

УДК911

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

Первый украинский морской институт

ул. Рыбаков, 5, г. Севастополь 99000

khoptsev@mail.ru

МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЙ АРКТИЧЕСКОГО И СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЙ КАК ФАКТОРЫ ВАРИАЦИЙ ОСО В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

Изучены статистические связи совпадающих по времени межгодовых изменений состояний Арктического и Североатлантического колебаний и вариаций среднемесячных значений ОСО в земной атмосфере. Установлено, что эти связи являются наиболее значимыми зимой и в начале весны, в обширных сегментах атмосферы, которые расположены над внетропическими струйными течениями тропосферы и под струйными течениями стратосферы, где наличие вертикальных сдвигов скорости создает условия, благоприятные для развития турбулентности. Выявленные закономерности позволяют предполагать, что связи между данными процессами в период с декабря по март носят причинный характер.

Ключевые слова: Арктическое колебание, Североатлантическое колебание, циклоны, стратосфера, тропосфера, струйное течение, стратификация

Холопец О. В., Больших О. В. МІЖРІЧНІ ЗМІНИ СТАНІВ АРКТИЧНОГО ТА ПІВНІЧНО-АТЛАНТИЧНОГО КОЛИВАНЬ ЯК ЧИННИКИ ВАРІАЦІЙ ЗВО У ЗЕМНІЙ АТМОСФЕРІ

Вивчено статистичні зв'язки міжрічних змін станів Арктичного та Північноатлантичного коливань та варіацій середньомісячних значень ЗВО у земній атмосфері, які співпадають за часом. Визначено, що ці зв'язки є найбільш суттєвими взимку на початку весни у величезних сегментах атмосфери, котрі розташовано понад позатропічною струменевою течією, та під струменевою течією стратосфери, де наявність вертикальних зсувів їх швидкості створює сприятливі умови для розвитку турбулентності. Закономірності, що встановлено, дозволяють припускати, що зв'язки між зазначеними процесами у період з грудня по березень мають причинний характер.

Ключові слова: Арктичне коливання, Північноатлантичне коливання, циклони, стратосфера, тропосфера, струменева течія, стратифікація.

Khoptsev A. V., Bolshikh A. V. INTERANNUAL CHANGES IN THE STATE OF THE ARCTIC AND NORTH ATLANTIC OSCILLATIONS AS FACTORS VARIATIONS OF THE TOTAL OZONE IN THE EARTH'S ATMOSPHERE

Studied statistical communication of interannual changes of conditions of the Arctic and the North Atlantic oscillation, as well as variations of mean monthly total ozone values in the earth's atmosphere, which coincide in time. It is established that these links are most significant in winter and in early spring, the vast segments of the atmosphere, situated over the внетропическими jet currents in the troposphere and under the jet currents in the stratosphere, where the presence of vertical shifts speed creates conditions favourable for the development of turbulence. The revealed regularities suggest that the link between these processes in the period from December to March are causal character.

Keywords: Arctic oscillation, North Atlantic oscillation, cyclones, stratosphere, troposphere, jet stream, stratification.

Введение

Озонсфера нашей планеты поглощает опасные для всего живого ультрафиолетовые составляющие солнечной радиации, которые, к тому же, поступая в приземный слой атмосферы, участвуют в образовании в нем озона – весьма токсичного вещества 1-го класса опасности, влияющего на развитие многих ландшафтов нашей планеты.

Поэтому выявление причин изменений ее состояния является актуальной проблемой физической географии, геофизики и геохимии ландшафтов, а также экологии.

Озон впервые получил в лаборатории М. Ван-Марум в 1785 году, первым описал его как вещество Х. Шенбейн в 1840 году, а начал вести наблюдения за изменениями его содержания в атмосфере над пунктом Ароза в 1926 году Добсон (младший) [1].

Тем не менее, интерес к изучению закономерностей, обуславливающих пространственно-временную изменчивость озона, возник лишь в 50-х годах XX века, после того, как были выявлены его уникальные экологические особенности [2]. Именно поэтому для осуществления систематического мониторинга этого процесса в 60-х годах XX века во многих странах мира было создано более 400 озонметрических станций. В том числе подобные станции, входившие ранее в озонметрическую сеть СССР, начали функционировать и на территории Украины (В Киеве, Одессе, Львове, Богуславе, Феодосии и Борисполе) [3].

