

УДК 911.2;551.510.534; 551.513  
DOI: 10.15587/2313-8416.2015.46145

## ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ КВАЗИДВУХЛЕТНЕЙ ОСЦИЛЛЯЦИИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА

© А. В. Холопцев, М. П. Никифорова

*Выявлены условия, при которых вариации квазидвухлетней осцилляции способны оказывать значимое влияние на изменения распределения общего содержания озона в земной атмосфере. Установлено, что области достоверной корреляции между рассматриваемыми процессами расположены над приэкваториальной зоной нашей планеты, а также над зонами субтропических струйных течений полушарий. Расположение таких областей различается для Северного и Южного полушарий, а также существенно зависит от времени года*

**Ключевые слова:** квазидвухлетняя осцилляция, общее содержание озона, корреляция, субтропические струйные течения, облачность

*Terms, under which quasi-biennial oscillation variations can significantly influence on distribution changes of total ozone amount in Earth atmosphere, have been revealed. It is determined that plausible correlation areas of studied processes range over subequatorial zone and subtropical jet streams. Such areas location differs for Northern and Southern hemispheres and significantly depends on season of the year*

**Keywords:** quasi-biennial oscillation, total ozone amount, correlation, subtropical jet streams, cloudiness

### 1. Введение

Общее содержание озона (ОСО) в любом сегменте атмосферы существенно влияет на поток биологически активной ультрафиолетовой радиации, которая достигает соответствующего участка земной поверхности и значимо влияет на развитие любых биотических компонентов его ландшафтов. Поэтому выявление особенностей влияния на его распределение в земной атмосфере различных природных факторов является актуальной проблемой физической географии, геофизики ландшафтов и биогеографии.

Наибольший интерес решение рассматриваемой проблемы представляет в отношении совместного влияния глобальных факторов, которые существенно влияют на состояние стратосферы, где сосредоточена большая часть всего озона, существующего в земной атмосфере, и потому способны в той или иной мере влиять на распределение в ней ОСО. К числу последних относятся такие факторы, как смена времен года, а также квазидвухлетняя осцилляция (далее QVO).

Воздействие обоих рассматриваемых факторов на стратосферу проявляется в изменениях структуры ее общей циркуляции. Действие первого фактора обуславливает наличие сезонной изменчивости ее реакций на изменения состояния QVO, а второй более ощутимо проявляется в межгодовых вариациях характеристик ее динамики [1]. Вследствие этого изменения состояния глобальной атмосферной циркуляции (компонентом которой является QVO) значимо влияют на межгодовые и сезонные вариации ОСО над многими регионами [2]. Тем не менее, физические процессы, которые обуславливают влияние QVO на распределение ОСО, ныне изучены недостаточно.

### 2. Обзор литературы

Изучению факторов, значимо влияющих на сезонную и межгодовую изменчивость состояния озоносферы, посвящены работы многих отечественных и зарубежных авторов [1–6]. Установлено, что одним из существенных факторов рассматриваемого процесса

является изменчивость структуры общей циркуляции стратосферы, которая зависит от времени года.

Вследствие того, что главным источником тепла в стратосфере является озоновый слой, поглощающий ультрафиолетовую радиацию Солнца, при смене времен года поле атмосферного давления здесь наиболее существенно изменяется в приполярных сегментах (где зимой существует полярная ночь, а летом полярный день). В результате этого в летние месяцы в слоях стратосферы, расположенных выше динамической тропопаузы, преобладает восточный перенос, в то время как ниже ее, как и в тропосфере, доминирует западный перенос. В зимние месяцы во всей стратосфере, как и в тропосфере, преобладает западный перенос. Весной прослойка, разделяющая слои стратосферы, где воздух движется в противоположных направлениях, смещается от мезопаузы к динамической тропопаузе со скоростью 2–4 км в сутки. Осенью она мигрирует по высоте в противоположном направлении [6].

Как известно, необходимым и достаточным условием возникновения турбулентности в устойчиво стратифицированном по плотности течении является существование в нем вертикального сдвига скорости, при котором соответствующее значение динамического числа Ричардсона превышает уровень 1/2 [7]. Подобное условие всегда выполняется в прослойке стратосферы, разделяющей ее слои, в которых направления воздушных потоков противоположны. Из этого следует, что в данной прослойке локализована и вместе с ней мигрирует по высоте стратосферная турбулентность [8]. Благодаря этому в осенние месяцы проникший в стратосферу через разрывы тропопаузы воздух, содержащий вещества, которые участвуют в разрушении озона, переносится на высоты, где и происходит данный процесс, а в весенние месяцы теплый воздух от стратопаузы, содержащий космические радионуклиды, мигрирует в сторону земной поверхности.

Существенное влияние на структуру стратосферной циркуляции в приэкваториальных сегментах атмосферы оказывает QVO [1, 9–12]. Проявляется это в изменениях с периодом, близким к 28 мес., направле-

ний ветров, преобладающих в указанных сегментах, на высотах 16–30 км, а также оказывающий существенное влияние на процессы переноса тепла и примесей в атмосфере далеко за их пределами [13]. Количественной характеристикой QVO является соответствующий глобальный климатический индекс, который численно равен средней скорости ветра в приэкваториальном сегменте средней стратосферы на некоторой высоте. Информация о текущем состоянии QVO, а также предыстории его изменений на высоте 23–24 км (30 гПа) в период с 1950 г., представлена в интернете [14].

Одними из первых теорию QVO предложили Р. Линдзен и Д. Холтон [15, 16]. Согласно ей, QVO возбуждается взаимодействием между средним потоком воздуха, а также распространяющимися вертикально волнами Кельвина и смешанными гравитационными волнами Россби, обладающими широким спектром и генерируемыми в тропосфере над приэкваториальной зоной планеты, существующими в ней конвективными возмущениями [17]. Данная теория, как и более поздние, упомянутые в обзоре [9], удовлетворительно описывают качественные закономерности рассматриваемого явления, но определить с их помощью условия, при которых QVO в будущем окажется значимым фактором изменчивости ОСО над тем или иным регионом планеты, весьма проблематично.

