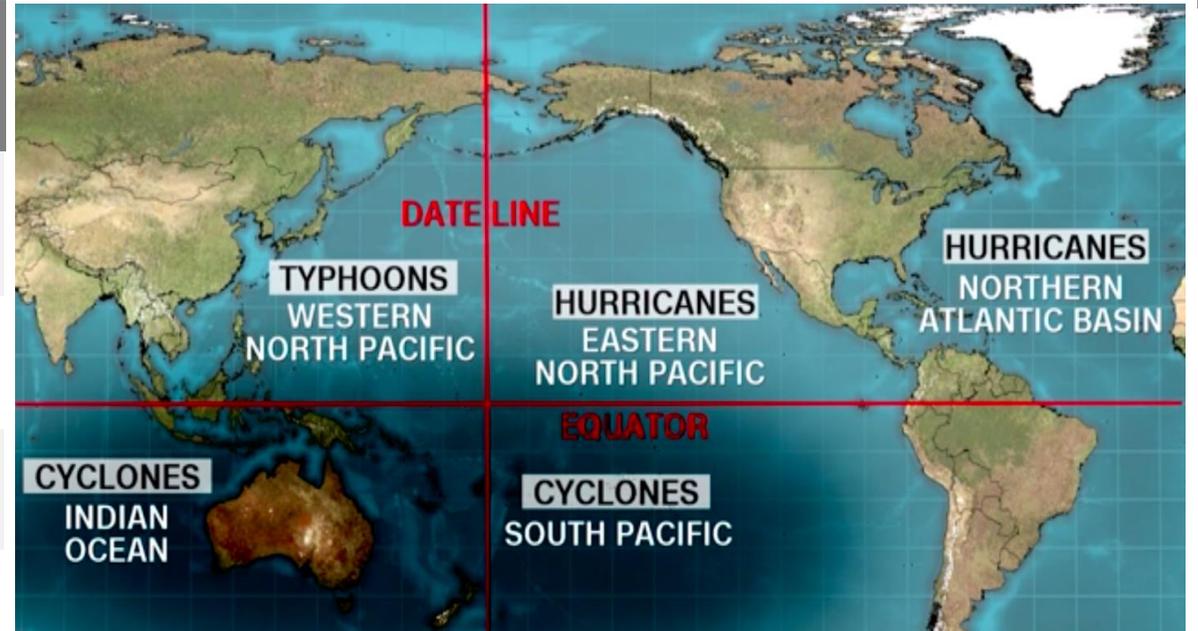
- Разработать, реализовать и проанализировать на эффективность собственную методику автоматического восстановления интенсивности ТЦ по разнородным данным спутникового ДЗЗ на базе искусственных нейронных сетей и других алгоритмов технического зрения.

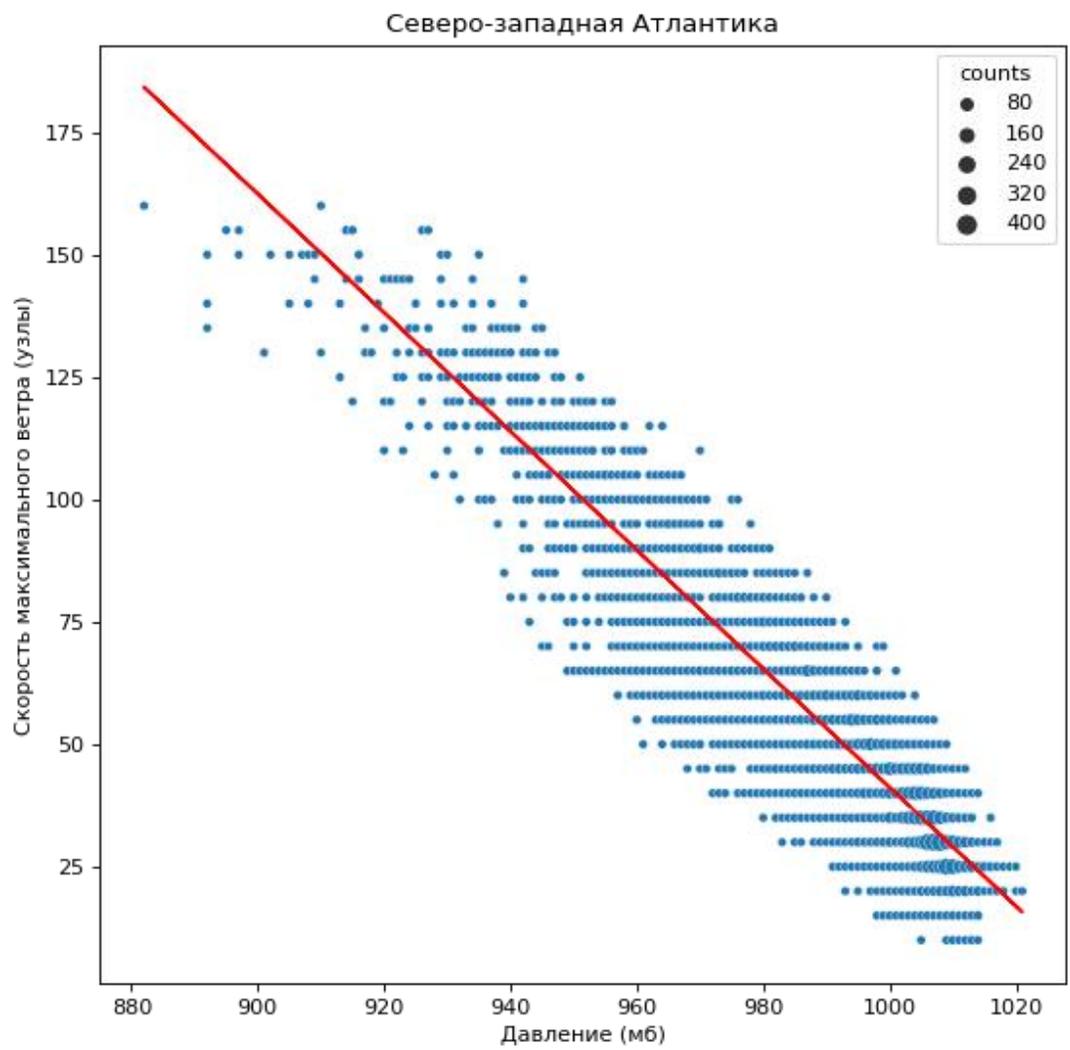
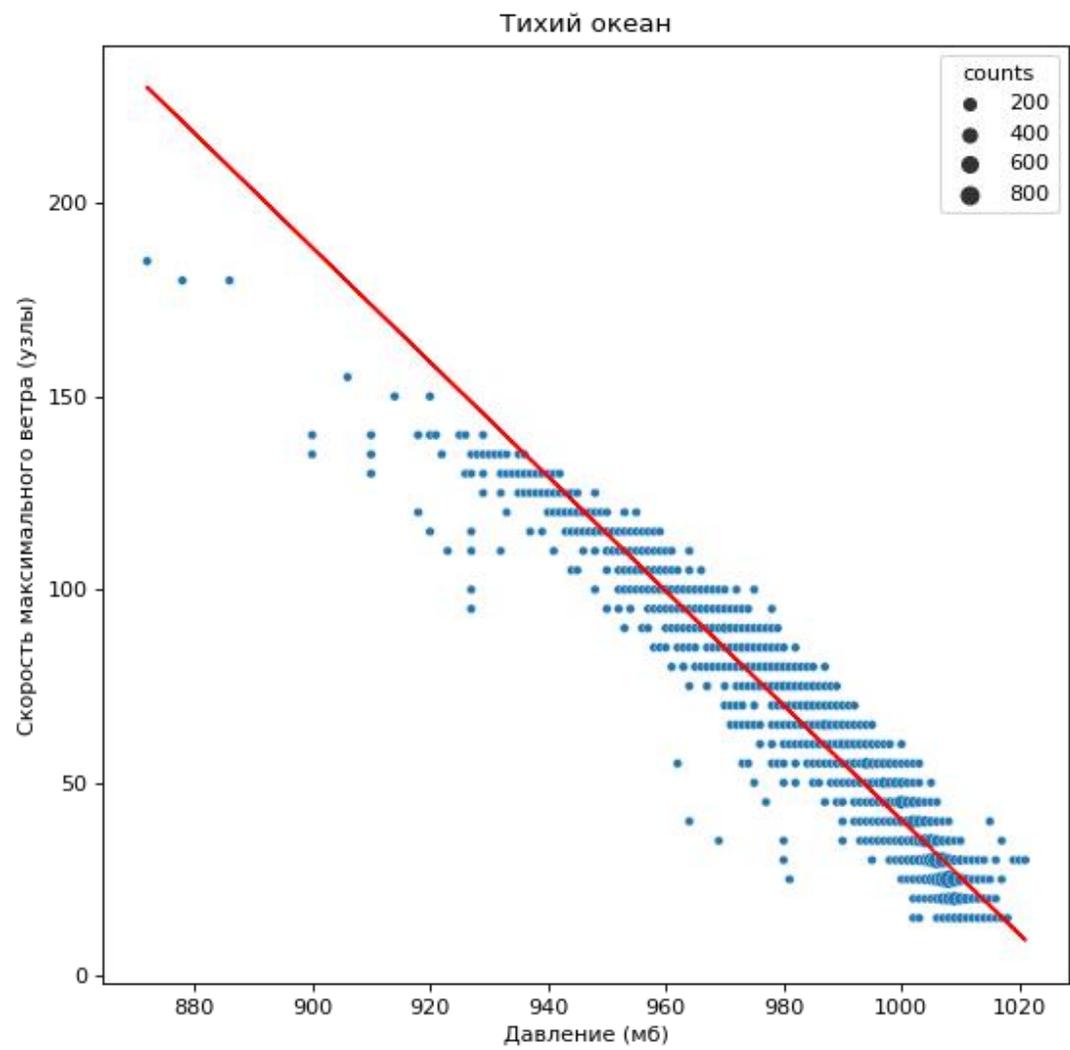
## Методология работы



