

РАЗДЕЛ 4. ГИДРОЛОГИЯ, ОКЕАНОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ

УДК 551.510.413.2; 551.465.6; 551.588.16

ОЗОНОСФЕРА НАД РОССИЕЙ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ТРОПИКОВ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

Холопцев А.В., Никифорова М.П.

¹*Севастопольская морская академия, Севастополь, Российская Федерация*

²*Севастопольский экономико-гуманитарный университет, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Севастополь, Российская федерация*

E-mail: maha.ukraine@gmail.com

Выявлены значимые и статистически устойчивые взаимосвязи межгодовой изменчивости общего содержания озона над Россией и средних температур поверхности ряда акваторий в тропической зоне Северной Атлантики. Показано, что наиболее сильными они являются в весенние месяцы. Результаты соответствуют представлениям о влиянии на озоносферу гравитационных волн, которые образуются при взаимодействии тропосферного струйного течения с барическими неоднородностями.

Ключевые слова: общее содержание озона, взаимодействие, поверхностные температуры, тропическая зона, Северная Атлантика.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние озоносферы над различными регионами нашей планеты, основной характеристикой которого является общее содержание озона (ОСО) [1], значительно влияет на изменчивость потоков ультрафиолетовой радиации, воздействующей на биотические компоненты ландшафтных комплексов. Поэтому изучение статистических связей его изменений с другими природными процессами в физико-географической оболочке нашей планеты является актуальной проблемой физической географии, геофизики ландшафтов и биогеографии.

Так как увеличение потоков ультрафиолетовой радиации, достигающих земной поверхности, наиболее остро ощущается на состоянии фитоценозов, несомненный интерес решение рассматриваемой проблемы представляет для России, где существенную роль в экономике играет земледелие, а лесные ресурсы составляют значительную часть лесных ресурсов всего мира.

1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно современным представлениям о факторах, способных вызывать изменения состояния озоносферы [2], к числу наиболее существенных относятся процессы переноса из тропосферы в стратосферу веществ, участвующих в разрушении озона [3]. Существенное место среди них занимают процессы обрушения в стратосфере и тропопаузе гравитационных волн, которые образуются в тропосфере, при взаимодействии ее струйных течений с орографическими и барическими неоднородностями [4].

ОЗОНОСФЕРА НАД РОССИЕЙ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ТРОПИКОВ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

Весьма контрастные барические неоднородности образуются в сегментах тропосферы над акваториями Мирового океана, по которым проходят его фронтальные разделы с большими горизонтальными градиентами поверхностных температур. Один из них-регион Северной Атлантики, в котором встречаются и взаимодействуют воды Гольфстрима и Лабрадорского течения [5].

В тропосфере над данным регионом в некоторые месяцы проходят струйные течения Северного полушария, которые способны взаимодействовать с образующимися здесь барическими неоднородностями. При этом взаимодействии возникают вертикальные колебания упомянутых течений, которые порождают мощные гравитационные волны, распространяющиеся в устойчиво стратифицированной воздушной среде тропопаузы и стратосферы.

Характеристики барических неоднородностей, формирующихся над указанным регионом, в значительной мере зависят от распределения поверхностных температур акваторий, через которые несет свои воды Гольфстрим. Эти воды формируются на выходе из Флоридского пролива при слиянии поступающих из него вод Мексиканского залива, с приходящими с востока водами Антильского течения (ответвляющегося от Северо-Пассатного течения на подходе к Антильским островам) [6].

Водный поток из Мексиканского залива возникает в результате поступления в последний вод из Карибского моря. В формировании этих вод участвует струя Северо-Пассатного течения Атлантики, которые проникают в него через проливы между островами Антильского архипелага [5]. Поэтому температурные аномалии, возникающие в Северной Атлантике, которые проявляются в изменениях теплосодержания вод ее Северо-Пассатного течения, способны распространяться по системе течений, образующих в итоге Гольфстрим. Тем самым они могут ощутимо влиять на поверхностные температуры ее района, над которым в соответствующие месяцы проходит тропосферное струйное течение Северного полушария. По указанной причине те же температурные аномалии способны влиять на характеристики барических неоднородностей, образующихся над подобным океаническим районом, а также гравитационных волн, возникающих при взаимодействии с ними.

