



Estimating significant wave height from X-band navigation radar using convolutional neural networks

Mikhail Krinitskiy^{*,1,2}, Viktor Golikov^{1,2}, Nikita Anikin¹, Alexander Suslov¹,
Alexander Gavrikov¹ and Natalia Tilinina¹

¹ Shirshov Institute of Oceanography, Russian Academy of Sciences

² Moscow Institute of Physics and Technology

* krinitsky@sail.msk.ru

Введение

- Морское (ветровое) волнение – важное явление, влияющее на потоки тепла, влаги, газовых компонент, импульса на границе океан-атмосфера;
- Морское волнение участвует в процессах разрушения льда, является фактором риска в морской навигации и эксплуатации береговой инфраструктуры;
- Плотный и надежный мониторинг ветрового волнения – задача, решенная не до конца.

Введение: способы наблюдений

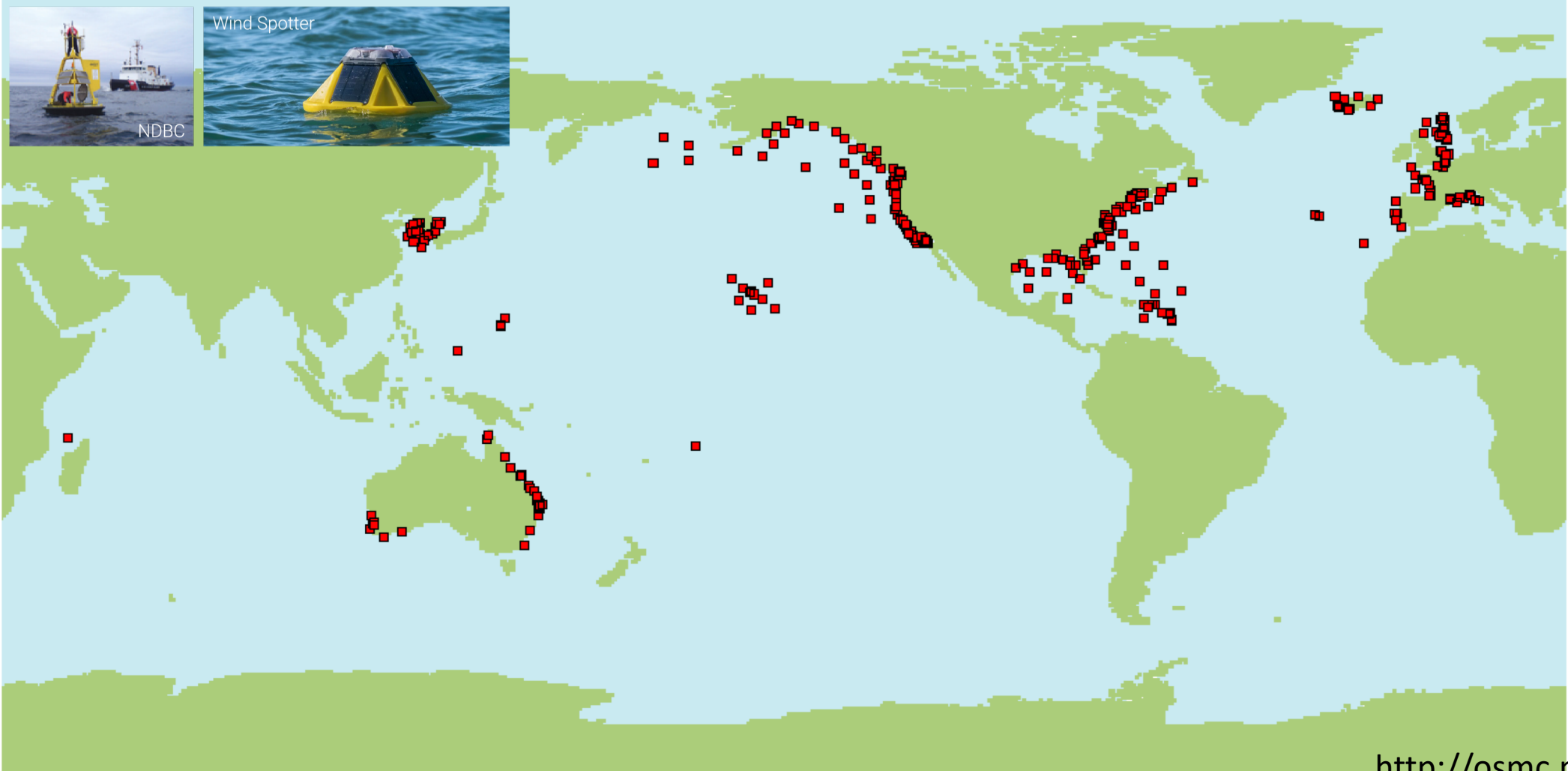
- Визуальная оценка;
- Инструментальные измерения: волномерные буи, стационарные донные станции, доплеровские измерители течений...
- Дистанционное зондирование Земли из космоса (альтиметры);
- Перспективные методы:
 - Анализ данных цифровой оптической съемки поверхности моря
 - Анализ данных судовых навигационных радаров

Заякоренные и дрейфующие буи

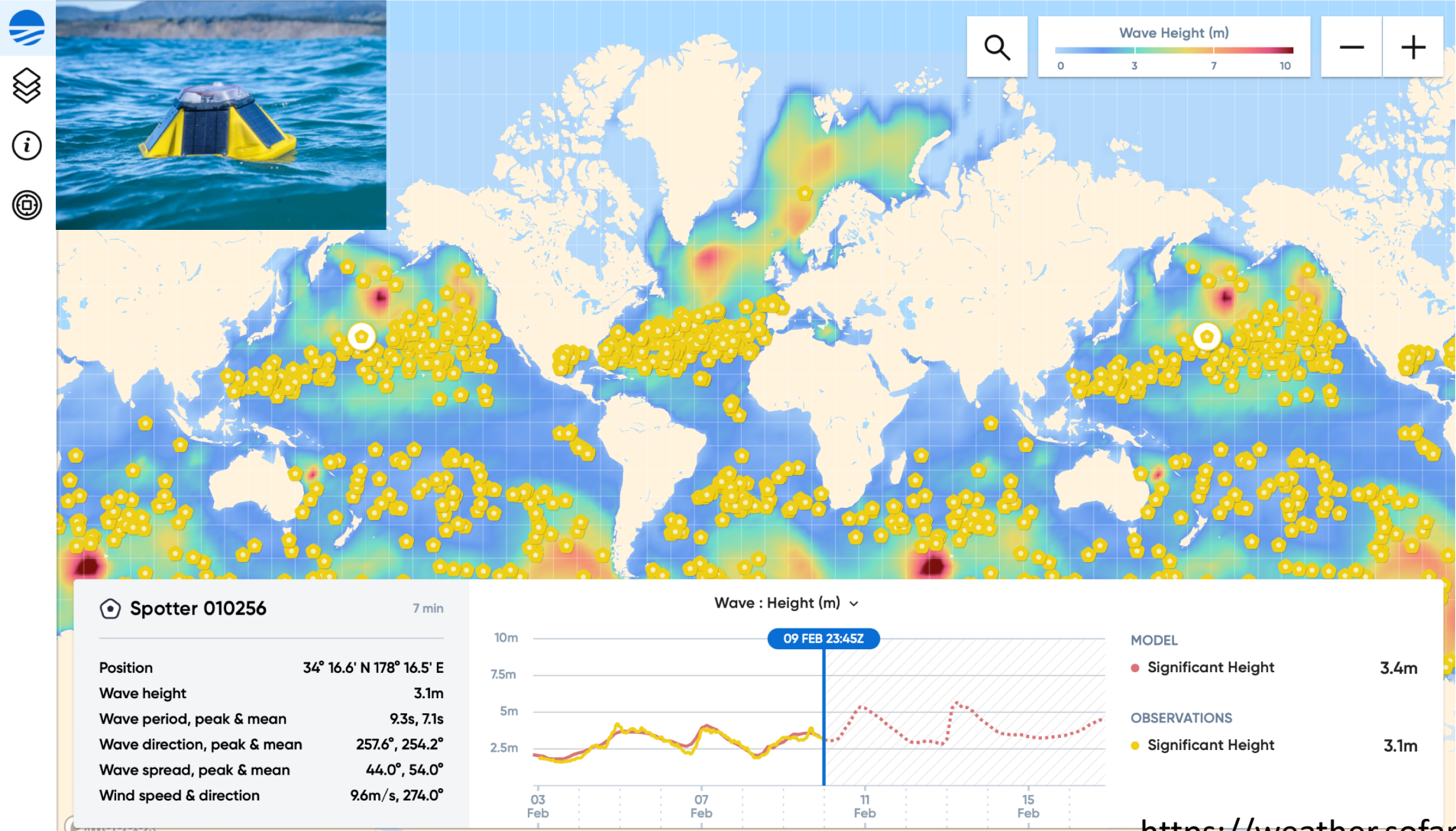
Date: 08-Feb-2023 00:00:00 to 10-Feb-2023 23:59:59