# Тропические циклоны

Акватория	Количество изображений
North-West Atlantic	6038
North-East Pacific	5636
West-South Pacific	13500
West-North Pacific	24725





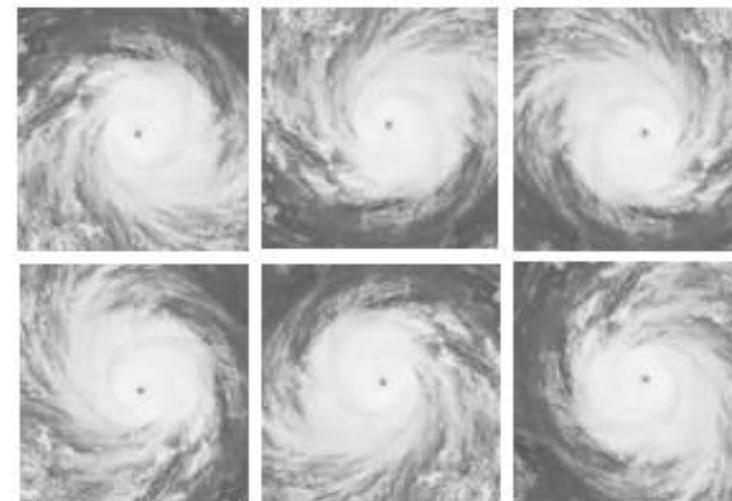
Соотношение между атмосферным давлением и скоростью ветра для ТЦ

# Предобработка данных

## Аугментация

01 Изображение отображается по вертикали и горизонтали

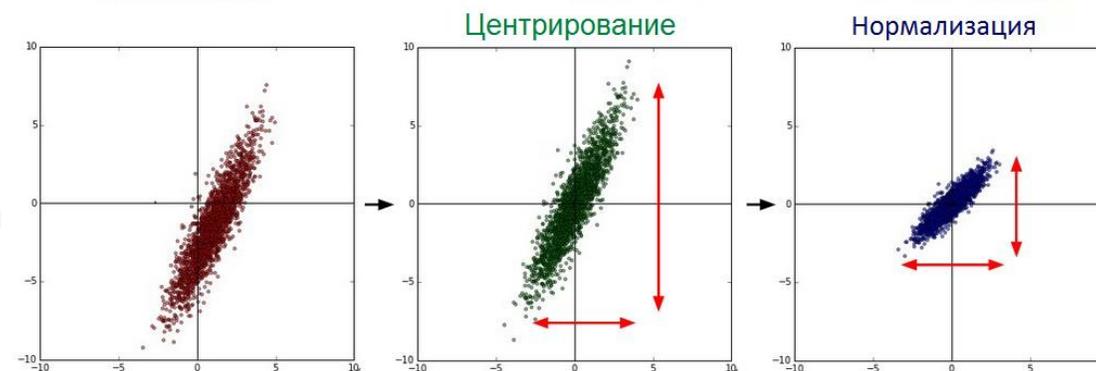
02 Изображение случайным образом поворачиваются на определённый угол



## Нормализация

03 Центрирование данных по нулю

04 Нормализация. Разделение данных по каждому измерению на их стандартное отклонение.



# Архитектура свёрточной нейронной сети

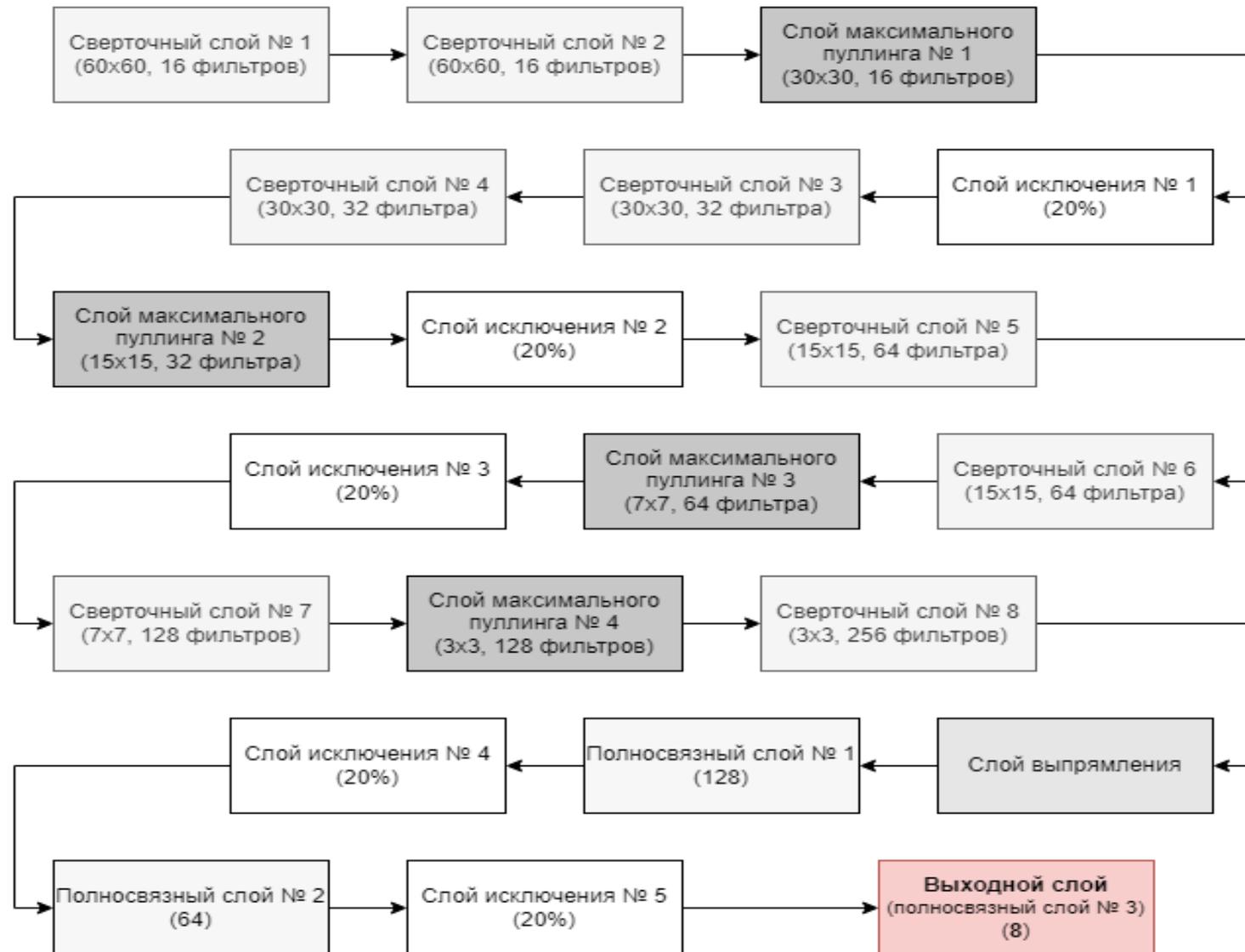
Функция активации  
«LeakyReLU»:

