

Towards the Statistical Correction of High-Resolution Weather Forecasts from the WRF Model employing Deep Learning

Viktor Golikov^{1,2}, Mikhail Krinitskiy^{2,3}, and Vladimir Vanovski^{1,2}

¹ Skolkovo Institute of Science and Technology

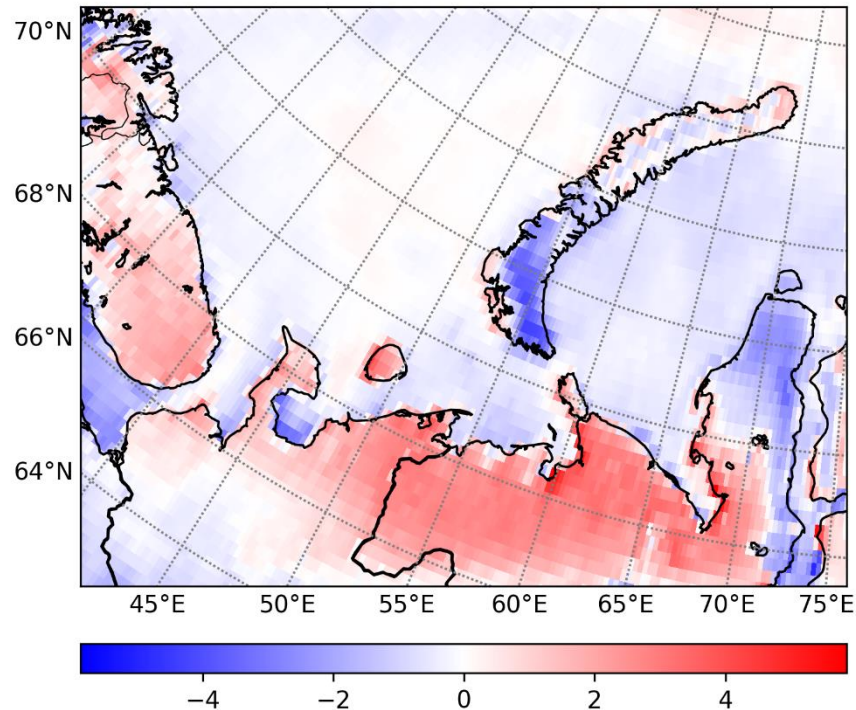
² Moscow Institute of Physics and Technology

³ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences

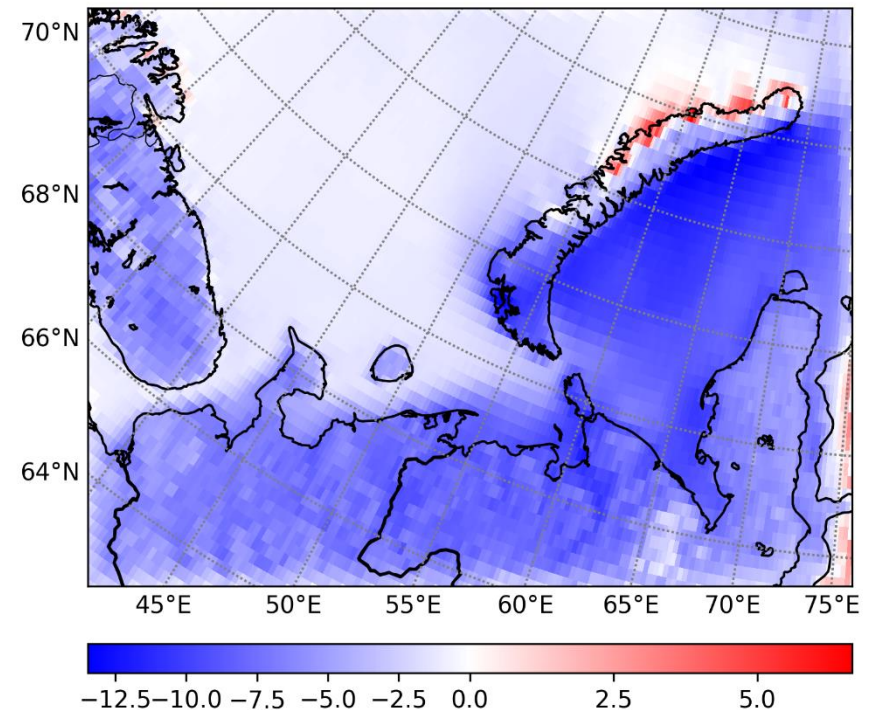
Мотивация

- Численным моделям присущи систематические отклонения от наблюдений
- Один из методов их уменьшения – статистическая коррекция

WRF hindcast ERA5 t2 2022-06 difference map



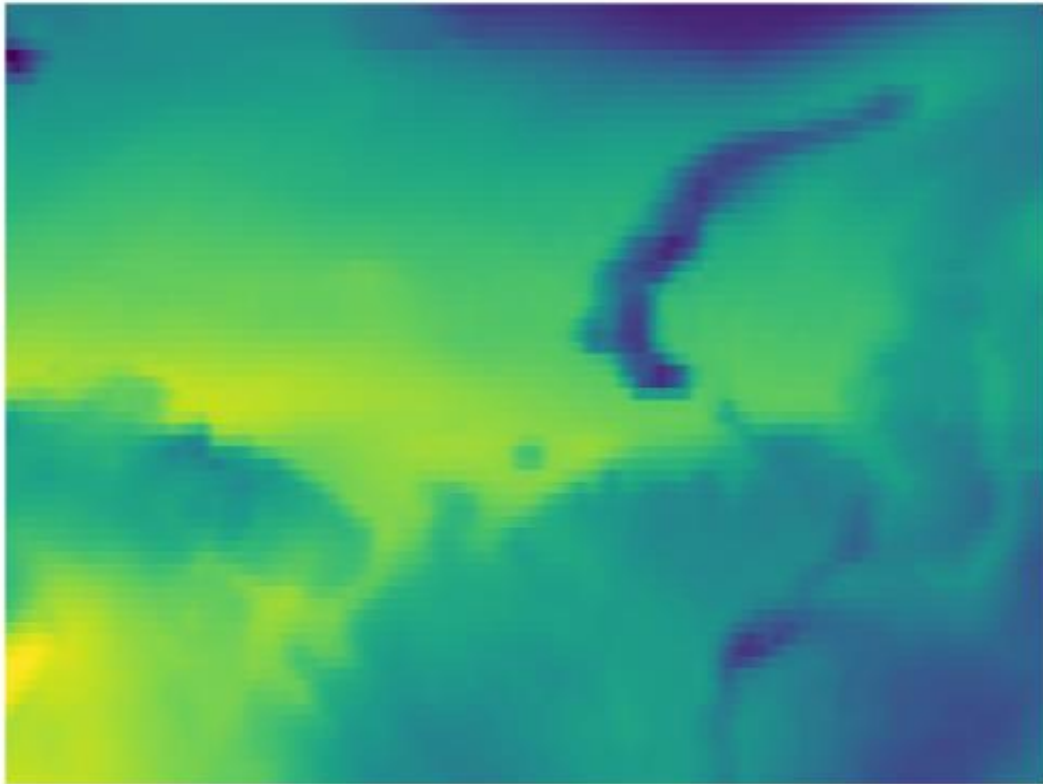
wrf_hindcast ERA5 t2 2023-01 difference map