Средняя зональная циркуляция во внетропической стратосфере испытывает большие сезонные изменения с четкой сменой направления ветров на обратные при переходе от зимнего полугодия к летнему, и наоборот [1, 20]. В приполярных сегментах стратосферы существенно возрастает амплитуда годичной моды, которая нелинейно взаимодействует с QVO, что ощутимо усложняет наблюдаемую картину межгодовой изменчивости ОСО [2]. В периоды, когда наблюдается совпадение фаз QVO и годичной моды, скорости циркулярных воздушных потоков в стратосфере возрастают, а их влияние на изменчивость ОСО усиливается. В периоды, когда фазы этих колебаний противоположны, снижается и влияние результирующего колебания.

Описанные явления, благодаря их влиянию на характеристики стратосферной турбулентности, способны ощутимо влиять на распределение ОСО в земной атмосфере, что свидетельствует в пользу адекватности выдвинутой гипотезы, хотя и не доказывает ее.

### 3. Постановка задачи

Как следует из изложенного, особенности сезонной и межгодовой изменчивости реакций распределения ОСО в земной атмосфере на вариации состояния QVO ныне изучены недостаточно. Поэтому, в плане совершенствования методик долгосрочного прогнозирования изменчивости этого распределения, развитие современных представлений о связях вариаций ОСО в различных сегментах земной атмосферы с таким квазипериодическим процессом как QVO, представляет существенный теоретический и практический интерес.

Учитывая это, объектом исследования в данной работе является сезонная и межгодовая изменчивость распределения ОСО в земной атмосфере. Предметом исследования являются особенности влияния QVO на изменчивость распределения ОСО в земной атмосфере. Целью работы является развитие современных представлений об

особенностях влияния QVO на сезонную и межгодовую изменчивость распределения ОСО в земной атмосфере.

Для достижения указанной цели решена задача, которая состоит в выявлении расположений сегментов земной атмосферы, в которых статистические связи межгодовых изменений ОСО в различные месяцы, а также опережающих их по времени вариаций индекса QVO, являются статистически значимыми.

### 4. Методика и фактический материал

При решении указанной задачи для каждого месяца осуществлен корреляционный анализ связей межгодовых изменений среднемесячных значений ОСО в сегментах земной атмосферы, которые не относятся к области полярной ночи, с опережающими их по времени на 0–28 мес. вариациями индекса QVO. Связь изучаемых процессов рассматривалась как значимая, если соответствующее значение коэффициента парной корреляции превосходило по модулю уровень 95 % порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента [21]. При определении этого уровня учитывалось число степеней свободы анализируемых временных рядов, которое определялось по их автокорреляционным функциям.

Результаты корреляционного анализа, соответствующие каждому месяцу, для которого рассматривались межгодовые вариации ОСО, и каждому значению их опережения временным рядом индекса QVO отображались на контурных картах мира изолиниями. Последние охватывали сегменты атмосферы, где связи между рассматриваемыми процессами являлись значимыми. При нанесении на карты подобных изолиний использован метод триангуляции Делоне [22].

В ходе подобных исследований, как фактический материал о среднемесячных значениях ОСО в том или ином месяце использованы соответствующие временные ряды, представленные в [23]. Эти ряды соответствуют всем сегментам земной атмосферы размерами  $1 \times 1$ , которые не относятся к области полярной ночи. Подобная информация соответствует периоду с января 1979 г. и получена с помощью глобальной спутниковой системы мониторинга ультрафиолетовой радиации и озона, которая функционирует с этого времени.

Как фактический материал о значениях индекса QVO использованы временные ряды его среднемесячных значений для каждого месяца, которые для периода с января 1950 г. представлены в [14]. Эти значения соответствуют геопотенциальной высоте 30 гПа (приблизительно 23,28–24 км). Они вычисляются путем усреднения результатов измерения скорости ветра на данной высоте в (м/с), которые получены на станциях: Canton Island, 3°S/172°W (Jan 1953 – Aug 1967), Gan/Maledive Islands, 1°S/73°E (Sep 1967 – Dec 1975) и Singapore, 1°N/104°E (since Jan 1976). Западным ветрам соответствуют положительные значения скорости, а восточным – отрицательные.

### 5. Результаты исследования и их анализ

В качестве примера, на рис. 1 приведены карты, соответствующие межгодовым изменениям ОСО в феврале, апреле, июне и октябре, а также вариациям значений индекса QVO, которые совпадают с ними по времени.

