

# СРЕДА ОБИТАНИЯ

## ПРИРОДНАЯ СРЕДА

УДК 551.465  
ББК 26.23

В.Н. Малинин, О.И. Шевчук

### О ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ УРОВНЯ МИРОВОГО ОКЕАНА В БЛИЖАЙШИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ\*

*Уровень Мирового океана рассматривается как индикатор изменений глобального климата. Предлагается физико-статистическая модель долгосрочного прогноза уровня океана в зависимости от температуры воздуха, влияние которой на уровень измеряется несколькими десятилетиями. Установлено: рост океана в ближайшие десятилетия должен составить 3,1 мм/год, что почти в 2 раза выше темпов его роста в XX столетии*

*Ключевые слова:*  
*межгодовая изменчивость, мировой океан, прогноз, температура воздуха, тренды, уровень*

Известно, что уровень Мирового океана (УМО) является интегральным индикатором глобального водообмена, перераспределяющим воды гидросферы между отдельными оболочками Земли и, прежде всего, между ледниковыми покровами и водами суши. Одновременно с этим УМО испытывает плотностные (стерические) колебания, возникающие вследствие изменений плотности морской воды под воздействием главным образом температуры верхнего слоя океана, а также поступления пресных вод ледников.

Состояние проблемы колебаний УМО на конец XX-го столетия с учетом вклада в них различных факторов изложено в докладе экспертов Межправительственной группы экспертов по изменениям климата (МГЭИК) в 2001 г.<sup>1</sup> По их оценкам, положительный тренд УМО в XX столетии составлял 1,5–2,0 мм/год. Большое внимание в докладе уделено долговременному прогнозу колебаний УМО вследствие глобального потепления климата и его возможных изменений в XXI столетии на основе комплекса из 12 численных моделей, использующих различные сценарии изменений климата. Главным в них является постулирование роста концентрации углекислого газа и других малых парниковых газов в атмосфере. Результаты этих мо-

\* Работа выполнена при поддержке РФФК (проект 09-05-00389).

делей свидетельствуют, что при удвоении содержания  $\text{CO}_2$  и соответствующего увеличения средней глобальной температуры приземного слоя произойдут значительные изменения компонент гидрологического цикла, в том числе уменьшение массы горных ледников, морских льдов, шельфовых ледников в Антарктиде. Вследствие этого УМО может повыситься на 10–30 см к 2030 г. и от 30 до 100 см (наиболее вероятно 65 см) к концу столетия. Естественно, если такое развитие изменений климата станет реальностью, то это грозит катастрофическим ущербом для инфраструктуры прибрежных территорий, где проживает около миллиарда жителей Земли.

В 2007 г. подготовлен новый отчет МГЭИК по изменениям глобального климата, в котором в том числе синтезированы результаты по изучению колебаний УМО<sup>2</sup>, полученные зарубежными исследователями (преимущественно после 2000 г.) Последние результаты численного моделирования климата показывают, что уровень океана к концу столетия увеличится примерно на 20–50 см, что соответствует тренду в 2–5 мм/год. Нетрудно видеть, что по сравнению с предшествующим отчетом прогностические оценки уровня на конец столетия уменьшились почти в 2 раза, причем разброс оценок в обоих случаях весьма внушителен. Столь существенные расхождения обусловлены, очевидно, тем, что в этих моделях используются различные сценарии возможного роста парниковых газов вследствие антропогенных факторов и практически не учитываются естественные факторы колебаний климата. Это свидетельствует о необходимости построения альтернативных моделей, прежде всего, физико-статистических, суть которых состоит в том, что вначале устанавливаются физические связи изучаемого параметра с определяющими факторами, а затем уже на статистической основе строится прогностическая модель, заблаговременность которой зависит от инерционности воздействующих на изучаемый параметр факторов.

Достаточно очевидно, что УМО можно рассматривать как индикатор изменений климата<sup>3</sup>. Действительно, изменения приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) формируют режим накопления/расходования массы горных ледников, морских льдов, в значительной степени покровных ледников и, следовательно, определяют поступление пресных вод ледников в океан<sup>4</sup>. Кроме того, ПТВ влияет на изменчивость испарения и осадков над океаном<sup>5</sup>, а через изменения температуры поверхности океана вызывает стерические колебания уровня. Таким образом, именно ПТВ можно рассматривать как главный определяющий фактор колебаний УМО.

