

УДК 911

**А. В. ХОЛОПЦЕВ**, д-р геогр. наук, проф., **А. В. БОЛЬШИХ**

*Первый Украинский морской институт*  
ул. Рыбаков, 5, г. Севастополь, 99000  
[kholoptsev@mail.ru](mailto:kholoptsev@mail.ru)

## **ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА**

Общие закономерности расположения в Атлантическом океане районов, где в период 2000 - 2012 г.г. преобладали устойчивые тенденции изменения среднемесячных значений их поверхностной температуры, от времени года не зависят. В то же время их конфигурация и размеры при смене времени года ощутимо изменяются. Это свидетельствует о значимости влияния на рассматриваемый процесс не только фактора водообмена Атлантики с Арктикой и Антарктикой, но и фактора изменений интенсивности происходящего в ее районах апвеллинга.

Расположение акваторий Атлантического океана, где в указанный период происходило значимое похолодание, совпадает с положением его областей, в которых межгодовые изменения поверхностных температур существенно влияют на состояния Арктического и Североатлантического колебаний. Над ними же проходят основные тропосферные струйные течения. Это позволяет предполагать возможность значимого влияния рассматриваемого процесса не только на парниковый эффект в земной атмосфере, но и на изменения метеоусловий во многих внетропических регионах северного полушария, а также на вариации ОСО над многими его регионами, которые происходили в тот же период.

**Ключевые слова:** Атлантический океан, поверхностная температура, струйное течение, сезонная изменчивость, Арктическое колебание, Североатлантическое колебание

## **Холопец О. В., Больших О. В. ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІН СЕРЕДНЬОМІСЯЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПОВЕРХНЕВИХ ТЕМПЕРАТУР АТЛАНТИЧНОГО ОКЕАНУ НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ**

Загальні закономірності розподілу у Атлантичному океані районів, де у період 2000 - 2012р.р. переважали стійкі тенденції змін середньомісячних значень їх поверхневої температури, від пори року не залежать. У той же час їх конфігурація та розміри потягом року відчутно змінюються. Це свідчить про суттєвість впливів на процес, що розглядається, не тільки чинника водообміну Атлантики з Арктикою та Антарктикою, але й чинника змін інтенсивності апвелінгу, який відбувається у багатьох її районах.

Розташування акваторій Атлантичного океану, де у зазначений період відбувалось суттєве похолодання, співпадає з положенням його областей, у котрих міжрічні зміни поверхневих температур відчутно впливають на стан Арктичного та Північноатлантичного коливаний. Понад ними також проходять головні тропосферні струменеві течії. Це дозволяє припускати можливість суттєвого впливу процесу, що вивчається, не тільки на парниковий ефект у земній атмосфері, але й на зміни метеоумов у багатьох позатропічних регіонах північної півкулі, а також варіації ЗВО понад ними, які відбувались у той же період.

**Ключові слова:** Атлантичний океан, поверхнева температура, розподіл, струменева течія, сезонна мінливість, Арктичне колювання, Північноатлантичне колювання

## **Kholoptsev A. V., Bolshikh A. V. TENDENCIES OF CHANGE OF MONTHLY MEAN VALUES OF SURFACE TEMPERATURES OF THE ATLANTIC OCEAN IN THE BEGINNING OF XXI CENTURY**

General regularities of location in the Atlantic ocean areas, where in the period 2000 - 2012, dominated steady tendencies of changes of mean monthly values of surface temperature, time of year does not depend. At the same time, their configurations and sizes in the change of seasons significantly changed. This indicates the importance of influence on the process, not only the factor of water of the Atlantic, the Arctic and the Antarctic, but also a factor of changes in the intensity of what is happening in its areas of upwelling.

