

В.Е. Кадыгров, Е.А. Жадин

## АНОМАЛИИ И ТРЕНДЫ СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА в 1979–1992 гг.

*Московский физико-технический институт  
Центральная аэрологическая обсерватория*

Поступила в редакцию 30.03.98 г.

Принята к печати 29.10.98 г.

На основе спутниковых измерений прибором TOMS (версия 7) исследованы среднемесячные аномалии и тренды общего содержания озона с особым вниманием к их долготной структуре для различных сезонов в 1979–1992 гг. в глобальном масштабе. В отличие от [1, 2] рассчитаны линейные тренды содержания озона; проведен анализ межгодовых аномалий при помощи расчетов нескольких первых эмпирических ортогональных функций, которые описывают наиболее существенные черты межгодовой изменчивости. Показано, что аномалии и тренды содержания озона имеют значительные долготные вариации, особенно зимой–весной, в средних и высоких широтах Северного полушария, когда стационарные планетарные волны могут проникать в стратосферу. Обнаружено, что наряду с глобальным истощением озонового слоя наблюдаются локальные положительные тренды содержания озона в некоторых регионах (например, в январе к северо-западу от Гренландии и в июле к югу от побережья Южной Африки), которые могут быть связаны с межгодовыми вариациями волновой активности стратосферы. Обсуждается влияние долгопериодных вариаций в системе «океан–атмосфера» на межгодовые и десятилетние изменения озонового слоя.

**Введение**

Многочисленные наблюдения [3] показали, что в течение последних двух десятилетий происходит непрерывное истощение озонового слоя. Межгодовые вариации озона в атмосфере сильно меняются в зависимости от времени года, широты и долготы, что свидетельствует о том, что не только антропогенные факторы влияют на истощение озонового слоя, но и естественные долгопериодные изменения атмосферы могут играть значительную роль в наблюдаемых трендах озона. Механизм долгопериодных естественных вариаций озонового слоя связан с межгодовыми и десятилетними (декадными) изменениями волновой активности атмосферы, особенно с вихревым переносом озона и тепла стационарными планетарными волнами [4–6]. Ранее были проведены оценки трендов общего содержания озона либо на основе измерений наземной сети станций [7], либо с помощью спутниковых наблюдений [2]. Результаты показали, что наибольшие отрицательные тренды содержания озона наблюдаются в области озоновой дыры над Антарктикой, на средних и высоких широтах Северного полушария в зимне-весенний период. Был также проведен анализ связей вариаций содержания озона с известными геофизическими индикаторами: долгопериодными трендами, причина которых а priori полагалась связанной с антропогенными воздействиями; квазидвухлетним циклом; индексом Южной Осцилляции, описывающим явления Эль-Ниньо/Ла-Ниньо, и 11-летним циклом солнечной активности [1, 2]. Заметим, что результаты регрессионного анализа [1, 2] по выделению реакции озонового слоя к этим геофизическим индикаторам могут содержать некоторые неопределенности из-за влияния других неизвестных факторов во взаимодействующей системе «океан–атмосфера» [4, 8] на аномалии озонового слоя. В основном результаты этих исследований были представлены для зонально средних

значений, не анализируя долготные неоднородности трендов и межгодовые вариации содержания озона.

Цель данной работы – исследовать на основе спутниковых данных TOMS межгодовые аномалии и тренды общего содержания озона для различных сезонов и провести анализ их долготной структуры.

**Данные и метод расчета**

Для расчетов мы использовали спутниковые измерения содержания озона прибором TOMS (версия 7) с разрешением по долготе и широте  $1,25 \times 1^\circ$  для 1979–1992 гг. Сравнение с данными измерений наземной сетью показало их хорошее соответствие в пределах  $2 \div 4\%$  ошибок [3], но в отличие от наземной сети спутниковые данные позволяют проводить анализ в глобальном масштабе. Использовались среднемесячные данные и рассчитывались отклонения (аномалии) от среднего за 1979–1992 гг. для каждого месяца, учитывая большие сезонные различия межгодовых вариаций и трендов содержания озона. Для исследования трендов необходимо использовать однородный ряд данных, поэтому мы ограничились анализом вариаций озона в 1979–1992 гг., после которого измерения прибором TOMS были прекращены [3].

