



Точность восстановления параметров волнения судовым радаром в зависимости от модели модуляционно-передаточной функции радара: результаты моделирования

Ивонин Д.В. , Ежова Е.А.
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия



Наблюдаемые разбросы данных

- среднеквадратичный разброс данных радара относительно данных буя около 0.5 м
- данные разброс не удается никак уменьшить в рамках стандартного подхода
- при этом с ростом статистики становится очевидным большое количество выбросов на 1-2.5 м

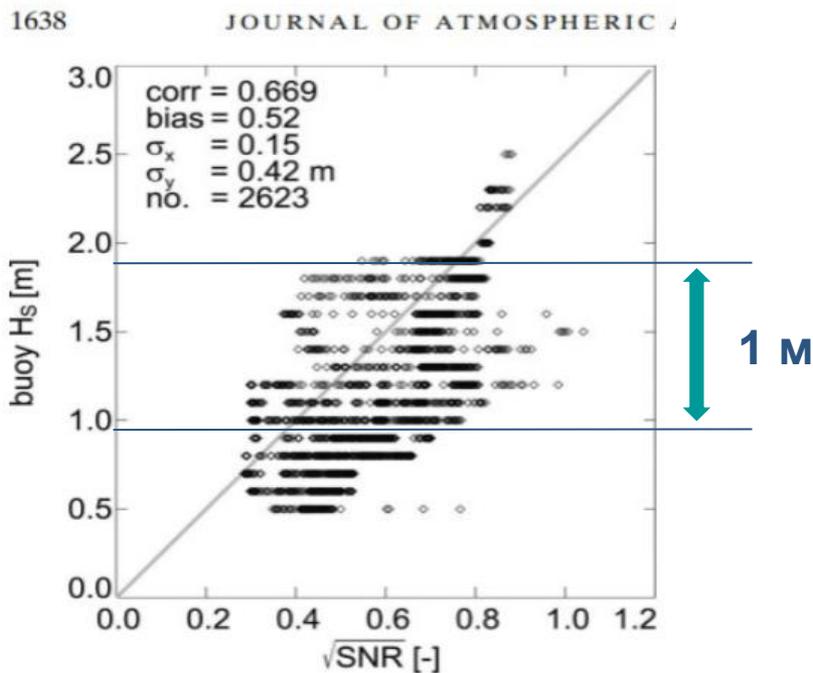


FIG. 7. Scatterplot of $\sqrt{\text{SNR}}$ and buoy H_s for the given radar datasets where buoy measurements were available (2623 datasets).

OMAE99: Estimation of the Significant Wave Height with

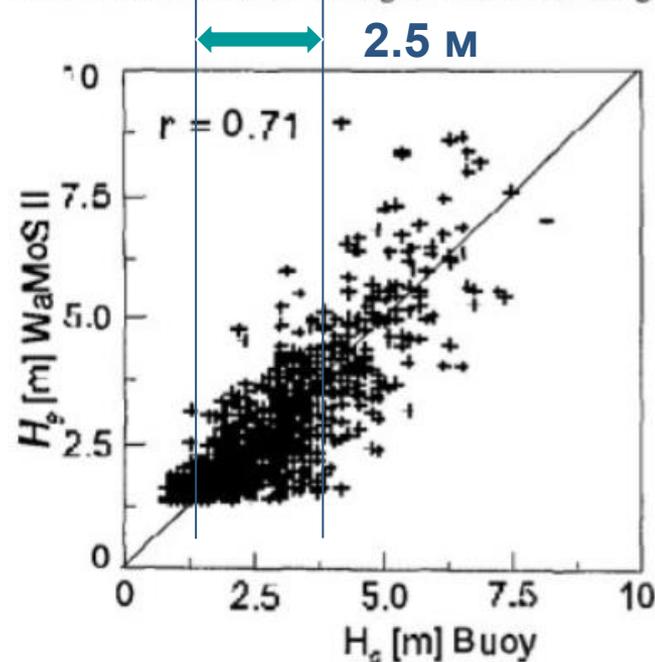


Fig. 5: Scatter plot of the significant wave height (H_s) obtained by the WaMoS II located at lighthouse Cabo Peñas and a buoy operating about 18 nm North of WaMoS II monitoring area. The correlation coefficient is $r = 0.71$. Data: *Clima Marítimo*.