The location of the waters of the Atlantic ocean, where in this period there was a significant cooling, coincides with the position of his areas in which the interannual changes of surface temperatures significantly affect the state of the Arctic and North Atlantic oscillations. Above them are the main tropospheric jet stream. This suggests the possibility of a significant impact of the process-not only the greenhouse effect in the earth's atmosphere, but also on the weather conditions change in many extratropical Northern hemisphere regions, as well as variations of the CCA over many of its regions, which took place in the same period.

**Key words:** the Atlantic Ocean, surface temperature, jet stream, seasonal variability, the Arctic oscillations, North Atlantic oscillations

### Введение

Поверхность акваторий Мирового океана является основным источником потоков тепла, а также водяного пара, которые поступают в земную атмосферу. Так как эти потоки зависят от поверхностных температур акваторий, где они образуются, а также значимо влияют на парниковый эффект, развитие современных представлений о причинах изменения их термического режима является актуальной проблемой физической географии.

Решение данной проблемы представляет значительный интерес для регионов Мирового океана, на поверхности которых образуются наибольшие вклады в его суммарные потоки тепла и водяного пара, поступающие в атмосферу.

С учетом географического положения и размеров к числу таких регионов можно отнести также второй по площади океан нашей планеты – Атлантический [1], в зоне влияния которого расположены все регионы Европы, в том числе и Украина.

Несмотря на то, что первые измерения температуры воды в одном из районов Атлантики были произведены Г. Эллисом еще в 1749 г., систематические исследования закономерностей, обуславливающих изменчивость распределения поверхностных температур Атлантического океана, начались в первой половине XX века.

Основой современных представлений о них являются работы В. А. Буркова, Е. А. Степанова., Э. М. Уиллокса, Кью-Ким Мена, М. Руо, К. Дезера, А. Филлипса, М. Александрова, Дж. Чаинга, Й. Кушнера, А. Жианини, Дж., З. Зоу, Г. Сидлера, Н. Зангенберга, Р. Онкена, А. Морлирье, О. Ву, К. Боумана и др. Значительный вклад в них внесли труды отечественных ученых Логина В. Ф., Еремеева В. Н., Жукова А. Н., Сизова А. А., В. Ф. Суховей, Артамонова Ю. В., Булгакова Н. П., Ломакина П. Д., Скрипалевой Е. А., Артамонова А. Ю., Станичного С. Н. и др.

В современный период ведущую роль в исследованиях изменчивости температурного режима Атлантики играют исследования, которые проводит Американский геофизический союз, Объединенный институт по изучению атмосферы и океана (Сиэтл,

Вашингтон, США), Комиссия по тропическим циклонам WMO/ESCAP, Национальная служба погоды (NCEP / NWS) / NOAA, Саутгемптонский Университет (отдел океанографии), NASA, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, а также научные организации многих других стран.

Установлено, что важнейшую роль в формировании распределения поверхностных температур Атлантического океана играет его водообмен с Арктикой и Антарктикой, в котором участвуют поверхностные течения. В северном полушарии это в основном уходящее в Северный Ледовитый океан Норвежское течение, а также приносящие в Атлантику арктические воды Восточно-Гренландское и Баффиново течения. В южном полушарии воды Антарктики поступают в Циркумполярное Антарктическое течение, от которого ответвляется Фолклендское течение, взаимодействующее в заливе Ла-Плата с Бразильским течением, а также северная струя, образующая у берегов Африки Бенгельское течение [2].

В результате этого наибольшее влияние на снижение поверхностных температур северной Атлантики оказывает уменьшение солености и плотности поступающих в нее арктических вод, значения которых во многом определяют поверхностные температуры ее акваторий, через которые проходит Северо-Атлантическое течение. Наиболее значимым является влияние этих вод в период с июля по октябрь [3, 4].

На снижение поверхностных температур южной Атлантики наиболее существенно влияет таяние айсбергов и шельфовых ледников Антарктиды, которое происходит наиболее интенсивно с декабря по март [5]. Вследствие этого влияние водообмена с Арктикой и Антарктикой может приводить к наиболее ощутимым изменениям поверхностных температур северной Атлантики и южной Атлантики в месяцы, смещенные по времени на полгода [6].

