

ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», ИКИ РАН



Space Research Institute
Russian Academy of
Sciences



Space Research and
Technology Institute
Bulgarian Academy of
Sciences



МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

125 лет



РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА
РУТ (МИИТ)

10 – 14 ноября 2025г., Москва, Россия

**Двадцать третья международная конференция «Современные проблемы
дистанционного зондирования Земли из космоса», ИКИ РАН,
10 – 14 ноября 2025г., Москва**

**Применение методов машинного обучения для
прогнозирования параметров ураганов**

Н.Н. Зольникова^{1,2}, В.Д. Заболотских², Р. Шкевов³

¹*Институт космических исследований, Российской академии наук, Москва, Россия*

²*Российский университет транспорта, Москва, Россия*

³*Институт космических исследований и технологий, Болгарской академии наук, София, Болгария*

e-mail: *nzolnik@iki.rssi.ru, m30b34735@gmail.com, shkevov@space.bas.bg*

Актуальность исследования

Тропические циклоны и ураганы — одни из наиболее разрушительных метеорологических явлений, оказывающих серьёзное воздействие на морской транспорт, инфраструктуру и экономику прибрежных регионов. Рост частоты и интенсивности ураганов усиливает риски для судоходства, вызывая повреждения судов, потерю грузов и сбои в глобальных логистических цепочках. Классические численные модели прогноза, основанные на решении уравнений в частных производных, обладают высокой точностью, но требуют значительных вычислительных ресурсов и не всегда применимы в оперативных сценариях . Особенно остро проблема точного и своевременного прогноза штормов стоит для Чёрного моря, где отсутствует развитая система локальных предупреждений. В этих условиях возрастает интерес к использованию методов машинного обучения и спутниковых наблюдений для предсказания траектории и интенсивности тропических циклонов [1]. Разработка подобных моделей способна повысить точность прогнозов, снизить потенциальный ущерб и повысить безопасность морского транспорта.

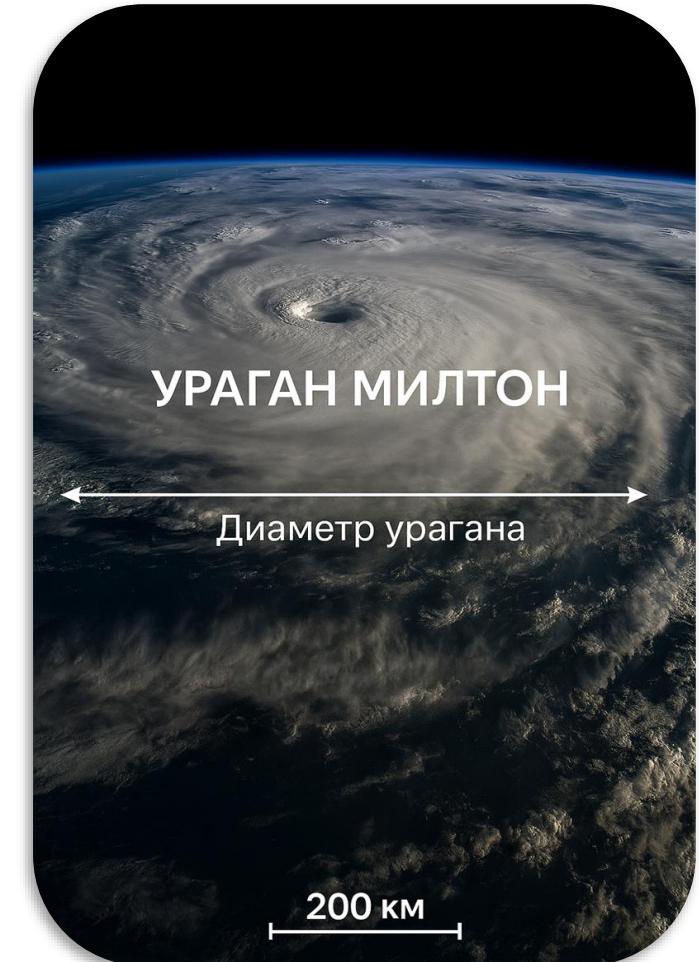


Рисунок 1 — Ураган Милтон, вид из космоса [2]

Регион исследования – бассейн Карибского моря и акватория Тихого океана вблизи юго-западной части североамериканского континента



Рисунок 2 — Карта морского трафика в спокойных условиях.

