



Сергей
Бадулин и
др.

Основы

Теория

Как
работает
модель

Summary

СЛАБАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ И СПУТНИКОВАЯ АЛЬТИМЕТРИЯ

Сергей Бадулин^{1,2}, Вика Григорьева¹,
Владимир Геогджаев^{1,2}, Александр Гавриков¹,
Михаил Криницкий¹, Маргарита Маркина¹

¹Институт океанологии П.П. Ширшова

²Новосибирский государственный университет

XXVI научная Сессия Совета по нелинейной динамике



В этом сообщении

Сергей
Бадулин и
ДР.

Основы

Теория

Как
работает
модель

Summary

- 1 Основы альтиметрии. Как получить больше, чем есть?
- 2 Статистическая теория волнения для альтиметрии
- 3 Как работает физическая модель крутизны волнения?
- 4 Summary

Презентация и не только
badulin.si@ocean.ru



Как альтиметр “видит” морские волны?

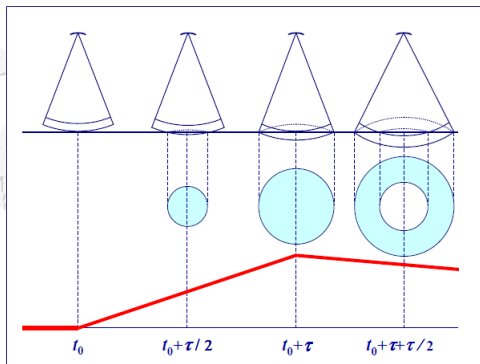
Шероховатость поверхности искажает импульс эхо

$$\lambda_c \approx 2.2\text{cm}, \quad L_{pulse} < 1\text{m}$$

Наклон фронта \Rightarrow высота волны H_s

Магнитуда \Rightarrow удельная поверхность рассеяния σ_0

H_s и σ_0 , вообще говоря, коррелированы



Сергей
Бадулин и
др.

Основы

Теория

Как
работает
модель

Summary



Как получить больше?

Сергей
Бадулин и
др.

Основы

Теория

Как
работает
модель

Summary

Имеем

- Порядка 1 млн. измерений в месяц для одной миссии (в 2017 году – 5 миссий)
- Размер “снимка” $L_{footprint} \approx 5\text{km}$ – то, что надо для оперативных моделей

Фотография или кино?

- 1 Параметрические модели $H_s \sigma_0 \Rightarrow ???$ из “точечных” измерений
- 2 Физические модели – траекторные измерения – “кино” = динамика волнения



Статистическая теория волнения для альтиметрии

Сергей
Бадулин и
др.

Основы

Теория

Как
работает
модель

Summary

Уравнение Хассельманна

$$\partial E / \partial t + \mathbf{C}_g \nabla E = S_{nl} + S_{in} + S_{diss}$$

Доминирование S_{nl} – KZ баланс энергии и потока

$$\begin{cases} \partial E / \partial t + \mathbf{C}_g \nabla E = S_{nl} \\ \langle dE / dt \rangle = \langle S_{in} + S_{diss} \rangle \end{cases} \quad (1)$$

$$E \omega_p^4 / g^2 = \alpha_{ss} (\omega_p^3 P / g^2)^{1/3}; \quad \text{where } P = dE / dt$$

Измерения на траекториях дает только пространственную изменчивость

$$dE / dt \rightarrow C_p \nabla E$$

Жертвуем временной изменчивостью (!?)



Физическая модель для крутизны волнения

Простое выражение для периодов

Badulin, S. I. (2014), A physical model of sea wave period from altimeter data, JGR Oceans, 119, doi:10.1002/2013JC009336.

$$T_p = 2^{1/5} \pi \alpha_{ss}^{-3/10} \sqrt{H_s/g} |\nabla H_s|^{-1/10}; \quad \alpha_{ss} \approx 0.67$$

Очень простое выражение для крутизны

$$\mu = 2^{-2/5} \alpha_{ss}^{3/5} |\nabla H_s|^{1/5} = 0.596 |\nabla H_s|^{1/5}$$

where steepness is defined as follows

$$\mu = \langle ak_p \rangle = \frac{\pi^2 H_s}{g T_p^2}$$

Сергей
Бадулин и
др.

Основы

Теория

Как
работает
модель

Summary



Два важных момента

Сергей
Бадулин и
др.

Основы

Теория

Как
работает
модель

Summary

- Применимость простой (слишком простой) модели;
- Занижение значений при оценках вдоль единственной траектории
 $(\cos \theta)^{1/5}$ or $(\cos \theta)^{1/10}$

Очень важное ЗА

Наша кино-модель дает мгновенное значение, но не “наиболее вероятную” (best fit) оценку параметрических зависимостей (фотомодельную)



Pointwise vs gradient measurements 1

Wave steepness (unknown wave direction)

ERS-2 – European Remote Sensing Satellite (1995-2011)

Envisat – Environmental Satellite (2002-2012)

Jason-1 – Joint Altimetry Satellite Ocean. Network (2001-2013)

Сергей
Бадулин и
др.