Глобальный мониторинг озоносферы над всеми участками земной поверхности, которые расположены вне области полярной ночи, с января 1979 года осуществляется с помощью специализированных искусственных спутников Земли. Это позволяет получить информацию о значении среднего значения ОСО для каждого месяца, относящегося к указанному периоду, и каждого сегмента атмосферы размерами $1^\circ \times 1^\circ$, расположенного вне области полярной ночи [4].

Выявлению закономерностей, обуславливающих пространственно-временную изменчивость концентраций озона в земной атмосфере, посвящены работы многих зарубежных [5-7], а также отечественных авторов [3, 8, 9].

В них установлено, что около 90% озона содержится в стратосфере, где слой максимальной концентрации в воздухе этого вещества располагается над тропиками на высоте 23-30 км, а над приполярными районами -18-25 км.

Главной причиной изменения общего содержания данного вещества (ОСО) в атмосфере над тем или иным участком земной поверхности являются вариации поступающих в указанный слой потоков веществ, участвующих в его разрушении. В приполярных районах, в период полярной ночи и весной, главным разрушителем озона являются атомарный хлор, имеющий в основном антропогенное происхождение. Существенным является также участие в этом процессе брома и йода. В прочих сегментах атмосферы наиболее активно разрушают стратосферный озон оксиды азота [7].

Все указанные реагенты разрушают озон в соответствующих каталитических циклах, и образуются либо при окислении атомарным кислородом закиси азота, либо при фотолизе галогенсодержащих соединений. Перечисленные исходные вещества образуются в приземном слое тропосферы и к ее верхней границе доставляются восходящими воздушными потоками [10].

Принято считать, что из тропосферы в стратосферу упомянутые вещества поступают в основном через разрывы тропопаузы, располагающиеся над субтропическими струйными течениями, а также в зимние месяцы и в начале весны через приполярные сегменты атмосферы, обладающие в этот период пониженной устойчивостью своей стратификации. Существенную роль в их трансфере из тропосферы в стратосферу играют также гравитационные и планетарные волны, распространяющиеся в устойчиво-стратифицированных слоях атмосферы. Наиболее значительна амплитуда, а также энергия этих волн в приполярных сегментах стратосферы в зимние месяцы [5, 11].

Важную роль в образовании разрывов тропопаузы, а также генерации этих волн играют струйные течения (внетропические и субтропические), которые взаимодействуют с орографическими и барическими неоднородностями. К тому же с этими течениями связаны значительные вертикальные сдвиги скорости, создающие благоприятные условия для возникновения турбулентности [5].

Одним из основных процессов, порождающих восходящие воздушные потоки в тропосфере, являются циклоны, локализуемые в своих центральных областях. Траектории некоторых из них в зимние месяцы, а также в начале весны проходят через Субполярные зоны, что позволяет им доставлять вещества, участвующие в разрушении озона, к полярным сегментам стратосферы, которые обладают в это время года повышенной проницаемостью [9].

Траектории подобных циклонов располагаются, как правило, субзонально. В разные годы расположения преобладающих траекторий различаются [12], что может оказывать влияние на потоки веществ, ко-

торые через полярные сегменты тропопаузы проникают в стратосферу.

В годы, когда зимой траектории этих вихрей смещены к соответствующим полюсам, потоки веществ, поступающих от земной поверхности к приполярным сегментам стратосферы и участвующих в разрушении стратосферного озона, увеличиваются. Это, наряду с увеличением амплитуды волн, распространяющихся в устойчиво-стратифицированных слоях приполярного сегмента атмосферы, а также ослаблением плотностной стратификации его воздуха, приводит к возрастанию их потоков, проникших в стратосферу и участвующих в разрушении содержащегося в ней озона.

В годы, когда зимой траектории полярных циклонов смещены к экватору, потоки рассматриваемых веществ, поступающих к тропопаузе под приполярным сегментом стратосферы, уменьшаются. Это, несмотря на значительные амплитуды гравитационных и планетарных волн, а также ослабление плотностной стратификации данного сегмента, приводит к уменьшению их потоков, проникающих в стратосферу [5].

При любом расположении траекторий полярных циклонов ослаблению плотностной стратификации приполярного сегмента стратосферы в зимние месяцы способствует также увеличение содержания в тропосфере парниковых газов, которое приводит к уменьшению поступающего в него снизу потока тепловой радиации [13].