Массив данных представляет собой функцию  $f(x, y, m, t)$ , где  $x$  – долгота,  $y$  – широта,  $m$  – месяц,  $t$  – год. Рассчитывались средние для каждого месяца содержания озона для  $n = 14$  лет

$$\bar{f}(x, y, m) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n f(x, y, m, t) \quad (1)$$

и их аномалии

$$f'(x, y, m, t) = f(x, y, m, t) - \bar{f}(x, y, m). \quad (2)$$

Рассчитаны линейные тренды с помощью следующей процедуры. Пусть имеем данные наблюдений  $y_1, y_2, \dots, y_n$  в моменты времени  $1, 2, \dots, n$ . Уравнение регрессии можно представить в виде

$$y = \bar{y} + \hat{\omega}(t - \bar{t}), \quad (3)$$

где

$$\bar{y} = (1/n) \sum_{i=1}^n y_i; \quad \bar{t} = (n + 1)/2,$$

а наклон линейной регрессии (скорость тренда) может быть записан как

$$\hat{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^n (t - \bar{t})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (t - \bar{t})^2}. \quad (4)$$

Отклонения от реальных данных определяются

$$r_i = y_i - [\bar{y} + \hat{\omega}(t - \bar{t})].$$

Степень свободы  $n - 2$  и дисперсия равны

$$s^2 = \frac{1}{n - 2} \sum_{i=1}^n r_i^2.$$

Стандартная ошибка оценок тренда

$$SE(\hat{\omega}) = s / \sqrt{\sum_{i=1}^n (t - \bar{t})^2}. \quad (5)$$

Можно показать [9], что оценки тренда статистически значимы на 95%-м уровне при удвоении стандартной ошибки  $\hat{\omega} \pm 2SE(\hat{\omega})$ , т.е. на  $2\sigma$  уровне.

В отличие от [1, 2] при расчетах мы заранее не предполагали каких-либо связей вариаций озона с известными антропогенными или естественными факторами. Удаление высокочастотных сезонных флуктуаций проводилось путем расчетов аномалий и трендов содержания озона для каждого отдельного месяца в течение 1979–1992 гг.

Для того чтобы выделить основные закономерности эволюции озонового слоя, были рассчитаны несколько первых эмпирических ортогональных функций (ЭОФ) [10] аномалий содержания озона для зимы–весны Северного и Южного полушарий. Эти расчеты могут быть полезны для исследований связей наблюдаемых аномалий озонового слоя с долгопериодными естественными [8, 5, 11] и антропогенными изменениями параметров атмосферы и океана и для оценок их относительного вклада в тренды озона в различных регионах земного шара.

### Результаты расчетов

На распределение озона в атмосфере и его межгодовые вариации большое влияние оказывают процессы переноса, как упорядоченного, так и вихревого. Стационарные планетарные волны, которые проникают из

тропосферы в стратосферу в зимне-весенний период, вызывают долготные неоднородности в распределении общего содержания озона. Генерация стационарных планетарных волн происходит благодаря орографическому и термическому возбуждению, которое зависит от долгопериодных изменений температуры океана. Межгодовые и декадные изменения волновой активности атмосферы могут приводить к значительным вариациям в распределении озона, в том числе и во время образования озоновой дыры над Антарктикой [5, 11–13]. Поэтому долготная асимметрия проявляется не только в межгодовых вариациях содержания озона, но и в трендах озона, особенно в зимне-весенний период.

На рис. 1 показаны рассчитанные по (4) скорости изменений содержания озона (тренд) в 1979–1992 гг. для некоторых месяцев. Видно, что в основном тренды отрицательные, т.е. в 1979–1992 гг. происходило глобальное уменьшение озонового слоя. Наиболее сильное уменьшение озона (до 30–50% от уровня конца 70-х гг.) произошло над Антарктикой в области озоновой дыры в сентябре–октябре. В Северном полушарии в январе максимум отрицательных трендов наблюдается над Северной Атлантикой, Европой, Россией, Алеутами, а также в средних широтах США. Оценки стандартных ошибок (5) показали, что эти тренды являются статистически значимыми на 95% уровне вероятности. В феврале происходит усиление отрицательных трендов в средних и высоких широтах Северного полушария. Заметим, что в январе наблюдаются небольшие положительные тренды  $1 \pm 2$  е.Д./г. содержания озона к северо-западу от Гренландии.

Наблюдается внутрисезонная изменчивость областей с положительными трендами озона, например в декабре небольшое увеличение озона произошло северо-восточнее Каспийского моря в 1979–1992 гг. Анализ показал, что эти положительные тренды не являются статистически значимыми. Слабые положительные тренды  $\sim 0,5$  е.Д./г. наблюдаются также в отдельных регионах и летом в Северном полушарии. В Южном полушарии (сентябрь–октябрь) наблюдаются очень большие отрицательные тренды озона над Антарктикой и несколько меньшие в средних–высоких широтах, которые почти зонально симметричны.

Положительные тренды  $\sim 0,5$  е.Д./г. имеют место зимой и в высоких широтах Южного полушария. Так, в июле в области южнее побережья Южной Африки в 1979–1992 гг. наблюдалось некоторое увеличение содержания озона, в то время как в остальных регионах высоких широт происходило уменьшение озона. Заметим также, что истощение озонового слоя происходило не только зимой–весной, но и в другие сезоны как в Северном, так и в Южном полушариях.