Используемые модуляционно-передаточные функции радара

Радар «видит» спектр волнения посредством модуляционно-передаточной функции (здесь Kudryavtsev et al. 2003)

- как правило, применяется стандартный несложный подхода для МПФ, когда рассматриваются только модуляции уклонами
- модуляции уклонами имеют чисто геометрический эффект – только угол зондирования

$$M_{tb}^P = i \frac{1}{\sigma_{0br}^P} \frac{\partial \sigma_{0br}^P}{\partial \theta}$$

- но есть еще модуляции обрушений на гребне волн (Kudryavtsev et al. 2003)

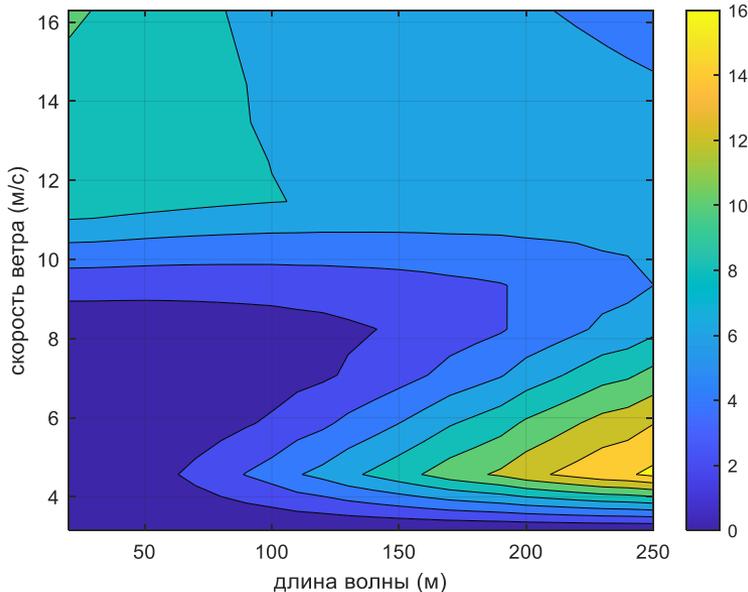
$$M_{hwb} = (n_g + 1) \frac{\int_{k-\text{mod}}^{k-wb} k^{-1} \Lambda(\mathbf{k}) M(\mathbf{k}) d\mathbf{k}}{\int_{k < k-wb} k^{-1} \Lambda(\mathbf{k}) d\mathbf{k}}$$

- Которые очень сильно зависят от скорости ветра и возраста волнения



Пример расчета МПФ из-за обрушений волн

МПФ для $H_s = 2.5$ м



Согласно расчету:

- Для разной скорости ветра общий/средний уровень МПФ отличается в 4-5 раз
- в зависимости от длины модулирующей волны (десятки метров) спектр модулируется неравномерно

Радар «видит» спектр волнения посредством модуляционно-передаточной функции (здесь Kudryavtsev et al. 2003)

Модуляции обрушений на гребне волн

$$M_{hwb} = (n_g + 1) \frac{\int_{k-\text{mod}}^{k-wb} k^{-1} \Lambda(\mathbf{k}) M(\mathbf{k}) d\mathbf{k}}{\int_{k < k-wb} k^{-1} \Lambda(\mathbf{k}) d\mathbf{k}}$$