Постановка задачи

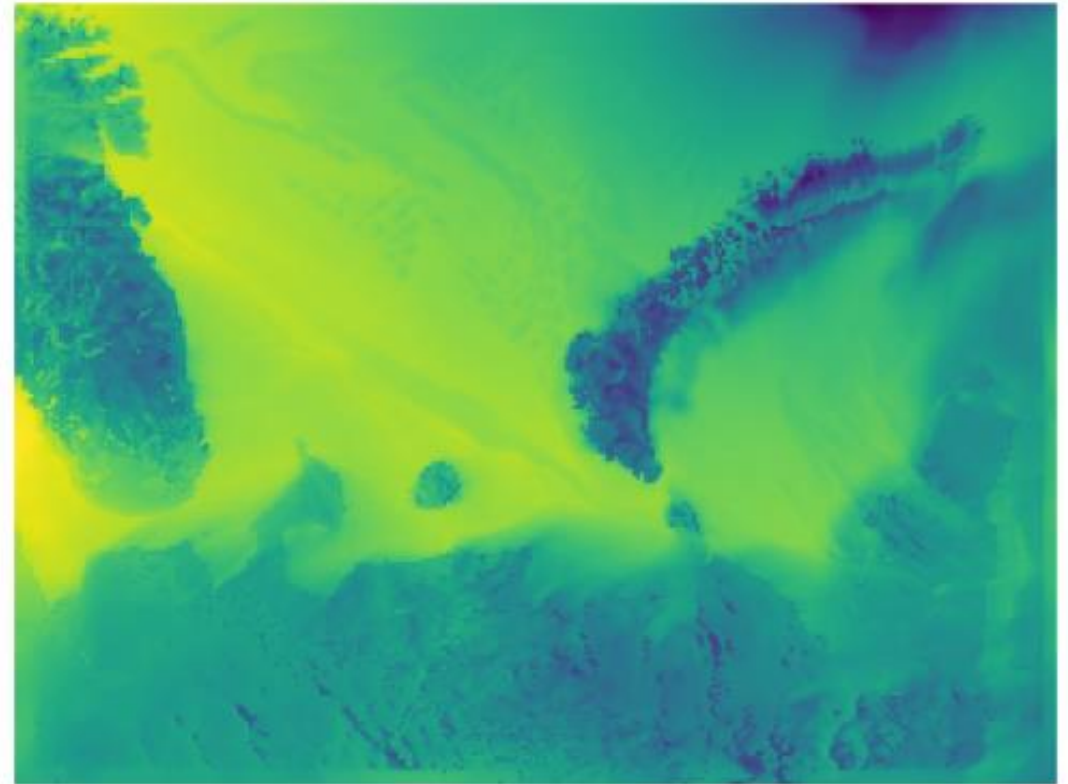
3/13

- Цель: приблизить поля прогноза погоды WRF к реанализу ERA5
- При это важно сохранить мелкомасштабные явления



Температура на 2х метрах, реанализ ERA5

Точные данные, но грубое разрешение



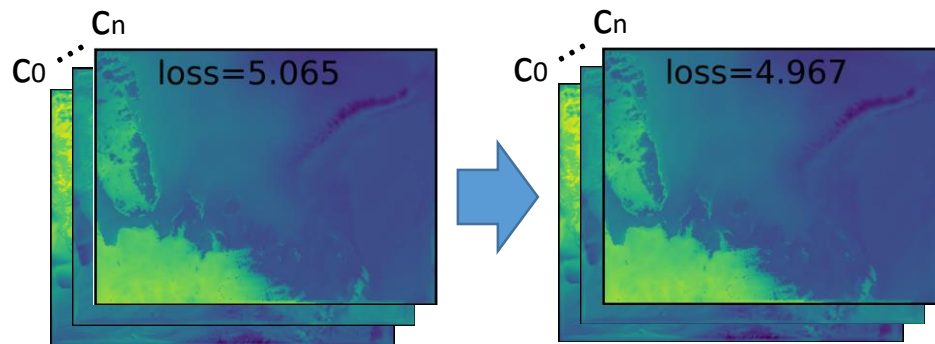
Температура на 2х метрах, прогноз WRF

Высокое разрешение, но есть систематические отклонения

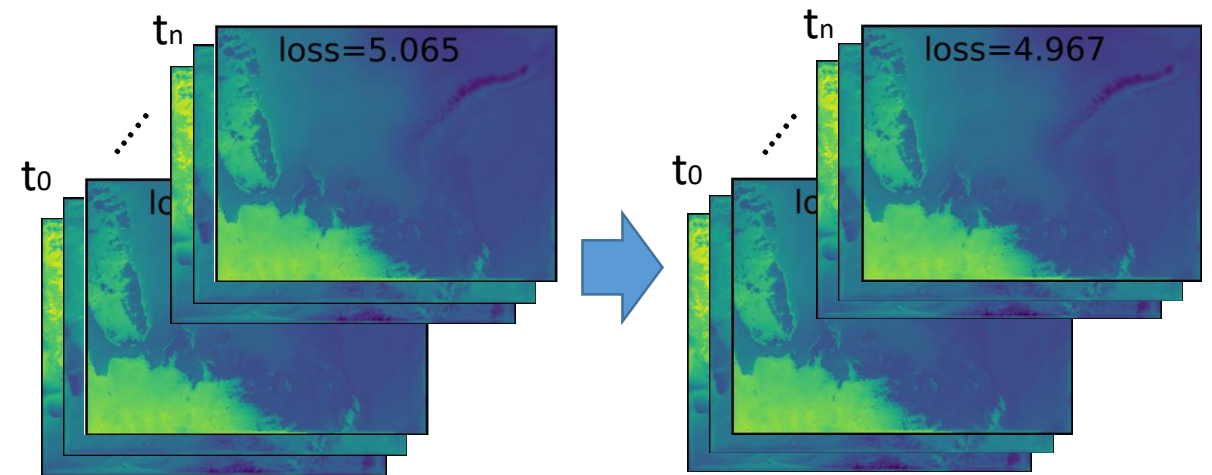
Постановка задачи

- Цель: приблизить поля прогноза погоды WRF к реанализу ERA5
- Решаем задачу прогнозирования временных рядов:
 - вход: серия прогнозов за время $(t, t+1, \dots, t+n)$
 - выход: серия скорректированных прогнозов за время $(t, t+1, \dots, t+n)$

