

Нейросетевое пространственное масштабирование полей приповерхностного ветра над Баренцевым и Карским морями

Резвов Вадим Юрьевич, Криницкий Михаил Алексеевич

rezvov.vyu@phystech.edu

Московский физико-технический институт

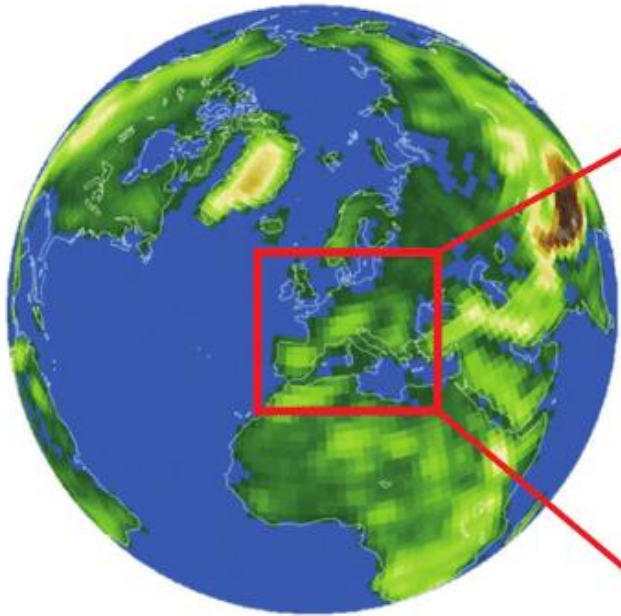
Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук

The 9th International Conference in Deep Learning in Computational Physics DLCP-2025

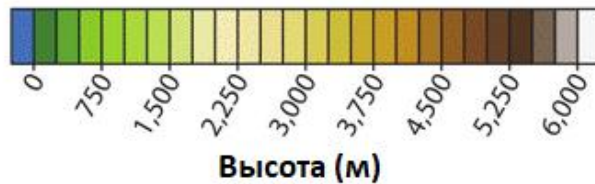
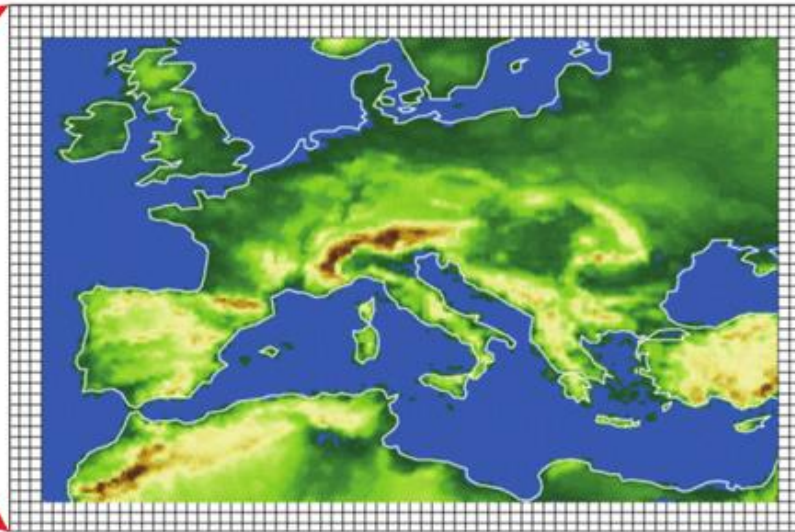
Москва, 3 июля 2025

Методы масштабирования

Глобальная модель (GCM)

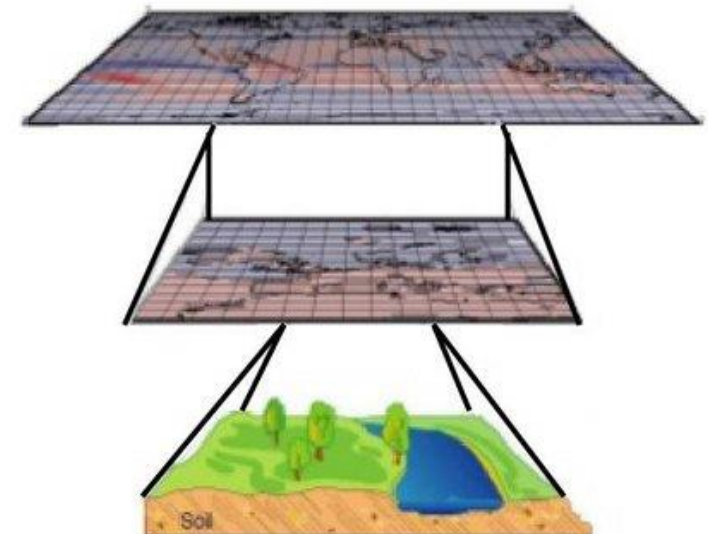


Региональная модель (RCM)

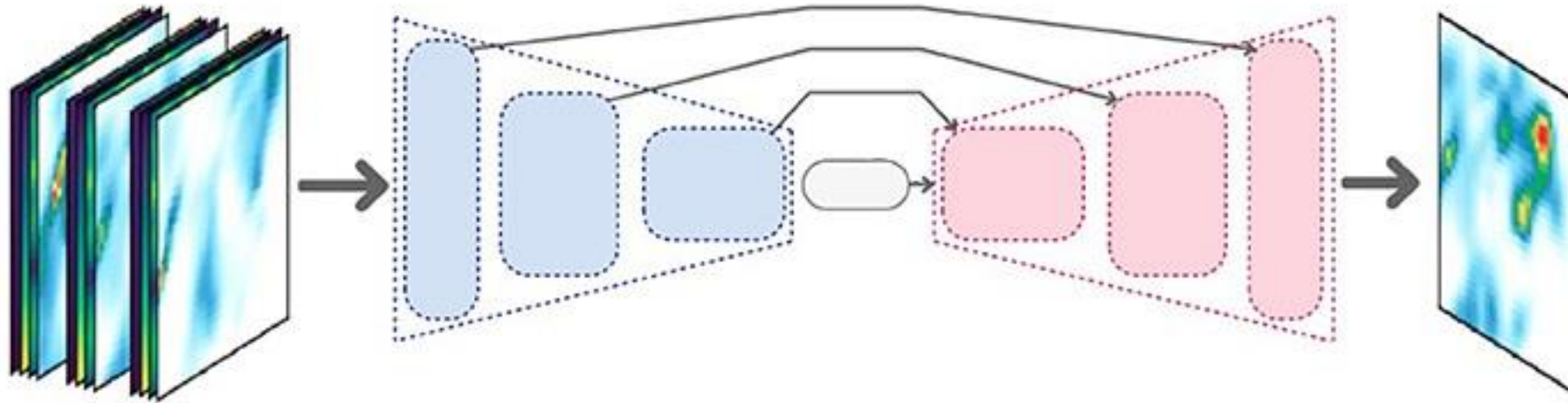


Схематическое описание динамического масштабирования. Уточнение топографии и береговых линий достигается использованием региональной климатической модели (RCM)

[Giorgi and Gutowski, 2015]



