



# Система судовых наблюдений ветровых волн судовым радаром: апробация комплекса **SeaVision** в Северной Атлантике

- Источники данных о волнах в океане
- Sea-Vision: способ использовать стандартные навигационные радары
- Развитие методологии расчета
- Валидация волновой буй **Spotter** и модель **WaveWatchIII**
- Перспективы



Н. Тилинина, Д. Ивонин, А. Гавриков, В. Шармар, **С. Гулев**, А. Суслов, В. Фадеев, Б. Трофимов, С. Баргман, Л. Салаватова, В. Кошкина, П. Шишкова, Е. Ежова, М. Криницкий, О. Разоренова, П. Колтерманн, В. Терещенков, А. Соков

## Историческое развитие и связь

### **Морские комплексы и системы (Санкт-Петербург)**

Трофимов, Баргман, Фадеев

### **ИОРАН**

Соков

### **ИОРАН, Лаборатория взаимодействия океана и атмосферы и мониторинга климатических изменений**

Гулев, Тилинина, Гавриков, Шармар и К

### **ИОРАН, Лаборатория нелинейных волновых процессов**

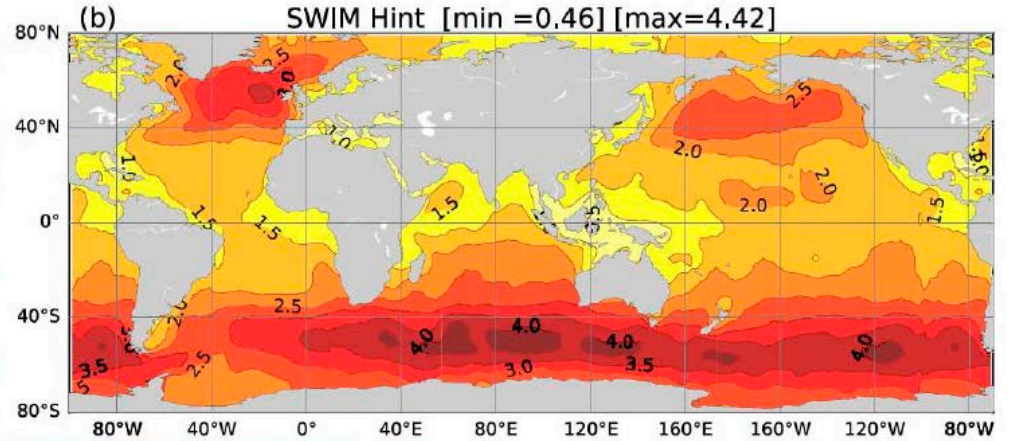
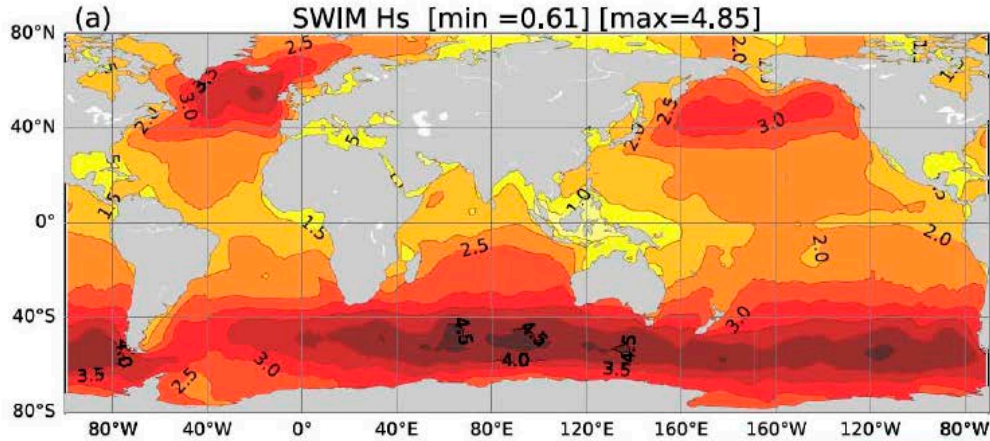
Бадулин, Ивонин

### **ИЗМИРАН**

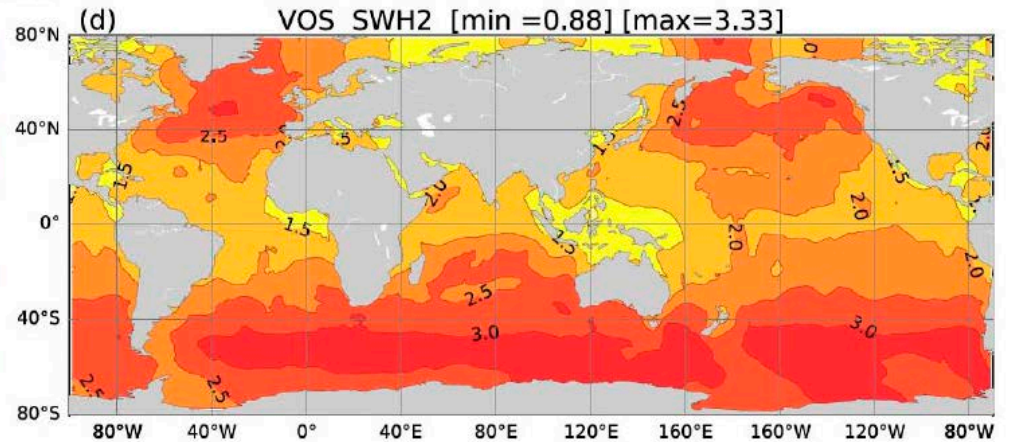
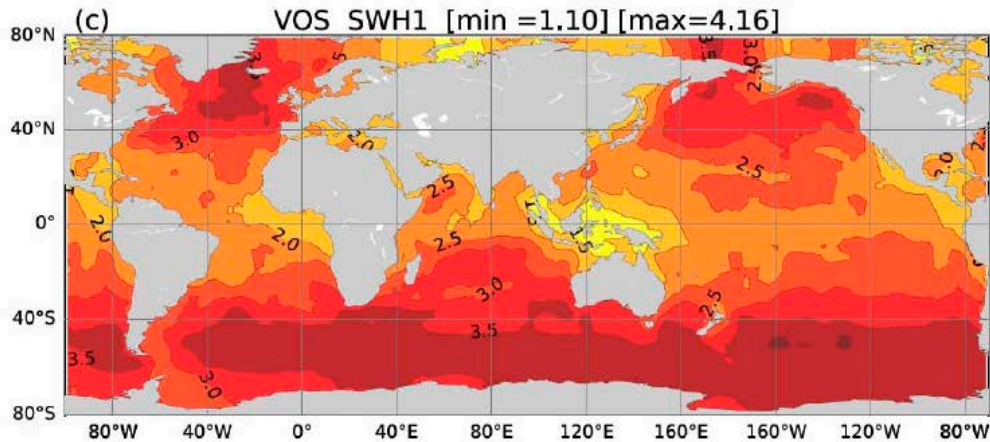
Телегин

# Источники глобальных данных о ветровых волнах: спутники vs. VOS

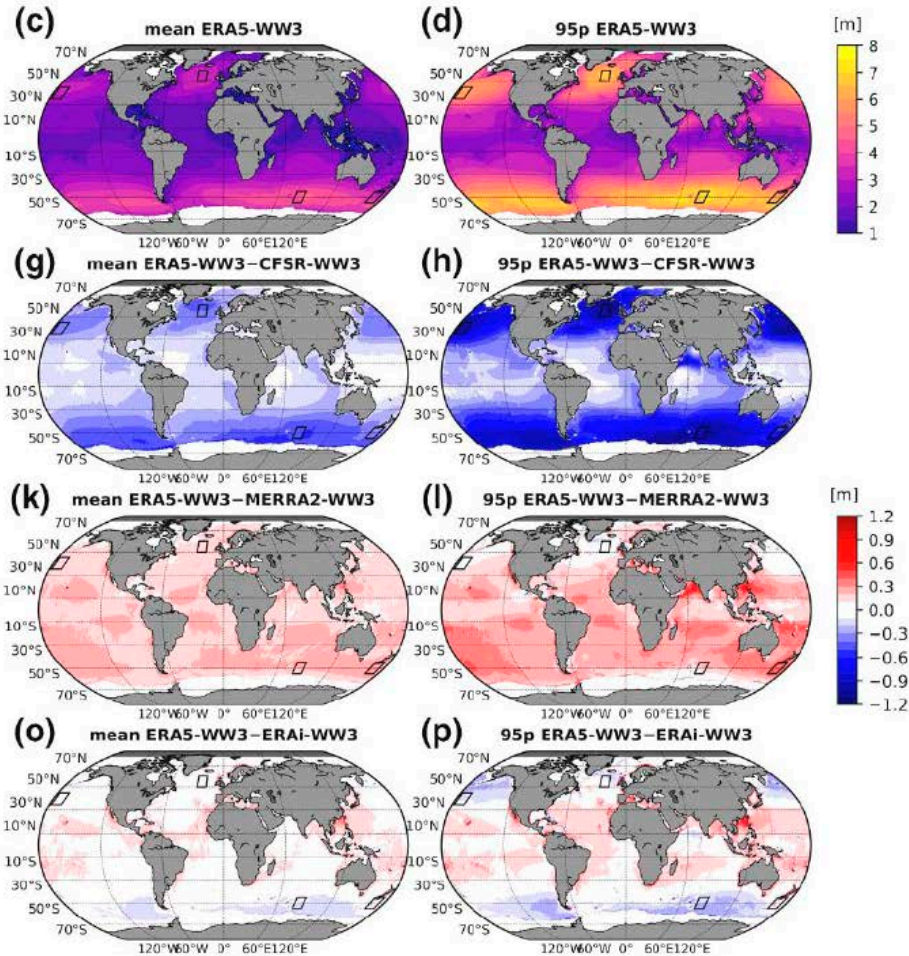
**SWIM (Surface Waves Investigation and Monitoring instrument)**