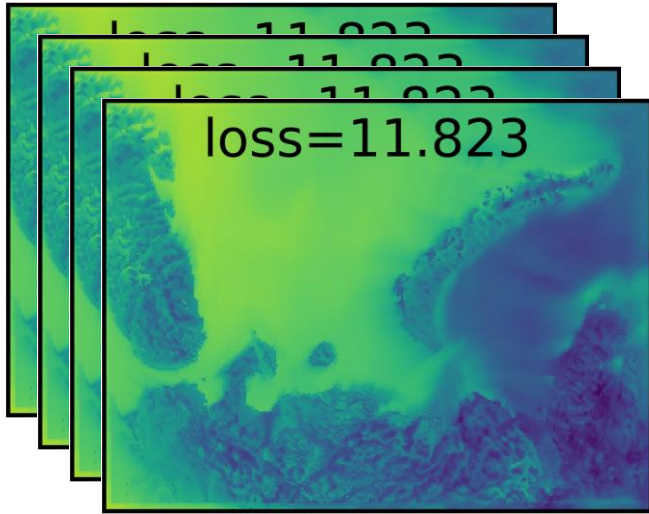
Изображение в изображение



Последовательность в последовательность



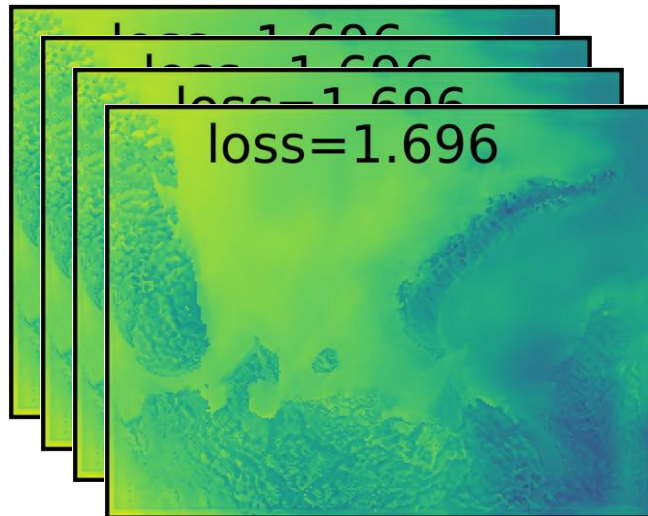
Данные и методы



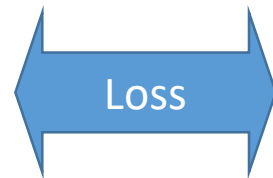
+ время,
координатная сетка,
маска земля/вода

Original WRF data

Correction model



Corrected WRF data

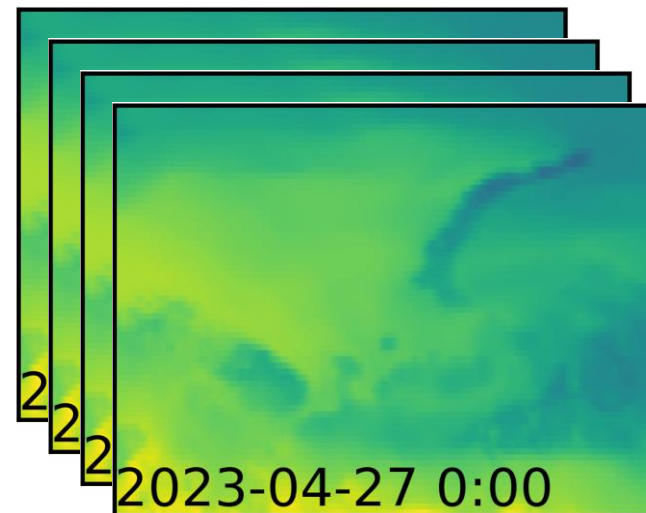


Корректируемые поля:

- Скорость ветра на высоте 10м в двух направлениях
- Температура на высоте 2м

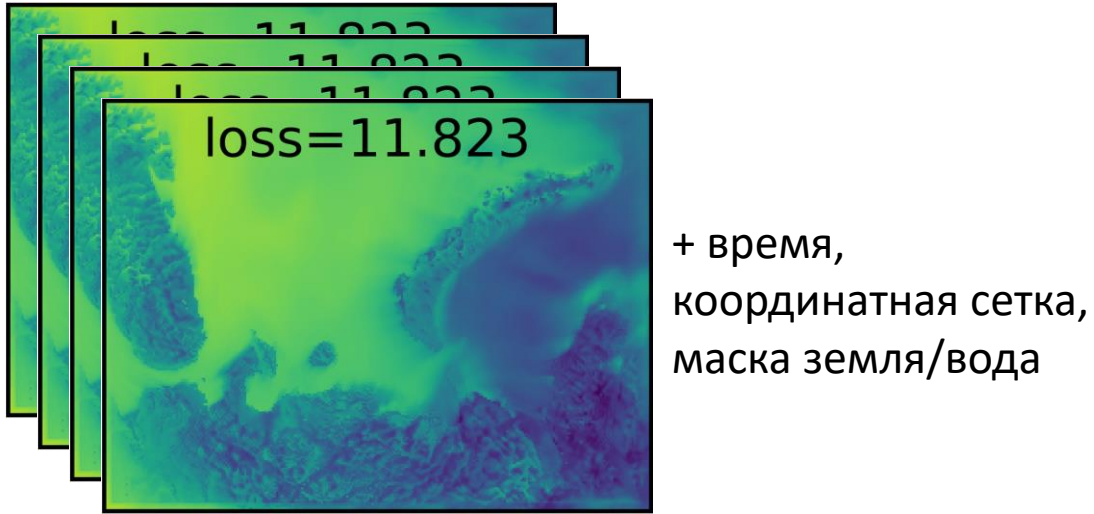
Для обучения модели используются данные:

- Ретроспективного анализа ERA5
- Наземных метео-станций (46 штук)
- Спутниковых скаттерометров



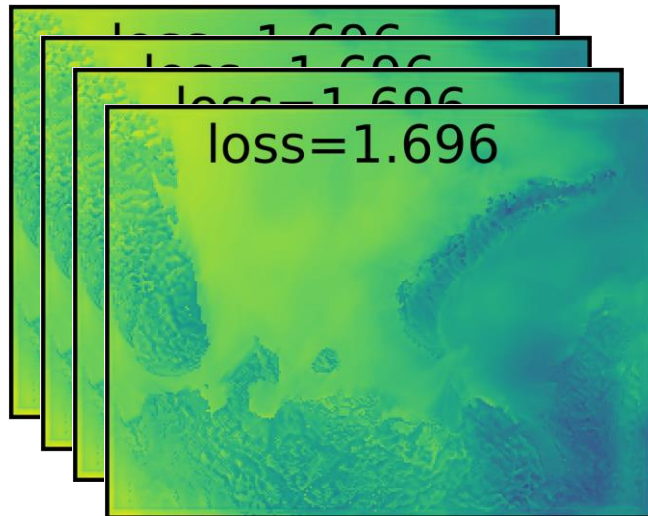
ERA5 reanalysis

Исследуемый период:
2019-01-01 - 2023-08-09



Original WRF data

Correction model



Corrected WRF data

Набор нейросетевых моделей для коррекции:

- Классический сверточный U-net
- U-net с трансформером для обработки временных последовательностей
- TrajGRU как модель вариантная к местоположению пикселей на изображении

**Аппроксимируем не конечное поле,
а систематическое отклонение!**

$$WRF_{corr} = WRF + model(WRF)$$

Данные и методы

7/13

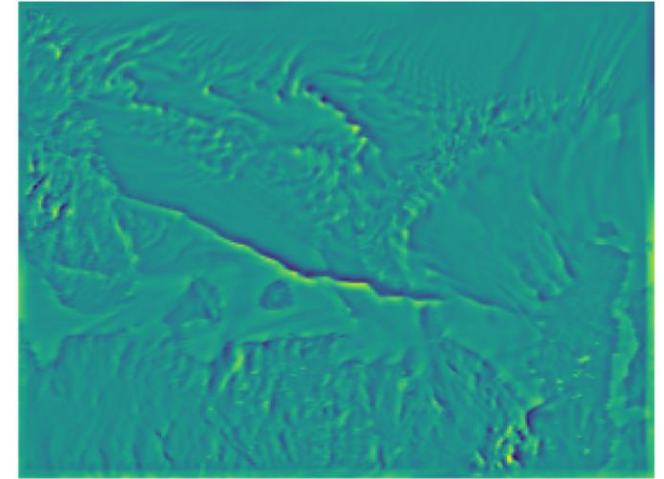
Функция ошибки:

$$Loss = \sum_{x \in DataTypes} \beta_x * MSE(WRF, x) + L_{mesoscale}$$

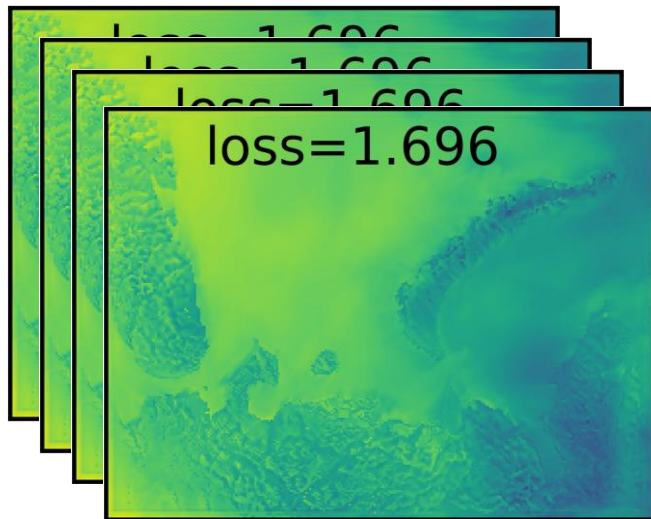
$$L_{mesoscale} = (\delta WRF_{corr} - \delta WRF)^2$$

$$\delta WRF = WRF - Conv2D(WRF, GaussKernel)$$

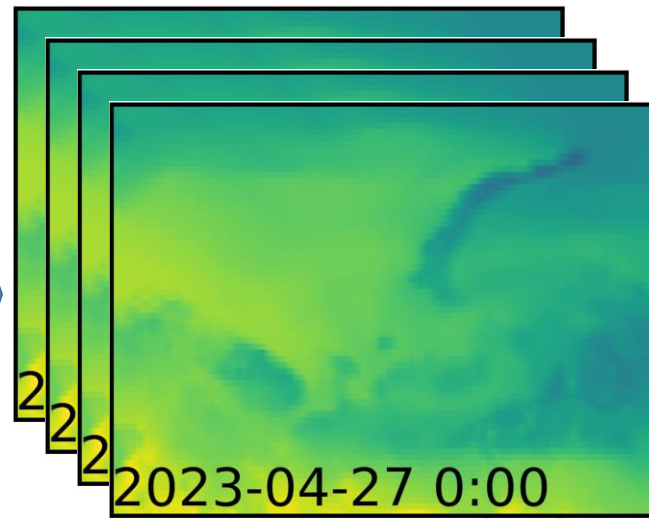
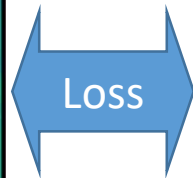
мелкомасштабная динамика δWRF



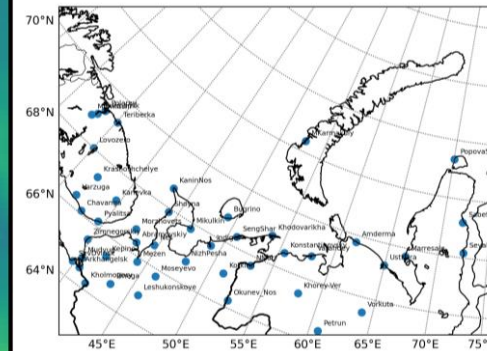
$L_{mesoscale}$ отвечает
за ее сохранение



