

6. Пещера Геологов-II / Ю. А. Зарницын, В. В. Родионов, А. П. Суптель, С. В. Валуйский // Карст Нечерноземья : тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещ. – Пермь, 1980. – С. 134-135.
7. Лобанов Ю. Е. Необычные образования из глины в пещере Сумган-Кутук / Ю. Е. Лобанов, С. И. Голубев // Пещеры / Перм. ун-т. – 1970. – Вып. 8-9. – С. 21-22.
8. Тимофеев Д. А. Терминология карста / Д. А. Тимофеев, В. Н. Дублянский, Т. З. Кикнадзе. – М. : Наука, 1991. – 274 с.
9. Шукин Н. С. Общая геоморфология : т. 1 / Н. С. Шукин. – М., 1960. – С. 552-553.
10. Venezuelan sandstone caves: a new view on their genesis, hydrogeology and speleothems / R. Aubrecht, T. Lánczos, B. Šmida, C. Brewer-Carías, F. Mayoral, J. Schlögl, M. Audy, L. Vlček, L. Kovacik, M. Gregor // *Geologia Croatica*. – Zagreb, 2008. – № 61/2–3. – P. 345-362.
11. Bella P. Sedimentárne štruktúry a geomorfologické formy v jaskyniach vytvorenéna jemných klastických sedimentoch / P. Bella // *Aragonit*. – 2009. – № 14. – P. 1, 3-11.
12. Deal D. E. Mud stalagmites in Jewel Cave, South Dakota / D. E. Deal // *National Speleological Society Bulletin*. – 1966. – V. 28, no. 2. – P. 106-107.
13. Evaluation scientifique et patrimoniale de l'aven Noir – Aveyron // *Speleoscope*. – 2008. – № 28 : Federation Francaice de Speleologie. – P. 7-25.
14. Field M. S. A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology U.S. Environmental Protection Agency Report EPA/600/R-02/003 (Supersedes 1999 edition) / M. S. Field; U.S. Environmental Protection Agency. – Washington DC, 2002. – 194 p.
15. Hill C. A. Cave minerals of the world (2nd ed.) / C. A. Hill, P. Forti; National Speleological Society. – Huntsville, Alabama, 1997. – P. 463.
16. Hill C. A. Cave minerals of the world // C. A. Hill, P. Forti. – Huntsville, 1986. – P. 376.
17. Locatelli R. Gouffre Vincent (Dortan, 01) / R. Locatelli // *Echo des Vulcains*. – 2003. – № 61. – P. 28-31.
18. Malott C. A. Mud stalagmites / C. A. Malott, R. R. Shrock // *American Journal of Science*. – 1933. – 5th series. – V. 25, n. 145. – P. 55-60.
19. Marbash A. Le Puits Francis (Crand Som), Isere / A. Marbash, J.-C. Dobrilla // *Spelunka*. – 1969. – T. 9, № 1. – P. 30-34.
20. Peck S. B. Mud Stalagmites and the Conulite / S. B. Peck // *National Speleological Society Bulletin*. – 1976. – Volume 38, Number 3. – P. 69-70.
21. Stankovic J. Morfologia priestorov jaskyne / J. Stankovic // *Krasnohorska jaskyna Buzgo* / J. Stankovic, V. Cilek; Regionalna rozvojova agentura. – Roznava, 2005. – P. 41-58.
22. Taylor M. R. Caves: Exploring Hidden Realms / M. R. Taylor, C. K. Ronal // *National Geographic*. – 2001. – P. 224.
23. Thayer C. W. Mud Stalagmites and the Conulite / C. W. Thayer // *Bulletin of the National Speleological Society*. – 1967. – Volume 29, Number 3. – P. 91-95.

Холощев А.В., Юсупова Т.С.