Platforms: **354**

WVHT Observations: **25758**

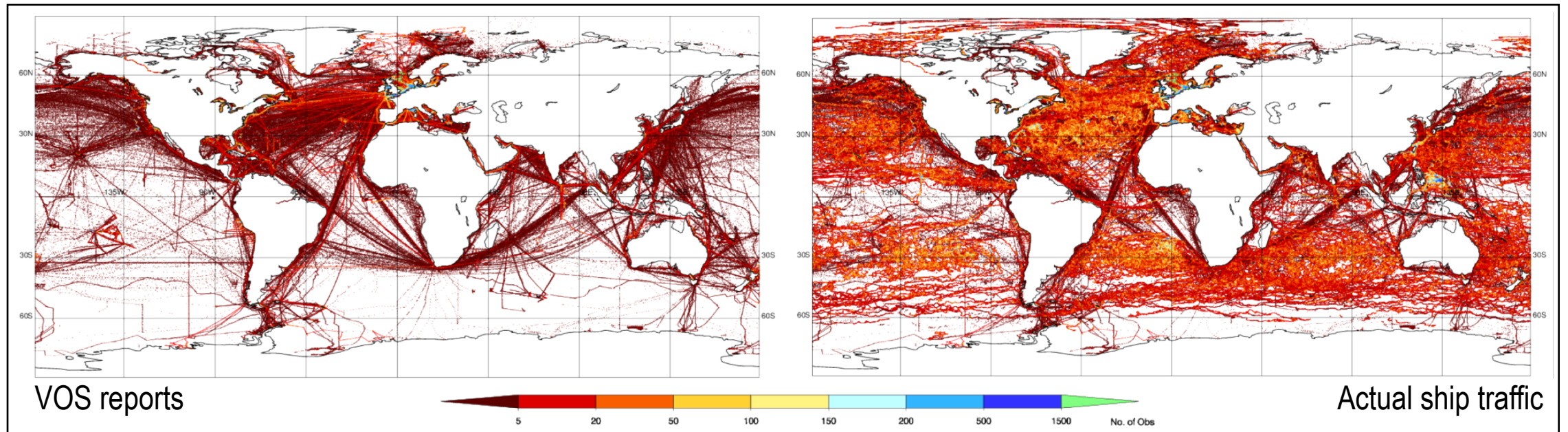


Дрейфующие буи Spotter



Визуальные наблюдения

WMO VOS: Voluntary Observing Ships program of the World Meteorological Organization



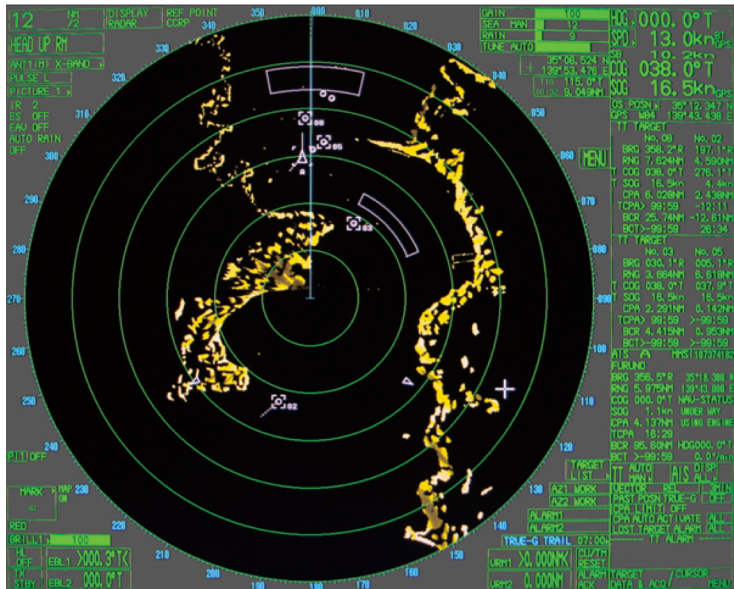
Введение

- Наблюдений мало;
- Оценки в VOS могут быть подвержены ошибкам наблюдателя;
- Наблюдения распределены неравномерно по Мировому океану;
- Наблюдения нерегулярны;

Одно из решений:

- Оценивать характеристики ветрового волнения по данным судовых навигационных радаров.

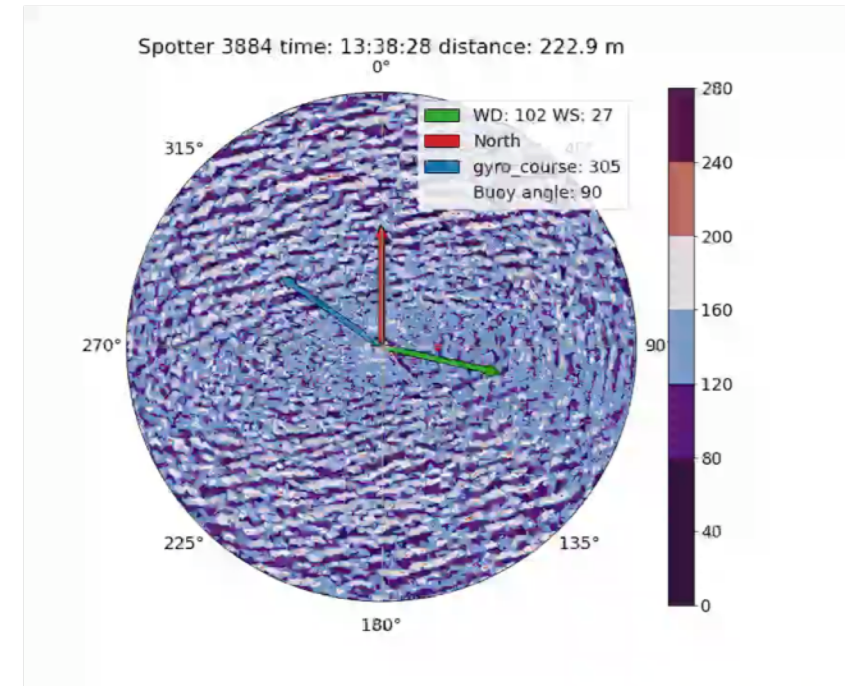
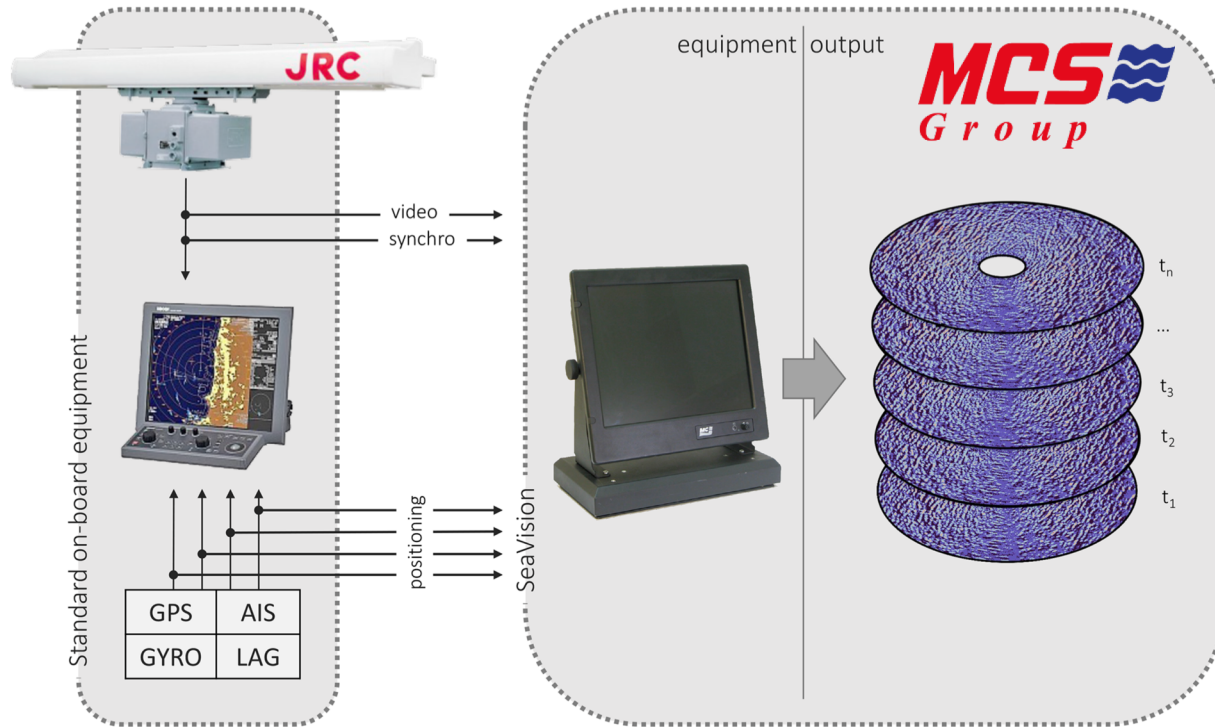
Судовые навигационные радары (СНР)



X-band: 8.0 – 12.0 ГГц / 3.75 – 2.5 см

Research vessel	<i>Akademik Sergey Vavilov</i>
Radar type	JRC JMA-9110-6XA
Radar frequency/wavelength	9.41 GHz/3.18 cm
Antenna rotation speed	27 rpm
Impulse power	10 kW
Antenna size	6 ft
Pulse length mode	0.08 μs (short pulse)
Analogue–digital converter (ADC) frequency/ size of output matrix for one antenna turn	80 MHz/4096 × 4096
Azimuthal coverage/resolution	0–360°/1.2°
Distance range	231.5–2778 m
Range resolution	12 m
Analogue–digital converter frequency/ size of output matrix for one antenna turn	80 MHz/4096 × 4096
Calibration coefficients A and B	A = −0.4042, B = 1.0034

