

**УДК 911**

## **ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГОДОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР ТИХОГО ОКЕАНА ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА**

*Холопцев А. В., Никифорова М. П., Жукова Т. А.*

*Севастопольский национальный технический университет, Севастополь, Украина,  
E-mail: kholoptsev@mail.ru*

Существенной причиной современного потепления климата явилось повышение с 1975 по 2005 гг. поверхностных температур Тихого океана, вызванное снижением интенсивности его апвеллингов. В XXI веке на большей части его акватории в этом процессе проявились противоположные тенденции, несмотря на снижение среднегодовых скоростей ветра на тихоокеанских побережьях Южной и Северной Америк. Это позволяет связывать данное явление, способное привести к похолоданию климата, с уменьшением плотности промежуточных и верхних глубинных вод океана.

**Ключевые слова:** Тихий океан, распределение среднегодовых значений аномалий поверхностных температур, апвеллинг, Глобальный тепловой океанический конвейер, похолодание, потепление, климат.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Подстилающая поверхность нашей планеты является основным источником потоков тепла и влаги, поступающих в земную атмосферу и участвующих в формировании глобального климата и ландшафтной оболочки. Поэтому выявление особенностей изменчивости средних температур различных ее участков, проявившихся в период современных перемен климата, является актуальной проблемой физической географии.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет для акваторий Мирового океана, через которые проходят поверхностные течения, образующие Глобальный тепловой океанический конвейер [25]. Важнейшей из них является акватория Тихого океана, в которой начинается формирование потока тепла, переносимого далее упомянутыми течениями через Индийский океан в Атлантику, что определяет современный термический режим Европы и восточных регионов Северной Америки.

Тихий океан образует значительную часть подстилающей поверхности нашей планеты. Он простирается приблизительно на 15,8 тысячи км с севера на юг и на 19,5 тысяч км с востока на запад, а его площадь с морями составляет 179,7 млн км<sup>2</sup> [21].

Исследования закономерностей, обуславливающих изменчивость распределения поверхностных температур Тихого океана, начались еще в первой половине XX века. Основой современных представлений о них являются работы Г. Т. Уолкера [12], У. Брокера [23], В. А. Буркова [5], С. С. Лаппо [11], А. С. Полосина [14], В. Н. Степанова [18]. Значительный вклад в них внесли труды отечественных ученых Е. А. Скрипалевой [17, 3] В. Ф. Сухой [19], И. Г. Рубана [19], А. А. Лазарева,

В. М. Панкова, В.Л. Прохина [10], И.В. Покровской, Е.А. Шаркова [13], В. Н. Еремеева, Ю.В. Артамонова, А.А. Букатова [2, 3], А.И. Малышева [12] и др.

В современный период ведущую роль в исследованиях изменчивости температурного режима Тихого океана играют исследования, проводимые Американским геофизическим союзом, Объединенным институтом по изучению атмосферы и океана (Сиэтл, Вашингтон, США), Комиссией по тропическим циклонам WMO/ESCAP, Институтом океанологии им. П. П. Ширшова, Тихоокеанским океанологическим институтом им. В. И. Ильичева РАН, а также научными организациями многих стран, сотрудничающими в рамках международной программы TOGA TAO[4].

Установлено, что благодаря расположению наибольшей части поверхности Тихого океана в приэкваториальном и тропических климатических поясах, это самый теплый океан планеты. Среднее значение его среднегодовой поверхностной температуры (далее ASST) приблизительно равно + 19,1 °С (для сравнения – в Индийском океане оно равно + 17,0 °С, а в Атлантическом + 16,9 °С). Поэтому гигантская акватория Тихого океана формирует наибольшую часть потоков тепла и водяного пара, поступающих за год в земную атмосферу, а учет изменений распределения ее ASST при моделировании и прогнозировании многих важнейших процессов в физико-географической оболочке планеты является необходимым.

Несмотря на то, что в нынешней фазе прецессии земной оси Южное полушарие планеты за год получает солнечной радиации примерно на 7% больше, чем северное, термический экватор смещен в Северное полушарие и проходит примерно между параллелями 5°N и 10°N.

Особенности распределения ASST Тихого океана обусловлены характером циркуляции его поверхностных вод, а также апвеллингом – выходом на его поверхность вод, образующих промежуточную и глубинную водные массы. В результате этих процессов Северная часть Тихого океана теплее Южной, а Западная часть теплее Восточной. В тропических широтах ASST его западных регионов + 25-27 °С, а в восточных + 14-16 °С. Эта разница объясняется притоком в восточные сектор тропической зоны Тихого океана относительно холодных вод Калифорнийского течения с севера и Перуанского течения с юга [5, 18].

Причинами снижения ASST акваторий Тихого океана могут являться не только увеличение расхода и некоторое похолодание вод его холодных поверхностных течений, но и активизация апвеллингов (прибрежных – Перуанского, Калифорнийского и экваториального) [9].

Одной из причин последнего принято считать усиление сгона поверхностных вод прибрежного района океана ветрами. Активизация апвеллинга под влиянием данного фактора возможна, если средние скорости ветров, отгоняющих воду, устойчиво увеличиваются.

Апвеллинг может возникать также в случаях, когда средние скорости ветра остаются неизменными, но промежуточные и верхние глубинные воды океана располагаются ближе к поверхности, так как становятся менее плотными.

Существенную роль в изменениях ASST акваторий Тихого океана играет также подъем к поверхности Тихого океана вод из его промежуточной и глубинной водной массы, происходящий в заливе Аляска [25, 20].