Первая оценка по связи колебаний УМО и температуры воздуха выполнена Р.К. Клиге и Г.П. Калинин<sup>6</sup>. Ими было показано, что между УМО и температурой воздуха северного полушария в течение 1900–1964 гг. существовала тесная связь ( $r = 0,94$ ) с запаздыванием УМО относительно температуры в 19 лет. В работе Горниц и др.<sup>7</sup> связь глобальной температуры воздуха и УМО характеризуется коэффициентом корреляции  $r = 0,80$  при сдвиге 18 лет. В дальнейшем рассмотрена<sup>8</sup> следующая линейная модель

$$h_{\text{УМО}i} = b_0 + b_1 \Delta T_{\text{С}(i-\tau)} + b_2 \Delta T_{\text{Ю}(i-\tau)}, \quad (1)$$

где  $h_{\text{УМО}}$  – уровень Мирового океана,  $\Delta T_{\text{С}}$  и  $\Delta T_{\text{Ю}}$  – осредненные аномалии температуры воздуха в северном и южном полушариях,  $\tau$  – сдвиг в годах. Модели рассчитывались за период 1901–1999 гг., начиная со сдвига  $\tau = 0$  до сдвига  $\tau = 35$  лет. Было выявлено, что влияние северного полушария на колебания УМО значительно сильнее по сравнению с южным полушарием. В результате расчетов получено, что адекватные по критерию Фишера модели отмечаются при нулевом сдвиге, а также при сдвигах  $\tau = 20$  и  $\tau = 30$  лет (табл. 1).

**Оценки параметров регрессионной модели колебаний УМО с аномалиями ПТВ в северном и южном полушариях при различных сдвигах  $\tau$  (в годах)**

Сдвиг, годы	Коэффициент детерминации, $R^2$	Стандартная ошибка модели, см/год	Критерий Фишера, F
0	0,50	3,3	17,4
20	0,44	3,1	12,5
30	0,56	2,3	7,7

Из табл. 1 видно, что при нулевом сдвиге модель (1) описывает 50 % дисперсии колебаний УМО. Очевидно, это связано с «быстрыми» изменениями эвстатической и стерической компонент. При повышении глобальной ПТВ одновременно увеличивается количество осадков над океаном и повышается испарение. Так, корреляция глобальной температуры воздуха с рядами испарения и осадков для УМО составляет соответственно  $r_{E,T} = 0,82$  и  $r_{P,T} = 0,80^5$ . Но поскольку рост осадков (P) происходит быстрее испарения (E), то тренд в эффективном испарении (E-P) оказывается отрицательным и равен 0,6 мм/год, что приводит к повышению УМО более, чем на 0,6 мм/год. Это связано с одновременным уменьшением плотности морской воды, что способствует дополнительному повышению УМО. Кроме того, при взаимодействии океана и атмосферы возможно повышение температуры верхнего квазиоднородного слоя, которое также приводит к повышению уровня. Что касается сдвигов  $\tau = 20$  и  $\tau = 30$  лет, то в этом случае рост УМО может быть связан с «медленными» изменениями эвстатической и стерической компонент, т.е. с изменениями массы ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии, а также повышением температуры воды в толще вод океана.

Итак, приведенные результаты свидетельствуют о возможности построения прогностической физико-статистической модели колебаний УМО, в которой в качестве исходных данных должны использоваться значения ПТВ в узлах сеточной области над океаном. В настоящее время известно несколько глобальных архивов, содержащих данные по температуре воздуха в узлах географической сетки, основанные на инструментальных наблюдениях<sup>9</sup>. Сравнительный анализ их показал, что наиболее адекватным решаемой задаче является разработанный в сотрудничестве с Метеорологическим центром Великобритании (Hadley Centre of the UK Met Office) глобальный архив HadCRUT3<sup>10</sup>, содержащий данные об аномалиях температуры воздуха в узлах (точках) пятиградусной сетки с 1850 г. и оперативно пополняемый каждый месяц.