Статистическое масштабирование

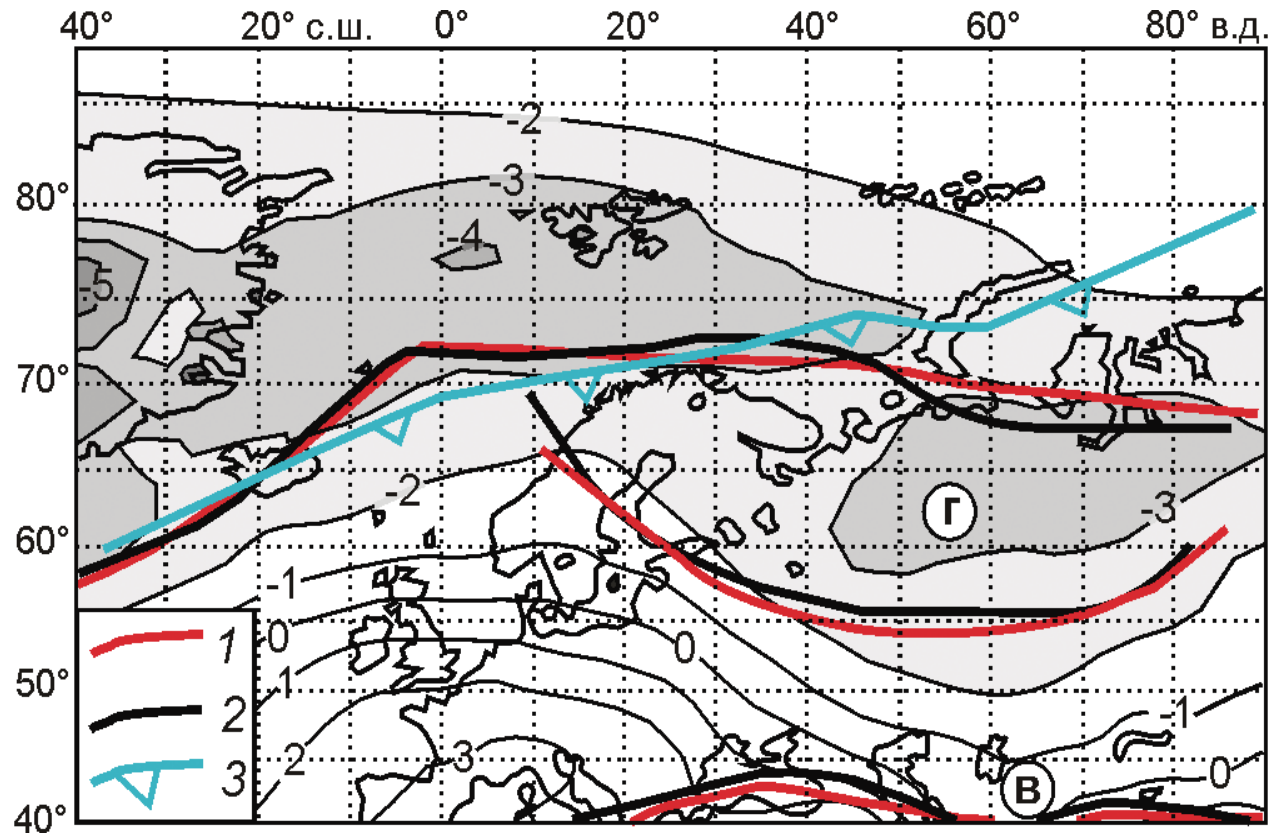


Входные данные
в низком разрешении

Выходные данные в
высоком разрешении

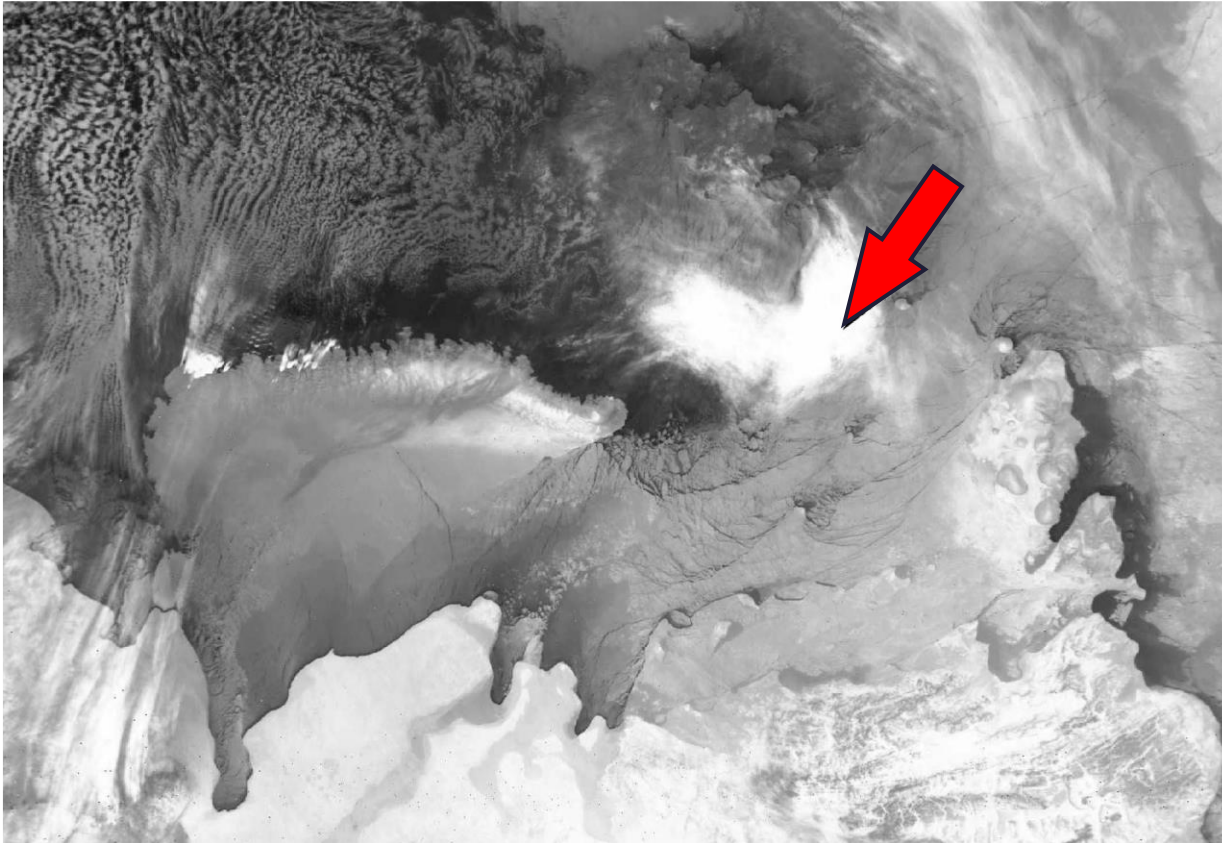
Схематическое описание статистического масштабирования
с использованием искусственных нейронных сетей

Цель исследования: повышение эффективности высокоразрешенного моделирования приповерхностного ветра над Баренцевым и Карским морями



3 — арктический фронт по [Хромов, 1950]
[Золотокрылин и др., 2014]

Полярный мезоциклон

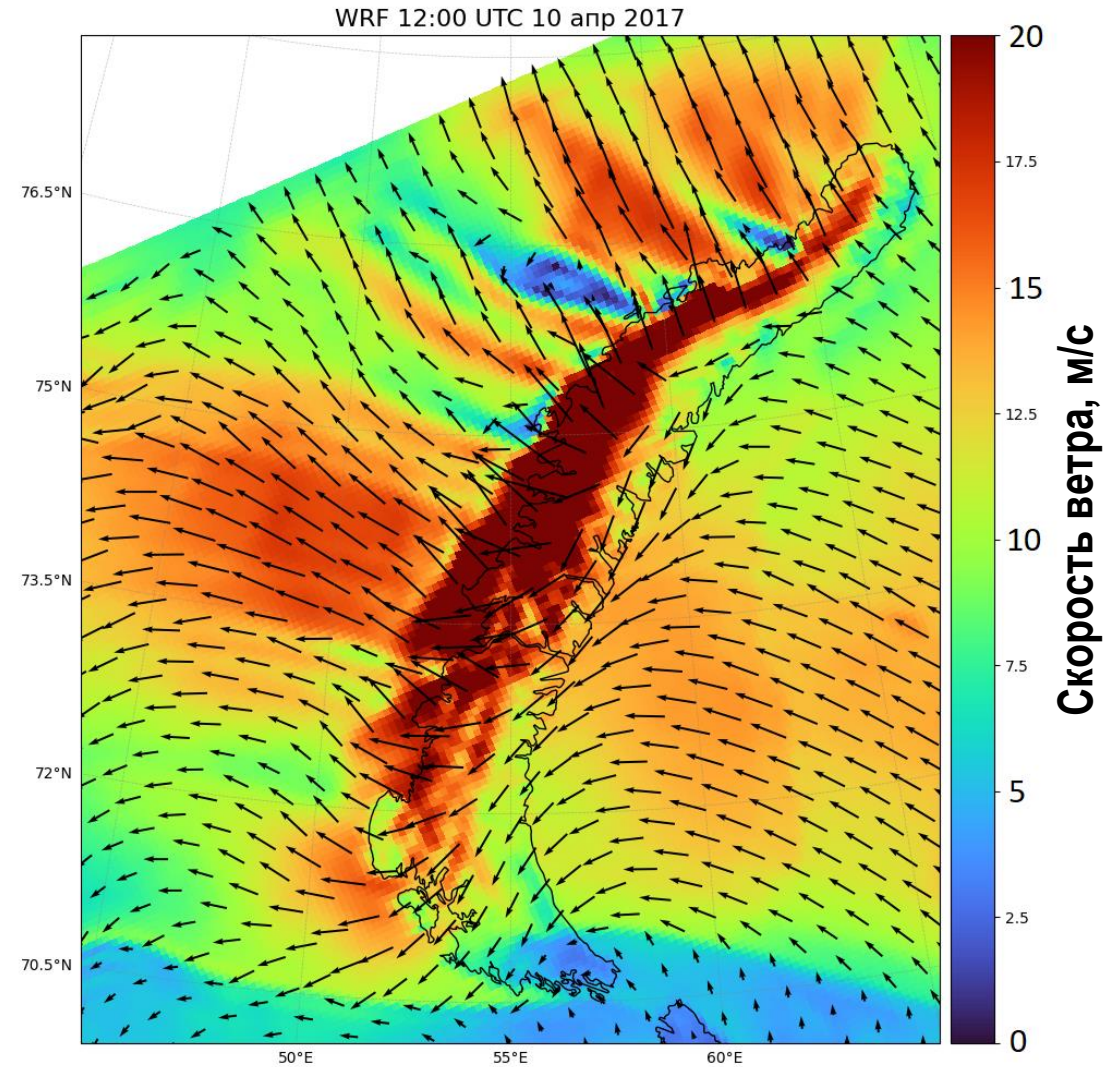


Облачная структура, соответствующая
мезомасштабному вихрю в начальной стадии
развития в районе Карского моря