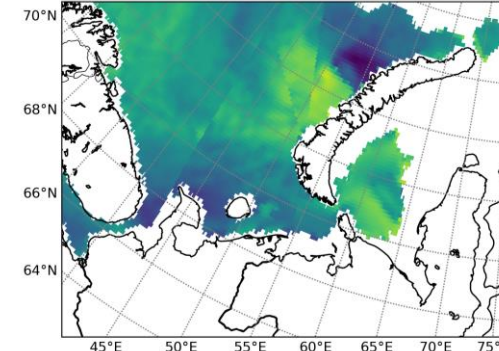
Corrected WRF data



ERA5 reanalysis

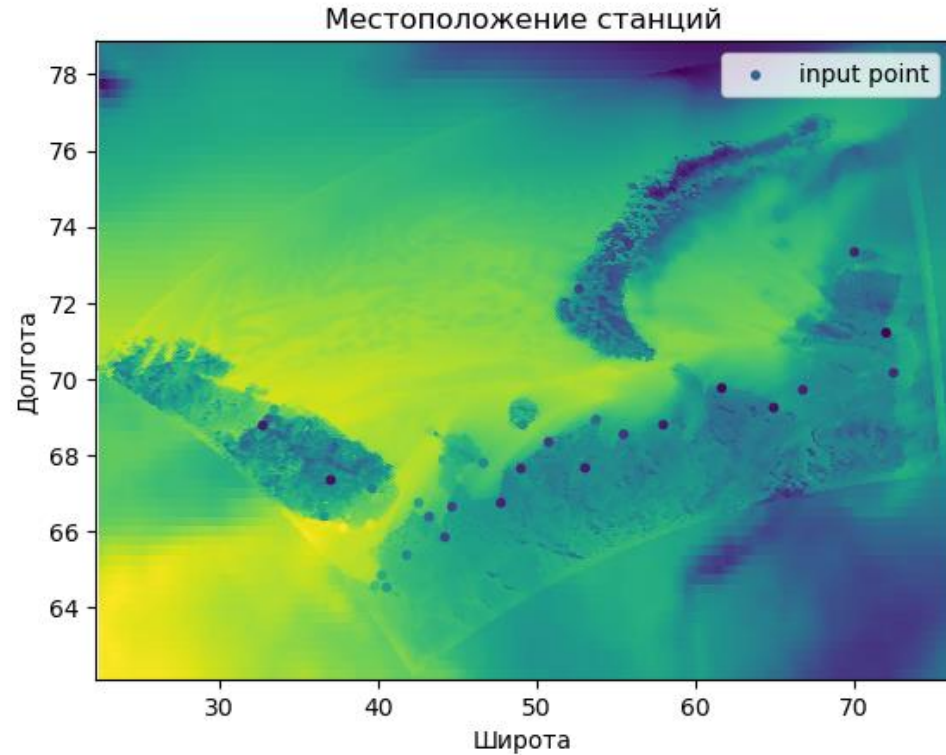


Stations



Scatterometer

Оценка качества работы модели



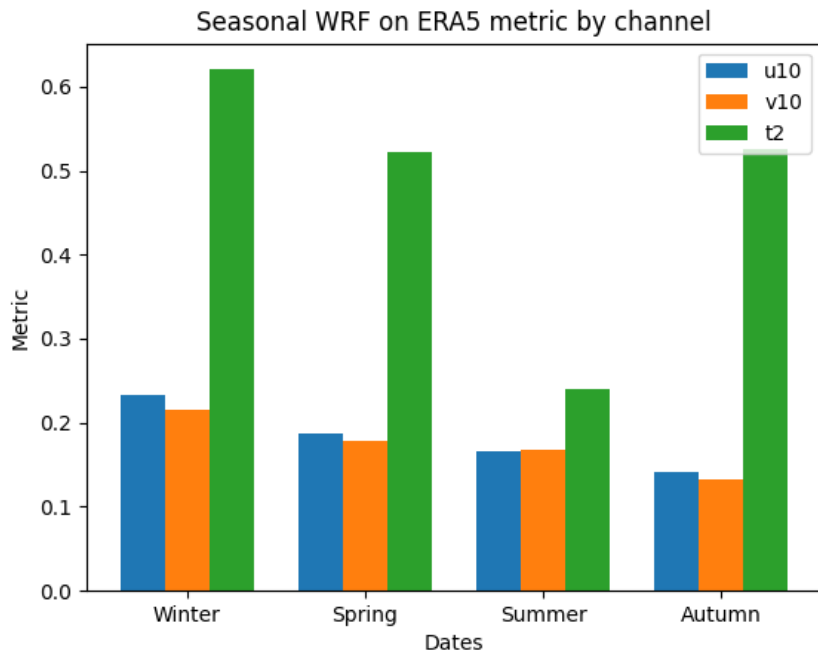
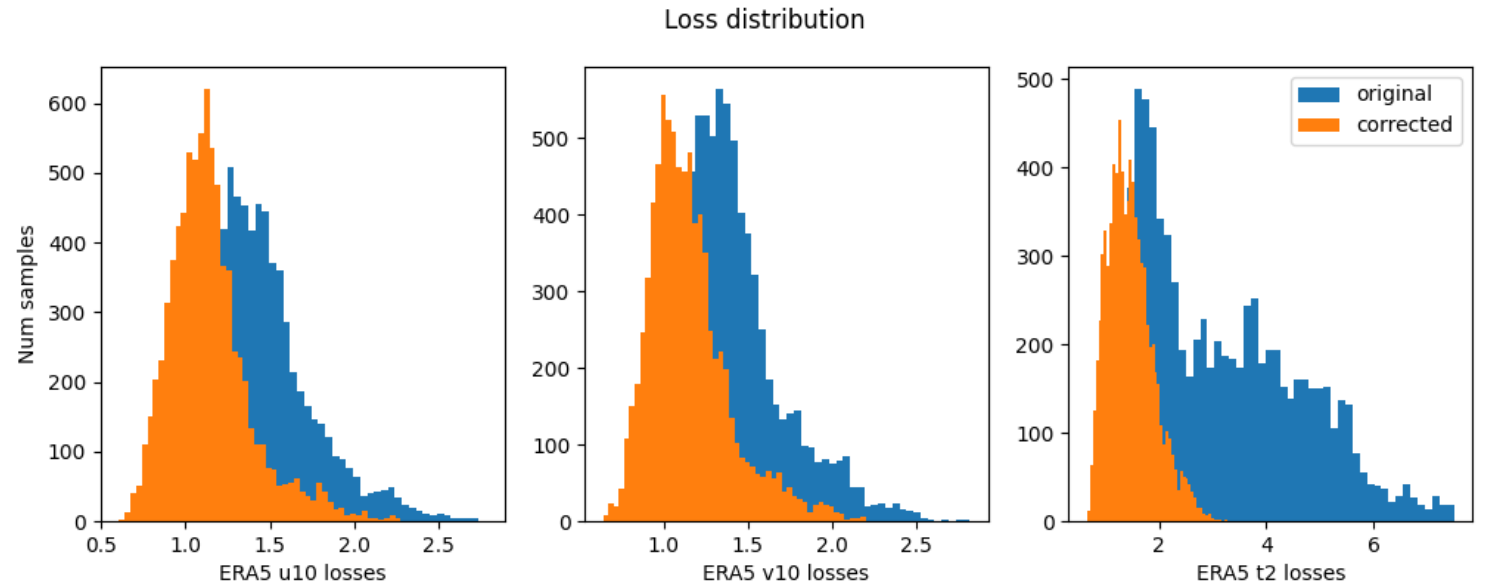
Метрика – относительное уменьшение ошибки MSE