Установлено, что среднегодовые потоки тепла, которые поступали в атмосферу от всей поверхности Атлантического океана, в 80-е и 90-е годы XX века возрастали, что способствовало усилению парникового эффекта в земной атмосфере. В XXI веке,

несмотря на продолжающееся увеличение содержания в атмосфере диоксида углерода, а также некоторых других парниковых газов, дальнейшее потепление всей поверхности Атлантики практически прекратилось [7].

Это явление способно оказать существенное влияние на метеоусловия, а также климат во всей обширной зоне влияния Атлантического океана, в том числе и в Украине [8]. Тем не менее, его особенности изучены недостаточно, а причины достоверно не установлены.

Одной из них, очевидно, может являться потепление в Арктике и Антарктике, которое приводит к повышению интенсивности таяния льдов и увеличению объемов весьма холодных пресных вод, поступающих в поверхностный слой океана. В океанических регионах, где существует апвеллинг, причиной снижения поверхностных температур может являться также повышение его интенсивности.

Факторами, способными влиять на интенсивность апвеллинга, являются вариации скорости ветра, который его вызывает, а также изменения плотности вод, которые в нем участвуют. Учитывая это, в [9] выдвинута гипотеза, согласно которой причиной похолодания во многих регионах Атлантики явилось увеличение интенсивности происходящего в них апвеллинга, обусловленное

уменьшением солености и плотности участвующих в нем вод.

Несмотря на то, что мониторинг изменчивости поверхностных температур различных районов Атлантического океана осуществляется уже более столетия, ранее оценка адекватности этой гипотезы не проводилась. Последнее не позволяет учесть ее результаты при моделировании и прогнозировании дальнейшей динамики рассматриваемого процесса.

Учитывая это, оценка адекватности упомянутой гипотезы представляет значительный теоретический и практический интерес.

Исходя из вышесказанного, в качестве объекта исследования выбраны изменения поверхностных температур различных районов Атлантического океана.

Предметом исследования являются тенденции изменений в начале XXI века среднемесячных значений поверхностных температур различных районов Атлантического океана, проявившиеся в различные месяцы.

Целью работы является проверка адекватности рассматриваемой гипотезы и оценка значимости влияния в современный период на межгодовые изменения поверхностных температур Атлантики упомянутых факторов.

### *Результаты исследования*

Для достижения указанной цели рассматривались временные ряды среднемесячных значений аномалий поверхностных температур различных районов Атлантического океана, ограниченных квадратами координатной сетки размерами  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ , которые соответствуют различным месяцам, и получены из [10].

Как количественная мера тенденции изучаемых процессов, рассматривалось значение углового коэффициента их линейного тренда, рассчитанное по стандартной методике [11], с использованием соответствующего тому или иному месяцу фрагмента временного ряда аномалий среднемесячных температур, за период с 2000 по 2011 г.г.