$$f(z) = \begin{cases} 0,01z & z < 0 \\ z & z \geq 0 \end{cases}$$

Функция активации  
«Softmax»:

$$f(z)_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^J e^{z_j}},$$

для  $i = 1, \dots, J$



# Результаты

$$A = \frac{N_{TP} + N_{TN}}{N_{TP} + N_{TN} + N_{FP} + N_{FN}}$$

$$P = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FP}}$$

$$R = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FN}}$$

$$F1 = 2 \frac{R \times P}{R + P}$$

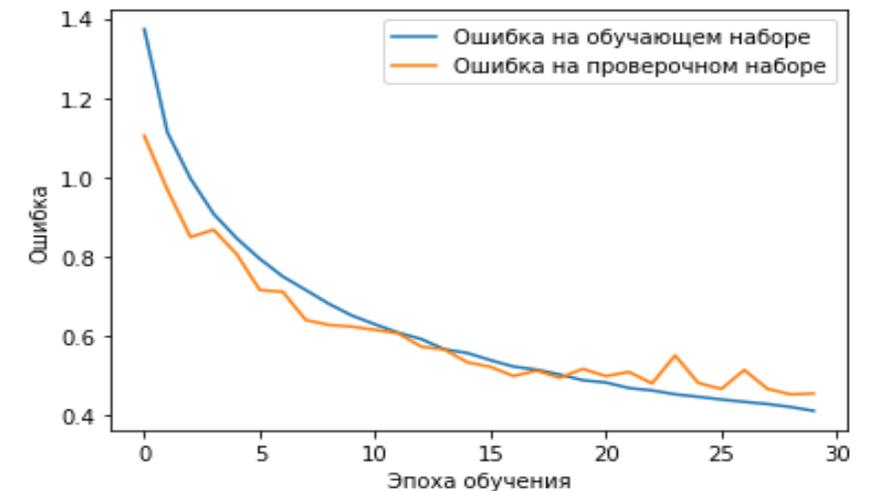
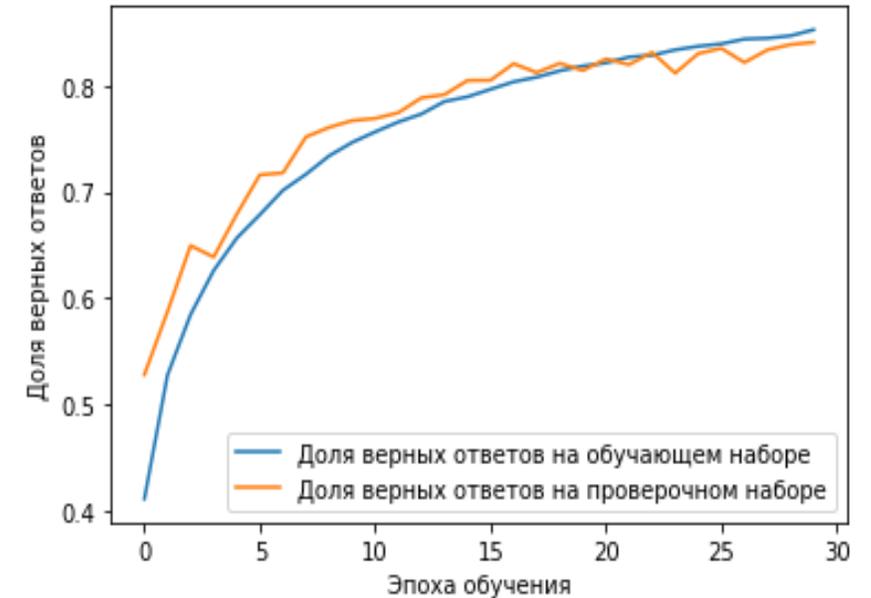
$N_{TP}$  — количество истинно положительных предсказаний,

$N_{TN}$  — количество истинно отрицательных предсказаний,

$N_{FP}$  — количество ложноположительных предсказаний,

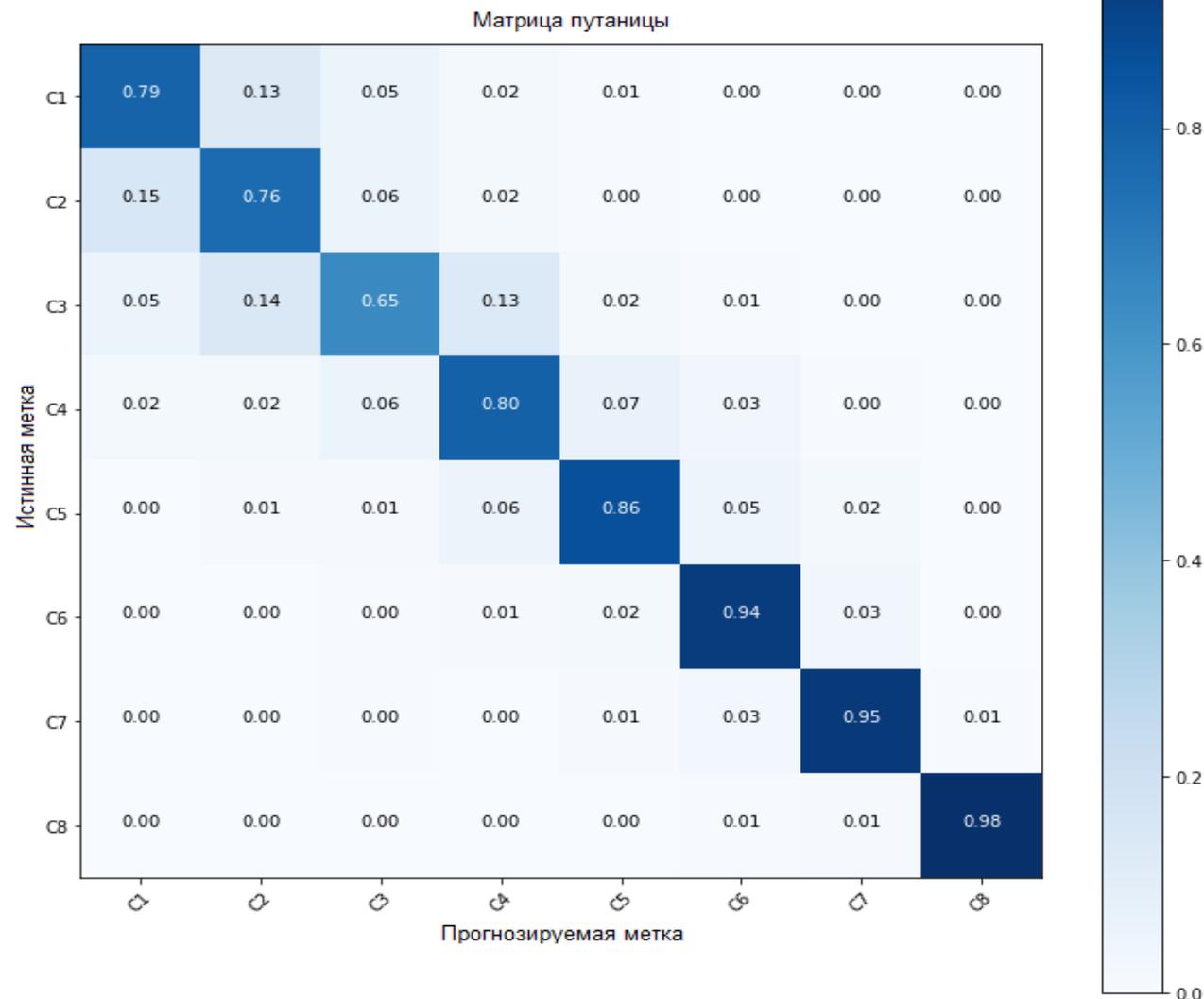
$N_{FN}$  — количество ложноотрицательных предсказаний.

