

УДК 911.2

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

Первый украинский морской институт

ул. Рыбаков, 5, г. Севастополь 99000

khoptsev@mail.ru

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ АКВАТОРИЙ ТИХОГО ОКЕАНА КАК ФАКТОР ЗНАЧИМОСТИ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА СОСТОЯНИЕ ОЗОНОСФЕРЫ

Изучено влияние географического положения акваторий Тихого океана на значимость статистической связи межгодовых вариаций их поверхностных температур, а также изменений распределений общего содержания озона в земной атмосфере. Выявлены особенности сезонной изменчивости расположения его акваторий, оказывающих на состояние озоносферы наиболее существенное влияние.

Ключевые слова: акватории, Тихий океан, поверхностная температура, общее содержание озона, статистические связи, воздухообмен, тропосфера, стратосфера

Холопец О. В. ГЕОГРАФІЧНЕ ПОЛОЖЕННЯ АКВАТОРІЙ ТИХОГО ОКЕАНУ, ЯК ЧИННИК СУТТЄВОСТІ ВПЛИВУ ЗМІН ЇХ ПОВЕРХНЕВИХ ТЕМПЕРАТУР НА СТАН ОЗОНОСФЕРИ

Досліджено вплив географічного положення акваторій Тихого океану на суттєвість статистичного зв'язку міжрічних варіацій їх поверхневих температур, а також змін розподілу загального вмісту озону у земній атмосфері. Визначено особливості сезонної мінливості положення його акваторій, що завдають найпотужнішого впливу на стан озоносфери.

Ключові слова: акваторії, Тихий океан, поверхнева температура, загальний вміст озону, статистичний зв'язок, обмін повітрям, тропосфера, стратосфера

Holoptsev A. V. GEOGRAPHICAL LOCATION OF PACIFIC OCEAN WATER AREA AS A IMPORTANCE FACTOR OF THEIR SURFACE TEMPERATURE CHANGES INFLUENCE ON THE OZONE LAYER

There are the influence of geography of the Pacific Ocean on the significance of the statistical relationship of interannual variations of surface temperatures and changes in the distributions of total ozone in the Earth's atmosphere. The features of the seasonal variability of the location of its waters, providing state of the ozone layer on the most significant impact.

Keywords: water area , the Pacific Ocean , surface temperature, total ozone , statistical relationships, air exchange, troposphere , stratosphere

Введение

Озоносфера является одним из важнейших компонентов земной атмосферы, который непосредственно защищает земную поверхность от воздействия на нее потоков опасных для всего живого коротковолновых составляющих солнечной радиации. Поэтому выявление особенностей влияния на изменения ее состояния различных природных факторов является актуальной проблемой физической географии, физики атмосферы, а также экологии.

Одной из наиболее информативных характеристик состояния озоносферы является распределение над земной поверхностью общего содержания озона (ОСО) [1].

ОСО определяется как толщина слоя, который мог бы образовать весь озон, содержащийся в атмосфере над некоторым пунктом земной поверхности, если бы он весь был сосредоточен в этом слое, имел температуру 0°C и был сжат до атмосферного давления 1 атмосфера. Эту характеристику впервые предложил и измерил в атмосфере над п. Ароза (Швейцария) в 1926 г. Добсон [2]. Он же установил, что около 80% всего озона содержится в стратосфере, образуя озоновый слой.

Причинами изменения пространственного распределения стратосферного озона являются действующие в земной атмосфере радиационные, химические и динамические факторы [3]. Первые в основном обуславливают образование озона в ходе фотохи-

мических реакций цикла Чепмена, а вторые и третьи играют главную роль в уменьшении его содержания, обуславливая поступление в различные сегменты стратосферы, веществ, из которых в стратосфере образуются реагенты каталитических циклов его разрушения.

Упомянутые вещества образуются в основном либо на земной поверхности, либо в приземных слоях тропосферы. Наиболее изученным механизмом, обеспечивающим доставку этих веществ из тропосферы в стратосферу, является их проникновение через разрывы тропопаузы, расположенные в зоне субтропических струйных течений. В подобном проникновении участвуют как непрерывно осуществляющаяся адвекция тропического воздуха (циркуляция Хедли), так и турбулентность, возникающая на периферии упомянутых струйных течений, в результате их неустойчивости[4].