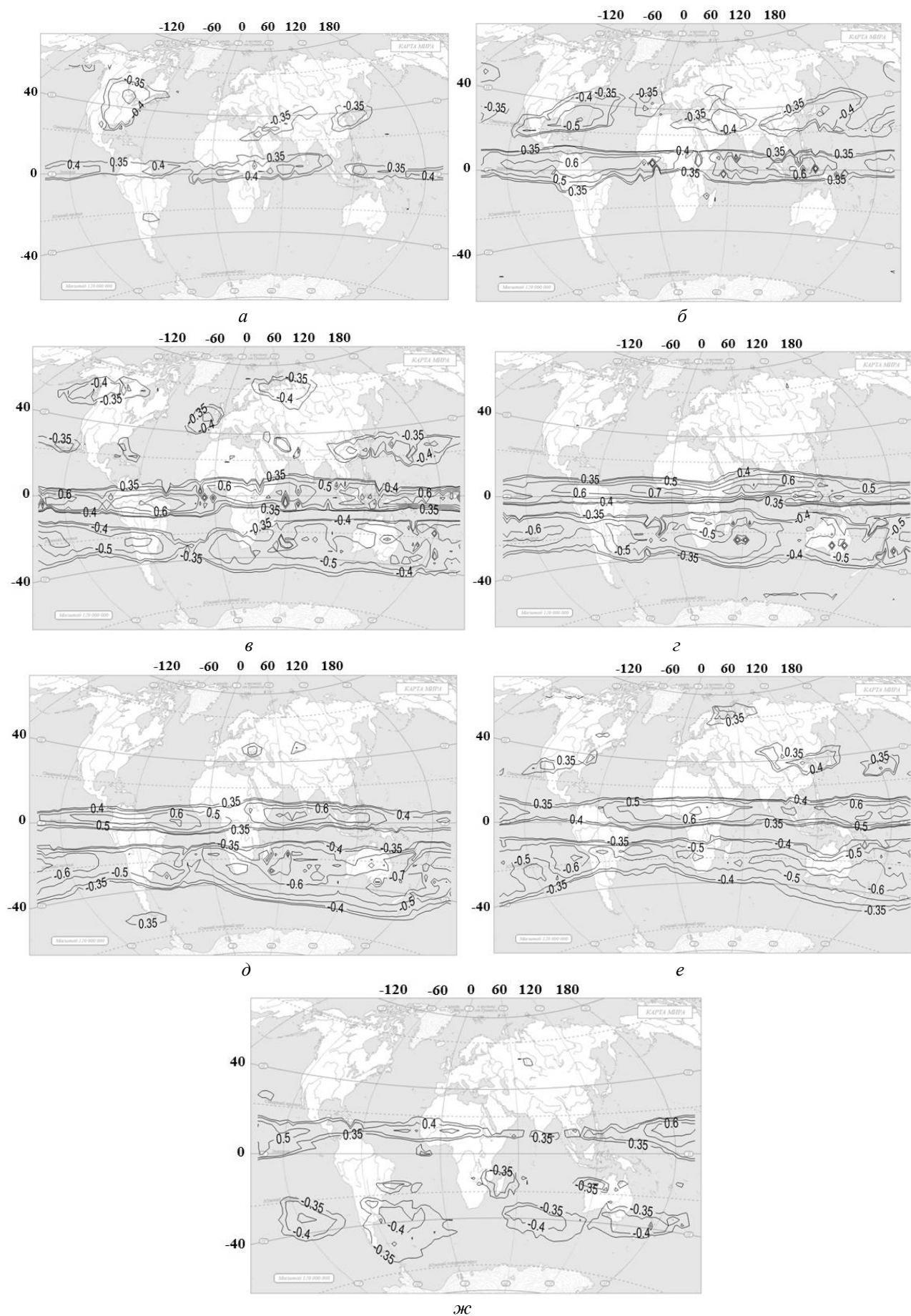


Рис. 1. Расположение сегментов земной атмосферы, в которых связи межгодовых изменений ОСО, а также совпадающих с ними по времени вариаций индекса QVO являются значимыми:  
 а – февраль; б – март; в – июнь; г – август; д – сентябрь; е – ноябрь; ж – декабрь

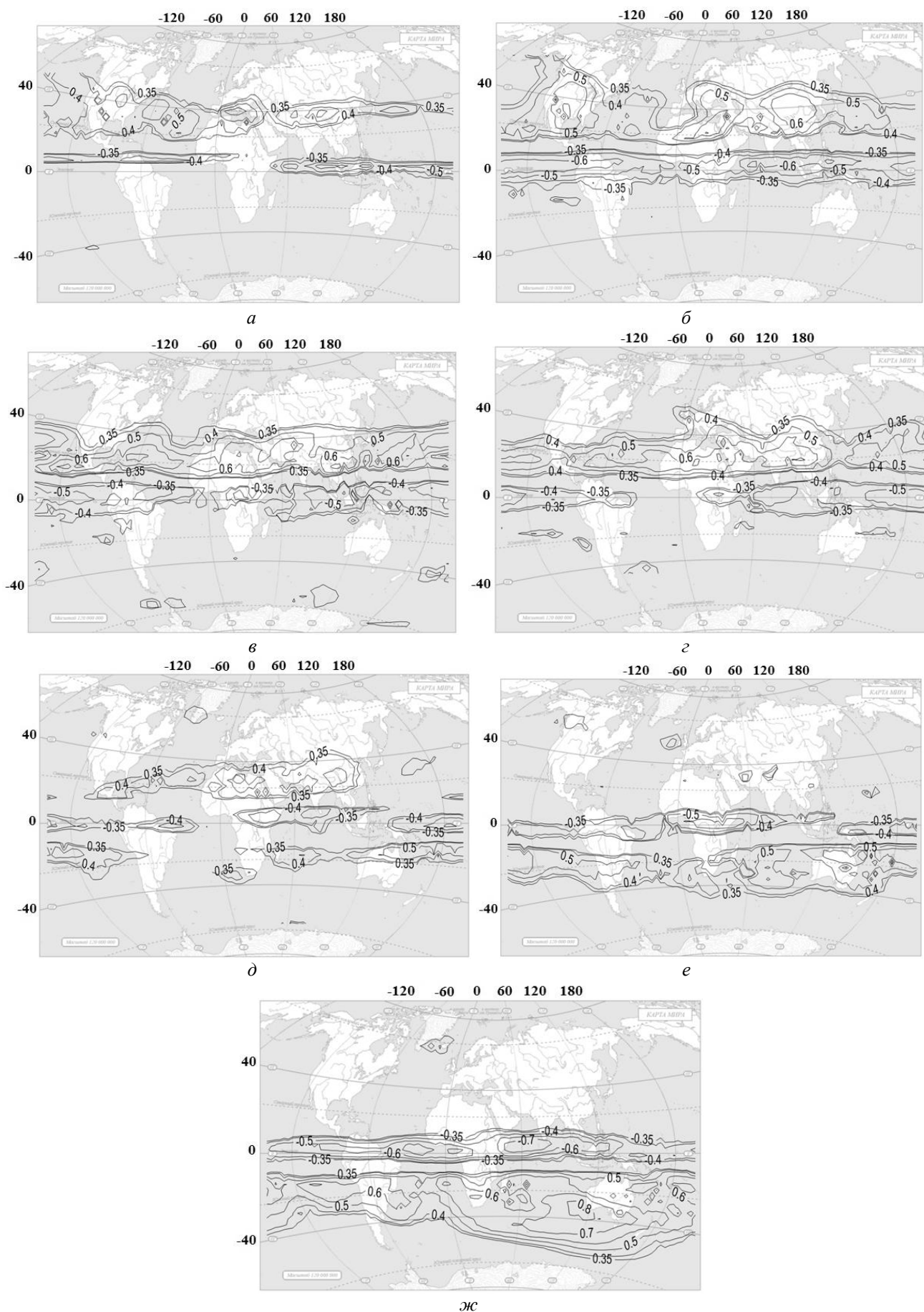


Рис. 2. Расположение сегментов земной атмосферы, в которых связи межгодовых изменений ОСО, а также опережающих их по времени на 14 месяцев вариаций индекса QVO являются значимыми:  
*a* – январь; *б* – февраль; *в* – март; *г* – апрель; *д* – май; *е* – июнь; *ж* – сентябрь

Из рис. 1 следует, что корреляция межгодовых вариаций индекса QVO с совпадающими по времени изменениями среднемесячных ОСО в районах приэкваториальной зоны планеты в любые месяцы является значимой положительной. Это в полной мере соответствует современным представлениям о сущности QVO.

