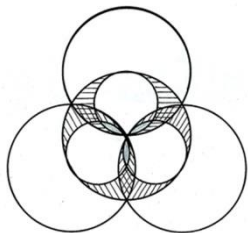


УДК 551.461.6



## ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МИРОВОГО ОКЕАНА И ИХ ПРИЧИНЫ

Федоров В.М. (к.геогр.н.)

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, РФ

*fedorov.msu@mail.ru*

**Аннотация.** Для современной эпохи определена связь приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации и аномалии температуры поверхности океана (ТПО) как для Земли в целом, так и для отдельных полушарий. Найден эффект усиления межширотного теплообмена в поверхностном слое Мирового океана, связанный с сокращением поступления солнечной радиации в полярные районы и увеличением поступления в экваториальную область Земли. Эффект усиления межширотного теплообмена связан с вековым изменением наклона оси вращения Земли.

**Ключевые слова:** солнечная радиация, Мировой океан, температура поверхности океана, межширотный теплообмен, парниковый эффект.

### ВВЕДЕНИЕ

Исследование причин изменения глобальной температуры поверхности океана (ТПО) актуально для понимания процессов теплообмена в системе океан – атмосфера, океан – материк и их роли в изменении глобального климата Земли [2, 3, 5 – 7, 12]. Не подвергается сомнению то, что солнечная радиация имеет первостепенное значение в формировании термического режима поверхностного слоя Мирового океана. «Как бы ни были разнообразны и разнохарактерны периодические движения, возникающие в водах мирового океана, корни их кроются обычно в одном и том же: в лучистой энергии Солнца» [13]. В связи с этим в работе исследуются тенденции и причины изменения ТПО в связи с приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиацией (изменение активности Солнца при этом не учитывается).

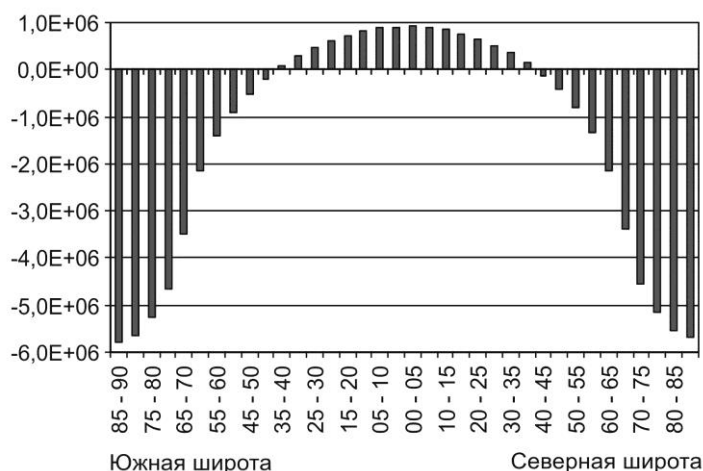
### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе астрономических эфемерид DE-406 [17] рассчитывалась солнечная радиация, приходящая на эллипсоид Земли в отсутствие атмосферы (или на верхнюю границу атмосферы) за период с 1850 г. по 2050 г. [8 – 11, 15, 16]. В результате расчетов создана база радиационных данных [19]. Рассчитанные значения приходящей солнечной радиации составлялись с данными аномалии ТПО [18]. Известно, что поступающая на земную поверхность, в том числе на поверхность океана занимающего более 2/3 поверхности Земли, солнечная радиация преобразуется в тепловую энергию и, перераспределяется в направлении от экваториальной области (источника тепла) к полярным областям (стока тепла). Результатом такого перераспределения тепла является сглаживание широтных температурных различий в меридиональном направлении [5 – 7]. Этот механизм теплообмена известен как «тепловая машина первого рода» [13]. В годовом ходе он более интенсивно проявляется в зимнее

## Тенденции изменения температуры поверхности мирового океана и их причины

полугодие из-за больших значений межширотного градиента температуры как в атмосфере, так и в поверхностном слое океана.

Расчеты приходящей солнечной радиации позволили определить проявляющиеся на фоне ее общего сокращения широтные особенности, отражающие вековую и 19-ти летнюю изменчивость [8 – 11, 14 – 16, 19]. Вековая изменчивость оценивалась разностью значений приходящей радиации ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ ) в последний (2050 г.) и первый (1850 г.) год временного интервала для соответствующих широтных зон. Результаты расчетов показывают, что на фоне общего сокращения приходящей к Земле солнечной радиации в полярных областях Земли (выше  $45^\circ$  географической широты) отмечается тенденция к существенному сокращению, а в экваториальной области (ниже  $45^\circ$  широты) – к некоторому увеличению поступающей радиации (рис. 1)