Это позволяет предположить, что изменения средних поверхностных температур некоторых районов Тропической зоны Северной Атлантики могут быть значимо связаны с вариациями распределения среднемесячных значений ОСО над территорией России (при соответствующих временных сдвигах между этими процессами). Выявление подобных связей позволило бы их учесть в моделях и прогнозах изменчивости ОСО над соответствующими регионами России, повысив тем самым их эффективность. Поэтому проверка адекватности выдвинутой гипотезы представляет существенный теоретический и практический интерес.

Учитывая возможность существования телеконнекций рассматриваемого процесса с изменениями ОСО и в других сегментах атмосферы, объектом исследования в данной работе являлись межгодовые изменения распределения среднемесячных значений ОСО над всеми участками земной поверхности, расположенными вне области полярной ночи. Предмет исследования-

телеконнекции межгодовых вариаций ОСО над различными участками территории России, а также опережающих их по времени изменений средних поверхностных температур тропической зоны Северной Атлантики (индекс TNA). Целью работы является проверка адекватности выдвинутой гипотезы, а также выявление условий, при которых телеконнекции между изучаемыми процессами являются значимыми.

2. ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве характеристики изменения поверхностных температур (ТПО) тропической зоны Северной Атлантики, в работе применен индекс TNA, который рассчитывается как аномалия (базис 1950 - 2000 гг.) ТПО акватории, ограниченной меридианами 15°W и $57,5^{\circ}\text{W}$, а также параллелями $5,5^{\circ}\text{N}$ и $23,5^{\circ}\text{N}$ [7].

TNA-квазипериодический процесс с интервалом автокорреляции несколько месяцев. Этот процесс значимо влияет на климат во многих регионах Европы и Северной Америки, характеристики и повторяемость ураганов, а также многие другие важнейшие процессы, способные влиять на состояние озоносферы. Информация об изменениях среднемесячных значений индекса TNA для каждого месяца за период с января 1950 г. представлена в [8].

Мониторинг изменений ОСО во всей земной атмосфере, в том числе над всей Арктикой (в месяцы, когда здесь нет полярной ночи), осуществляется с помощью искусственных спутников Земли, начиная с 1 января 1979 г. Его результаты характеризуются пространственным разрешением $1,0^{\circ}\times 1,0^{\circ}$. Они представлены на сайте Всемирного центра мониторинга ультрафиолетовой радиации и озона [9].

Для достижения обозначенной выше цели, в работе оценена статистическая значимость связей межгодовых изменений среднемесячных ОСО во всех сегментах земной атмосферы, часть из которых расположена над территорией России, а также опережающих их на 0-27 мес. значений индекса TNA.

Для всех изучаемых временных рядов осуществлена процедура компенсации линейных трендов. Это ослабило их нестационарность и позволило применить для выявления изучаемых статистических связей метод корреляционного анализа [10]. Подобным образом проанализированы связи между фрагментами изучаемых временных рядов, которые включают по 36 членов. Фрагменты рядов ОСО для каждого месяца соответствуют периоду времени с 1979 г. по 2014 г., а начала фрагментов рядов индекса TNA опережают их на то или иное количество месяцев.

Проверка, с использованием критерия согласия Пирсона, показала, что по своим статистическим свойствам временные ряды, полученные в результате компенсации трендов, с приемлемой достоверностью могут рассматриваться как реализации соответствующих нормальных случайных процессов. Последнее позволяет при оценке значимости статистических связей между ними применить критерий Стьюдента. При этом предполагалось, что оцениваемая связь является значимой, если соответствующее значение выборочного коэффициента корреляции сопоставляемых временных рядов превышает уровень 95% порога достоверной корреляции, оцененный с использованием упомянутого критерия и с учетом соответствующего числа степеней их свободы [10].

ОЗОНОСФЕРА НАД РОССИЕЙ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ТРОПИКОВ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

Значение подобного порога для рассматриваемых временных рядов составило 0,33.