Следует отметить, что расположения, а также суммарные площади рассматриваемых областей существенно зависят от времени года. В январе их размеры минимальны, а в месяцы с марта по ноябрь они полностью перекрывают всю приэкваториальную зону нашей планеты.

Существенной особенностью изучаемого процесса является также существование обширных областей значимой отрицательной корреляции рассматриваемых процессов.

В месяцы с июня по ноябрь такие области образуют сплошную кольцевую зону, которая располагается над субтропическим струйным течением Южного полушария. В декабре и мае здесь существуют отдельные локальные области значимой корреляции ОСО и QVO, а с января по март они и вовсе отсутствуют. В Северном полушарии области значимой отрицательной корреляции межгодовых изменений ОСО и совпадающих с ними по времени вариаций QVO над зоной его субтропического струйного течения существуют лишь с февраля по июнь, а также октябрю и ноябрю. В прочие месяцы подобных областей здесь не выявлено. При этом сплошных кольцевых зон значимой корреляции в данном полушарии на протяжении всего года не возникает, а наибольшего значения суммарная площадь рассматриваемых областей достигает в мае. Наибольшие размеры зона значимой отрицательной корреляции межгодовых изменений ОСО и совпадающих с ними по времени вариаций QVO в Южном полушарии имеет в период существования в нем Озоновой Дыры (далее ОД). В это время указанная зона практически опоясывает ОД по периферии. При этом непосредственно в области ОД корреляция рассматриваемых процессов значимой не является.

Как легко заметить из рис. 1, реакции озоносферы на межгодовые изменения индекса QVO, которые совпадают с с ними по времени, являются существенно асимметричными. В сегменте атмосферы над Южным полушарием они выражены гораздо ярче и мощней, чем в ее сегменте, расположенном над Северным полушарием. Выявленный эффект из существующих представлений о QVO непосредственно не следует и описан впервые.

На рис. 2 приведены карты, соответствующие межгодовым изменениям ОСО в феврале, апреле, июне и октябре, а также вариациям значений индекса QVO, которые опережают их на 11 месяцев (половину их периода).

Из рис. 2 следует, что, как и следовало ожидать, корреляция межгодовых изменений ОСО в приэкваториальном сегменте стратосферы с вариациями индекса QVO, опережающими их на половину периода этого процесса является также значимой и отрицательной. Противоположный знак она имеет и в зонах субтропических струйных течений. Существенно новой особенностью является заметное увеличение размеров расположенных в Северном полушарии областей значимой

корреляции вариаций индекса QVO, которые опережают изменения ОСО в месяцы с января по май. При этом в феврале – апреле подобные области в Северном полушарии, образуют такие же сплошные кольцевые зоны, как и наблюдающиеся с июня по ноябрь в Южном полушарии. Последнее позволяет утверждать, что статистические связи вариаций ОСО над Северным полушарием, с изменениями индекса QVO опережающими по времени на половину своего периода, ощутимо сильнее. Для Южного полушария подобные связи практически не отличаются от имевших место, при условии совпадения рассматриваемых процессов по времени.

### 6. Обсуждение полученных результатов

Для выяснения причин существования выявленных особенностей необходимо их сопоставить с современными представлениями о динамике стратосферы. Как следует из [1, 3, 6, 24], главными компонентами последней являются циркумполярные вихри, которые в зимние и летние месяцы вращаются в противоположные стороны. В зимние месяцы, в условиях существенного выхолаживания на протяжении полярной ночи приполярного сегмента стратосферы, в соответствующем полушарии формируется мощнейший циркумполярный вихрь, с резкими контрастами температуры на его периферии. В нем преобладает западный перенос воздуха.

В циркумполярном вихре, образующемся в летние месяцы, в условиях значительного потепления воздуха, содержащегося в приполярном сегменте стратосферы, которое имеет место на протяжении всего полярного дня, доминирует восточный перенос.

В обоих вихрях наибольшие скорости ветра наблюдаются в слоях стратосферы, которые расположены на высотах 30–40 км. Ниже этих слоев (на высотах 25–30 км), в стратосфере над зимним и летним полушарием существуют соответствующие струйные течения. Они расположены в зонах упомянутых циркумполярных вихрей с максимальными контрастами температур воздуха, которые расположены между 50-ми и 70-ми параллелями. Средняя скорость зимнего стратосферного струйного течения ощутимо больше, чем летнего [25].

На перифериях упомянутых струйных течений существуют значительные сдвиги скорости, вследствие чего здесь существуют наиболее благоприятные условия для возникновения стратосферной турбулентности. Последнее происходит при распространении через них гравитационных и планетарных волн, формирующихся в тропосфере. Упомянутые процессы приводят к возникновению внезапных стратосферных потеплений (ВСП) [26, 27]. Также значимо влияет на образование ВСП и QVO [3]. Последнее свидетельствует о возможности влияния этого фактора и на изменчивость распределения ОСО в зонах летнего и зимнего стратосферных струйных течений (что и подтверждают полученные результаты).

Поскольку период изменений направленности стратосферного струйного течения составляет 12 мес., а период вариаций QVO – 28 мес., очевидно, что разность фаз этих колебательных процессов непрерывно изменяется. Поскольку оба они протекают в слое стратосферы от 18 до 30 км, понятно также, что взаимодей-

ствие между ними действительно возможно, а его результат не может не зависеть от текущего значения разности их фаз.

Так как струйное течение каждого полушария располагается между его 50 и 70 параллелями, а процесс, рассматриваемый как QBO, протекает в пределах приэкваториальной зоны, ограниченной параллелью 8 градусов, понятно, что взаимодействие между данными процессами может осуществляться лишь в зоне между 8 и 50 параллелями этого полушария. Если в какой-то момент времени текущие фазы обоих процессов одинаковы, значения модуля разности скоростей горизонтальных воздушных течений, которые переносят воздух вдоль 8 и 50 параллели, минимальны. В результате этого горизонтальные воздушные потоки в зоне между данными параллелями носят преимущественно зональный характер, а ощутимого взаимодействия между ними не происходит.