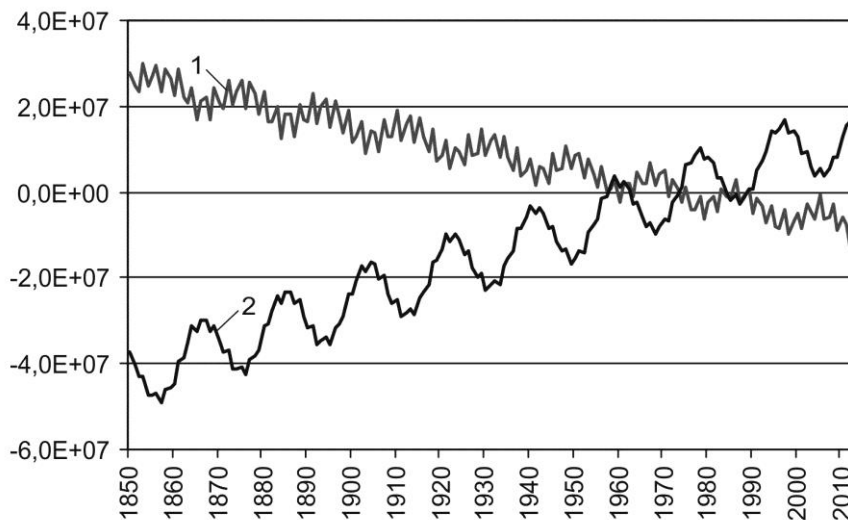
**Рис. 1.** Распределение разности приходящей в соответствующие широтные зоны Земли солнечной радиации (без учета атмосферы) в 2050 г. и в 1850 г.,  $\text{Дж}/\text{м}^2$ .

Таким образом, широтные контрасты в солярном климате Земли возрастают. Следствием этого эффекта может быть усиление меридионального переноса тепла от экваториальной области к полярным районам и соответствующие этому изменения в термических характеристиках, как поверхностного слоя Мирового океана, так и глобального климата Земли. Сокращение приходящей в полярные области радиации за период с 1850 по 2050 гг. определяется величиной  $5,79\text{E}+06 \text{ Дж}/\text{м}^2$ , что составляет 0,11% относительно среднего (за период с 1850 по 2050 гг.) значения приходящей радиации для широтных зон ( $85^\circ - 90^\circ$  географической широты). Увеличение в экваториальной области значительно меньше – в районе экватора ( $0^\circ - 5^\circ$  широты) составляет  $9,15\text{E}+05 \text{ Дж}/\text{м}^2$  (0,007%). Увеличение разности в приходящей радиации в этих зонах в 2050 году составит  $6,70\text{E}+06 \text{ Дж}/\text{м}^2$ , что на 0,09% больше, чем в 1850 г.

Отмеченный эффект, в пространственной изменчивости приходящей на земной эллипсоид (без учета атмосферы) солнечной радиации, связан с вековой тенденцией к уменьшению наклона оси вращения Земли (относительно перпендикуляра к плоскости эклиптики). Известно, что при увеличении угла наклона оси увеличивается поступление солнечной радиации в полярные районы, т.е. происходит сглаживание

широтной контрастности солярных температур в полушариях и усиление сезонных различий. При уменьшении угла наклона оси вращения происходит сокращение приходящей солнечной радиации в полярные области. Широтные контрасты при этом возрастают, а сезонные сглаживаются [6 – 8].

Рассчитанная солнечная радиация, приходящая за тропический год [9] к Земле (без учета атмосферы) и отдельным полушариям сравнивалась с данными аномалии ТПО, представленными в архиве HadSST3 университета Восточной Англии и центра Хедли [18]). Также аномалии ТПО сопоставлялись с разностью солнечной радиации приходящей в широтную зону от  $45^\circ$  с.ш. до  $45^\circ$  ю.ш. и радиацией, приходящей в области от  $45^\circ$  до  $90^\circ$  широты (суммарно по полушариям) для Земли (рис. 2). Для полушарий эта разность определялась между солнечной радиацией широтных зон  $0^\circ - 45^\circ$  и  $45^\circ - 90^\circ$  каждого полушария.



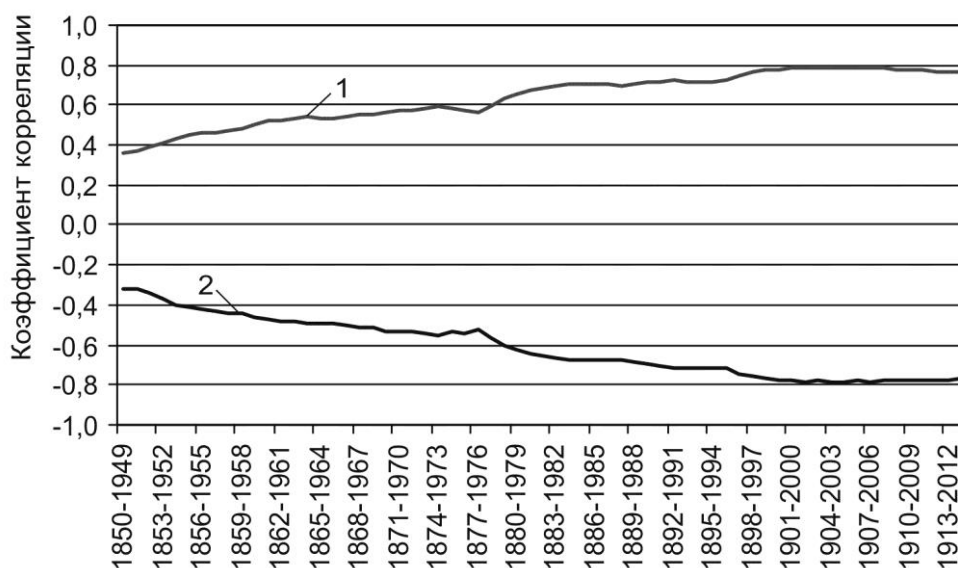
**Рис. 2.** Изменение приходящей на верхнюю границу атмосферы Земли солнечной радиации (1) и разности солнечной радиации, приходящей в экваториальную и полярную области Земли (относительно средних для периода 1961 – 1990 гг. значений), Дж/м<sup>2</sup>.