Метрика	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
Точность	84,19%	83,95%	84,20%	84,09%

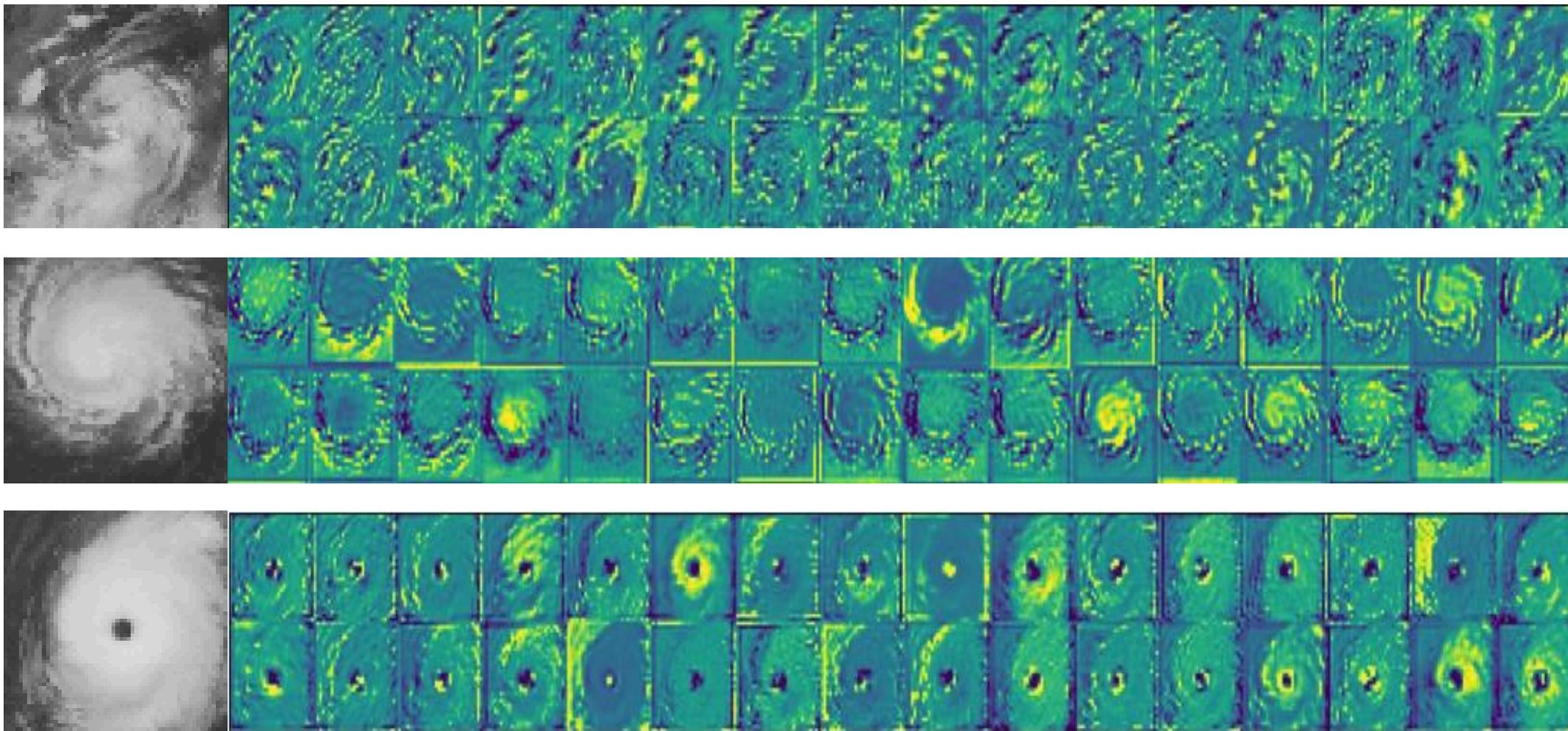


# Результаты

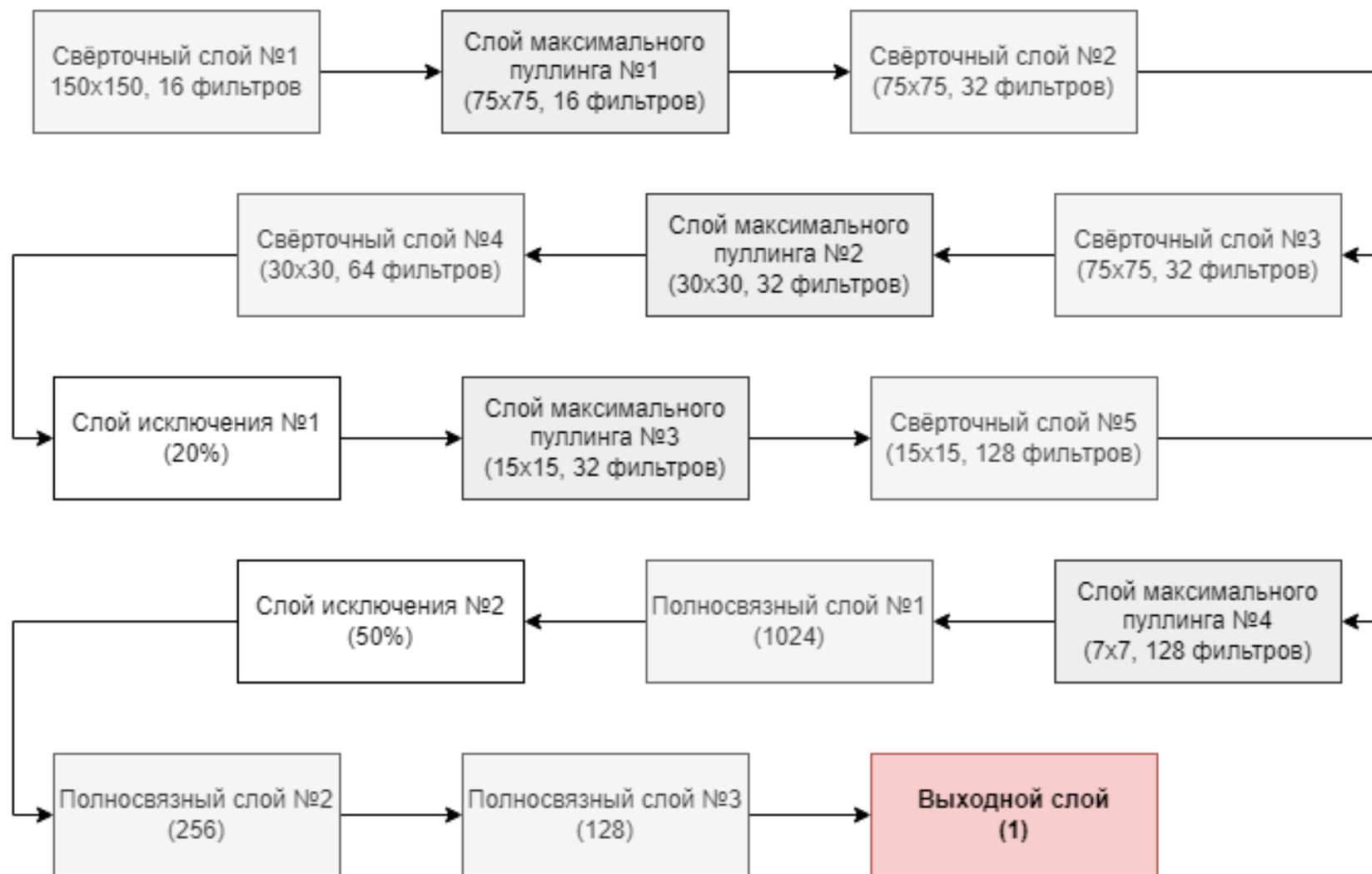
- **C1** – тропическая депрессия ( $\leq 30$  узлов);
- **C2** – тропический шторм (35-45 узлов);
- **C3** – сильный тропический шторм (50-60 узлов);
- **C4** – ураган (65-80 узлов);
- **C5** – сильный ураган (85-95 узлов);
- **C6** – сильный ураган (100-110 узлов);
- **C7** – сильный ураган (115-130 узлов);
- **C8** – сильный ураган ( $\geq 135$  узлов).