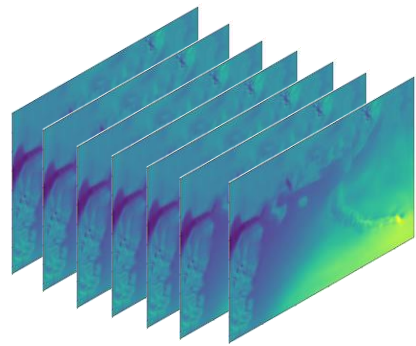
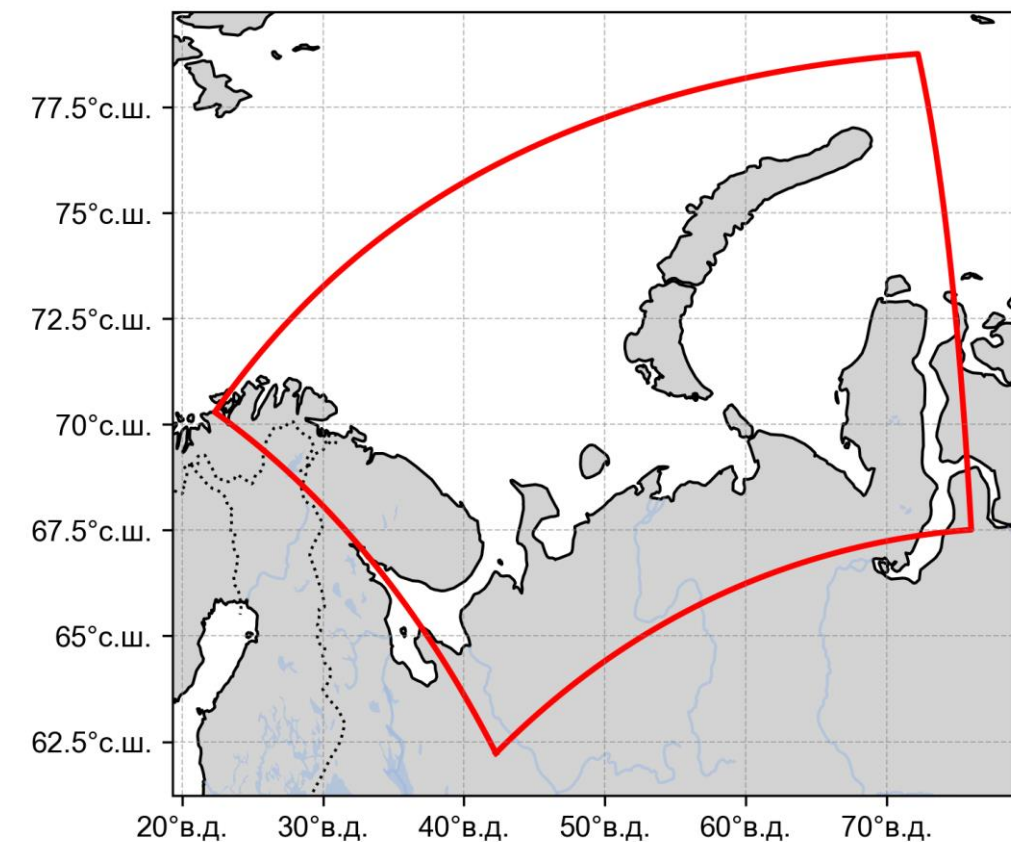
(снимок ИСЗ NOAA-14 26 декабря 2000 г. 08 ч. 58 мин.)

[Луценко, Лагун, 2010]