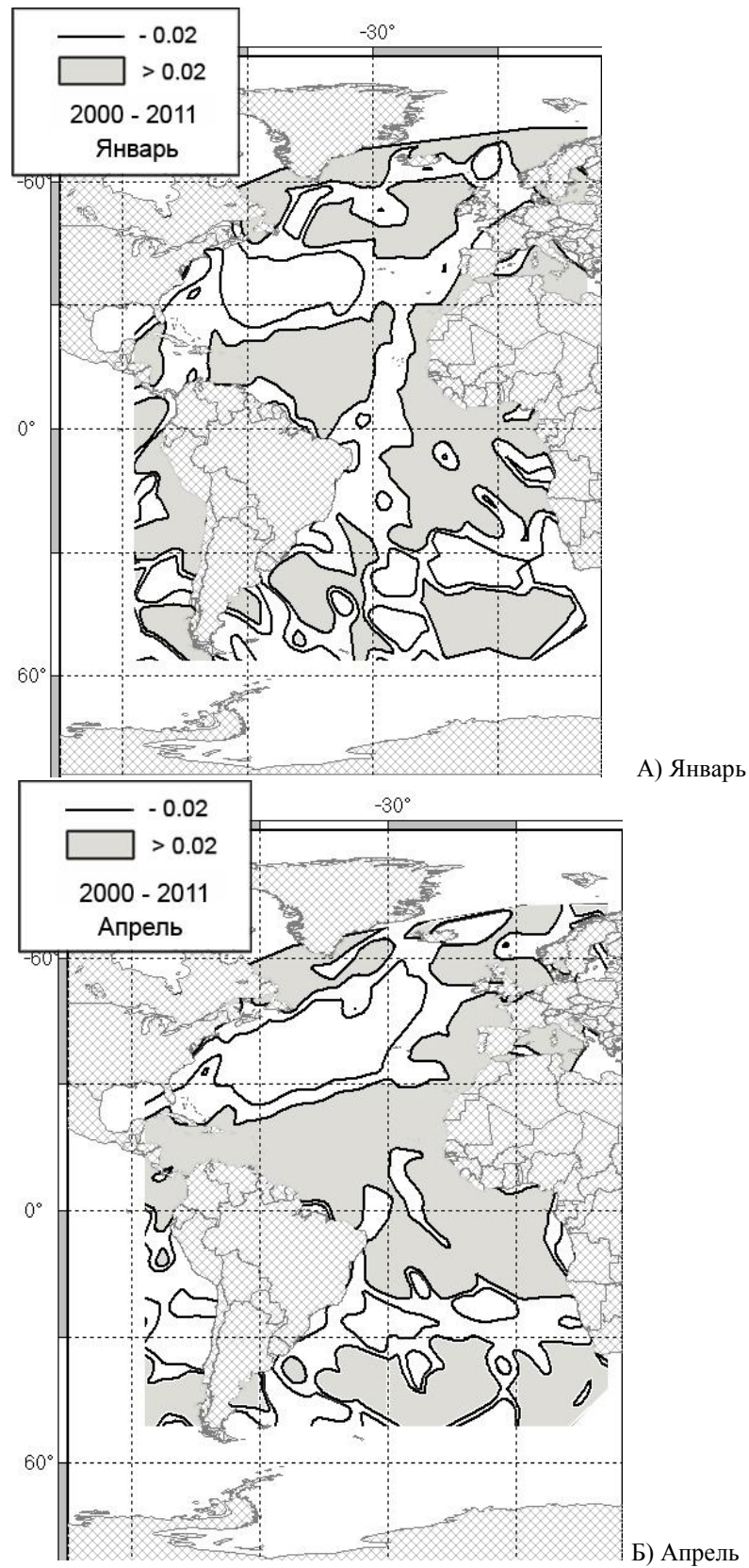
Значения этой меры рассчитаны для каждого месяца и каждого изучаемого района Атлантического океана. Полученные результаты отображены на контурной карте

Атлантики в виде изолиний, с использованием метода триангуляции Делоне [12].