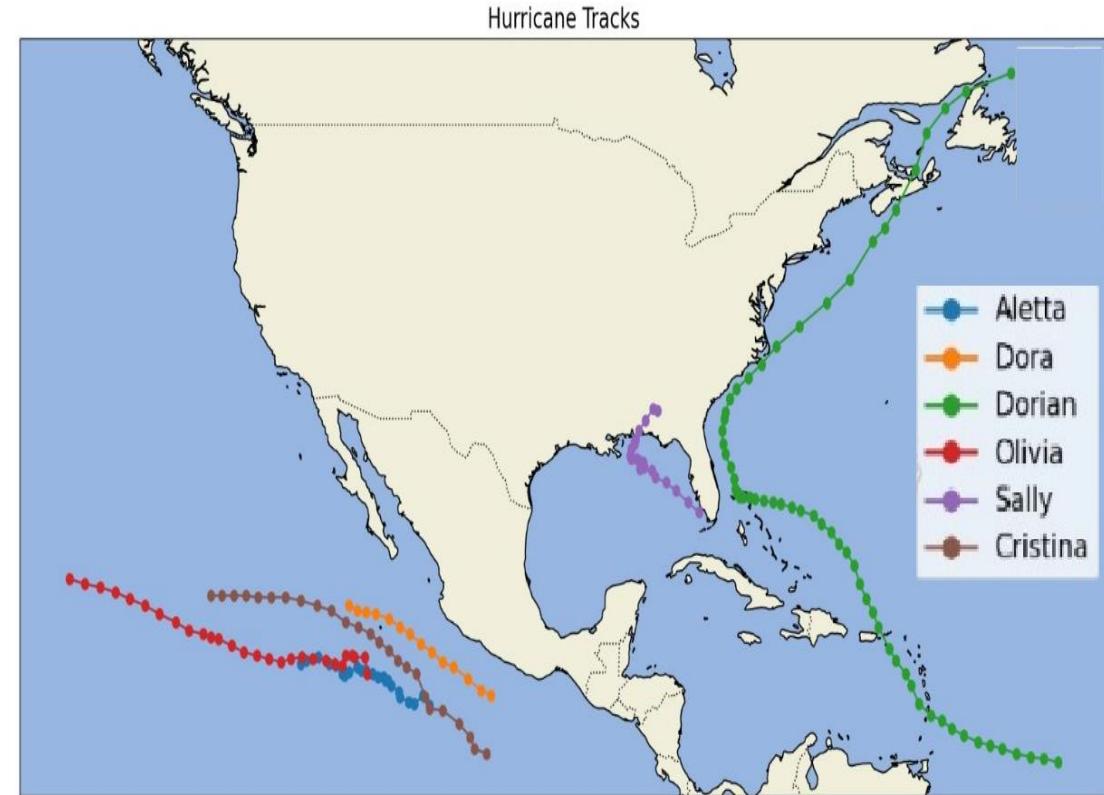


Рисунок 3 — Траектории движения ураганов в данном регионе

Источники данных для машинного обучения



NOAA [3]

National Oceanic and Atmospheric Administration,
Национальное управление
океанических и атмосферных
исследований [ссылка на сайт](#)



ECMWF [4]

European Centre for Medium-Range
Weather Forecasts,
Европейский центр среднесрочных
прогнозов погоды [ссылка на сайт](#)

NOAA

LON, LAT – координаты центра тропического циклона

STORMNAME - Название, данное каждому тропическому циклону

STORMTYPE - Категория тропического циклона по шкале Саффира-Симпсона

MAXWIND - Самый высокий измеренный средний ветер в течение 1 минуты на высоте 10м

ADVDATE – Дата и время наблюдения

Шкала Саффира-Симпсона

Категория	Скорость ветра (м/с)
1	33–42
2	43–49
3	50–58
4	59–69
5	≥70

Таблица 1 — Шкала Саффира-Симпсона [5]