Сравнение рассчитанных радиационных и приведенных в архивах температурных данных [18] показывает, что приходящая солнечная радиация к Земле (и отдельным полушариям) сокращается (рис. 2). Величина приходящей на поверхность Земли солнечной радиации (по отношению к среднему значению за период с 1961 – 1990 гг.) с 1850 г. по 2013 г. составляет  $-3,49E+07$  Дж/м<sup>2</sup>. Разность солнечной радиации приходящей в экваториальную область и полярные районы Земли (и полушарий) возрастает за этот период на  $5,83E+07$  Дж/м<sup>2</sup> (относительно среднего для периода 1961 – 1990 гг.). Температура ТПО на Земле и в отдельных полушариях возрастает. Аномалия ТПО (относительно среднего для периода 1961 – 1990 гг. значения) с 1850 по 2013 гг. определяется величиной  $0,691^\circ$  С. Для северного полушария сокращение приходящей радиации составляет  $1,73E+07$  Дж/м<sup>2</sup>, аномалии разности  $-2,91E+07$  Дж/м<sup>2</sup>. Аномалия ТПО характеризуется значением  $0,697^\circ$  С. Для южного полушария сокращение приходящей солнечной радиации составляет  $1,76E+07$  Дж/м<sup>2</sup>, разность

## Тенденции изменения температуры поверхности мирового океана и их причины

солнечной радиации приходящей в экваториальную и полярную область полушария увеличивается на  $2,92E+07$  Дж/м<sup>2</sup>. Аномалия ТПО в южном полушарии за этот период составляет  $0,704^\circ$ .

Исследование связи температурных данных и значений солнечной радиации проводилось на основе корреляционного анализа. Корреляционная связь исследовалась по рядам с постоянной продолжительностью в 100 лет (вековым интервалам) с последовательным смещением (с шагом в 1 год) их от начала массива фактических данных (1850 г.) к концу (2013 г.). Таким образом, определялись значения коэффициента корреляции (R) для интервалов 1850 – 1949 гг., 1851–1950 гг. и т. д., всего для 66 вековых интервалов (рис. 3).



**Рис. 3.** Изменение значения коэффициента корреляции аномалии ТПО и разности солнечной радиации приходящей в экваториальные и полярные области Земли (1) и приходящей к Земле солнечной радиации (2) в вековых интервалах.

Значения R между величинами аномалии ТПО и солнечной радиации (приходящей и разности), в свою очередь, характеризуются высокой степенью корреляционной связи со средними для соответствующих вековых интервалов значениями показателя метеоданных (представленных в архиве HadSST3). Средние значения R составляют от 0,985 до 0,979 для приходящей радиации и разности соответственно. Показатель метеоданных – это, выраженная в процентах, доля поверхности Мирового океана, охваченная 5-ти градусными ячейками с метеоданными относительно всей поверхности Мирового океана. Изменение значений R (рис. 3) по вековым интервалам, отражает неоднородный характер распределения метеоданных в массиве HadSST3 по степени полноты и достоверности. При этом в массиве выделяются вековые интервалы (близкие к современности) с 1900 – 1999 гг. и т. д. до 1914 – 2013 гг., (всего 15 интервалов) на которых значения R становятся высокими и весьма близкими (табл. 1).

