



(на конкурс)

Wave
steepness for
SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

Физическая модель поправки на
состояние моря в альтиметрических
измерениях

Введение

Безразмерные
параметры
SSB

Анализ
данных

Заключение

Ссылки

Шармар В.Д.(1), Шабанов П.А.(1), [Карпов И.О.\(1\)](#),
Бадулин С.И.(1,2), Григорьева В.Г.(1)

(1) Институт океанологии им. П.П. Ширшова
РАН, Москва, Россия; (2) Сколковский
институт науки и технологий

При поддержке РФФИ №19-05-00147



План доклада

Wave
steepness for
SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

Введение

Безразмерные
параметры
SSB

Анализ
данных

Заключение

Ссылки

- ① Поправки в спутниковой альтиметрии
- ② Теория подобия для поправки на состояние морской поверхности (SSB)
- ③ Анализ альтиметрических данных
- ④ Заключение



Что измеряет спутниковый альтиметр?

Wave steepness for SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

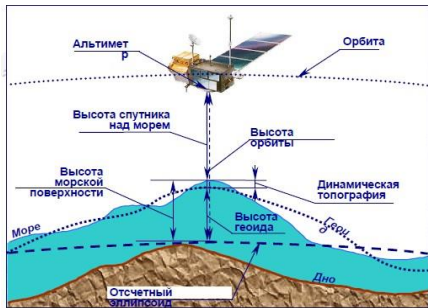
Введение

Безразмерные
параметры
SSB

Анализ
данных

Заключение

Ссылки



Our thanks to Dr. S.A. Lebedev

- Расстояние до морской поверхности
- Высота волнения
- Скорость ветра над поверхностью моря
- Погрешность $\approx 2 - 3$ см для высоты спутника над морем
- Многочисленные поправки составляют 2 – 3 метра

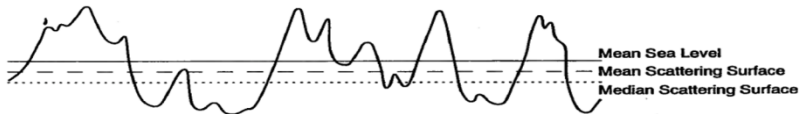
- Скорость геострофических течений (1 см/км соответствует 1 м/с скорости крупномасштабных течений !!!)



Поправка на состояние морской поверхности

Wave steepness for SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов



Измеренное альтиметром расстояние до поверхности не является расстоянием до искомой поверхности моря!!!

1. **Электромагнитная поправка** – различная отражательная способность гребней и впадин волн (загрязнения)
2. **Динамика (skewness bias)** – асимметрия гребней и впадин морской поверхности
3. **Ошибка ретрекинга** – калибровка, валидация, обработка и т.п.

Диапазон значений SSB ~ 0:30 см

Введение

Безразмерные
параметры
SSB

Анализ
данных

Заключение

Ссылки



Формирование SSB

Wave steepness for SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

Введение

Безразмерные
параметры
SSB

Анализ
данных

Заключение

Ссылки

- **Непараметрические модели:** повторяющиеся проходы при различных состояниях поверхности. Требуются огромные массивы данных
- **Параметрические модели:** основанные на измеряемых величинах

Параметризация SSB

Сейчас используют следующие размерные параметры измеряемые альтиметром:

- H_s – значимая высота волн (SWH);
- U_{10} – расчетная скорость приповерхностного ветра.

$$SSB/H_s = \alpha(H_s, U_{10})$$

Коэффициент $\alpha \sim 2 \div 5\%$ и, как правило, представляется в полиномиальной форме

ВАЖНО: Каждая новая миссия требует формирования своей модели для SSB



Что мы предлагаем для решения проблемы? Мы предлагаем быть физиками

Wave steepness for SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

- Традиционный **безразмерный** параметр:

$$\left. \begin{array}{l} H_s \\ U_{10} \\ g \end{array} \right\} \Rightarrow \xi = \frac{gH_s}{U_{10}^2} \quad \text{– псевдо-возраст ветровых волн}$$

- Новый параметр – крутизна волнения:

$$\mu = \pi H_s / g T^2 \quad (H_s - \text{SWH}, T_p - \text{период волны});$$

$$\mu \approx 0.6 |\nabla H_s|^{1/5} \quad \text{– приближение для крутизны волны}$$

(Badulin, 2014; Badulin et al., 2018)

**Ничего кроме физики $SSB/H_s = F_s(\xi, \mu)$.
Используем безразмерные параметры вместо соответствующих размерных величин.**