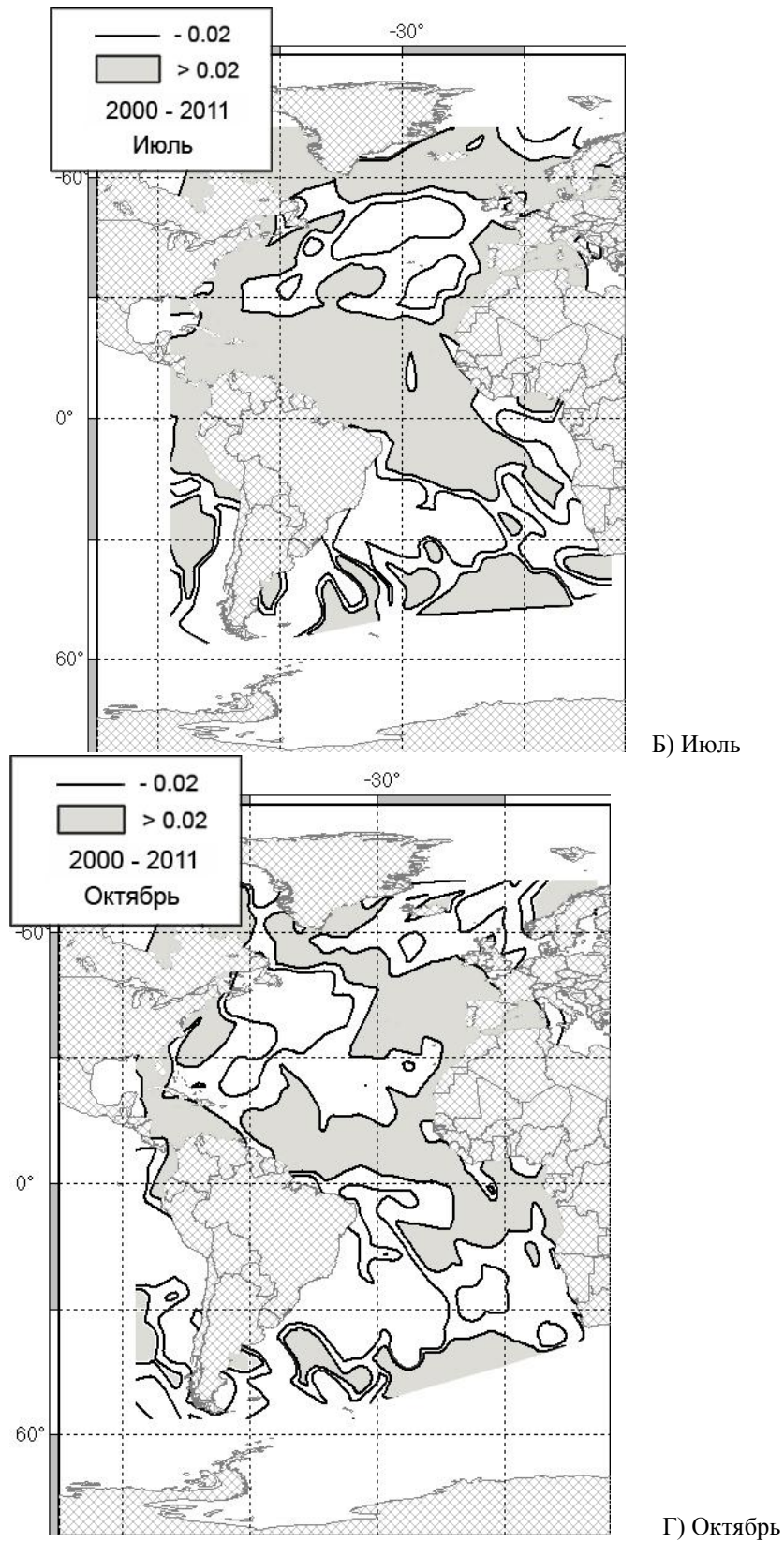
Отображены изолинии  $+0.02^{\circ}/\text{год}$  и  $-0.02^{\circ}/\text{год}$ , оконтуривающие области значимого потепления и значимого похолодания.

На рисунке 1 в качестве примера приведены распределения изучаемых характеристик, соответствующие январю, апрелю, июлю и октябрю.

Здесь серым тоном выделены области Атлантики, в которых за период с 2000 по 2011 г.г. происходило значимое потепление. Замкнутые черные линии на белом фоне выделяют области, где в тот же период имело место значимое похолодания. Между границами областей значимого потепления и значимого похолодания располагаются акватории Атлантики, в которых существенных изменений среднемесячных температур их поверхности в данный период не выявлено.