Новоземельская бора



Начальные данные и архитектура ИНС

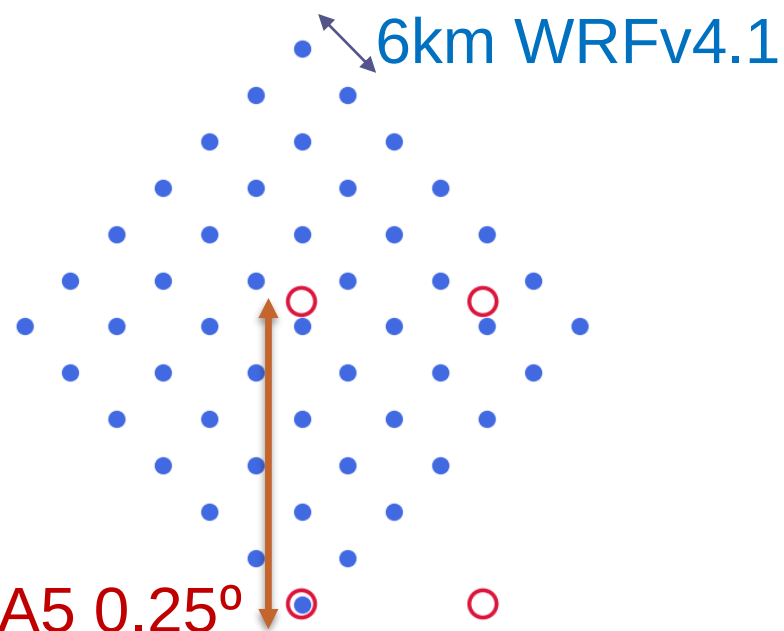


U, V,
U850, V850,
T2, SST, SLP

2015

$\Delta t = 1 \text{ ч}$

2021 2022 2023



ERA5 0.25°

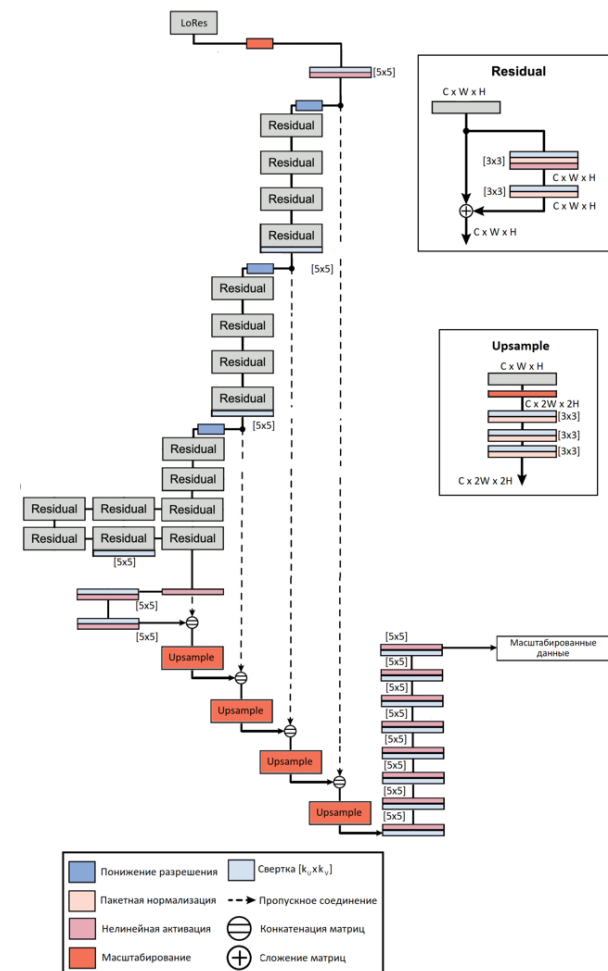
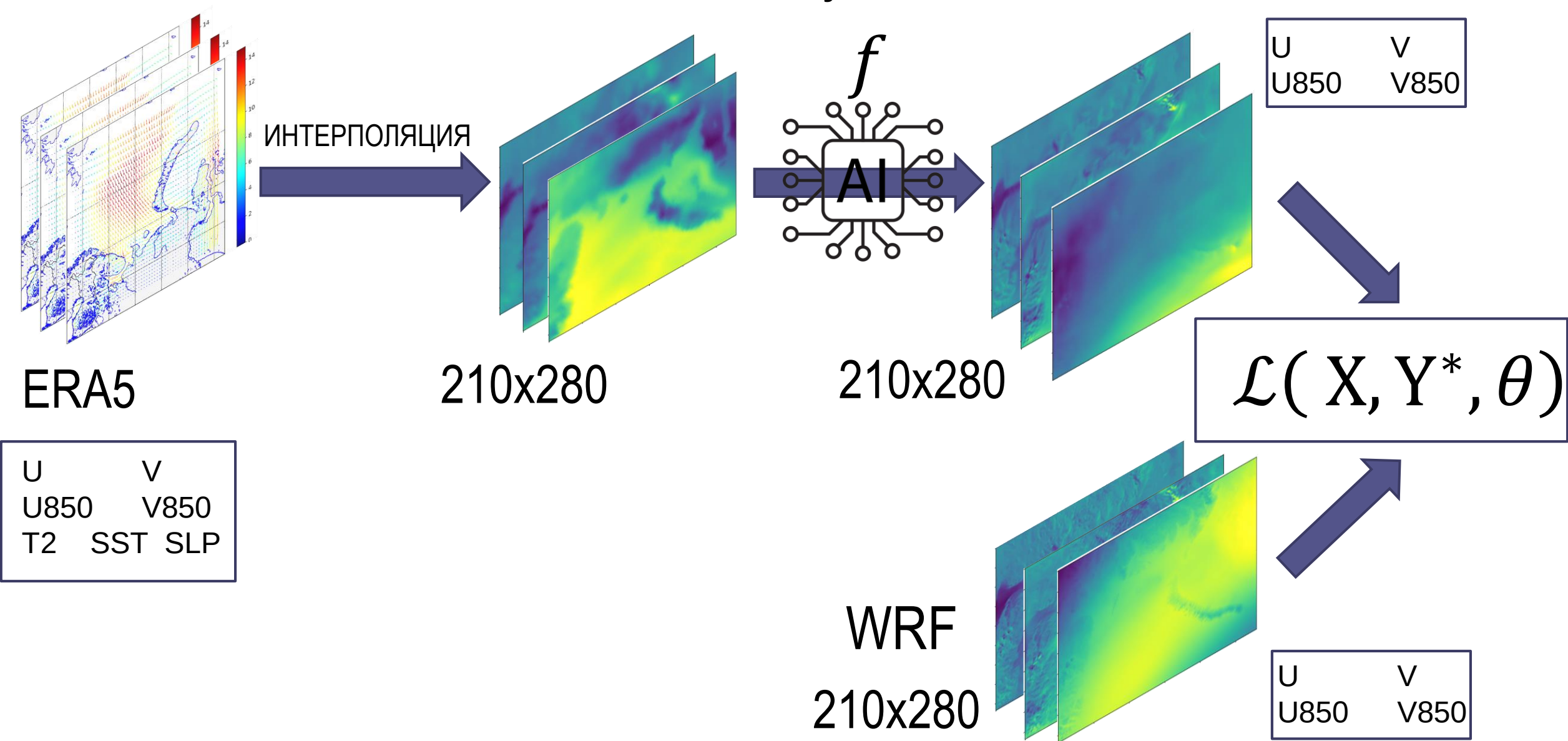
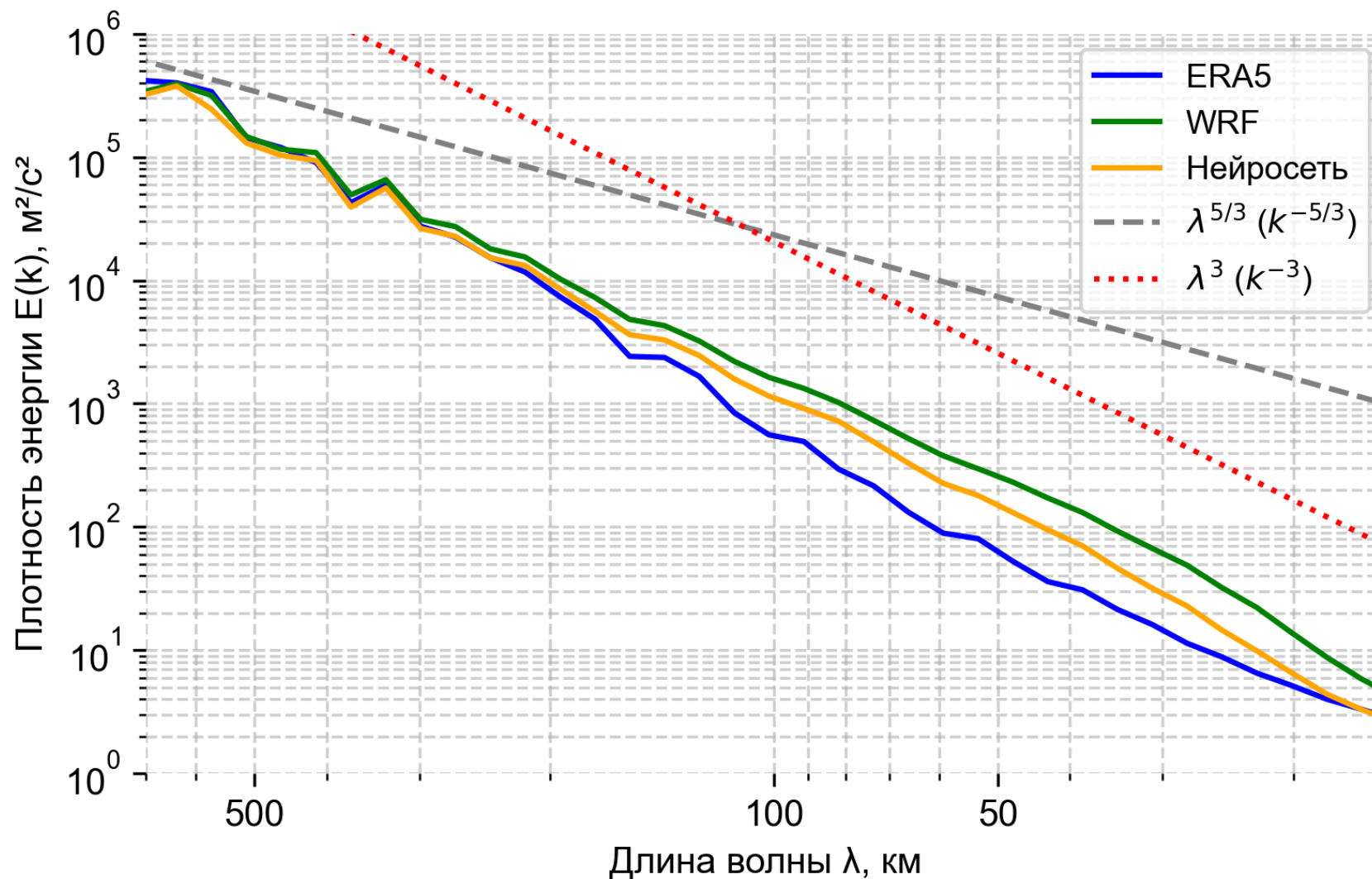


Схема обучения



Пространственная спектральная плотность кинетической энергии ветра (2023 г.)