Введение

Безразмерные
параметры
SSB

Анализ
данных

Заключение

Ссылки



Оценка крутизны волны μ

Wave steepness for SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

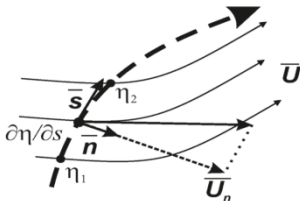
Введение

Безразмерные
параметры
SSB

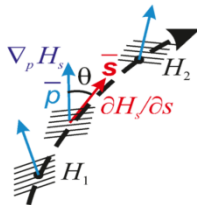
Анализ
данных

Заключение

Ссылки



$$fU \sim \frac{\partial \eta}{\partial \vec{n}}$$



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

При таком подходе, ошибка зависит от направления орбиты по отношению к направлению волн



Крутизна волны и асимметрия

Wave steepness for SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

Введение

Безразмерные
параметры
SSB

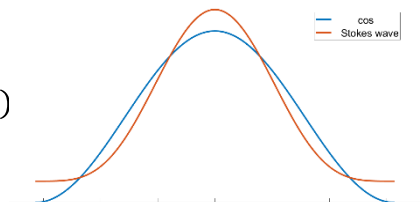
Анализ
данных

Заключение

Ссылки

Волна стокса

$$\eta = \cos(\theta) + \left(\frac{\mu}{2}\right) \cos(2\theta)$$



Физическая модель случайного поля слабонелинейных
поверхностных волн (Srokozsh 1986)

$$SSB = -\frac{1}{8} \left(\frac{1}{3} \lambda_0 + \lambda_1 \right); \quad \lambda_0 = \frac{\langle \eta^3 \rangle}{\langle \eta^2 \rangle^{3/2}} - skewness$$

$$\lambda_1 \sim \langle \eta (\nabla \eta)^2 \rangle - "cross - skewness"$$

SSB $\sim \mu Q$ – поправка на асимметрию



Используемые данные

Wave steepness for SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

Введение

Безразмерные
параметры
SSB

Анализ
данных

Заключение

Ссылки

Jason-3 (так же использовались J-1 и J-2) (follow-on of T/P, 1992)

Operator NASA, NOAA,
CNES, EUMETSAT

Mission duration 5 years

Launch mass 553 kg

Launch date January 17, 2016

Perigee 1331.7 km

Sounding frequency **2.2 cm**

Inclination **66.04°**

Period 112.42 minutes

Repeat interval 9.92 days

SARAL/AltiKa (Возраст миссии менее 6 лет)

Operator ISRO, CNES

Mission duration 5 years

Launch mass 407 kilograms

Launch date 25 February 2013

Perigee 790 kilometres

Sounding frequency **0.8 cm**

Inclination **98.54°**

Period 100.54 minutes

Repeat interval appr. 35 days



SSB для Jason-3 (Ku) и SARAL/AltiKa (Ka) 2018

Wave
steepness for
SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

Введение

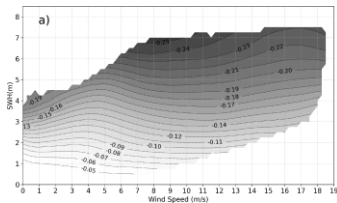
Безразмерные
параметры
SSB

Анализ
данных

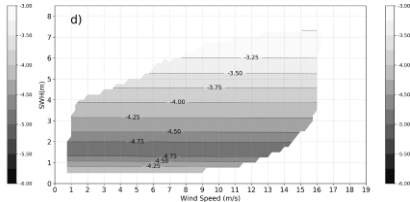
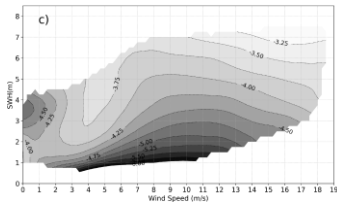
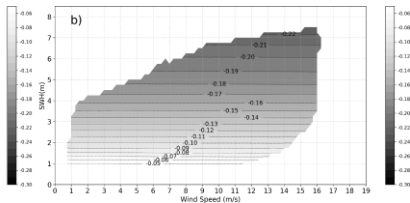
Заключение

Ссылки

Jason-3



SARAL/AltiKa



a, b – SSB (метры); c, d – SSB/ H_s (проценты)



Функции распределения для Jason-3 и SARAL/AltiKa

Wave steepness for SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

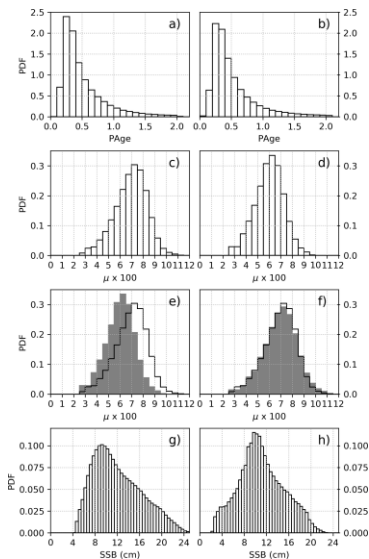
Введение

Безразмерные
параметры
SSB

Анализ
данных

Заключение

Ссылки



Функции распределения ξ
для обеих миссий
идентичны;

Функции распределения μ
немного отличаются. Но
простая нормировка

$\mu_{SA} = 1.16\mu_{J3}$ делает их
практически одинаковыми.