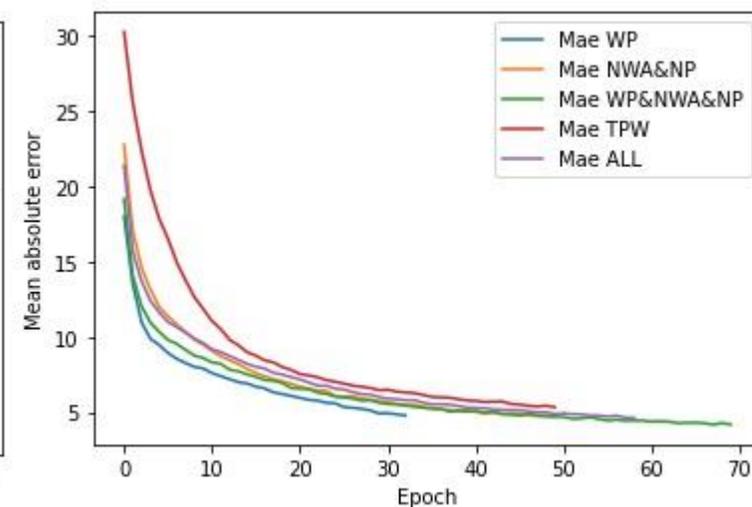
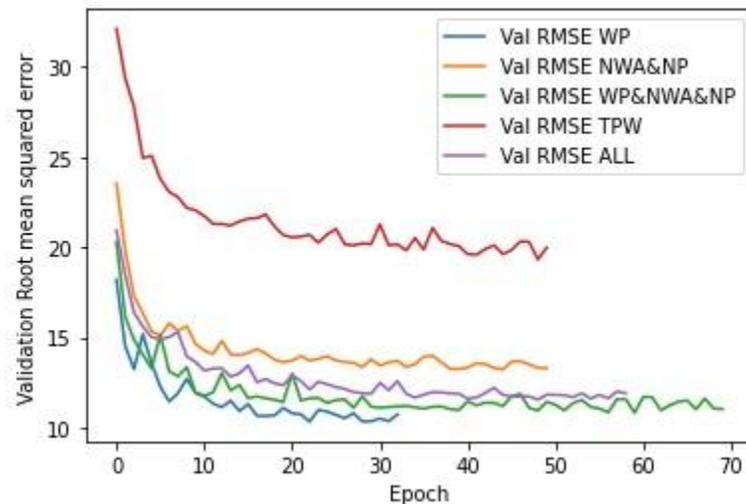
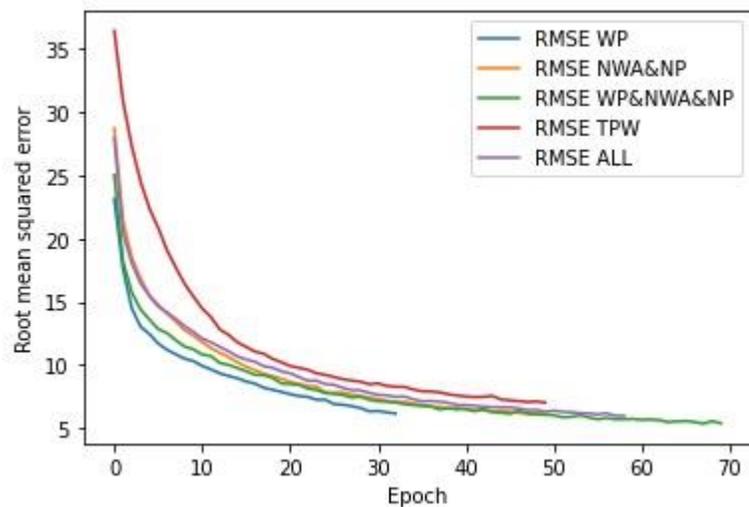
# Результаты