Промежуточные воды океанов принято считать индикатором интенсивности Глобального теплового океанического конвейера [11].

Промежуточные воды Тихого океана в основном образованы двумя водными массами пониженной солености: субантарктической и субарктической. Субарктические промежуточные воды формируются в зоне субарктического фронта и вовлекаются в субтропический антициклонический круговорот. Благодаря этому они распространяются по всей части океана, расположенной к северу от  $5 - 10^{\circ}\text{N}$ , а в некоторых районах достигают экватора.

Субантарктические промежуточные воды формируются на субантарктическом фронте и распространяются на север до  $10^{\circ}\text{N}$  на западе и до  $25^{\circ}\text{N}$  на востоке океана. В северной части океана они занимают 20% его площади. В южном полушарии ими занято 82,8% всей площади океана от экватора до  $55^{\circ}\text{S}$ .

Субантарктические промежуточные воды образуются тремя основными водными массами. Южная экваториальная водная масса, несколько более теплая по сравнению с аналогичными водами северного полушария, занимает пространство от экватора до  $10^{\circ}\text{S}$  на западе и  $25^{\circ}\text{S}$  на востоке.

К югу от нее располагается южная субтропическая водная масса, занимая 62,3% площади всей южной части океана. Температура и соленость ее увеличиваются по мере распространения с юго-востока на северо-запад. Наиболее теплые и соленые воды (до  $7,8^{\circ}\text{C}$  и 34,8‰) обнаруживаются в Коралловом море и в центральной части субтропического круговорота.

У берегов Антарктиды промежуточные воды Тихого океана представлены наиболее холодной и соленой антарктической водной массой, которая занимает 12,6% площади его южной части.

Субантарктические промежуточные воды Тихого океана в среднем располагаются на глубинах 500 – 1000 м. В восточной части океана их верхняя граница находится ближе к поверхности, а в зонах апвеллинга выходит на нее.

Верхние глубинные воды Тихого океана, располагаются на глубинах, близких к 1500м. Они образованы тремя водными массами, характеристики которых несколько различаются.

К северу от параллели  $20^{\circ}\text{N}$  на западе и  $40^{\circ}\text{N}$  на его востоке Тихого океана они образуют субарктическую глубинную водную массу. Области, в которых ее характеристики принимают модальные значения, занимают 5,5% площади северной части океана. Они расположены в трех регионах: – в заливе Аляска и к югу от него; от  $40$  до  $55^{\circ}\text{N}$ , вдоль  $180^{\circ}$  долготы и к востоку от  $150^{\circ}\text{E}$ , между  $35$  и  $45^{\circ}\text{N}$ .

К югу от параллелей  $55 - 60^{\circ}\text{S}$  верхние глубинные воды Тихого океана представлены его антарктической водной массой, которая занимает 13,2% его площади в южном полушарии. Область, в которой ее характеристики принимают модальные значения, сдвинута в основном к востоку от  $150^{\circ}\text{W}$  и занимает 4,7% акватории. Антарктическая водная масса ощутимо холодней, чем субарктическая, а ее соленость максимальна.

Верхние глубинные воды прочих частей океана, как с севера так и с юга от экватора весьма однородны по своим характеристикам и носят условные названия северо- и южнотихоокеанских.

На горизонтах близких к 3000м в Тихом океане располагаются его нижние глубинные воды. В них субарктические воды не выделяются, но антарктические нижние глубинные воды по-прежнему заметно холодней (на  $0,7^{\circ}$ ) чем прочие и являются более солеными. Их северная граница проходит севернее, чем на 1500 м, почти достигая параллели  $55^{\circ}$  S [18].

Промежуточные и глубинные воды Тихого океана формируются частично путем адвекции в него соответствующих вод Индийского океана. Значительную роль в этом процессе играют конвективные процессы, развивающиеся в южной и северной субполярных областях, а также трансформация и опускание промежуточных вод, особенно в зонах конвергенций антициклонических круговоротов [5].

Важнейшим очагом интенсивного образования глубинных и придонных вод Тихого океана является обширная зона антарктического шельфа и материкового склона. Здесь в осенне-зимний период развивается интенсивная соленостная конвекция, приводящая к увеличению их солености, а в летние месяцы происходит трансформация распресненных вод, образовавшихся в результате таяния айсбергов и других компонентов антарктического сегмента криосферы. Холодные и соленые антарктические воды опускаются по дну материковой отмели и склона до глубин, соответствующих своей плотности и далее устремляются на северо-восток, вливаясь в общий водный поток глубинных вод Тихого океана, образующий соответствующее звено Глобального теплового океанического конвейера. Поскольку характеристики процессов конвекции очень сильно меняются во времени, как и соленость опускающихся вод, то и плотность антарктических глубинных вод различна, вследствие чего их потоки распространяются на разных глубинах.

Характеристики соленостной конвекции и интенсивность образования талых вод существенно зависят от температуры вод поверхностного слоя акваторий, в которых происходят эти процессы. Поэтому изменения ASST акваторий Антарктики, непосредственно связанные с вариациями ее климата, ощутимо влияют на плотность образующихся в них антарктических промежуточных и верхних глубинных вод. При ее повышении количество трансформированной пресной воды, поступающей в промежуточную и глубинную водную массу океана, возрастает, а интенсивность зимней соленостной конвекции уменьшается. Это приводит к формированию промежуточных и верхних глубинных вод, обладающих пониженной плотностью, распространяющихся ближе к поверхности океана [20]. Подобным образом в периоды потепления климата Антарктики при этом в ней образуются упомянутые воды с меньшей соленостью и плотностью, а в периоды его потепления – с большей.