Расположение сегментов атмосферы, в которых выявлены значимые связи отображены на рисунках с использованием метода триангуляции Делоне [11]. При этом на них показаны границы областей, вмещающих такие сегменты, за которые приняты изолинии 0,33 по модулю.

Как мера суммарной силы телеконнекции (Δ) изменения средних поверхностных температур изучаемого региона Северной Атлантики и вариаций распределения ОСО над Россией в некотором месяце, для каждого значения Δ оценено количество сегментов атмосферы над Россией, для которых связь рассматриваемых процессов является значимой.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ АВТОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Установлено, что для каждого месяца существуют такие значения временного сдвига Δ между изучаемыми процессами, при которых их взаимосвязь является существенной. При этом значения Δ зависят как от номера месяца, так и от величины Δ . Наибольшие значения Δ соответствуют весенним месяцам (марту-маю). В эти месяцы значение Δ является максимальным при $\Delta = 6-7$ мес. Наибольшего значения в подобных условиях данная характеристика достигает в мае.

Расположения сегментов земной атмосферы, для которых связи межгодовых изменений ОСО в марте, апреле и мае, а также опережающих их по времени на 6 мес. вариаций индекса TNA, значимы, показаны на рисунках 1-3.

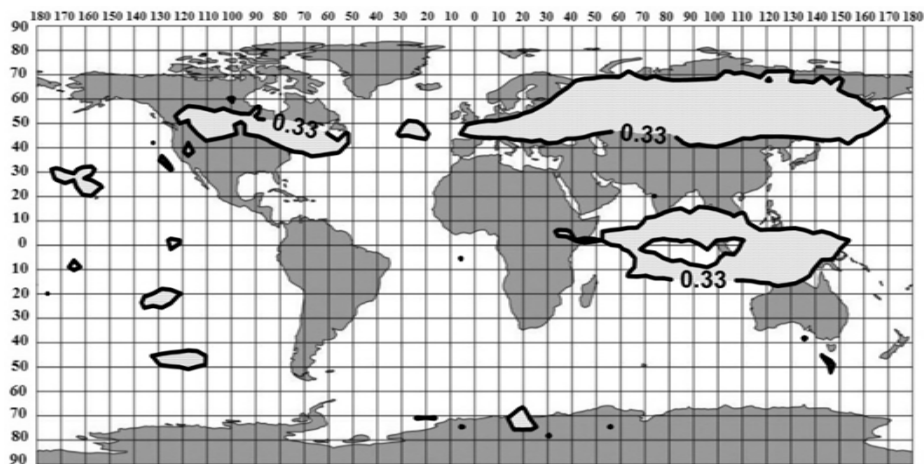


Рис. 1. Распределение областей достоверной корреляции вариаций ОСО в марте и индекса TNA при временном сдвиге 6 месяцев между их временными рядами.

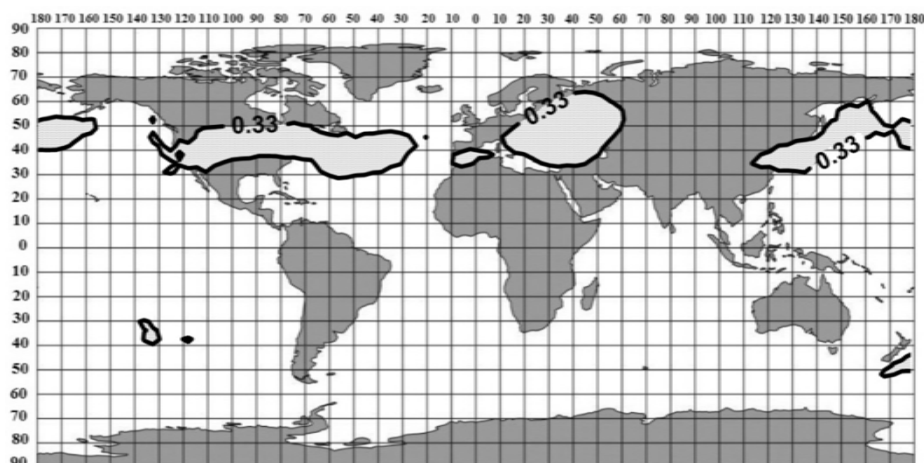


Рис. 2. Распределение областей достоверной корреляции вариаций ОСО в апреле и индекса TNA при временном сдвиге 6 месяцев между их временными рядами.