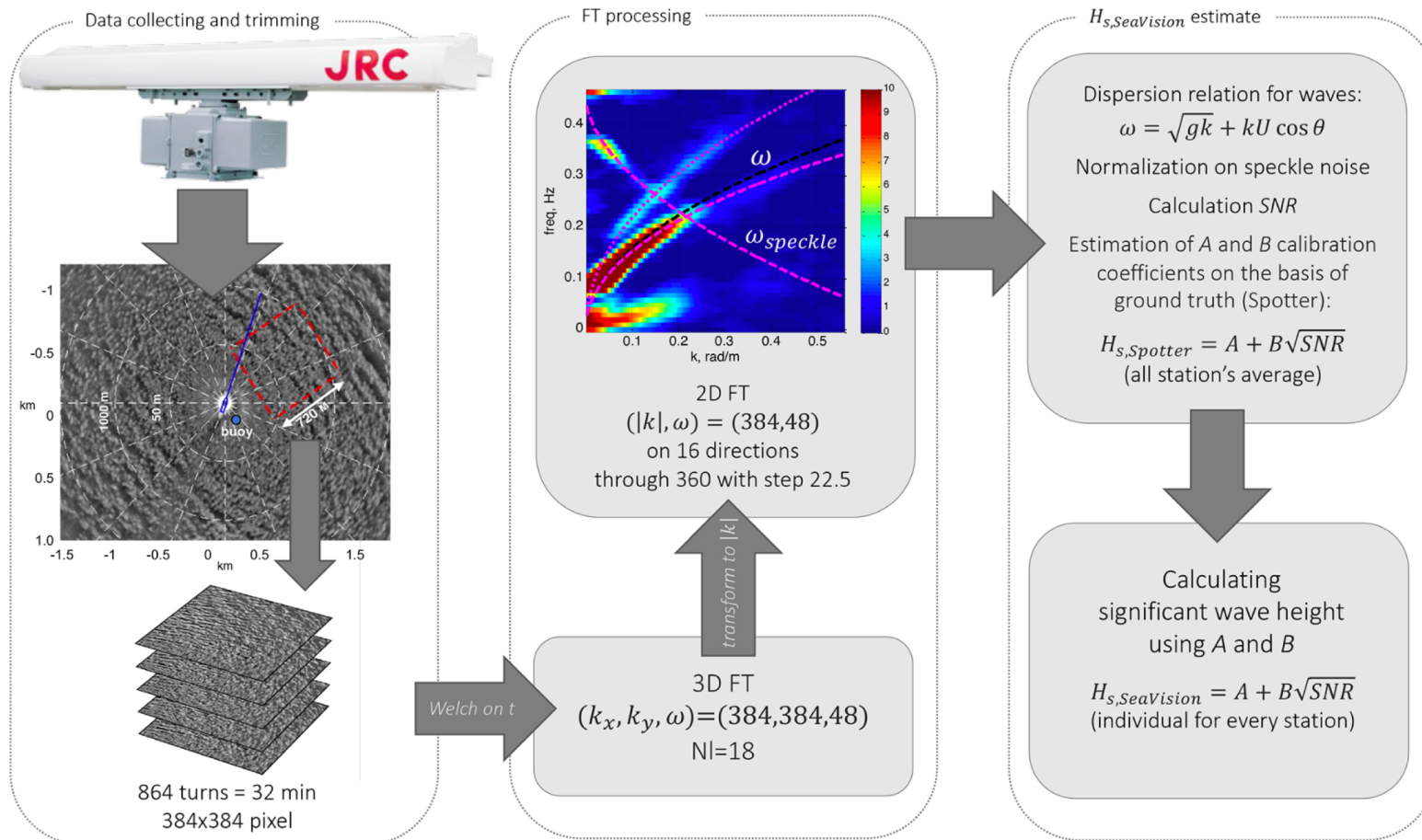
SeaVision*: ADC для судового радара



* Tilinina et al. "Wind waves in the North Atlantic from ship navigational radar: SeaVision development and its validation with the Spotter wave buoy and WaveWatch III." Earth System Science Data 14.8 (2022): 3615-3633.

Классическая обработка данных СНР

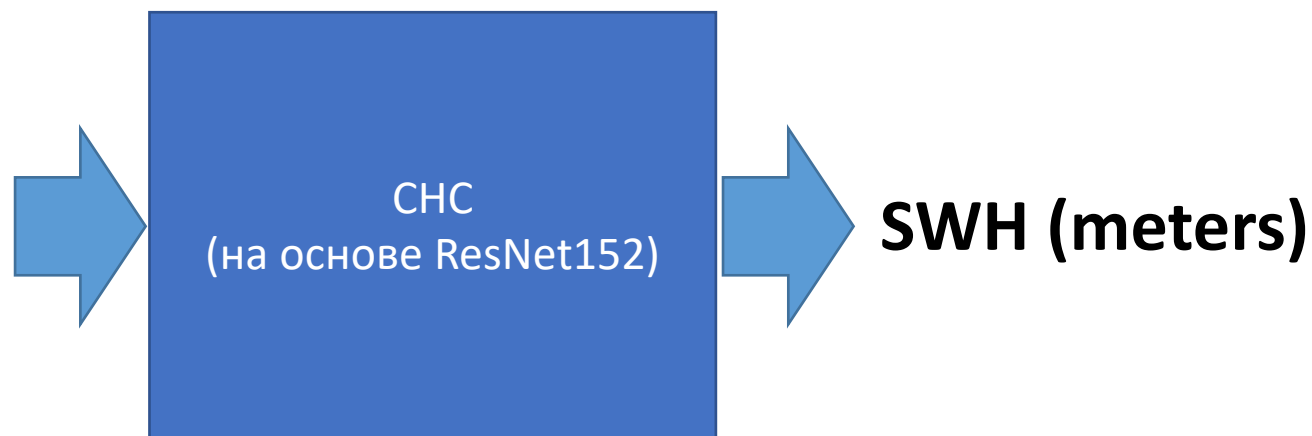
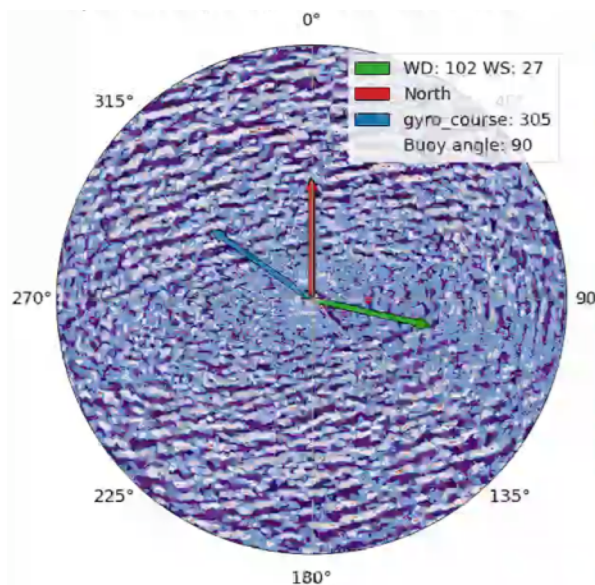
Оценка значимой высоты ветрового волнения (SWH)



- Необходимо выбирать зону обработки (красный прямоугольник);
- Существенный шум в FT-спектре, наличие побочных максимумов;
- Калибровочные коэффициенты A и B специфичны для радара;

Сверточные нейронные сети

для оценки SWH по данным судового навигационного радара



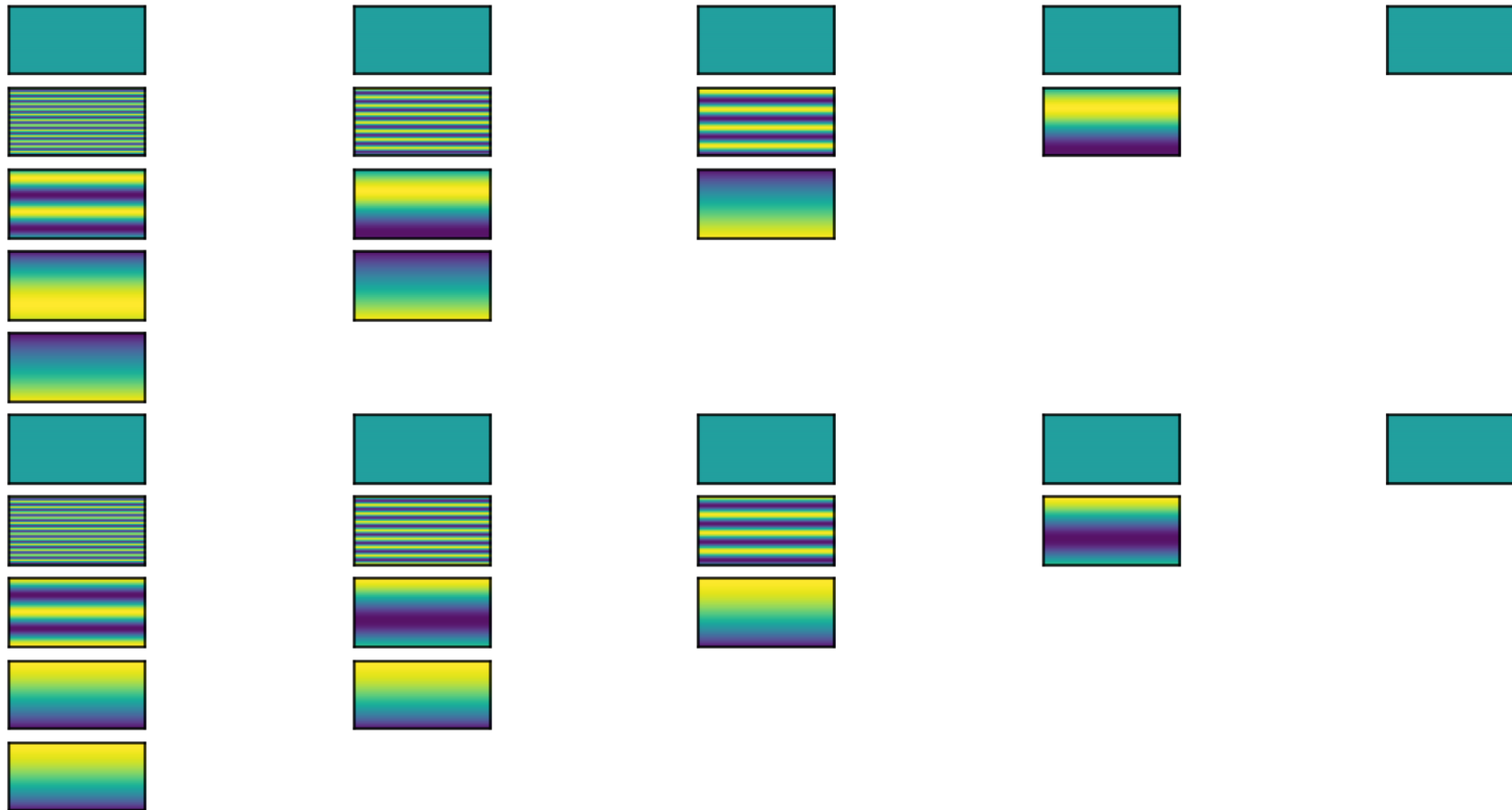
Модификации ResNet152:

- функция активации Mish¹
- Позиционное кодирование по пространственным переменным
- Новая полносвязная часть, выполняющая задачу регрессии SWH

¹ Misra, Diganta. "Mish: A self regularized non-monotonic activation function." *arXiv:1908.08681* (2019).

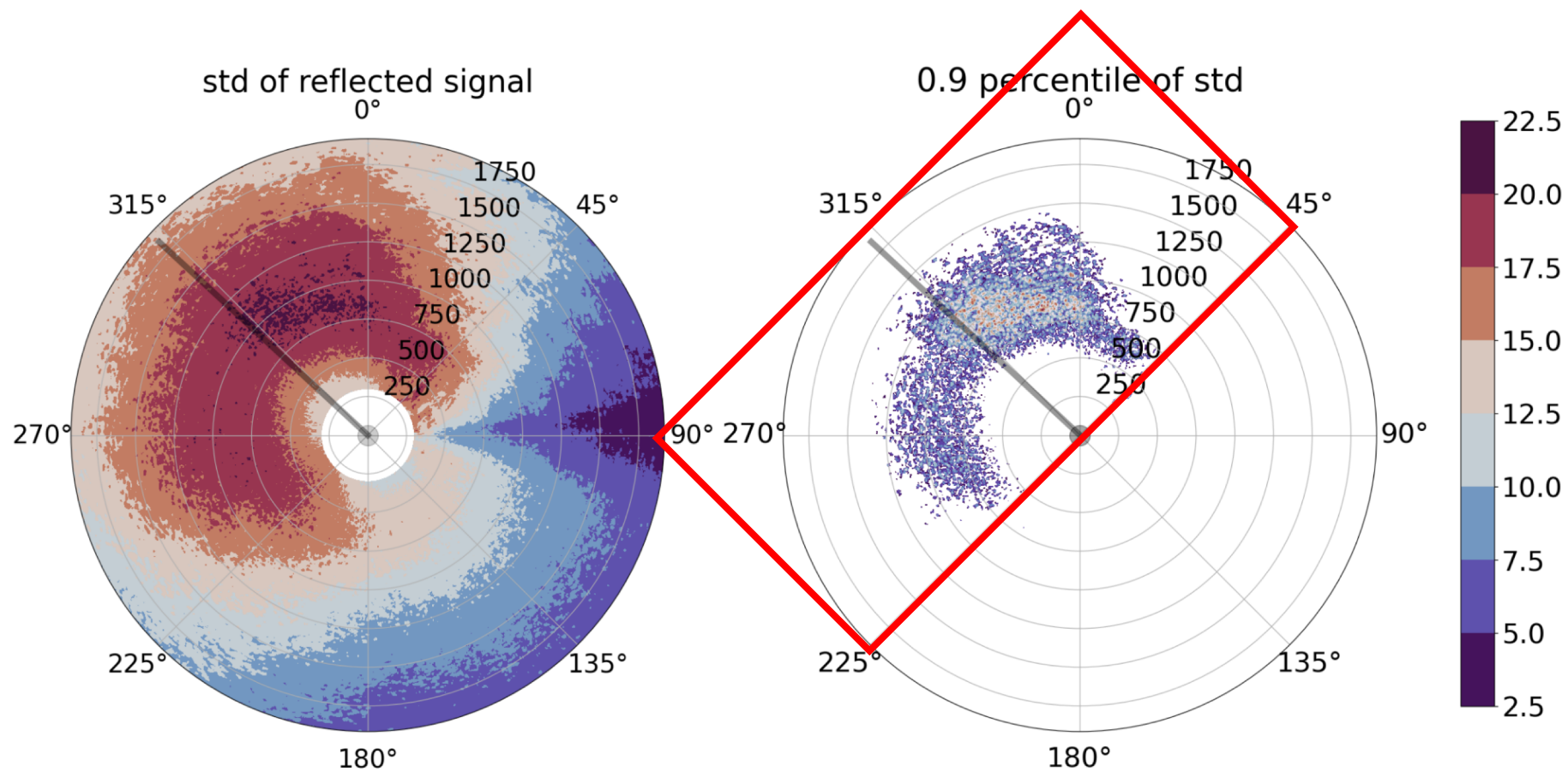
2D позиционное кодирование

Внедрение дополнительных каналов данных, кодирующих пространственные координаты



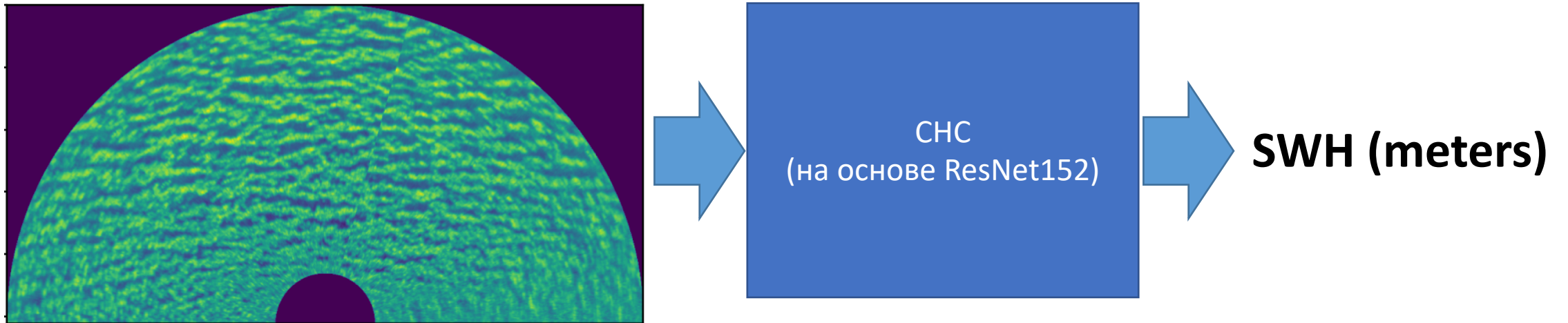
Предобработка данных

Автоматический выбор направления наиболее вариативного сигнала



Сверточные нейронные сети

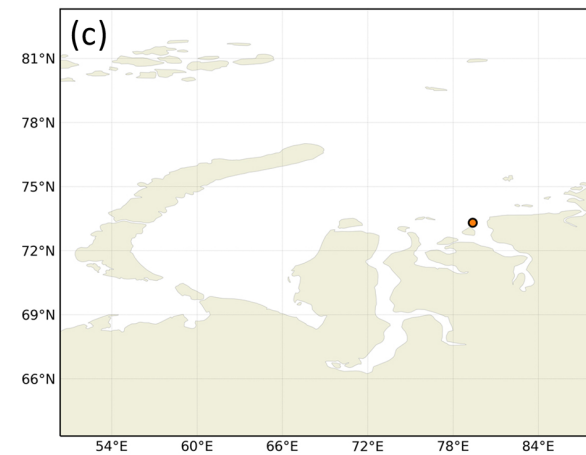
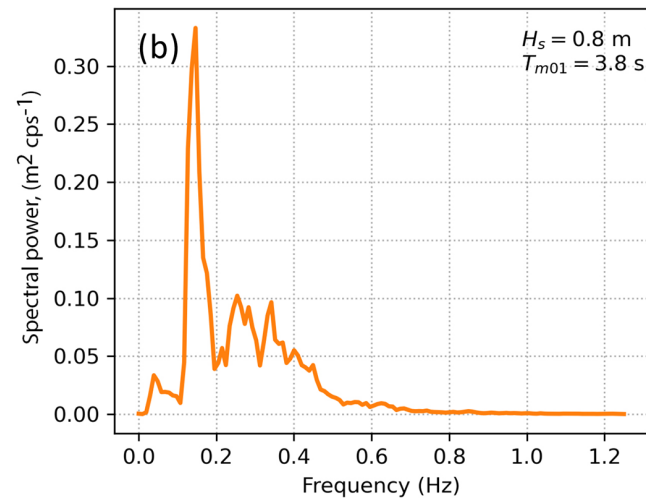
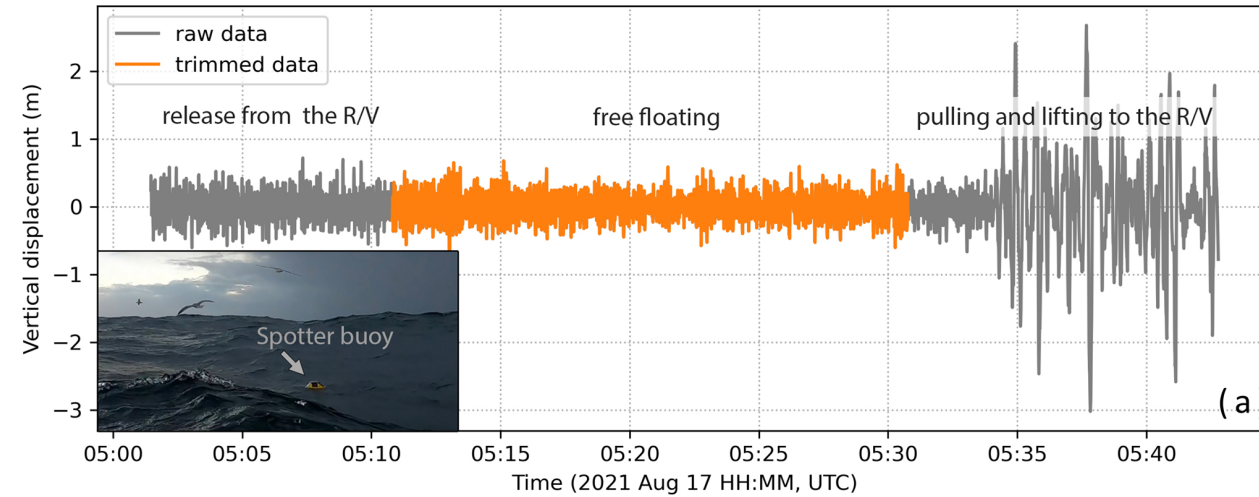
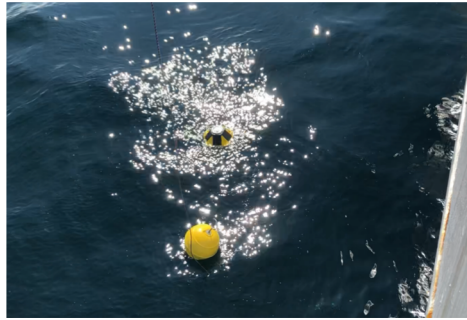
для оценки SWH по данным судового навигационного радара



Аугментации:

- Поворот на $\pm 3^\circ$
- Смещение ($\pm 5\%$ размера изображения)
- Масштабирование ($k = 1 \pm 0.05$)
- Отражение в горизонтальном направлении
- Внедрение нормального шума, скоррелированного по пространству