Поскольку периоды рассматриваемых процессов различны, с течением времени разность их текущих фаз неуклонно возрастает. При этом увеличивается и значение модуля разности скоростей рассматриваемых воздушных течений, что не может не приводить к образованию в зоне между 8 и 50 параллелями цепочки крупномасштабных стратосферных вихрей. Подобные вихри могут являться как циклоническими, так и антициклоническими, в зависимости от соотношения между фазами QBO и изменений направленности соответствующего стратосферного струйного течения.

В центрах циклонических вихрей возникают вертикальные движения воздуха, направленные вверх, а в центрах антициклонических вихрей – вниз. При этом вертикальный перенос в стратосфере воздуха, содержащего вещества, участвующие в разрушении озона, который проникает в нее через субтропические разрывы тропопаузы, либо активизируется, либо становится менее интенсивным. Так как воздушный поток, поднимающийся вверх в области какого-либо из упомянутых вихрей, представляет собой некоторую часть течения, которое проникает в стратосферу из тропосферы, при его увеличении оставшаяся часть этого течения уменьшается. Последняя представляет собой воздушный поток, который переносит вещества способные участвовать в разрушении озона, по горизонтали, от субтропического разрыва тропопаузы к приэкваториальной зоне. Если этот воздушный поток уменьшается, значения ОСО в упомянутой зоне возрастают.

Как видим, описанный процесс регулирует соотношение между частями, на которые делится суммарный поток веществ, участвующих в разрушении озона, которые проникают в стратосферу через субтропические разрывы тропопаузы. Если одна часть увеличивается, вторая неминуемо уменьшается и наоборот. В результате этого знаки коэффициентов корреляции межгодовых изменений QBO, и совпадающих с ними по времени ОСО в приэкваториальной зоне, а также над субтропическим струйным течением всегда противоположны.

Нетрудно видеть, что описанный механизм взаимодействия QBO, а также стратосферного струйного течения Южного полушария, действительно способен

формировать в зоне этого течения циркумполярную зону значимой отрицательной, а над субэкваториальным климатическим поясом планеты – значимой положительной корреляции межгодовых вариаций индекса QBO и совпадающих с ними по времени межгодовых изменений ОСО в июне-ноябре.

Так как в зимний и весенний период скорость стратосферного струйного течения существенно больше [1], чем в летний и осенний, подобное взаимодействие в эти сезоны при прочих равных условиях проявляется сильнее и приводит к образованию упомянутой сплошной зоны. В прочие месяцы размеры областей значимой корреляции меньше, так как меньше скорость соответствующего струйного течения. В итоге, в такие месяцы сплошной кольцевой зоны значимой корреляции не образуется. По той же причине ее по-видимому не возникает и в Северном полушарии, где даже в зимние месяцы скорости стратосферного струйного течения ощутимо меньше, чем в Южном.

Так как среднее значение периода QBO составляет 28 лет, нетрудно видеть, что продолжительность полного цикла значения разности скоростей стратосферного струйного течения и QBO равна 7 годам. Последнее свидетельствует о возможности существования значимой положительной корреляции различных фрагментов временных рядов межгодовых изменениях ОСО над зонами субтропических струйных течений, которые различаются по времени на указанную величину.

В полной мере соответствует изложенным представлениям о сущности взаимодействия между QBO и струйными течениями и наличие запаздывания на половину периода этого процесса, при котором его влияние в зимние и весенние месяцы на межгодовые вариации ОСО в Северном полушарии является наиболее мощным. Наличие подобного запаздывания объясняется тем, что стратосферные струйные течения Северного и Южного полушария всегда направлены встречно. В фазе QBO, при которой направления стратосферного воздушного потока над приэкваториальной зоной планеты, а также стратосферного струйного течения ее Южного полушария являются противоположными (т. е. взаимодействие между ними наиболее сильно), по отношению к стратосферному струйному течению Северного полушария направление этого потока является совпадающим (т. е. взаимодействие между ними минимально).

Проявления квазидвухлетней цикличности в изменениях температурного режима различных слоев земной атмосферы выявлены в [28]. Показано, что подобная особенность проявляется как в изменениях глобальных температур, так и температур различных слоев тропосферы и стратосферы над многими регионами мира. В [29] нами показано, что межгодовые изменения ОСО способны значимо влиять на оптическую плотность облачности верхнего яруса в тех сегментах земной атмосферы, в которых эти процессы совпадают по фазе с вариациями солнечной активности. Там же установлены расположения подобных сегментов в различные месяцы, примеры которых представлены на рис. 3.