На рис. 2 показаны рассчитанные аномалии содержания озона в 1979–1992 гг. для  $55^\circ$  с.ш. в январе и марте и их поведение в отдельных точках Северного полушария с ярко выраженными отрицательными и положительными трендами озонового слоя. Анализ показал, что по мере удаления от экватора долготные неоднородности аномалий увеличиваются в зимне-весенний период, что может быть объяснено влиянием планетарных волн на вихревой перенос озона, который усиливается во внутритропической стратосфере.

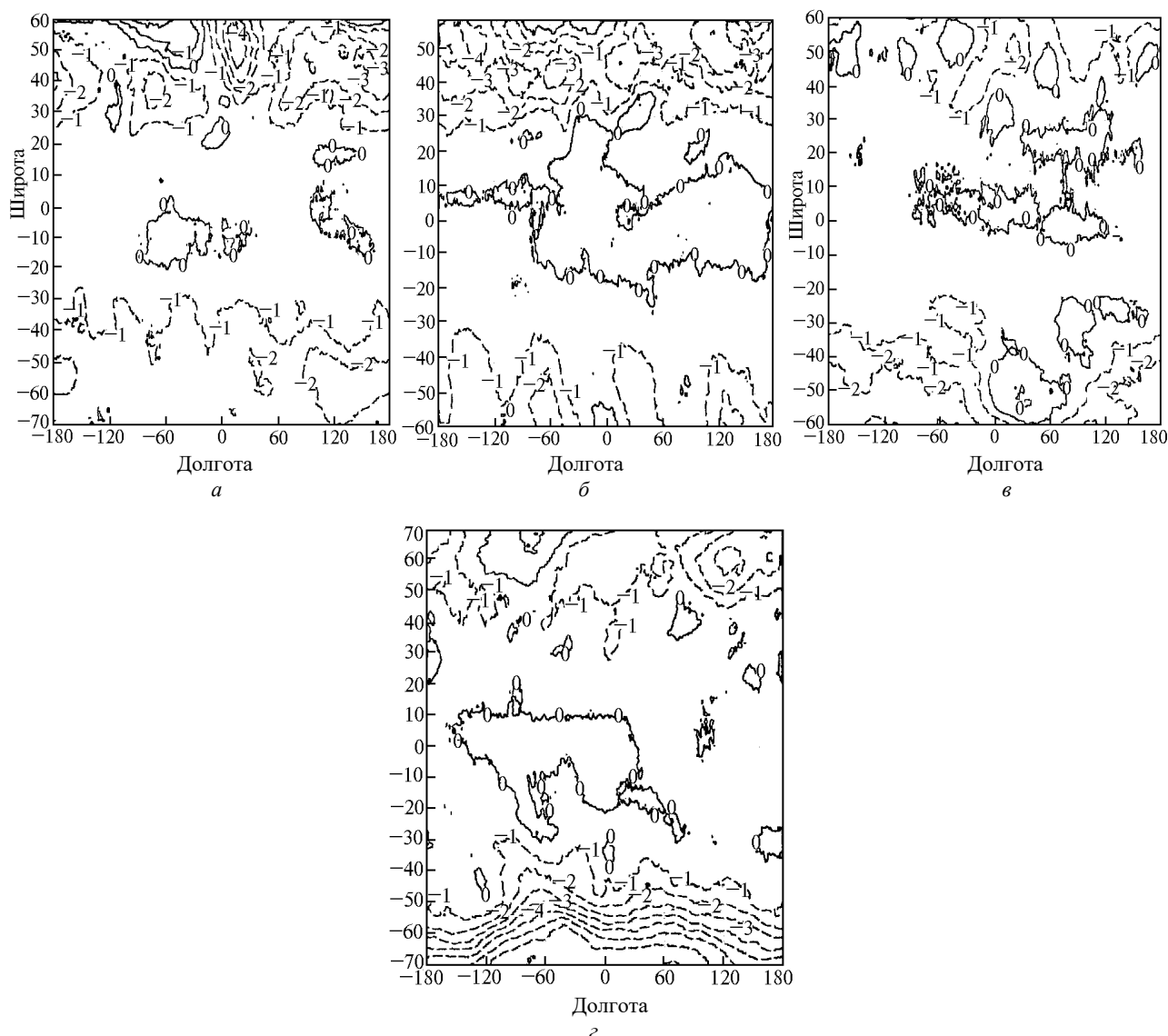


Рис. 1. Тренды содержания озона, е.Д./г., для января (а), февраля (б), июля (в) и октября (з) в 1979–1992 гг.