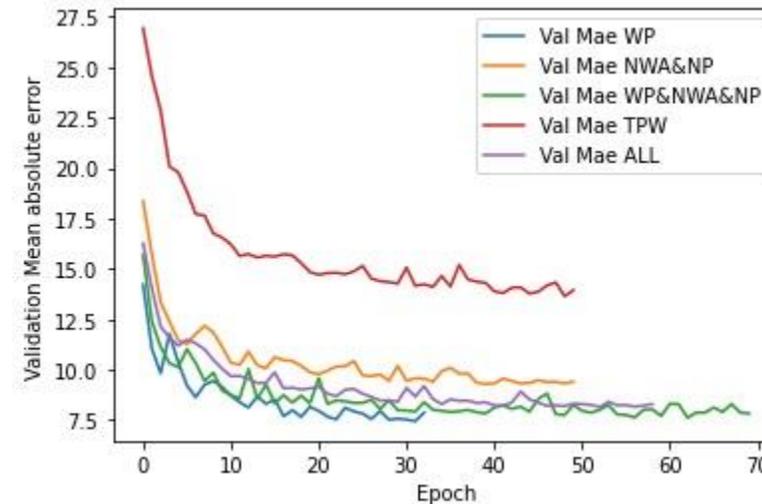
# Архитектура нейронной сети



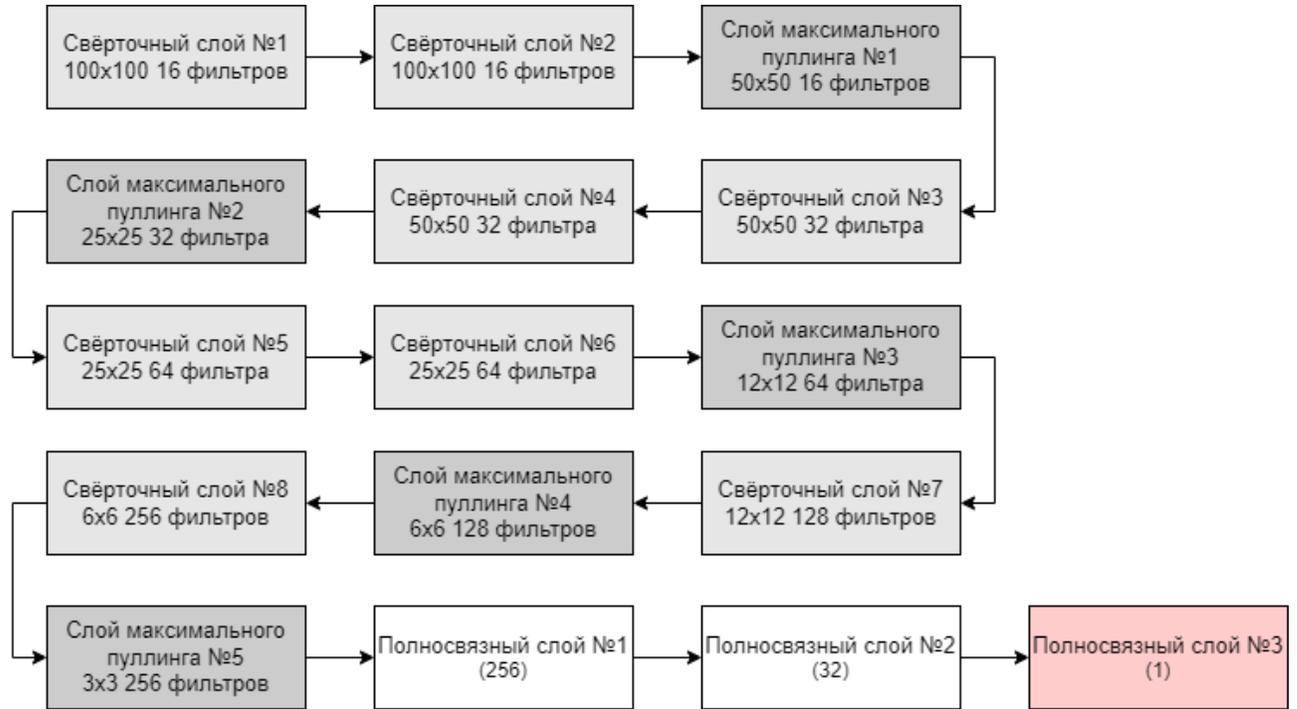
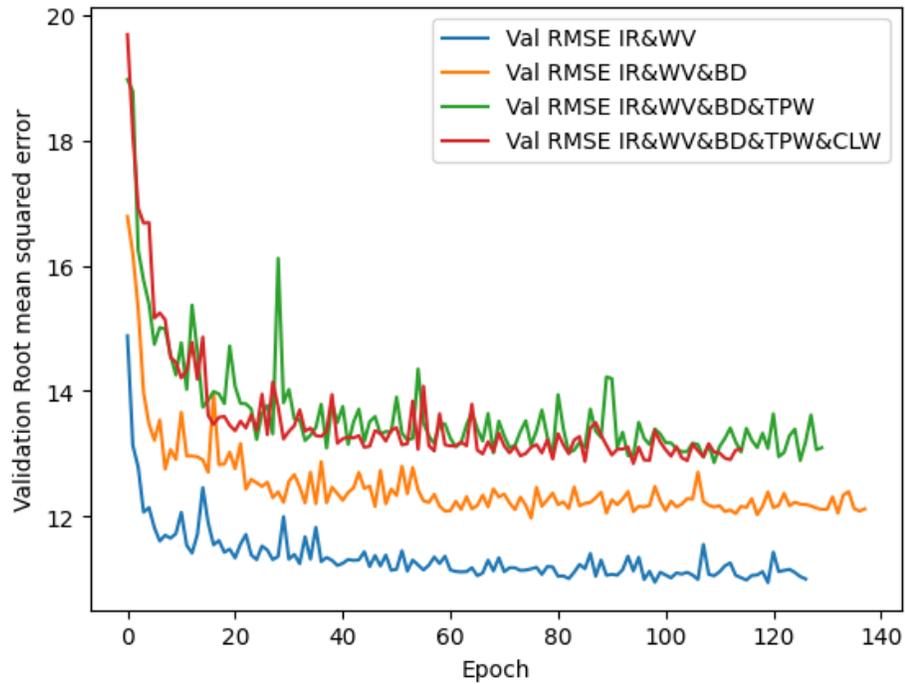
# Результаты



Метрика	MSE(kt)	MAE(kt)	RMSE(kt)	R2
WP	112.65	7.70	10.61	0.92
NWA & NP	181.43	9.46	13.47	0.90
<b>WP &amp; NWA &amp; NP</b>	<b>123.49</b>	<b>7.86</b>	<b>11.11</b>	<b>0.94</b>
TPW	363.96	13.33	19.08	0.74
ALL	137.21	8.26	11.71	0.92



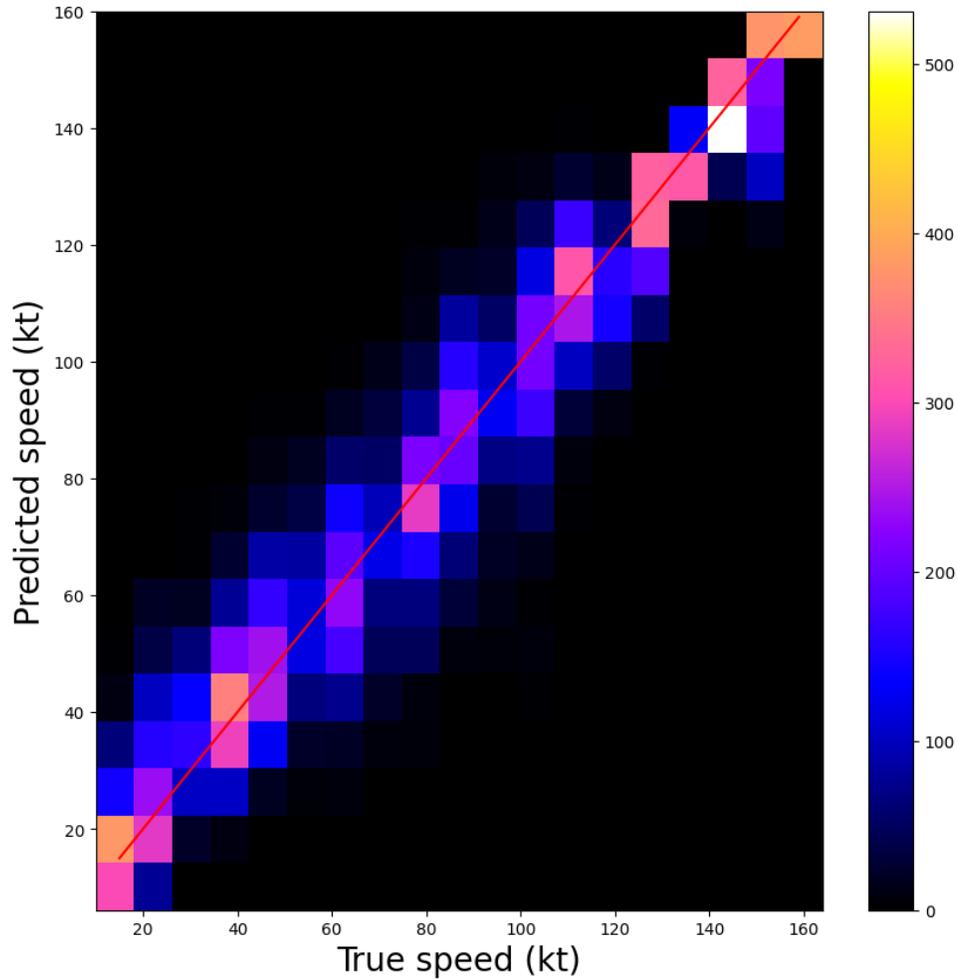
# Результаты



Метрика	MSE(kt)		MAE(kt)		RMSE(kt)		R2	
	Без	С аугм.	Без	С аугм.	Без	С аугм.	Без	С аугм.
<b>IR&amp;WV</b>	165.36	121.32	9.75	7.87	12.85	11.01	0.74	0.94
<b>IR&amp;WV&amp;BD</b>	161.34	137.85	9.57	8.52	12.70	11.74	0.75	0.93
<b>IR&amp;WV&amp;BD&amp;TPW</b>	200.03	158.07	10.70	9.12	14.14	12.56	0.69	0.921
<b>IR&amp;WV&amp;BD&amp;TPW&amp;CLW</b>	234.06	175.35	11.61	9.63	15.30	13.24	0.64	0.91