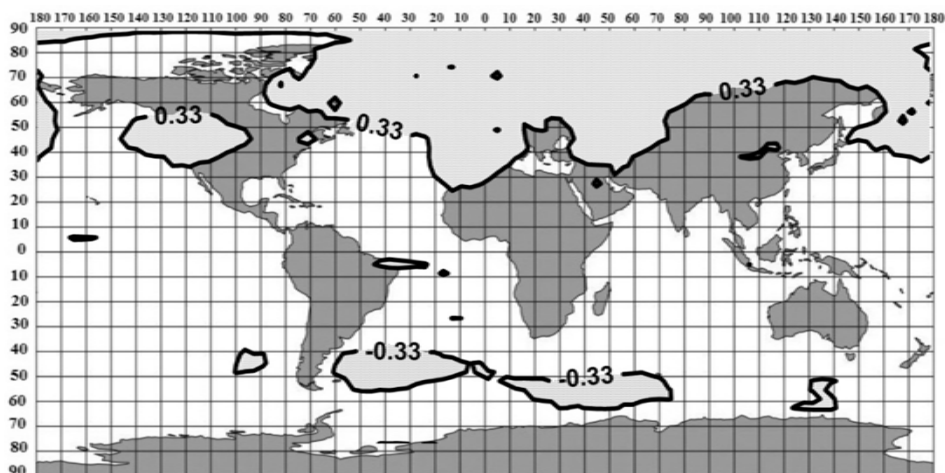


Рис. 3. Распределение областей достоверной корреляции вариаций ОСО в мае и индекса TNA при временном сдвиге 6 месяцев между их временными рядами.

Из рисунка 1 видно, что в марте сегменты атмосферы, в которых межгодовые изменения среднемесячных значений ОСО значимо статистически связаны с опережающими их по времени значениями индекса TNA, расположены преимущественно в Восточном и Северном полушарии. Над территорией России они расположены в зоне между параллелями 45°N и 70°N . Не входят в эту зону лишь некоторые районы Северного Кавказа, Калмыкии, Таймыра, Якутии, а также Чукотки. В пределы той же области попадает практически все регионы Европы (кроме Великобритании, Ирландии, Испании, Италии, Дании, Нидерландов,

ОЗОНОСФЕРА НАД РОССИЕЙ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ТРОПИКОВ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

Бельгии, Люксембурга и государств Скандинавского и Балканского полуострова).

Обширные области высокой корреляции изучаемых процессов располагаются также над приграничными регионами США и Канады, а также приэкваториальной зоной Индийского океана, Юго-Восточной Азией, Индонезией и северными штатами Австралии.

Из рисунка 2 следует, что в апреле рассматриваемые сегменты атмосферы располагаются в Восточном полушарии над всей Европейской территорией России, Уралом, Камчаткой и Приморьем. Их суммарная площадь существенно меньше, чем в марте. В Западном полушарии они располагаются там же, но их суммарная площадь больше.

Рисунок 3 свидетельствует о том, что в мае изучаемая область имеет наибольшие размеры. Она расположена в Северном полушарии и включает практически все регионы России, кроме Юга Сибири и Дальнего Востока, всю акваторию Северного Ледовитого океана, кроме Чукотского моря, моря Бофорта и Девисова моря, а также Северную Атлантику к северу от параллели 50°N . Значительно меньшая по размерам область сохраняется в зоне границы США и Канады, расположенной к западу от Великих озер. В Южном полушарии область значимой корреляции расположена над Атлантикой и Индийским океаном зонально, между параллелями 40°S и 60°S .

В летние месяцы рассматриваемые области над Россией фиксируются лишь в июне и имеют при временных сдвигах до 7 мес. существенно меньшие размеры. В качестве примера, на рисунке 4 показано распределение областей достоверной корреляции вариаций ОСО в июне и индекса TNA при временном сдвиге 6 месяцев между их временными рядами.