УДК 551.510.534:911.2

## СВЯЗИ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ОСО НАД АНТАРКТИКОЙ И ПЛОЩАДИ ТЕПЛОГО ТРОПИЧЕСКОГО БАССЕЙНА ТИХОГО ОКЕАНА ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА

### Введение.

Благодаря присутствию в спектре поглощения озона полос Хартли-Хиггинса, пространственно-временная изменчивость его общего содержания (ОСО) в земной атмосфере является значимым фактором динамики распределения по земной поверхности потоков биологически активной ультрафиолетовой радиации [1]. Поэтому развитие представлений о влиянии на нее различных природных факторов является актуальной проблемой физической географии и экологии.

Наибольший интерес ее решение представляет для Антарктики, где амплитуда сезонных изменений ОСО наиболее велика. Летом и осенью их значения здесь приближаются к уровням, характерным для умеренного климатического пояса, а весной ежегодно образуется озоновая дыра [2].

Это явление было впервые обнаружено в сентябре-ноябре 1957 г. Добсоном, измерившим ОСО в атмосфере над антарктической станцией Halley-Bay (Великобритания) с координатами (75°S, 26°W). В том же году на станции Дюмон-Дюрвиль (66,7°S, 140°E) было зафиксировано рекордно низкое значения ОСО в атмосфере, составившее 18.10.1957 г. ОСО составило 120 единиц Добсона.

В последующем размеры озоновой дыры ежегодно возрастали. С 1974 г. она начала регистрироваться также на антарктических станциях Мирный (66,6°S, 93°E), Новолазаревская (70,8°S, 11,8°E) и Восток (78,5°S, 106,9°E) [3], а ныне данное явление наблюдается практически во всех регионах Антарктики, лежащих за южным полярным кругом. Установлено также, что межгодовым изменениям среднемесячных значений ОСО озоновой дыре в конце XX века был свойственен убывающий тренд [4].

Исследования закономерностей изменчивости распределения ОСО над Антарктикой вышли на качественно новый уровень после начала функционирования спутниковой системы ее глобального мониторинга, позволившей получать оперативную информацию о значениях этой характеристики для любыми, в том числе наиболее труднодоступными ее районами. Ныне подобная информация за период с января 1979 года представлена в свободном доступе на Интернет-сайте Всемирного центра мониторинга

**СВЯЗИ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ОСО НАД АНТАРКТИКОЙ И ПЛОЩАДИ ТЕПЛОГО ТРОПИЧЕСКОГО БАССЕЙНА ТИХОГО ОКЕАНА ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА**

ультрафиолетовой радиации и озона [5]. Дистанционные измерения ОСО, используемые для ее получения, осуществляются с помощью спектрофотометра TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), действующего на ИСЗ Nimbus-7 (1978-1993 г.г.), Метеор-3 (1991-1994 г.г.), Earth Probe (1996-2004 г.г.), а также усовершенствованного прибора OMI, функционирующего с 2005 г. на ИСЗ Aqua. Упомянутые приборы производят ежесуточные измерения ОСО над всеми участками земной поверхности с точностью около 5 ед.Д. (единиц Добсона) и обладают разрешающей способностью  $1^\circ \times 1^\circ$ .

Установлено, что межгодовые изменения характеристик озоновой дыры связаны с изменениями параметров возникающего ежегодно, в период ее существования циркумполярного антициклонического вихря в стратосфере, блокирующего поступление в нее потоков водяного пара и других веществ, участвующих в разрушении озона. Упомянутые потоки образуются на поверхности Мирового океана и поднимаются в стратосферу над его акваториями, расположенными вблизи параллели  $65^\circ\text{S}$ , где находятся Южно-Тихоокеанский и Южно-Атлантический барические минимумы. Поэтому их характеристики во многом зависят от поверхностных температур (далее SST) соответствующих акваторий, влияющих также на потоки тепла, поступающие в соответствующие сегменты стратосферы и определяющие наблюдаемые в них значения атмосферного давления [6]. Интенсивность циркумполярного антициклонического вихря определяется разностью атмосферных давлений в них, а также приполярном сегменте стратосферы. Вследствие этого значимым фактором изменчивости распределения ОСО над Антарктикой в весенние месяцы являются изменения SST подобных акваторий, а также потока водяного пара, поступающего в атмосферу с поверхностей океанических акваторий Южного полушария.