# Результаты

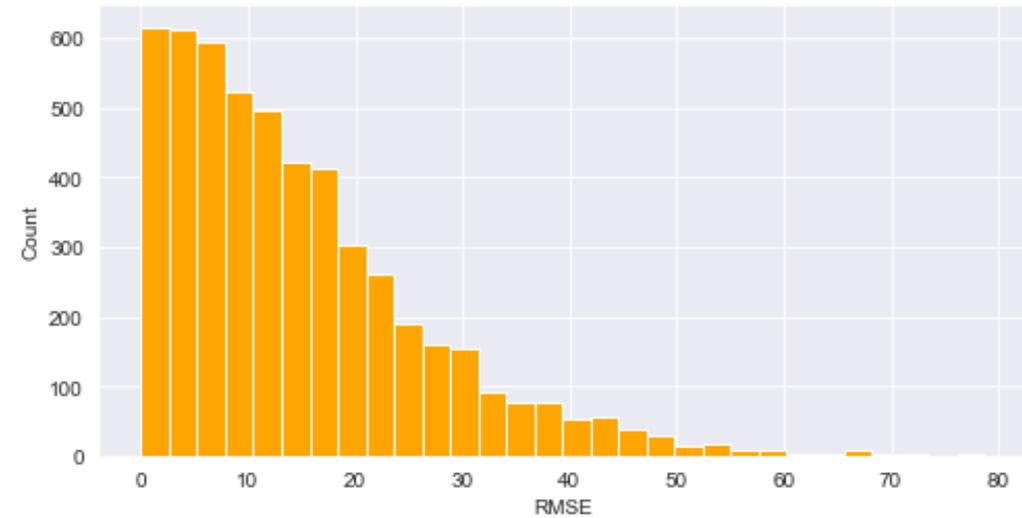
## Гистограмма рассеяния



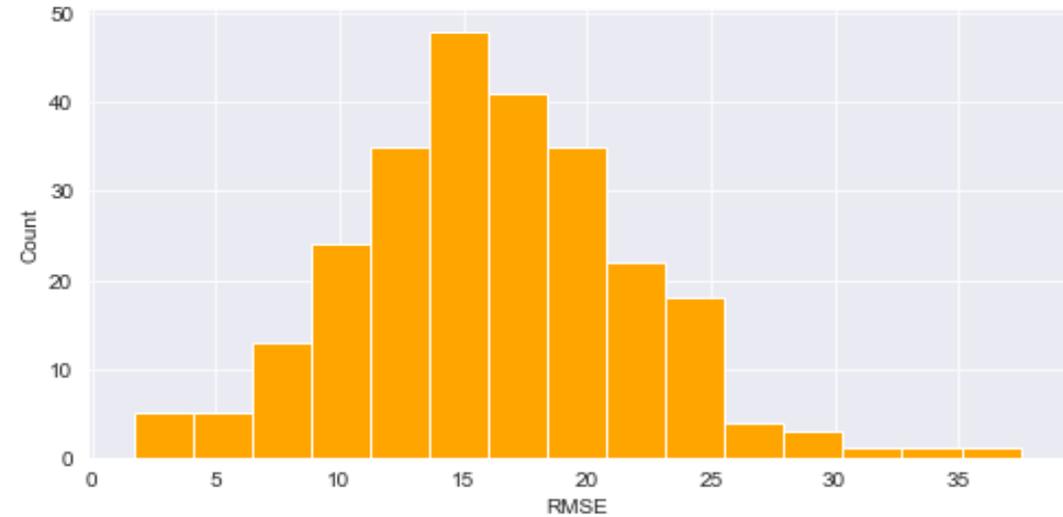
$R^2 = 0.94$   
 $RMSE = 11.01$

## Распределение среднеквадратичной ошибки

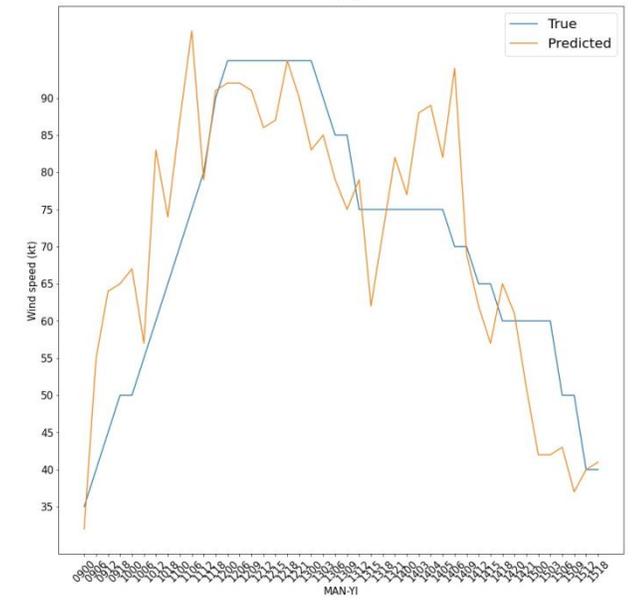
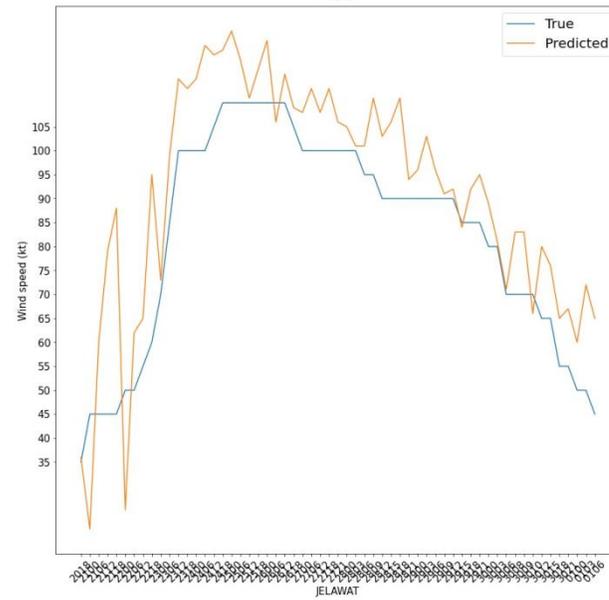
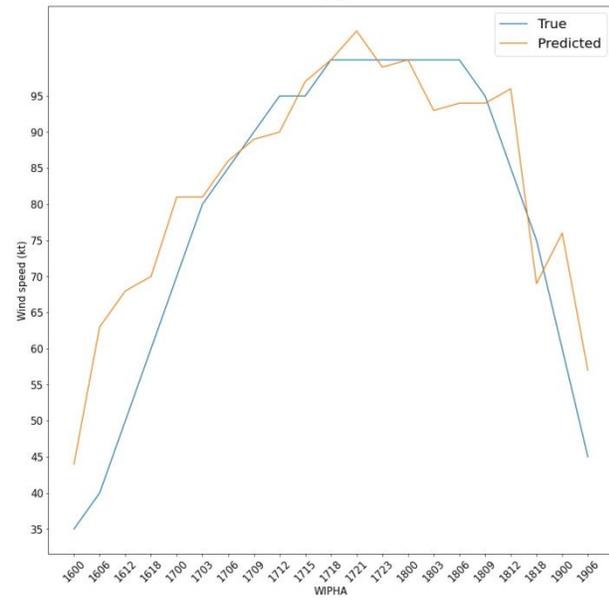
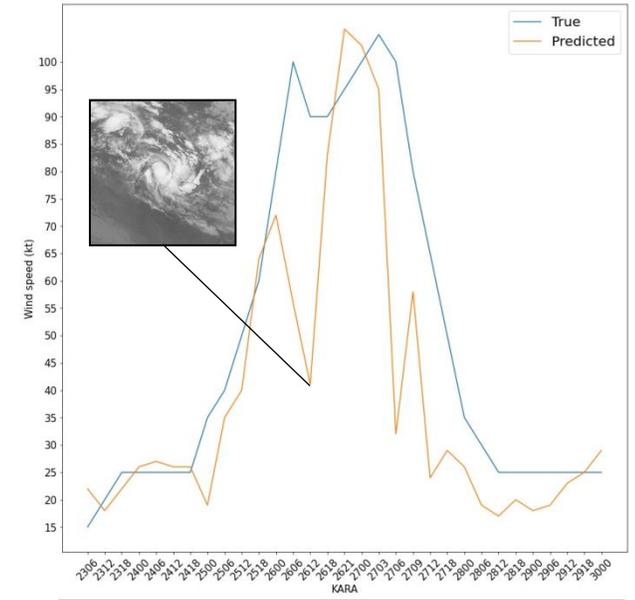
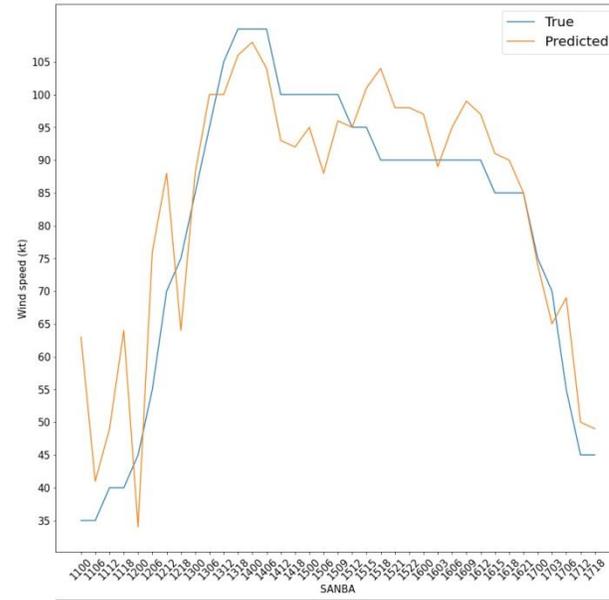
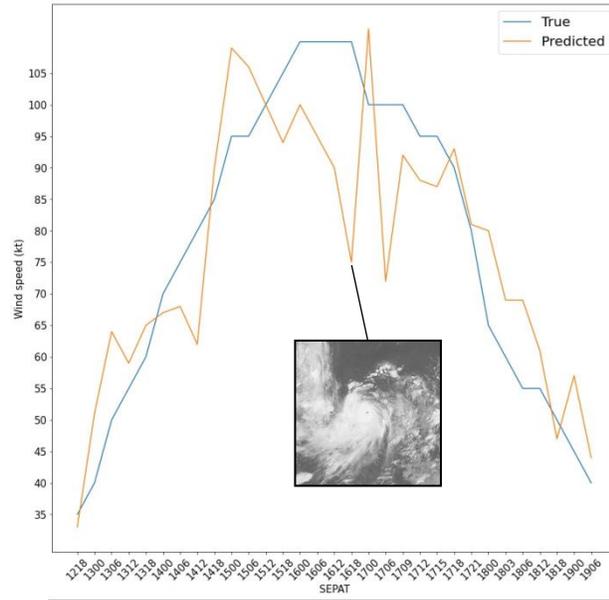
- для единичных изображений