Вследствие зональности расположения преобладающих воздушных потоков в стратосфере, тропосферный воздух, проникший в нее через разрывы тропопаузы, переносится в основном над субтропическими климатическими поясами. Поэтому в разрушении озона в сегментах стратосферы, расположенных в более высоких широтах, рассматриваемый процесс существенной роли не играет[3]. В них воздухообмен стратосферы и тропосферы во многом обусловлен различными волновыми процессами.

Как известно, при распространении в устойчиво стратифицированном слое поперечных волн, длина которых существенно превышает его толщину, их профиль изменяется, а на некоторых удалениях от их источников происходит их обрушение, сопровождающееся диссипацией их энергии и образованием интенсивной турбулентности [5]. Тропопауза и стратосфера также могут рассматриваться как устойчиво-стратифицированные воздушные слои, в которых могут распространяться поперечные волны. Среди последних могут присутствовать и длинные. Их распространение в тропопаузе и стратосфере приводит к формированию в них областей, где устойчивость их стратификации нарушается. В таких областях происходит диссипация энергии волн, развивается турбулентность, вертикальные составляющие которой вызывают перенос значительных объемов воздуха из тропосферы

в стратосферу и обратно[6]. Именно так в стратосферу над многими регионами планеты доставляются вещества, участвующие в разрушении стратосферного озона, а также в тропосферу из стратосферы проникают космогенные радионуклиды[7].

Одним из видов подобных поперечных колебаний в стратосфере являются стационарные планетарные волны, формирующиеся в результате взаимодействия соответствующего струйного течения с тем или иным высоким горным хребтом. Данное явление, к примеру, возникает при взаимодействии субтропического струйного течения Южного полушария с Андами. Длинные поперечные волны в тропопаузе и стратосфере могут быть обусловлены также процессами генерации фронтальных циклонов и антициклонов, их перемещением над земной поверхностью, развитием неустойчивости струйных течений, приливами и др. факторами. Существуют среди них также планетарные волны, образующиеся в результате воздействия на воздушные течения тропосферы барических неоднородностей, обусловленных наличием значительных горизонтальных градиентов температуры между различными участками земной поверхности [8].

Впервые гипотезу, связывающую динамические изменения озонового слоя с планетарными волнами, в конце 80-х годов XX века выдвинул Е. А. Жадин[9]. Ее первые экспериментальные подтверждения были получены В. И. Бекорюковым, который выявил связи долгопериодных изменений тропосферной циркуляции, обусловленных вариациями параметрами средней температуры поверхности Атлантики в области Азорского максимума, а также изменений ОСО над Европой [10]. Влияние аналогичных процессов в Азиатско-Тихоокеанском регионе на вариации распределения ОСО в земной атмосфере установлено в [11].

Пайл и Роджерс на примере озона показали, что интенсивность переноса планетарными волнами веществ существенно зависят от географической широты и времени их жизни в атмосфере[12].

Существенность влияния волновых механизмов, обусловленных изменчивостью распределения поверхностных температур Мирового океана на воздухообмен тропосферы и стратосферы над внетропическими

регионами нашей планеты доказана в [13]. Вместе с тем взаимосвязи между подобными процессами, протекающими в тех или иных регионах нашей планеты, ныне изучены недостаточно. Одним из таких регионов, где подобные взаимодействия способны оказывать существенное влияние на состояние всей озоносферы Земли, является Тихоокеанский.

Тихий океан – величайший океан нашей планеты, расположенный практически симметрично в ее Северном и Южном полушариях. Площадь его поверхности, с относящимися к нему морями составляет 179,7 млн км², при этом значительная ее часть расположена в тропической зоне. Вследствие этого данный океан является основным поставщиком потоков водяного пара и тепла, поступающих в земную атмосферу. Распределение поверхностных температур Тихого океана весьма неоднородно и существенно зависит от сезонных факторов [14].