Главным источником водяного пара, поступающего в атмосферу над Южным полушарием, является теплый бассейн Тихого океана (далее ТТБ), содержащий воды, температуры которых превышают  $+28.5^\circ\text{C}$ . ТТБ расположен в западном секторе тропической зоны Тихого океана, а его условной границей принято считать изотерму  $\text{SST} = +28.5^\circ\text{C}$ . Часть ТТБ, расположенная в Восточном полушарии ограничена островами и шельфом Евразии (вследствие чего ее площадь практически постоянна), в то время как его часть находящаяся в Западном полушарии ограничена лишь упомянутой изотермой. Площадь последней в годы, когда происходят Эль Ниньо, существенно увеличиваются.

Упомянутая область Тихого океана принимает воды, приносимые его Южно-Пассатным и Северо-Пассатным течениями, следующими вдоль экватора и аккумулирующими тепло, образующееся при поглощении всей поверхностью его приэкваториальной зоны суммарной солнечной радиации, а также обратного теплового излучения атмосферы. Чем выше температуры вод, доставляемых этими течениями, тем больше площадь ТТБ, занимаемая им в западном полушарии, среднемесячное значение аномалии которой, выраженное в миллионах  $\text{км}^2$ , рассматривается как глобальный климатический индекс WHWP [7].

Вследствие этого допустимым является предположение, согласно которому увеличение содержания в атмосфере парниковых газов должно было вызвать соответствующие изменения площади ТТБ, а также формирующегося на ней потока водяного пара, что могло оказать определенное влияние на изменения характеристик антарктической озоновой дыры. Установление адекватности данного предположения позволило бы рассматривать изменения WHWP, как один из факторов изменчивости ОСО над Антарктикой и учитывать его при прогнозировании этого процесса. Поэтому его проверка и выявление условий, при которых связи между изменениями ОСО над Антарктикой, а также WHWP в будущем окажутся значимыми представляет существенный теоретический и практический интерес.

Систематический мониторинг изменчивости индекса WHWP осуществляется с 1948 г. [8], тем не менее, адекватность подобного предположения ранее не оценивалась, а упомянутые условия не выявлены.

Следует отметить, что возможность прогнозирования изменений в будущем значимости того или иного фактора любого реального природного процесса далеко не очевидна. В тоже время представляется разрешимой задача выявления в предыстории изучаемого процесса и его факторов особенностей, позволяющих допускать тот или иной прогноз значимости связей между ними в будущем. В частности, признаком, позволяющим предполагать, что в будущем некоторая их связь усилится, может являться устойчивое усиление этой связи в прошлом, а также достижение ею уровня значимости в настоящем.

Учитывая изложенное, объектом данного исследования выбраны изменения распределения среднемесячных значений ОСО над Антарктикой, а также площади ТТБ в западном полушарии. Предметом исследования являлись изменения статистических связей между указанными процессами, происходившие за период современного потепления климата. Целью работы являлось выявление их связей, которые на протяжении периода современного потепления климата усиливались устойчиво и ныне являются значимыми.

**Методика исследований и фактический материал.**

Для достижения данной цели решены следующие задачи,

1. Оценка значений временных сдвигов между изменениями среднемесячных значений ОСО над различными районами Антарктики в те или иные месяцы, а также ГКИ WHWP, при которых статистические связи между ними в нынешней фазе периода современного потепления климата являются статистически значимыми.

2. Выявление среди факторов изменчивости ОСО над некоторым районом Антарктики, которые в современный период являются значимыми, тех, значимость которых за период современного потепления климата устойчиво возрастала.

При этом как характеристика статистической связи изучаемых процессов на некотором отрезке времени рассматривался коэффициент корреляции соответствующих фрагментов их временных рядов, соответствующих интервалам времени продолжительностью 22 года. Их связь признавалась значимой, если достоверность подобного статистического вывода, оцененная по критерию Стьюдента [9], составляет не менее 0.95.