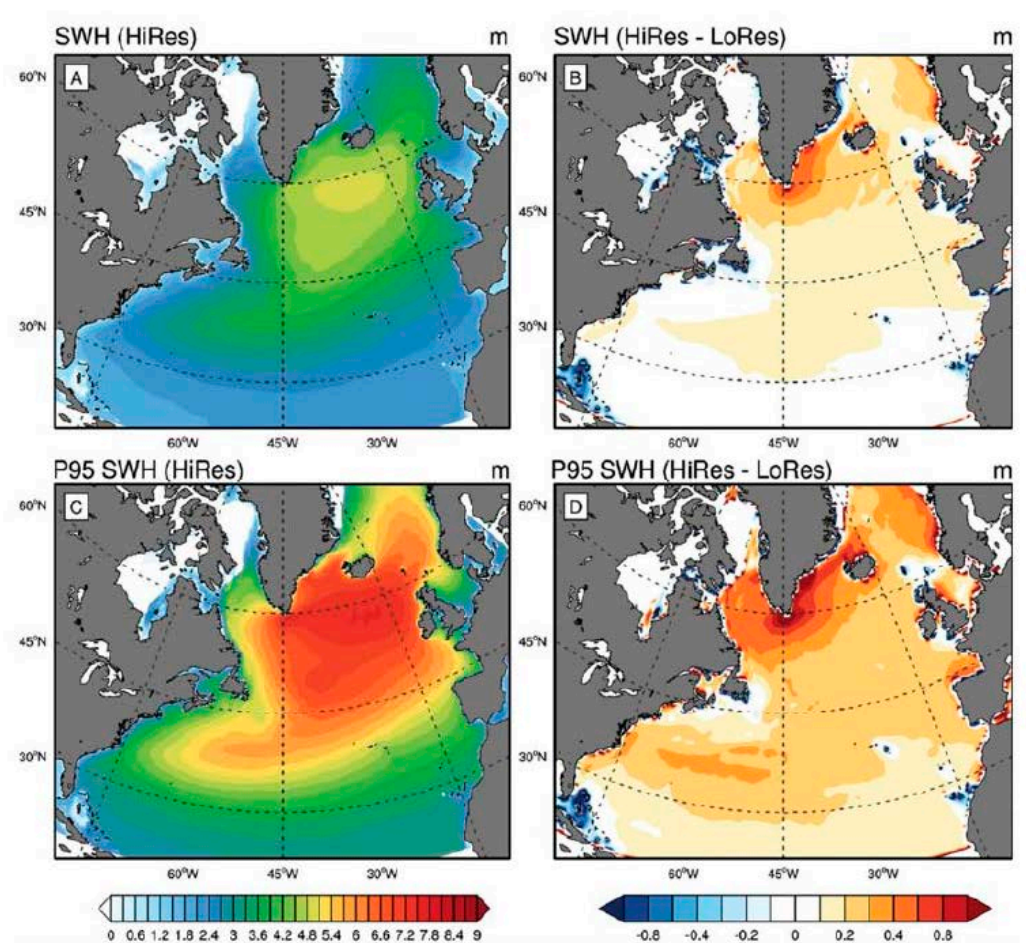
0 1 2 3 4 5 H,m



# Источники глобальных данных о ветровых волнах: моделирование

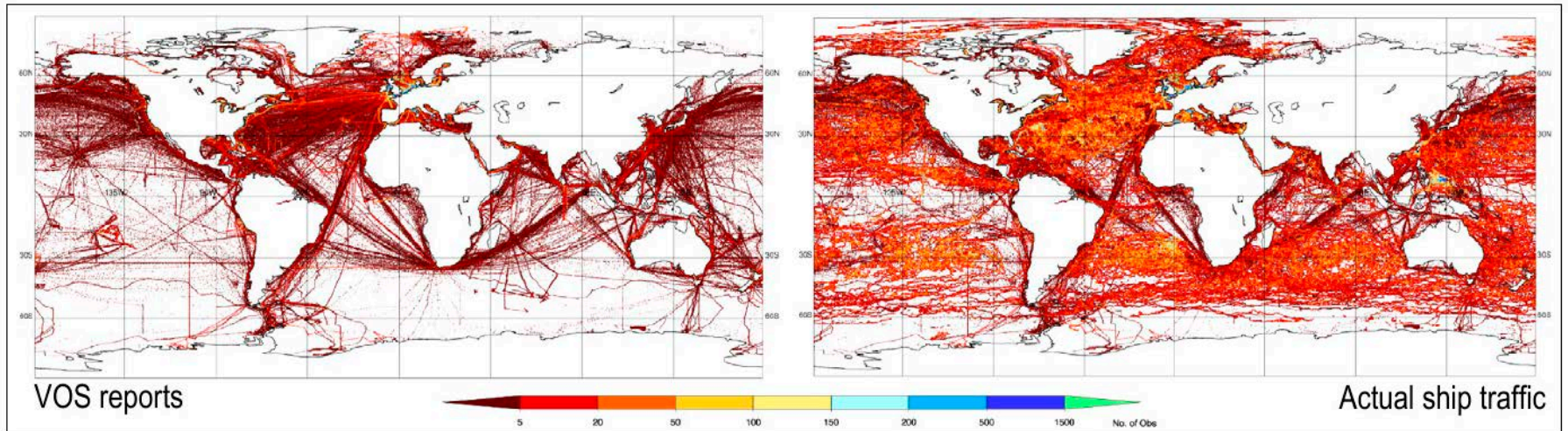
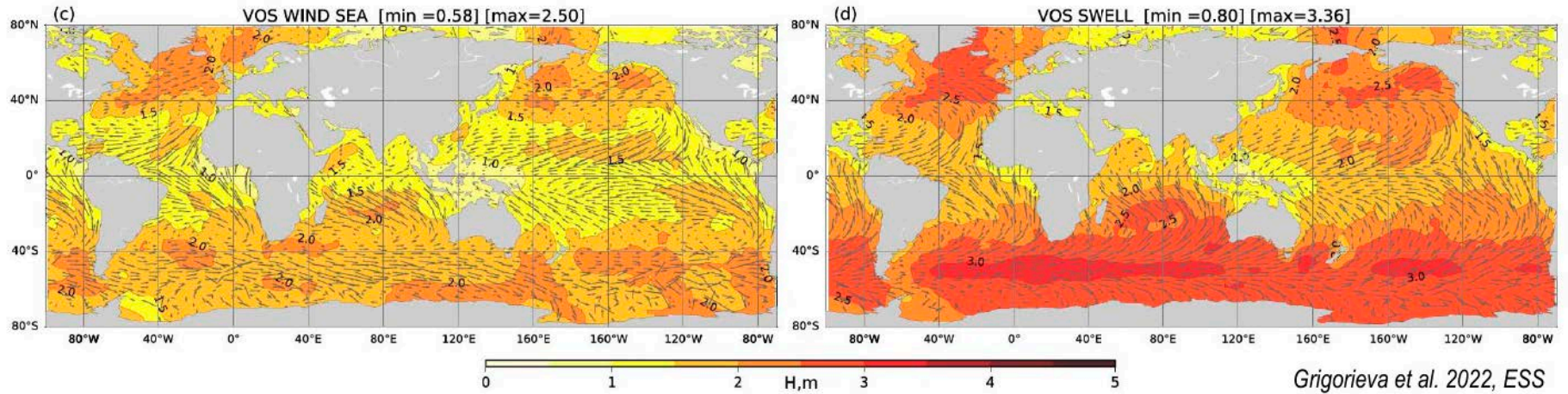


Sharmar et al. 2021, JGR

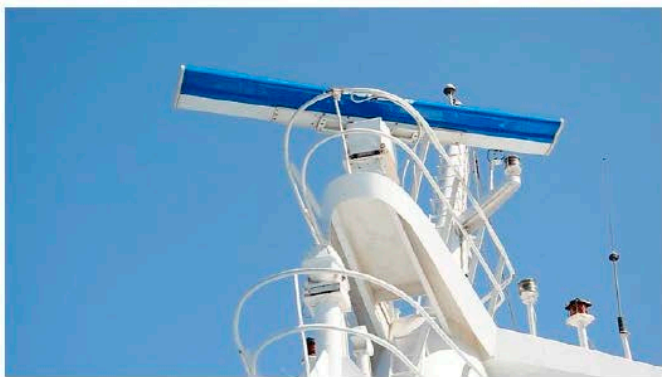
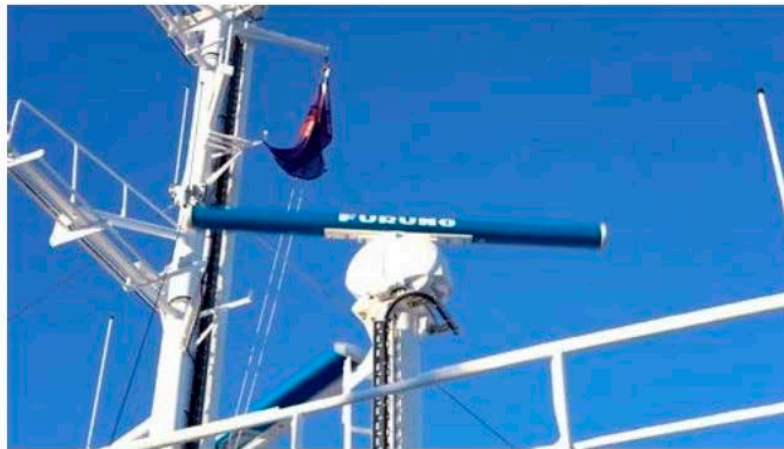