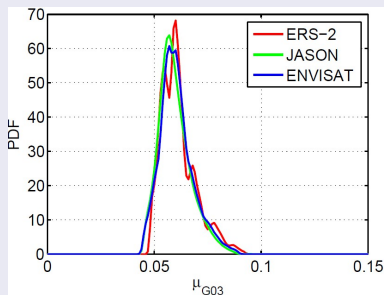
Основы

Теория

Как
работает
модель

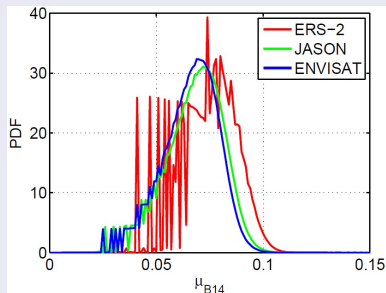
Summary

Parametric – H_s, σ_0 – best fit



μ is the most probable for a pair (H_s, σ_0)

Physical – ∇H_s – here and now



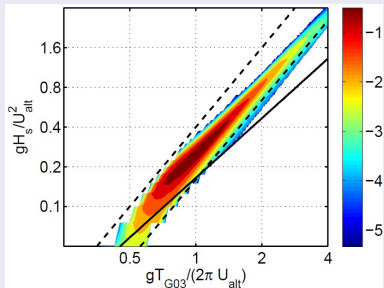
μ respects a physical law for a pair $(H_s, \nabla H_s)$



Pointwise vs gradient measurements 2

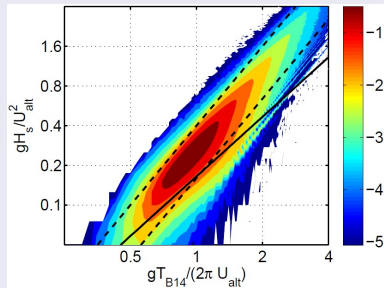
Wave growth in dimensionless $\tilde{H} = gH_s/U_{10}^2$ and $\tilde{T} = gT_p/(2\pi U_{10})$

Parametric – H_s, σ_0 – best fit



The most probable T_p shrinks distribution for a pair (H_s, σ_0) – μ is almost constant

Physical – ∇H_s – here and now



The physical law for a pair $(H_s, \nabla H_s)$ respects physics of wave growth

Dashed – constant steepness;
hard line – the Toba law $H_s \sim T_p^{3/2}$

Сергей
Бадулин и
др.

Основы

Теория

Как
работает
модель

Summary



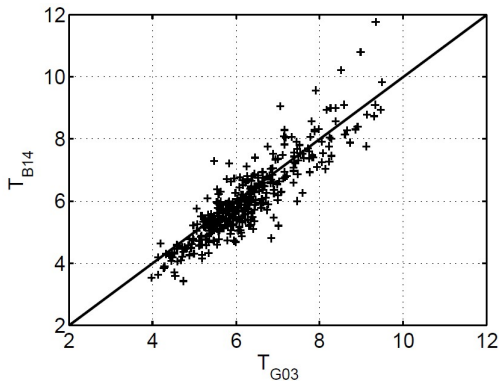
Buoy-satellite match-ups

Parametric vs physical

Match-up: $\Delta R < 30\text{km}$, $\Delta t < 30$ minutes

The along-track estimates of the peak wave periods vs the mean wave periods of the parametric model.

The most probable values follow the physical model



Сергей
Бадулин и
др.

Основы

Теория

Как
работает
модель

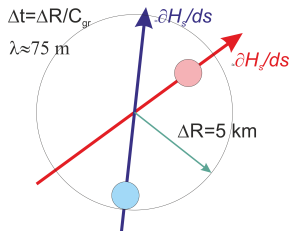
Summary



Satellite crossovers (Envisat–Jason-1, 2011)

Сергей
Бадулин и
др.