Это позволяет предположить, что барические неоднородности над указанным океаном способны генерировать планетарные волны, порождающие в тропопаузе над ним локальные области, в которых происходит воздухообмен тропосферы и стратосферы. Поскольку характеристики этих неоднородностей существенно зависят от времени, географическому положению сегментов стратосферы, в которых данный процесс вызывает разрушение озона, также должна быть свойственна сезонная и межгодовая изменчивость. Изложенные соображения позволяют выдвинуть гипотезу, согласно которой в Тихом океане существуют акватории, в которых межгодовая изменчивость

их поверхностных температур наиболее значимо влияет на вариации распределения ОСО в земной атмосфере, а на их расположение существенное влияние оказывают сезонные факторы.

Подтверждение адекватности данной гипотезы позволило бы использовать при прогнозировании изменчивости характеристик озоносферы не только данные прямых измерений распределения в ней ОСО (спутниковых и наземных), но и результаты мониторинга изменений поверхностных температур подобных акваторий. Поэтому ее проверка представляет значительный теоретический и практический интерес.

Тем не менее, ранее подобной проверки не производилось.

Учитывая это, в качестве объекта исследования в данной работе выбраны статистические связи между изменениями поверхностных температур различных акваторий Тихого океана, а также вариациями распределения средних значений ОСО в земной атмосфере.

Предметом исследования являлось влияние географического положения акваторий Тихого океана на связи между изменениями их поверхностных температур, а также вариациями распределения среднемесячных ОСО в земной атмосфере.

Целью работы являлась проверка адекватности выдвинутой гипотезы и выявление районов Тихого океана, в которых изменчивость среднемесячных значений их поверхностных температур оказывает наибольшее влияние на вариации ОСО в земной атмосфере.

Изложение основного материала исследований

Как известно, распространение потоков воздуха от земной поверхности до озонового слоя, происходящее через разрывы тропопаузы, занимает единицы месяцев [15]. Обрушение длинных планетарных волн позволяет воздуху тропосферы попасть в стратосферу гораздо быстрее. Поэтому для достижения указанной цели рассматривались статистические связи между вариациями аномалий среднемесячных значений поверхностных температур различных акваторий Тихого океана, проявляющихся в те или иные месяцы, с совпадающими по

времени изменениями ОСО в земной атмосфере.

Как характеристика значимости влияния на озоносферу межгодовых изменений поверхностных температур в некотором районе Тихого океана, рассматривалось общее количество ее сегментов, размерами 1x1 угловой градус, в которых значение коэффициента парной корреляции временных рядов данного фактора и межгодовых изменений в них ОСО превышает уровень 95% порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента [16].

В качестве фактического материала, использовались временные ряды изменений среднемесячных значений ОСО в подобных сегментах земной атмосферы, не попадающих в область полярной ночи, которые получены из [17]. Подобные ряды, включающие данные за период с 1979 по 2010 гг., рассматривались для таких месяцев как апрель (в Северном полушарии весна, в Южном –осень) и октябрь (в Северном полушарии осень, в Южном –весна).

Временные ряды аномалий среднемесячных значений поверхностных температур, усредненных по поверхностям акваторий Тихого океана, ограниченным квадратами координатной сетки размерами $5^{\circ} \times 5^{\circ}$, по которым имелись данные реанализа, получены за тот же период из [18].

Распределения по поверхности Тихого океана границ областей, в которых влияние на озоносферу межгодовых изменений данных характеристик при том или ином временном сдвиге между этими процессами является значимым, отображалось на контурной карте Тихого океана с использованием метода триангуляции Делоне [19]. При этом отображались границы областей акваторий, в пределах которых изменения аномалий поверхностных температур, отвечающие тому или иному месяцу, являлись значимо коррелированными с изменениями ОСО в соответствующем месяце не менее чем в 3000 или 5000 сегментах атмосферы (из общего их числа -64800).

На отдельных картах отображались расположения границ областей, в которых имела место значимая положительная и значимая отрицательная корреляция.