Области с пониженным содержанием озона часто соседствуют с областями с повышенным содержанием. Так, например, в январе 1985 г. наблюдались низкие содержания озона над Аляской и высокие – над Северной Атлантикой. В другие годы, например в январе–марте 1983 и 1992 гг., отрицательные аномалии имеют почти зональный характер, так же как и положительные аномалии в январе–марте 1982 и марте 1981 гг. Нужно отметить, что имеются внутрисезонные различия межгодовых аномалий содержания озона. Интересно, что положительные тренды в области к северо-западу от Гренландии (рис. 1, а) связаны с низкими значениями в январе (марте) 1979 г. и высокими значениями в январе 1982, 1985 и 1991 гг. (1981, 1986 и 1989 гг.). Отрицательные тренды озона в Восточной Сибири вблизи Якутска усилились после 1992 г. [14].

Рис. 3 показывает структуру и зависимость от времени коэффициентов двух первых эмпирических ортогональных функций среднемесячных аномалий содержания озона, которые дают наибольший вклад в межгодовую изменчивость озона Северного полушария в январе и марте. Первая ЭОФ

для января (ее вклад составляет 31,5% от общей изменчивости) связана с долгопериодным трендом озона (см. рис. 1, а), в то время как структура второй ЭОФ (27,9% изменчивости) имеет дипольный по долготе характер севернее 40° с.ш. Наблюдаются противоположные по знаку «качания» изменений содержания озона между Северным и Тихим океанами (особенно Алеутами), Аляской, с одной стороны, и Гренландией, Северной Атлантикой, Европой и Россией – с другой.

В поведении коэффициента второй ЭОФ ясно выражен сигнал, связанный с квазидвухлетней циклическостью (КДЦ), который виден также и в долгопериодном тренде коэффициента первой ЭОФ. Сравнение поведения коэффициента второй ЭОФ с фазой зонального ветра на 30–50 гПа экваториальной области (Сингапур) показало, что для январей 1979–1986 гг. западный (восточный) ветер на Сингапуре соответствует максимумам (минимумам) коэффициента второй ЭОФ, т.е. западная (восточная) фаза экваториального КДЦ связана с уменьшением (увеличением) КДЦ озона в средних и высоких широтах Северного полушария, особенно над Северной Атлантикой.

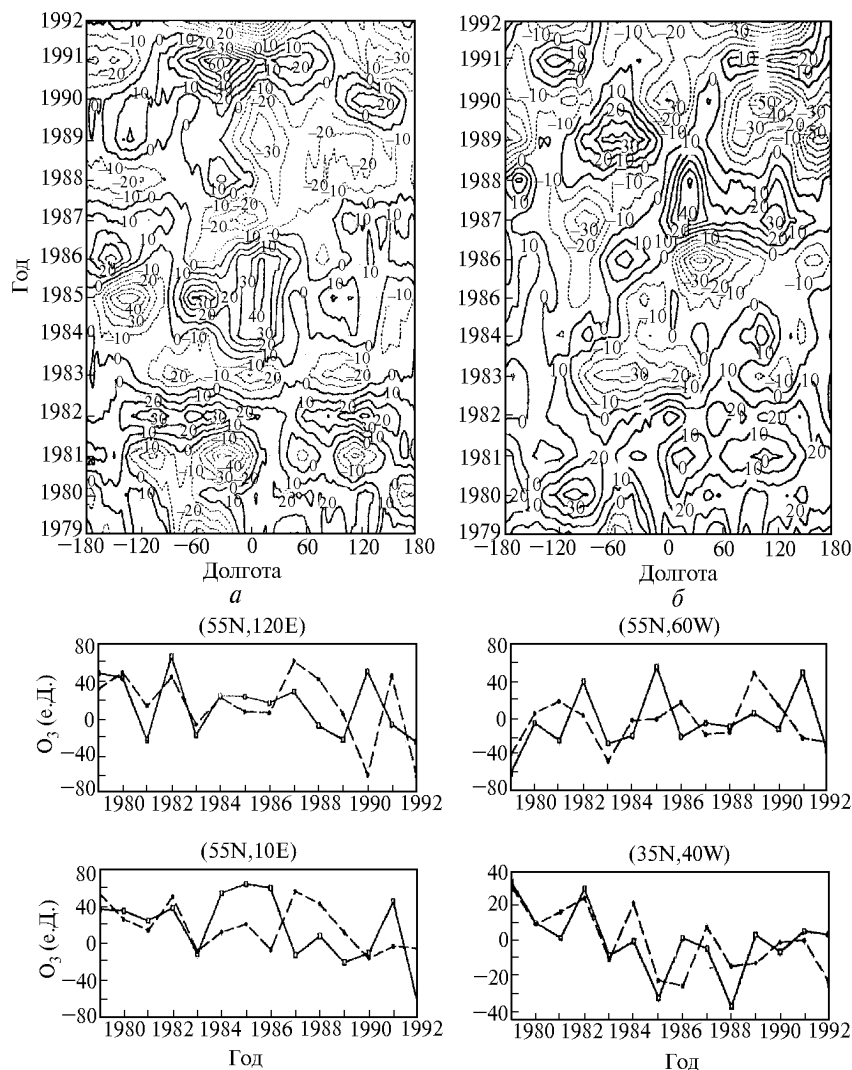


Рис. 2. Среднемесячные аномалии содержания озона для января (а) и марта (б) на 55° с.ш. и их поведение в отдельных регионах для января (сплошная линия) и марта (пунктир)

