

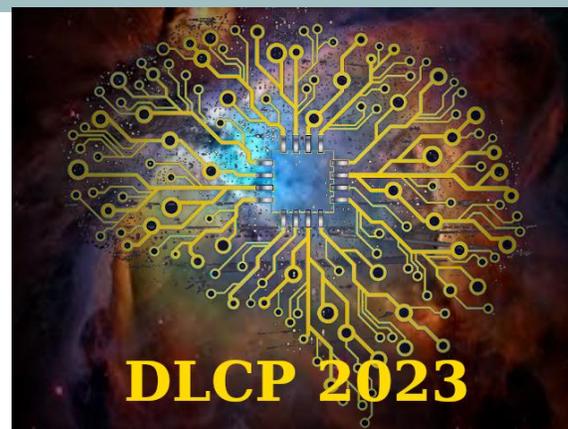
# Повышение точности нейросетевой оценки значимой высоты ветрового волнения по данным судового навигационного радара за счет предварительного обучения на синтетических данных

Vadim Rezvov<sup>\*,1,2</sup>, Mikhail Krinitskiy<sup>1</sup>, Natalia Tilinina<sup>1</sup>, Viktor Golikov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), Dolgoprudny, Russia*

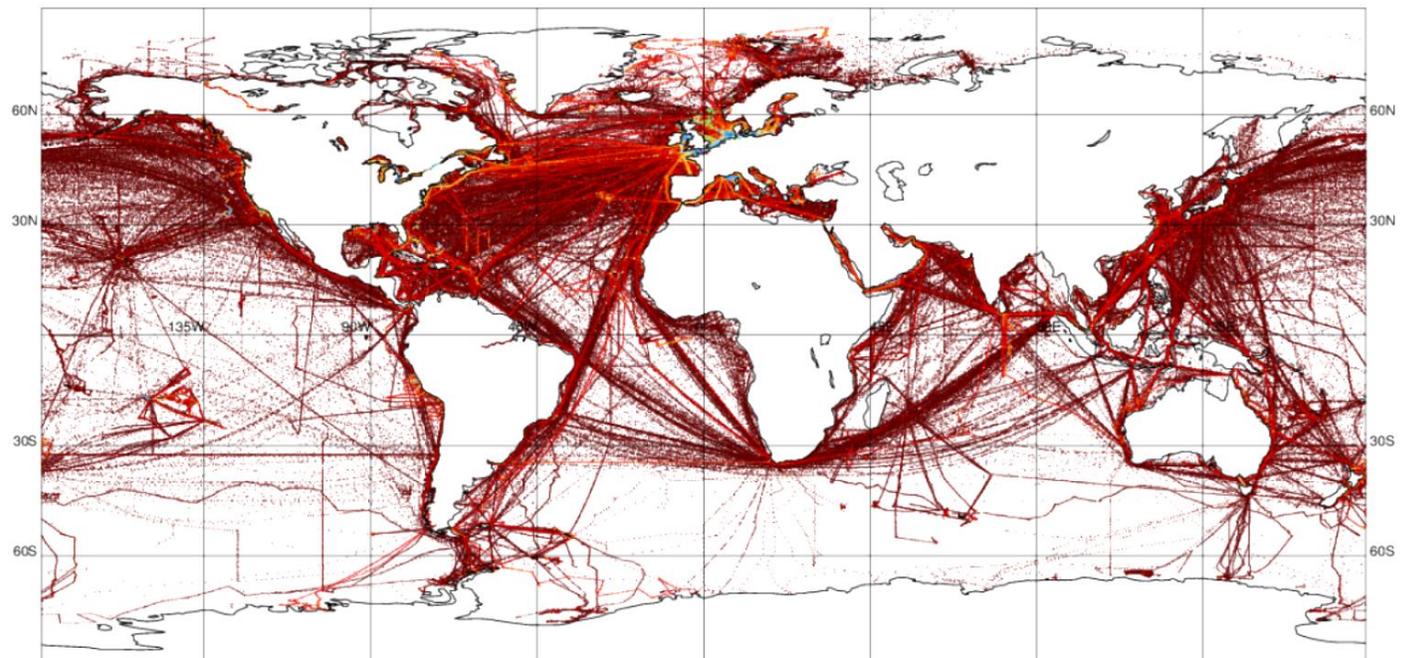
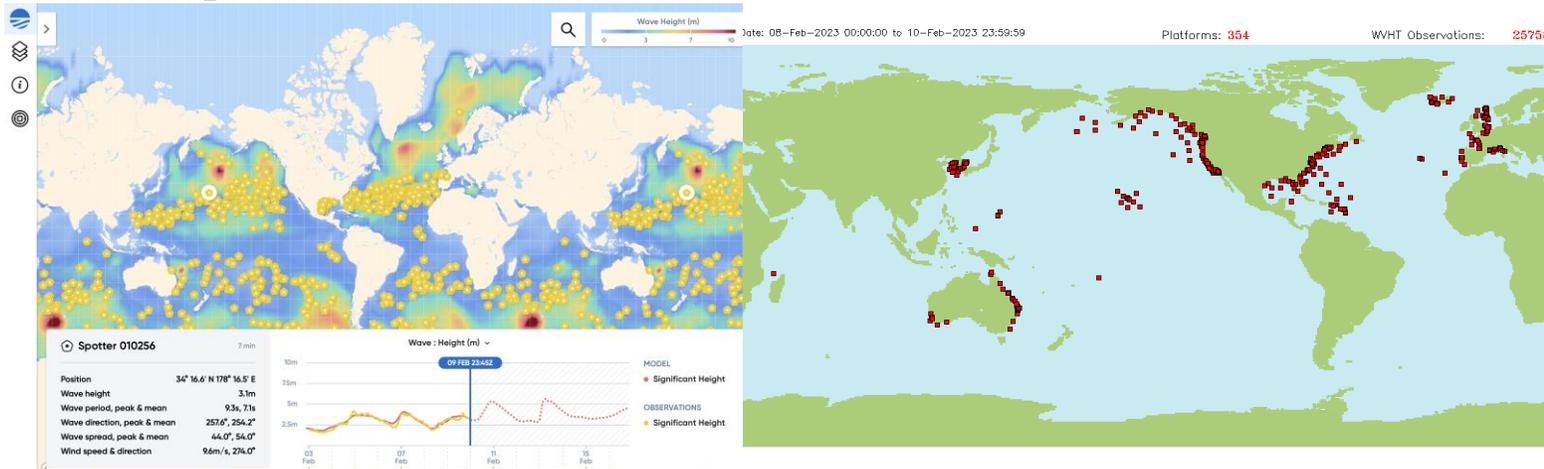
[\\*rezvov.vyu@phystech.edu](mailto:rezvov.vyu@phystech.edu)



The 7th International Conference on Deep Learning in Computational Physics  
June 21-23, 2023, SPbSU, St.-Petersburg, Peterhof, Russia

# Обзор задачи

- Ветровое волнение – важная роль в процессах взаимодействия океана и атмосферы;
- Определение параметров морского волнения необходимо для морской навигации и прибрежных регионов;
- Морское волнение - риск для морской навигации и эксплуатации береговой инфраструктуры;
- Существующие способы сбора данных (заякоренные и дрейфующие буи Spotter, визуальные наблюдения) имеют ряд ограничений.