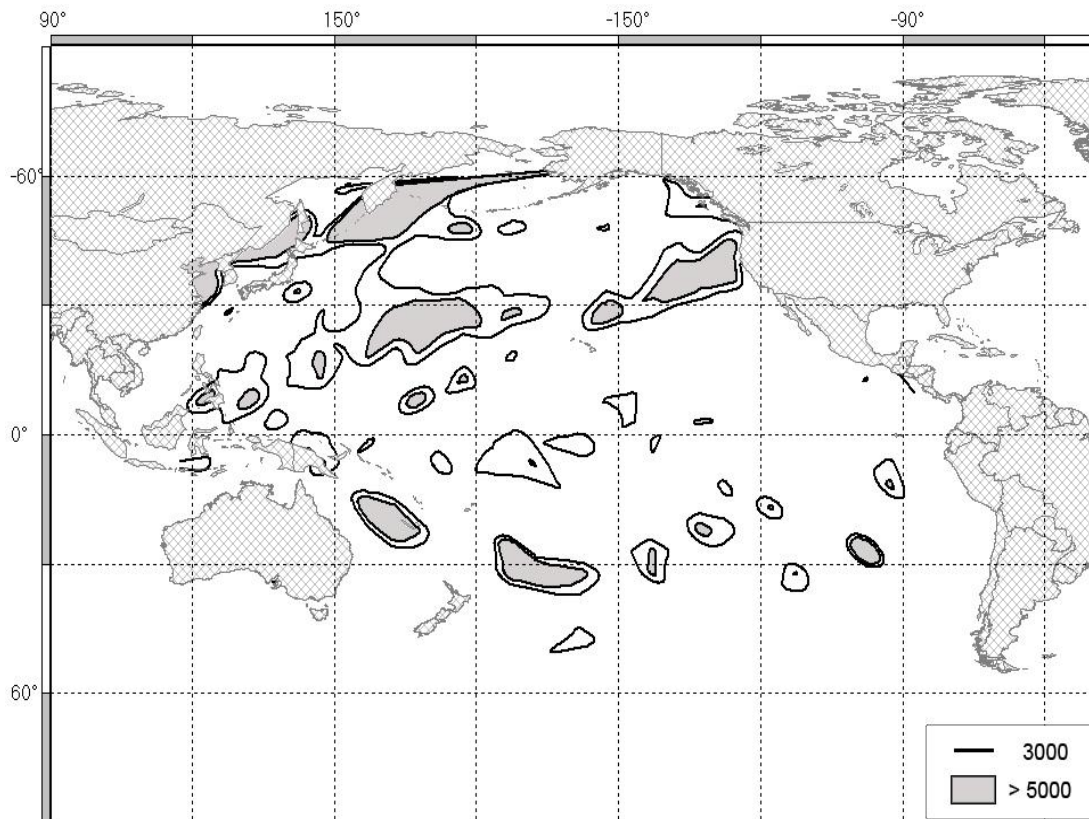
Исследования по описанной методике проведены для всех месяцев. Они показали, что на поверхности Тихого океана в любые месяцы существуют области, в которых межгодовые изменения их поверхностных температур связаны с совпадающими по времени вариациями ОСО в тех или иных сегментах озоносферы статистически значимо. При этом среди них преобладают такие, в которых корреляция между этими процессами отрицательна. Площади подобных областей, а также их расположение существенно зависят от времени года. В этом нетрудно убедиться, рассмотрев представленные на рисунке в качестве примера схемы, отражающие расположение границ

акваторий, в которых значимая отрицательная корреляция межгодовых изменений аномалий их поверхностных температур, а также совпадающих по времени вариаций ОСО в апреле, июне, октябре и декабре имеет место не менее чем в 3000 сегментах атмосферы.