Факторами, управляющими меридиональными смещениями траекторий любых внетропических циклонов, проходящих над северным полушарием, являются Арктическое и Североатлантическое колебания.

Арктическое колебание – это осциллирующие изменения разности атмосферного давления над северным полюсом, а также над умеренным климатическим поясом нашей планеты [14, 15]. Его состояние характеризуется соответствующим глобальным климатическим индексом [16]. Подобное колебание является сложным, а в его спектре присутствуют составляющие с периодами от нескольких недель до десятилетий.

При отрицательных значениях индекса Арктического колебания атмосферное давление над приполярными регионами вы-

сокое, а над умеренными широтами – низкое. В этой фазе возникает смещение полярных циклонов в сторону экватора. В положительной фазе происходят противоположные явления.

Североатлантическое колебание – крупномасштабный процесс взаимодействия северной Атлантики и атмосферы над северным полушарием, приводящий к изменению разности атмосферных давлений в Азорском максимуме и в Исландском минимуме [17]. Этот процесс также влияет на траектории движения атлантических циклонов. Его состояние определяется значением индекса Северо-Атлантического колебания [18]. Чем больше значение данного индекса, тем значительней меридиональное смещение к северу траекторий внетропических циклонов над Европой.

Как известно, процессом, способным вызывать наиболее интенсивную как вертикальную, так и горизонтальную миграцию веществ в устойчиво стратифицированных средах, является возникновение в них локальных областей турбулентности. Подобные области возникают там, где в достаточной мере снижается значение числа Ричардсона. Последнее может иметь место при сложении вертикального сдвига скорости течения, а также орбитальной скорости движения частиц в распространяющейся волне [10, 19].

Это позволяет предположить, что существенной причиной участия волн, распространяющихся в стратосфере, в трансфере в нее веществ из тропосферы является их обрушение («ломка»), которое приводит к возникновению в этой устойчиво стратифицированной среде локальных областей турбулентности, где интенсивно перемешивается воздух.

Как известно, турбулентные вихри способны быстро перемещать воздух в пределах возникшей перемешанной области [10]. Поэтому существование значимых статистических связей межгодовых изменений среднемесячных значений общего содержания озона (ОСО) с совпадающими по времени вариациями индексов Арктического и Североатлантического колебаний могло бы явиться подтверждением адекватности выдвинутого предположения.

Мониторинг изменений индексов Арктического и Североатлантического колебаний осуществляется в период с января 1950 года [16, 18]. Тем не менее, ранее статистические связи вариаций данных индексов и ОСО в земной атмосфере не исследовались. Последнее не позволяет их учитывать при моделировании изменчивости состояния озоносферы, эффективность которого ныне не всегда удовлетворяет потребностям практики. Поэтому осуществление подобных исследований и проверка выдвинутой гипотезы представляют существенный теоретический и практический интерес.

Учитывая выше изложенное, объек

Методика и фактический материал

Для достижения указанной цели изучались условия, при которых статистическая связь межгодовых изменений ОСО в том или ином сегменте земной атмосферы, где нет полярной ночи, а также совпадающих с ними по времени значений индекса Арктического и Североатлантического колебаний является значимой.

При этом в качестве фактического материала использовались временные ряды значений ОСО во всех возможных сегментах земной атмосферы, имеющих размеры $1^\circ \times 1^\circ$, за каждый месяц и за период с января 1979г. по декабрь 2010 г., полученные из [4].

Также изучались временные ряды среднемесячных значений индексов Арктического и Североатлантического колебаний, полученные соответственно из [16, 18].

Построенные по этим рядам зависимости среднегодовых значений данных индексов от времени представлены на рисунке 1. Из анализа зависимостей (рис. 1А) видно, что на протяжении последнего десятилетия XX века явно преобладали положительные значения индекса Арктического колебания. При этом движение внетропических циклонов Северного полушария происходило по траекториям, сильнее отклоняющимся к северу, что приводило к более интенсивному выносу в верхние слои тропосферы над Арктикой веществ из нижних ее слоев. В первом десятилетии XXI века положительные и отрицательные фазы рассматриваемого процесса практически равновероятны, что свидетельствует об уменьшении меридиональных смещений

том данного исследования являлась пространственно – временная изменчивость ОСО в земной атмосфере, а также вариации индексов Арктического и Североатлантического колебаний.