Crossovers is a chance to get
the full vector of gradient ∇H_s
and, hence, a 'full' wave period



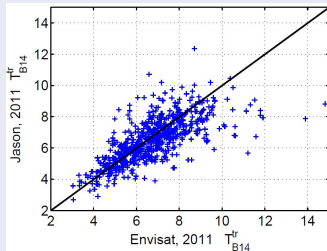
Основы

Теория

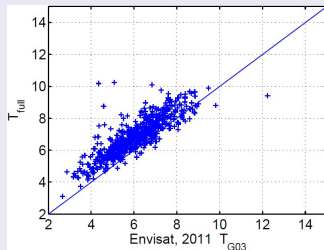
Как
работает
модель

Summary

'Single-track' wave periods



'Full' T_p vs parametric





Satellite crossovers (Envisat vs Jason-1, 2011)

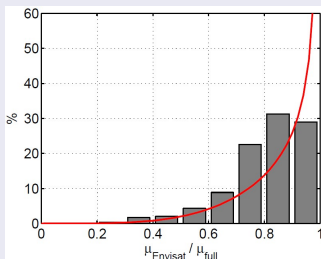
Single-track and 'full' estimates of wave steepness

An along-track derivative underestimates the gradient ∇H_s in

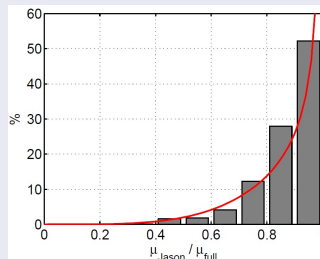
$$\mu = 0.596 |\nabla H_s|^{1/5}$$

The low exponent makes this acceptable in many cases.
A probabilistic model of evenly distributed directions of wave field (red line) says: $\mu_{track}/\mu_{full} > 0.7$ with 85% probability.

Envisat



Jason-1



Сергей
Бадулин и
др.

Основы

Теория

Как
работает
модель

Summary



Global distributions of wave steepness.

Top – physical model, bottom – parametric model

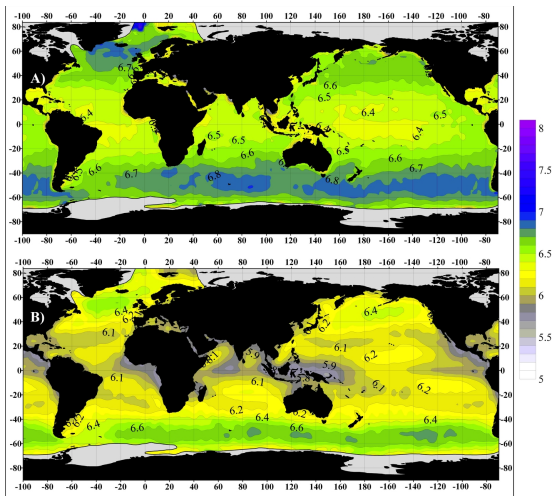
Сергей
Бадулин и
др.

Основы

Теория

Как
работает
модель

Summary



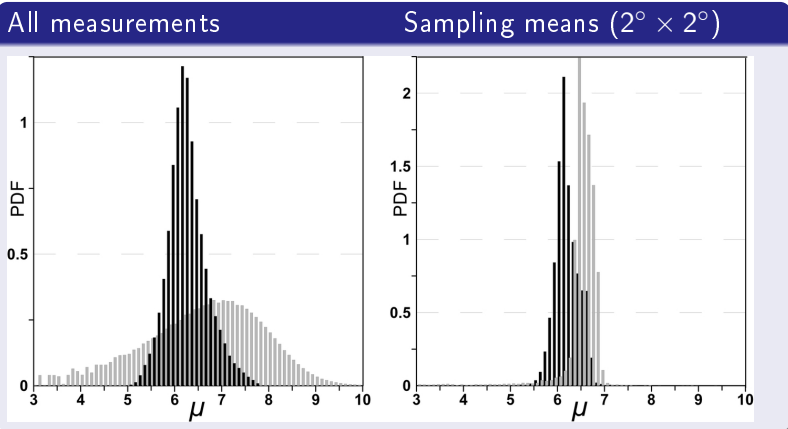


Does climatology of steepness make sense?

Gray – physical, black – parametric (the best fit)

Сергей
Бадулин и
др.

Основы
Теория
Как
работает
модель
Summary



Please, explain the shrinkage of the distribution for our model
No climate but weather for wave steepness distribution



Summary

Сергей
Бадулин и
др.

Основы

Теория

Как
работает
модель

Summary

- **Физическая модель крутизны** позволяет извлечь дополнительную информацию из альтиметрических данных (кино богаче фотографии);
- **Потраекторные измерения альтиметров** дают хорошее приближение, по крайней мере для глобальных оценок ($\mu \sim |\nabla H_s|^{1/5}$, $T_p \sim |\nabla H_s|^{-1/10}$);
- **“Климат волновой крутизны”** универсален (гипотеза !).



Сергей
Бадулин и
др.

Основы

Теория

Как
работает
модель

Summary

Thank you

Open access data of the ESA initiative Globwave (<http://globwave.ifremer.fr/>) and portal AVISO (<http://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html>) have been used.

The work is supported by Russian Science Foundation

No. 14-50-00095, 14-22-00174