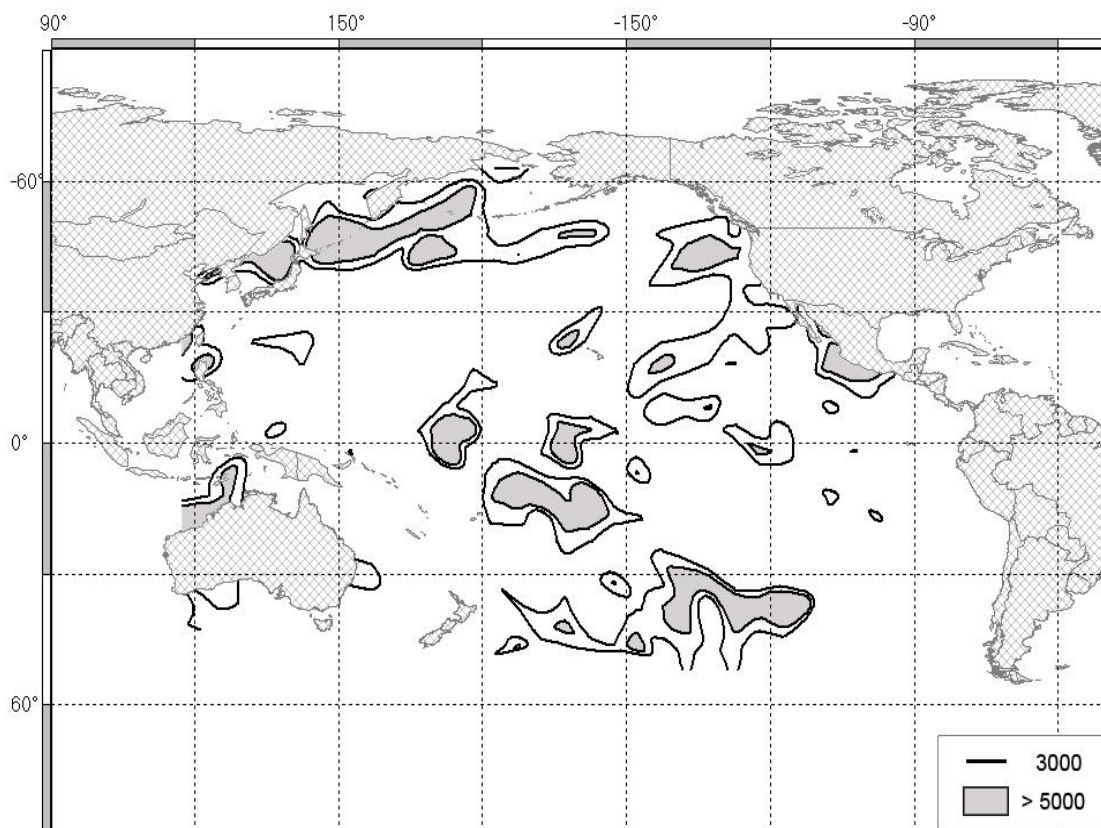
Из рисунка следует, что в рассматриваемые месяцы обширные и многочисленные области, в которых межгодовые изменения поверхностных температур Тихого океана значимо статистически связаны с совпадающими по времени вариациями ОСО не менее чем в 3000 сегментах земной атмосферы, существуют в любых его природных зонах. Суммарные площади этих областей минимальны в апреле, а максимальны в декабре. Подобные области в апреле (см. рис. А) обладают наибольшими размерами в северной части Тихого океана и располагаются вне его приэкваториальной зоны. В июне (см. рис. Б) суммарная площадь рассматриваемых областей больше, при этом они распределены более равномерно по всей акватории океана. Еще больше их размеры в октябре (рис. В). При этом в западной части Тихого океана они встречаются значительно чаще, чем в его восточной части. В декабре площади изучаемых областей в южном полушарии несколько больше, чем в северном, а сосредоточены они также в основном в его западной части.

Сегменты озоносферы, в которых вариации ОСО значимо связаны с изменениями поверхностных температур Тихого океана встречаются над любыми природными зонами нашей планеты, но преобладают над ее субтропическими климатическими поясами. При этом на протяжении всего года над Южным субтропическим климатическим поясом их площадь больше, чем над аналогичным поясом Северного полушария. Расположения подобных сегментов, соответствующих различным областям поверхности Тихого океана существенно различаются и зависят от месяца, в котором изучаются связи между изучаемыми процессами.