При решении обеих задач осуществлен корреляционный анализ связей между всеми 22-х летними фрагментами временных рядов, отображающих изменения ОСО в различных сегментах озоносферы над Антарктикой, имеющих размеры  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ , в период с 1979 г. по 2010 г., а также изменения WHWP, опережающие их по времени на 0 – 79 месяцев.

При выборе расположения сегментов атмосферы над Антарктикой, для которых изучение изменений ОСО могло бы представлять наибольший интерес, рассчитаны меридиональные сечения функций их пространственной корреляции. Установлено, что значение интервала пространственной корреляции по широте изменчивости ОСО в любые месяцы и для любых значений долготы не превышает 10 градусов. Поэтому было признано целесообразным данные исследования проводить для циркумполярных сегментов атмосферы, центры которых расположены на параллелях  $64.5^{\circ}S$ ,  $69.5^{\circ}S$ ,  $74.5^{\circ}S$ ,  $79.5^{\circ}S$ ,  $84.5^{\circ}S$  и  $89.5^{\circ}S$ .

Для каждого такого сегмента рассчитаны функции взаимной корреляции изменений среднемесячных ОСО в том или ином месяце, для всех отрезков времени, сдвинутых по времени на 1 год, начиная от 1979-2000 гг. и 1989-2010 гг., а также соответствующих изменений индекса WHWP. По этим функциям определены значения сдвигов между рассматриваемыми процессами, при которых связи между ними на отрезке времени с 1989-2010 гг. являются статистически значимыми.

При оценке значимости тех или иных статистических связей между изучаемыми процессами применялся критерий Стьюдента. Пороговые значения коэффициента их взаимной корреляции, соответствующие достоверности вывода о значимости связи между ними, равной 0.95, определены с учетом числа степеней их свободы [10] и составляют 0.42.

При решении второй задачи рассматривались зависимости от года начала фрагментов ряда ОСО коэффициентов их корреляции с опережающими их по времени фрагментами ряда WHWP. Связь между ними признавалась усиливающейся устойчиво, если функция описывающая подобную зависимость являлась монотонной.

В качестве фактического материала использовались:

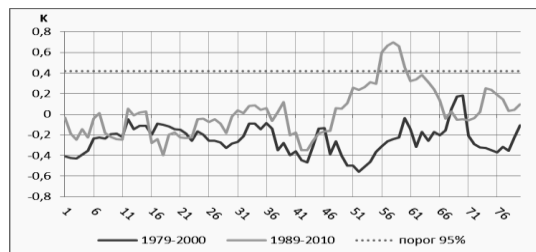
- полученные из [5] временные ряды среднемесячных значений ОСО, во всех рассматриваемых сегментах атмосферы над Антарктикой, для всех месяцев, за период с января 1979 по декабрь 2010 г.;
- представленные в [8] временные ряды WHWP за все месяцы, соответствующие периоду с января 1972 по декабрь 2010 гг..

#### Результаты и их анализ.

В соответствии с изложенной методикой рассчитаны взаимнокорреляционные функции всех рассматриваемых 22-х летних фрагментов временных рядов среднемесячных ОСО в различные месяцы, в каждом изучаемом сегменте атмосферы над Антарктикой, а также фрагментов рядов WHWP, опережающих их на 0-79 месяцев.

Их сопоставление показало, что наиболее существенное и устойчивое усиление статистических связей между рассматриваемыми процессами произошло в весенние месяцы (с сентября по ноябрь).

В качестве примера, на рисунке 1 приведены взаимнокорреляционные функции изменений ОСО в октябре, в сегменте атмосферы над Южным полюсом, а также WHWP рассчитанные для отрезков времени 1979-2000 и 1989-2010 гг.,



**Рис. 1.** Взаимнокорреляционные функции изменений WHWP и запаздывающих по отношению к ним среднемесячных ОСО над Южным полюсом, в октябре, рассчитанные для отрезков времени 1979-2000 гг. (ряд 1) и 1989-2010 гг. (ряд 2). Ряд 3 – 95% порог достоверной корреляции по критерию Стьюдента.