По оценкам У. Брокера [23] средняя скорость движения Глобального теплового океанического конвейера  $0,3\text{см/с}$  (или приблизительно  $90\text{ км/год}$ ). Вследствие этого колебания среднегодовых температур приземного слоя атмосферы и

поверхностного слоя вод Антарктики приводят к возникновению пространственной модуляции солености и плотности промежуточных и верхних глубинных вод Тихого океана, потоки которых уходят от берегов Антарктики к Южной Америке и далее в северную часть океана.

В период, когда указанные характеристики этих вод, достигших некоторой зоны апвеллинга, уменьшаются, а сами они располагаются на меньших глубинах, поток холодных вод, выходящих в ней на поверхность Тихого океана, увеличивается (вызывая уменьшение ASST). Вследствие малой скорости движения промежуточных и глубинных вод, представляется вероятным, что на изменения ASST в зоне Перуанского апвеллинга и в Аляскинском заливе способны влиять изменения климата Антарктики в различные периоды времени, различающиеся на десятки-сотни лет.

Изменения потока в поверхностный слой Тихого океана, его холодных промежуточных и глубинных вод, происходящие в зоне Перуанского апвеллинга, способны влиять на характеристики процесса Эль Ниньо-Южное колебание (ЭНЮК) [15].

ЭНЮК является – важнейшим климатическим сигналом, который также обуславливает изменчивость распределения ASST обширных акваторий Тихого океана. В его фазе Эль-Ниньо значения средних ASST Тихого океана увеличиваются, а в фазе Ла-Нинья – напротив, уменьшаются.

Вследствие гигантских размеров поверхности Тихого океана, тенденции изменчивости среднегодовых значений ее средней температуры существенно влияют на изменения глобального климата нашей планеты.

Благодаря тому, что результаты реанализа зависимостей от времени аномалий, усредненных по квадратам  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  среднемесячных значений поверхностных температур большинства акваторий Мирового океана [26,28], представлены в свободном доступе в Интернете, подобная информация ныне все шире используется в физико-географических исследованиях [8]. В частности, она позволяет исследовать изменения средних ASST многих регионов Мирового океана и, в частности, всего Тихого океана.

Тем не менее, современные тенденции изменчивости распределения ASST Тихого океана изучены недостаточно, что не позволяет их адекватно учитывать при моделировании и прогнозировании глобальных и региональных процессов в физико-географической оболочке нашей планеты. Учитывая это, выявление подобных тенденций, проявившихся в период современного потепления климата, представляет существенный теоретический и практический интерес.

Потому объектом исследования в данной работе являлись изменения распределения ASST Тихого океана.

Предметом исследования являются тенденции изменения распределения ASST Тихого океана при современном потеплении климата.

Целью работы является выявление вероятных тенденций изменчивости распределения ASST Тихого океана при дальнейшем потеплении климата.

## 1. ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве фактического материала использованы результаты реанализа изменчивости ASST Мирового океана, усредненные по квадратам  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ , которые представлены в [26]. Особенностью указанных временных рядов является то, что количество квадратов, для которых эти ряды не содержат существенных пропусков, тем меньше, чем раньше они начинаются. Поскольку период современного потепления климата начался в середине 80-х годов рассматривались временные ряды, начинающиеся с 1975 г..

Расположение акваторий Тихого океана, для которых из [26] могут быть получены временные ряды аномалий ASST, не содержащие в период 1975 по 2011 г. существенных пропусков, показано на рисунке 1.

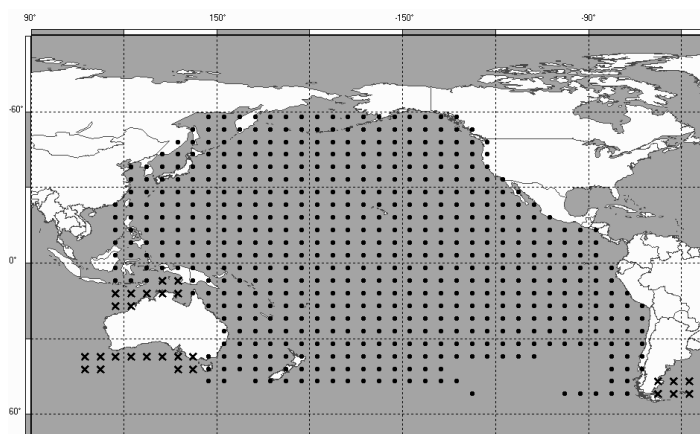


Рис. 1. Расположение акваторий Тихого океана, для которых из [26] были получены временные ряды аномалий ASST, не содержащие в период 1975 по 2011 г. существенных пропусков.

На данном рисунке точками обозначены центры учитывавшихся акваторий, а крестами, центры смежных акваторий Индийского океана и Атлантики, также учитывавшихся при построениях.

Из рисунка 1 следует, что практически для всех акваторий Тихого океана, расположенных в зонах, имеющих ширину  $5^{\circ}$  и расположенных между параллелями  $62.5^{\circ}\text{N}$  и  $47.5^{\circ}\text{S}$ , из [26] могли быть получены временные ряды аномалий ASST, не содержащие в период 1975 по 2011 г. существенных пропусков и пригодные для исследований. Поэтому фактический материал, используемый при проведении исследований, может рассматриваться как репрезентативный.