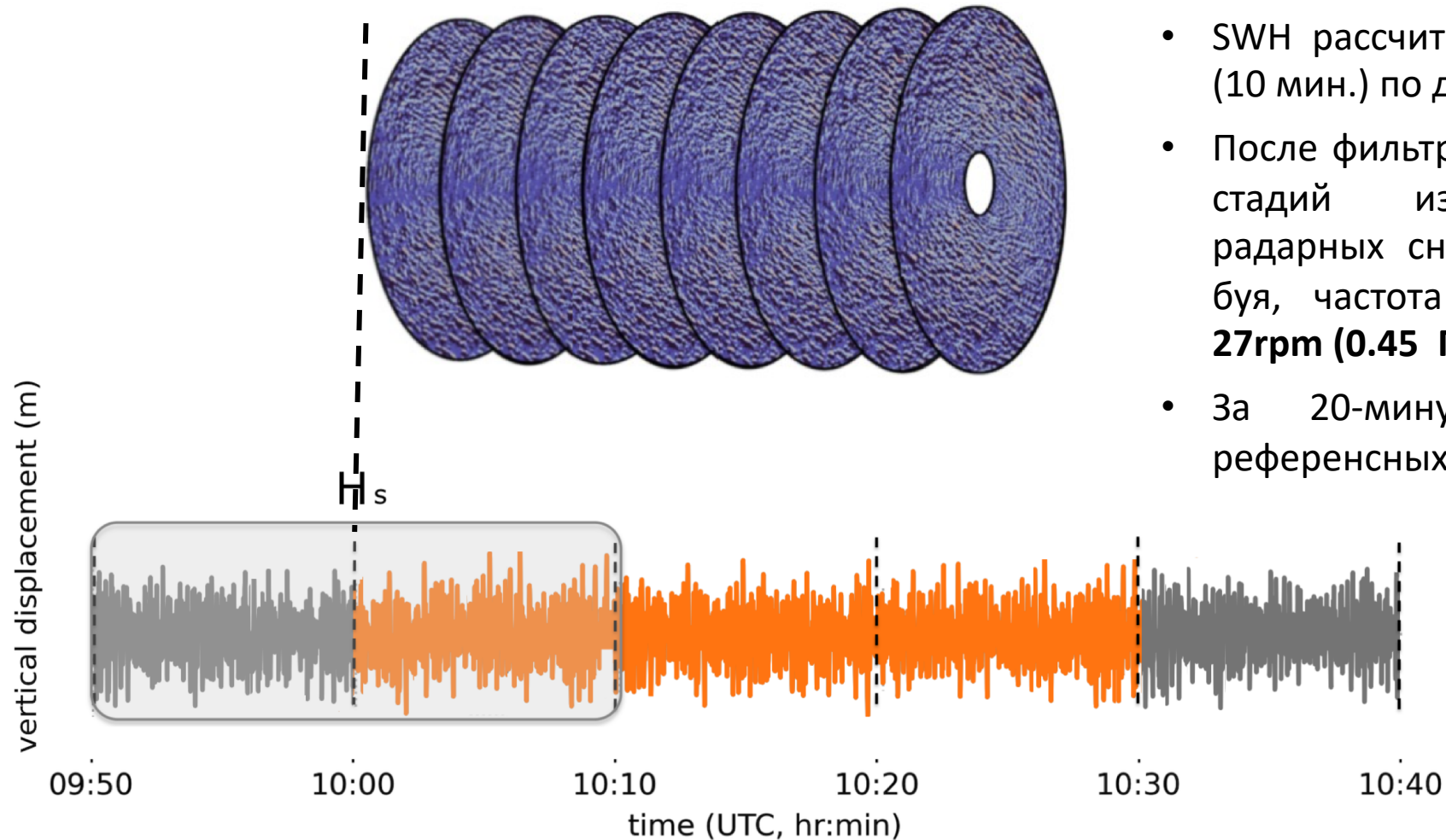
Референсные значения SWH



$$m_{0, buoy} = \int_0^{\infty} S_{buoy}(f) df$$

$$H_{s, buoy} = 4\sqrt{m_{0, buoy}}$$

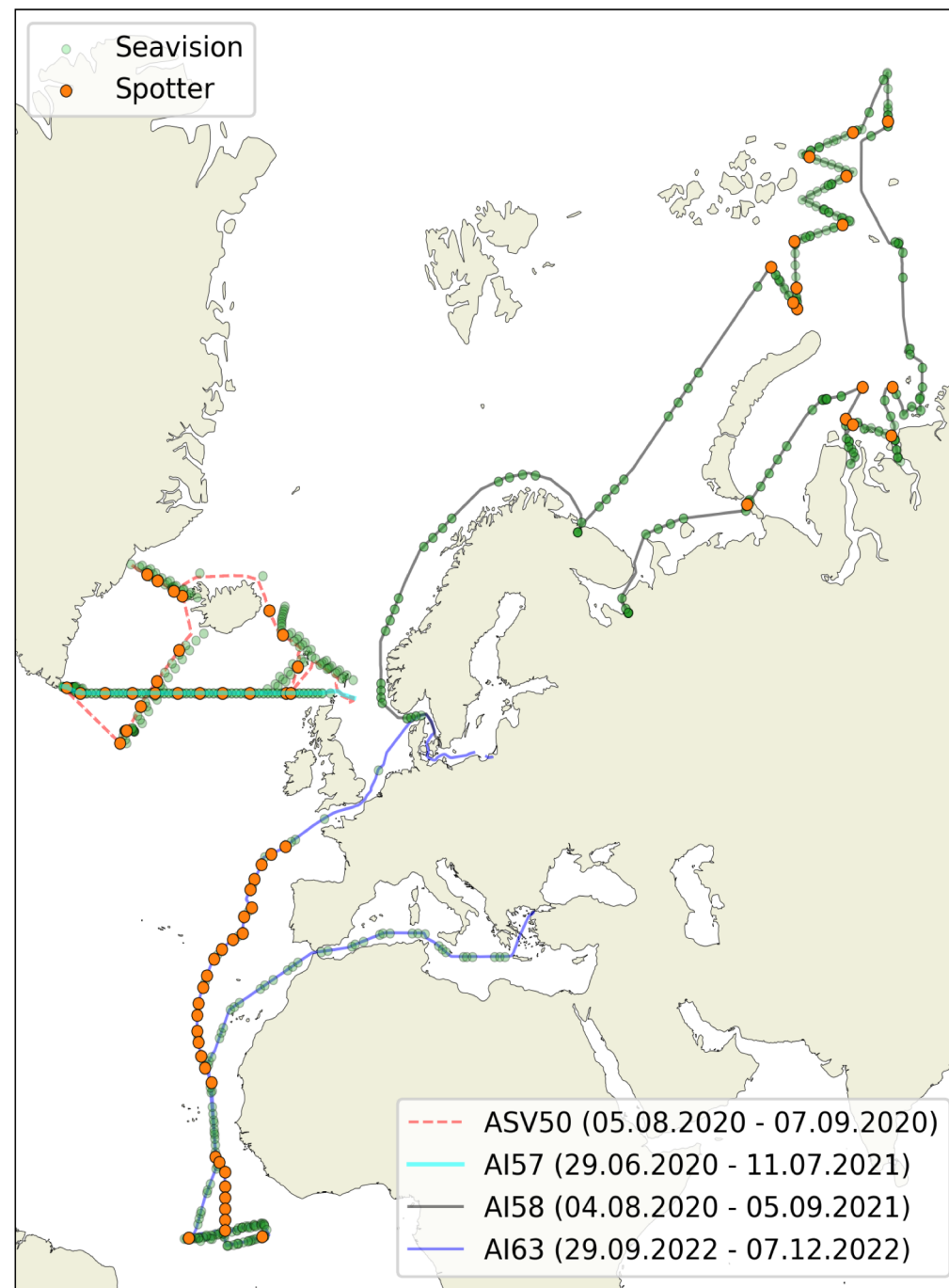
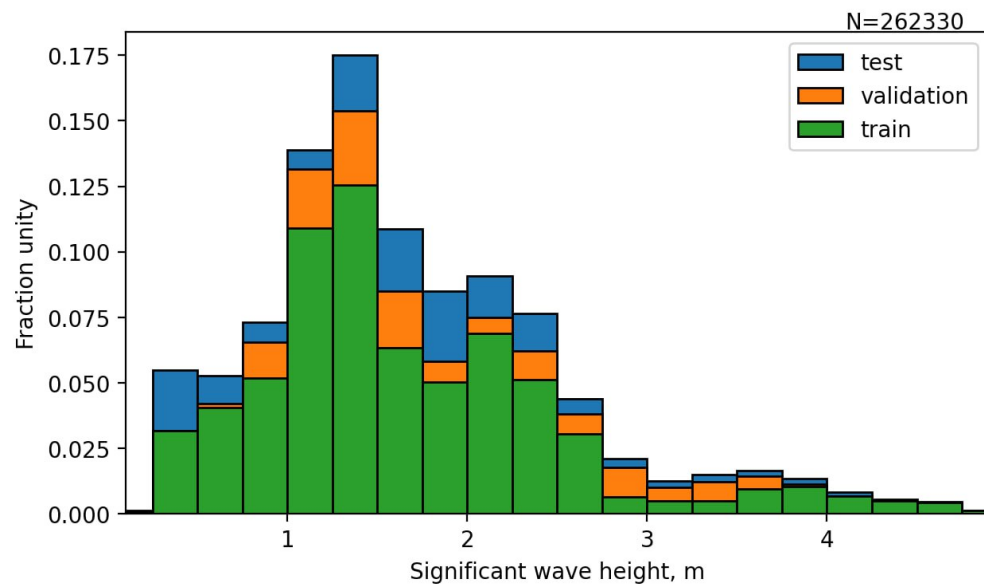
Референсные значения SWH



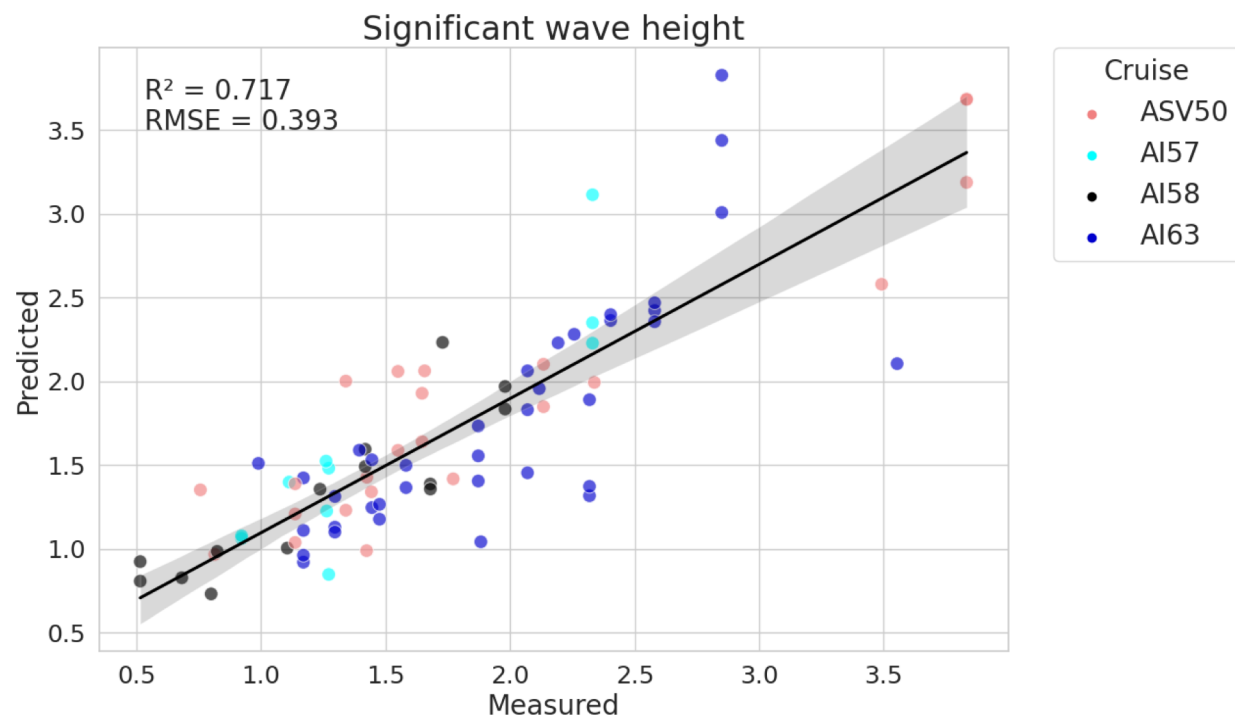
- SWH рассчитывается **скользящим окном** (10 мин.) по данным волномерного буя;