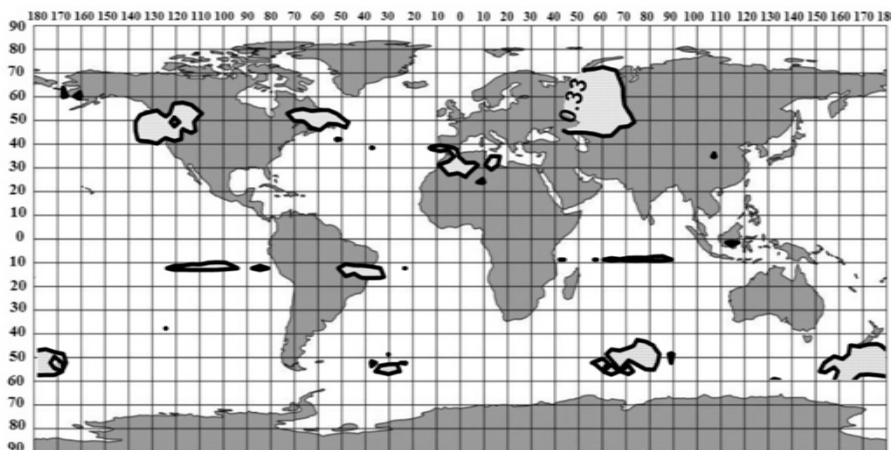


Рис. 4. Распределение областей достоверной корреляции вариаций ОСО в июне и индекса TNA при временном сдвиге 6 мес. между их временными рядами.

Как видно из рисунка 4, в июне (при $\Delta = 6$ мес.) наибольшая по размерам изучаемая область, как и весной, находится над территорией России. Расположена

она над Уралом и Западной Сибирью. Тем не менее, размеры этой области гораздо меньше, чем в весенние месяцы.

Существенно меньшие по размерам области расположены также и в других сегментах атмосферы Северного и Южного полушарий.

Полученные результаты подтверждают адекватность выдвинутой гипотезы и позволяют связывать выявленные телеконнекции с процессами генерации гравитационных волн при взаимодействии тропосферного струйного течения с барическими неоднородностями, которые образуются над областью взаимодействия Гольфстрима и Лабрадорского течения. Выявленное запаздывание наиболее сильного отклика озоносферы на изменения ТПО в тропической зоне Атлантики при этом может объясняться тем, что за время порядка 6 месяцев термические аномалии из этой зоны, по известной системе поверхностных течений достигают упомянутой области.

Так, из рисунков 1- 3 следует, что в марте- апреле области значимой связи рассматриваемых процессов располагаются южнее по сравнению с их распределением в мае, что, как известно [12], совпадает с миграцией внетропического струйного течения и его переходом с «зимнего» расположения на «летнее», когда его ось смещается на север. Во время такого перераспределения тропосфера наиболее нестабильна, а, следовательно, повышается и вероятность обрушения гравитационных волн и разрывов тропопаузы. Кроме этого, в мае стержень внетропического струйного течения (зона максимальных скоростей) над рассматриваемой акваторией проходит непосредственно над зоной формирования барических неоднородностей, что вызывает наиболее мощное их взаимодействие. В таком случае телеконнекция изменений ТПО рассматриваемой акватории и значений ОСО над территорией России должна проявляться сильнее, что соответствует распределению областей достоверной корреляции между ними, наблюдающемуся в мае (Рис. 3).