Над Алеутами наблюдается противоположная связь. Однако после 1986 г. такая связь аномалий содержания озона с экваториальными КДЦ зонального ветра нарушается, что может быть объяснено долгопериодным изменением связей циркуляции экваториальной стратосферы и циркуляции средних и высоких широт после 1986–1987 гг. [13]. В основном аномалии озона, показанные на рис. 2, могут быть объяснены конструктивной или деструктивной интерференцией первой и второй ЭОФ, например большие положительные аномалии на 55° с.ш., 60° з.д. в январе 1985 г. вызваны конструктивной (суммарным положительным вкладом) интерференцией первой и второй ЭОФ, в то время как максимум озона в январе 1991 г. связан главным образом с вкладом второй ЭОФ. Заметим, что поведение коэффициента ЭОФ2 в марте напоминает временную изменчивость ее в январе, так же как и структуру, но с противоположным знаком.

Квазидвухлетние вариации озона в средних и высоких широтах Северного полушария имеют ясно выраженный дипольный характер изменчивости по долготе, знак которого меняется от января к марту. Таким образом, если вторая ЭОФ аномалий озона связана с КДЦ озонового слоя, то должны наблюдаться противоположные по знаку

«качания» изменчивости содержания озона над Северной частью Тихого и Атлантическим океанами, причем для большинства лет (1979–1992) знаки изменений содержания озона в этих регионах противоположны в январе и марте.

На рис. 4 показаны аномалии содержания озона для июля и октября в Южном полушарии, где наблюдается меньшая долготная асимметрия аномалий и трендов озона по сравнению с Северным полушарием. Амплитуда межгодовых изменений озона над Антарктикой весной больше, чем соответствующие значения в высоких широтах Северного полушария, что связано с большими отрицательными трендами в области озоновой дыры над Антарктикой. Положительные тренды содержания озона в области южнее побережья Южной Африки (рис. 1, в) вызваны в основном увеличением озона в июле 1988 и особенно 1992 г. (рис. 4, в). Низкие содержания озона наблюдались в октябре 1979 г. вблизи 45° ю.ш., 120° з.д. в южных широтах Тихого океана, с чем связаны слабые положительные тренды в октябре (рис. 1, з).

Удивительно, но структуры первой (35,99%) и второй (17,4%) ЭОФ аномалий содержания озона для зимы (июль) Южного полушария (рис. 5) напоминают (с точностью до

знака) структуры соответствующих ЭОФ январских аномалий Северного полушария. Также имеет место «пятно» в области 50–55° ю.ш., 5–45° в.д. с положительными трен-

дами озона (см. рис. 1, в) для первой ЭОФ и дипольная по долготе структура второй ЭОФ в средних и высоких широтах Южного полушария.