Gavrikov et al. 2020, JAMC

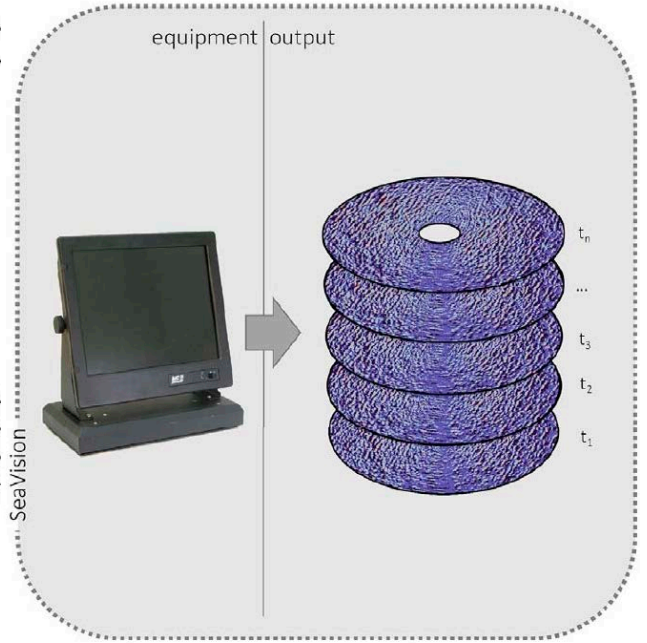
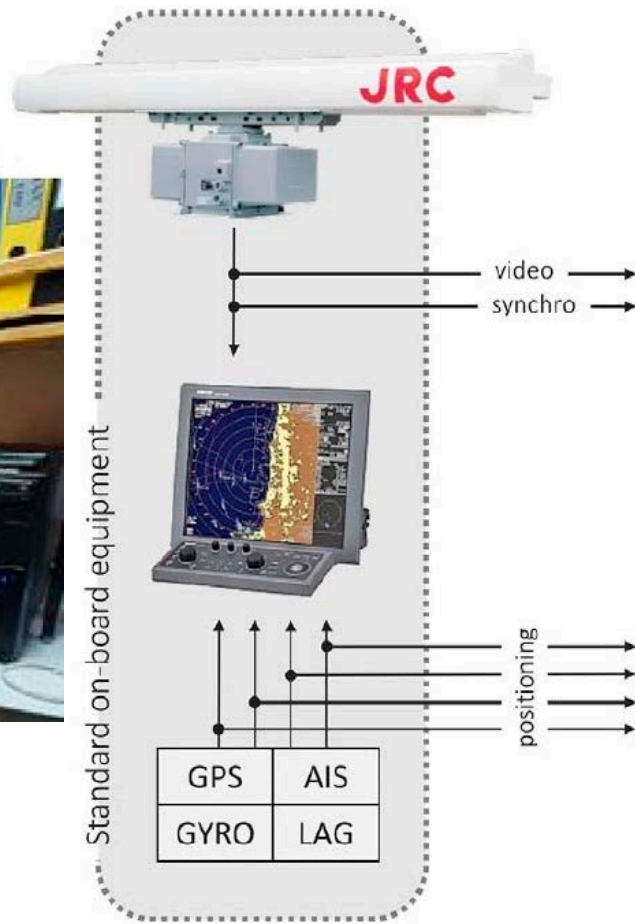
# Источники глобальных данных о ветровых волнах: проблемы с плотностью покрытия VOS



## Идеи из разряда: что еще придумать?



# Радарная приставка IceVision → SeaVision: разработка MCS Group (Санкт-Петербург)



# Радары НИС “Академик Сергей Вавилов” и “Академик Иоффе”

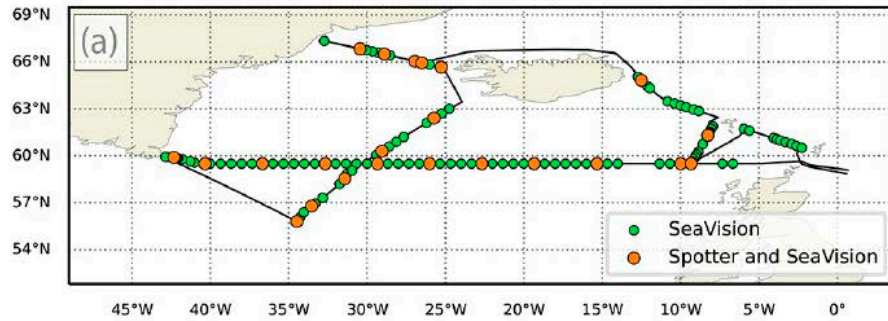
Research vessel	<i>Akademik Sergey Vavilov</i>	<i>Akademik Ioffe</i>
Radar type	JRC JMA-9110-6XA	JMA-9122-6XA
Radar frequency/wavelength	9.41 GHz/3.18 cm	9.41 GHz/3.18 cm
Antenna rotation speed	27 rpm	24 rpm
Impulse power	10 kW	25 kW
Antenna size	6 ft	6 ft
Pulse length mode	0.08 $\mu$ s (short pulse)	0.07 $\mu$ 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



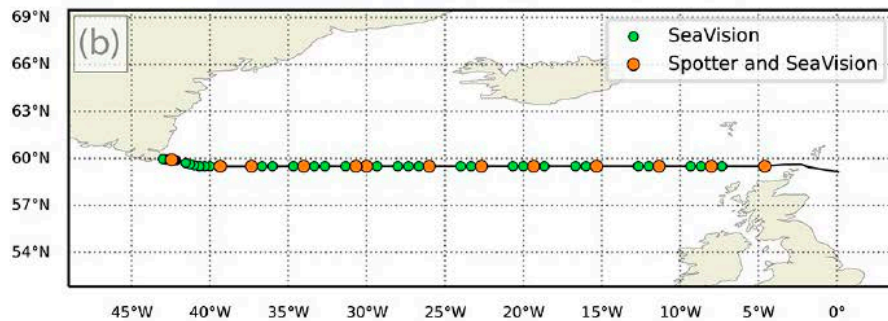


# Рейсы (Северная Атлантика 2020-2021 и Карское море 2021) радарные и буйковые измерения

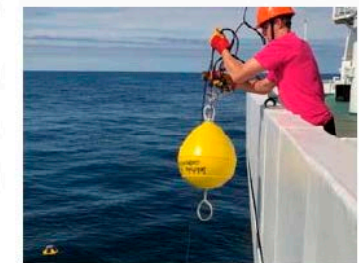
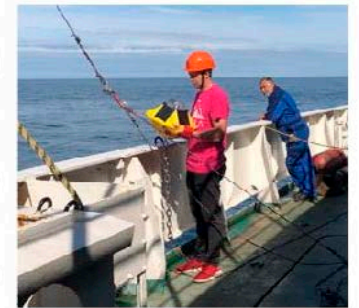
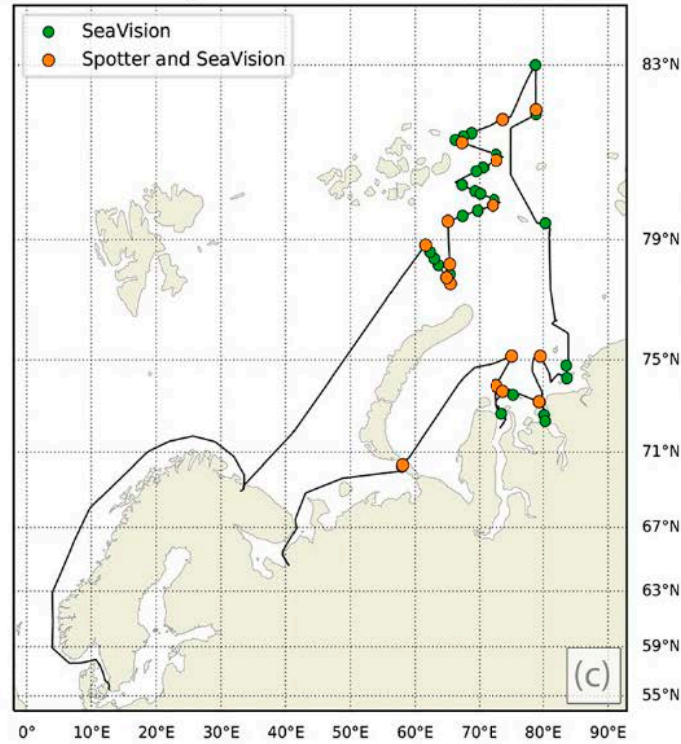
Cruise 50 by RV "Akademik Sergey Vavilov" (Aug 2020)



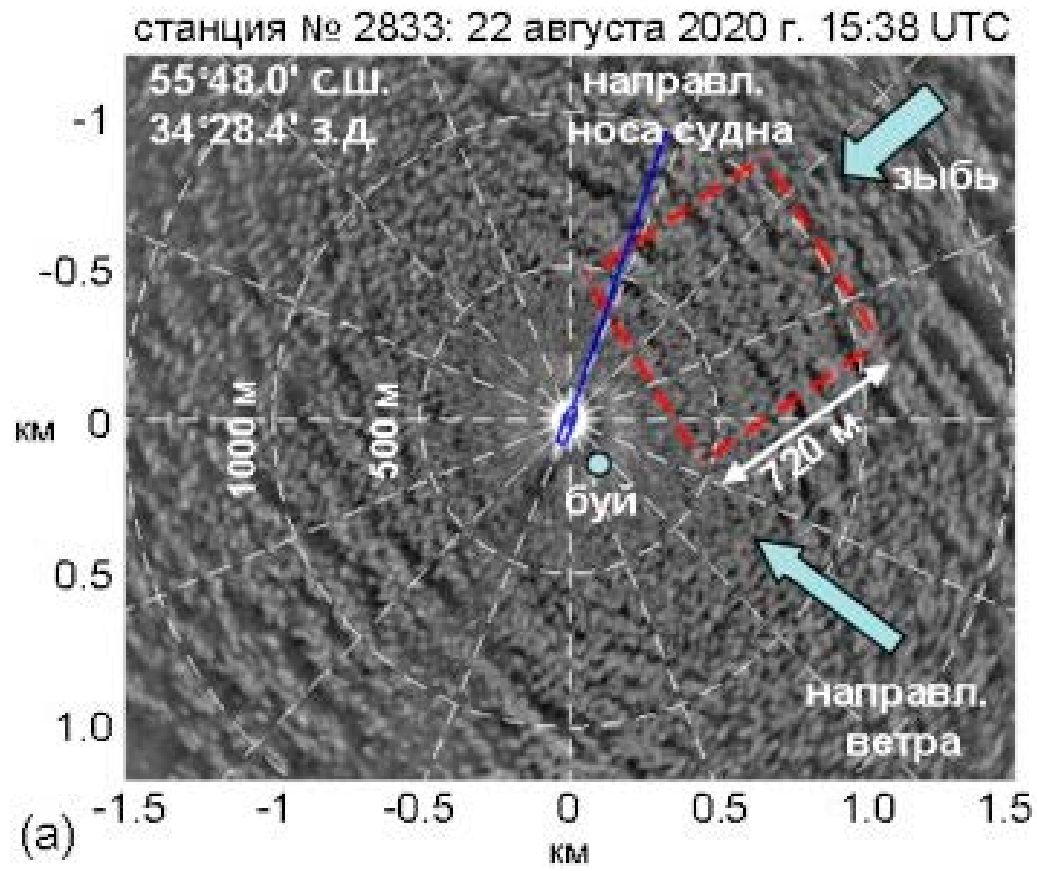
Cruise 57 by RV "Akademik Ioffe" (Jul 2021)