**Рис. 1** – Распределения по акватории Атлантического океана тенденций изменчивости среднемесячных значений его поверхностных температур в январе (А) , апреле (Б)



**Рис. 2** – Распределения по акватории Атлантического океана тенденций изменчивости среднемесячных значений его поверхностных температур в июле (В) и октябре (Г)

Как видно из рисунка 1А, в январе площадь акваторий Атлантического океана, где в рассматриваемый период среднемесячные температуры устойчиво снижались, сопоставима с площадью его акватории, на которой происходило их повышение. Наибольшую площадь имеют области значимого похолодания, расположенные в центральной части северной Атлантики, к югу от области Северо-Атлантического течения, а также в южной Атлантике, в районе северной периферии течения Западных ветров. Меньшие по размерам области похолодания располагаются к северу от Британских островов, на стрежне Норвежского течения, а также к югу от Гренландии, в море Лабрадор.

Из рисунка 1Б следует, что в апреле область похолодания в северной Атлантике имеет гораздо большие размеры и включает в себя и акваторию, где похолодание происходило в январе. В южной Атлантике области похолодания находятся в районе северной периферии течения Западных ветров. Суммарная площадь областей похолодания больше, чем аналогичная характеристика областей потепления.

Из рисунка 2В видим, что в июле, на протяжении рассматриваемого периода, в Атлантическом океане значимые тенденции к потеплению его поверхности отмечались на акваториях практически такой же площади, как и значимые тенденции к похолоданию. Следует отметить, что расположения областей, где в июле имело место значимое потепление и значимое похолодание, в северной Атлантике несколько отличается, а в южной - практически повторяет их расположение в январе.

В Северной Атлантике в июле области значимого похолодания расположены в области влияния Канарского апвеллинга, а также в зоне Северо-Атлантического течения. Аналогичная область располагается также в Норвежском море.

В Южной Атлантике области похолодания в июле находятся в зоне северной периферии течения Западных ветров, а также в областях влияния Бразильского и Бенгельского течения.

Рисунок 2Г показывает, что расположение областей значимого похолодания в Северной Атлантике в октябре несколько отличается от их расположений, характер-

ных как для июля, так и для января. Наибольшая из этих областей находится в западной половине океана. Через нее проходят воды Северо-Атлантического и Северо-Пассатного течений. Расположение данной области указывает на значимое влияние осеннего уменьшения солености и плотности вод, которые приносит в данный регион Лабрадорское течение. Значительная область похолодания располагается также в Норвежском, Северном и Балтийском морях.

В южном полушарии в октябре, как и в июле, области похолодания находятся в зоне северной периферии течения Западных ветров, а также в областях влияния Бразильского и Бенгельского течения.

Образование показанных на рисунках 1В, 2Г областей похолодания в северной Атлантике вполне объясняется последствиями потепления в Арктике, которое в летние месяцы приводит к более интенсивному таянию арктических льдов и снижению плотности поступающих в нее арктических вод. Вместе с тем, расположение областей похолодания, показанных на рисунках 1А, Б, позволяет предполагать существенное участие в их образовании процессов апвеллинга, интенсивность которых увеличилась.

Из рассмотренного примера следует, что общие закономерности расположения областей Атлантики, в которых за период с 2000 по 2012 г.г. происходило значимое снижение, а также повышение среднемесячных температур января, апреля, июля и октября, в целом подобны. В то же время размеры и конфигурация этих областей существенно зависят от времени года. Первое подтверждает адекватность рассматриваемой гипотезы, а второе указывает на существенность участия в образовании данных областей водообмена Атлантики с Арктикой и Антарктикой.

Аналогичные результаты получены и для прочих месяцев. Это позволяет утверждать, что сезонные факторы влияют на размеры и конфигурацию рассматриваемых областей, тем не менее, общие закономерности их расположения от них не зависят.