Предметом исследования являлось влияние межгодовых изменений состояния Арктического и Североатлантического колебаний на совпадающие по времени вариации ОСО в земной атмосфере.

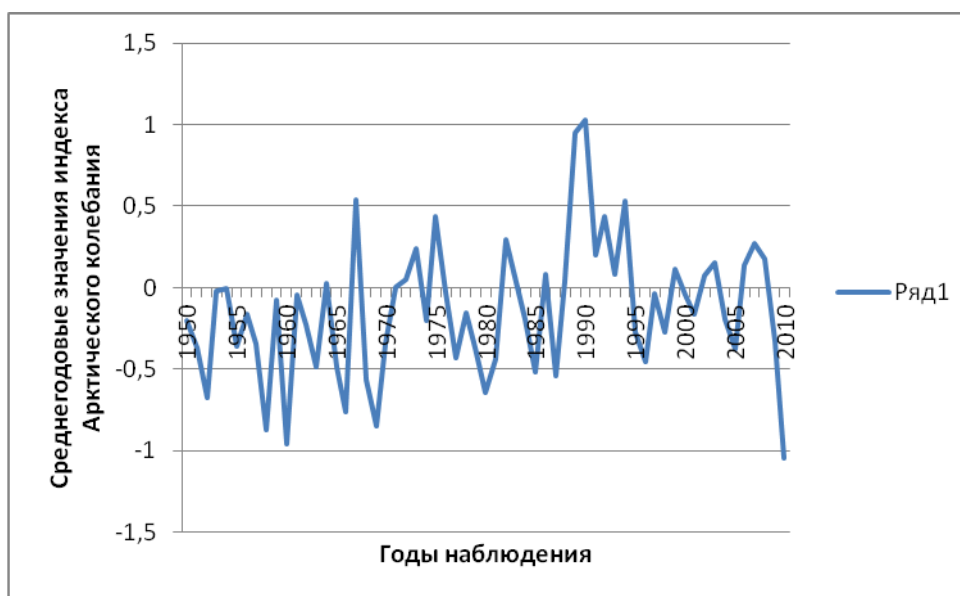
Целью работы являлась проверка адекватности выдвинутого предположения, а также изучение возможностей моделирования вариаций ОСО в земной атмосфере с учетом влияния указанных факторов.

к северу внетропических циклонов северного полушария, а также снижении потока веществ, участвующих в разрушении озона, который доставляется ими зимой к нижней границе приполярного сегмента стратосферы.

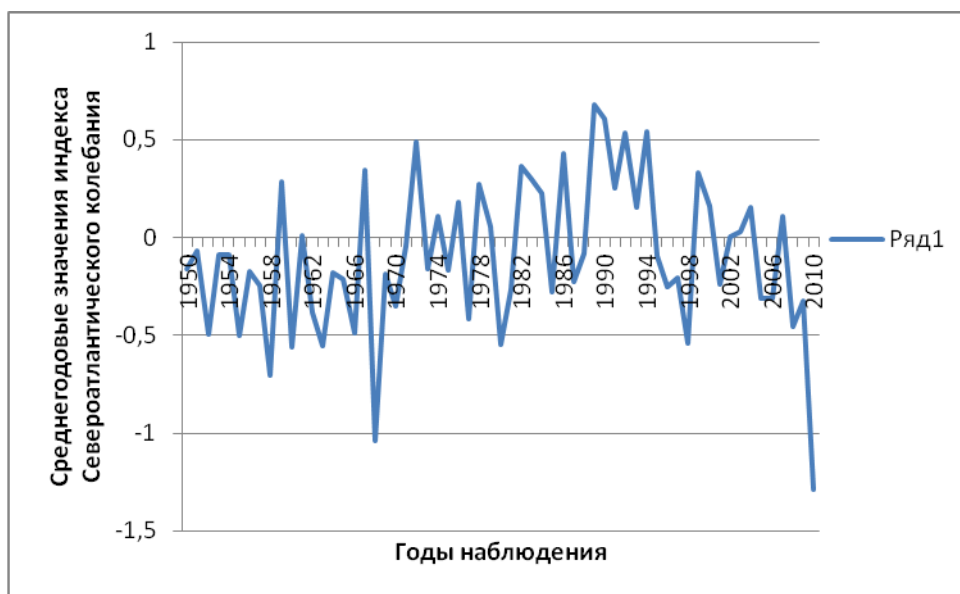
Из анализа зависимости на рис. 1Б следует, что в 90 –е годы XX века среди среднегодовых значений индекса Североатлантического колебания также преобладали положительные, что, в свою очередь, приводило к смещениям траекторий движения атлантических циклонов к северу. В начале XXI века наметилась отчетливая тенденция к уменьшению значений данной характеристики и вместе с ней меридиональных смещений к северу атлантических циклонов.

