

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Р.М. Алоярров¹, А.М. Федоров¹, Т.В. Белоненко¹, д-р геогр. наук

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

A STUDY OF STERIC LEVEL OSCILLATION IN THE NORTHWESTERN PART OF THE PACIFIC: SATELLITE DATA ANALYSIS

R.M. Aloiarov¹, A.M. Fedorov¹, T.V. Belonenko¹, Dr.Sc.

¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Целью данной работы является исследование стерических колебаний в северной части Тихого океана, включающей северо-западный бассейн Тихого океана, на основе комплексного использования спутниковых альтиметрических и гравиметрических измерений. Указанная цель достигается путем решения следующих задач: обзор литературы по теме исследования, физико-географическое описание исследуемого района, расчет стерических колебаний уровня по комбинированным спутниковым альтиметрическим данным и измерениям спутника GRACE, нуждающиеся в синхронизации, построение карт для северной части Тихого океана. По полученным данным были проанализированы сезонная и межгодовая изменчивости уровня в северной части Тихого океана. Были рассчитаны тренды, был оценен вклад стерических колебаний, которые составляют чуть менее половины изменчивости уровня в данной акватории. Также для стерических колебаний была построена карта коэффициентов линейного тренда. Сделанные расчеты позволили выделить северо-западную часть Тихого океана, где значения стерических колебаний уровня наиболее высокие.

The aim of this work is to study steric oscillation in the North Pacific, including the northwestern Pacific, based on the integrated use of satellite altimetric and gravimetric measurements. This goal is achieved by solving the following tasks: review of the previous literature on the research topic, physiographic description of the study area, calculation of steric level oscillation from combined satellite altimetry data and GRACE satellite measurements, mapping of the North Pacific. We analyzed the seasonal and interannual variability of the level in the North Pacific according to the data obtained. Trends were calculated, the contribution of steric oscillation was estimated, which is slightly less than a half the variability of the level in this area. A map of linear trend coefficients was also constructed for steric oscillation. The calculations made allow us to distinguish the northwestern Pacific, where the values of the steric oscillation of the level are the highest.

Исследованию стерических колебаний было посвящено много работ. История исследований тесно связана с развитием приборов и методов, позволяющих рассчитывать влияние плотностной изменчивости в уровне моря. Первейшие работы были основаны на данных, полученных in-situ, но ограниченность по пространству и времени не позволяла изучать стерические эффекты в более крупных масштабах.

Стерические колебания уровня океана происходят из-за вертикального расширения или сжатия морской воды, которые связаны с изменением плотности воды ρ или удельного объема α без изменения массы воды [1,3].

Особую актуальность приобретает проблема возможных колебаний уровня океана в связи с дискуссией о повышении уровня Мирового океана и механизмах антропогенных изменений [2].

Материалы и методы исследования.

Суть метода [4,5] оценки стерических колебаний с использованием комбинированных спутниковых альтиметрических и гравиметрических измерений состоит в следующем выражении:

$$UM = UM_{\text{масс.}} + UM_{\text{стер.}}, \quad (1)$$

где UM – альтиметрические измерения, основанные на превышении уровня относительно геоида (абсолютная динамическая топография); $UM_{\text{масс.}}$ – уровень, который связан с массой высоты столба жидкости; изменения массы объясняются процессами взаимодействия океана и атмосферы, также включая приток пресной воды и таяние льда, изменения массы столба жидкости фиксируются гравиметрическими измерениями; $UM_{\text{стер.}}$ – уровень, обусловленный вкладом стерических колебаний.

Альтиметрические данные, используемые в работе, представляют собой мультиспутниковый продукт (спутники Jason-3, OSTM/Jason-2), взятый из архива AVISO (Archiving, Validation, and Interpretation of Satellite Oceanographic data, <https://www.aviso.altimetry.fr/en/my-aviso.html>). Данные массива абсолютной динамической топографии имеют суточную дискретность и доступны за период 1993-2017 гг., значения высоты поверхности моря над геоидом предоставлены на четверть-градусной сетке. Данные GRACE позволяют определить массу столба жидкости, пересчитываемую далее в высоту. Данные были получены с сайта лаборатории NASA GRACE TELLUS (<https://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data/monthly-mass-grids-ocean/>). В используемом ряде данных также содержались пропуски, обусловленные различными техническими причинами.

Результаты.