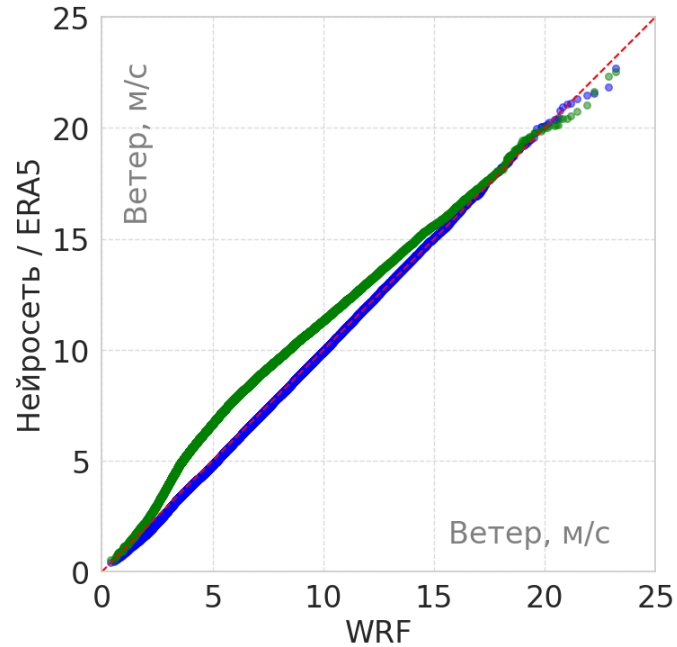


Результаты трекинга мезомасштабных когерентных вихревых структур

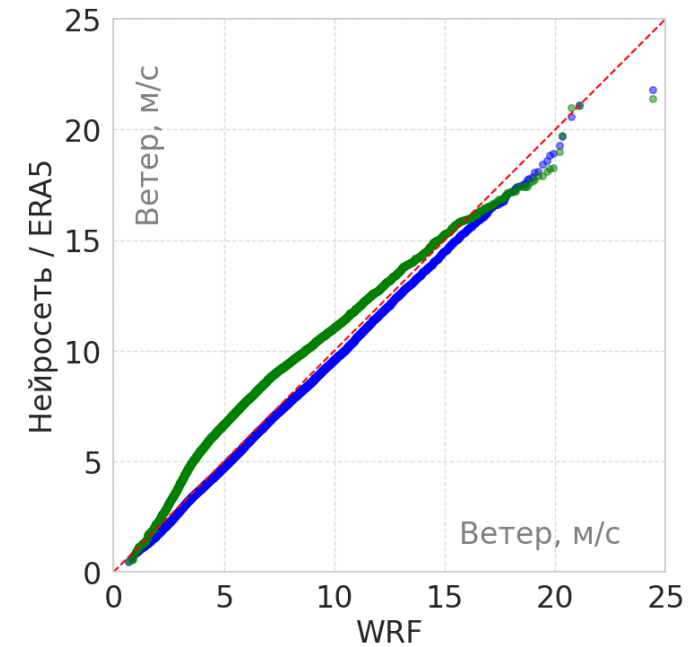
2022-2023 гг.

	ERA5	WRF	НЕЙРОСЕТЬ
Число треков	15193 $\Delta = -13479$ $\Delta \approx 47\%$	28672	29435 $\Delta = +763$ $\Delta \approx 2,7\%$

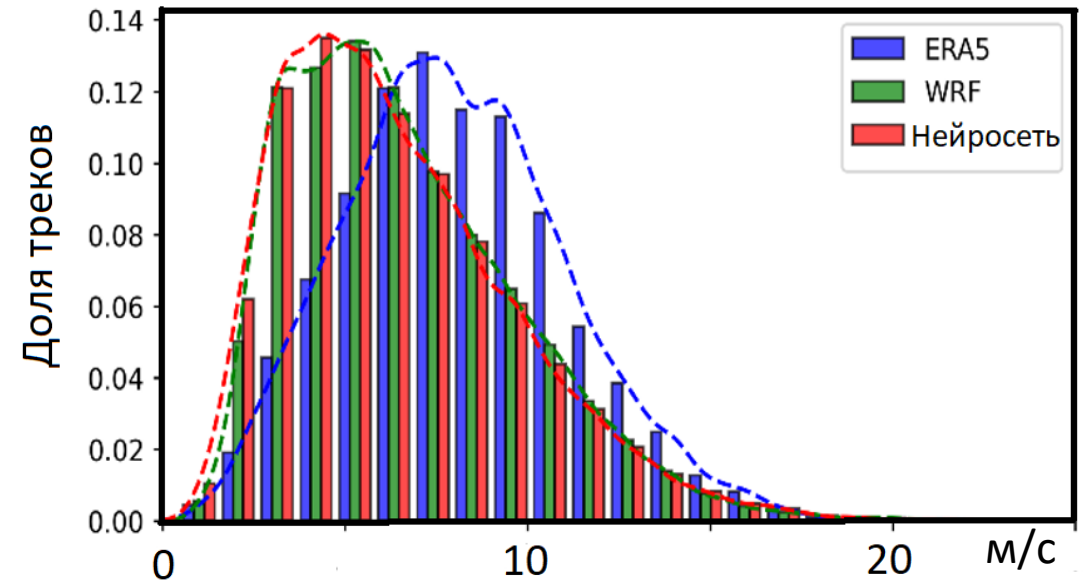
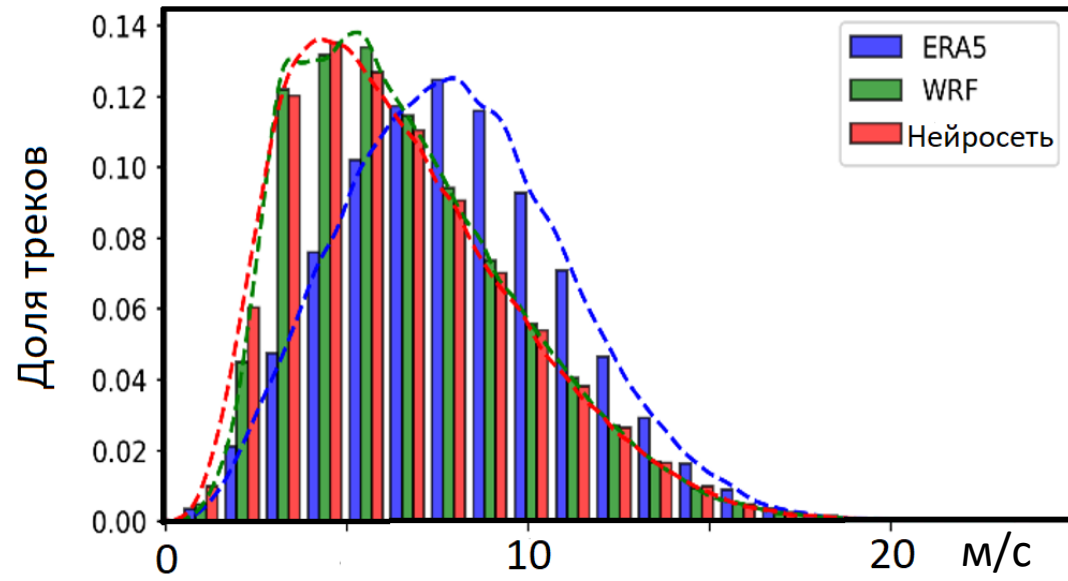
Максимум медианы скорости ветра в треке