Прежде всего, с целью удобства выполнения расчетов был сформирован новый архив, в который вошли только данные об узлах, находящихся непосредственно над акваторией океана и имеющие минимальное число пропусков. Начальной точкой отсчета принят 1901 год. В результате из 2592 точек в новый архив вошло 196 (рис. 1). Длина исходной матрицы значений температуры воздуха составила 107 (1901–2007 гг.) лет, а длина зависимой выборки  $n = 99$  лет. Как видно из рис. 1, большая их часть охватывает прибрежные районы вдоль всех материков земного шара и северную часть Атлантического океана. В южном полушарии находится менее 20 % данных. В качестве функции отклика использовался рассчитанный авторами УМО на основе футшточных (береговых) наблюдений за 1861–1999 гг.<sup>11</sup> Главной его закономерностью является наличие мощного линейного тренда, который в XX в. равен 1,8 мм/год и описывает 96 % дисперсии исходного ряда.

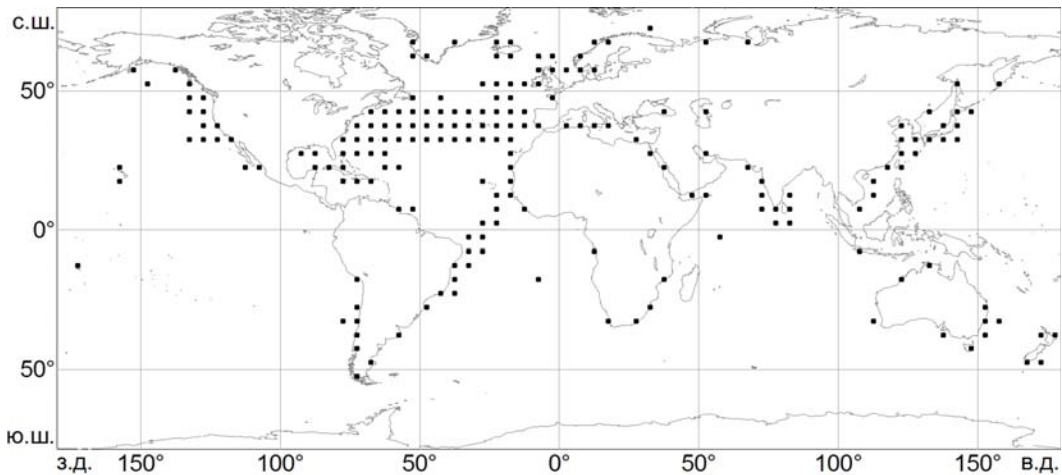


Рис. 1. Распределение ПТВ в узлах пятиградусной сетки архива HadCRUT3<sup>12</sup> над Мировым океаном, используемой в построении модели (1).

Итак, прогностическая регрессионная модель средних годовых значений УМО в зависимости от аномалий среднегодовой температуры воздуха над океаном имеет вид:

$$h_{\text{УМО}i} = f(\Delta T_{1(i-\tau)}, \Delta T_{2(i-\tau)}, \dots, \Delta T_{m(i-\tau)}), i = 1, m, \quad (2)$$

где  $\tau$  – сдвиг в годах,  $m$  – число исходных точек ( $m = 196$ ).

Основной задачей построения статистической модели является корректное определение ее неизвестных параметров. При большом числе предикторов наиболее эффективным методом решения данной задачи является использование пошаговой процедуры, которая, например, в рамках прикладного пакета «Statistica» реализуется в виде методов включения или исключения переменных. При этом оценка оптимальной модели может быть осуществлена с помощью частного  $F$ -критерия, который представляет собой обычный  $F$ -критерий для каждой переменной при условии, что она оказывается последней переменной, включенной в регрессию. Частный  $F$ -критерий связан с коэффициентом частной корреляции следующим соотношением:

$$F_k = [\rho_{yx}^2(n - k - 2)] / (1 - \rho_{yx}^2), \quad (3)$$

где  $k$  – число переменных, уже включенных в модель ( $k \leq m$ ) с учетом последней переменной  $X_j$ , для которой и рассчитывается частный коэффициент корреляции  $\rho_{yx}$ . По умолчанию в пакете «Statistica» она обычно принимается  $F_{кр} = 4,0$ . Как только величина  $F_k$  становится меньше  $F_{кр}$ , программа прекращает работу и последний шаг принимается за оптимальную модель регрессии<sup>13</sup>.