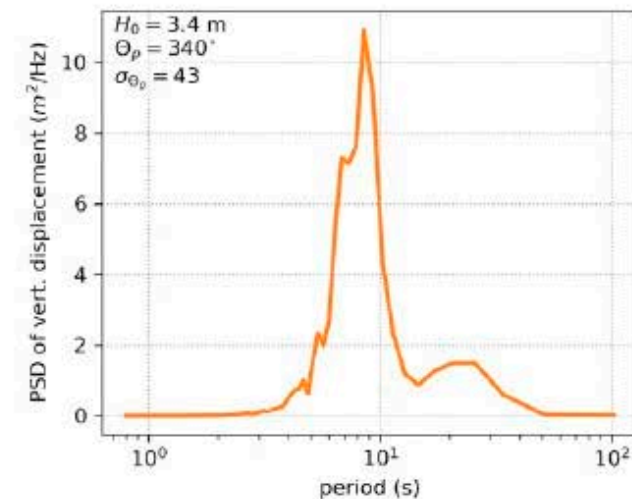
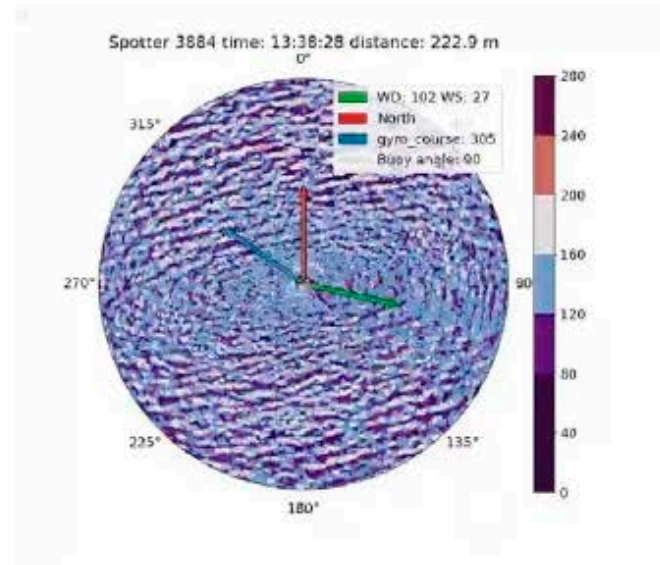
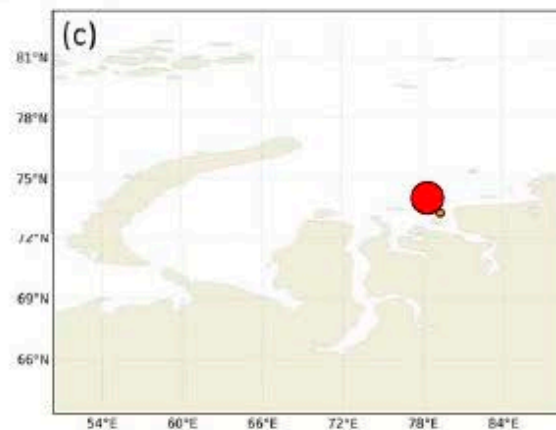
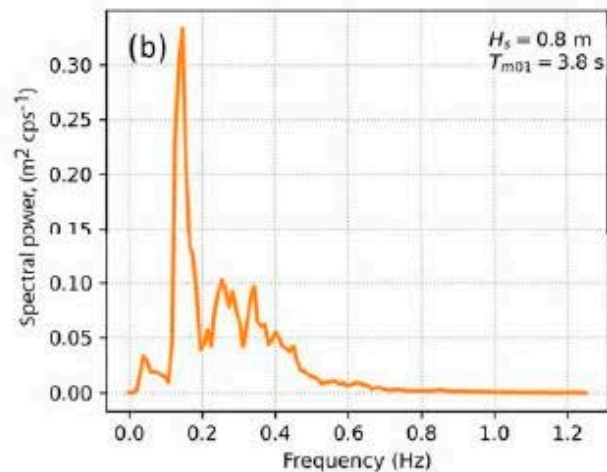
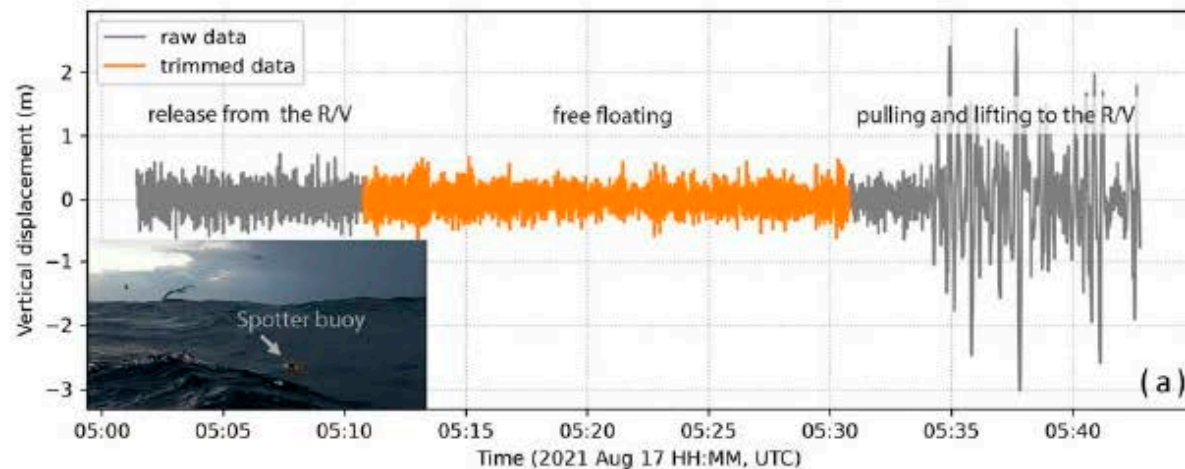
Cruise 58 by RV "Akademik Ioffe" (Aug 2021)