Из рисунка 1 видно, что значения коэффициентов корреляции рассматриваемых процессов, рассчитанные для отрезка времени 1989-2010 гг., практически при любых значениях сдвигов больше, чем оцененные для периода с 1979 по 2000 г..

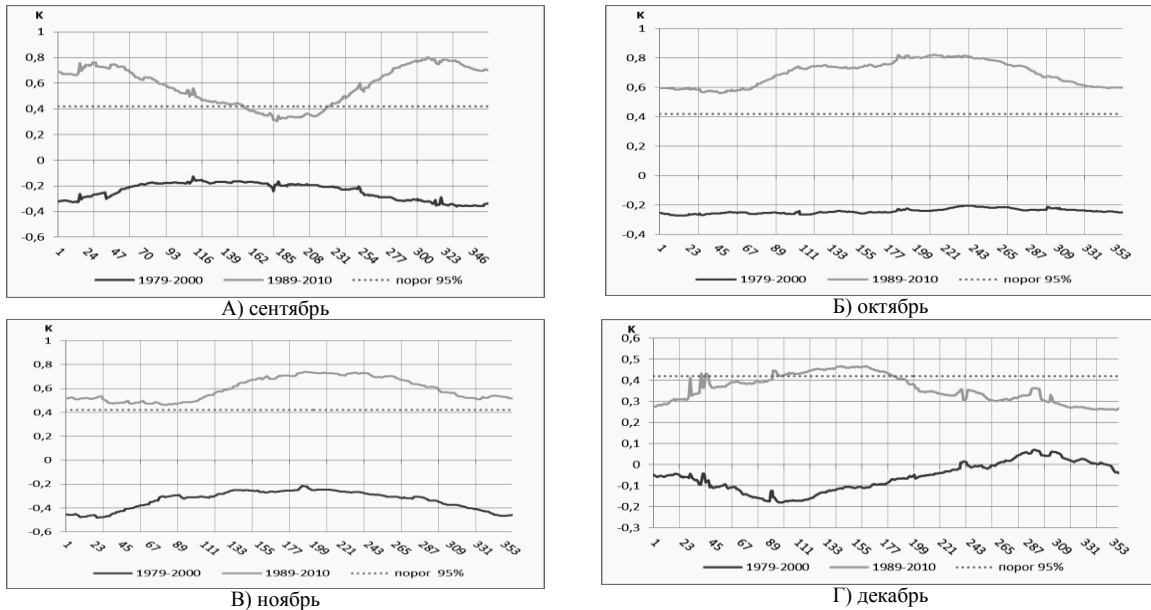
Максимальны их значения при сдвиге 57 месяцев, а вывод о значимости статистической связи между рассматриваемыми процессами характеризуется достоверностью, ощутимо превышающей 0.99 (соответствующее значение порога по критерию Стьюдента составляет 0.53).

В сентябре наиболее существенное увеличение их значений имеет место при условии, что фрагмент ряда WHWP опережает фрагмент ряда ОСО на 55 месяцев, в ноябре – на 56 месяцев, а в декабре – 58 месяцев.

**СВЯЗИ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ОСО НАД АНТАРКТИКОЙ И ПЛОЩАДИ ТЕПЛОГО ТРОПИЧЕСКОГО БАССЕЙНА ТИХОГО ОКЕАНА ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА**

В прочие месяцы значимых статистических связей между какими либо 22-х летними фрагментами временных рядов ОСО и WHWP не выявлено.