Многие из выявленных сегментов атмосферы, в которых межгодовые изменения ОСО значимо статистически связаны с совпадающими по времени вариациями поверхностных температур некоторой акватории Тихого океана, удалены от нее на тысячи километров и, как правило, расположены

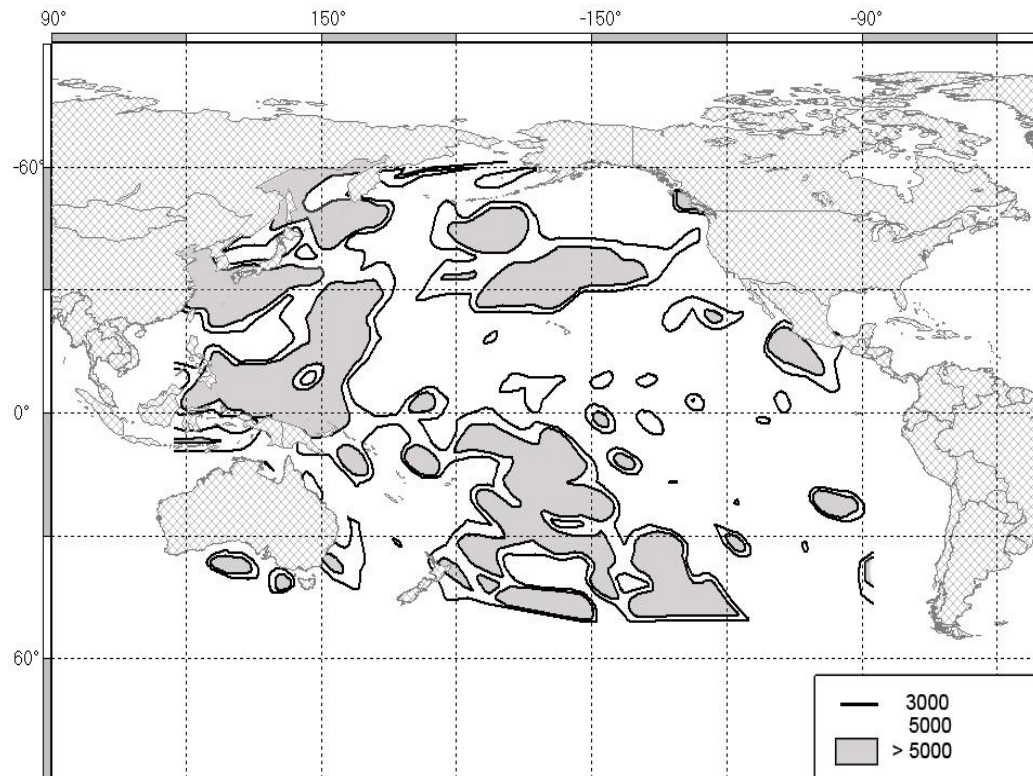


А) апрель

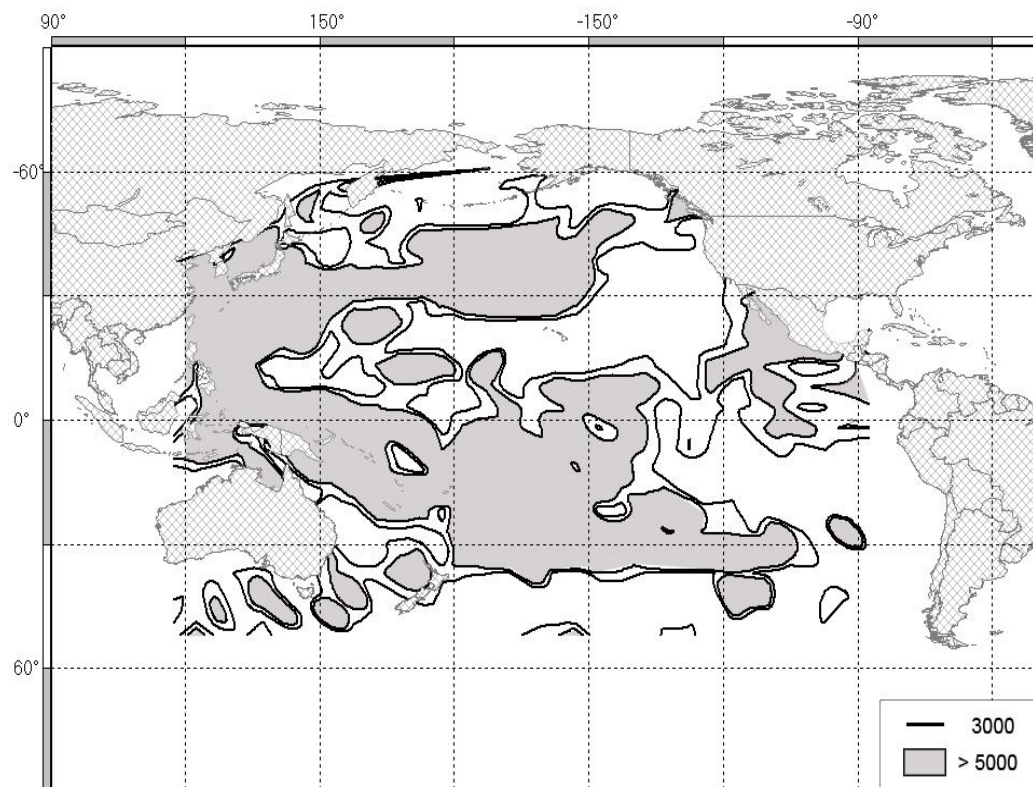


Б) июнь

Рис. – Расположения границ акваторий Тихого океана, где межгодовые изменения поверхностных температур в апреле и октябре значительно отрицательно коррелированы с вариациями ОСО в те же месяцы не менее чем в 3000 сегментах озоносферы



В) октябрь



Г) декабрь

Рис. – Расположения границ акваторий Тихого океана, где межгодовые изменения поверхностных температур в апреле и октябре значительно отрицательно коррелированы с вариациями ОСО в те же месяцы не менее чем в 3000 сегментах озоносферы (продолжение рисунка)

зонально в протилежному півкулі (за екватором). Це вказує на те, що в утворенні подібних сегментів вирішальне впливають обрушення планетарних хвиль (відповідні деформації профіля яких можуть сформуватися при їх розповсюдженні в стійко стратифікованому шарі тільки на певній відстані від їх джерела).

Оскільки описані статистичні зв'язки існують між збігаючись по часу міжрічними змінами поверхневих температур акваторій Тихого океана і значень ОСО в тих або інших сегментах озоносфери, виявлені закономірності свідчать про те, що причиною їх існування є не адвекція тропосферного повітря