$$M = \frac{Loss(WRF_{orig}) - Loss(WRF_{corr})}{Loss(WRF_{orig})}$$

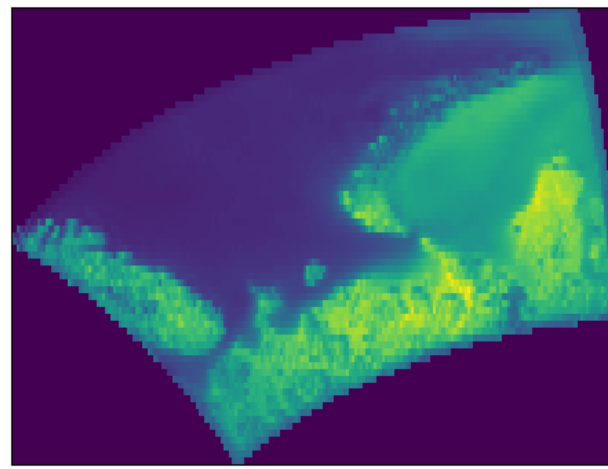
ERA5 only	Orig loss	Corr loss	metric	Station metric t2	Station metric w10
▪ trajGRU	10.03	2.69	0.65	0.11	-0.0461
▪ Unet	10.03	2.75	0.63	0.08	-0.0265
▪ BERTUnet	10.03	2.48	0.67	0.12	-0.0264

Оценка качества модели относительно ERA5

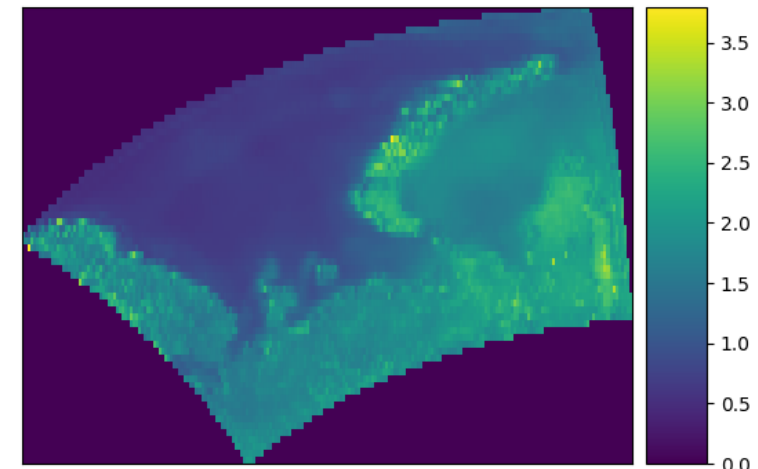
- Наблюдается кратное уменьшение расхождения WRF с ERA5
- Поля температуры лучше поддаются коррекции