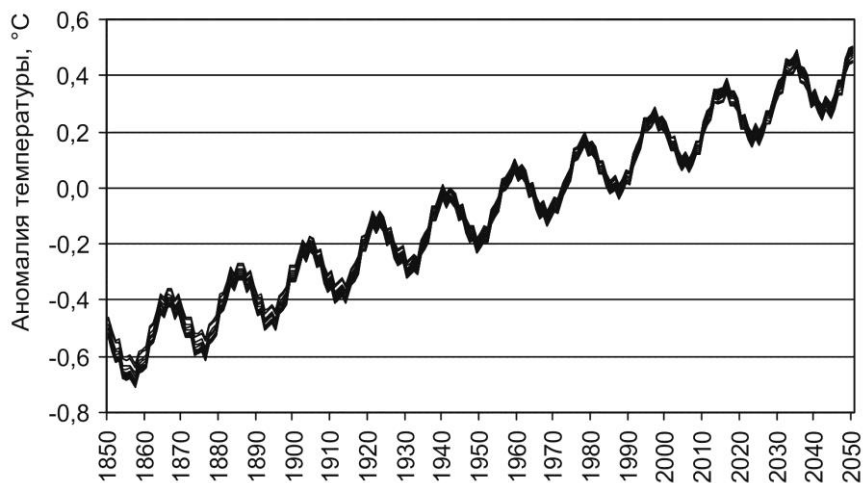
**Таблица. 1.** Средние значения коэффициента корреляции аномалии температуры ТПО и приходящей солнечной радиации (вероятность – 0,99). Первый столбец – корреляция с приходящей солнечной радиацией, второй – с разностью солнечной радиации приходящей в экваториальную и полярную области.

Корреляция	Мировой океан		Северное полушарие		Южное полушарие	
	По всему ряду (1850 – 2013 гг.)	-0,757	0,762	-0,657	0,657	-0,784
Среднее по вековым интервалам	-0,613	0,637	-0,537	0,543	-0,622	0,662
Среднее по достоверным вековым интервалам	-0,778	0,780	-0,702	0,688	-0,810	0,832

Изменения R по 15-ти вековым интервалам составляют для температуры поверхности Мирового океана 0,54% (приходящая радиация) и 1,03% (разность), для ТПО северного полушария 1,20% и 1,12%, для ТПО южного – 0,27% и 0,62%. Эти вековые интервалы соответствуют наиболее достоверным данным архива HadSST3 [19]. Данные этих вековых интервалов, по критериям достоверности метеоданных, высоких и стабильных значений R, отражающих фактическую и достоверную связь аномалии ТПО и солнечной радиации приходящей на верхнюю границу атмосферы, приняты нами в качестве основы для построения уравнений линейной регрессии. Отмечается (табл. 1) отрицательная корреляционная связь аномалии ТПО с приходящей к Земле солнечной радиацией и положительная связь с разностью солнечной радиации, приходящей в экваториальную и полярную область. При этом для ТПО южного полушария отмечается более тесная корреляционная связь аномалии температуры с солнечной радиацией, чем для ТПО северного полушария (табл. 1). Это может объясняться дисперсией, вносимой в аномалию ТПО механизмом теплообмена, связанным с различным сезонным нагреванием и охлаждением материков и океанов, известного как «тепловая машина второго рода» [13]. На основе уравнений регрессии (использовался архив HadSST3), полученных для достоверных вековых интервалов были рассчитаны (соответствующие значениям приходящей солнечной радиации) величины аномалии ТПО на период с 1900 по 2050 гг. для полушарий и Земли в целом (рис. 4). Полученное распределение отражает вековые тенденции изменения аномалии ТПО, определяемые сочетанием периодического изменения наклона оси вращения Земли (около 40 тыс. лет), прецессионного (около 25,7 тыс. лет) и нутационного (19-ти летнего) циклов, регулирующих поступление солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы [5 – 7, 9 – 12, 15 – 17, 20].

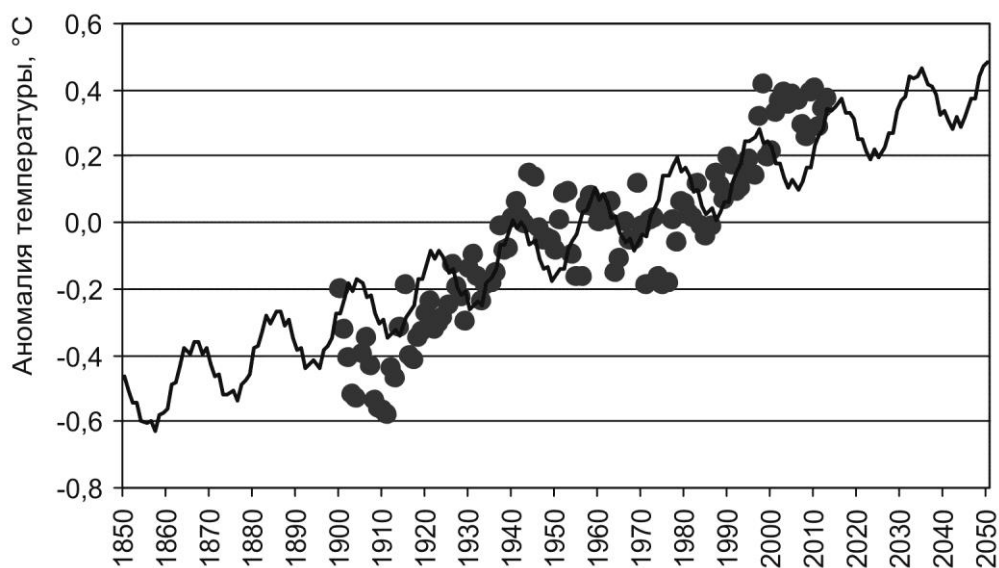
Детальное сравнение рассчитанных значений аномалии ТПО с фактическими значениями проводилось для периода достоверных данных с 1900 – 2013 гг. (рис. 5). Среднее расхождение по модулю за этот период составляет 0,117 °С (59,7% от модуля среднегодового значения фактической аномалии равного 0,197 °С). Анализ показывает, что 90% фактических значений аномалии находится в интервале  $\pm 0,232$  °С от рассчитанных значений аномалии. Среднее (по модулю) расхождение фактических значений аномалии от рассчитанных значений для ТПО северного полушария составляет 0,141 °С (72,1% от модуля среднегодового значения аномалии равного 0,195