# Проблема ограниченных данных

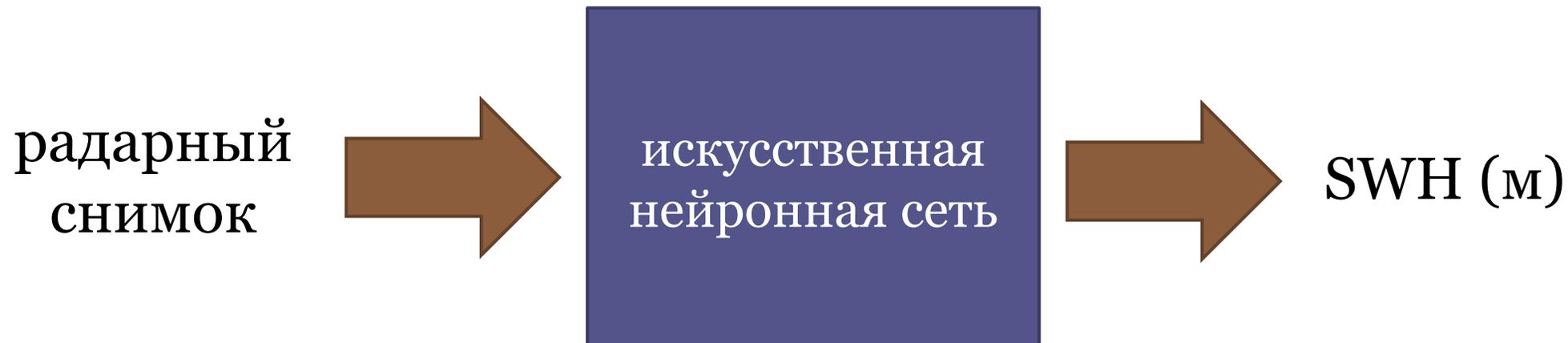
Ограничения в сборе данных по волнению: малое количество и низкое качество, неравномерность наблюдений по времени и пространству

Частичное решение проблем: использование судовых навигационных радаров для оценки характеристик ветрового волнения (8.0 – 12.0 ГГц / 3.75 – 2.5 см)

Полученные данные – амплитуда обратного рассеяния по всем направлениям в некотором диапазоне расстояний (например, от 231,5 до 2778 м)

Классическая методика обработки радарных данных: двумерное Фурье-преобразование, использование дисперсионного соотношения для волн  $\omega(k)$ , расчет калибровочных коэффициентов (специфичных для каждого радара) → значительная высота волны SWH

Возможен нейросетевой подход к оценке значительной высоты волны SWH



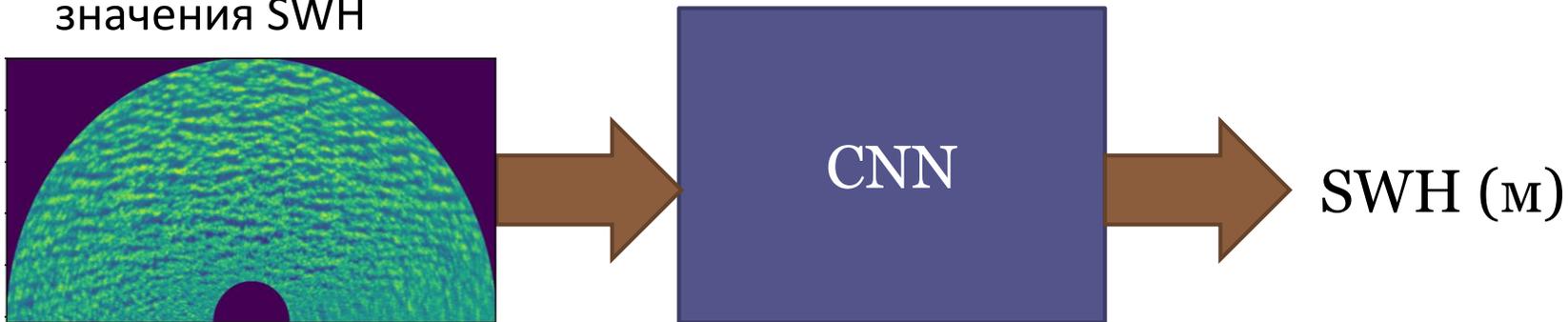
# Нейросетевая модель

Данные собраны в ходе 4 экспедиций, предобработаны с выбором направления наиболее вариативного сигнала, аугментированы