WRF orig ERA5 t2 error map

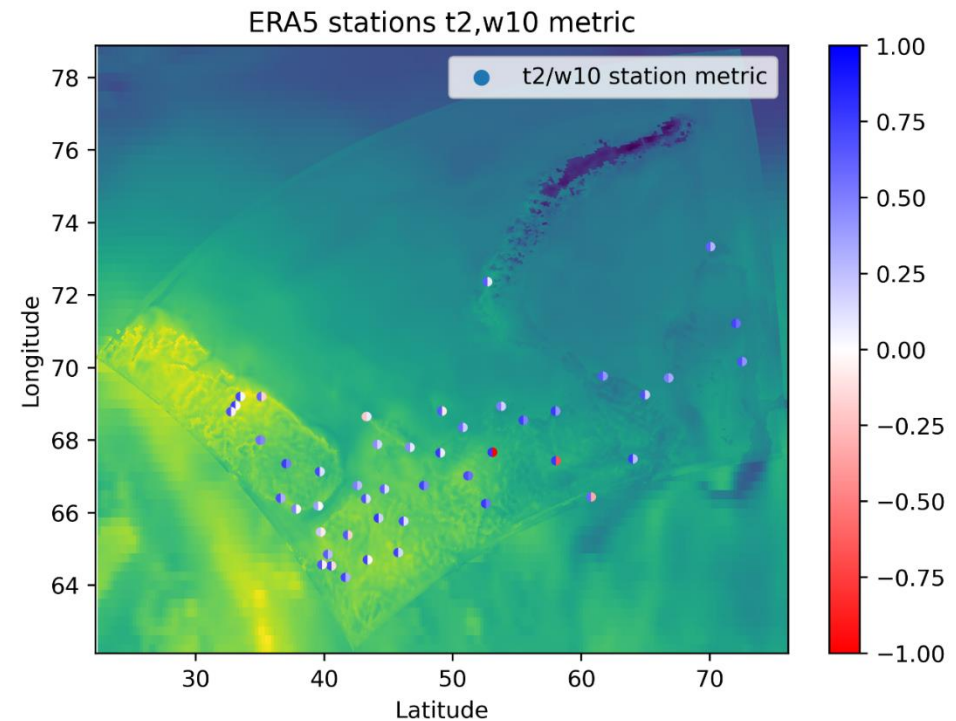
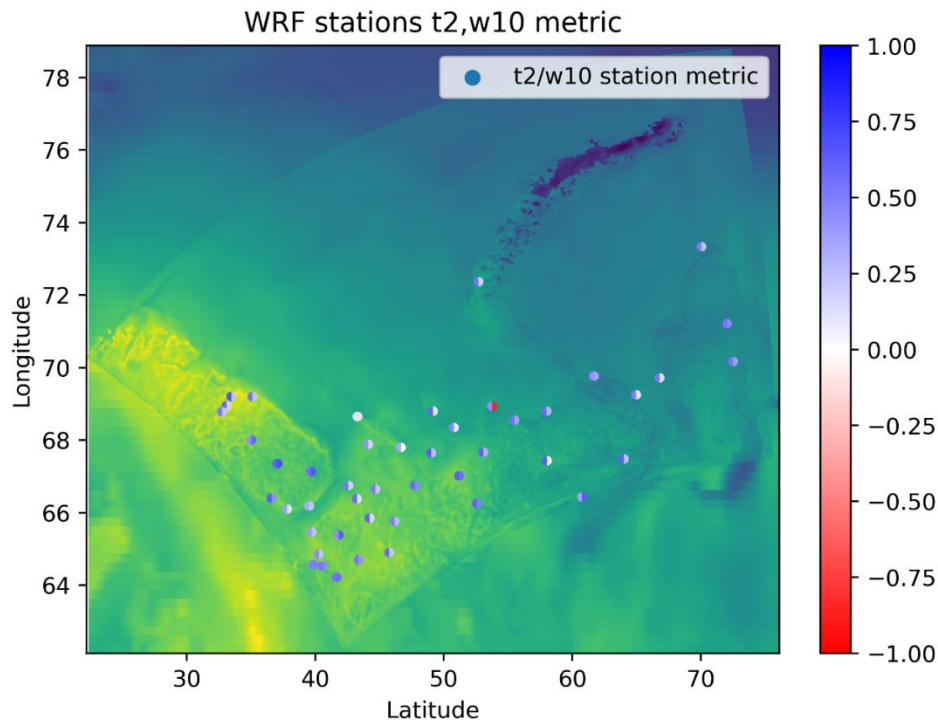
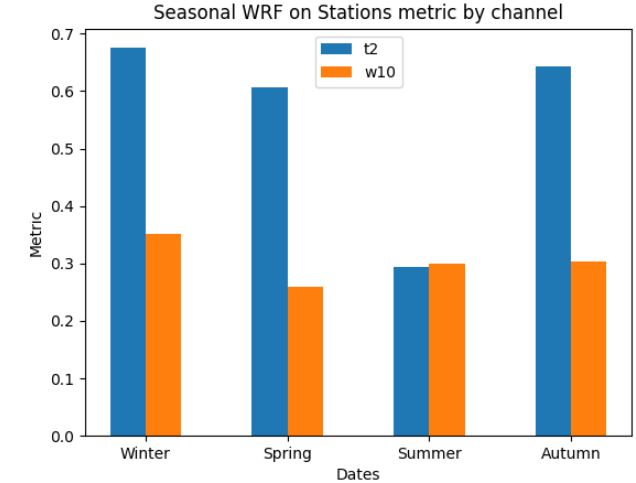
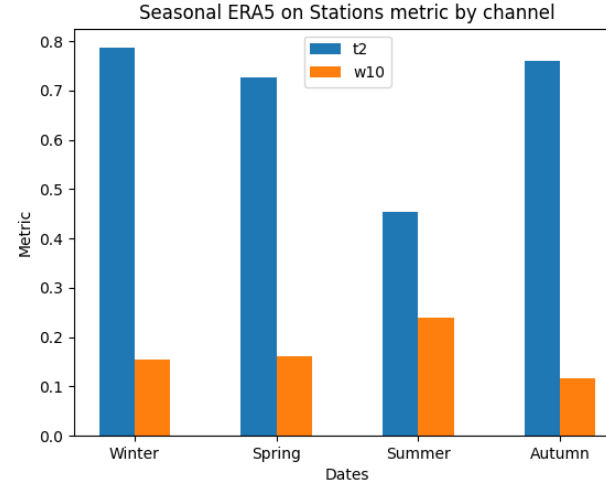