Таким образом, зависимости на рис. 1А и 1Б свидетельствуют о возрастании в 90-е годы XX века поступающего в стратосферу через ее приполярный сегмент потока веществ, участвующих в разрушении озона, которое должно было приводить к уменьшению среднегодовых ОСО над многими регионами северного полушария. Из них видно также, что в начале XXI века этот поток должен был снижаться, а озоновый слой над многими регионами мира –восстанавливаться.

Как известно [5, 20], именно такие изменения озоносферы в конце XX-начале XXI века в действительности и происходили. Это позволяет утверждать, что выдвинутая гипотеза не противоречит установленным фактам.



А)



Б)

Рис. 1 – Изменения среднегодовых значений индекса Арктического колебания (А) и Североатлантического колебания (Б) в период с 1950 по 2009 г.г., по данным [16, 18]

Для более надежного подтверждения ее адекватности был осуществлен корреляционный анализ связей межгодовых изменений каждого рассматриваемого индекса, а также совпадающих по времени вариаций ОСО во всех сегментах земной атмосферы. Полученные результаты отобра-

жались с использованием метода триангуляции Делоне [21] на контурных картах мира изолиниями -0.35 и -0.4, соответствующими уровням 95% и 99% порогов достоверной корреляции по критерию Стьюдента, а также изолиниями -0.5 и -0.6.

Результаты и их анализ

С использованием описанной методики для каждого месяца построены распределения в земной атмосфере значений коэффициента корреляции временных рядов среднемесячных значений индексов Арктического и Североатлантического колебаний, а также совпадающих по времени ОСО.

Установлено, что наибольшие по площади сегменты атмосферы, в которых межгодовые изменения ОСО значимо связаны с вариациями указанных характеристик, соответствуют месяцам, относящимся к зиме - началу весны. В качестве примера на рисунке 2 приведены распределения в земной атмосфере областей, где связи рассматриваемых процессов в марте и феврале являются значимыми.

Из анализа данных, представленных на рис. 2А видно, что значимые статистические связи межгодовых изменений ОСО, а также совпадающих с ними по времени значений индекса Арктического колебания в марте имеют место во многих сегментах атмосферы.

Подобные сегменты расположены над большей частью северного умеренного климатического пояса (кроме его сегмента, расположенного над западными и центральными регионами Северной Америки), над Арктикой, а также над Амазонией, экваториальными зонами Атлантики и Африки, южной Африкой. В том числе они располагаются и над территориями лесостепной и лесной ландшафтных зон Украины. Весьма похожим является аналогичное распределение, описывающее связи межгодовых изменений ОСО в марте с совпадающими по времени вариациями индекса Североатлантического колебания.

Из рисунка 2Б следует, что статистические связи межгодовых изменений ОСО, а также совпадающих с ними по времени значений индекса Североатлантического колебания в феврале являются значимыми практически над теми же регионами, за исключением тихоокеанского сектора Северного умеренного климатического пояса, Амазонии, Южной Африки и Украины. Практически такие же особенности свойственны и распределению, описывающему связи межгодовых изме-

нений ОСО в феврале с совпадающими по времени вариациями индекса Арктического колебания.