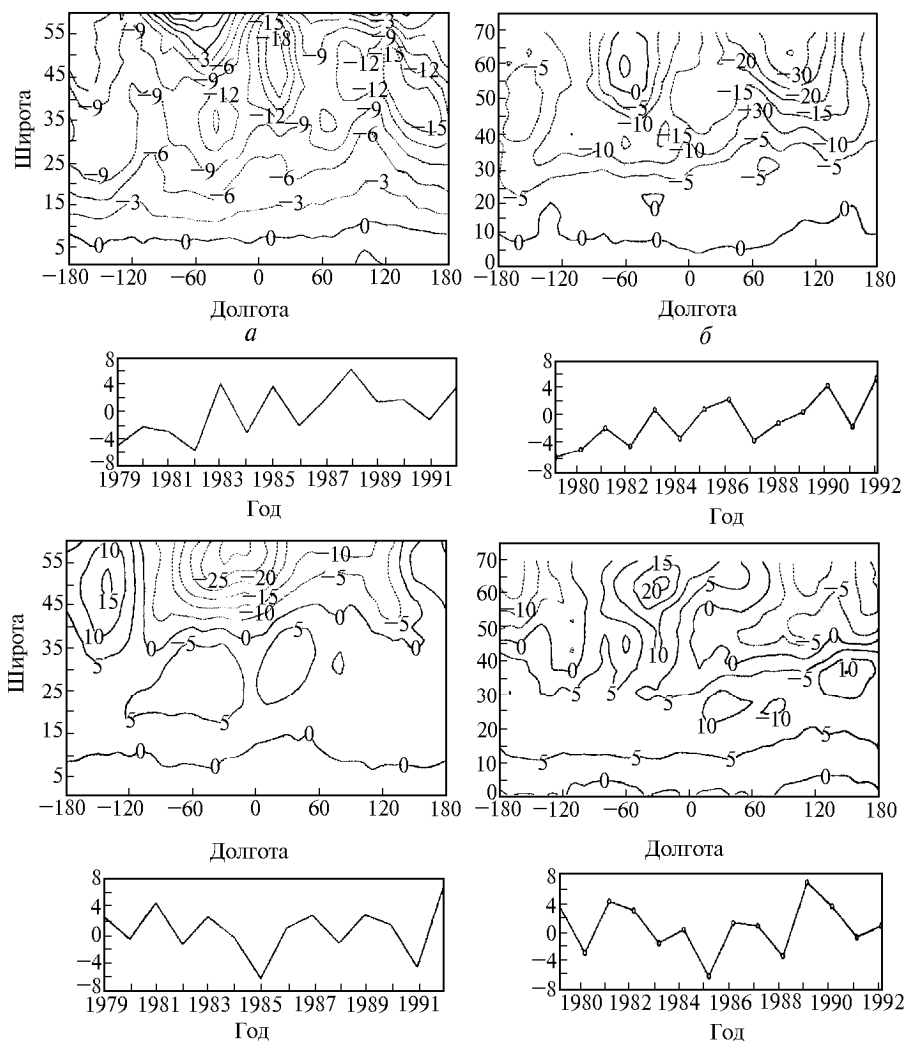


Рис. 3. Структура первых (вверху) и вторых (внизу) эмпирических ортогональных функций аномалий содержания озона, е.д., для января (а), марта (б) и межгодовые изменения их коэффициентов

Очень высокие содержания озона наблюдались в июле 1988 г. южнее побережья Южной Африки (рис. 4, а), когда имеет место конструктивная интерференция вкладов ЭОФ1 и ЭОФ2 (см. рис. 5). Третья ЭОФ (14,86%) (не показано) дает сильный положительный (отрицательный) вклад в июле 1980, 1988, 1992 гг. (июле 1989 г.) в южной части Индийского океана. Сравнение поведения коэффициента ЭОФ2 для июля с фазой КДЦ экваториального ветра на 30–50 гПа (Сингапур) показало, что максимумы (минимумы) коэффициента в основном соответствуют восточной (западной) фазе КДЦ, однако имеются нарушения этой связи, особенно для июля 1988 г., когда была западная фаза экваториального КДЦ.

В основных чертах подобная картина наблюдается и для октября. Первая ЭОФ (56,67%) имеет сильный отрицательный минимум на восточном побережье Антарктики и слабый локальный положительный максимум в южных средних и высоких широтах Тихого океана. Поведение коэффициента ЭОФ1 хорошо согласуется с эволюцией

озоновой дыры в Антарктике [3] и рассчитанными в [1, 11] коэффициентами первой ЭОФ для зонально средних аномалий содержания озона в глобальном масштабе.

Вторая ЭОФ (23,77%) имеет дипольный характер, наблюдается долгопериодный тренд ее коэффициента с резкими изменениями в 1981–1982 и 1991–1992 гг. Западная (восточная) фаза КДЦ экваториального зонального ветра на Сингапуре [15] согласуется с максимумами (минимумами) коэффициента ЭОФ2 для октября, однако снова наблюдаются нарушения этих связей, особенно заметные в 1987–1988 г. Нужно подчеркнуть, квазидвухлетний сигнал присутствует и в поведении других ЭОФ, поэтому существуют трудности в идентификации квазидвухлетнего цикла озона.

### Обсуждение

Сезонно-широтное распределение рассчитанных трендов содержания озона качественно согласуется с результатами более ранних исследований [1, 2], несмотря на

различия в методике расчетов. Наибольшие отрицательные тренды озона наблюдаются в области озоновой дыры над Антарктикой, на средних и высоких широтах Северного полушария в зимне-весенний период. Долготная структура трендов также удовлетворительно согласуется с общими чертами результатов расчетов, опубликованных в [7]. Однако существуют некоторые различия между нашими результатами и [7] как для Северного, так и Южного полушарий, особенно связанные с наличием положительных трендов общего содержания озона. Причинами этих различий могут быть и усреднение результатов расчетов в [7] за 4 месяца (декабрь–март), и отличия в методике расчета трендов, упомянутые выше.