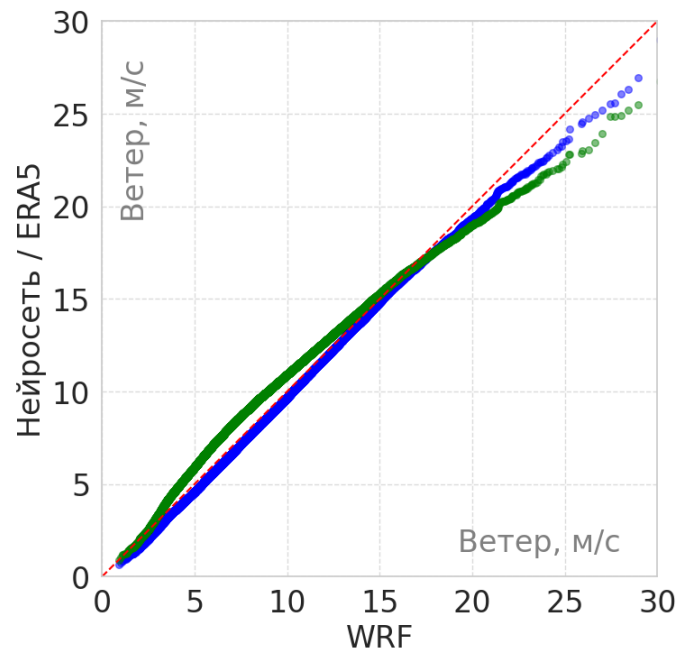
2015-2021



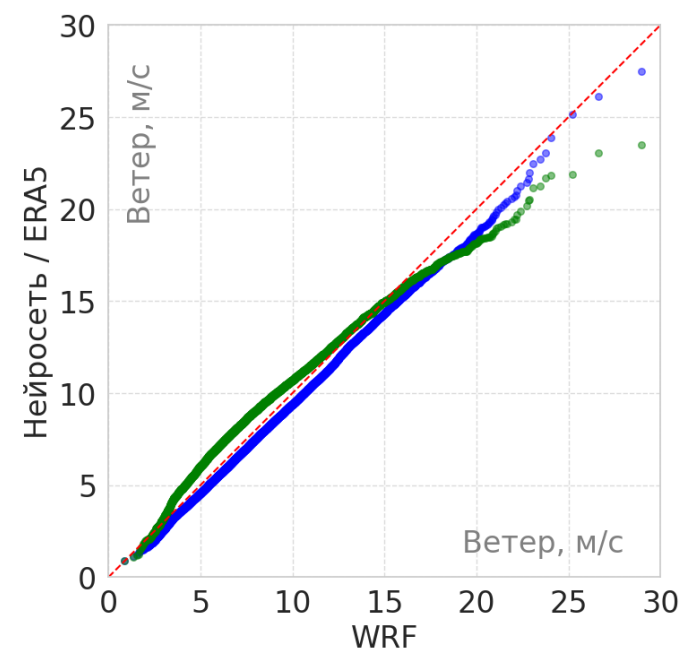
2023



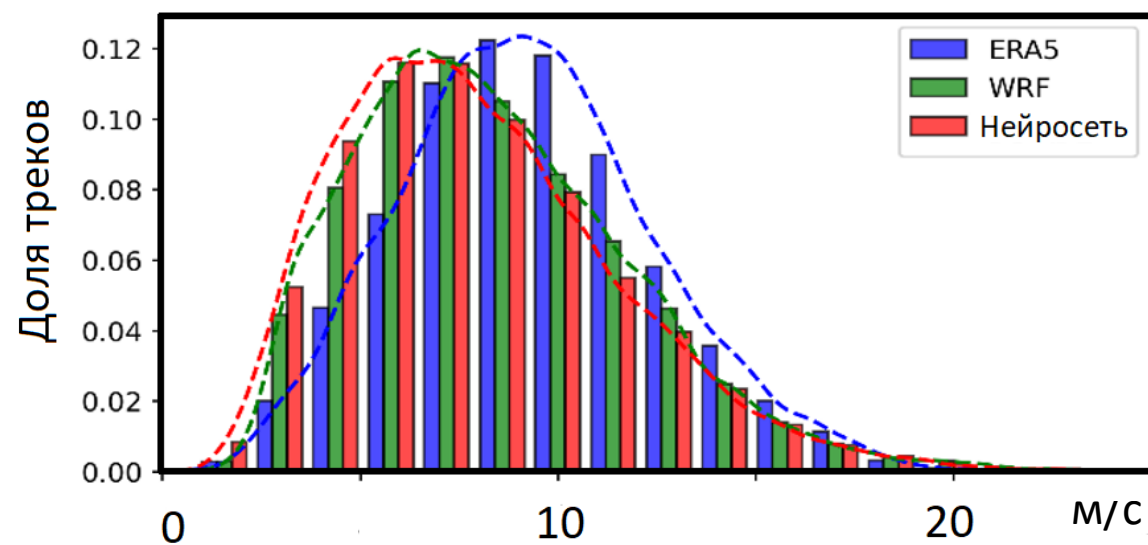
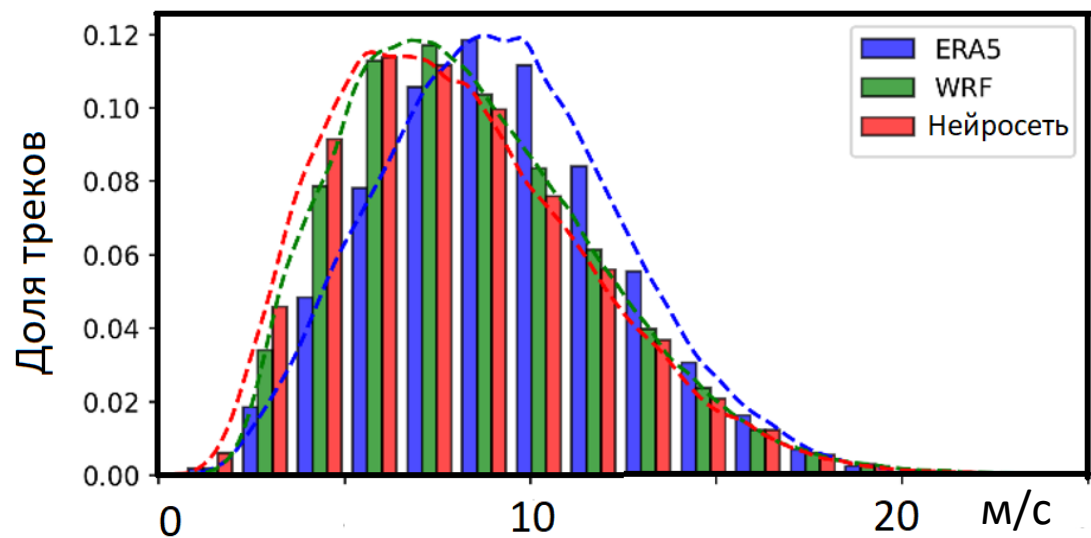
Максимум 95-го перцентиля скорости ветра в треке