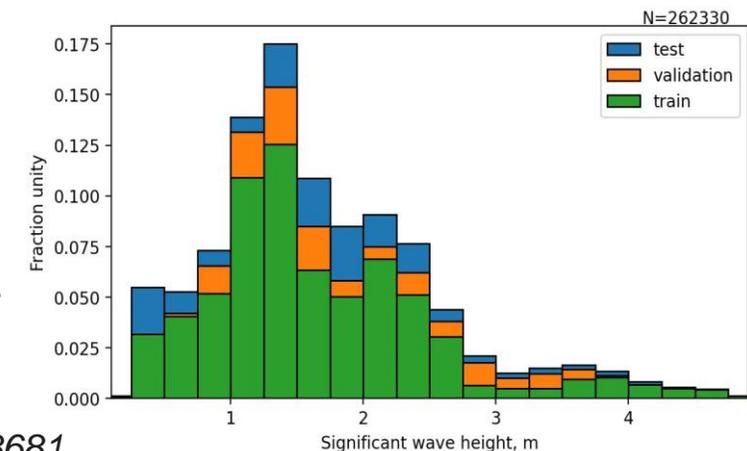
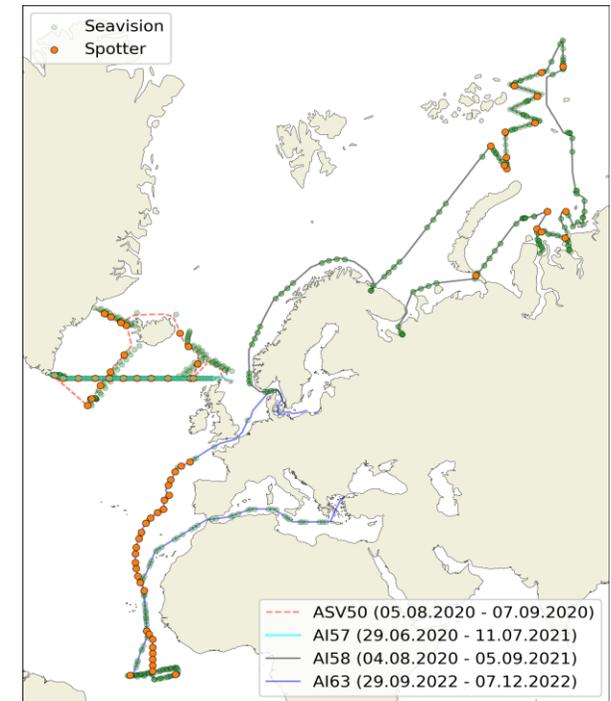
В данные добавлены каналы позиционного кодирования

В качестве ИНС – сверточная нейронная сеть (CNN) – модифицированный ResNet-152:

- Добавлена функция активации Mish\*
- После сверточной части добавлена полносвязная часть для получения значения SWH



Идея: увеличить достоверность оценки SWH, расширяя набор данных, генерируя синтетические радарные снимки с равномерным распределением по SWH и использовать искусственные снимки при (пред)обучении



\*Misra, D. (2019). Mish: A self regularized non-monotonic activation function. *arXiv preprint arXiv:1908.08681*.