Однако, как показывает практика, частный  $F$ -критерий вряд ли следует считать универсальным и во многих случаях его использование еще не является гарантией получения наилучших результатов. Совершенно очевидно, что нахождение оптимальной модели МЛР – задача неформальная. И чем более сложной является исходная модель, тем большее неформальное участие исследователя требуется для оценки ее оптимального вида<sup>14</sup>. Поэтому целесообразно рассчитывать полный комплекс (от 1 до  $m$ ) моделей с детальным анализом их основных параметров (коэффициент детерминации, стандартная ошибка модели, критерий Фишера,  $p$ -level коэффициентов регрессии). Только в результате комплексно-

го анализа полученных моделей становится возможным надежное определение оптимального вида окончательной модели.

В данной работе использованы оба подхода. Непосредственное применение к исходной матрице аномалий температуры воздуха метода включения переменных показало, что оптимальные в смысле частного  $F$ -критерия регрессионные модели для большинства сдвигов  $\tau$  достигают почти идеальных статистических оценок. Однако это происходит при включении в модель очень большого числа переменных. Статистические параметры оптимальных моделей для нулевого сдвига и для  $\tau = 21$  год приводятся в табл. 2. Как видно из табл. 2, при сдвиге  $\tau = 0$  в модель включается 31 переменная, а при сдвиге  $\tau = 21$  год – 22 переменные. Кроме большой размерности существенным недостатком указанных моделей является также то, что в каждой из них присутствует по 2 переменных, незначимых по критерию Стьюдента.

Таблица 2

**Оценка статистических параметров оптимальных по частному  $F$ -критерию регрессионных моделей колебаний УМО с аномалиями ПТВ в различных точках океана при различных сдвигах  $\tau$  (в годах)**

Сдвиг, годы	Число переменных, $m$	Коэффициент детерминации, $R^2$	Стандартная ошибка модели, мм/год	Критерий Фишера, $F$
0	31	0,98	8,1	132,4
21	22	0,98	8,5	102,3

Хотя с точки зрения моделирования процесса колебаний УМО полученные результаты, несомненно, представляют значительный интерес, но с точки зрения прогноза УМО модели с очень большим числом предикторов вряд ли можно считать надежными. Дело в том, что эффективность (надежность) прогноза очень сильно зависит от числа предикторов, причем чем проще модель, тем она надежнее<sup>15</sup>. Это связано с тем, что каждый из предикторов обладает определенной ошибкой, которая не всегда носит случайный характер и, следовательно, может исказить рассчитанные значения функции отклика при использовании независимых данных. Кроме того, дополнительные ошибки вводятся в модель при условии включения в них незначимых предикторов.

Полный комплекс пошаговых моделей рассчитывался для всех сдвигов от  $\tau = 0$  до  $\tau = 33$  лет методом включения переменных до последнего шага, на котором все включаемые в модель предикторы еще являются значимыми. В результате общее число построенных моделей составило более 500. Наиболее сложным моментом сравнения моделей является оценка точности по их стандартной ошибке  $\sigma_{(yx)}$ . Это связано с явной нестационарностью ряда УМО. Действительно, к последнему сдвигу длина ряда уменьшается от  $n = 99$  до  $n = 66$  значений. Из-за мощного тренда выборочные оценки средней и стандартного отклонения сильно изменяются. Так, для исходного ряда стандартное отклонение составляет  $\sigma_{yMO} = 53,05$  мм/год, а при сдвиге  $\tau = 33$  лет  $\sigma_{yMO} = 38,29$  мм/год, т.е. значительно меньше. Для устранения влияния нестационарности функции отклика введен коэффициент эффективности модели  $\gamma = \sigma_{(yx)}/\sigma_{yMO}$ . Самый высокий коэффициент эффективности отмечается на 15 шаге для сдвига  $\tau = 21$  г., на котором он равен  $\gamma = 0,25$ . Поэтому примем сдвиг  $\tau = 21$  г. в качестве основного при анализе прогностических оценок УМО.