через розриви тропопаузи, а процеси обрушення внутрішніх хвиль.

Явна асиметрія річного ходу сумарних площей акваторій Тихого океана, значимо впливаючих на озоносферу, свідчить про те, що важким джерелом планетарних хвиль, обрушення яких на Южних субтропічних розривах тропопаузи викликає інтенсивне руйнування над ними стратосферного озона, є прибережні води Антарктиди. Характер розподілу подібних акваторій дозволяє зв'язувати їх існування з процесами генерації довгих внутрішніх хвиль в тропопазі і стратосфері, маючої місце при розповсюдженні циклонів і варіаціях поля атмосферного тиску в областях Тихоокеанських центрів дії атмосфери.

Висновки

Таким чином, доведено, що в Тихому океані існують численні і великі акваторії, в яких міжрічні зміни аномалій середньмісячних значень їх поверхневих температур в тих або інших місяцях значимо статистично зв'язані з збігаючись по часу варіаціями ОСО не менше ніж в 3000 сегментах земної атмосфери.

Розташування сегментів озоносфери, в яких зміни ОСО зв'язані з варіаціями поверхневих температур в тій або іншій області Тихого океана залежить від її розташування і місяця. При цьому практично для кожного сегмента озоносфери можна вказати певну кількість акваторій даного океана, значимо впливаючих на його стан. Це свідчить про можливість використання результатів їх гідрофізического моніторингу при моделюванні і прогнозуванні змінливості озоносфери з використанням методу багатовимірної регресії.