Существование регионов с положительными трендами содержания озона ставит вопрос о причинах изменений озонового слоя. Химические механизмы могут

приводить лишь к уменьшению озона в нижней стратосфере при увеличении эмиссий фреонов и галонов в атмосферу (по крайней мере на современном уровне знаний о гетерогенных реакциях). Кроме того, рост содержания озона наблюдается только в отдельных регионах, что может свидетельствовать о динамических причинах такого увеличения озона. Заметим, что положительные тренды озона имеют место в области климатического минимума активности планетарных волн и минимума содержания озона. Поэтому разумно предположить, что причиной появления положительных трендов озона в январе к северо-западу от Гренландии являются межгодовые и декадные изменения активности стационарных планетарных волн, которые связаны с долгопериодными вариациями во взаимодействующей системе «океан–атмосфера».

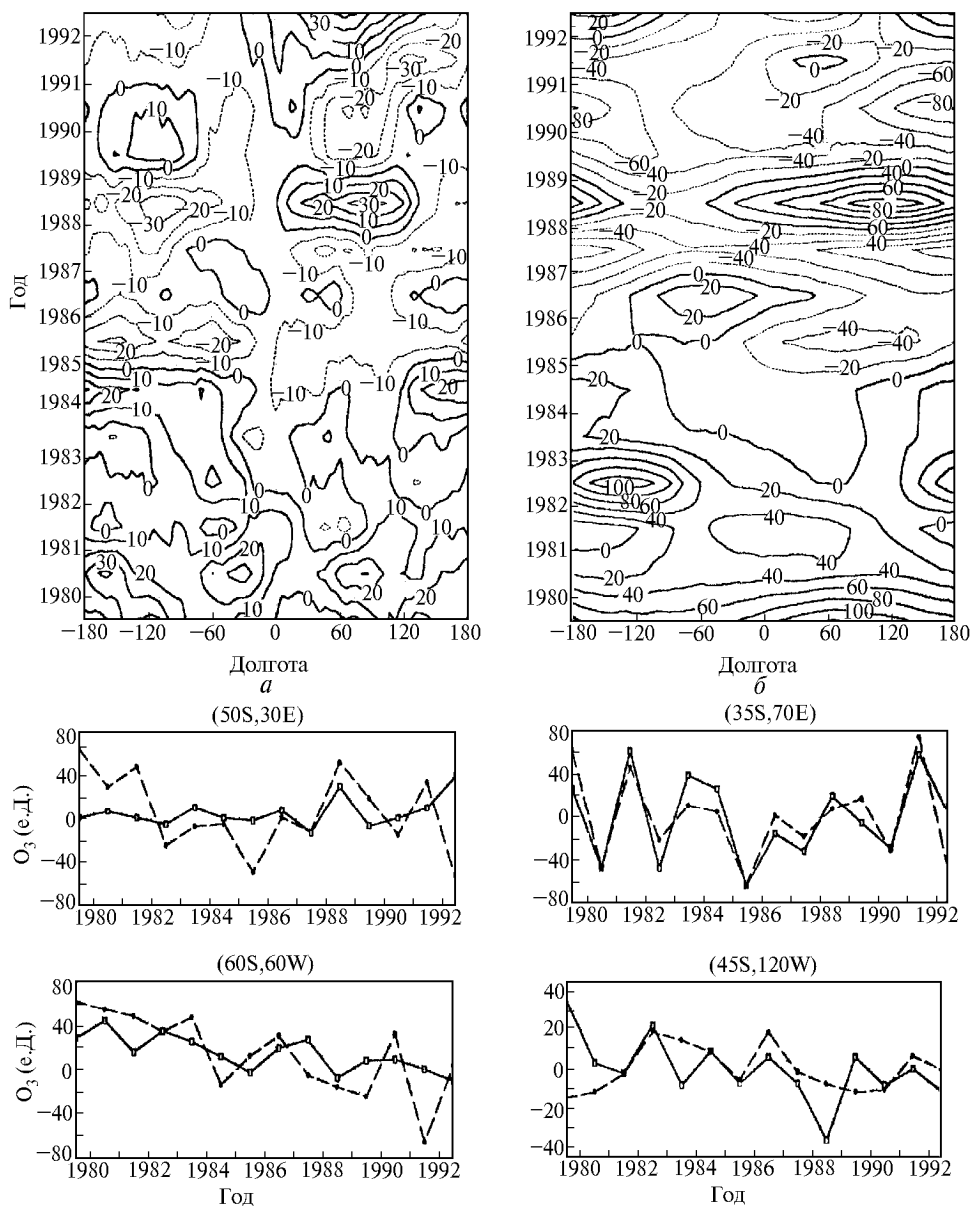


Рис. 4. Среднемесячные аномалии содержания озона для июля (а) на 55° ю.ш. и октября (б) на 75° ю.ш. и их поведение в отдельных регионах для июля (сплошная линия) и октября (пунктир)