Из сравнения моделей для различных сдвигов следует, что уже на первом шаге включаемая переменная описывает 52–70 % дисперсии функции отклика.

При этом почти на всех сдвигах (в 30 случаях из 34) первой переменной является точка с координатами  $137,5^\circ$  с.ш. и  $32,5^\circ$  в.д., расположенная вблизи побережья Японии. Действительно, как видно из рис. 2 корреляция температуры воздуха с УМО при его запаздывании относительно ПТВ не опускается ниже 0,70 на всех сдвигах.

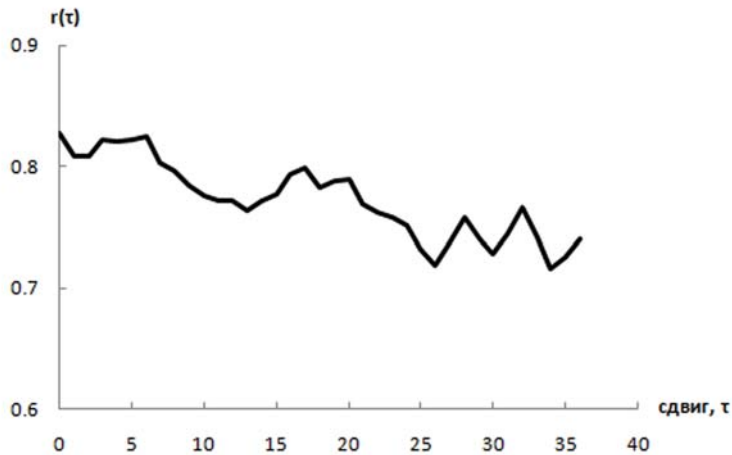


Рис. 2. Взаимокорреляционная функция ПТВ в точке координатами  $137,5^\circ$  с.ш. и  $32,5^\circ$  в.д. и УМО при запаздывании последнего относительно ПТВ в годах.

Введение новых переменных приводит к довольно быстрому росту коэффициента детерминации до  $R^2 = 0,80$  на 4–7 шагах и  $R^2 = 0,90$  на 8–12 шагах. Затем рост коэффициента детерминации резко замедляется. Для критерия Фишера характерно быстрое уменьшение до 4–7 шагов и примерное постоянство на следующих шагах. Отметим, что критерий Фишера для всех 510 построенных моделей значительно превышает его критическое значение и, следовательно, при выборе оптимальной модели может не учитываться. Стандартные ошибки моделей сравнительно плавно убывают по мере включения новых переменных. Наиболее сложное распределение имеют уровни значимости коэффициентов регрессии по  $t$ -критерию Стьюдента ( $p$ -level). Если величина  $p$ -level хотя бы одной переменной, входящей в модель, превышает заданный уровень значимости, принятый  $\alpha = 0,10$ , то ее надежность становится сомнительной, особенно при малом числе предикторов. Таким образом, анализ статистических параметров показывает, что определяющим для нахождения оптимального сдвига модели является распределение значений  $p$ -level.

Рассмотрим вначале особенности построения моделей на нулевом сдвиге, характеризующем синхронное взаимодействие температуры воздуха и УМО. На первом шаге  $R^2 = 0,69$ , на 8-м шаге  $R^2 = 0,90$  (рис. 3). Далее  $R^2$  медленно возрастает и на 15 шаге  $R^2 = 0,945$ . Стандартная ошибка на первом шаге равна  $\sigma_{(yx)} = 29,4$  мм/год, на втором она резко уменьшается до  $\sigma_{(yx)} = 24,7$  мм/год и затем плавно убывает к 16 шагу до  $\sigma_{(yx)} = 13,2$  мм/год. Все модели значимы по критериям Фишера и Стьюдента. Очевидно, с точки зрения поставленных в данной работе задач наиболее важным является нахождение такого шага модели, на котором достигается максимальное приближение вычисленного тренда в колебаниях УМО к фактическому. В связи с этим примем в качестве критерия точности величину  $|Tr_{\text{выч}} - Tr_{\text{фак}}| = 0,1$ . Как видно из рис. 3 на 1 шаге  $Tr_{\text{выч}} = 1,25$  мм/год, на 3 шаге