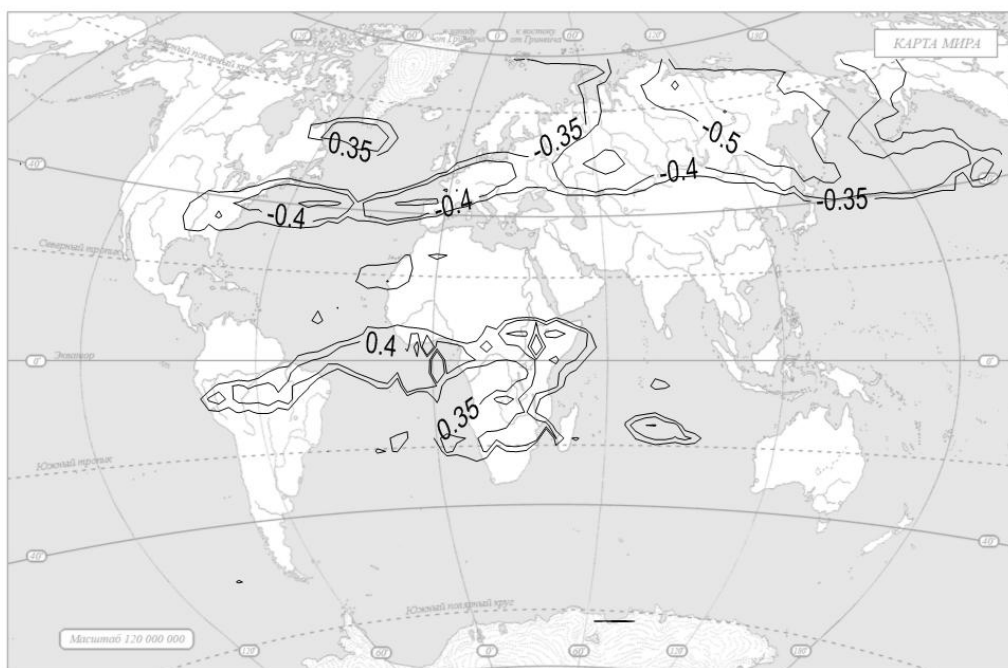
Распределения сегментов атмосферы, в которых межгодовые изменения ОСО в указанные месяцы (рис. 2 А, Б), а также совпадающие по времени вариации индексов Арктического и Антарктического колебаний в целом являются подобными. Аналогичный вывод справедлив также для января и декабря. В летние месяцы значимые связи между рассматриваемыми процессами не выявлены.

Следует отметить, что выявленные сегменты атмосферы расположены над зонами, в пределах которых располагаются в рассматриваемое время года внетропические тропосферные струйные течения, и под зонами стратосферных струйных течений (проходящих севернее на высотах 25-30 км) [22].

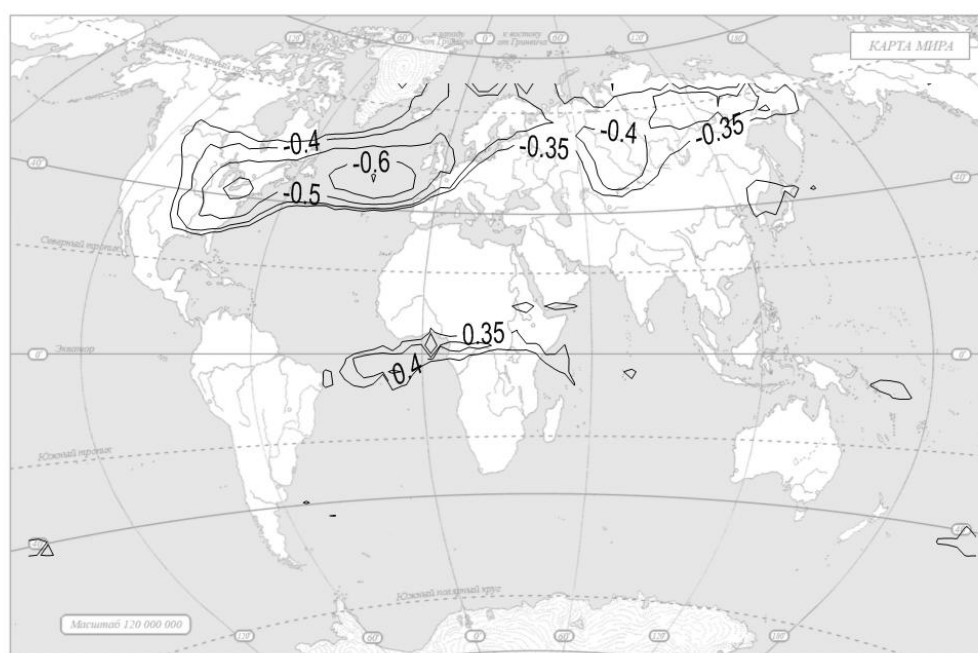
Поэтому полученные результаты соответствуют представлениям о взаимодействии этих воздушных потоков с внутренними волнами, создающим благоприятные условия для возникновения в устойчиво-стратифицированных слоях атмосферы областей, которые локализуют турбулентность. Именно она и обеспечивает перенос веществ, участвующих в разрушении озона, на высоты, где этот процесс в действительности и происходит.