Как количественная мера тенденции изучаемого процесса рассматривалось значение углового коэффициента линейного тренда его временного ряда, рассчитанное согласно [1] в скользящем окне продолжительностью 10 лет. Поэтому для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Оценка погрешностей расчета указанной меры для приэкваториальных районов Тихого океана, которая может быть осуществлена с использованием имеющегося фактического материала.

2. Анализ изменчивости тенденций вариаций ASST Тихого океана в период с 1975 по 2011 г.

3. Сопоставление распределений по поверхности Тихого океана значений углового коэффициента линейного тренда его ASST, рассчитанных для различных десятилетних интервалов времени, в период современного потепления климата.

При решении первой задачи в качестве фактических значений рассматриваемой меры принимались ее значения, рассчитанные для индексов ЭНЮК NINO-3 и NINO-4, полученные из [27], которые представляют собой средние ASST приэкваториальных областей Тихого океана, координаты границ которых соответственно составляют (5°N-5°S; 150°W-90°W) и (5°N-5°S; 160°W-150°W). С этими показателями сравнивались средние ASST ( $S_i$ ) тех же областей, вычисленные по данным реанализа [26].

Значение  $S_i$  рассчитывалось как:

$$S_i = \frac{\sum (T_i(\varphi_1) + T_i(\varphi_2))}{(n_i)} \quad (1)$$

где  $T_i(\varphi_1)$ ,  $T_i(\varphi_2)$ - значения ASST акваторий, размерами 5°x5°, относящихся к  $i$ - области, с центрами на параллелях 2.5°N и 2.5°S соответственно;

$n_i$ - общие количества подобных акваторий;

$i= 1$  или  $2$ .

Рассчитывались систематические и абсолютные погрешности оценок угловых коэффициентов линейных трендов временных рядов ASST указанных акваторий тропической зоны Тихого океана, вычисленных в скользящем окне протяженностью 10 лет, по используемому фактическому материалу. Также были оценены значения коэффициентов парной корреляции временных рядов значений той же характеристики, рассчитанных по результатам реанализа и по результатам мониторинга индексов NINO-3 и NINO -4. Для оценки адекватности зависимостей, получаемых по результатам реанализа, применялся критерий Стьюдента[6].

Значения 99% порога достоверной корреляции рассчитывались с учетом числа степеней свободы сопоставляемых временных рядов.

При решении второй задачи предполагалось, что для акваторий Тихого океана, по которым данные о значениях ASST из [26] не могут быть получены, эти значения принимались равными средним ASST в том же году, рассчитанным по всем его акваториям, расположенным в соответствующих зонах шириной 5°. Это позволило по результатам реанализа [26] изменений ASST всех акваторий Тихого океана, с учетом зависимости площади акватории размерами 5°x5° угловых градусов, от географической широты ее центра ( $\varphi_i$ ) рассчитать средние значения этой характеристики (ASST) для каждого года в период с 1975 по 2011 гг.

ASST вычислялось как:

$$ASST = \frac{\sum_{i=1}^{24} \left( \frac{\alpha\sigma\sigma\tau(\varphi_i) \cdot L(\varphi_i)}{5} \cdot \cos(\varphi_i) \right)}{\sum_{i=1}^{24} \left( \frac{L(\varphi_i)}{5} \cdot \cos(\varphi_i) \right)} \quad (2)$$

где:  $L(\varphi_i)$  – фактическая ширина (в угловых градусах) Тихого океана по параллели, соответствующей широте  $\varphi_i$ ;  
 $\alpha\sigma\sigma\tau(\varphi_i)$  – среднее значение ASST всех акваторий Тихого океана размерами  $5^\circ \times 5^\circ$  с центрами на параллели, соответствующей широте  $\varphi_i$ , рассчитанное по всем имеющимся данным реанализа [26];

Расчеты проводились, учитывая географическое положение акваторий Тихого океана, для которых значения  $\varphi_i$  задавались равными:  $62.5^\circ\text{N}$ ,  $57.5^\circ\text{N}$ ... $52.5^\circ\text{S}$  (всего 24 значения различающихся на  $5^\circ$ ).

Полученные при этом временные ряды использованы для расчета рассматриваемых количественных мер тенденций изучаемого процесса.

При решении третьей задачи сопоставляемые распределения отображались с использованием метода триангуляции Делоне [6]. Отображались изолинии значений углового коэффициента линейного тренда, на которых этот параметр принимал значения 0,  $-\sigma$ ,  $-2\sigma$ , где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение ошибок оценок данных характеристик, возникающих при использовании в качестве фактического материала рассматриваемых результатов реанализа.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Расчитанные, с использованием рассмотренной методики, погрешности оценок углового коэффициента линейного тренда временных рядов ASST акваторий Тихого океана, вычисленных по результатам реанализа [26], приведены в таблице 1.

Таблица 1

Систематические ( $m$ ), абсолютные ( $\sigma$ ) погрешности и коэффициенты парной корреляции ( $K$ ) временных рядов оценок углового коэффициента линейного тренда временных рядов ASST рассматриваемых акваторий Тихого океана.

Границы акватории		Значения рассчитываемых характеристик		
По широте ( $^\circ$ )	По долготе ( $^\circ$ )	$m$	$\sigma$	$K$
$5^\circ\text{N}-5^\circ\text{S}$	$150^\circ\text{W}-90^\circ\text{W}$	0.002723	0.019816	0.992633
$5^\circ\text{N}-5^\circ\text{S}$	$160^\circ\text{W}-150^\circ\text{W}$	-0.00619	0.042324	0.965431

Вычисленные значения  $m$  при расчетах изучаемых характеристик компенсировались, а значения  $\sigma$  учитывались при решении задачи 3.