–  $Tr_{\text{выч}} = 1,50$  мм/год и на 10 шаге  $Tr_{\text{выч}} = 1,70$  мм/год. Итак, 10 переменных, включенных в модель, оптимально для описания колебаний УМО на нулевом сдвиге.

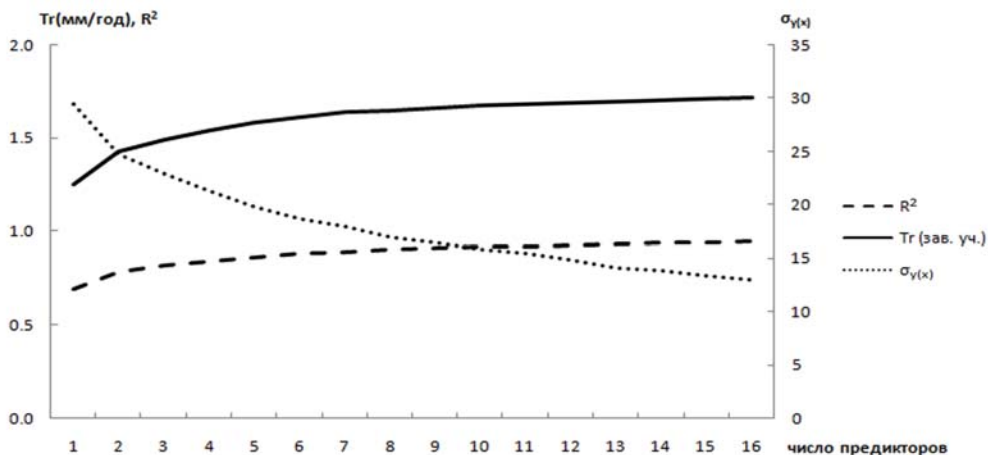


Рис. 3. Оценки статистических параметров ( $R^2$ ,  $\sigma_{y(x)}$ ,  $Tr$ ) для модели (2) при сдвиге  $\tau = 0$  для различных шагов от  $t = 1$  до  $t = 16$ .

Обратимся теперь к результатам построения прогностических моделей для сдвига  $\tau = 21$  г. На рис. 4. приводится распределение статистических параметров до 19 шага включительно. На первом шаге  $R^2 = 0,59$ , на 9-м шаге  $R^2 = 0,90$  после чего следует постепенное замедление градиента роста  $R^2$ . На последнем шаге  $R^2 = 0,968$ . Критерий Фишера на 1 шаге равен  $F = 110$ , его минимальное значение отмечается на 4-м шаге ( $F = 68$ ), на последующих сдвигах он колеблется в пределах  $F = 70-93$ . Стандартная ошибка на 1 шаге равна  $\sigma_{(yx)} = 29,9$  мм/год, далее она плавно уменьшается до  $\sigma_{(yx)} = 9,5$  мм/год на последнем шаге, т.е. в 3 раза. Что касается распределения значений  $p$ -level, то максимальная его величина для всех моделей вплоть до 19 шага меньше 0,05, т.е. они являются значимыми по данному критерию. И только на 20 шаге максимальный  $p$ -level для включаемой в модель переменной становится равным 0,15.