## Тенденции изменения температуры поверхности мирового океана и их причины



**Рис. 4.** Распределение, рассчитанных по уравнениям регрессии для достоверных вековых интервалов, значений аномалии температуры поверхности Мирового океана.

°С). Интервал, в который входят 90% значений фактической аномалии ТПО ограничивается диапазоном  $\pm 0,268$  °С. В ТПО южного полушария среднее расхождение составляет 0,110 °С (49,0%). Модуль среднегодовой величины фактической аномалии с 1900 по 2013 год равняется 0,225 °С. Интервал, включающий 90% значений фактической аномалии, ограничен пределами  $\pm 0,227$  °С.



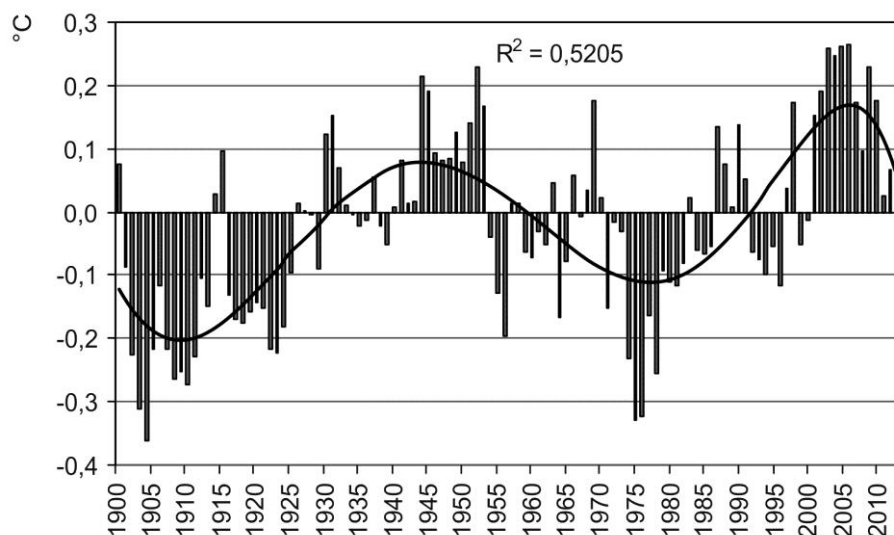
**Рис. 5.** Распределение рассчитанных с 1850 по 2050 гг. (синусоида) и фактических с 1900 по 2013 гг. значений аномалии температуры поверхности Мирового океана (относительно среднего за период 1961 – 1990 гг.).

Среднегодовое значение аномалии ТПО в южном полушарии (0,225 °С) за период с 1900 по 2013 по модулю превосходит соответствующее значение, полученное для ТПО северного полушария (0,195 °С). Меньшие значения расхождения фактических и

расчетных значений полученные для ТПО южного полушария указывают на то, что увеличение аномалии ТПО в большей степени, чем в северном полушарии, определяется механизмом межширотного теплообмена. По знаку фактические значения аномалии температуры имеют хорошее совпадение с расчетными значениями аномалии (оба ряда представлены относительно среднего для периода 1961 – 1990 гг. значения температуры). Для Мирового океана за период с 1900 по 2013 гг., совпадения составляют 85,1% (97 лет), для ТПО северного полушария 74,6% (85 лет), для ТПО южного – 81,6% (93 года из 114 лет).

Среднее (по модулю) расхождение фактических значений аномалии от расчетных значений для ТПО северного полушария (0,141 °С) превосходит среднее расхождение, полученное для ТПО южного полушария (0,110 °С). Это является подтверждением того, что в южном (более океаническом) полушарии повышение значений аномалии ТПО в большей степени определяется механизмом межширотного теплообмена, чем в (более континентальном) северном полушарии. Механизм теплообмена, связанный с различным сезонным прогреванием и охлаждением материков и океанов, активнее проявляется в ТПО северного полушария, где им определяется большая дисперсия в расхождении фактических значений аномалии ТПО с расчетными значениями и снижается эффект межширотного теплообмена. Это подтверждается более низкими (по модулю) среднегодовыми значениями аномалии ТПО в северном полушарии и значениями  $R$  (табл. 1).

Представленные на рис. 6 величины расхождения показывают, что существуют группы фактических значений аномалии (продолжительностью в среднем для Мирового океана 28 – 29 лет) расположенные либо выше расчетных значений аномалии, либо ниже.