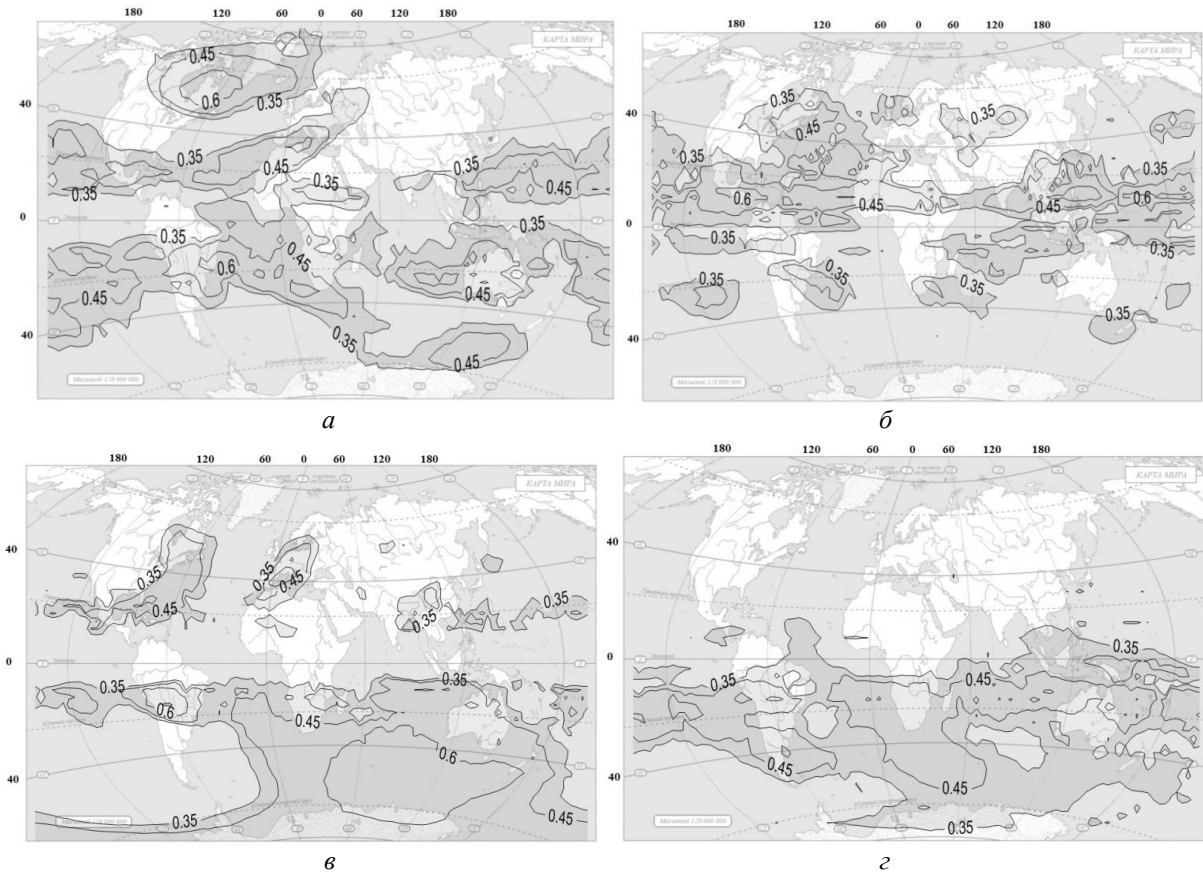


Рис. 3. Расположения сегментов земной атмосферы, в которых межгодовые изменения ОСО значимо влияют на оптическую плотность облачности верхнего яруса (согласно [27]): а – апрель; б – июнь; в – октябрь; г – декабрь

Из сравнения рис. 3 с рис. 1 видно, что в любые месяцы существуют обширные сегменты земной атмосферы, в которых межгодовые изменения QBO значимо влияют на совпадающие с ними по времени вариации ОСО, а также оптической плотности существующей в них облачности. Наибольшими площади подобных сегментов являются в августе – декабре, что подтверждают рисунки 13 – 1М, а также 3В и 3Г. В эти месяцы они расположены в Южном полушарии нашей планеты. При этом они перекрывают значительные части акваторий Индийского, Атлантического и Тихого океанов, а также территории Австралии, Южной Америки и южных регионов Африки.

Расположены такие акватории и территории и в приэкваториальной зоне нашей планеты и над ее субтропическими климатическими поясами, которые, как известно, поглощают основную часть суммарного потока солнечной радиации, поступающей в ее климатическую систему. Именно этим, по-видимому, и объясняется наличие значимого влияния межгодовых вариаций QBO на совпадающие с ними по времени изменения среднего потока суммарной солнечной радиации, поступающей на всю поверхность нашей планеты. Последним, вероятно, может объясняться наличие значимых статистических связей вариаций индекса QBO с изменениями поверхностных температур многих акваторий Мирового океана, участков суши, а также состояний некоторых других физико-географических процессов [8, 11, 12].

### 7. Выводы

Таким образом, установлено:

1) Межгодовые вариации состояния QBO значимо влияют на изменения распределения ОСО в земной атмосфере, а особенности этого влияния существенно зависят как от месяца, в котором рассматриваются последние, так и от временного сдвига между указанными процессами.

2) Сегменты атмосферы, где статистические связи межгодовых изменений ОСО и индекса QBO являются значимыми, расположены над приэкваториальной зоной нашей планеты, а также над зонами субтропических струйных течений полушарий, для которых соответствующие месяцы являются зимними и весенними.

3) При любых временных сдвигах между рассматриваемыми процессами знаки коэффициентов их корреляции для указанных зон являются противоположными.

4) В атмосфере над Южным полушарием нашей планеты сегменты, в которых статистическая связь изучаемых процессов является значимой, обладают максимальной суммарной площадью и образуют сплошные кольцевые зоны при условии, что временной сдвиг между ними равен нулю, либо кратен половине периода вариаций индекса QBO.

5) В атмосфере над Северным полушарием площади сегментов, в которых статистическая связь изучаемых процессов является значимой, достигают максимальных значений при условии, что временной сдвиг между ними равен половине периода вариаций QBO

либо превышает его на целое число периодов этих вариаций. При этом ее сегменты, в которых межгодовые вариации ОСО с февраля по апрель значимо связаны с изменениями индекса QBO, также образуют сплошные кольцевые зоны, расположенные как над приэкваториальной зоной нашей планеты, а также над зоной Северного субтропического струйного течения.

6) Во многих сегментах земной атмосферы, в которых в том или ином месяце межгодовые изменения ОСО значимо статистически связаны с совпадающими по времени вариациями индекса QBO, значимым является также их влияние на состояние облачности верхнего яруса, а также поток суммарной солнечной радиации, поступающий на соответствующие участки земной поверхности. Этим может объясняться влияние QBO на многие физико-географические процессы.

### Литература

1. Labitzke, K. The Stratosphere [Text] / K. Labitzke, H. van Loon. – N. Y.: Shpringer-Verlag, 1999. – 179 p.

2. Kiss, P. Long-range correlations of extrapolar total ozone are determined by the global atmospheric circulation [Text] / P. Kiss, R. Müller, I. M. Jánosi // *Nonlinear Processes in Geophysics*. – 2007. – Vol. 14, Issue 4. – P. 435–442. doi: 10.5194/npg-14-435-2007

3. Моханкумар, К. Воздухообмен между тропосферой и стратосферой. [Текст] / К. Моханкумар; пер. с англ. Р. Ю. Лукьяновой; под ред. Г. В. Алексеева. – Москва. ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 451 с.

4. Бекорюков, В. И. Долговременные изменения глобального озона Т. 45 [Текст] / В. И. Бекорюков, В. И. Глазков, Г. А. Кокин // *Известия РАН серия «Физика атмосферы и океана»*. – 2009. – № 5. – С. 607–616.