Полученные результаты позволяют предполагать, что при дальнейшем потеплении климата Арктики и Антарктики размеры областей значимого похолодания на поверхности Атлантики возрастут, а разме-

ры областей значимого потепления уменьшатся. Общие закономерности расположения этих областей сохранятся неизменными. Поэтому представляет интерес рассмотрение возможных последствий данного процесса.

Одно из них очевидно – снижение поверхностных температур тех или иных акваторий Атлантики вызывает уменьшение поступающих от них в атмосферу потоков тепла и водяного пара, которые участвуют в образовании парникового эффекта. Следовательно, данное явление способно в какой-то мере компенсировать влияние на парниковый эффект продолжающегося увеличения содержания в атмосфере парниковых газов.

Для выявления других последствий изучено соответствие расположений на поверхности Атлантического океана выявленных областей, а также его акваторий, где изменения поверхностных температур значимо влияют на состояния различных крупномасштабных процессов в системе океан – атмосфера [13].

Для этого с помощью того же фактического материала изучены статистические связи временных рядов, которые описывают межгодовые изменения в период 1975 – 2011 г.г. аномалий среднемесячных температур различных районов Атлантики, а также совпадающих с ними по времени вариаций состояний подобных процессов, характеризующих теми или иными глобальными климатическими индексами [14].

Установлено, что выявленные области похолодания практически совпадают с акваториями Атлантического океана, где вариации поверхностных температур значимо влияют на изменения состояний Арктического и Североатлантического колебаний.

Поскольку изменения фаз перечисленных процессов значимо влияют на меридиональные смещения траекторий внетропических циклонов северного полушария [15], полученные результаты свидетельствуют о влиянии выявленных изменений распределения поверхностных темпе-

ратур Атлантики на метеоусловия во многих внетропических регионах данного полушария. По той же причине влияют они и на распределение в верхней тропосфере концентраций веществ, которые, при проникновении в стратосферу, могут участвовать в разрушении стратосферного озона.

Как известно, одним из основных механизмов миграции веществ из тропосферы в стратосферу является образование в устойчиво – стратифицированной воздушной среде тропопаузы локальных перемешанных областей, содержащих турбулентность (ее «разрывов» и «складок»). Причиной их образования является взаимодействие со сдвиговым воздушным течением распространяющихся в такой среде внутренних волн, при котором значение числа Ричардсона превышает критический уровень [16].

Важнейшую роль в образовании в тропопаузе и верхних слоях тропосферы сдвиговых течений играют субтропические и внетропические струйные течения [15]. Поэтому расположения выявленных областей похолодания в Атлантическом океане сопоставлены также с положениями над ними этих воздушных потоков, представленными в [17].

Установлено, что области похолодания в северной Атлантике находятся непосредственно под основными тропосферными струйными течениями данного региона. Это позволяет предполагать, что уменьшение потоков тепла и водяного пара, которые поступают в соответствующие сегменты тропосферы с поверхностей выявленных областей, способно в какой-то мере оказывать влияние на интенсивность миграции в стратосферу веществ, участвующих в разрушении стратосферного озона.

Возможно, уменьшение этих потоков и явилось непосредственной причиной имевшего место в XXI веке снижения темпов разрушения озонового слоя (а над многими регионами - и увеличения среднегодовых значений ОСО).