Расчет значения 99% порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента показал, что его значение для сопоставляемых зависимостей не превышает 0.67



(минимальное число их степеней свободы 13). Сопоставление этого значения с приведенными в таблице 1 значениями коэффициента корреляции позволяет с достоверностью не ниже 99% сделать вывод об адекватности зависимостей угловых коэффициентов линейных трендов временных рядов ASST рассматриваемых акваторий от года начала скользящего окна, рассчитанных по данным реанализа [26].

Зависимости угловых коэффициентов линейных трендов временных рядов ASST всего Тихого океана, от года начала скользящего окна, вычисленных по изложенной методике, приведены на рисунке 2.

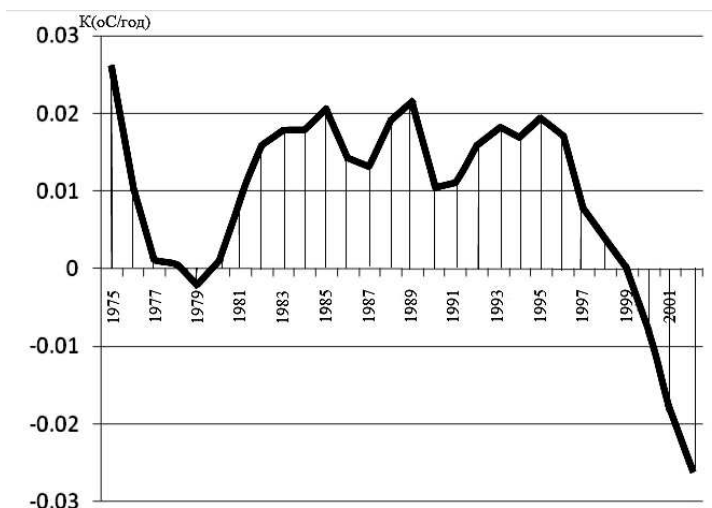


Рис. 2. Зависимости угловых коэффициентов  $K$  линейных трендов временных рядов значений ASST Тихого океана, от года начала скользящего окна, для которых они рассчитаны.

Из рисунка 2 следует, что в десятилетия, начинающиеся с 1975 – 1999 гг., в изменениях ASST Тихого океана преобладающими являлись тенденции к их увеличению. В десятилетия, начинающиеся с 2000 и 2001 гг. проявилась устойчивая тенденция к их снижению.

На рисунке 3 представлены схемы распределений по поверхности Тихого океана значений угловых коэффициентов линейных трендов изменений ASST его акваторий, размерами  $5^\circ \times 5^\circ$ , соответствующих десятилетиям 1995-2004 и 2002-2011 гг.

Как следует из рисунка 3А, в период с 1995 по 2004 гг. на преобладающей части акватории Тихого океана преобладали тенденции к повышению ASST. В том числе данное явление отмечалось и на акватории залива Аляска. При этом значимое похолодание происходило в областях влияния Перуанского и Калифорнийского апвеллингов.

Из рисунка 3Б видно, что в период с 2002 по 2011 гг. соотношение между площадями акваторий Тихого океана, на которых происходило потепление и похолодание, существенно изменилось.