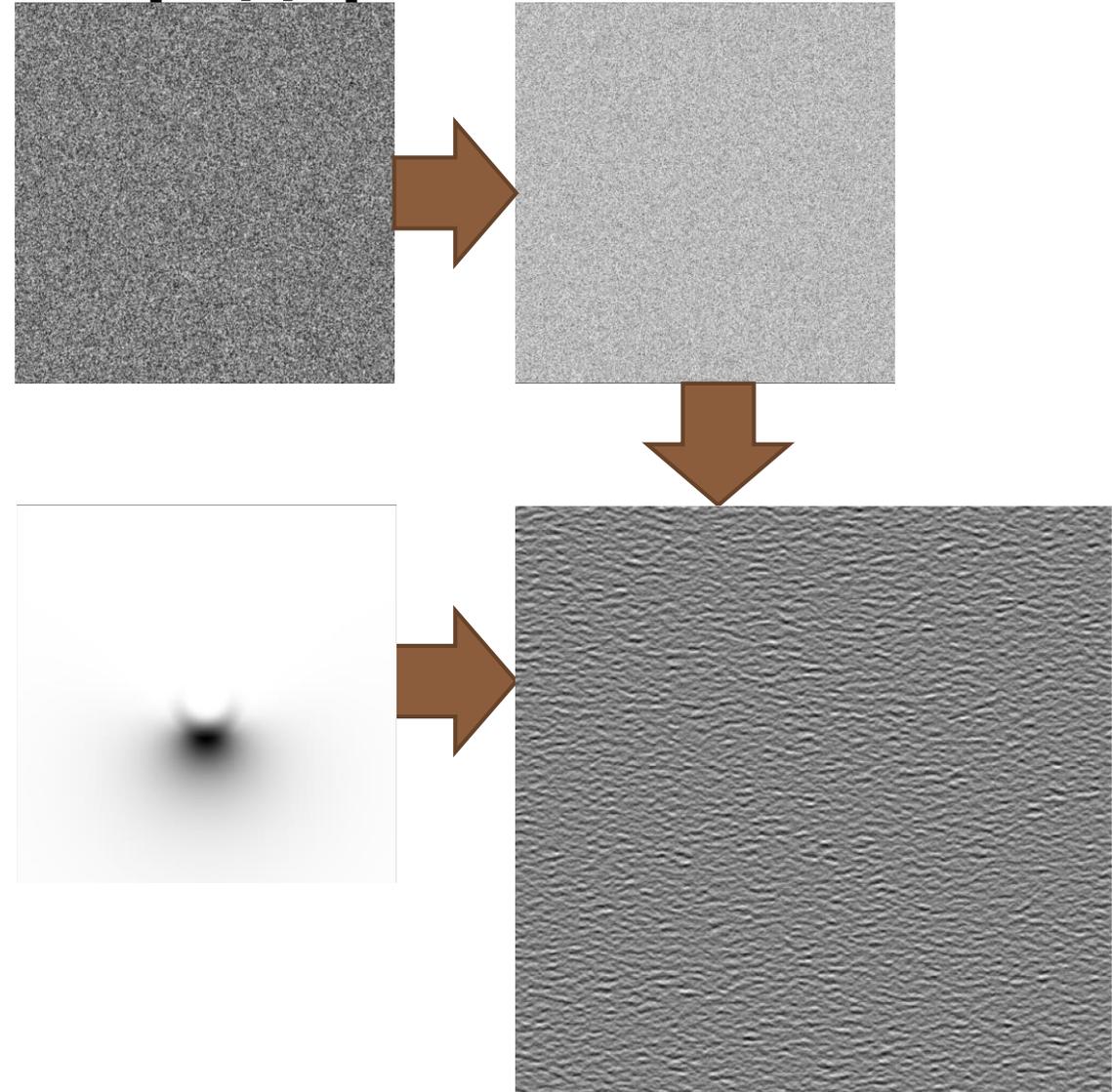
# Генерация синтетических радарных снимков<sup>1,2</sup>

- 1) Генерация белого шума – с необходимым количеством пикселей (с учетом пространственного разрешения и размеров, которые нужны для генерации радарного снимка)
- 2) Двумерное Фурье-преобразование белого шума
- 3) Амплитуды Фурье-компонент белого шума фильтруются с использованием дисперсионного соотношения на глубокой воде  $\omega(k)$  направленного спектра ветрового волнения (Пирсона-Московица):

$$F_{PM}(\omega, \theta) = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} \exp \left[ -\beta \left( \frac{\omega_0}{\omega} \right)^4 \right] D(\omega, \theta)$$

Для задания спектра Пирсона-Московица необходимо задать только один параметр – скорость ветра на высоте 10м  $U_{10}$  или значительную высоту волнения SWH, так как они связаны между собой  $SWH \approx 0,22 \frac{(U_{10})^2}{g}$

- 4) Обратное двумерное преобразование Фурье – реалистичное синтетическое изображение морской поверхности