**Рис. 6.** Распределение разности фактических и рассчитанных (по уравнению регрессии) значений аномалии температуры поверхности Мирового океана (аппроксимация – полином 6-й степени;  $R^2$  – величина достоверности аппроксимации).

## ***Тенденции изменения температуры поверхности мирового океана и их причины***

В среднем, для Мирового океана, в каждой группе 79,8% фактических значений находятся либо выше расчетных значений, либо ниже. В зависимости от этого они условно определяются нами как «теплые» и «холодные» соответственно. Для Мирового океана с 1900 по 2013 гг. выделяются четыре таких группы (эпохи): 1900 – 1925 гг. – «холодная», 1926 – 1953 гг. – «теплая», 1954 – 1986 гг. – «холодная», 1987 – 2013 гг. – «теплая». Сходные группы выделяются и для ТПО полушарий. В ТПО северного полушария однородность (по критерию выше или ниже расчетных) значений в группах в среднем составляет 79,4%. Хронологически эти группы синхронизируются с выделяемыми в типизации атмосферных процессов для северного полушария циркуляционными эпохами [4]. Они также сходны с интервалами различных состояний современного климата отражающими этапы взаимодействия в системе океан – атмосфера [1]. Однородность групп в ТПО южного полушария в среднем составляет 80,9%. Вероятно, отмечаемые колебания определяются периодичностью в процессах теплообмена в системе океан – материк (с периодом близким к 56 – 58 годам).

**Таблица. 2.** Сравнение фактических и расчетных значений аномалии температуры ТПО (первые столбцы без поправки на эпоху, вторые – с поправкой).

Корреляция	Мировой океан		Северное полушарие		Южное полушарие	
По всему ряду (1850 – 2013 гг.)	-0,757	0,762	-0,657	0,657	-0,784	0,796
Среднее по вековым интервалам	-0,613	0,637	-0,537	0,543	-0,622	0,662
Среднее по достоверным вековым интервалам	-0,778	0,780	-0,702	0,688	-0,810	0,832

Средние (по модулю) значения расхождения для «теплых» и «холодных» эпох составляют для Мирового океана 0,099 °С и 0,135 °С, для ТПО северного полушария – 0,115 °С и 0,165 °С, для ТПО южного полушария – 0,095 °С и 0,126 °С соответственно. С учетом полученных для эпох средних значений расхождения в качестве поправок, расхождения рассчитанных и фактических в среднем по модулю для Мирового океана сокращаются до 0,092 °С (46,9% от модуля средней фактической аномалии), что на 12,8% меньше, чем без учета поправки. В ТПО северного полушария среднее расхождение по модулю с учетом поправок составляет 0,104 °С (53,3%, т.е. на 18,8% меньше, чем без учета поправок). В ТПО южного полушария среднее расхождение по модулю равняется 0,093 °С (41,4%, т.е. на 7,6% меньше, чем без учета поправок). Совпадение по знаку фактических и расчетных значений аномалии (представленных относительно среднего для периода 1961 – 1990 гг.) также изменяется. Для Мирового океана с 97-ми до 94-х лет (с 85,1 до 82,5%), в ТПО северного полушария с 85-ти до 91-го (с 74,6 до 79,8%), в ТПО южного полушария от 93-х до 101-го года (с 81,6 до 88,6%). Значение R между фактическими и расчетными значениями аномалии при этом увеличивается (табл. 2). С учетом поправок отмечается сужение доверительных интервалов (для вероятности 90%) на 25,0%, 19,0% и 22,5% от начальной величины



(без поправок) для Мирового океана, ТПО северного и южного полушария соответственно.

Исследовалась также связь накопленной годовой приходящей солнечной радиации (накопление рассчитывалось суммированием годовых значений приходящей радиации с 1850 по 2050 гг.) и аномалии ТПО. Исследования показали, во-первых, увеличение в этом случае значений коэффициента корреляции солнечной радиации и аномалии ТПО и, во-вторых, сокращение значений расхождения рассчитанных и фактических значений аномалии ТПО. Так значения  $R$  приходящей солнечной радиации и аномалии температуры поверхностного слоя Мирового океана имеют отрицательные значения, и составляют  $-0,756$ , для северного полушария  $-0,657$ , для южного полушария  $-0,784$  (для рядов с 1850 по 2013 гг.). В случае учета накопления солнечной радиации  $R$  характеризуются положительными значениями равными  $0,796$ ,  $0,687$  и  $0,823$  соответственно. Значения  $R$  накопленной солнечной радиации и аномалии ТПО превышают значения  $R$  полученные для оценки связи солнечной радиации (без учета накопления) и аномалии на  $5,3\%$  для Мирового океана, на  $4,6\%$  для северного полушария и на  $5,0\%$  для южного полушария.