- по эволюции для каждого циклона

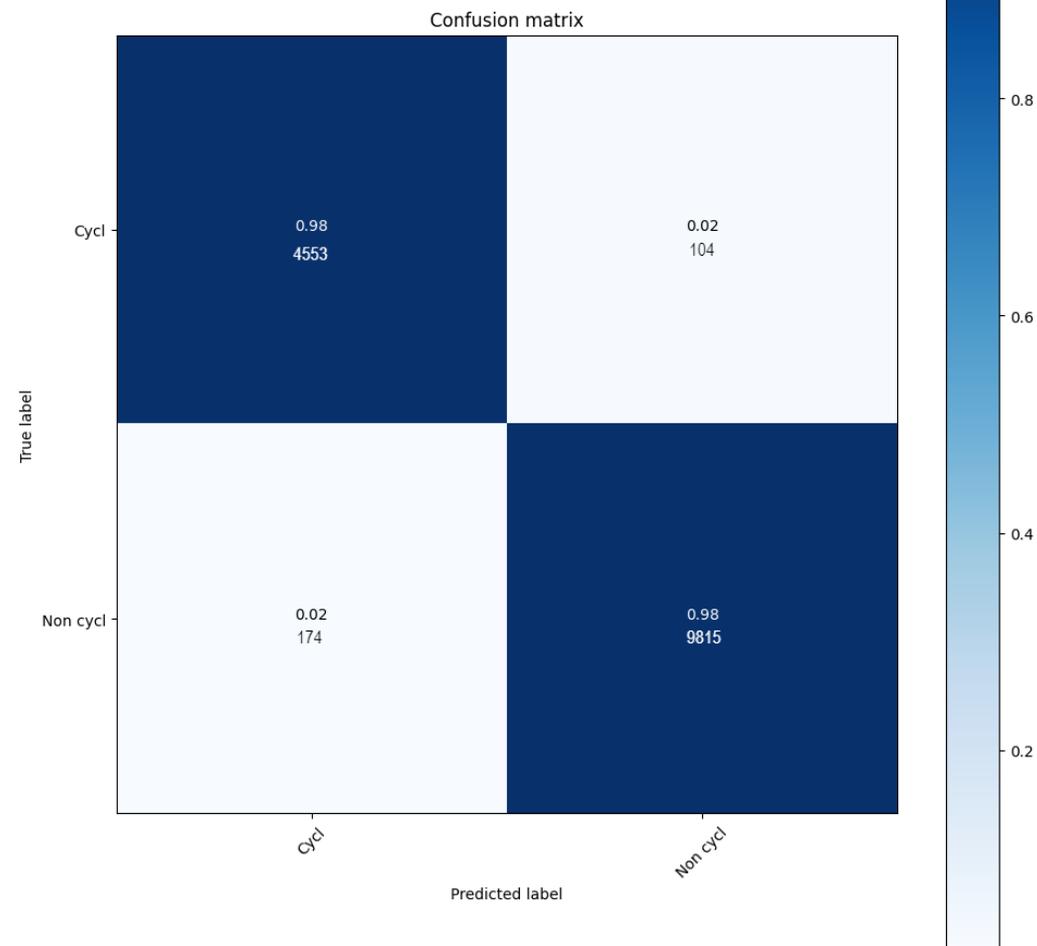
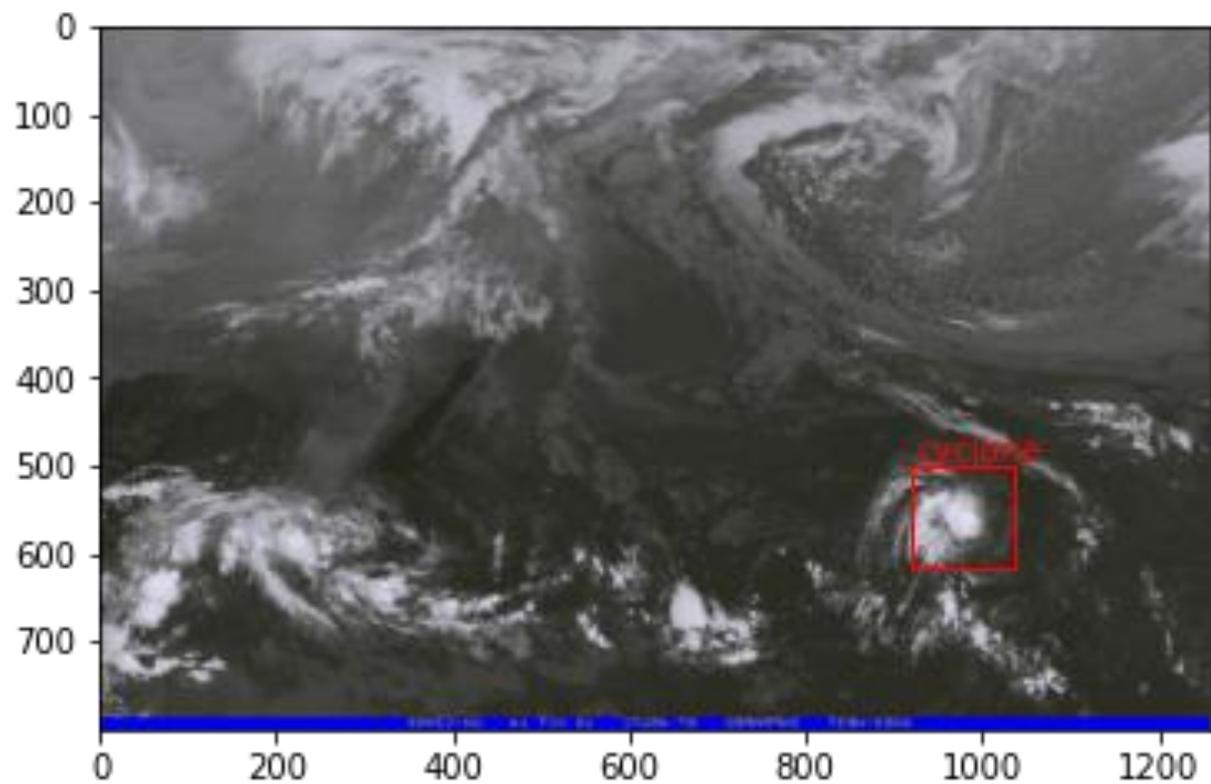


# Результаты



# В разработке

- ❖ Скользящее окно, бинарная классификация
- ❖ Детектирование с помощью трансферного обучения





Спасибо за внимание!