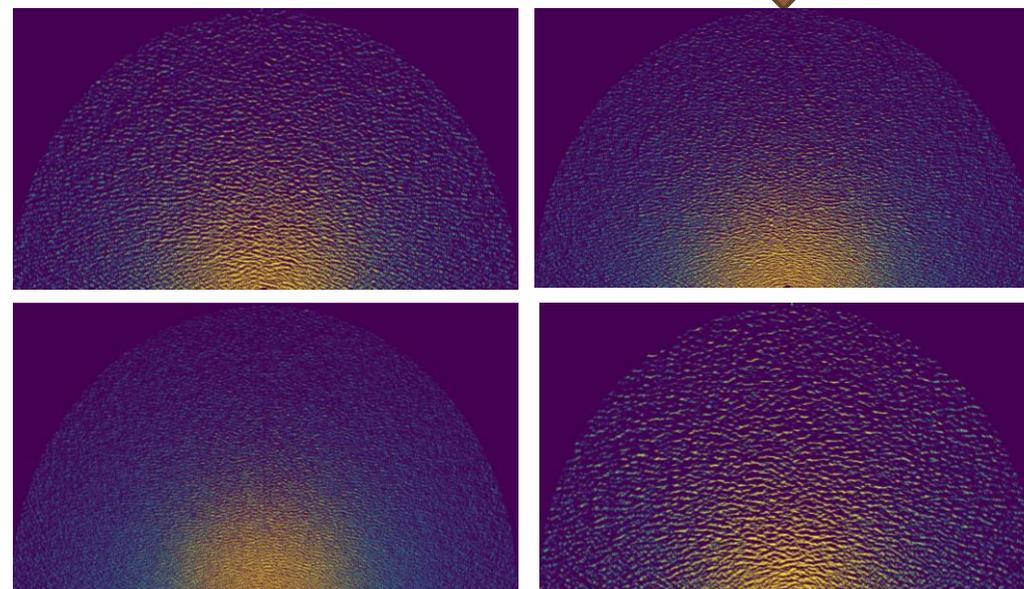
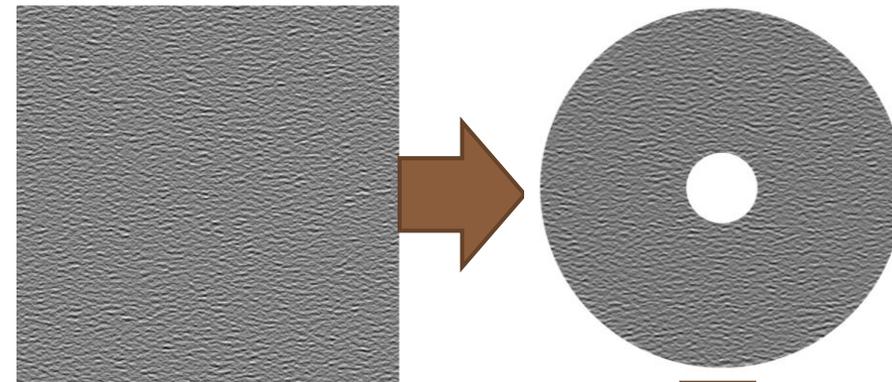
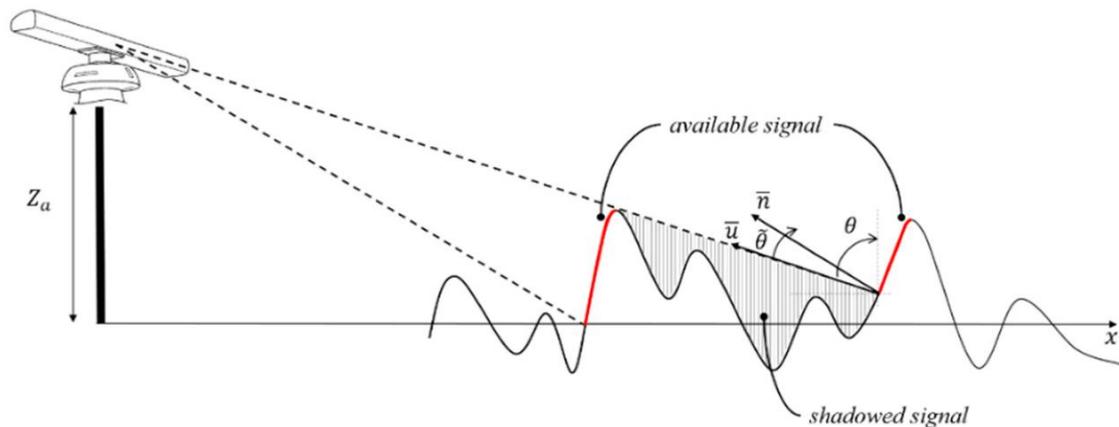