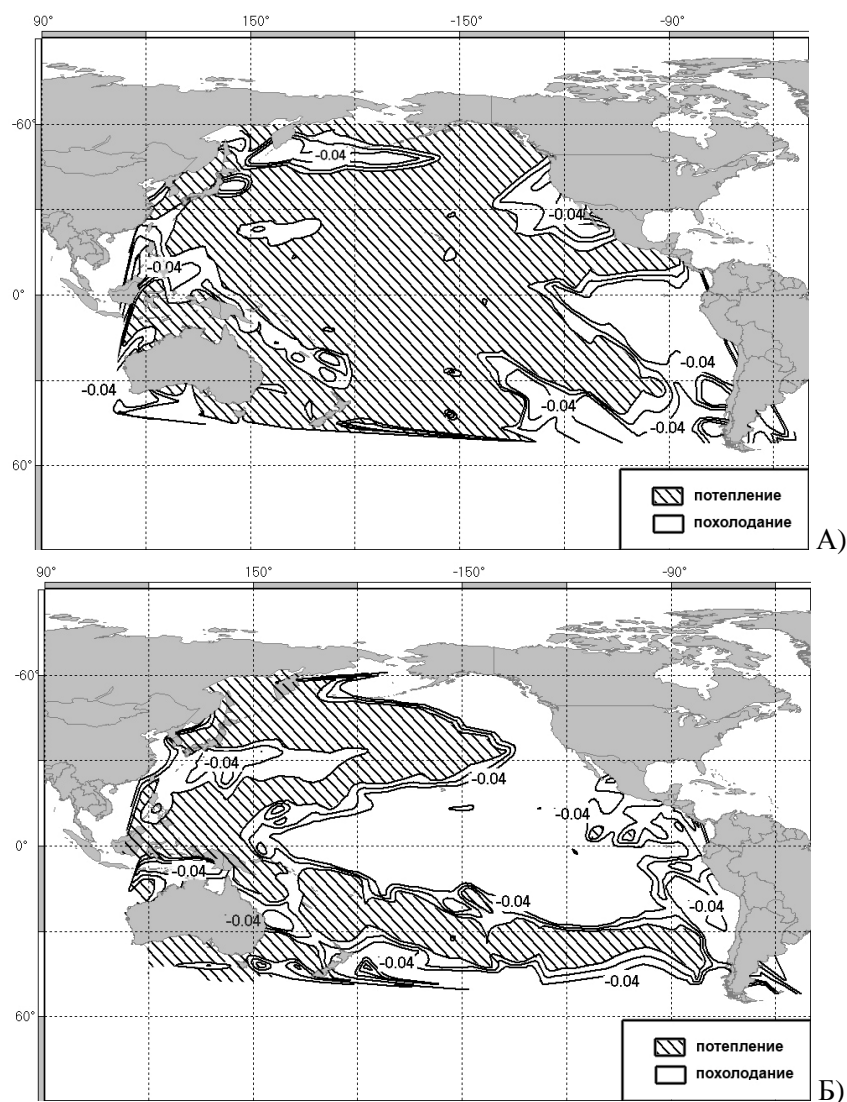


Рис. 3 Схемы распределений по поверхности Тихого океана значений угловых коэффициентов линейных трендов изменений ASST его акваторий размерами  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ , соответствующих десятилетиям А) – 1995-2004 и Б) – 2002-2011 гг.

К акваториям, где в данный период преобладали тенденции к уменьшению ASST, относятся: большая часть Берингова моря, залив Аляска, регионы через которые проходят воды течений Калифорнийского, Перуанского, Курошио, а также практически вся тропическая зона Тихого океана, за исключением ее части, расположенной к западу от меридиана  $150^{\circ}$  E.

В результате этого в XXI веке на преобладающей части поверхности Тихого океана происходило снижение ASST, а суммарная площадь его акваторий, на

котором данное явление имело место, в период после 1998 года устойчиво увеличивалась.

### 3. ОБСУЖДЕНИЕ

Как уже упоминалось выше, в условиях усиления парникового эффекта, причинами устойчивого снижения ASST океанических акваторий могут являться либо увеличение скорости ветра, создающего на них эффект сгона, либо уменьшение плотности промежуточных и верхних глубинных вод. Как показало изучение особенностей ветрового режима в различных пунктах, расположенных на тихоокеанских побережьях Северной и Южной Америк, здесь в период с 1975 по 2012 гг. повсеместно преобладали тенденции к уменьшению среднегодовых скоростей ветра. В этом нетрудно убедиться из рисунка 4, где в качестве примера представлены зависимости от года начала скользящего окна продолжительностью 10 лет усредненных по нему среднегодовых скоростей ветра в п. Лима (Перу), Анафагаста (Чили), Пуэрто-Монт (Чили), а также Сан-Франциско (Калифорния, США).

Как следует из рисунка 4, для изменений среднегодовых скоростей ветра на участках побережья Южной и Северной Америки, у которых в XXI веке произошла активизация апвеллинга, была свойственна тенденция к уменьшению их значений.

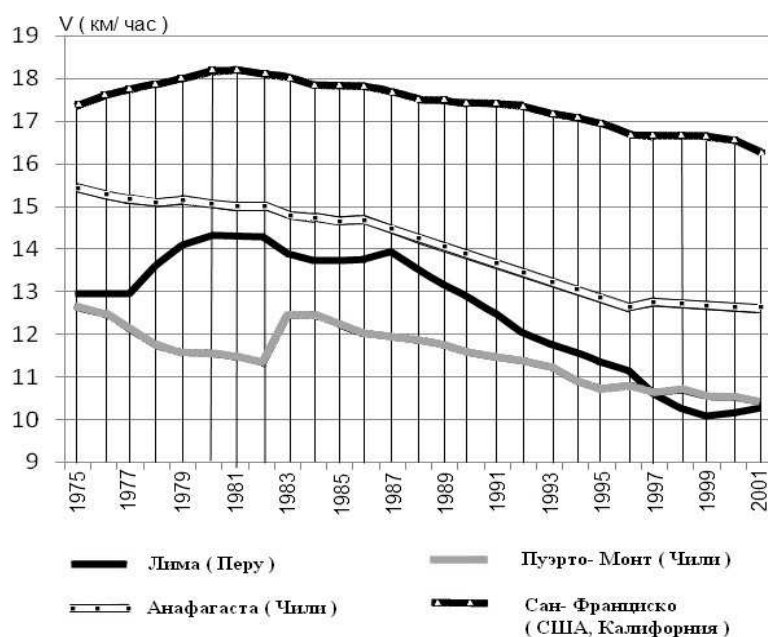


Рис. 4. Зависимости усредненных в скользящем окне длиной 10 лет среднегодовых скоростей ветра  $V$  в пунктах Западных побережий Южной и Северной Америки, построенные по данным [tutiempo.net].

Это доказывает, что причиной данного явления усиление ветра над поверхностью соответствующих акваторий быть не могло и подтверждает предположение, о том, что увеличение притока на поверхность Тихого океана холодных его промежуточных и верхних глубинных вод было вызвано уменьшением их плотности, а значит и солёности.

Учитывая это полученный результат позволяет связывать наблюдаемое в XXI веке похолодание поверхности Тихого океана, с потеплением климата, а также поверхностных вод Антарктики, происходившим в конце XIX и XX веке.

Это косвенно подтверждают и результаты корреляционного анализа связей изменений средних значений ASST Южного полушария Земли, а также вариаций ASST акваторий Тихого океана в заливе Аляска и на стрессе Калифорнийского течения. Согласно им значимыми (с достоверностью по критерию Стьюдента не менее 99%) связи между рассматриваемыми процессами являются при условии, что временной сдвиг между ними составляет 95 лет.

Как известно парниковый эффект в земной атмосфере образуется вследствие излучения части потока уходящей длинноволновой радиации, поглощенного содержащимися в ней парниковыми газами [7].