↑
Полосы обрушений

Модуляции растяжения спектра коротких волн + модуляции трения

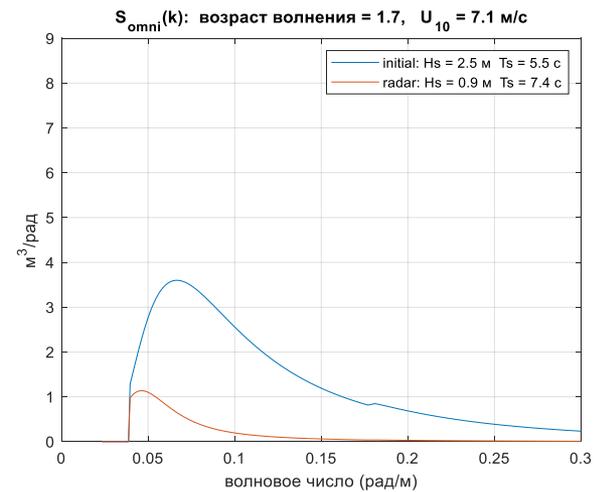
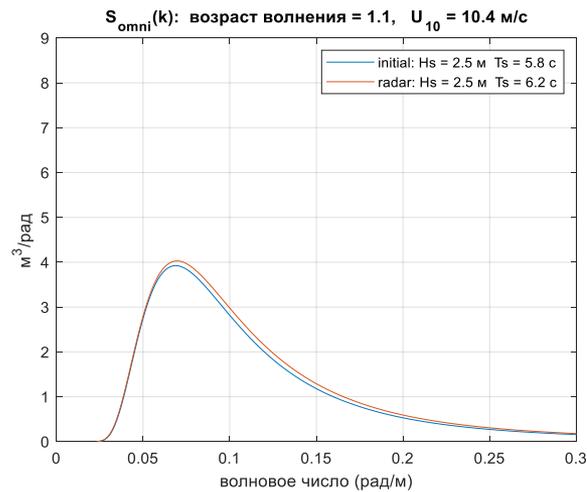
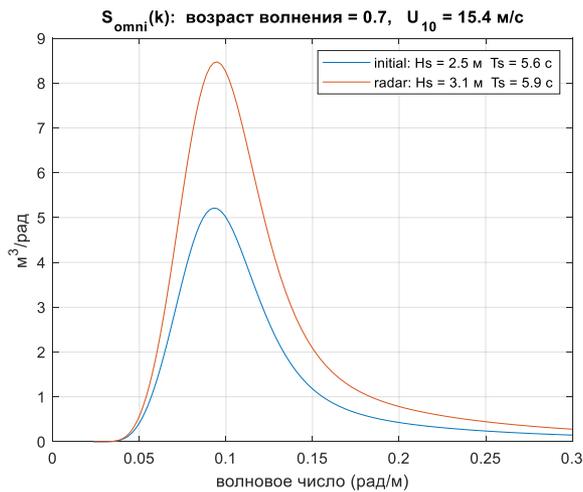
$$M(\mathbf{k}) = - \left(\frac{1 - i\tau}{1 + \tau^2} \right) \frac{k_1}{\bar{N}(\mathbf{k})} \frac{\partial \bar{N}(\mathbf{k})}{\partial \mathbf{k}_1} + \frac{(\tau + i)}{1 + \tau^2} \cdot [2\tau * M * + \tau_{pc} (n(\mathbf{k}_g) + 1) M(\mathbf{k}_g)]$$



Моделирование спектров радара

- Моделирование спектров радара при одинаковой высоте волнения
- но разной скорости ветра (от 5 до 15 м/с)
- Результат: разброс данных от 0.9 до 3.1 м (2.2 м, или 90%)

Спектры начальные ($H_s = 2.5$ м) и радарные



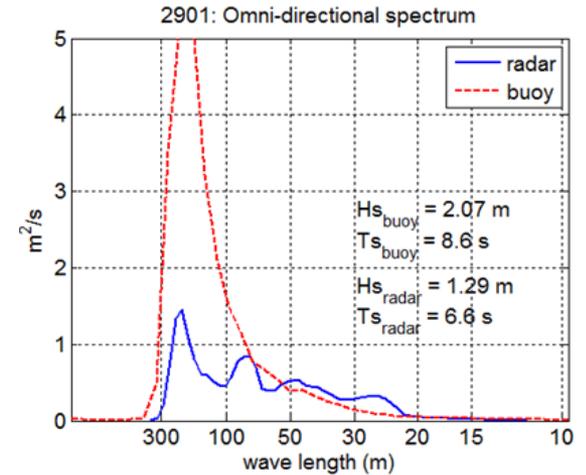
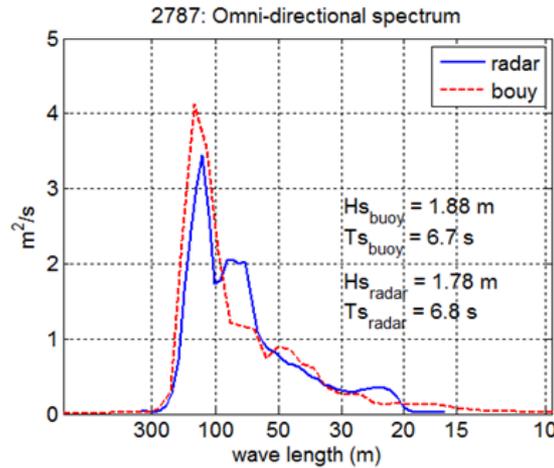
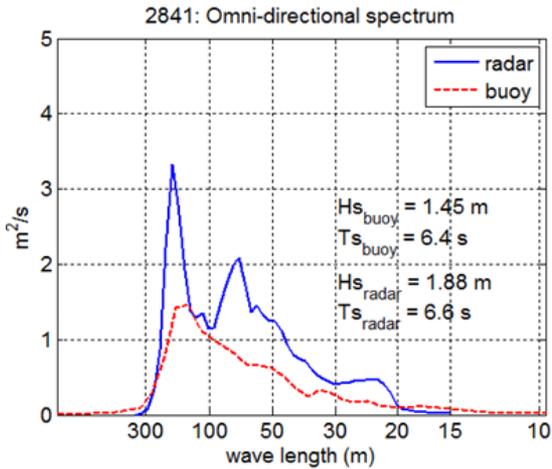
высота волнения везде – 2.5 м
но разный возраст волнения