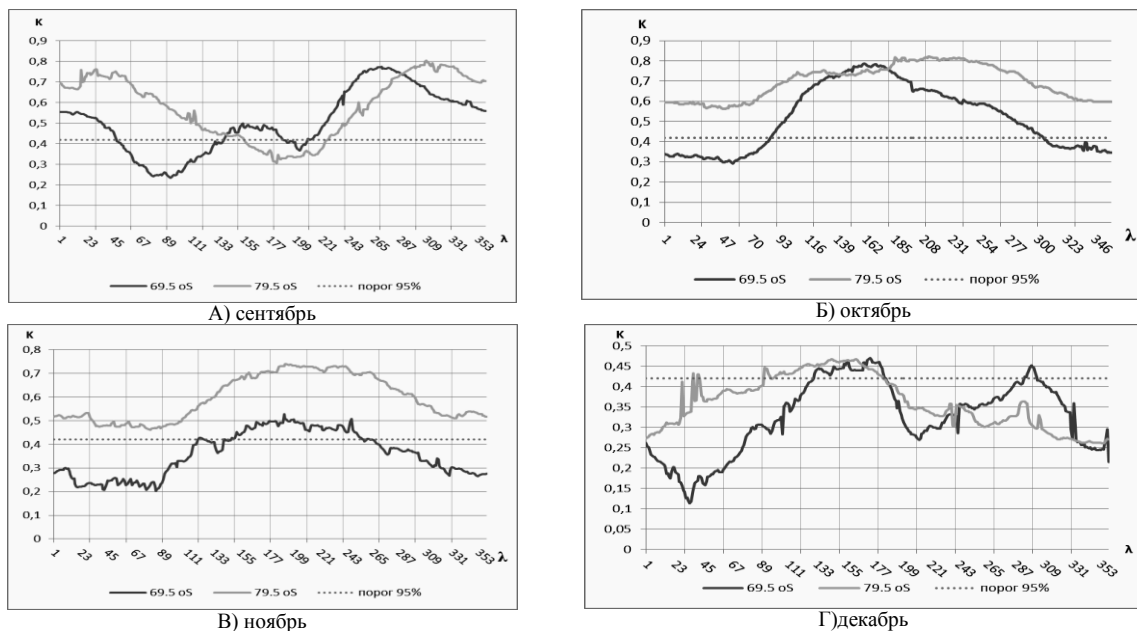
На рисунке 2 приведены зависимости коэффициента корреляции изменений ОСО в сентябре, октябре и ноябре, в сегментах атмосферы над параллелью 79.5 °S, а также WHWP, опережающие их на 56 месяцев, рассчитанные для отрезков времени 1979-2000 и 1989-2010 гг.,.



**Рис. 2.** Зависимости коэффициента корреляции изменений ОСО в сентябре (А), октябре (Б), ноябре (В) и декабре (Г), в сегментах атмосферы над параллелью 79.5 °S Южным полюсом, а также WHWP, опережающие их на 56 месяцев, рассчитанные для отрезков времени 1979-2000 и 1989-2010 гг.,.

Из рисунка 2 легко заметить, что в сентябре за период с 1979 по 2010 г. наиболее существенное усиление корреляции между изменениями WHWP происходило с изменениями ОСО в сегментах атмосферы над Тихоокеанским сектором Антарктики, а в октябре и ноябре – над ее Атлантическим и Индийским секторами. Декабрь, в котором имеет место усиление корреляции между изменениями аномалии площади ТТБ в западном полушарии, а также ОСО над Атлантическим сектором Антарктики, является последним месяцем в котором проявляется данное явление.

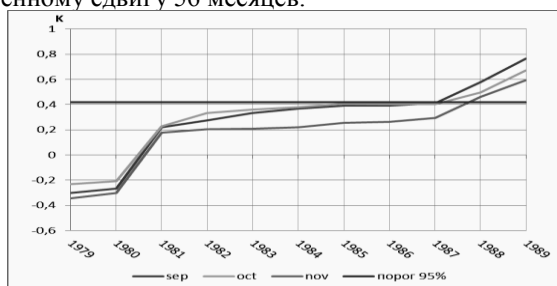
На рисунке 3 приведены зависимости от долготы и широты сегмента атмосферы над Антарктикой коэффициента корреляции изменений соответствующего ему среднего значения ОСО в сентябре, октябре и ноябре, за период с 1989 по 2010 г., а также WHWP.