В ходе работы были получены следующие результаты:

- Метод оценки стерических колебаний, основанный на комбинировании спутниковых данных, представляет большие перспективы для исследования данного процесса по всему Мировому океану.
- Уровень моря в северной части Тихого океана по данным абсолютной динамической топографии имел тенденцию к росту за 2003-2016 гг. на 3,6 мм/год, что согласуется с общим ростом уровня Мирового океана, равному 3,5 мм/год [6].
- Вклад в изменчивость уровня в северной части Тихого океана на 50% вносит трендовая составляющая уровня, обусловленного массовыми силами (1,8 мм/год при уровне значимости 0,05).
- Полученные результаты, в целом, подтверждают результаты оценки вклада стерических колебаний в уровень океана [7].
- Значение тренда для стерических колебаний уровня 1,7 мм/год (уровень значимости 0,05). Исходя из общего значения роста уровня, вычисленного по альтиметрическим данным, рост уровня стерических колебаний составляет 47,2% от увеличения уровня в северотихоокеанской части Мирового океана.
- На основе анализа карты распределения коэффициентов линейного тренда при уровне значимости 0,1 в северной части Тихого океана, представленной на рисунке 1, были выделены три основных района: два с положительным значением тренда (северо-западная часть Тихого океана, где наблюдались максимальные значения коэффициентов линейного тренда (до 2 см/год), и восточная часть акватории тропических и экваториальных вод), и один с отрицательным (5° - 32° с.ш. и 120° - 160° в.д.).

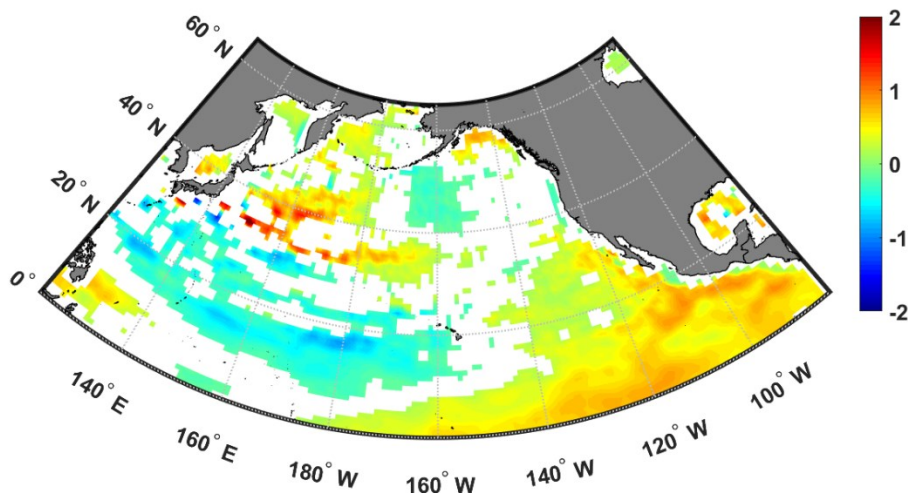


Рис. 1. Пространственное распределение трендов стерических колебаний (см/год) в северной части Тихого океана за период 2003-2016 гг. с учетом критерия Стьюдента (уровень значимости 0,1).

- Для северо-западной части Тихого океана (33° - 42° с.ш., 140° - 180° в.д.) рост уровня составил 8,3 мм/год, что в 2,3 раза больше, чем для всего северотихоокеанского бассейна.

- Сезонная изменчивость стерических колебаний уровня наблюдается в следующем: весной преобладают значения уровня с максимальными по модулю отрицательными аномалиями, а осенью, наоборот – с максимальными положительными аномалиями.
- Для северо-западного бассейна наблюдался рост уровня стерических колебаний. Это подтверждает значение тренда (уровень значимости 0,05), равное 3,2 мм/год (38,5% от уровня для всего северо-западного бассейна). Само значение тренда почти в 2 раза больше, чем для всей северной части Тихого океана. Однако вклад в изменчивость уровня северо-западной части океана меньше на 8,7%, чем в целом по бассейну.
- В северо-западной акватории вклад уровня, обусловленного массовыми силами, в изменчивость уровня является более значительным, чем для всей северной части Тихого океана (54,2% против 50%).

Литература

1. Белоненко Т.В., Колдунов А.В. Стерические колебания уровня в северо-западной части Тихого океана // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2006. Вып. 3. С. 81-88.
2. Малинин В.Н. Уровень океана: настоящее и будущее. — СПб.: РГГМУ, 2012. — 260 с.
3. Провоторов П.П. Стерические колебания уровня моря // Сборник «Колебания уровня в морях». Санкт-Петербург. 2003. С. 129-138.
4. Chambers D.P. Observing seasonal steric sea level variations with GRACE and satellite altimetry // Journal of Geophysical Research/ 2006. 111 (C3). C03010.
5. Lombard A., García D., Ramillien G., Cazenave A., Biancale R., Lemoine J.M., Flechtner F., Schmidt R., Ishii M. Estimation of steric sea level variations from combined GRACE and Jason-1 data // Earth Planet Sci Lett. 254. 2007. 194–202.
6. Nerem R.S., Chambers D.P., Choe C., Mitchum G.T. Estimating Mean Sea Level Change from the TOPEX and Jason Altimeter Missions// Journal Marine Geodesy, 2010. 435-446.
7. Purkey S.G., Johnson G.C., Chambers D.P. Relative contributions of ocean mass and deep steric changes to sea level rise between 1993 and 2013 // Journal of Geophysical Research, 2014. 119, 7509–7522

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-05-00452 и 17-05-00034

This work was supported by RFBR grants No. 16-05-00452 and 17-05-00034.