возраст волнения	Скорость ветра	Высота волны по радарным данным
0.7	15.4 м/с	3.1 м
1.1	10.4 м/с	2.5 м
1.7	7.1 м/с	0.9 м

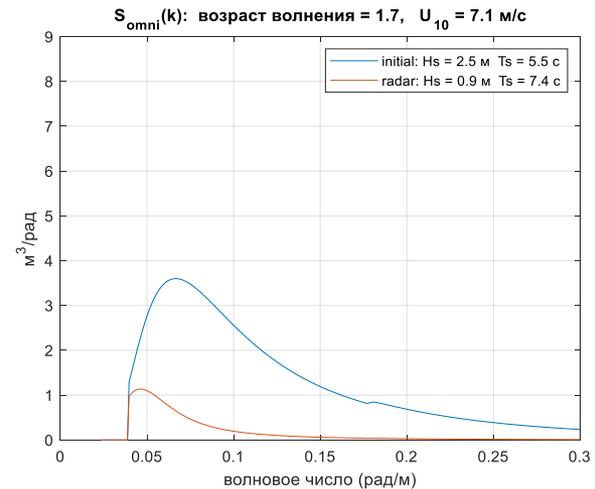
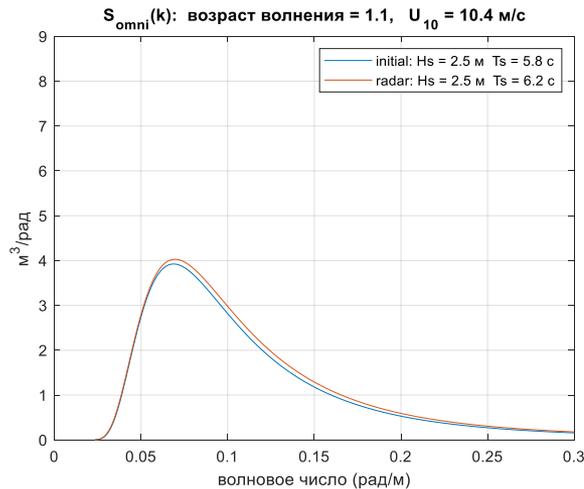
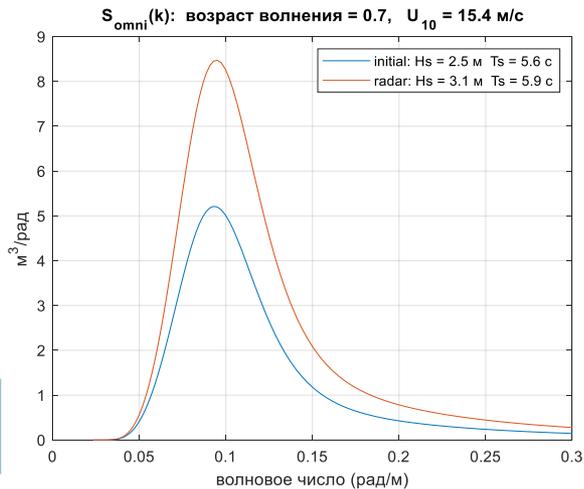


Качественное сравнение с экспериментальными данными

Океан: Спектры буйа и радарные



Моделирование: Спектры начальные и радарные (цвета в обратном порядке)





Заключение

- применение упрощенного стандартного подхода для МПФ, когда рассматриваются только модуляции уклонами – ведет к большому разбросу радарных данных о волнении – в среднем 0.4-0.5 м, и большое количество выбросов 1-2.5 м
- модуляции уклонами имеют чисто геометрический эффект (с небольшими поправками на скорость ветра)
- учет в рассеянии ЭМ волны эффектов из-за обрушений волн при настильных углах (70° - 90° от вертикали) зондирования приводит к возникновению ведущих слагаемых в МПФ из-за обрушений – остальные эффекты меньше в ~ 3 раза
- модуляции обрушений кардинальным образом зависят от скорости ветра и возраста волнения
- результаты модельных расчетов показывают, что, в зависимости от скорости ветра и возраста волнения, МПФ может меняться в 4-5 раз по амплитуде, приводя к 2+ кратным изменениям по высоте восстановленной H_s
- результаты модельных расчетов качественно согласуются с некоторыми экспериментальными данными