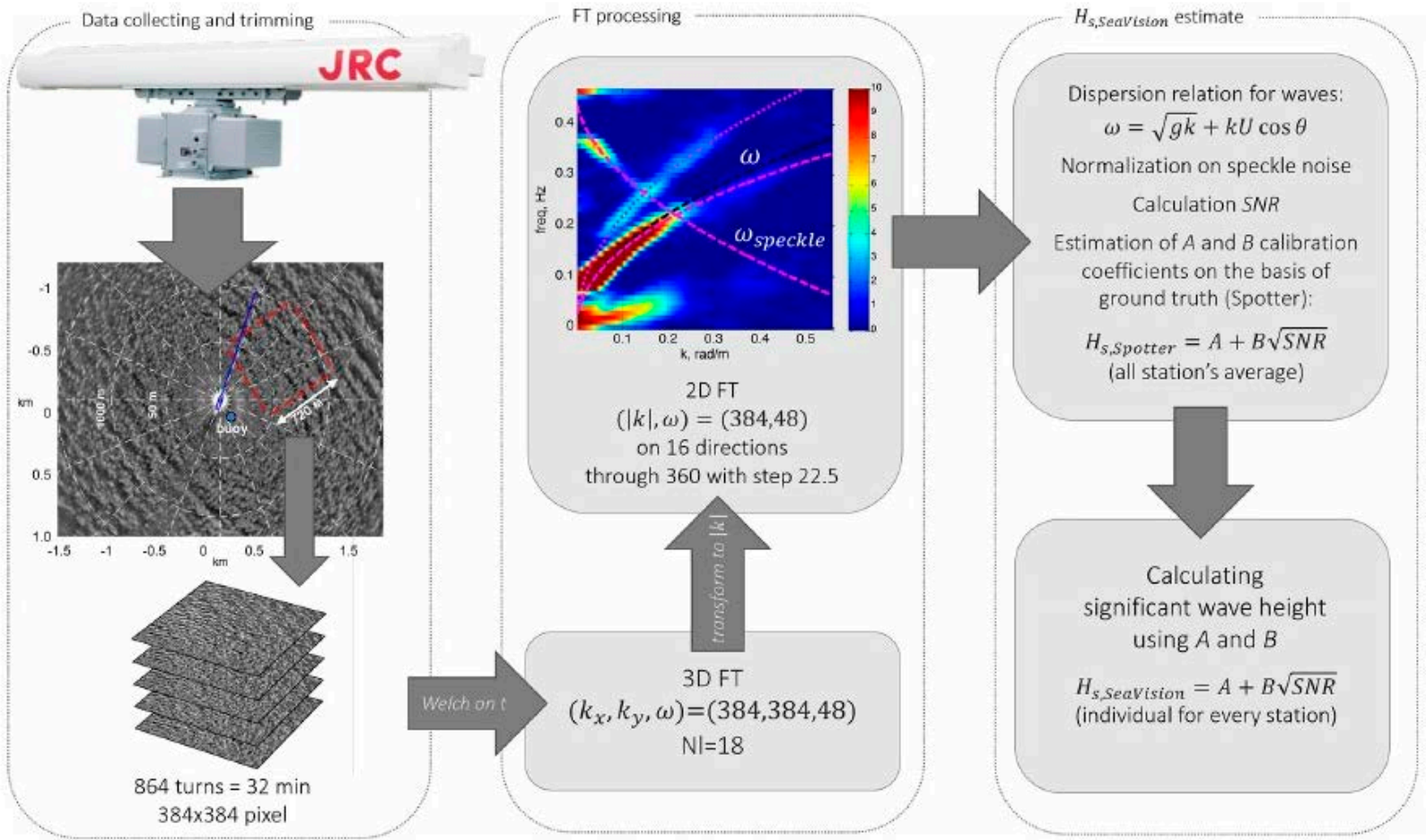
## Радарная картинка во время измерений



# Буйковые измерения Spotter и радарные JRC



# Радарные данные: полная схема обработки сигнала



## Из приятного: иногда идеально все красиво

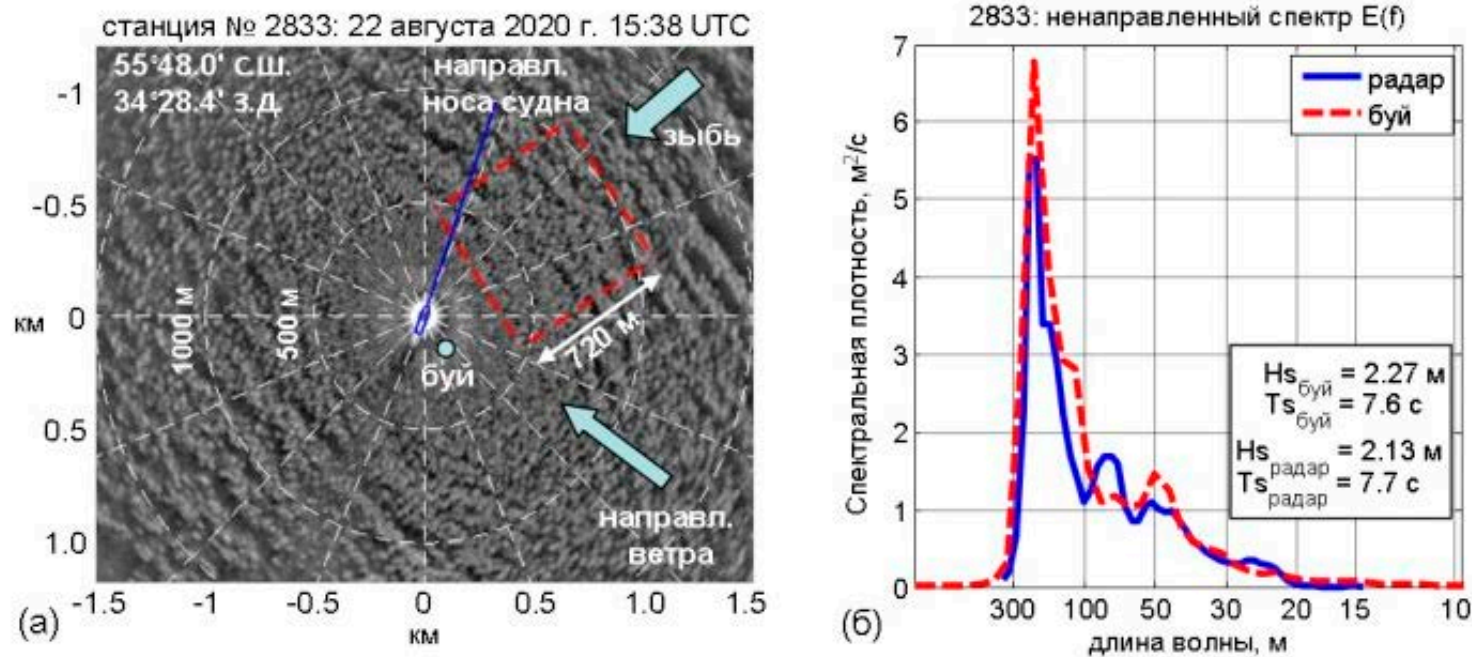
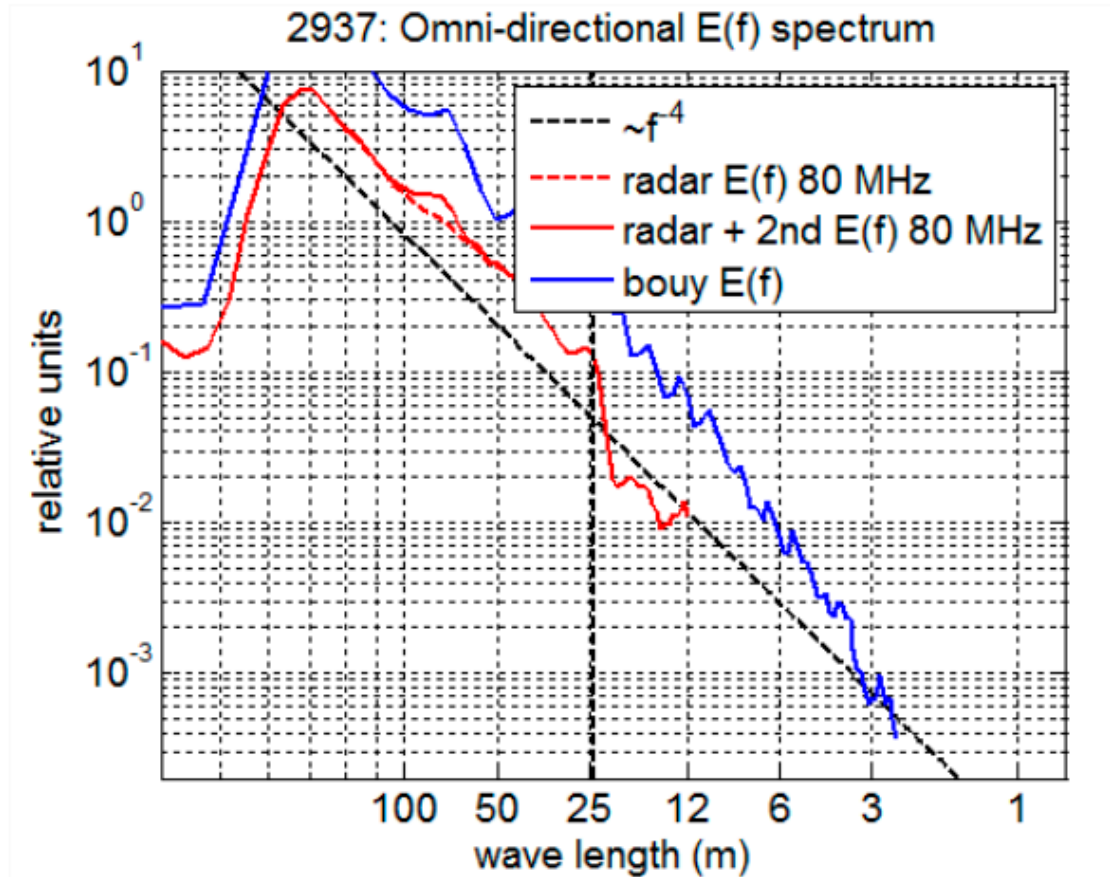


Рис. 1 – (а) Фрагмент радиолокационного (РЛ) изображения на станции № 2833, север находится сверху, контуром в центре и линией показаны текущая ориентация судна, квадратом обозначена область обработки РЛ сигнала. (б) Сравнение частотного ненаправленного спектра  $E(f)$  по данным радара и буя для станции № 2833.

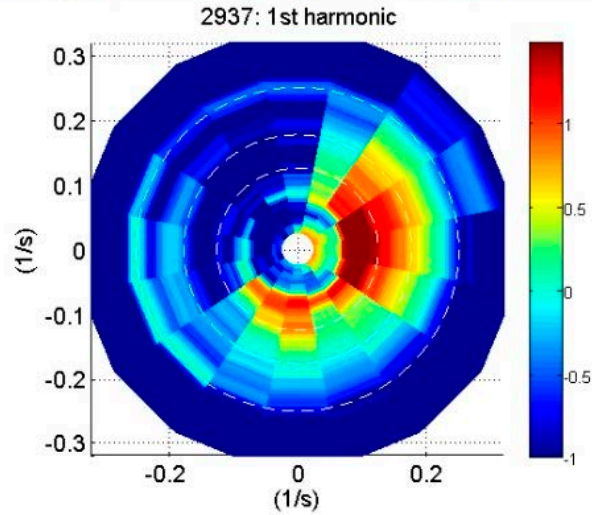
даже иногда совпадает с теорией



# Из интересного: смешанное волнение

## Спектры по 16 секторам (размер сектора 360 / 16 = 22.5 градуса)

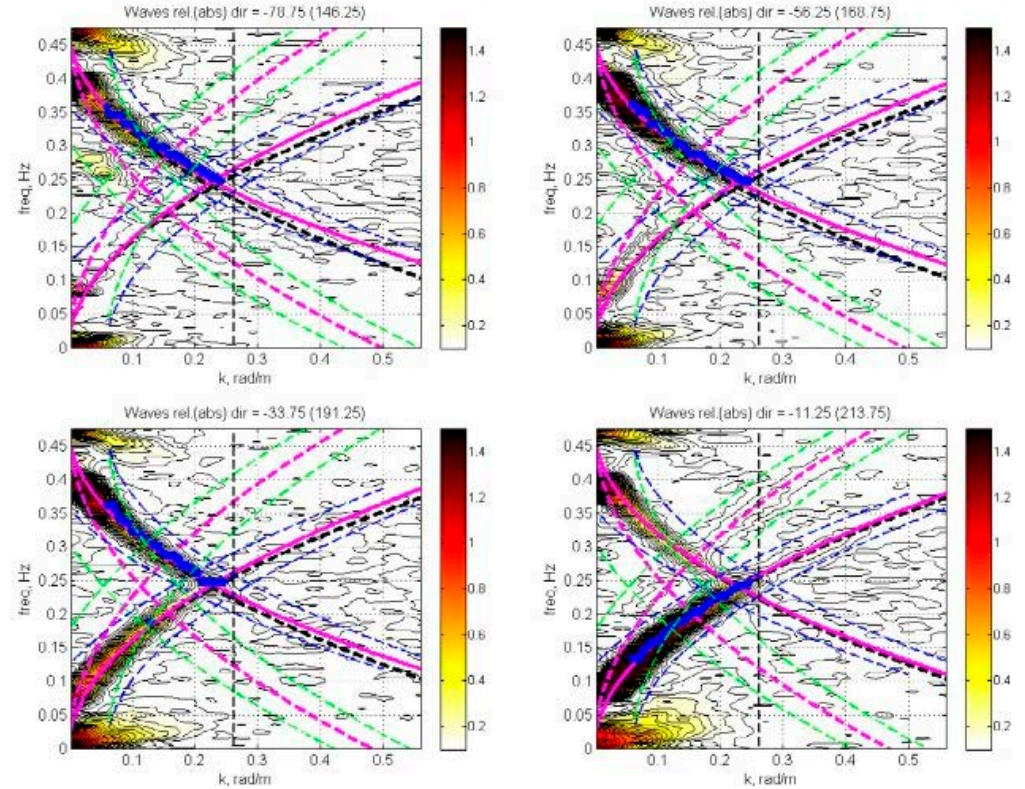
### Спектры по 16 секторам (размер сектора 360 / 16 = 22.5 градуса)