WRF corr ERA5 t2 error map



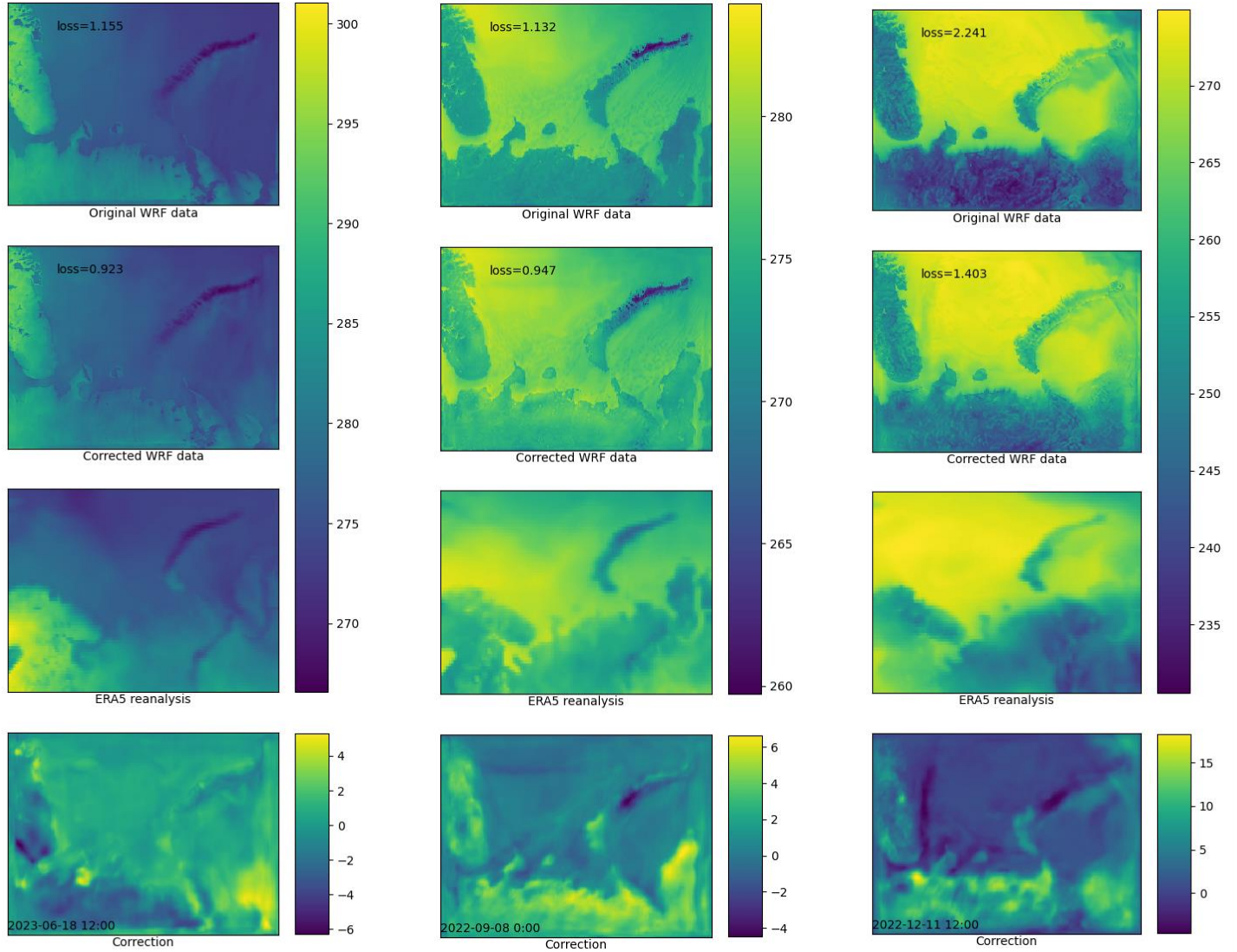
Качество относительно станций

- По ветру расхождение WRF со станциями становится **меньше** чем у ERA5, если использовать станции в процессе обучения
- Однако необходимо аккуратно усваивать поточечные данные



Примеры работы модели коррекции

Температура на 2х метрах

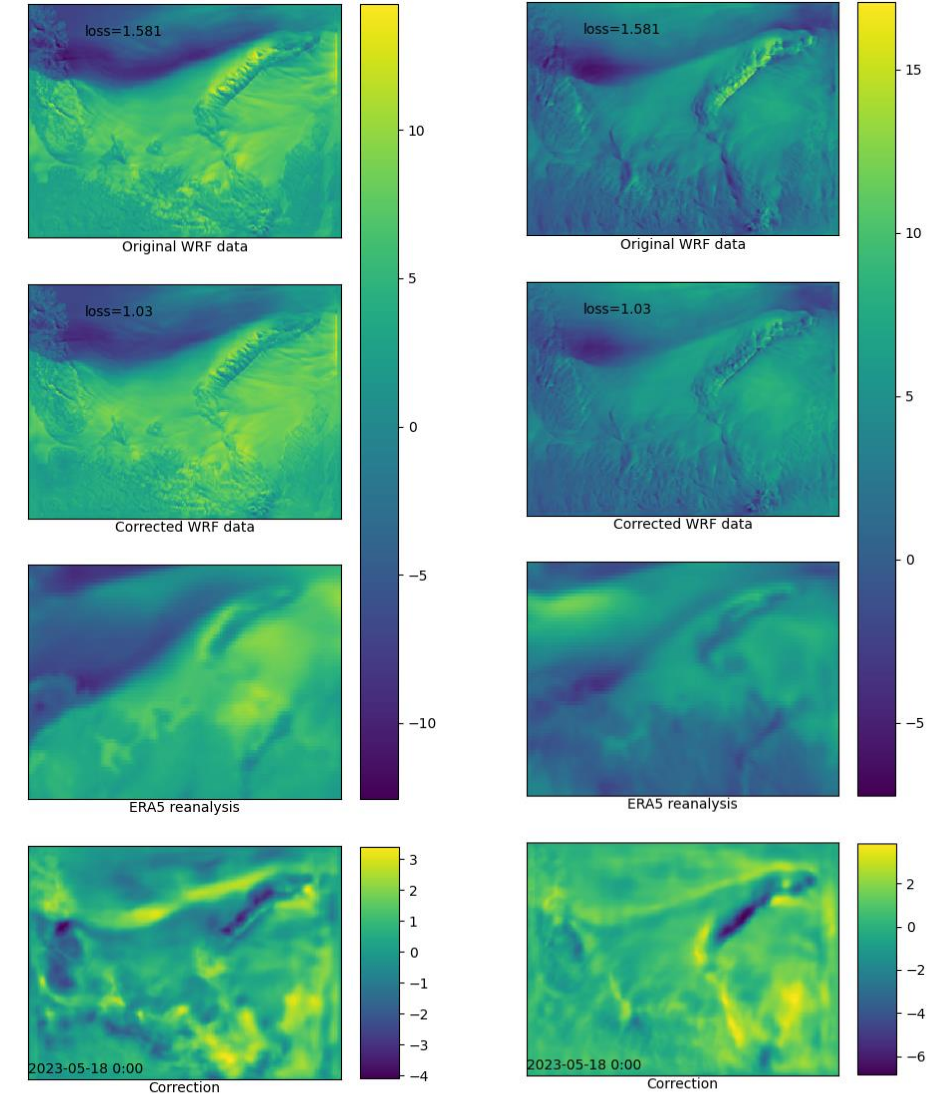


station metric=0.401
era metric=0.126

station metric=0.492
era metric=0.358

station metric=0.546
era metric=0.565

Скорость ветра на 10 метрах



station metric=0.244
era metric=0.315

station metric=0.244
era metric=0.349

Заключение

- Статистические методы способны заметно уменьшить систематическое отклонение модели WRF
- Удалось не только уменьшить отклонение относительно реанализа ERA5, но и сохранить мелкомасштабную динамику (нужно выразить численно)
- Удалось реализовать обучение на нескольких источниках данных, что позволило улучшить качество и на них, при этом не сильно портя качество на реанализе

Перспективы исследования

- Повышение стабильности усвоения поточечных данных
- Результат коррекции должен оставаться физическим, чтобы стабильно взаимодействовать с другими численными моделями погоды.
- Требуется физически-обоснованная регуляризация, а также метрика, показывающая насколько хорошо сохранилась “физичность” прогноза.