**Рис. 3.** Зависимости от долготы сегмента атмосферы над Антарктикой коэффициента корреляции изменений соответствующего ему среднего значения ОСО в сентябре (А), октябре (Б), ноябре (В) и (Г) декабре за период с 1989 по 2010 г., а также WHWP. Широта сегмента 69.5 °S (ряд 1), 79.5 °S (ряд 2).

Из рисунка 3 следует, что распределение над Антарктикой значений коэффициентов корреляции изменений ОСО в сегментах атмосферы, расположенных по параллелям 69.5 °S и 79.5 °S, а также WHWP весьма неоднородно и характеризуется существенной их зависимостью от долготы. В сентябре и декабре зависимости от долготы коэффициентов корреляции рассматриваемых процессов соответствующих сегментам, расположенным на параллелях 69.5 °S, 79.5 °S существенно различаются. В октябре и ноябре они практически подобны. Данный результат соответствует предположению о значимости влияния на изменчивость ОСО над Антарктикой изменений площади ТТБ.

При решении второй задачи, для всех значений сдвигов между изучаемыми процессами, при которых на отрезке 1989-2010 г. установлена их значимость, исследованы зависимости от года начала 22-х летних фрагментов временных рядов ОСО над различными пунктами Антарктиды коэффициентов их корреляции с фрагментами рядов WHWP, опережающих их на 55-57 месяцев. В качестве примера, на рисунке 3 упомянутые зависимости, соответствующие сегменту атмосферы над пунктом Антарктиды с координатами 79.5 °S и 120 °E, а также временному сдвигу 56 месяцев.



**Рис. 4.** Зависимость от года начала 22-х летних фрагментов временных рядов ОСО над пунктом Антарктиды с координатами 79.5 °S и 120 °E, в сентябре (ряд 1) октябре (ряд 2) и ноябре (ряд 3), коэффициентов их корреляции с фрагментами рядов WHWP, опережающих их на 56 месяцев.

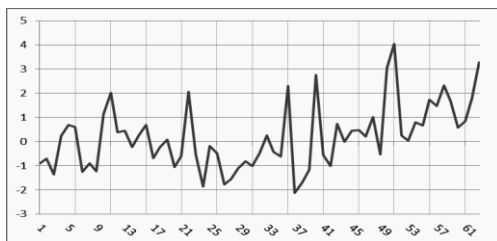
Из рисунка 4 следует, что представленные на нем зависимости описываются монотонно возрастающими функциями и потому справедливым является вывод о том, что за период современного потепления климата связи между изменениями ОСО в весенние месяцы над данным пунктом, а также WHWP усиливались устойчиво.

Установлено, что устойчивое усиление связей между изменениями WHWP, а также запаздывающими по отношению к ним изменениями ОСО в любых сегментах атмосферы над Антарктикой произошло в сентябре, при сдвигах между ними 54-56 месяцев, в октябре -55-59 месяцев, а в ноябре и декабре - 56-59 месяцев.

Полученные результаты соответствуют представлениям о влиянии стратосферных составляющих атмосферной циркуляции над Антарктикой на пространственно-временную изменчивость ОСО. Причиной высокой положительной корреляции свойственной рассматриваемым процессам в современный период является непосредственная связь между усилением парникового эффекта, потвышением SST ТТБ, увеличением интенсивности испарения с его поверхности водяного пара, а также снижениями атмосферного давления в стратосфере Южно-Тихоокеанском и Южно-Атлантическом минимумах.

Как уже отмечалось выше, последнее в весенние месяцы приводит к активизации циркумполярного антициклонического вихря, блокирующего поступление в Антарктический сегмент стратосферы водяного пара и веществ, участвующих в разрушении озона, тем самым препятствуя уменьшению ОСО.