<sup>1</sup>Mastin, G. A., Watterberg, P. A., & Mareda, J. F. (1987). Fourier synthesis of ocean scenes. IEEE Computer graphics and Applications, 7(3), 16-23.

<sup>2</sup>Ludeno, G., & Serafino, F. (2019). Estimation of the significant wave height from marine radar images without external reference. Journal of Marine Science and Engineering, 7(12), 432.

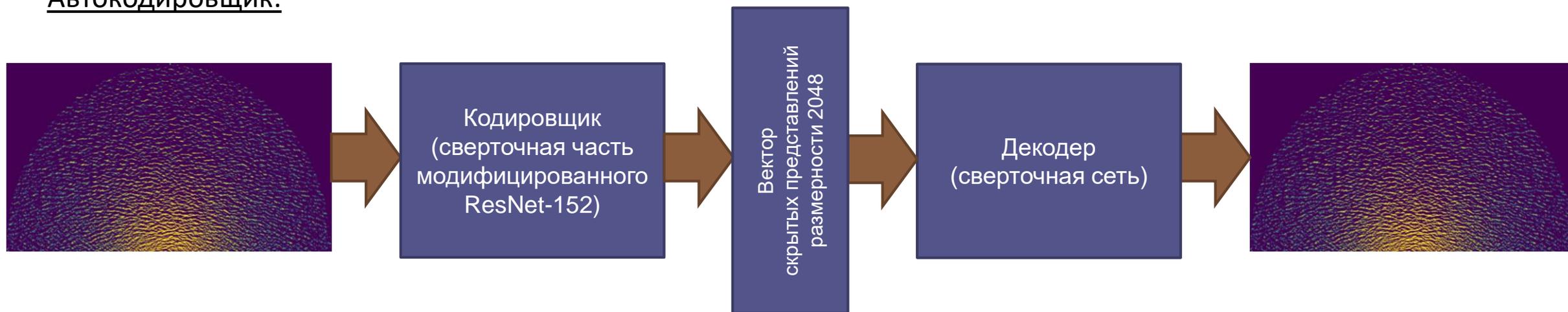
# Генерация синтетических радарных снимков

- 1) Определение области, соответствующей дальности работы радара (в настоящей задаче, от  $\approx 30$  до  $\approx 1920$  м)
- 2) Пространственная дискретность генерируемых радарных снимков 1,875 м.
- 3) Для перехода от смоделированной взволнованной морской поверхности необходимо учесть эффекты затенения и угла наклона морской поверхности к лучу радара, т.е. перейти от высоты морской поверхности к величине, пропорциональной амплитуде обратного рассеяния.