Направление – куда бегут волны

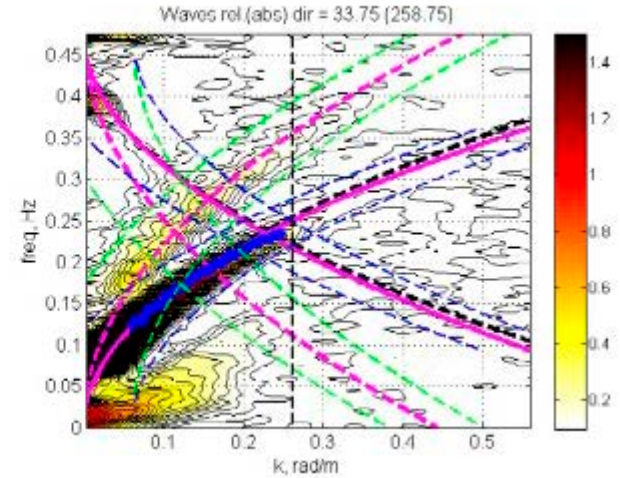
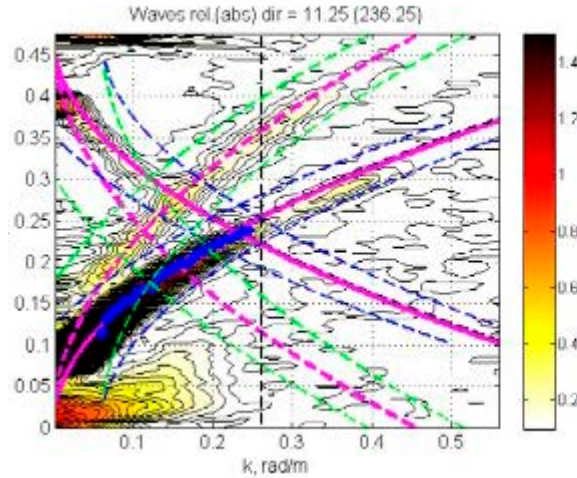
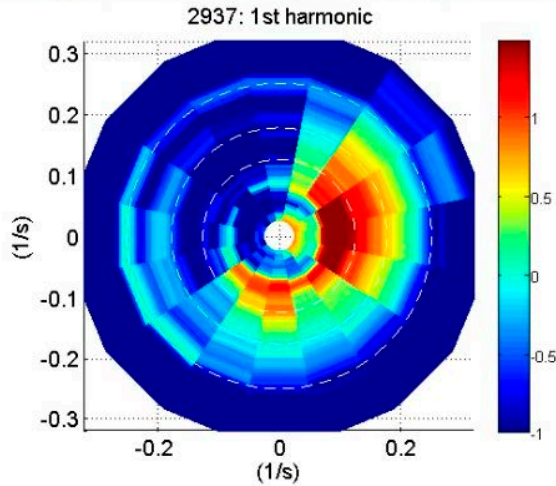
Пунктирными кругами обозначены длины волн (изнутри-наружу):

100 / 50 / 25 м



# Из интересного: нелинейность – вторая гармоника

Спектры по 16 секторам (размер сектора 360 / 16 = 22.5 градуса)



Направление – куда бегут волны

Пунктирными кругами обозначены длины волн (изнутри-наружу):

100 / 50 / 25 м

Dispersion relations for the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> harmonics:

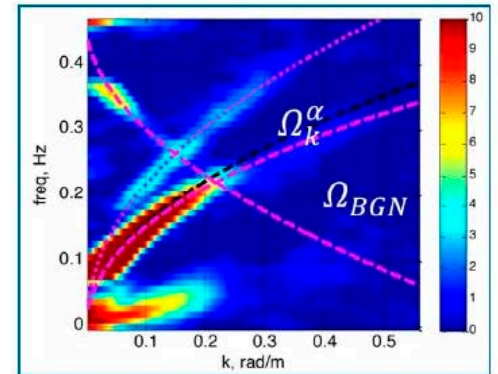
$$\omega_{n,1}(k) = \pm\sqrt{gk} + k \cdot U \cdot \cos \theta_n$$

$$\omega_{n,2}(k) = \pm\sqrt{2gk} + 2k \cdot U \cdot \cos \theta_n$$

Spectrum and normalization:

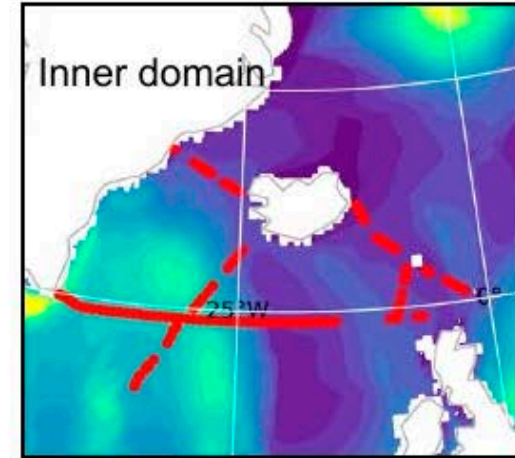
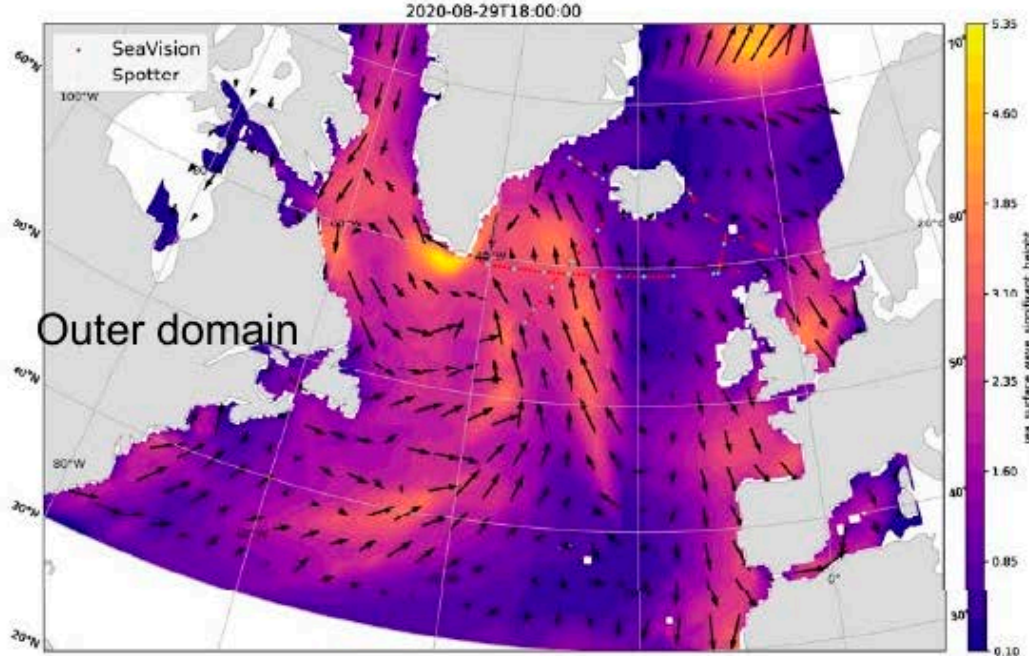
$$S_{n, \text{norm}}(k, f) = \frac{S_n(k, f)}{\int_{\Omega_{\text{speckle}}} S_n(k, f) df} - 1$$

$$\Omega_{\text{speckle}} = (f \notin \omega_{n,1}/2\pi \text{ and } f \notin \omega_{n,2}/2\pi)$$