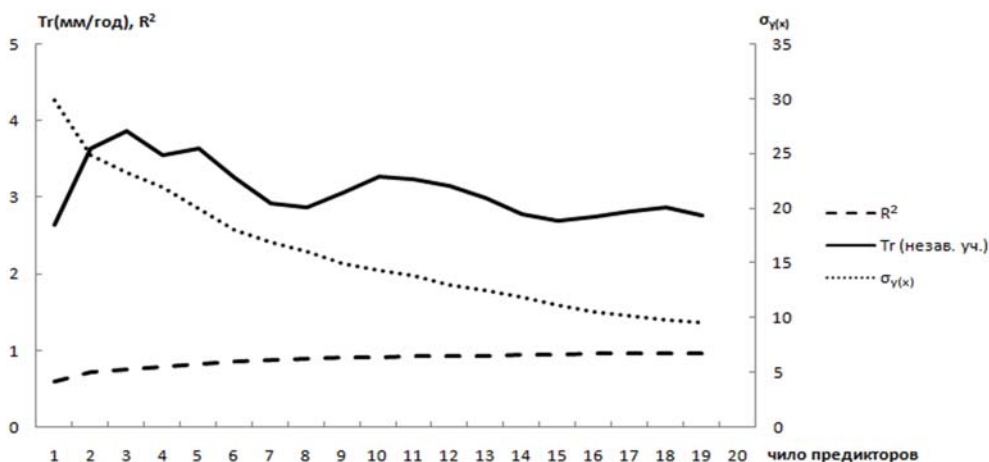


Рис. 4. Оценки статистических параметров ( $R^2$ ,  $\sigma_{yx}$ ,  $Tr$ ) для модели (2) на сдвиге  $\tau = 21$  год для различных шагов от  $t = 1$  до  $t = 19$ .

Поскольку исходные данные по температуре воздуха были по 2007 г. включительно, то это позволяет рассчитать прогностические значения УМО на 29 лет вперед, т.е. на 2000–2028 гг. Результаты расчетов свидетельствуют, что в ближайшие годы следует ожидать сравнительно быстрого роста УМО (рис. 5). Весьма важно, что разброс прогностических оценок уровня на каждый год относительно невелик и составляет в среднем около 4,5 см. При этом максимальный разброс оценок отмечается в 2003 г. (7 см), а минимальный – в 2011 г. (2 см). Принимая во внимание данное обстоятельство, вряд ли имеет смысл придавать значение конкретным оценкам прогностических значений УМО и вполне достаточно ограничиться лишь величиной тренда ( $T_r$ ).

На рис. 4 представлены его значения для всех 19 шагов за независимый период 2000–2028 гг. На первом шаге  $T_r = 2,6$  мм/год, затем вплоть до 13 шага его величина  $T_r \geq 3,0$  мм/год с максимумом на 3 шаге ( $T_r = 3,8$  мм/год). После этого до 19 шага тренд медленно убывает до  $T_r = 2,8$  мм/год. Среднее значение тренда прогностических значений УМО равно  $T_r = 3,1$  мм/год, что практически точно совпадает с трендом УМО за 1993–2003 гг. по альтиметрическим данным<sup>16</sup>. Отметим, что хотя для оптимальной по частному  $F$ -критерию модели тренд прогностических значений УМО несколько меньше ( $T_r = 2,6$  мм/год), однако все его значения находятся в диапазоне оценок УМО, приведенных на рис. 5.