Значения  $R$  между рассчитанными (без учета накопления солнечной радиации) значениями аномалии ТПО и фактическими значениями составляют для Мирового океана  $0,756$ , для северного полушария  $0,657$ , для южного  $-0,784$ . Значения  $R$  между рассчитанными с учетом накопления солнечной радиации значениями аномалии ТПО и фактическими значениями составляют  $0,796$ ,  $0,687$  и  $0,823$  соответственно. Увеличение значений коэффициента корреляции, таким образом, для Мирового океана составляет  $5,3\%$ , для северного полушария  $-4,6\%$ , для южного полушария  $-5,0\%$ .

Расхождение фактических и рассчитанных без учета накопления значений аномалии ТПО для Мирового океана составляет (без учета поправки на «теплые» и «холодные» эпохи)  $56,1\%$  от модуля среднегодовой величины фактической аномалии ТПО, для северного полушария  $72,3\%$ , для южного полушария  $47,9\%$ . Для рассчитанных значений аномалии ТПО с учетом накопления приходящей солнечной радиации величины расхождения сокращаются, и становятся равными  $52,3\%$ ,  $71,5\%$  и  $44,1\%$  соответственно. Таким образом, расхождение фактических и расчетных значений сокращается для Мирового океана на  $6,8\%$ , для северного полушария на  $1,1\%$ , для южного полушария на  $7,7\%$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для современной эпохи определен эффект усиления межширотного теплообмена («тепловой машины первого рода») в поверхностном слое Мирового океана, связанный с сокращением поступления солнечной радиации (без учета атмосферы) в полярные районы и увеличением поступления в экваториальную область Земли (увеличением межширотного градиента в распределении приходящей радиации). В ТПО южного полушария усиление механизма межширотного теплообмена проявляется более интенсивно, чем в ТПО северного полушария. Эффект усиления межширотного теплообмена связан с вековым изменением наклона оси вращения Земли. Найдены тесные связи между аномалией температуры поверхности Мирового океана и приходящей солнечной радиацией. Тесными положительными связями характеризуется

изменчивость аномалии температуры и разность солнечной радиации приходящей в экваториальную область и полярные районы Земли, что доказывает участие эффекта усиления межширотного теплообмена в формировании тенденций аномалии ТПО.

С учетом накопления приходящей солнечной радиации получены более высокие значения  $R$  и более низкие величины расхождения фактических значений аномалии ТПО с рассчитанными. Значения коэффициента корреляции между накопленной солнечной радиацией и аномалией ТПО превышают значения  $R$ , характеризующие связь между солнечной радиацией без учета накопления и аномалией ТПО на 5,3% для Мирового океана, на 4,6% для северного полушария и на 5,0% - для южного полушария. Расхождение рассчитанных, с учетом накопления солнечной радиации, значений аномалии ТПО с фактическими значениями для Мирового океана сокращается на 6,8%, для северного полушария на 1,1%, для южного полушария на 7,7%. Полученные результаты свидетельствуют об усилении парникового эффекта и влиянии этого фактора на формирование тенденций изменения аномалии ТПО.

Таким образом, определены два фактора, связанные с пространственными и временными вариациями приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации, определяющие тенденции изменения температуры поверхности океана. Первый фактор – усиление межширотного теплообмена, связанный с вековым изменением наклона оси вращения Земли в результате прецессии и нутации. Второй фактор – усиление естественного парникового эффекта связанного, вероятно, с увеличением содержания водяного пара в атмосфере, определяемого увеличением испарения из-за поступления теплых воздушных масс, вследствие усиления межширотного теплообмена и, за счет конденсации.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов М.В., Бышев В.И., Залесный В.Б., Мошонкин С.Н. Междекадная изменчивость термической структуры вод Северной Атлантики и ее климатическая значимость // Доклады РАН. – 2012. – Т. 443, № 3. – С. 372 – 376.
2. Будыко М.И. Изменение климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 280 с.
3. Дроздов О.А., Васильев Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный В.П. Климатология. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 568 с.
4. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. – М.: Воентехиниздат, 2009. – 372 с.
5. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 408 с.
6. Монин А.С. Введение в теорию климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 246 с.
7. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // Успехи физ. Наук, 2000. – Т. 170, № 4. – С. 419 – 445.
8. Федоров В.М. Теоретический расчет межгодовой изменчивости солнечной постоянной // Астрономический вестник. – 2012. – Т. 46, № 2. – С. 184 – 189.
9. Федоров В.М. Межгодовые вариации продолжительности тропического года // Доклады РАН. – 2013. – Т. 451, № 1. – С. 95 – 97.
10. Федоров В.М. Пространственные с временные вариации солярного климата земли в современную эпоху // Геофизические процессы и биосфера. – 2015. – Т. 14, № 1. – С. 5 – 22.