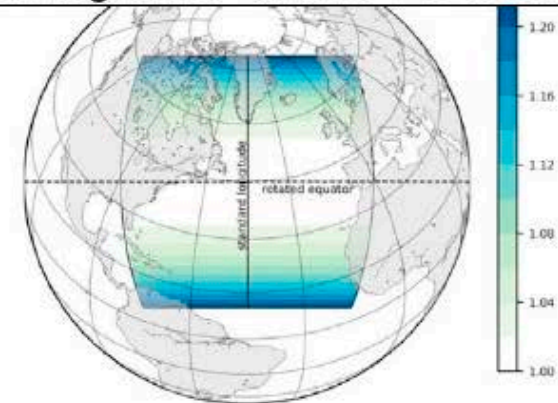




# Ветро-волновая модель WW3-WRF

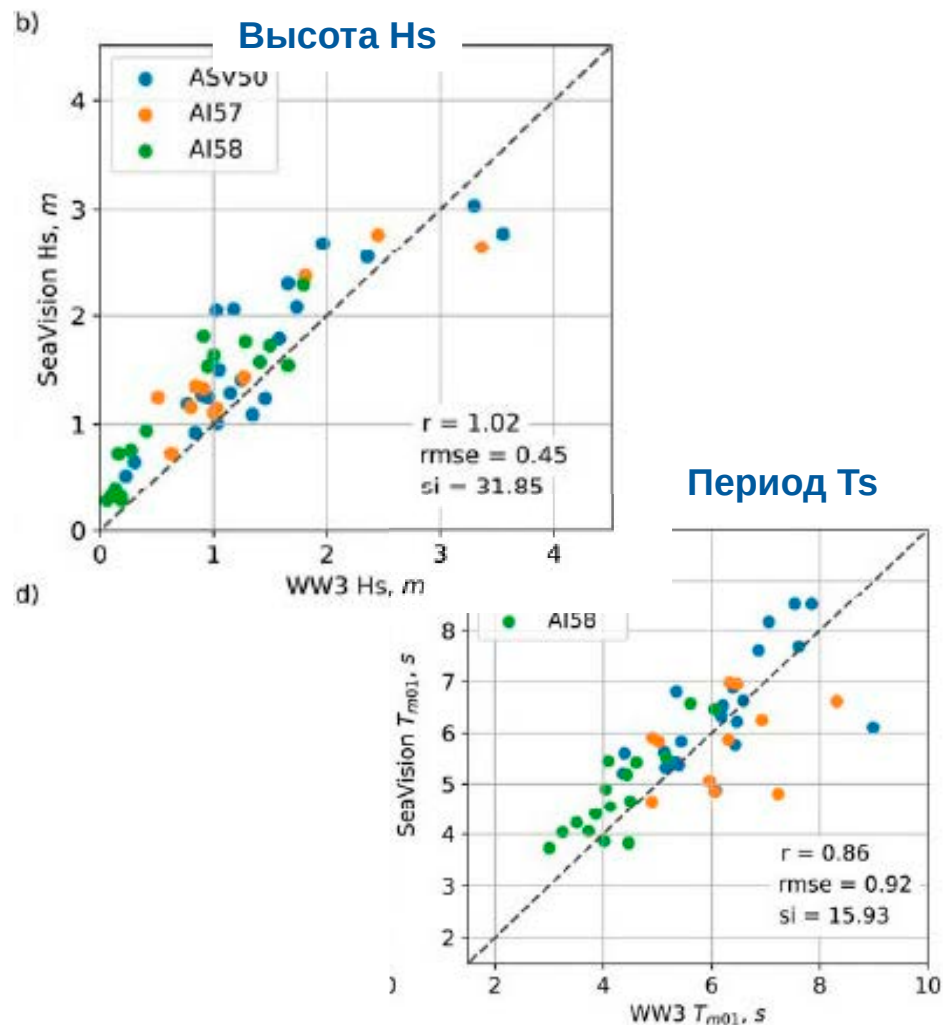
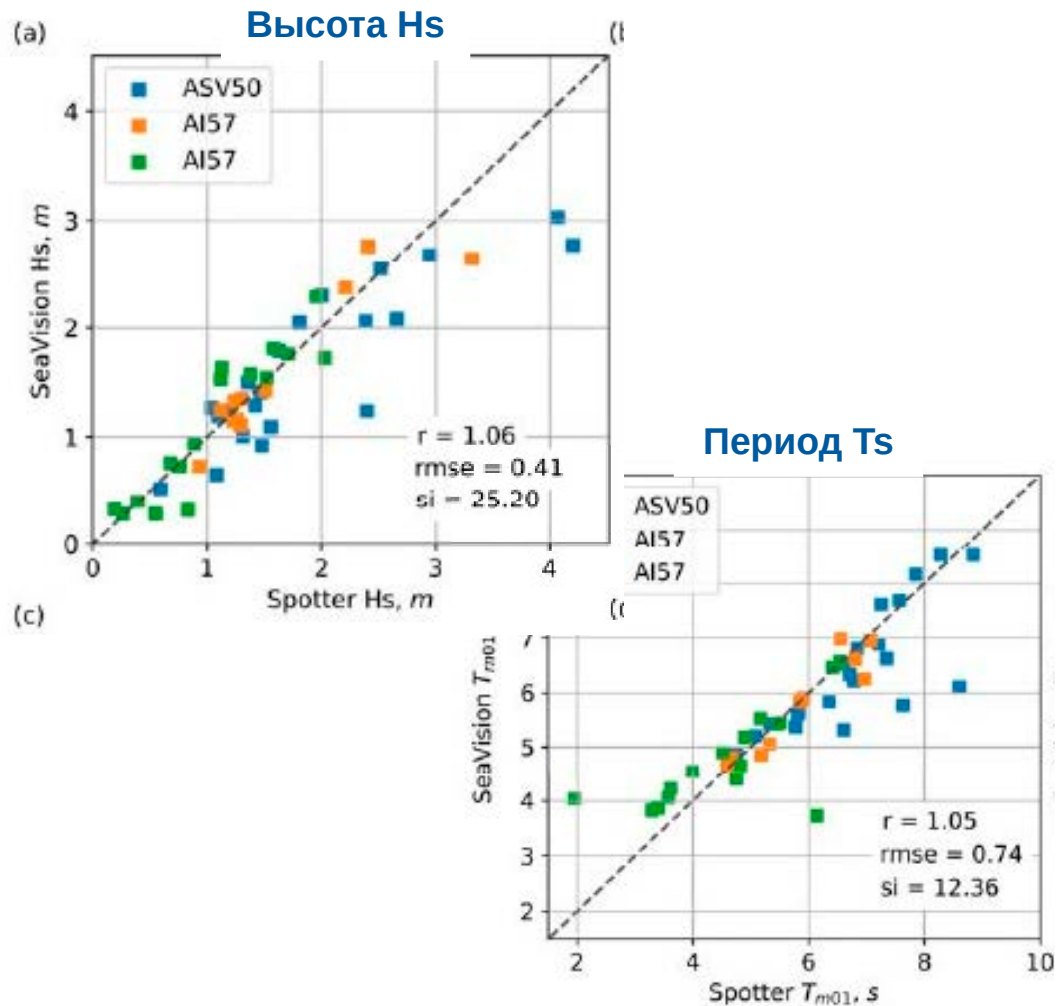


Forcing: WRF with NAAD config



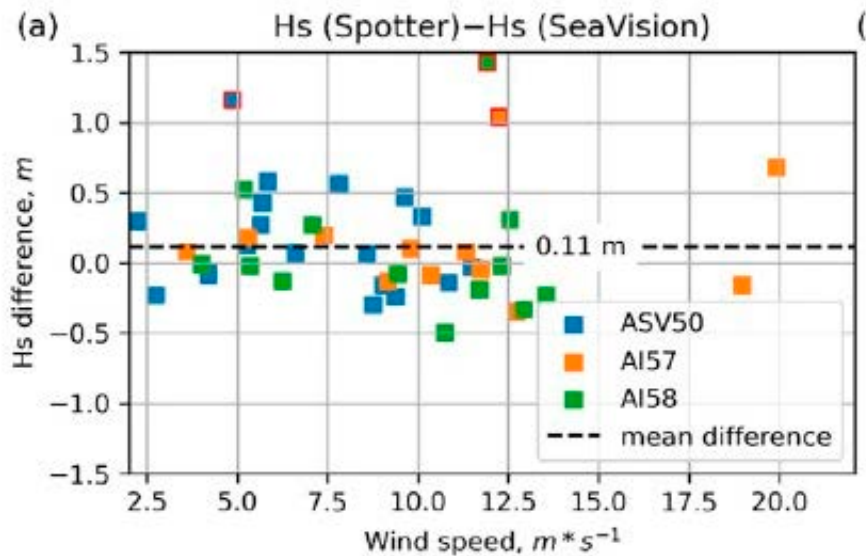
Cruise	ASV50	AI57	AI58
Region	North Atlantic polygon	North Atlantic polygon	Arctic polygon
Grid type	Regular, nested grid	Regular, nested grid	Curvilinear grid
Outer-domain spatial resolution	30–75° N and 80° W–10° E 0.1° × 0.1°	30–75° N and 80° W–10° E 0.1° × 0.1°	36–90° N and 0–360° 0.1° × 0.1°
Inner-domain spatial resolution	54–68° N and 45° W–1° E 0.03° × 0.03°	54–68° N and 45° W–1° E 0.03° × 0.03°	–
Time coverage	2020.08.01–2020.09.06	2021.06.01–2021.07.12	2021.08.01–2021.09.30