- После фильтрации начальной и конечной стадий измерений, сопоставления радарных снимков оценкам по данным буя, частота референсных значений – **27rpm (0.45 Гц)**;
- За 20-минутный интервал – 540 референсных значений.

Данные

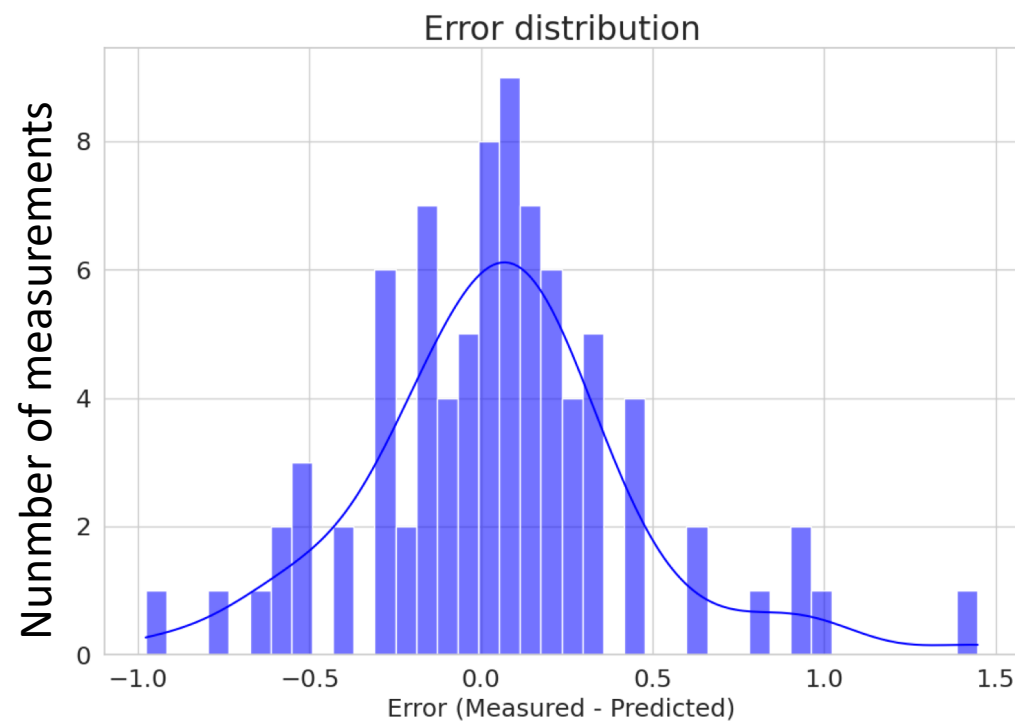
Expedition	Buoy stations	SeaVision stations
ASV50 (05.08.2020 - 07.09.2020)	24	157
AI57 (29.06.2020 - 11.07.2021)	12	76
AI58 (04.08.2020 - 05.09.2021)	16	55
AI63 (29.09.2022 - 07.12.2022)	30	209
Total	82	497