Среднее значение этого потока пропорционально четвертой степени среднего значения абсолютной температуры подстилающей поверхности.

Так как на нашей планете значительную часть подстилающей поверхности занимает акватория Тихого океана, причиной усиления парникового эффекта в земной атмосфере, наряду с увеличением содержания в ней парниковых газов [24], являлось увеличение ее средней ASST. Причиной последнего могло быть снижение интенсивности экваториального и прибрежных тихоокеанских апвеллингов, обусловленное увеличением солёности и плотности промежуточных и верхних глубинных вод Тихого океана, которое произошло в результате похолодания климата Южного полушария Земли в период с 1872 по 1911 гг..

Выявленная закономерность позволяет предполагать, что и в будущем изменения распределения ASST Тихого океана окажутся связанными с изменениями интенсивности происходящих в нем процессов апвеллинга, противофазных вариациям климата Антарктики, имевшим место в прошлом и настоящем. Это позволяет использовать для прогнозирования изменений средней ASST Тихого океана в будущем зависимости вариаций климатических норм средней ASST Южного полушария Земли от года начала скользящего окна продолжительностью 30 лет, представленной на рисунке 5.

Основываясь на рисунке 5, можно предположить, что в ближайшие годы будет происходить дальнейшее повышение интенсивности тихоокеанских апвеллингов, поскольку в это время к ним будут подходить все менее солёные и плотные промежуточные и верхние глубинные воды, сформировавшиеся с участием талых вод Антарктики в период потепления климата начала и конца XX века.

Благодаря наличию Глобального теплового океанического конвейера, западная граница области похолодания в тропической зоне Тихого океана будет смещаться на 91 км в год к западу и со временем достигнет Индийского океана.

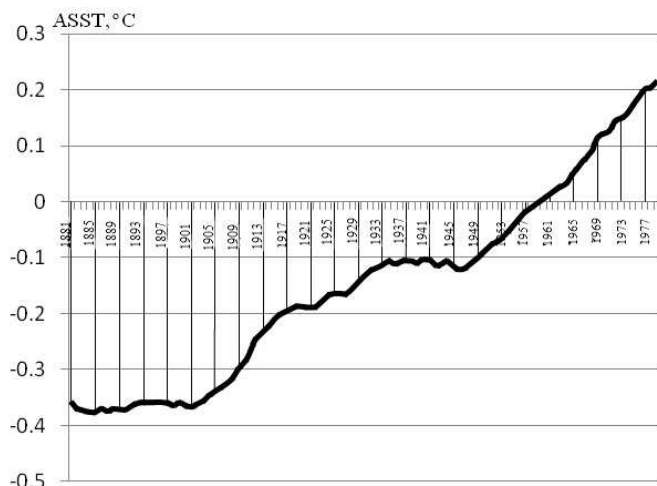


Рис. 5. Зависимость от года начала скользящего окна длиной 30 лет усредненных по нему значений средних ASST Южного полушария Земли в период с 1856 по 1979 гг.

Дальнейшее снижение средних ASST Тихого океана приведет к ослаблению парникового эффекта, даже в случае продолжающегося роста содержания в атмосфере парниковых газов, что может вызвать некоторое похолодание глобального климата.

## **ВЫВОДЫ**

В XXI веке на большей части акватории Тихого океана преобладали тенденции к снижению средних ASST, в то время как среднегодовые скорости ветра в районах западных побережий Южной и Северной Америк снижались.

1. Последнее позволяет рассматривать, как причину данного явления, повышение интенсивности тихоокеанских апвеллингов, обусловленное уменьшением солености и плотности участвующих в них промежуточных и верхних глубинных вод, которое было вызвано потеплением климата Антарктики в периоды их формирования.

2. Наряду с увеличением содержания в земной атмосфере парниковых газов, существенной причиной современного потепления глобального климата явилось увеличение средних ASST Тихого океана, которое было вызвано снижением интенсивности его экваториального и прибрежных апвеллингов. Причиной его послужило увеличение солености и плотности его промежуточных и верхних глубинных вод океана, вызванное похолоданием климата Южного полушария Земли в период с 1872 по 1911 гг., обусловившим ослабление интенсивности таяния льдов Антарктики.

3. Благодаря переносу поверхностных вод Тихого океана Глобальным тепловым океаническим конвейером, а также потеплению климата Южного

полушария, происходившему в XX веке, в XXI веке вероятно существенное замедление глобального потепления климата и переход к его похолоданию, несмотря на усиление содержания в атмосфере парниковых газов.