# Предобучение через автокодировщик

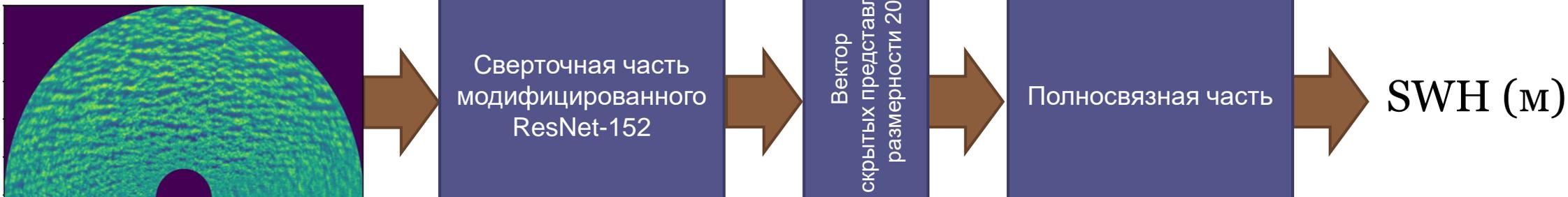
- Генерируется 25000 синтетических радарных снимков размера 1024\*2048, соответствующих равномерному распределению скорости приповерхностного ветра  $U_{10}$  от 3 до 20 м/с.
- 15000 случайным образом помещается в тренировочную выборку, 5000 – в тестовую выборку, 5000 – в валидационную.
- Автокодировщик:



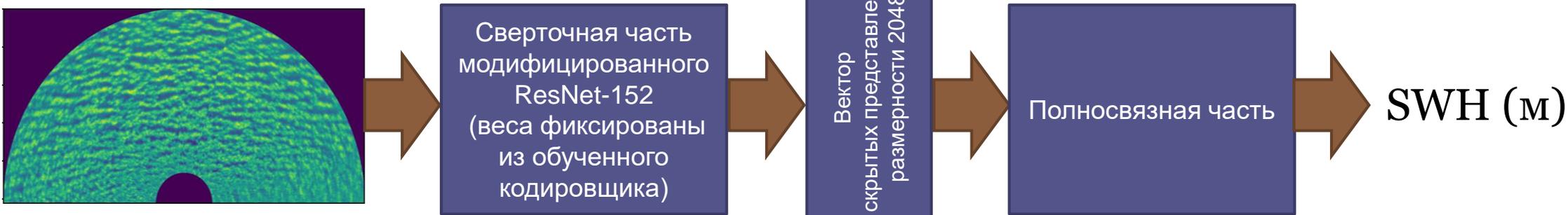
Качество обучения автокодировщика оценивается через метрику SSIM (structure similarity)

# Обучение нейросетевой модели

Базовое решение:  
обучается вся модель



Решение с предобучением:  
обучается только полносвязная часть сети



В обоих случаях на вход подаются реальные радарные снимки.

На данный момент, полное обучение нейросетевой модели дает более предпочтительный результат ( $RMSE = 0.4$ ) по сравнению с предложенным в настоящей работе алгоритмом предобучения на синтетических данных ( $RMSE = 1.78$ )

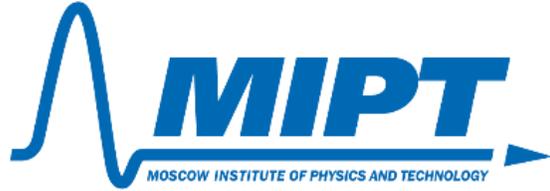
# Результаты и перспективы исследования

## Результаты:

- Разработан алгоритм генерации синтетических радарных снимков на основании реалистичного моделирования взволнованной морской поверхности;
- Алгоритм позволяет моделировать радарные снимки для любых ветровых условий (если задать скорость приповерхностного ветра  $U_{10}$  или значительную высоту волны SWH);
- Генерация радарных снимков позволяет расширить набор реальных данных, сделав выборку более равномерной по SWH;
- Предложенная методика предобучения сверточной части нейронной сети на синтезированных данных пока не показала свою эффективность по сравнению с обычным нейросетевым подходом.

## Направление дальнейших исследований:

- Дальнейшая доработка архитектуры автокодировщика для предобучения на синтетических данных;
- Улучшение обычного нейросетевого подхода путем добавления в обучающую выборку синтетических данных.



Moscow Institute of Physics and Technology,  
Dolgoprudny, Russia



Shirshov Institute of Oceanology,  
Russian Academy of Sciences  
Moscow, Russia



Sea-Atmosphere Interaction Laboratory,  
Shirshov Institute of Oceanology