Особливості взаємного розташування подібних акваторій, а також сегментів атмосфери, в яких зміни ОСО значимо зв'язані з збігаючись по часу варіаціями їх поверхневих температур вказує на хвильову природу подібної зв'язки.

Благодаря своєму впливу на формування неоднорідностей поля атмосферного тиску, а також умовлених ними планетарних хвиль, просторово-часова змінливість поверхневих температур Тихого океана є важким фактором варіацій розподілу ОСО в багатьох сегментах земної атмосфери.

Благодаря своєму впливу на формування неоднорідностей поля атмосферного тиску, а також умовлених ними планетарних хвиль, просторово-часова змінливість поверхневих температур Тихого океана є важким фактором варіацій розподілу ОСО в багатьох сегментах земної атмосфери.

Література

1. Гуцин Г. П. Суммарний озон в атмосфері / Г. П. Гуцин, Н. Н. Виноградова. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 235 с.
2. Bronnimann J., Luterbacher I., Schmutz C., Wanner H. Variability of total ozone at Arosa, Switzerland since 1931 related to atmospheric circulation indices. *Geophys. Res. Lett.* 2000. Vol.27. N 15. P.2213-2216.
3. Александров Э. Л. Озонный щит Земли и его изменения / Э. Л. Александров, Ю. А. Израэль, И. Л. Кароль, А. Х. Хргиан. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 288 с.

4. Погосян Х. П. Общая циркуляция атмосферы, Л., 1972.
5. Холтон Д. Р. Динамическая метеорология стратосферы и мезосферы. / Д. Р. Холтон. – Л. Гидрометеиздат. – 1986. – 232с.
6. Шулейкин В. В. Физика моря. / В. В. Шулейкин. – М.: Наука, 1968. – 1083с.
7. Andrews D. G. Planetary waves in horizontal vertical shear: The generalized Eliassen-Palm relation and mean zonal acceleration. / D. G. Andrews, M. E. McIntyre // *J. Atmos. Sci.* – 1976. – No33. – P.2031-2048

8. Шакина Н. П. Анализ случаев стратосферных вторжений, сопровождаемых повышением радиоактивности в приземном воздухе/ Н. П. Шакина, И. Н. Кузнецова, А. Р. Иванова// Метеорология и гидрология. – 2000. - №9. – С.53-60.
9. Крупномасштабные динамические процессы в атмосфере. Сборник статей / под редакцией В. П. Дымникова// Москва. – Мир. – 1988. -430с.
10. Жадин Е. А. Планетарные волны и межгодовые аномалии озона в полярных районах./ Е. А. Жадин// Известия РАН Физика атмосферы и океана. - 1990. – №26. – С.1150-1160.
11. Бекорюков В. И. Исследование параметров Азорского антициклона, влияющих на вариации озона в Западной Европе./ В. И. Бекорюков// Известия РАН Физика атмосферы и океана. - 1995. №31. –С.41-45.
12. Нерушев А. Ф. Влияние центров действия атмосферы Азиатско-Тихоокеанского региона на изменчивость ОСО/ А. Ф. Нерушев, Е. К. Крамчанинова. //Метеорология и гидрология. -2001. -№3. –С.5-15.
13. Pyle J. A. Stratospheric transport by stationary planetary waves./ J. A. Pyle, C.F. Rogers // Quart J. Roy. Met. Soc. – 1980. –v106. – P.449.
14. Жадин Е. А. Влияние межгодовых вариаций температуры поверхности океана на циркуляцию атмосферы и озоновый слой. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – Долгопрудный. – МФТИ – 2004. - 41с.
15. Тихий океан. (АН СССР. Институт океанологии). В 13 томах. — М.: Наука, 1966—1974.
16. Хргиан А. Х. Физика стратосферного озона./А. Х. Хргиан//Ленинград. – Гидрометеиздат. -1988. – 292с.
17. Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш.Закс. Пер. с англ. Е.В.Чепурина; под ред. Беляева Ю.К. – М.: Мир, 1985. – 776 с.
18. <http://www.woudc.org>
19. <http://reanalyses.org/ocean>
20. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение / А. В.Скворцов. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. – 128 с.

Надійшла до редколегії 23.09.2013