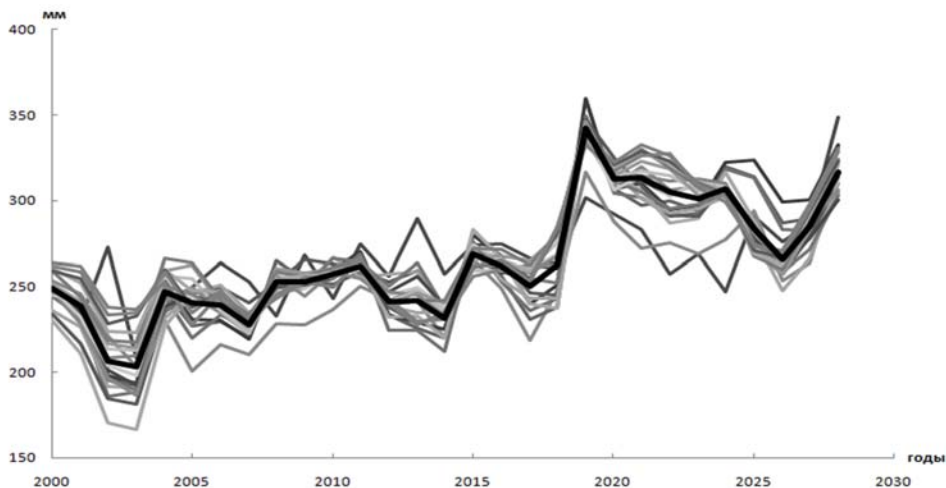


Рис. 5. Прогностические значения УМО за период 2000–2028 гг., рассчитанные по модели (2) для различных шагов от  $t = 1$  до  $t = 19$ .  
Жирная линия – осредненная кривая по 19 значениям УМО.

Таким образом, есть все основания считать, что в ближайшие годы рост УМО будет продолжаться примерно теми же темпами, что и в начале XXI века.

<sup>1</sup> IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.

<sup>2</sup> IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007. [Bernstein L., et al.(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 940 pp.



- <sup>3</sup> Фукс В.Р. Уровень Мирового океана как индикатор глобального потепления // География и современность. СПб., 2005, вып.10. – С. 73–93.
- <sup>4</sup> Малинин В.Н. Изменчивость глобального водообмена в условиях меняющегося климата // Водные ресурсы. – 2009, №1.
- <sup>5</sup> Малинин В.Н., Шевчук О.И. Эвстатические колебания уровня Мирового океана в современных климатических условиях // Известия РГО. – Т. 140. Вып. 4. – 2008. – С. 20–30.
- <sup>6</sup> Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. – Л., 1974. – 638 с.
- <sup>7</sup> Gornits V., Lebedeff L., Hansen J. Global sea level trend in the past century. // Science. 1982. V. 215 P. 1611–1614.
- <sup>8</sup> Малинин В.Н. О современных изменениях климата и уровня Мирового океана // Вопросы промысловой океанологии. Вып.3. – М., 2006, 145–159.
- <sup>9</sup> Brohan, P., et al., 2006: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850. *J. Geophys. Res.*, 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548; Hansen, J., et al., 2001: A closer look at United States and global surface temperature change. *J. Geophys. Res.*, 106, 23947–23963; Lugina, K.M., et al., 2005: Monthly surface air temperature time series area-averaged over the 30-degree latitudinal belts of the globe, 1881–2004. In: Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, TN, <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/temp/lugina/lugina.html>; Smith, T.M., and R.W. Reynolds, 2005: A global merged land and sea surface temperature reconstruction based on historical observations (1880–1997). *J. Clim.*, 18, 2021–2036.
- <sup>10</sup> Brohan, P., et al., 2006: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes...
- <sup>11</sup> Малинин В.Н., Гордеева С.М., Шевчук О.И. Изменчивость уровня Мирового океана за последние 140 лет // Ученые записки. Вып. 4. – 2007. – С. 125–132.
- <sup>12</sup> Hansen, J., et al., 2001: A closer look at United States and global surface temperature change.
- <sup>13</sup> Малинин В.Н., Гордеева С.М. Физико-статистический метод прогноза океанологических характеристик. – Мурманск, 2003. – 164 с.; Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: подход с использованием ЭВМ. – М., 1982. – 488 с.; Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Кн. 1. – М., 1986. – 366 с.; Кн. 2. – М., 1987. – 351 с.
- <sup>14</sup> Малинин В.Н., Гордеева С.М. Физико-статистический метод прогноза океанологических характеристик. – Мурманск, 2009. – 164 с.
- <sup>15</sup> Там же.
- <sup>16</sup> Cazenave, A., Nerem R.S. Present-day sea level change: Observations and causes // *Rev. Geophys.* 2004. V. 42, RG3001, doi:10.1029/2003RG000139; Church J.A. and White N.J. A 20th century acceleration in global sea-level rise // *Geophysical Res. Letters.* 2006, V. 33 N 1, L01602; Nerem R.S., Chambers D.P., Leuliette E.W., Mitchum G.T. Satellite Measurements of Sea level Change. Where have been and where are we going? – 2006. <http://earth.esa.int/cgi-bin/confalt15y.pl?abstract=1092>.