5. Holton, J. R. Stratosphere-troposphere exchange [Text] / J. R. Holton, P. H. Haynes, M. E. McIntyre // *Rev. Geophysics*. – 1995. – Vol. 33. – P. 403–439.

6. Погосян, Х. П. Общая циркуляция атмосферы [Текст] / Х. П. Погосян. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 394 с.

7. Обухов, А. М. Турбулентность и динамика атмосферы [Текст] / А. М. Обухов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 413 с.

8. Пинус, Н. З. О внутренних волнах и турбулентности в тропосфере и нижней стратосфере [Текст] / Н. З. Пинус // *Метеорология и гидрология*. – 1986. – № 1. – С. 5–13.

9. Хайруллина, Г. Р. Квазидвухлетние колебания в атмосфере Земли [Текст] / Г. Р. Хайруллина, Н. М. Астафьева. – Обзор: наблюдения и механизмы формирования. – М.: ИКИ РАН, 2011. – С. 1–60.

10. Sitnov, S. A. QBO effect manifesting in ozone, temperature and wind profiles [Text] / S. A. Sitnov // *Annals of Geophysical*. – 2004. – Vol. 22, Issue 5 – P. 1495–1512. doi: 10.5194/angeo-22-1495-2004

11. Angell, J. K. Quasi-biennial variations in temperature, total ozone and tropopause height [Text] / J. K. Angell, J. Korshover // *Journal of the Atmospheric Sciences*. – 1964. – Vol. 21, Issue 5. – P. 479–492. doi: 10.1175/1520-0469(1964)021<0479:qbvitt>2.0.co;2

12. Безверхний, В. А. Долговременные вариации квазидвухлетней составляющей цикличности атмосферного озона и экваториального стратосферного ветра [Текст] / В. А. Безверхний, А. Н. Груздев // *Доклады А. Н.* – 1998. – Т. 363, № 1. – С. 110–113.

13. Крупномасштабные динамические процессы в атмосфере [Текст] под ред. Б. Коскинса, Р. Пирса. – М.: Издательство "Мир", 1988. – 428 с.

14. База данных о значениях индекса QBO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>

15. Lindzen, R. S. A theory of the quasi-biennial oscillation [Text] / R. S. Lindzen, J. R. Holton // *Journal of the Atmospheric Sciences*. – 1968. – Vol. 25, Issue 6. – P. 1095–1107. doi: 10.1175/1520-0469(1968)025<1095:atotqb>2.0.co;2

16. Holton, J. R. An updated theory for the quasi-biennial cycle of the tropical stratosphere [Text] / J. R. Holton, R. S. Lindzen // *Journal of the Atmospheric Sciences*. – 1972. – Vol. 29, Issue 6. – P. 1076–1080. doi: 10.1175/1520-0469(1972)029<1076:autftq>2.0.co;2

17. Maruyama, T. The quasi-biennial oscillation (QBO) and equatorial waves – A Historical review [Text] / T. Maruyama // *Papers in Meteorology and Geophysics*. – 1997. – Vol. 48, Issue 1. – P. 1–17. doi: 10.2467/mripapers.48.1

18. Reed, R. J. Evidence of a downward propagating annual wind reversal in the equatorial stratosphere [Text] / R. J. Reed, W. J. Campbell, L. A. Rasmussen, D. G. Rogers // *Journal of Geophysical Research*. – 1961. – Vol. 66, Issue 3. – P. 813–818. doi: 10.1029/jz066i003p00813

19. Ebdon, R. N. Notes on the wind flow at 50mb in tropical and subtropical regions in January 1957 and in 1958 [Text] / R. N. Ebdon // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. – 1960. – Vol. 86, Issue 370. – P. 540–542. doi: 10.1002/qj.49708637011

20. Kistler, R. The NCEP/NCAR 50-year Reanalysis: Monthly CD-ROM and Documentation [Text] / R. Kistler, W. Collins, S. Saha, G. White, J. Woollen, E. Kalnay, M. Chelliah, W. Y. Ebisuzaki, M. Kanamitsu, V. N. Kousky, H. van den Dool, R. Jenne, M. Fiorino // *Bulletin of the American Meteorological Society*. – 2001. – Vol. 82, Issue 2. – P. 247–266. doi: 10.1175/1520-0477(2001)082<0247:tnnyrm>2.3.co;2

21. Закс, Ш. Теория статистических выводов [Текст] / Ш. Закс. – М.: Мир, 1975. – 776 с.

22. Скворцов, А. В. Метод триангуляции Делоне [Текст] / А. В. Скворцов. – М.: Недра, 1981. – 256 с

23. База данных о состоянии озоносферы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://woudc.org>

24. Houghton, J. T. The stratosphere and mesosphere [Text] / J. T. Houghton // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. – 1978. – Vol. 104, Issue 439. – P. 1–29. doi: 10.1002/qj.49710443902

25. Виды струйных течений и их особенности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://big-archiv.ru/geogrphy/generala-tmosphericcirculation/20.php>

26. Sherhag, R. Die explosionartigen stratospheraner warmings des apatwinters 1951–1952 [Text] / R. Sherhag // *Ber. Deut. Wetterd.* – 1952. – Vol. 6. – P. 51–53.

27. Matsuno, T. A dynamic model of stratospheric warmings [Text] / T. Matsuno // *J. Atmos. Sci.* – 1971. – Vol. 100. – P. 1479–1494.

28. Мохов, И. И. Квазидвухлетняя цикличность температурного режима атмосферы и тенденции ее изменения [Текст] / И. И. Мохов, В. А. Безверхний, А. В. Елисеев // *Изв. РАН, серия «Физика атмосферы и океана»*. – 1997. – Т. 33, № 5. – С. 579–587.

29. Холопцев, А. В. Роль изменений солнечной активности и состояния озоносферы в глобальном затемнении земной атмосферы [Текст] / А. В. Холопцев, М. П. Никифорова // *ScienceRise*. – 2014. – Т. 5, № 1 (5). – С. 23–35. doi: 10.15587/2313-8416.2014.29735

### References

1. Labitzke, K., van Loon, H. (1999). *The Stratosphere*. N. Y.: Shpringer-Verlag, 179.

2. Kiss, P., Müller, R., Jánosi, I. M. (2007). Long-range correlations of extrapolar total ozone are determined by the global atmospheric circulation. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 14 (4), 435–442. doi: 10.5194/npg-14-435-2007

3. Mohanokumar, K.; Alekseev, G. V. (Ed.) (2011). *Vozduhoobmen mezhdu troposferoi i stratosferoi*. Moscow: FIZMATLIT, 451.