Из изложенного следует, что будущее озоновой дыры во многом определяется дальнейшими изменениями площади ТТБ. Как следует из [], за период современного потепления климата рост среднемесячных значений WHWP в той или иной мере отмечался в любые месяцы (в декабре – марте в меньшей, а апреле – ноябре в большей). Это привело к устойчивому росту среднегодовых значений данной характеристики, в чем нетрудно убедиться, рассмотрев соответствующую зависимость, представленную на рисунке 5.



**Рис. 5.** Зависимость от времени среднегодовых значений WHWP (млн. км<sup>2</sup>) за период с 1948 по 2010 гг.

Как видим из рисунка 5, изменения среднегодовых значений WHWP представляют собой сложную полигармоническую осцилляцию, в спектре которой вероятно присутствие мощной составляющей, относящейся к интервалу изменений климата. Возрастающая фаза этой составляющей проявилась с 1974

**СВЯЗИ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ОСО НАД АНТАРКТИКОЙ И ПЛОЩАДИ ТЕПЛОГО ТРОПИЧЕСКОГО БАССЕЙНА ТИХОГО ОКЕАНА ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА**

года, а с 1998 г. отрицательных значений данной характеристики ни разу не регистрировалось. Подобные изменения среднегодовых значений площади части ТТБ, расположенной в Западном полушарии, позволяют предполагать, что среднемесячные значения ОСО над Антарктикой в период с сентября по декабрь в будущем будут увеличиваться.

**Выводы.**

1) Статистические связи межгодовых изменений ОСО над Антарктикой в сентябре-декабре, а также опережающих их по времени на 55-58 месяцев изменений аномалий площади ТТБ в западном полушарии (ГКИ WHWP), за период с 1979 г. по 2010 г. ощутимо усилились и ныне при выявленных значениях временных сдвигов между ними являются значимыми.

2) Устойчивость усиления упомянутых связей позволяет предполагать, что при дальнейшем потеплении климата тот же характер их изменения сохранится, что свидетельствует о целесообразности их учета при моделировании и прогнозировании.

3) Учитывая тенденции изменения среднегодовых значений WHWP, представляется вероятным, что в ближайшие годы среднемесячные значения ОСО в антарктической озоновой дыре будут увеличиваться.

**Источники и литература:**

1. 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.
2. Капица А. П. Подтверждение гипотезы о естественном происхождении Антарктической озоновой дыры / А. П. Капица, А. А. Гаврилов // ДАН. – 1999. – 366, № 4. – С. 543-546.
3. Радионов В. Ф. Анализ характеристик радиационного режима и общего содержания озона на российских антарктических станциях / В. Ф. Радионов, Е. Е. Сабир, А. А. Мишин // Исследования и охрана окружающей среды Антарктики : тезисы докл. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, 13-15 ноября 2002 г.). – 2002. – С. 89-91.
4. О вкладе гетерофазных процессов в формирование весенней озоновой аномалии в Антарктиде / А. М. Звягинцев, В. В. Зуев, Г. М. Крученицкий, Т. В. Скоробогатый // Исследование Земли из космоса. – 2002. – № 3. – С. 1-6.
5. World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre (WOUDC) : [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.woudc.org>
6. Груздев А. Н. Пространственно-временная динамика атмосферного озона и связанных с ним газовых примесей : автореф. дис. ... д-ра ф.-м. наук / А. Н. Груздев. – М., 2007. – 48 с.
7. Wang C. The tropical Western Hemisphere warm pool / C. Wang, D. B. Enfield // Geophys. Res. Lett. – 2001. – № 28. – P. 1635-1638.
8. Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time Series : [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list>
9. Кендал М. Дж. Многомерный статистический анализ и временные ряды / М. Дж. Кендал, А. Стьюарт; пер. с англ.: Э. Л. Пресмана, В. И. Ротаря; под ред.: А. Н. Колмогорова, Ю. В. Прохорова. – М. : Наука, 1976. – 736 с.
10. Айвазян С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – М. : Юнити, 1998. – 1022 с.