ERA5

2m temperature	K	Температура воздуха на высоте 2 метров
Sea surface temperature	K	Температура поверхности океана
Surface pressure	Па	Атмосферное давление у поверхности
Surface latent heat flux	Вт/м ²	Поток скрытой теплоты от поверхности (испарение, важный фактор в развитии циклонов)
Surface net solar radiation	Вт/м ²	Чистая солнечная радиация у поверхности (приход – расход солнечной энергии)
Surface net thermal radiation	Вт/м ²	Чистая тепловая радиация у поверхности (излучение/поглощение тепла)
Surface sensible heat flux	Вт/м ²	Поток явной теплоты между поверхностью и атмосферой (конвективный теплообмен)

Таблица 2 — Данные ERA5

Корреляционная матрица

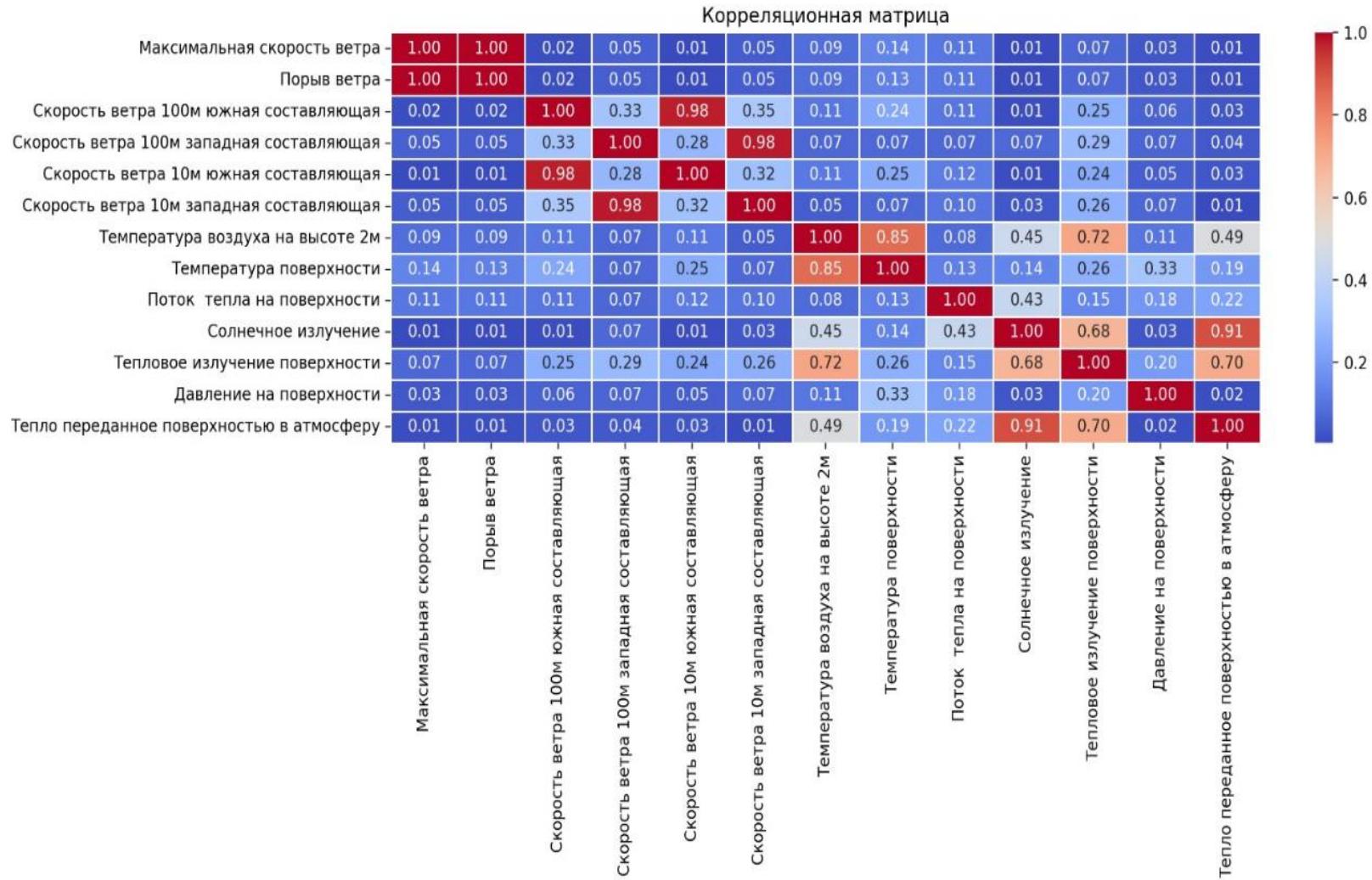


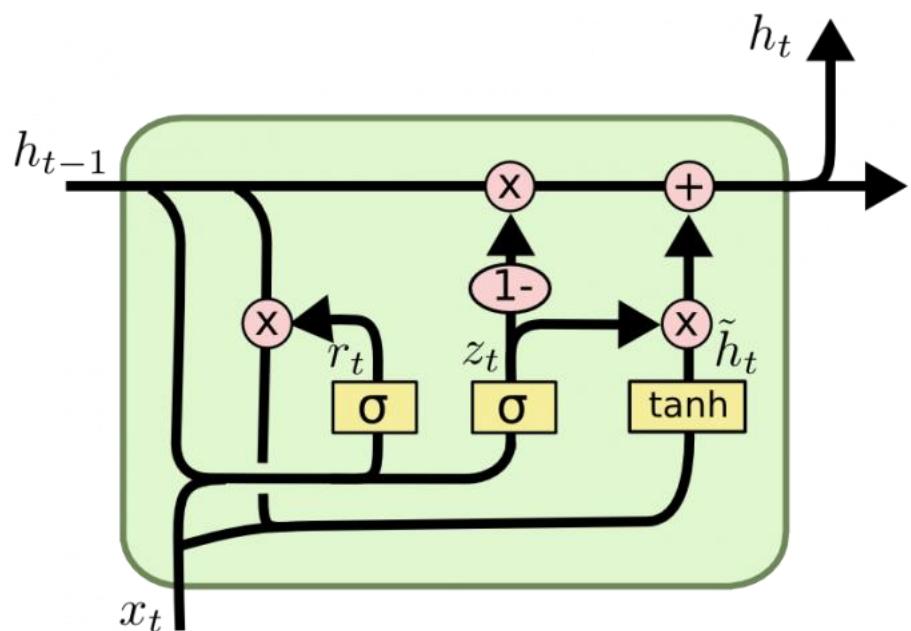
Рисунок 4 — Корреляционная матрица собранных из NOAA и ERA5 климатических параметров

Описание LSTM модели

LSTM— тип рекуррентной нейросети, способный запоминать долгосрочные зависимости во временных данных[6]. Используется для предсказания скорости ветра на основе последовательности климатических параметров. На вход подаются температура воздуха на высоте 2 метра, давление над поверхностью воды, температура поверхности воды, класс урагана .

x_t — вход в текущий момент времени h_{t-1} — скрытое состояние из предыдущего шага