4. Bekoriukov, V. I., Glazkov, V. I., Kokin, G. A. (2009). Dolgovremennye izmeneniia global'nogo ozona. Izvestiia RAN seriia «Fizika atmosfery i okeana», 45 (5), 607–616.
5. Holton, J. R. (1995). Stratosphere-troposphere exchange. *Rev. Geophysics*, 33, 403–439.
6. Pogosian, H. P. (1972). Obshchaia tsirkulatsiia atmosfery. Lviv: Gidrometeoizdat, 394.
7. Obuhov, A. M. (1988). Turbulentnost' i dinamika atmosfery. Lviv: Gidrometeoizdat, 413.
8. Pinus, N. Z. (1986). O vnutrennih volnah i turbulentnosti v troposfere i nizhnei stratosfere. *Meteorologiya i gidrologiia*, 1, 5–13.
9. Hairullina, G. R., Astaf'eva, M. (2011). Kvazidvuhlenie kolebaniia v atmosfere Zemli. Obzor: nabliudenie i mehanizmy formirovaniia. Moscow: IKI RAN, 1–60.
10. Sitnov, S. A. (2004). QBO effects manifesting in ozone, temperature, and wind profiles. *Ann. Geophys.*, 22 (5), 1495–1512. doi: 10.5194/angeo-22-1495-2004
11. Angell, J. K., Korshover, J. (1964). Quasi-biennial variations in temperature, total ozone and tropopause height. *J. Atmospheric Science*, 21, 479–492. doi: 10.1175/1520-0469(1964)021<0479:qbvitt>2.0.co;2
12. Bezverhni, V. A., Gruzdev, A. N. (1988). Dolgovremennye variatsii kvazidvuhletnei sostavliaiushchei tsiklichnosti atmosfernogo ozona i ekvatorial'nogo stratosfernogo vetra. *Doklady AN*, 363 (1), 110–113.
13. Koskins, B., Pirs, R. (Eds.) (1988). Krupnomasshtabnye dinamicheskie protsessy v atmosfere. Moscow: Izdatel'stvo "Mir", 428.
14. Baza dannyh o znacheniiakh indeksa QBO. Available at: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>
15. Lindzen, R. S., Holton, J. R. (1968). A theory of the quasi-biennial oscillation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 25, 1095–1107. doi: 10.1175/1520-0469(1968)025<1095:atotqb>2.0.co;2
16. Holton, J. R., Lindzen, R. S. (1972). An updated theory for the quasi-biennial cycle of the tropical stratosphere. *J. Atmospheric Science*, 29, 1076–1080.
17. Maruyama, T. (1997). The Quasi-Biennial Oscillation (QBO) and Equatorial Waves-A Historical Review. *Papers in Meteorology and Geophysics*, 48 (1), 1–17. doi: 10.2467/mripapers.48.1
18. Reed, R. J., Campbell, W. J., Rasmussen, L. A., Rogers, D. G. (1961). Evidence of a downward-propagating, annual wind reversal in the equatorial stratosphere. *Journal of Geophysical Research*, 66 (3), 813–818. doi: 10.1029/jz066i003p00813
19. Ebdon, R. A. (1960). Notes on the wind flow at 50 mb in tropical and sub-tropical regions in January 1957 and January 1958. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 86 (370), 540–542. doi: 10.1002/qj.49708637011
20. Kistler, R., Collins, W., Saha, S., White, G., Woolen, J., Kalnay, E., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M., Kousky, V., van den D. H., Jenne, R., Fiorino, M. (2001). The NCEP/NCAR 50-year Reanalysis: Monthly CD-ROM and Documentation. *Bull. American Meteorological Soc.*, 82 (2), 247–266. doi: 10.1175/1520-0477(2001)082<0247:tnnyrm>2.3.co;2
21. Zaks, Sh. (1975). Teoriia statisticheskikh vyvodov. Moscow: Mir, 776.
22. Skvortsov, A. V. (1981). Metod triangulatsii Delone. Moscow: Nedra, 256.
23. Baza dannyh o sostoianii ozonosfery. Available at: <http://woudc.org>
24. Houghton, J. T. (1978). The stratosphere and mesosphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 104 (439), 1–29. doi: 10.1002/qj.49710443902
25. Vidy strujnyh techenij i ih osobennosti. Available at: [http://big-archiv.ru/geogrfy/general atmospheric circulation/20.php](http://big-archiv.ru/geogrfy/general%20atmospheric%20circulation/20.php)
26. Sherhag, R. (1952). Die explosion sartigen stratospheraner warmings des apatwinters 1951–1952. *Ber. Deut. Wetterd.*, 6, 51–53.
27. Matsuno, T. (1971). A dynamic model of stratospheric warmings. *Atmos. Sci.*, 100, 1479–1494.
28. Mohov, I. I., Bezverhni, V. A., Eliseev, A. V. (1997). Kvazidvuhletniaia tsiklichnost' temperaturnogo rezhima atmosfery i tendentsii ee izmeneniia. *Izv. RAN, seriia «Fizika atmosfery i okeana»*, 33 (5), 579–587.
29. Holoptsev, A. V., Nikiforova, M. P. (2014). The role of solar activity variations and ozonosphere state as global dimming of earth's atmosphere. *Science Rise*, 5/1 (5), 23–35. doi: 10.15587/2313-8416.2014.29735

*Дата надходження рукопису 19.06.2015*

**Холопцев Александр Вадимович**, доктор географических наук, заведующий кафедрой, профессор, кафедра Судовождения и безопасности мореплавания, Севастопольская морская академия, ул. Рыбаков, 7-а, г. Севастополь, 99055  
E-mail: kholoptsev@mail.ru

**Никифорова Мария Павловна**, кандидат географических наук, старший преподаватель, кафедра Судовождения и безопасности мореплавания, Севастопольская морская академия, ул. Рыбаков, 7-а, г. Севастополь, 99055  
E-mail: maha.ukraine@gmail.com