Результаты



$R^2 = 0.72$
 $RMSE = 0.4$



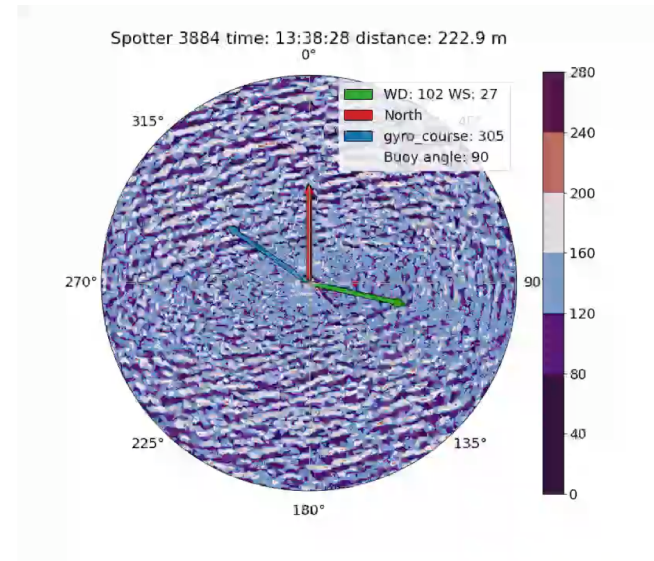
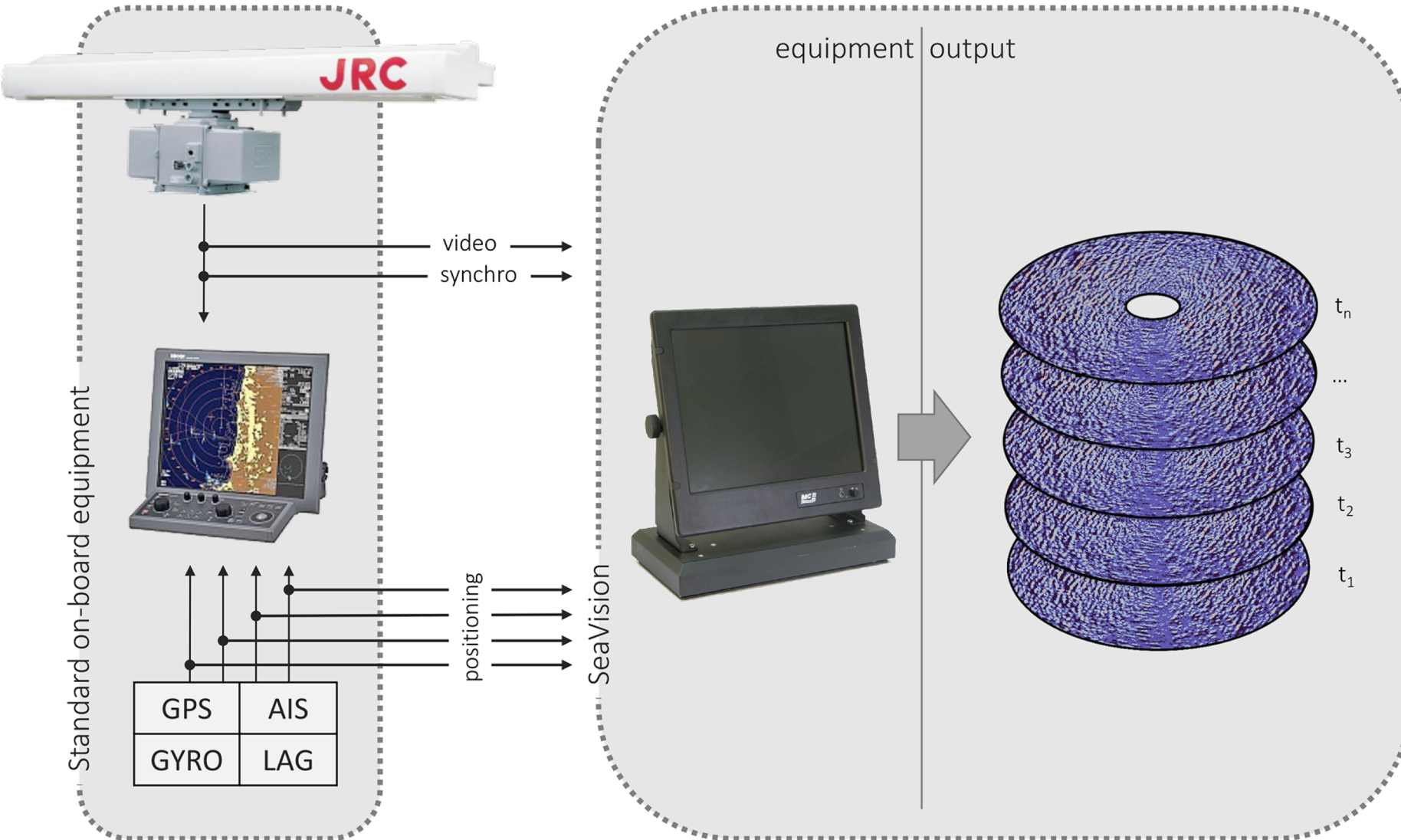
Заключение

- Разработан алгоритм на основе СНС ResNet152 для оценки значимой высоты ветрового волнения по данным судового навигационного радара X-band диапазона;
- Нейросеть обучена на основе данных, накопленных коллективом ИО РАН в экспедициях в Атлантическом и Северном Ледовитом океанах;
- Показатели качества нейросетевого подхода сопоставимы с показателями классического метода;
- Для оценки SWH нейросетевому методу необходим один снимок (в то время как для FT классического метода необходимо 20 минут радарных данных);
- Классический метод калибруется под каждый новый радар (определяются калибровочные коэффициенты A , B дисперсионного соотношения). Для нейросетевого метода такая калибровка не требуется;
- Обобщающую способность нейросетевого метода на новых радарах следует оценить.

Перспективы исследования

- Аппроксимировать период волнения и длину волн;
- Реализовать коррекцию для оценки SWH на ходу;
- Повышать достоверность оценки SWH за счет предварительного обучения на синтетически порожденных примерах (Rezvoy et al., DLCP-2023, №24, June 23, 13:00);
- Повышать достоверность за счет расширения базы референсных значений SWH по данным дистанционного зондирования Земли, по данным визуальных наблюдений, etc.
- Реализовать программный модуль для автоматической оценки характеристик волнения;
- Внедрить измерение характеристик волнения по данным судовых навигационных радаров на судах с установленными IceVision, SeaVision; расширять базу установленных SeaVision.

SeaVision design by MC&S (St. Petersburg)



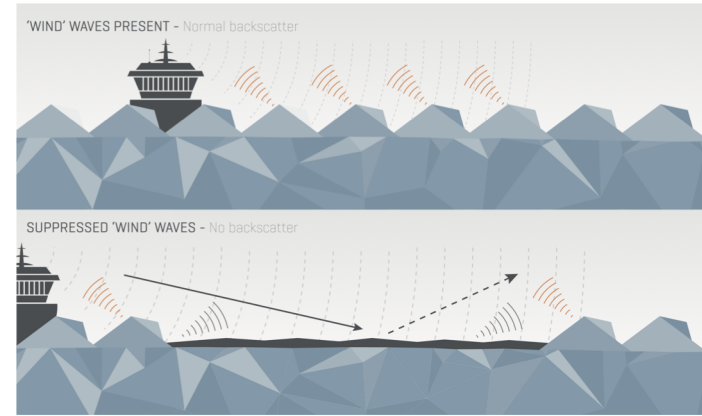
Analogue systems

WaMoS® II
Ocean State Monitoring System

sigma S6 WaMoS® II (wave radar) is a radar-based, wave and surface current monitoring system that delivers real-time measurements while a vessel is underway, providing germane data to the local operational area. High definition images of wave fields combined with numerical data and intuitive graphical reporting keep the operator well-informed in assessing environmental risk and identifying safe operational windows.

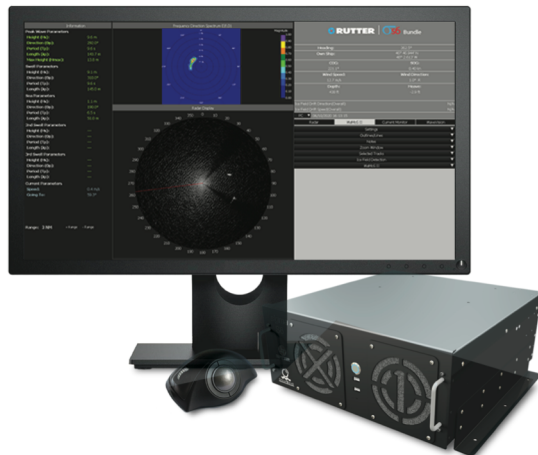
Applications

[BROCHURE](#) [TECH SPECS](#)



