

# Применение метода тройной коллокации для оценки точности данных альтиметров, буюв и моделирования ВЫСОТЫ ВЕТРОВЫХ ВОЛН

Ф. А. Погарский<sup>1</sup>, В. Г. Полников<sup>1,\*</sup>, А. А. Кубряков<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН; <sup>2</sup>ФГБУ Морской гидрофизический институт РАН;

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет

\*polnikov@mail.ru

**Целью работы** является одновременная оценка точности данных измерений различными приборами и расчетов значительных высот  $H_S$  ветровых волн.

## Используемые данные

1) Альтиметрические спутниковые измерения (А-данные) шести миссий (Altika, Envisat, GFO, H2Y, Jason-1, Jason-2) [1].

2) Контактные измерения на волнографических буюв (В-данные) из базы NDBC [2] (см. рисунок).

3) Результаты численного моделирования (М-данные) двух видов: а) реанализ ERA5 разрешением  $0,1^\circ$  по пространству и 1 ч по времени [3], и б) результаты оперативных расчетов по модели WaveWatch3 с прогностическим ветром модели GFS разрешением  $10'$  и 3 ч соответственно [4].

Все данные взяты за период 2008–2016 годов.

**Метод исследования:** тройная коллокация [5]. Предполагается, что все типы данных являются линейной функцией от истинного значения вида:

$$\begin{aligned} B_i &= \beta_B T_i + e_{B_i} \\ A_i &= \beta_A T_i + e_{A_i} \\ M_i &= \beta_M T_i + e_{M_i} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $A$ ,  $B$  и  $M$  – значения  $H_S$  соответствующего типа;  $T$  – истинное значение  $H_S$ ,  $\beta$  – калибровочная константа,  $e$  – случайная ошибка измерения (расчета). Предполагается также, что А-, В- и М-данные имеют, в среднем, некоррелированные ошибки:

$$\langle e_{B_i} e_{A_i} \rangle = \langle e_{B_i} e_{M_i} \rangle = \langle e_{A_i} e_{M_i} \rangle = 0 \quad (2)$$

Проводится следующая итерационная процедура. Один тип данных (например, буювковые) берётся за эталонный. Рассчитываются минимизирующие ошибки всех трёх типов данных калибровочные константы  $\beta_A$  и  $\beta_M$  в двух других типах данных. Так, калибровочная константа  $\beta_A$  является корнем квадратного уравнения  $a\beta_A^2 + b\beta_A + c = 0$ , где

$$\begin{aligned} a &= \frac{\langle (B_i - A_i)(B_i - M_i) \rangle \langle B_i A_i \rangle}{\langle (A_i - B_i)(A_i - M_i) \rangle} \\ b &= \langle B_i^2 \rangle - \frac{\langle (B_i - A_i)(B_i - M_i) \rangle \langle A_i^2 \rangle}{\langle (A_i - B_i)(A_i - M_i) \rangle} \\ c &= \langle B_i A_i \rangle \end{aligned} \quad (3)$$

а угловые скобки означают осреднение по всему массиву используемых данных. Аналогично рассчитывается калибровочная константа  $\beta_M$ .

Далее, мы делим А- и М-данные на полученные калибровочные константы, и повторяем итерацию, пока процесс не сойдётся (новые калибровочные константы не станут равными 1). Искомые значения среднеквадратичных ошибок (СКО) В-, А- и М-данных, соответственно, имеют вид

$$\begin{aligned} E_B &= \sqrt{\langle (B_i - A_i)(B_i - M_i) \rangle} \\ E_A &= \sqrt{\langle (A_i - B_i)(A_i - M_i) \rangle} \\ E_M &= \sqrt{\langle (M_i - B_i)(M_i - A_i) \rangle} \end{aligned} \quad (4)$$



Рисунок. Расположение использованных буюв из базы NDBC

Отметим, что возможна только относительная калибровка. Тем не менее, рассчитанные ошибки не зависят от типа данных, выбранного эталонным.

Проведены два аналогичных расчета отдельно для каждого вида М-данных.

## Результаты

Таблица. СКО трех типов данных для расчетов с разными видами М-данных

Вид М-данных	Реанализ ERA5	Модель WaveWatch
Количество буюв	75	61
Общее кол-во данных	11700	3618
СКО, м	$E_B$	$E_M$
	0,32	0,15
	$E_A$	$E_M$
	0,38	0,31

**Интерпретация.** Ожидается высокая точность реанализа связана с усвоением всевозможных данных наблюдений. Относительно высокая точность численного моделирования определяется высоким пространственным разрешением и качеством модели.

Меньшая точность буюв связана с их подвижностью. Еще меньшая точность альтиметров обусловлена объединением данных всех миссий, имеющих разные калибровки.

## Ссылки

- <http://globwave.ifremer.fr/>
- <https://www.ndbc.noaa.gov/>
- Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017): ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS). <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>
- <ftp://polar.ncep.noaa.gov/pub/history/waves/>
- Janssen, P. A. E. M.; Abdalla; H. Hersbach; and J.-R. Bidlot. Error Estimation of Buoy, Satellite, and Model Wave Height Data // J. Atmosph. Oceanic Technol. 2007, V.24(9), p. 1665–1677.