# Сравнение данных: буй/радар/модель



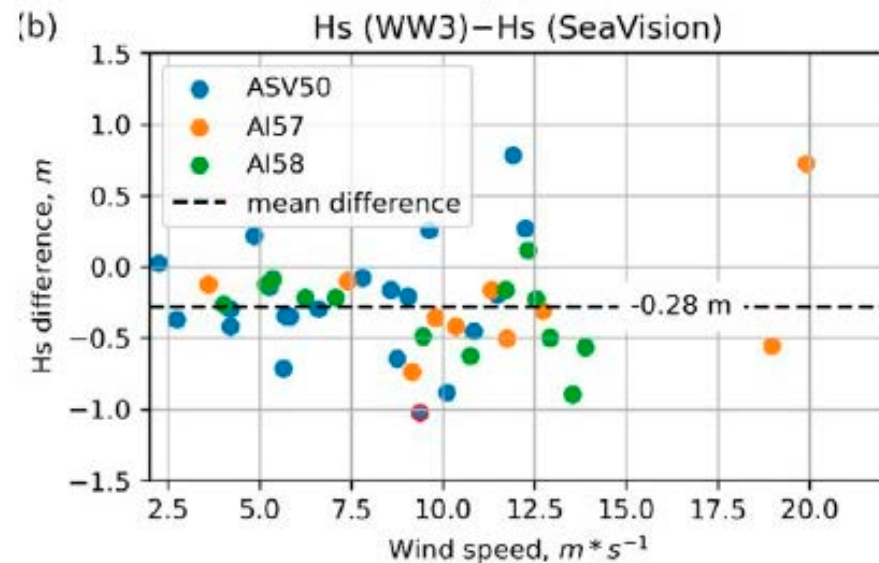
# Различие данных: буй/радар/модель

## буй - радар



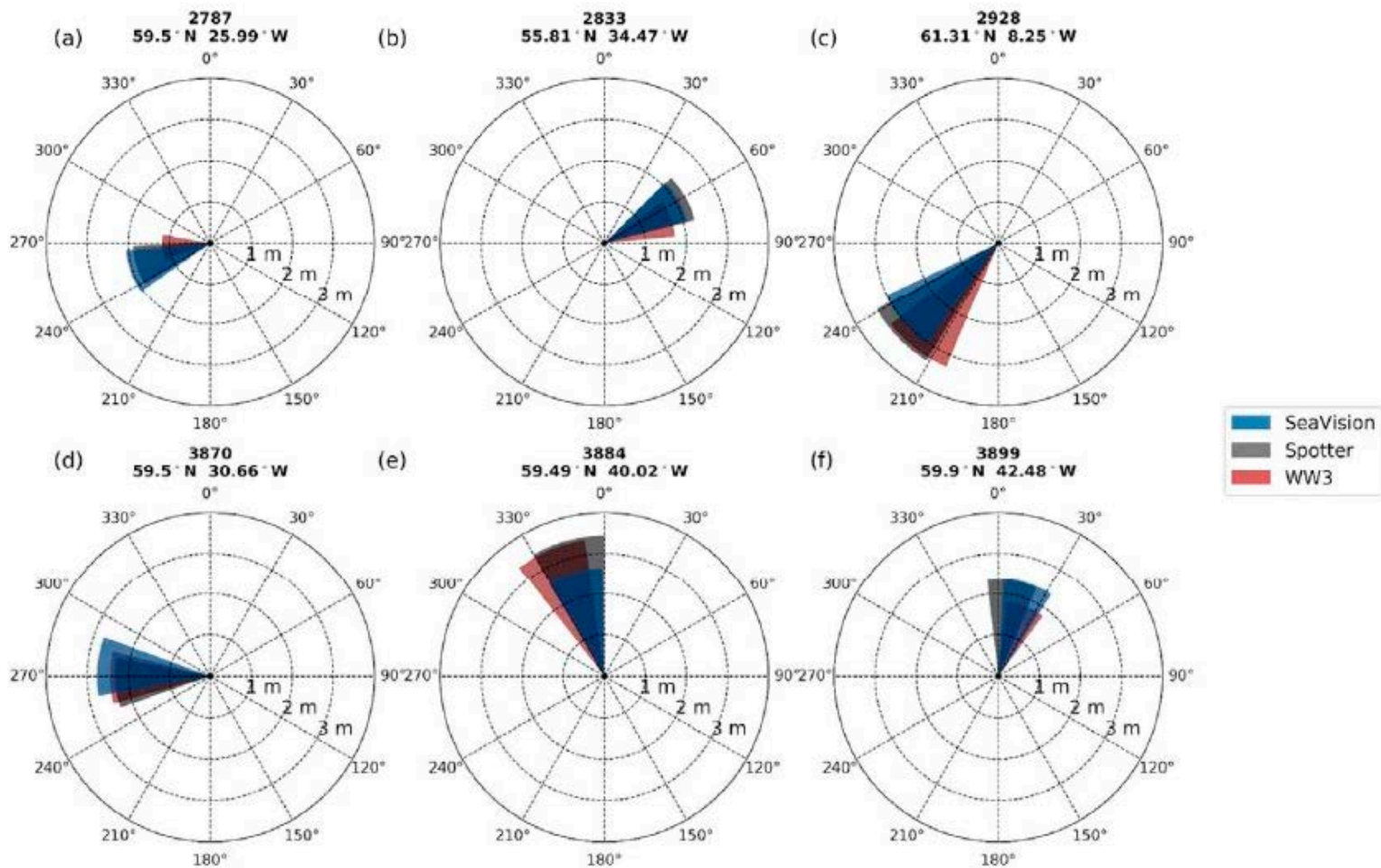
## Скорость ветра

## модель - радар

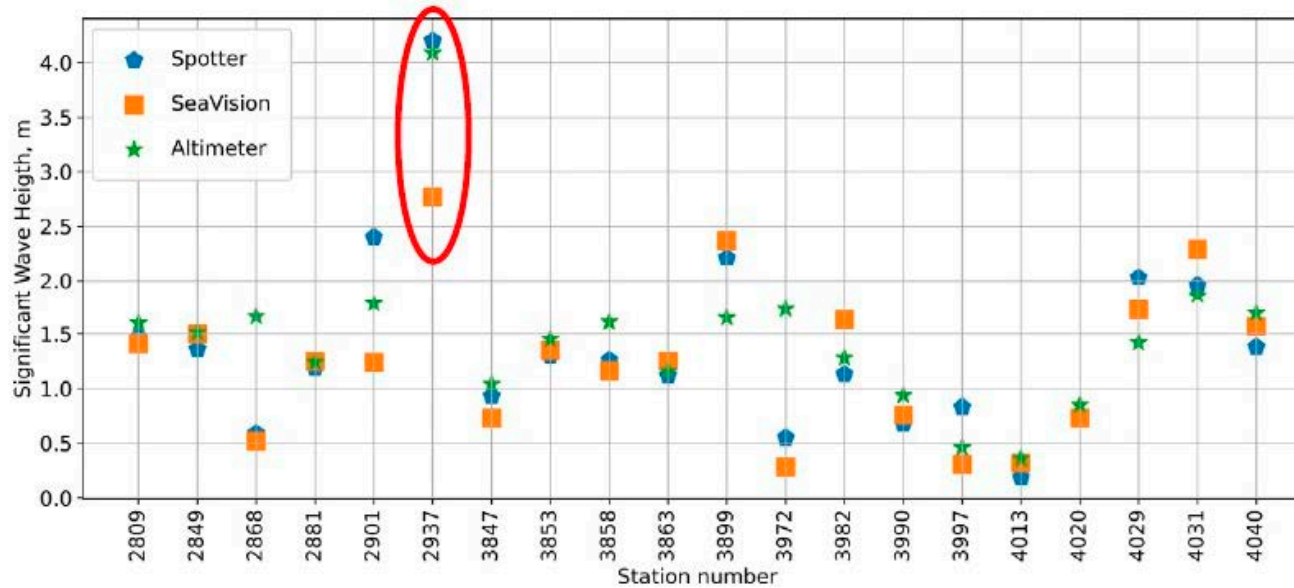
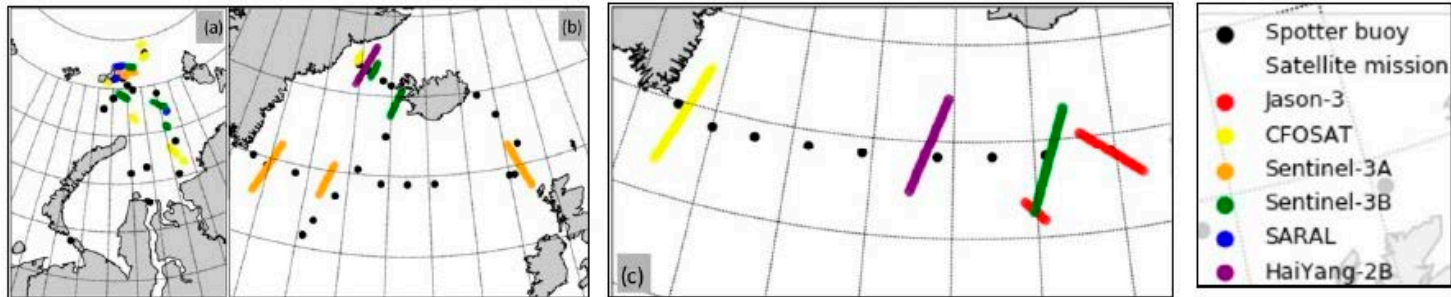


## Скорость ветра

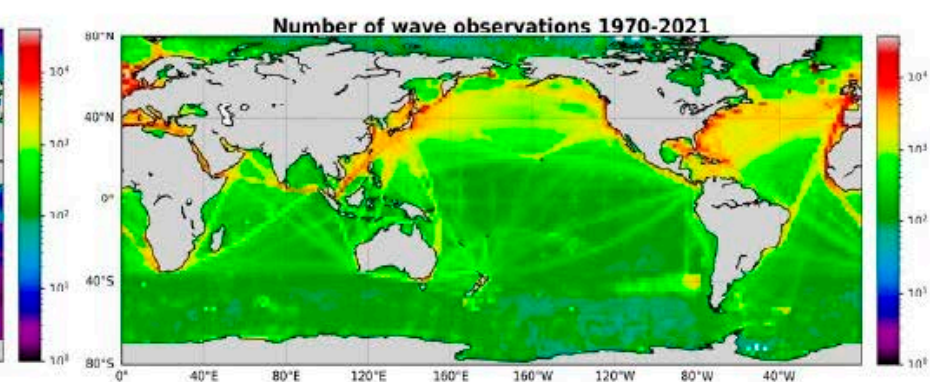
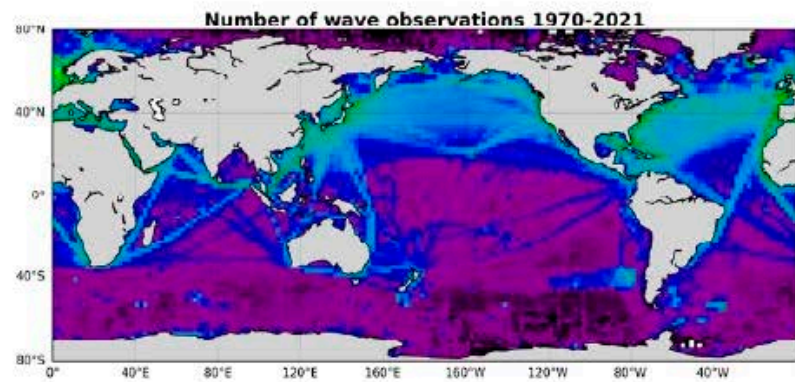
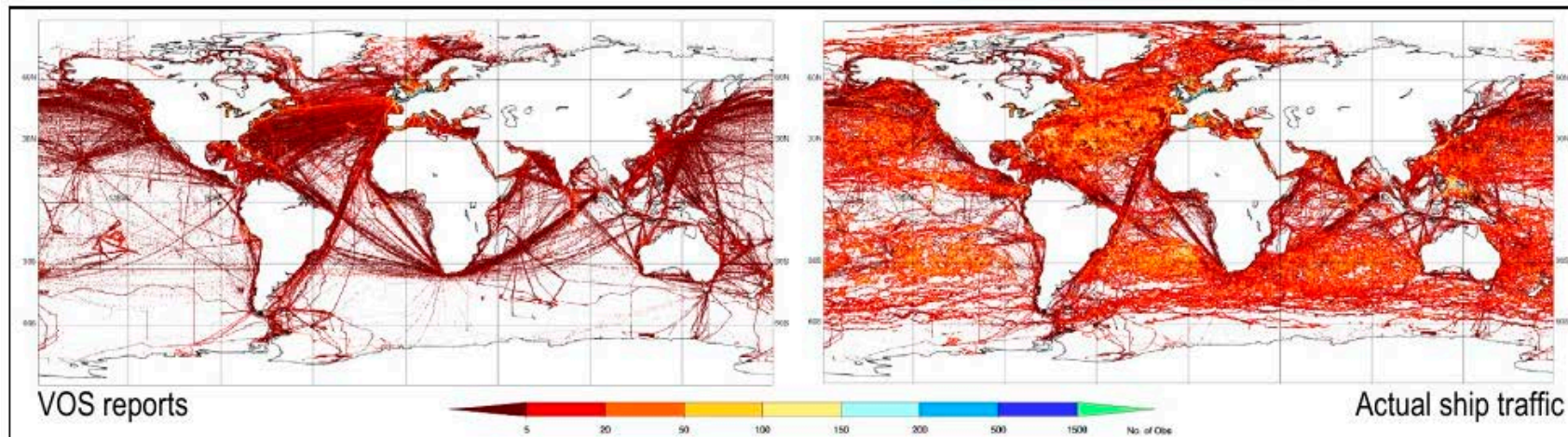
# Сравнение данных буй/радар/модель направление и угловая ширина спектра волн



## Сравнение с данными альтиметров



## Перспективы развития массовости и охвата данных



**Спасибо!**

**Работа выполнена при поддержке проекта FMWE-2022-0002**