Полученные результаты подтверждают адекватность выдвинутой гипотезы и позволяют предполагать, что выявленные взаимосвязи носят причинный характер и значимо влияют на межгодовые изменения ОСО в атмосфере над северным полушарием Земли. Это свидетельствует о целесообразности их учета при моделировании изучаемого процесса наравне с изменениями выбросов тех или иных веществ антропогенными и природными источниками.

Также они позволяют трактовать тенденции к уменьшению ОСО во многих сегментах земной атмосферы, имевшие место в 80-90-е годы XX века, как естественный процесс, соответствующий представлениям [5] о последствиях преобладания положительных фаз Арктического



А)



Б)

Рис. 2 – Распределения в земной атмосфере областей, где связи межгодовых изменений ОСО, а также совпадающих с ними по времени значений индекса Арктического колебания в марте, а также Североатлантического колебания в феврале являются значимыми

и Североатлантического колебаний, на которые антропогенные факторы существенного влияния не оказывают. Об адекватности данного вывода говорит и прекращение в XXI веке деградации озонового слоя

Выводы

1. Изменения фаз Арктического и Североатлантического колебаний зимой и в начале весны являются значимыми факторами вариаций состояния обширных сегментов озоносферы над регионами северного полушария планеты, через которые проходят его внетропические струйные течения, вследствие чего их целесообразно учитывать при моделировании этого процесса.

2. Вероятным причинным механизмом, который обуславливает их влияние, является зависимость от этих факторов меридиональных смещений траекторий полярных циклонов, доставляющих вещества, участвующие в разрушении озона, к нижней границе приполярного сегмента стратосферы.

Так как устойчивость стратификации указанного сегмента в данное время года понижена, а амплитуда распространяю-

над многими регионами планеты, совпавшее по времени с периодом, когда положительные и отрицательные фазы данных колебаний стали равновероятны.

щихся в нем внутренних волн максимальна, здесь возникают условия, которые благоприятствуют образованию обширных областей, локализирующих турбулентность, что и является главной причиной интенсификации происходящего в них вертикального обмена веществ. Подобные явления происходят лишь зимой и в начале весны

3. Смена тенденций межгодовых вариаций ОСО во многих сегментах земной атмосферы, произошедшая в конце 90-х годов XX века, по времени совпадает с изменениями режимов Арктического и Североатлантического колебаний, при которых меридиональные смещения к северу траекторий полярных циклонов становятся менее значительными. Это позволяет предполагать, что именно данные изменения и вызвали упомянутую смену.

Литература

1. Bronnimann J. Variability of total ozone at Arosa, Switzerland since 1931 related to atmospheric circulation indices. / J. Bronnimann, I. Luterbacher, C. Schmutz, H. Wanner // *Geophys. Res. Lett.* 2000. Vol.27. N 15. P.2213-2216.

2. Рощина В. В. Озон и живые организмы. Наука в России, 2005, N2, С. 60-63

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. – 286 с.

4. <http://www.woudc.org>.

5. Моханакумар К. Взаимодействие стратосферы и тропосферы/ К. Моханакумар. Перевод с английского Р. Ю. Лукьяновой, под ред. Г. В. Алексеева.// Москва. – ФИЗМАТЛИТ. – 2011. – 451с.]

6. Роун Ш. Озоновый кризис. Пятнадцатилетняя эволюция неожиданной глобальной опасности. –М. : Мир. –1993. – 540с.

7. Dessler A. The Chemistry and Physics of Stratospheric Ozone. Academic Press. 2000, 520p.

8. Груздев А. Н. Пространственно-временная динамика атмосферного озона и связанных с ним газовых примесей. Автореферат на соискание уче-

ной степени доктора физико-математических наук./ А. Н. Груздев// Москва, МГУ.- 2007.-48С.