Journal of
**Ship&Ocean
Technology**
© DECEMBER 2006

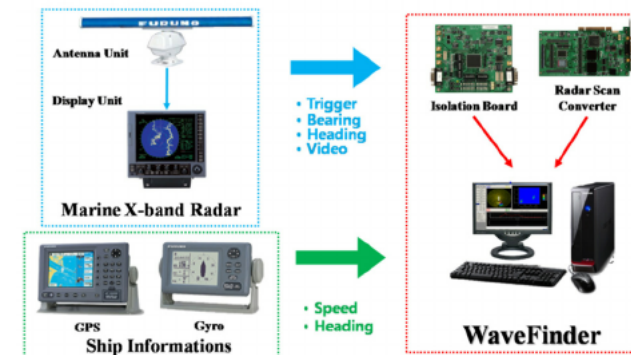
SOTECH Vol. 10, No. 4, pp. 34 ~48, 2006



S6 Suite

- Current Monitor™
- Ice Navigator™
- Oil Spill Detection
- Small Target Surveillance
- WaMoS® II
- WaveSignal™
- WaveVision™

The Application of Marine X-band Radar to Measure Wave Condition during Sea Trial



JRC radars onboard RVs “Academic Sergey Vavilov” and “Academic Ioffe”

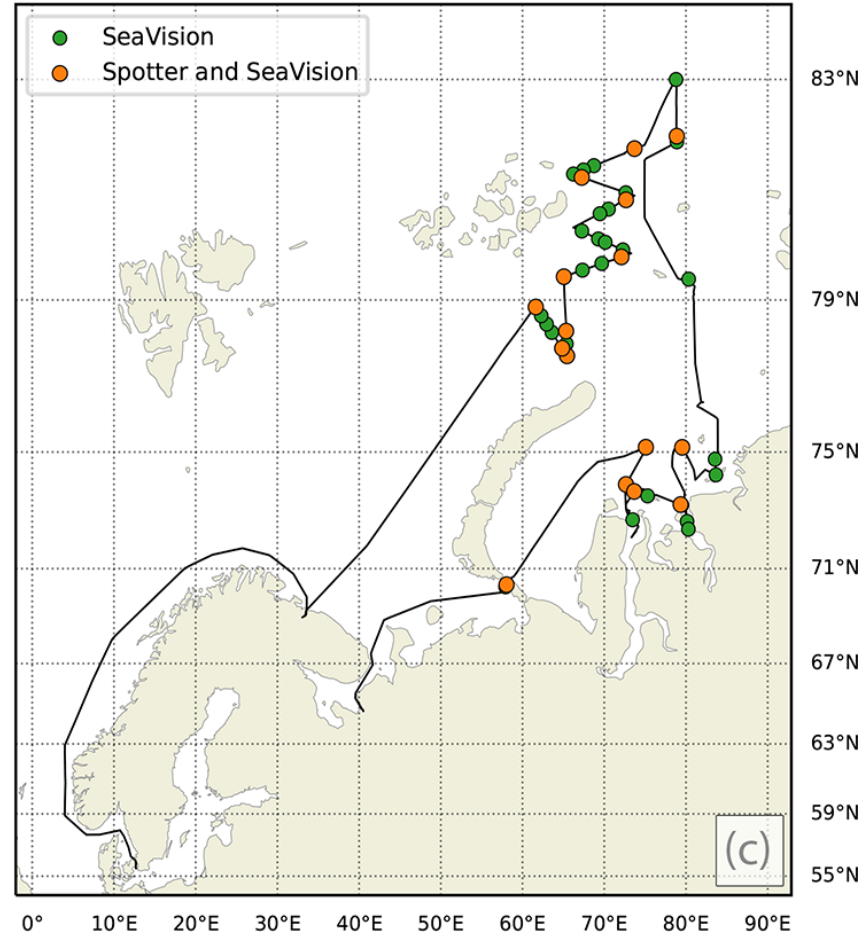
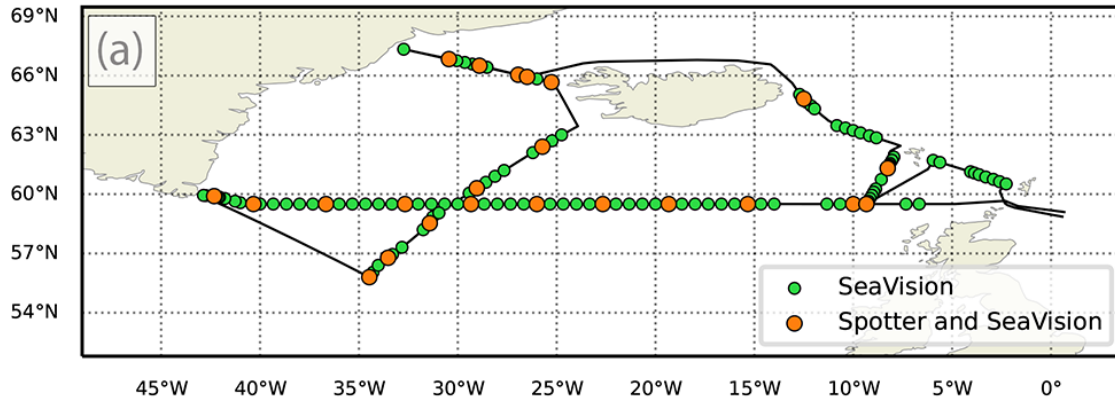
Research vessel	<i>Akademik Sergey Vavilov</i>	<i>Akademik Ioffe</i>
Radar type	JRC JMA-9110-6XA	JMA-9122-6XA
Radar frequency/wavelength	9.41 GHz/3.18 cm	9.41 GHz/3.18 cm
Antenna rotation speed	27 rpm	24 rpm
Impulse power	10 kW	25 kW
Antenna size	6 ft	6 ft
Pulse length mode	0.08 μ s (short pulse)	0.07 μ s (short pulse)
Analogue–digital converter (ADC) frequency/ size of output matrix for one antenna turn	80 MHz/4096 \times 4096	80 MHz/4096 \times 4096
Azimuthal coverage/resolution	0–360°/1.2°	0–360°/1.2°
Distance range	231.5–2778 m	231.5–2778 m
Range resolution	12 m	10.5 m
Analogue–digital converter frequency/ size of output matrix for one antenna turn	80 MHz/4096 \times 4096	80 MHz/4096 \times 4096
Calibration coefficients A and B	A = -0.4042, B = 1.0034	A = -0.4042, B = 1.0034



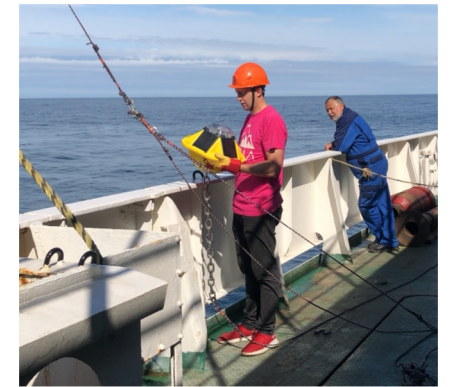
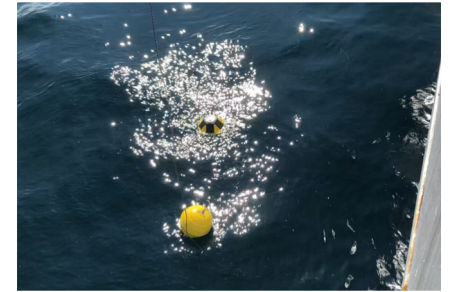
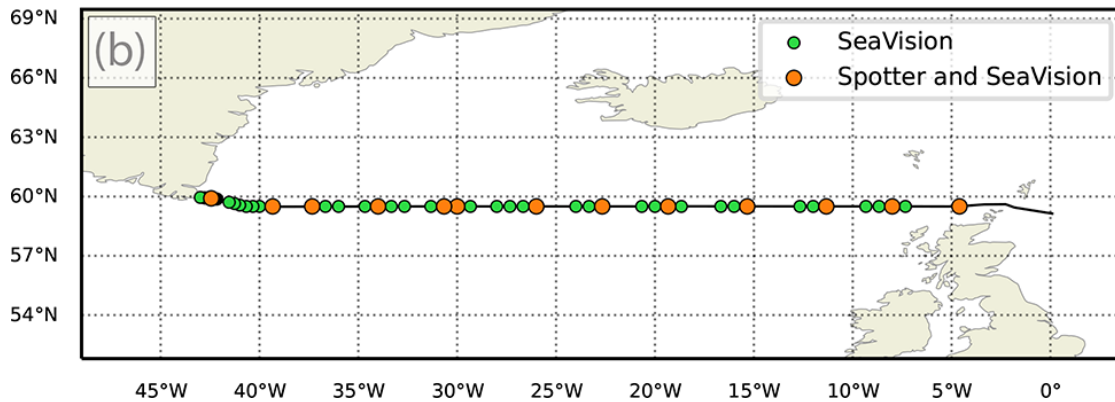
Cruises and Spotter buoys

Cruise 50 by RV "Akademik Sergey Vavilov" (Aug 2020)

Cruise 58 by RV "Akademik Ioffe" (Aug 2021)



Cruise 57 by RV "Akademik Ioffe" (Jul 2021)



PANGAEA.

Data Publisher for Earth & Environmental Science

SEARCH SUBMIT HELP ABOUT CONTACT

Citation:

Gavrikov, Alexander; Ivonin, Dmitry; Sharmar, Vitaly; Tilinina, Natalia; Gulev, Sergey; Suslov, Alexander; Fadeev, Vladimir; Trofimov, Boris; Bargman, Sergey; Salavatova, Leysan; Koshkina, Vasilisa; Shishkova, Polina; Sokov, Alexey (2021): Wind waves in the North Atlantic and Arctic from ship navigational radar (SeaVision system) and wave buoy Spotter during three research cruises in 2020 and 2021. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.939620>

Always quote citation above when using data! You can download the citation in several formats below.