### Список литературы

1. Айвазян С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – Юнити, 1998. – 1022 стр.
2. Артамонов Ю. В. Корреляционные связи аномалий температуры поверхности Тихого океана и индекса южного колебания/ Ю. В. Артамонов, М. В. Бабий, А. Е. Букатов, Е. А. Скрипалева // Украинский антарктический журнал. – 2009. – №8. – С.195-204.
3. Артамонов Ю. В. Изменчивость гидрологических фронтов Перуанско-Чилийского сектора по спутниковым данным / Ю. В. Артамонов, Е. А. Скрипалева // Украинский антарктический журнал. – 2006. – №4-5. – С.109-116.
4. Бондаренко А. Л. Взаимодействие океана и атмосферы. Волны России Мирового океана.
5. Бурков В. А. Общая циркуляция Мирового океана / Бурков В. А. – Л.: Гидрометеоздат, 1980, 254 с.
6. Закс Ш. Теория статистических выводов / Закс Ш. Пер. с англ. Е. В. Чепурина; под ред. Ю. К. Беляева. – М.: Мир, 1985. – 776 с.
7. Кондратьев К. Я. Глобальные изменения климата и круговорот углерода / К. Я. Кондратьев // Изв. РГО. 2001. – Т.132. – Вып.4. – С.4-20.
8. Кныш В. В. Тенденции в изменчивости термohалинных и динамических характеристик Черного моря, выявленные по результатам реанализа за период 1985-1994 гг. / В. В. Кныш, А. И. Кубряков, В. А. Моисеенко и др. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – Вып. 16. – С. 279-290.
9. Кучеренко Н. В.Сезонная изменчивость экваториального апвеллинга / Н. В. Кучеренко, А. И. Малышев, Б. Б. Капочкин // МГФИНАНУ – 2009. – №13 – С. 417-419.
10. Лазарев А. А.Связь между солнечно–магнитосферной активностью, явление Эль-Ниньо и эволюцией тропических циклонов / А. А. Лазарев, В. М. Панков, В. Л. Прохин // Солнечно-земная физика. – Институт космических исследований. – 2008. – Вып.12.Т.2. – С.299-300.
11. Лаппо С. С. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан – атмосфера и энергоактивные области мирового океана / С. С. Лаппо, С. К. Гулев, А. Е. Рождественский. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 334 с.
12. Малышев А. И. Новая Парадигма Эль-Ниньо / Малышев А. И. // Одесский государственный экологический университет.
13. Покровская И. В. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция (2006-2010). Версия 4.1 / И. В. Покровская, Е. А. Шарков. – М.: КДУ, 2011. – 212с.:табл.
14. Полосин А. С. Проблемы Эль-Ниньо / Полосин А. С. – М., 1975.
15. Полонский А. Б. Роль океана в современных изменениях климата / А. Б.Полонский // Морской гидрофизический журнал. – 2001. – № 6. – С.32-54.
16. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение / А. В.Скворцов. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. – 128 с.
17. Скрипалева Е. А. Межгодовая изменчивость структуры вод юго-восточной части тропиков Тихого океана в связи с событиями Эль-Ниньо/ Е. А. Скрипалева // Доповіді Національної академії наук України – Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь, 2007. – №11. – С.118-222.
18. Степанов В. Н. Мировой океан / Степанов В. Н. – М.: Знание, 1974. – 255 с.
19. Суховой В. Ф. Особенности системы течений на акватории Тихого океана к востоку от Австралии / В. Ф. Суховой, И. Г. Рубан // Украинский гидрометеорологический журнал – Одесский государственный экологический университет. – 2011. – №8. – С. 214-233.
20. Тихий океан. (АН СССР. Институт океанологии). В 13 томах. – М.: Наука, 1966-1974.
21. Физическая география материков и океанов / Под общей ред. А. М. Рябчикова. – М.: Высшая школа, 1988.

22. Шаркова Е. А. Спутниковые исследования тропического циклогенеза: особенности и достижения современного этапа / Шаркова Е. А. // Институт космических исследований РАН. – 29 с.
23. Broecker W. S. The great ocean conveyor / W. S. Broecker // Oceanography. 1991. V.1. P. 79-89.
24. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Panes of Climate Change (IPCC). Cambridge University Press. – Cambridge. UK, 2007. – 973 p.
25. Gagosian R. Резкие изменения климата. Должны ли мы беспокоиться / R. Gagosian // Woods Hole Oceanographic Institution // [www.whoi.edu/institutes/occs/hottopics\\_climatechange.html](http://www.whoi.edu/institutes/occs/hottopics_climatechange.html).
26. <http://wxweb.meteostar.com/SST/index.shtml?point=730>
27. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>
28. <http://reanalyses.org/ocean>

**Холопцев А. В. Тенденції зміни розподілу середньорічних значень поверхневих температур Тихого океану при сучасному потеплінню клімату / А. В. Холопцев, М. П. Никифорова, Т. А. Жукова // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географічні науки. – 2012. – Т.25 (64), №4. – С.21-35.**

Встановлено, що в XXI столітті на більшій частині акваторії Тихого океану переважали тенденції до зниження середніх ASST, в той час як середньорічні швидкості вітру в районах західних узбереж Південної та Північної Америк знижувалися. Завдяки перенесенню поверхневих вод Тихого океану Глобальним тепловим океанічним конвеєром, а також потеплінню клімату Південної півкулі, що відбувалося в XX столітті в XXI столітті це явище може призвести до суттєвого уповільнення темпів глобального потепління клімату і привести до його похолодання.

**Ключові слова:** Тихий океан, розподіл середньорічних значень аномалій поверхневих температур, апвелінг, Глобальний тепловий океанічний конвеєр, похолодання, потепління, клімат.

***Kholoptcev A. V. Trends in the spreading annual average values of the surface temperature Pacific ocean under modern climate warming / A. V. Kholoptcev, M. P. Nikiforova, T. A. Jukova // Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. – Series: Geography Sciences. – 2012. – V.25 (64), No4. – P.21-35.***

It is stated that in the XXI-st century in most part of the Pacific Ocean the downward trend in average ASST were dominated while in the west coast of South and North America the average wind speeds declined. Due to moving the surface waters of the Pacific Ocean by the ocean global heat conveyor as well as due to climate warming of the southern hemisphere which took place in the XX-th century this phenomenon may lead to a significant slowdown in global warming and lead to cooling in the XXI-st century.

**Key words:** Pacific, the distribution of mean annual surface temperature anomalies, upwelling, ocean global heat conveyor, cooling, warming, climate.

*Поступила в редакцію 03.12.2012 г.*