11. Федоров В.М. Широтная изменчивость приходящей солнечной радиации в различных временных циклах // Доклады РАН. – 2015. – Т. 460, № 3. – С. 339 – 342.
12. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. – М.: МГУ, 1986. – 328 с.
13. Шулейкин В.В. Физика моря. – М.: АН СССР, 1953. – 990 с.
14. Fedorov V.M. Interannual Variability of the Solar Constant. *Solar System Research*, 2012, vol. 46, no. 2, pp. 170 – 176. DOI: 10.1134/S0038094612020049
15. Fedorov V.M. Interannual Variations in the Duration of the Tropical Year. *Doklady Earth Sciences*, 2013, vol. 451, Part 1, pp. 750 – 753. DOI:10.1134/S1028334X13070015
16. Fedorov V.M. Periodic Perturbations and Small Variations of the Solar Climate of the Earth. *Doklady Earth Sciences*, 2014, vol. 457, Part 1, pp. 868 – 871. DOI: 10.1134/S1028334X14070137
17. URL: <http://ssd.jpl.nasa.gov>. – NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). – Электронный ресурс национального аэрокосмического агентства США.
18. URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature>. – Электронный ресурс Университета Восточной Англии и центра Хедли (метеобюро Великобритании).
19. URL: <http://www.solar-climate.com/sc/bd01.htm> - Электронный ресурс «Солнечная радиация и климат Земли».

## TRENDS OF THE SEA SURFACE TEMPERATURE AND THEIR CAUSES

Fedorov V.M.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*fedorov.msu@mail.ru*

**Abstract.** The relationship has been identified between the incoming solar radiation and anomalies of the sea surface temperature (SST) for the Earth and hemispheres at the present time. The enhancing effect of the inter-latitude heat transfer in the ocean surface layer was found. This is related to the decreasing of incoming solar radiation in Polar and the increasing in the Equatorial regions of the Earth. The enhancing effect of the inter-latitude heat transfer associated with secular variations of the Earth's axis inclination.

**Keywords:** solar radiation, oceans, sea surface temperature, inter-latitude heat transfer, greenhouse effect.

## REFERENCES

1. Anisimov M.V., Byshev V.I., Zalesnyj V.B., Moshonkin S.N. Mezhdokadnaja izmenchivost termicheskoj struktury vod Severnoj Atlantiki i ee klimaticheskaja znachimost. *Doklady Akademii Nauk*, 2012, vol. 443, no. 3, pp. 372 – 376.
2. Budyko M.I. *Izmenenie klimata*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 280 p.
3. Drozdov O.A., Vasilev N.V., Raevskij A.N., Smekalova L.K., Shkolnyj V.P. *Klimatologija*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989, 568 p.
4. Kononova N.K. *Klassifikacija cirkuljacionnyh mehanizmov Severnogo polusharija po B.L.Dzerdzeevskomu*. Moscow: Voentehinizdat, 2009, 372 p.
5. Monin A.S., Shishkov Ju.A. *Istorija klimata*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1979, 408 p.
6. Monin A.S. *Vvedenie v teoriju klimata*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1982, 246 p.
7. Monin A.S., Shishkov Ju.A. *Klimat kak problema fiziki*. *Uspehi fizicheskikh Nauk*, 2000, vol. 170, no. 4, pp. 419 – 445.
8. Fedorov V.M. Teoreticheskij raschet mezhgodovoj izmenchivosti solnechnoj postojannoj. *Astronomicheskij vestnik*, 2012, vol. 46, no. 2, pp. 184 – 189.
9. Fedorov V.M. Mezhdokadnyye variacii prodolzhitel'nosti tropicheskogo goda. *Doklady Akademii Nauk*, 2013, vol. 451, no. 1, pp. 95 – 97.

10. Fedorov V.M. Prostranstvennye s vremennye variacii soljarnogo klimata zemli v sovremennuju jepohu. *Geofizicheskie processy i biosfera*, 2015, vol. 14, no. 1, pp. 5 – 22.
11. Fedorov V.M. Shirotnaja izmenchivost' prihodjashhej solnečnoj radiacii v razlichnyh vremennyh ciklah. *Doklady Akademii Nauk*, 2015, vol. 460, no. 3, pp. 339 – 342.
12. Hrgian A.H. Fizika atmosfery. Moscow: Moscow State University, 1986, 328 p.
13. Shulejkin V.V. Fizika morja. Moscow: Russian Academy of Sciences, 1953, 990 p.
14. Fedorov V.M. Interannual variability of the solar constant. *Solar System Research*, 2012, vol. 46, no. 2, pp. 170-176. DOI: 10.1134/S0038094612020049.
15. Fedorov V.M. Interannual variations in the duration of the tropical year. *Doklady Earth Sciences*, 2013, vol. 451, no. 1, pp. 750-753. DOI: 10.1134/S1028334X13070015.
16. Fedorov V.M. Periodic Perturbations and Small Variations of the Solar Climate of the Earth. *Doclady Earth Sciences*, 2014, vol. 457, no. 1, pp. 868 – 871. DOI: 10.1134/S1028334X14070137
17. NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). URL: <http://ssd.jpl.nasa.gov>. Accessed 17.02.2015.
18. University of East Anglia and the Hadley Centre (UK Met Office). URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature> Accessed 17.02.2015.
19. Fedorov V.M. Solar radiation and the Earth's climate. URL: <http://www.solar-climate.com>. Accessed 17.02.2015.