9. Нерушев А. Ф. Воздействие интенсивных атмосферных вихрей на озоновый слой Земли./ А. Ф. Нерушев. – СПб: Гидрометеиздат, 2003. – 224 с.

10. Salby M.L Fundamentals of Atmospheric Physics / M.L.Salby. – New York: Academic Press, 1996. – 560 p.

11. Жадин Е. А. Влияние межгодовых вариаций поверхностных температур Мирового океана на циркуляцию стратосферы и озоновый слой. Автореферат на соискание ученой степени доктора физико-математических наук./ Е. А. Жадин. – Долгопрудный, МФТИ. – 2004. – 48С.

12. Школьный С.П. Фізика атмосфери/ С. П. Школьний. – Одеса, 1997. – 698с.

13. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Panes of Climate Change (IPCC). Cambridge University Press.– Cambridge. UK, 2007. – 973p.

14. Baldwin M. P. Propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere/ M. P. Baldwin, T. J. Dunkerton// *J. Geophys. Res.* – 104. – 1999. –P.30937–30946.

15. Kodera K. Tropospheric and stratospheric aspects of the Arctic Oscillation/ K. Kodera, Y. Kuroda// Geophys. Res. Lett. -2000. -27. –P. 3349-3352.

16. http://www.cpc.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao_index.b50.current.ascii.table

17. Walker G.T. World weather V / G.T.Walker, E.W.Bliss // Meteorology. Royal Meteorology Society. – 1932. – V. 4. – No 36. – P.53 – 84.

18. <http://www.esrl.noaa.gov/data/climateindices/list/> for info

19. Holton J. R. Stratosphere troposphere exchange/ J. R. Holton, P.H. Haynes, M.E. McIntyre// Rev. Geophys.- 1995. -33. –P.403-440.

20. <http://www.woudc.org>).

21. Newcherch M.J. Upper-stratospheric ozone trends 1979-1998./ . M.J. Newcherch, L. Bushon, D. Cunnold// J. Geophys. Res. D. 2000. Vol.105. N 11. P.14625-14636.

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

23. http://big-archive.ru/geography/general-atmospheric_circulation/20.php

Надійшла до редколегії 8.01.2014

УДК 911.2

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

Севастопольский морской институт,

г. Севастополь, улица Рыбаков, дом 7-А.

khoptsev@mail.ru

А. Д. КЛЮЕВА

Черноморский филиал Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

г. Севастополь, ул. Героев Севастополя, 7.

alkliuieva@gmail.com

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ОСО С УЧЕТОМ ВАРИАЦИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР ЗНАЧИМЫХ РАЙОНОВ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА НА ПРИМЕРЕ ПОЛЬШИ

Учет изменений среднемесячных поверхностных температур районов Атлантического океана, которые наиболее значимо влияют на вариации распределения среднемесячных значений общего содержания озона над Польшей, позволяет осуществлять эффективное моделирование этих вариаций. Идентифицированные множественно-регрессионные модели этого процесса обладают устойчивостью к временным сдвигам как функции, так и аргументов, как минимум составляющим 2 года.

Ключевые слова: изменчивость, распределение, общее содержание озона, Польша, поверхностная океан, температура, моделирование, прогнозирование, статистическая связь, взаимодействие, тропосфера, стратосфера

Холопцев О. В., Ключева А. Д. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІН РОЗПОДІЛУ В АТМОСФЕРІ СЕРЕДНЬОМІСЯЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ З УРАХУВАННЯМ ВАРІАЦІЙ ПОВЕРХНЕВИХ ТЕМПЕРАТУР ЗНАЧУЩИХ РАЙОНІВ АТЛАНТИЧНОГО ОКЕАНУ НА ПРИКЛАДІ ПОЛЬЩІ

Облік змін середньомісячних поверхневих температур районів Атлантичного океану, які найбільш значимо впливають на варіації розподілу середньомісячних значень загального вмісту озону над Польщею, дозволяє здійснювати ефективно моделювання цих варіацій. Ідентифіковані множинно-регресійні моделі цього процесу володіють стійкістю до тимчасових зрушень як функції, так і аргументів, як мінімум складовим 2 роки.

Ключові слова: змінність, розподіл, загальний вміст озону, Польша, поверхнева температура, океан, моделювання, прогнозування, статистичний зв'язок, взаємодія, тропосфера, стратосфера