Резкое сокращение общей площади областей значимой связи между рассматриваемыми процессами в летние месяцы по сравнению с весенними может быть связано с рядом причин. Во-первых, летом температурные градиенты поверхностных вод Северной Атлантики выражены гораздо слабее по сравнению с весной [5], а, следовательно, и меньше возникающие здесь барические неоднородности. Во-вторых, известно [13], что также скорости и температурные градиенты внетропического струйного течения летом меньше по сравнению с зимними месяцами. Эти два фактора приводят к тому, что в летний период амплитуда и другие характеристики гравитационных волн, возникающих при их взаимодействии, меньше чем в другие времена года. Такое явление при рассмотрении телеконнекции ОСО и TNA должно проявляться в сокращении площади областей их достоверной корреляции, что и наглядно видно из сопоставления рисунков 1-3 и рисунка 4.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что взаимодействие рассматриваемых процессов обладает инерционностью, которая возникает поскольку распространение термических аномалий из тропической Атлантики происходит по системе течений. В большинстве случаев максимальные значения Λ

ОЗОНОСФЕРА НАД РОССИЕЙ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ТРОПИКОВ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

наблюдаются при сдвигах между их временными рядами $\Delta = 6-7$ мес. Это дает возможность предполагать, что индекс TNA может быть использован не только для повышения точности моделей изменчивости значений ОСО над территорией России, но и при прогнозировании их среднемесячных величин с упреждением в несколько месяцев.

ВЫВОДЫ

Таким образом, установлено:

1. Телеконнекция межгодовых изменений ТПО тропической части Северной Атлантики и многих сегментов озоносферы над Россией является значимой. Суммарная площадь областей значимой связи рассматриваемых процессов зависит от месяца, а также от сдвига между их временными рядами, максимальна она в мае.

2. Расположение областей достоверной корреляции между изменчивостями TNA и ОСО подтверждает выдвинутую гипотезу о волновом характере их телеконнекции.

3. В марте и апреле значимая связь между рассматриваемыми процессами наблюдается преимущественно в области «зимнего» расположения внетропического струйного течения. Максимальна она при 6-7 мес. сдвига между их временными рядами.

4. В мае и июне распределение областей связи между изменениями ТПО тропической части Северной Атлантики и ОСО над Россией изменяется в соответствии с «летнем» расположением внетропического струйного течения, расположены они севернее по сравнению с мартом и апрелем. В мае они охватывают практически всю территорию России.

5. В летние месяцы телеконнекция между изменчивостью TNA и ОСО выражена относительно слабо, что может быть связано с меньшими температурными градиентами как поверхности акватории тропической части Северной Атлантики, так и внетропического струйного течения.

6. Полученные результаты свидетельствуют о возможности и целесообразности учета индекса TNA при составлении прогностических моделей значений ОСО над Россией.

Список литературы

1. Ларин И.К. Химическая физика озонового слоя. М.: ГЕОС, 2013. 152 с.
2. Моханакумар К. Взаимодействие стратосферы и тропосферы. М.: Физматлит, 2011. 452 с.
3. Холопцев А. В., Никифорова М.П., Больших А.В. Мировой океан и озоносфера. Stuttgart: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 522 с.
4. Жадин Е.А. Влияние межгодовых вариаций температуры поверхности океана на циркуляцию стратосферы и озоновый слой [Текст]: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 25.00.29. Долгопрудный, 2004. 208 с.
5. Stewart R.H. Introduction to physical oceanography. Texas A&M University. Dep.of oceanography, 2008. 353 p.
6. Океанология, т.1. Гидрофизика океана / Под ред. Каменковича В.М., Моница А.С. М.: Наука, 1978. 456 с.

7. Enfield D. B. [et al.] How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures // J. Geophys. Res., 1999. Vol. 104. P. 7841-7848
8. База данных о состоянии индекса TNA [Электронный ресурс].-Режим доступа: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>
9. База данных о состоянии озоносферы [Электронный ресурс].-Режим доступа: <http://www.woudc.org/>
10. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
11. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2002. 128 с.
12. Погосян Х.П. Общая циркуляция атмосферы. Л.: Гидрометеониздат, 1972. 396 с.
13. Ивангородский Р.В., Нерушев А.Ф. Характеристики струйных течений верхней тропосферы по данным измерений европейских геостационарных метеорологических спутников // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2014. Т.11, №1. С. 45-53

OZONOSPHERE OVER RUSSIA AND CHANGES OF SEA SURFACE TEMPERATURES DISTRIBUTION OF NORTH ATLANTICS TROPICS

Kholoptsev A.V.¹, Nikiforova M.P.²

¹*Sevastopol Maritime Academy, Sevastopol, Russian Federation*

²*Sevastopol economics-humanitarian institute, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Sevastopol, Russian Federation*