### **Выводы**

Таким образом, установлено:  
– в Атлантическом океане в период с 2000 по 2012 г.г. происходили процессы, следствием которых являлось образование

на его поверхности обширных областей значимого похолодания, что подтверждает адекватность выводов [9] и способно отчасти компенсировать влияние на парнико-

вый эффект в земной атмосфере продолжающегося накопления в ней парниковых газов;

– общие особенности расположения выявленных областей значимого похолодания практически не зависят от времени года, тем не менее, положения многих из них в разные месяцы существенно различаются, что указывает на значимость влияния на изучаемый процесс как фактора водообмена с Арктикой и Антарктикой, так и фактора апвеллинга;

– расположение выявленных областей таково, что изменения их поверхностных температур способны ощутимо влиять на

состояния Арктического и Североатлантического колебаний, и, вследствие этого, на траектории движения внетропических циклонов над многими регионами северного полушария нашей планеты;

– области похолодания в северной части Атлантики расположены непосредственно под расположенными здесь тропосферными струйными течениями, что позволяет допускать наличие влияния уменьшения поступающих с их поверхностей в тропосферу потоков тепла и водяного пара на замедление темпов разрушения озонового слоя и даже восстановление многих его сегментов, происходившее в XXI веке.

### Литература

1. Физическая география материков и океанов. Учебник для географических специальностей университетов / Ю. Г. Ермаков, Г. М. Игнатьев, Л. И. Куракова [и др.]; под общей редакцией Рябчикова А. М. – М.: Высш. шк., 1988. – 592с.

2. Бурков В. А. Общая циркуляция Мирового океана. / В. А. Бурков. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 254 с.

3. Lazier J. R. N. Oceanographic Conditions at Ocean Weather Ship Bravo, 1964-1974// Bedford Institute of Oceanography. Dartmouth, N.S. Canadian Meteorological and Oceanographic Society. Atmosphere-ocean, 18 (3) 1980. – P.227-238.

4. Wang C. Seawater Density Variations in the North Atlantic and the Atlantic Meridional Overturning Circulation/ C. Wang, S. Dong, E. Munoz/NOAA ATHLANTSC Oceanographic and Meteorological Laboratory, Miami, Florida. March, 2009. – P.1-47.

5. Гусев А. М. Антарктида. Океан и атмосфера. / А. М. Гусев. – М.: Просвещение, 1983. — 151 с.

6. Еремеев В. Н. Поле температуры поверхности Атлантики и его ритмодинамика на межгодовых масштабах/ В. Н. Еремеев, А. Н. Жуков, А. А. Сизов. // Доповіді Національної академії наук України. – 2010. – №8. – С. 124-130.

7. Холопцев А. В. Изменения распределения среднегодовых температур поверхности Атлантического океана при современном потеплении климата/ А. В. Холопцев, М. П. Никифорова// Людина і довкілля Проблеми неоекології. – 2012. – №3-4. – С. 36-49.

8. Полонский А. Б. Роль океана в современных изменениях климата / А. Б. Полонский // Морской гидрофизический журнал. – 2001. – № 6. – с.32-54.

9. Холопцев А. В. Роль Мирового океана в изменчивости озоносферы/ А. В. Холопцев, М. П. Никифорова// LAP Saarbrücken, Germany. –180p. ISBN:978-3-659-21607-7

10. <http://reanalyses.org/ocean>

11. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. Юнити, 1998, 1022 стр.

12. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение / А. В. Скворцов. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. – 128 с.

13. Крупномасштабные динамические процессы в атмосфере. Сборник статей / под редакцией В. П. Дымникова// Москва. – Мир. – 1988. –430с.

14. [http://www.esrl.noaa.gov/data/climateindices/list/for info](http://www.esrl.noaa.gov/data/climateindices/list/for%20info)

15. Моханакумар К. Взаимодействие тропосферы и стратосферы/ пер. с англ. Р. Ю. Лукьяновой, под ред. Г. В. Алексеева// Москва. – Физматлит. – 2011. – 452с.

16. Ламли Дж.Л., Пановский Г.-А., Структура атмосферной турбулентности, пер. с англ./ Дж. Л. Ламли, Г. А. Пановский. // М., Мир.1966.540с.

17. [http://big-archive.ru/geography/general\\_atmospheric\\_circulation/20.php](http://big-archive.ru/geography/general_atmospheric_circulation/20.php)

Надійшла до редколегії 8.01.2014