

## ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ МИРОВОГО ОКЕАНА В 21-М СТОЛЕТИИ

Малинин В.Н.<sup>1</sup>, Гордеева С.М.<sup>1</sup>, Шевчук О.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия, malinin@rshu.ru

**Аннотация.** Рассматриваются новые результаты изменчивости и долгосрочного прогноза уровня Мирового океана, основанные на спутниковых данных и даются оценки вклада эвстатических (воднобалансовых) факторов в формирование тренда глобального уровня.

Ключевые слова: уровень Мирового океана, прогноз уровня на конец столетия, вклад эвстатических факторов в тренд глобального уровня.

Глобальное потепление климата и повышение уровня Мирового океана (УМО) делает неизбежным затопление равнинных прибрежных территорий многих стран, грозит катастрофическим ущербом для инфраструктуры побережья океанов и морей, усиливает штормовые нагоны и наводнения в устьях рек. В связи с этим во второй половине «нулевых» годов текущего столетия в РГГМУ начались работы по изучению закономерностей межгодовых колебаний УМО на основе инструментальных наблюдений, выявлению их генезиса, оценке вклада различных «уровнеобразующих» факторов в формирование тренда УМО, построению комплекса физико-статистических моделей долгосрочного прогноза УМО с различной заблаговременностью. Результатом их стал цикл публикаций в периодической печати и издание монографии [1], причем многие научные результаты получены впервые. В данной работе рассматриваются новые результаты изменчивости и долгосрочного прогноза УМО по спутниковым данным и оценки вклада эвстатических факторов в формирование тренда УМО.

В настоящее время спутниковые данные УМО (например, сайт [sealevel.colorado.edu](http://sealevel.colorado.edu)) доступны с 1993 г. Тренд УМО за 1993-2018 гг., равный 3.1 мм/год, не меняется уже более 10 лет. Сравнение годовых величин УМО с данными аномалий глобальной приповерхностной температуры воздуха ( $\Delta T_{\text{гл}}$ ), взятых из архива HadCRUT4, показало наличие между ними хорошо выраженной линейной связи, которая аппроксимируется уравнением регрессии вида  $\Delta h_{\text{УМО}} \text{ (мм)} = 127,0 \Delta T_{\text{гл}} - 50,55$  с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0.80$ , и стандартной ошибкой  $\sigma_{y(x)} = 12,7$  мм. В предположении стационарности (неизменности) данной связи до конца столетия нетрудно рассчитать прогностические оценки УМО для 4-х климатических сценариев [], которые приводятся в табл. 1. Одновременно в этой же таблице даны прогностические оценки УМО, основанные на футшточных наблюдениях за 1960-2005 гг. [2].

**Таблица 1** – Прогностические оценки уровня Мирового океана на 2081–2100 гг. по сценариям CMIP5 [3] по спутниковым данным за 1993-2018 гг. и береговым данным за 1960–2005 гг.

Сценарии CMIP5	Прогностические оценки $T_{\text{гл}}$ , °C, [3, стр. 1031]	Прогноз УМО по спутниковым данным за 1993-2018 гг. см	Прогноз УМО по береговым данным за 1960–2005 гг. см [1]
RCP2.6	0,3 – 1,7	12.4 – 165.4	0,03 – 0,18
RCP4.5	1,1 – 2,6	89.2 – 279.7	0,12 – 0,28
RCP6.0	1,4 – 3,1	127.3 – 343.3	0,15 – 0,33
RCP8.5	2,6 – 4,8	279.7 – 559.2	0,28 – 0,51

Нетрудно видеть почти полное их сходство. Очевидно, это нижние пределы роста УМО. Однако в связи с возможным ускорением темпов глобального потепления очень вероятно и ускорение роста УМО. Понятно, что это будет происходить главным образом за счет таяния льдов Антарктиды и Гренландии. В 2017 году NOAA [4] опубликовал доклад о различных сценариях роста УМО на 2100 год. Нижней границей является повышение УМО на 0,3 м, а верхней – экстремальный уровень высотой 2,5 м, вероятность которого в рамках климатического сценария RCP8.5 оценивается в 0,1 %. В этом случае тренд за 2080-2100 гг. должен достигать величины 44 мм/год. Оправдываемость такого прогноза роста УМО будет стопроцентной, но есть ли в нем смысл?