h_t — новое скрытое состояние



$$z_t = \sigma (W_z \cdot [h_{t-1}, x_t])$$

$$r_t = \sigma (W_r \cdot [h_{t-1}, x_t])$$

$$\tilde{h}_t = \tanh (W \cdot [r_t * h_{t-1}, x_t])$$

$$h_t = (1 - z_t) * h_{t-1} + z_t * \tilde{h}_t$$

Графики предсказанной и фактической скорости ветра

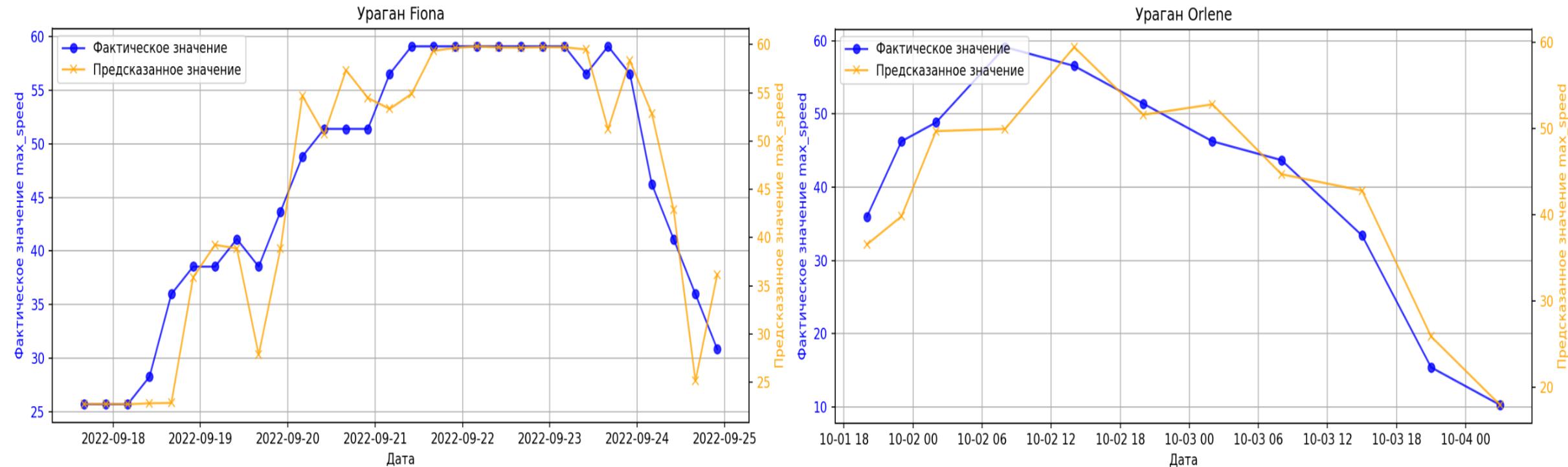


Рисунок 5 — Графики предсказанной и фактической скорости ветра

Выводы

- Собран набор обучающих данных, по которым в дальнейшем можно проводить обучение модели предсказания ураганов.
- Были построены визуализации профилей скоростей ветра, а также температуры поверхности океана и воздуха на высоте двух метров.
- Для сильных ураганов (Felicia, Dorian, Aletta) видно , что максимальные порывы ветра совпадают с пиками SST (температура поверхности) либо T2M (температура на высоте 2-ух метров). В случае с более слабым ураганом (Cristina), такого соответствия не наблюдается — что максимальная температура не является единственным фактором, который влияет на скорость порыва ветра. Другие условия, такие как влажность, вертикальный сдвиг ветра и т.п., также играют решающую роль в усилении урагана.
- Температура воздуха и поверхности слабо коррелируют с ветром, это означает, что в рамках всей выборки ураганов температура сама по себе не определяет силу ветра напрямую — возможно, потому что другие условия (влажность, давление, вертикальный сдвиг ветра) играют более важную роль, а температура нужна лишь как исходное топливо, а не как триггер.
- Для прогнозирования перемещений и траекторий ураганов создана регрессионная модель, которая по климатическим данным предсказывает скорость ветра на пути следования урагана.
- Представляет интерес проверить работу модели на данных черноморского региона

Список источников

1. Зольникова Н.Н., Шкевов Р., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А, Малопараметрическая нелинейная модель как платформа для численного моделирования влияния глобального потепления на морские перевозки. Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные транспортные системы», Российский университет транспорта, Москва, 2022. С. 167-178. DOI 10.47581/2022/MIIT-ITS.25
2. Ураган «Милтон» – фото из космоса [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Дориан_\(ураган\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Дориан_(ураган)) (дата обращения: 03.11.2025).
3. National Hurricane Center (NHC) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nhc.noaa.gov> (дата обращения: 03.11.2025).
4. ECMWF. Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ecmwf.int> (дата обращения: 03.11.2025).
5. NOAA. Шкала ураганов Саффира-Симпсона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php> (дата обращения: 03.11.2025).
6. Torch.nn.LSTM – официальная документация [Электронный ресурс] // PyTorch. – Режим доступа: <https://docs.pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.LSTM.html> (дата обращения: 10.04.2025).