Влияние наклона орбиты.

Видна разница
распределений SSB для
двух спутников



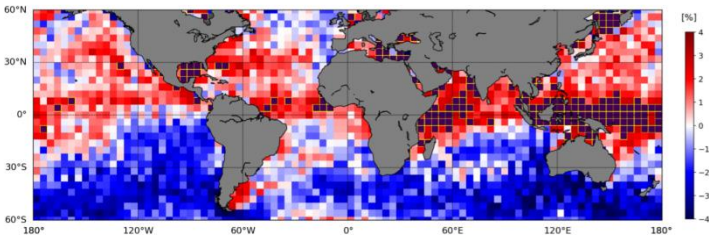
Оценка крутизны для J3-SA(нормированный) Осреднение: $4^\circ \times 4^\circ$

Wave
steepness for
SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

$$M = 100 \times \frac{\mu_{J3} - \mu_{SA}}{\mu_{SA}}$$

Интересная зависимость для двух полушарий



Значения находятся в небольшом диапазоне 3-4%

Введение

Безразмерные
параметры
SSB

Анализ
данных

Заключение

Ссылки



SSB в безразмерных величинах (ξ , μ) и (a , μ)

Wave steepness for SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

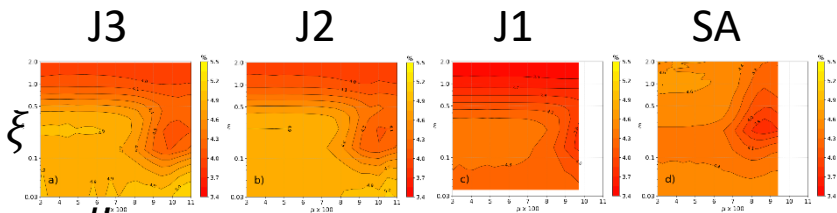
Введение

Безразмерные
параметры
SSB

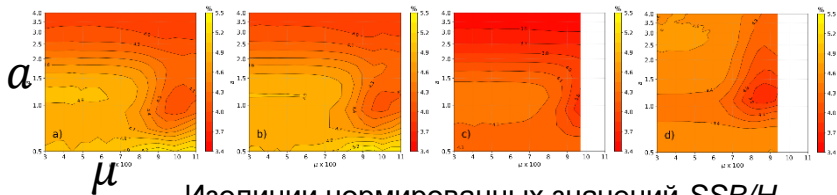
Анализ
данных

Заключение

Ссылки



Изолинии нормированных значений SSB/H_s
(в процентах)



Изолинии нормированных значений SSB/H_s
(в процентах) для возраста волны $a=gT_p/(2pU_{10})$



Выводы

(на конкурс)

Wave
steepness for
SSB

С. Бадулин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

Введение

Безразмерные
параметры
SSB

Анализ
данных

Заключение

Ссылки

1. Теория подобия применена к поправке на состояние морской поверхности (SSB)
2. Анализ данных SSB выполняется для безразмерных волновых параметров (крутизна волны и псевдо-возраст) отражающих динамику волн
3. Подobie глобальных распределений SSB в новых безразмерных переменных демонстрируется для высотомеров с разными рабочими диапазонами (J3 and SA).



Wave
steepness for
SSB

С. Бадюлин,
В. Григорьева,
П. Шабанов,
В. Шармар,
И. Карпов

Введение

Безразмерные
параметры
SSB

Анализ
данных

Заключение

Ссылки

Badulin, S.I., Grigorieva, V.G., Shabanov, P.A., V Sharmar, Karpov, I.O., Sea state bias in altimetry measurements within the theory of similarity for wind-driven seas. *Advances in Space Research* (recommended)

Badulin, S., Grigorieva, V., Gavrikov, A., Geogjaev, V., Krinitskiy, M., Markina, M., 2018. Wave steepness from satellite altimetry for wave dynamics and climate studies. *Russ. J. Earth. Sci.* 18, ES5005.

Badulin, S. I., 2014. A physical model of sea wave period from altimeter data. *J. Geophys. Res. Oceans* 119.



Спасибо за внимание!