Очень важной представляется задача изучения генезиса межгодовых колебаний УМО. В этом случае достаточно ограничиться анализом тренда, вклад которого в дисперсию УМО превышает 90%. В РГГМУ для оценки вклада уровнеобразующих факторов в формирование тренда УМО используется уравнение пресноводного баланса Мирового океана. Тогда с учетом стерического фактора имеем следующее уравнение:

$$\Delta h_M = A_M^{-1}(P_{MO} + M + I - E_{MO} + \Delta V_{стер.}),$$

где  $P_{MO}$  – осадки, выпадающие на акваторию МО;  $M$  – материковый (поверхностный и подземный) сток в МО;  $I$  – ледниковый сток в МО;  $E_{MO}$  – испарение с акватории МО,  $\Delta V_{стер}$  – стерические колебания УМО. За рубежом применяется уравнение баланса вод криосферы и суши. В этом случае необходимо рассчитывать баланс ледниковых щитов Антарктиды, Гренландии, горных ледников и подземных вод суши, которые требуют знания большого числа разных весьма трудно определяемых факторов, точность величин которых во многих случаях даже невозможно проконтролировать. Так, практически не поддается удовлетворительной оценке изменчивость подземных вод суши. Кроме того, зарубежные исследователи допускают принципиальную ошибку, рассматривая таяние горных ледников в качестве вклада в изменения УМО. Однако таяние горных ледников, находящихся в Европе, Азии, Африке и Ю. Америке, может влиять на УМО, очевидно, только через приток речных вод к океану. Но какая его часть обусловлена таянием горных ледников, в настоящее время неизвестно.

В табл. 2 приводятся оценки вклада различных факторов в формирование тренда УМО за различные периоды времени. Нетрудно видеть, что отмечается почти полное сходство, особенно за период 1993-2017 гг., вычисленных и фактических значений УМО. Существенно хуже точность при использовании уравнения баланса вод криосферы и суши. По данным [3] невязка за период 1993-2003 гг. составляет 0,3 мм/год, а без учета таяния горных ледников она достигает 1 мм/год, что составляет одну треть от роста УМО.

**Таблица 2** – Оценки вклада различных факторов в формирование тренда УМО с использованием уравнения пресноводного баланса Мирового океана, мм/год

Источник роста УМО	1980–2005 гг. [1]	1993–2017 гг.
Стерические колебания	0,30	1,60
Суммарный сток с Гренландии	0,14	0,50
Твердый сток с Антарктиды	0,24	0,23
Приток материковых вод	0,16	0,12
Вертикальный влагообмен (осадки минус испарение)	0,62	0,68
Суммарный вклад факторов	1,56	3,13
Рост УМО по данным наблюдений	1,79	3,10
Дисбаланс (невязка)	0,23	0,03

### Литература

1. Малинин В.Н. Уровень океана: настоящее и будущее. – СПб.: РГГМУ, 2012. – 260 с.
2. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Шевчук О.И. Изменчивость уровня Мирового океана за последние 140 лет // Ученые записки РГГМУ. 2007. Вып. 4. С. 125–132.
3. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
4. NOAA (2017) Global and regional sea level rise scenarios for the United States. NOAA Technical Report NOS CO-OPS 083.

## CHANGES OF THE GLOBAL SEA LEVEL IN THE 21ST CENTURY

Malinin V.N.<sup>1</sup>, Gordeeva S.M.<sup>1</sup>, Shevchuk O.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – *Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia, malinin@rshu.ru*

**Abstract.** We consider new results of variability and long-term forecast of the global sea level, based on satellite data, and provide estimates of contribution of eustatic factors to the formation of the global level trend.

Keywords: world ocean level, forecast level at the end of the century, the contribution of eustatic factors to the global level trend.