E-mail: maha.ukraine@gmail.com

The paper is devoted to the relationships study of total ozone amount interannual variability over Russia and sea surface temperatures of the North Atlantic tropical zone. Idea of the impact on the ozonosphere of gravitational waves generated during the interaction of jet streams with pressure irregularities over the interaction area of the Gulf Stream and the Labrador Current is confirmed. It is established, that the teleconnection of SST interannual changes of the North Atlantic tropical zone and ozonosphere many segments over Russia is significant. The total area of the studied processes correlation zones depends on the month and shift between the time series, the maximum is in May. In March and April the significant link between the processes is observed mainly in the "winter" location area of extratropical jet stream. Its maximum corresponds 6-7 months shift between their time series. In May and June the distribution of correlation areas between SST changes of the North Atlantic tropical zone and the total ozone amount over Russia changed in accordance with the "summer" position of extratropical jet stream, they are located to the North compared to March and April. In May they cover practically the entire territory of Russia. In the summer months the teleconnection between the TNA and the TOA variabilities are expressed relatively weakly, which may be due to lower temperature gradients of the surface waters of the North Atlantic tropical zone, as well as the extratropical jet stream. Obtained results indicate the possibility of TNA index use in the predictive models of total ozone amount over Russia.

Keywords: total ozone amount, interaction, sea surface temperatures, tropics, North Atlantic.

References

1. Larin I.K. Himicheskaja fizika ozonovogo sloja (Chemical physics of ozone layer). Moskva: GEOS, 2013, 152 p.

ОЗОНОСФЕРА НАД РОССИЕЙ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУР ТРОПИКОВ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

2. Mohanakumar K. Vzaimodejstvie stratosfery i troposfery (Interaction of stratosphere and troposphere). Moskva: Fizmatlit, 2011, 452 p.
3. Holopcev A. V., Nikiforova M.P., Bol'shikh A.V. Mirovoj okean i ozonosfera (Oceans and ozonosphere). Stuttgart: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 522 p.
4. Zhadin E.A. Vlijanie mezhgodovyh variacij temperatury poverhnosti okeana na cirkuljaciju stratosfery i ozonovyj sloj: dis. ... d-ra fiz.-mat. nauk: 25.00.29. (Longterm variations influence of sea surface temperatures on stratosphere circulation and ozone layer: thesis ... doctor of phys.-math. sciences: 25.00.29). Dolgoprudnyj, 2004. 208 p.
5. Stewart R.H. Introduction to physical oceanography. Texas A&M University. Dep.of oceanogrpahy, 2008. 353 p.
6. Okeanologija, t.1. Gidrofizika okeana (Oceanology, vol. 1. Hydrophysics of ocean) / Edited Kamenkovich V.M., Monin A.S. Moscow: Nauka, 1978. 456 p.
7. Enfield D. B. [et al.] How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures // J. Geophys. Res., 1999. Vol. 104. P. 7841-7848
8. The database on the state of TNA index. Available at: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>
9. The database on the state of ozone layer. Available at: <http://www.woudc.org/>
10. Kobzar' A. I. Prikladnaja matematicheskaja statistika (Applied mathematical statistics). M.: Fizmatlit, 2006. 816 p.
11. Skvorcov A.V. Trianguljacija Delone i ee primenenie (Delone triangulation and its use). Tomsk: Tomsk University Publishing, 2002. 128 p.
12. Pogosjan H.P. Obshhaja cirkuljacija atmosfery (General circulation of atmosphere). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972. 396 p.
13. Ivangorodoskij R.V., Nerushev A.F. Harakteristiki strujnyh techenij verhnej troposfery po dannym izmerenij evropejskih geostacionarnyh meteorologicheskikh sputnikov (Characteristics of the upper tropospheric jet fluxes inferred from the data of European geostationary meteorological satellites) // Current problems in remote sensing of the Earth from space, 2014. Vol.11, No. 1. P. 45-53

Поступила в редакцию 10.05.2015 г.