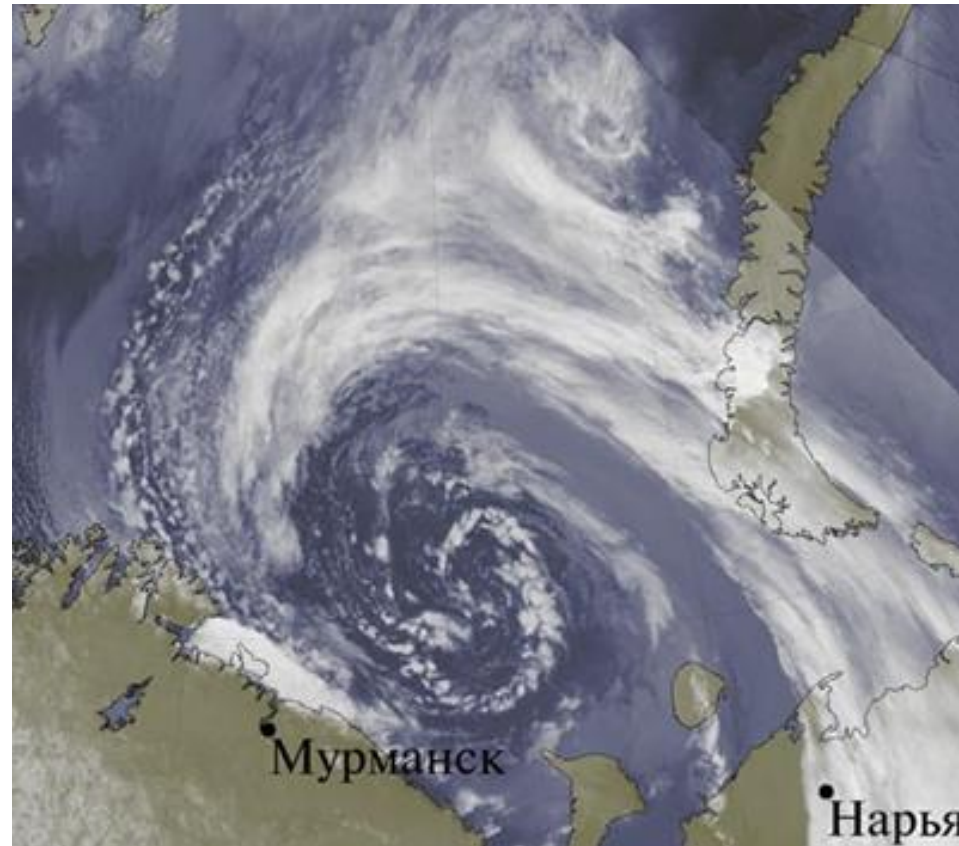
2015-2021



2023

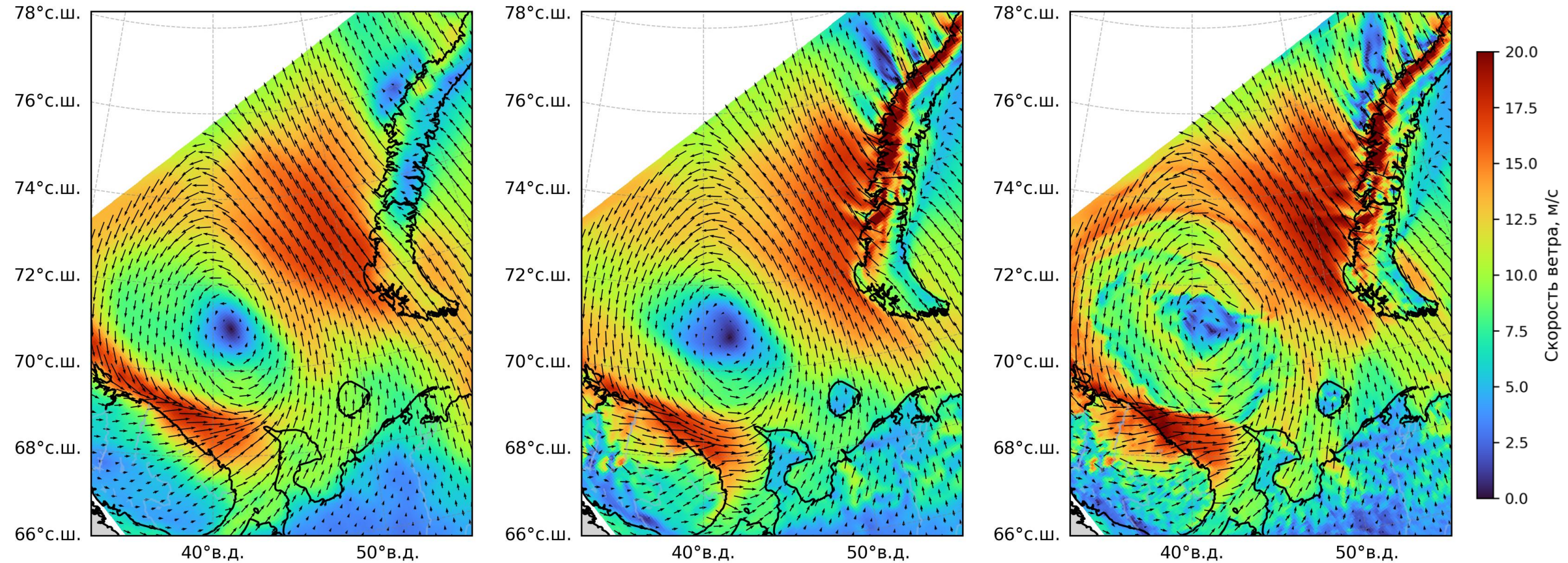


Полярный мезоциклон 15.02.2022 08:00 UTC



Полярный мезоциклон 15 февраля 2022 года над акваторией Баренцева моря.
ИК-изображение, полученное в 7:45 UTC
[Петриченко и др., 2023]

Полярный мезоциклон 15.02.2022 08:00 UTC

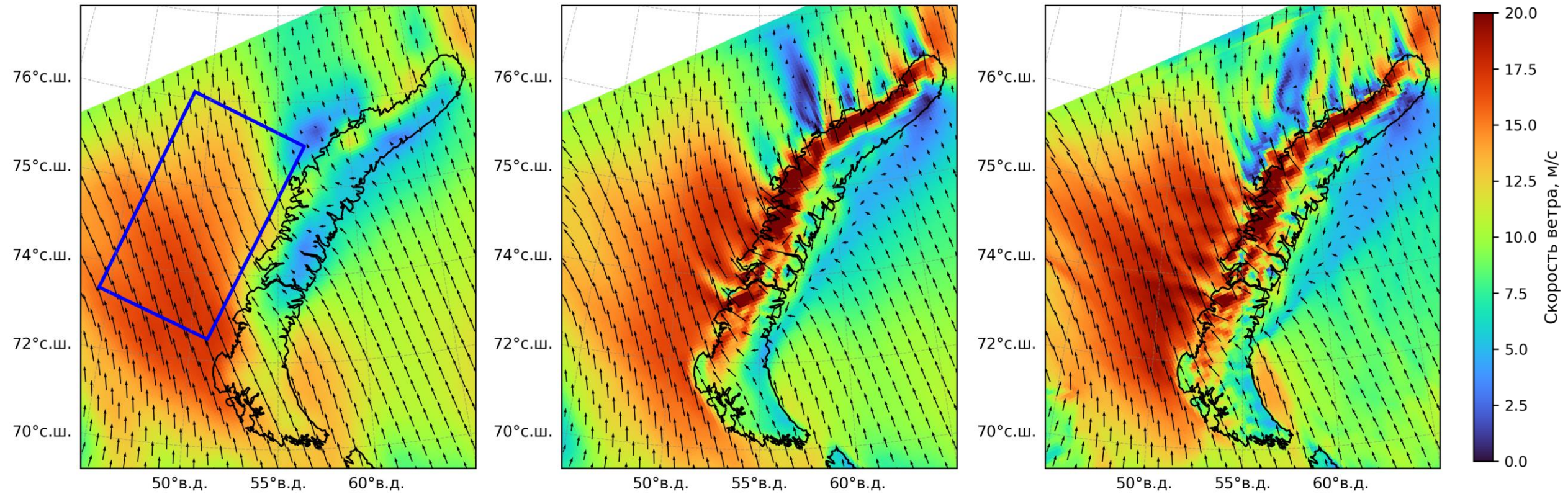


ERA5

Нейросеть

WRF

Новоземельская бора 15.02.2022 08:00 UTC

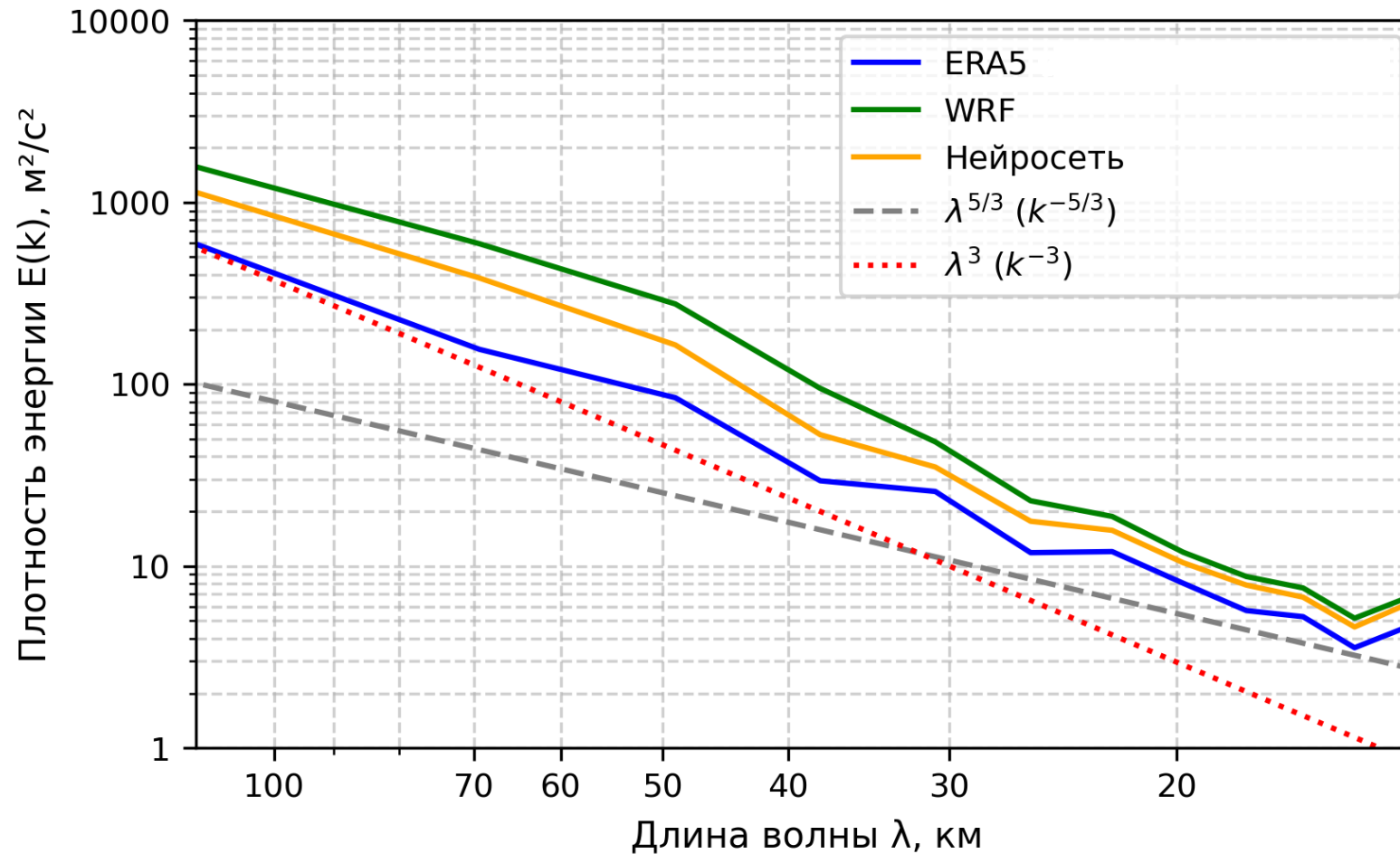


ERA5

Нейросеть

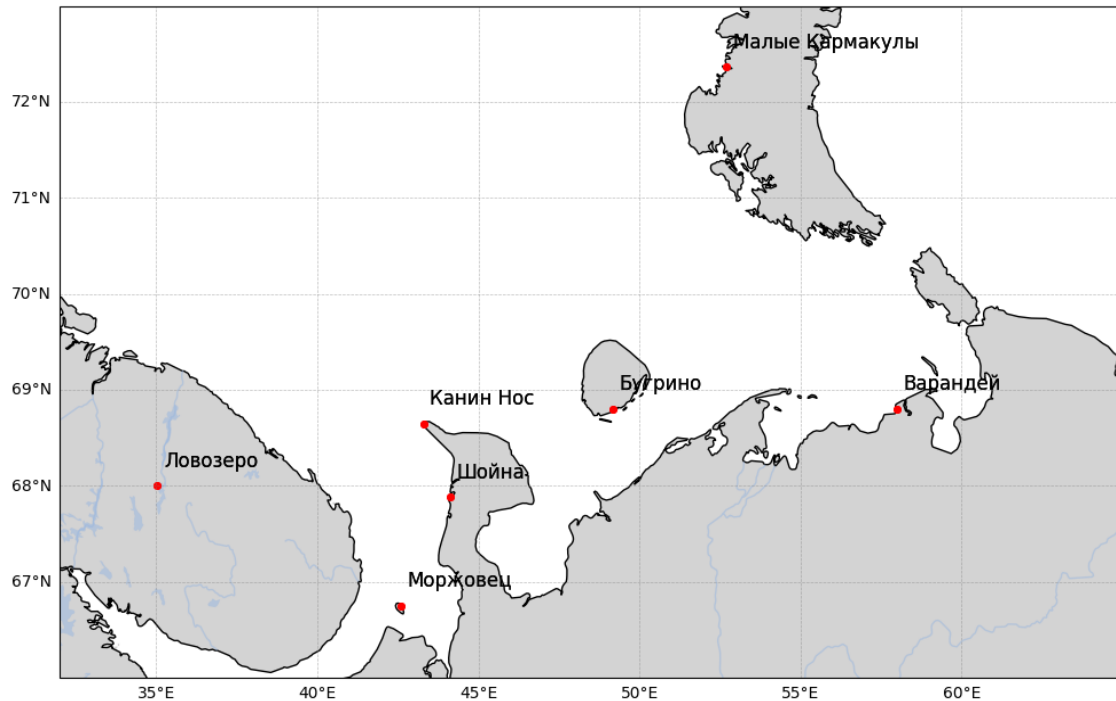
WRF

Новоземельская бора



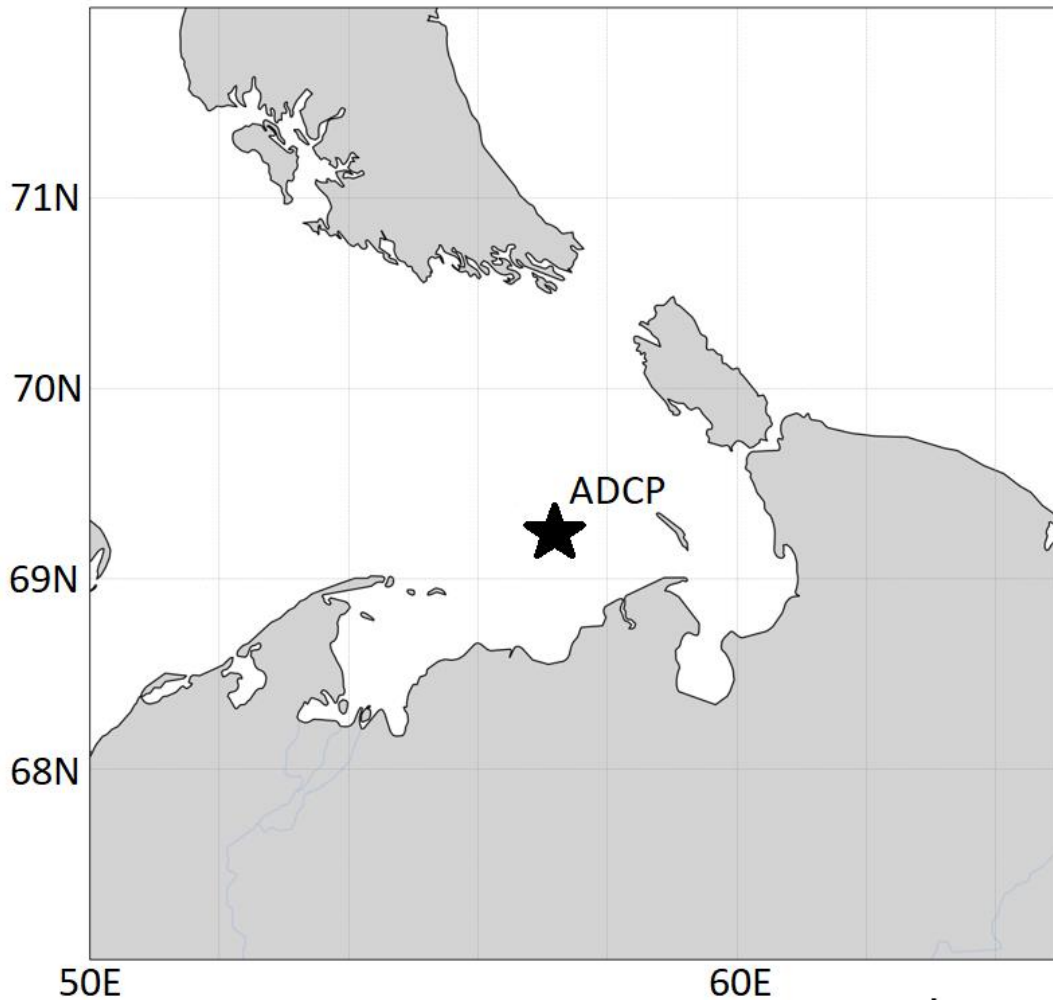
Пространственная спектральная плотность кинетической энергии приповерхностного ветра за период боры с 14 по 16 февраля 2022 г.

Сравнение с метеостанциями



Модель	Метрика	Канин Нос	Бугрино
ERA5	RMSE, м/с	1,79	1,57
	R	0,88	0.95
WRF	RMSE, м/с	2,00	1,36
	R	0,88	0,93
Нейросеть	RMSE, м/с	1,96	1,20
	R	0,93	0,96

Моделирование ветрового волнения



Расположение акустического доплеровского
профилографа течений ADCP

Модель	Метрика	ADCP1	
			ДИ
ERA5	RMSE, м	0,465	[0,458; 0.472]
	R	0,877	[0,871; 0,882]
	B, м	-0,361	[-0,368; -0,354]
WRF	RMSE, м	0,399	[0,393; 0,406]
	R	0,879	[0,874; 0,884]
	B, м	-0,268	[-0,274; -0,262]
Нейросеть	RMSE, м	0,417	[0.410; 0.424]
	R	0,882	[0,877; 0,887]
	B, м	-0,298	[-0,305; -0.292]

Выводы

Разработан подход создания, обучения, применения и оценки качества нейросетевых моделей масштабирования полей ветра;

в рамках подхода:

- ◆ Разработаны и применены архитектуры нейросетей для **детализации полей приповерхностного ветра в ключевых для оценки мезомасштабной динамики атмосферы регионах** (Баренцево и Карское моря);
- ◆ **Предложены подходы оценки качества воспроизведения феноменов**, ориентированные на характеристики жизненного цикла мезомасштабных когерентных структур и на характеристики спектральной плотности кинетической энергии ветра;
- ◆ Нейросетевой метод детализации ветра **превосходит опорный метод** в российском секторе Арктики, обеспечивая лучшее воспроизведение характеристик мезомасштабных структур;
- ◆ **Выявлена недооценка мезомасштабной динамики в ERA5** в российском секторе Арктики, включая количество когерентных структур, экстремальные и медианные скорости ветра.