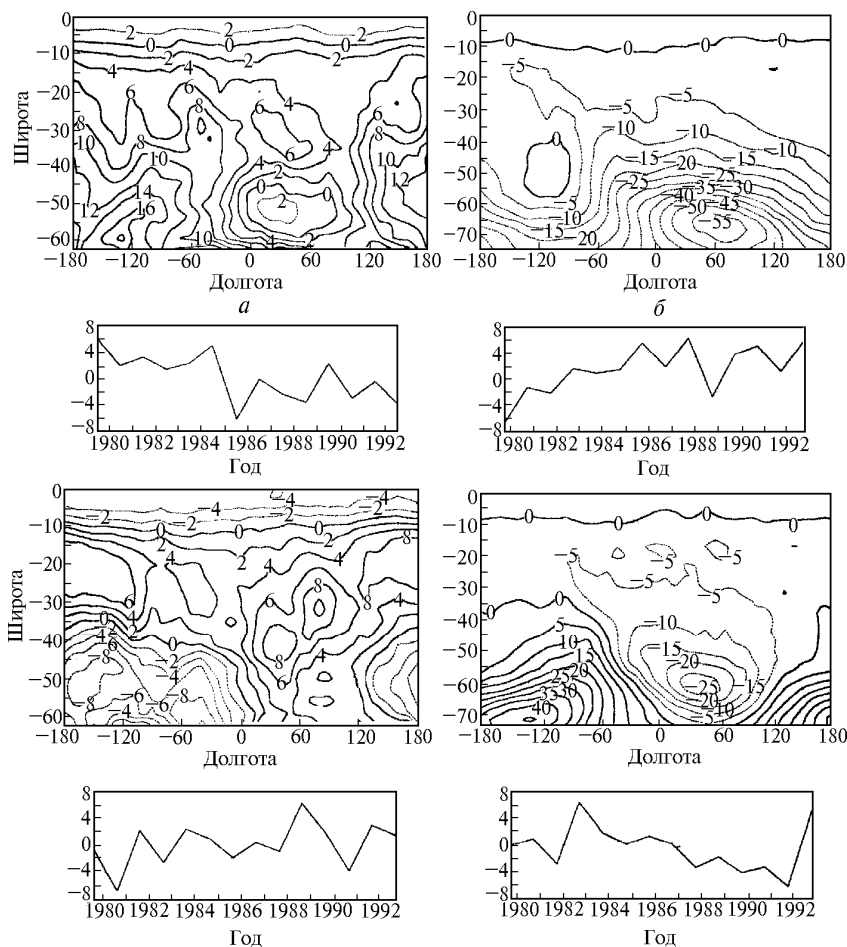


Рис. 5. Структура первых (вверху) и вторых (внизу) эмпирических ортогональных функций аномалий содержания озона, е.д., для июля (а), октября (б) и межгодовые изменения их коэффициентов

Тренбет [16] показал, что в конце 70-х гг. произошел резкий переход к новому режиму в межгодовых вариациях давления на уровне моря в северной части Тихого океана в холодные сезоны. Этот междекадный климатический сдвиг может быть связан с более частыми явлениями Эль-Ниньо в последние два десятилетия по сравнению с предыдущими десятилетиями 20-го века. Анализ спутниковых изменений вариаций уровня моря и температуры поверхности океана (ТПО) [17] обнаружил, что десятилетием позднее сильного Эль-Ниньо 1982–1983 гг. его эффекты проявляются в северной части Тихого океана, приводя к сдвигам течения Курошио. Это, в свою очередь, может приводить к декадным изменениям волновой активности и циркуляции тропосферы и особенно стратосферы благодаря изменениям термического источника стационарных планетарных волн [4], которые проникают в стратосферу в зимне-весенний период. Существование предпочтительных регионов с отрицательными и положительными трендами озона также может быть связано с долгопериодными изменениями волновой активности стратосферы. Так, при анализе изменения трехмерных потоков Элиассена-Пальма в [18] было показано, что появление и траектории движения областей с аномально низкими содержаниями озона (озоновых мини-дыр) над Северной Атлантикой, Европой и Сибирью тесно связаны с изменениями направлений распространения и интенсивности вихревых процессов переноса в течение зим 1986 и 1987 гг.

Отметим, что в средних широтах Северного полушария над Тихим и Атлантическим океанами наблюдается долгопериодная (с периодом 10–12 лет) цикличность параметров атмосферы [19]. Лабитцке и Ван Луун предположили, что причиной этих декадных осцилляций может быть влияние 11-летнего цикла солнечной активности. Однако в [20] приведены аргументы в пользу того, что реальной причиной этих осцилляций являются десятилетние вариации ТПО Атлантики и Тихого океана, которые могут изменять активность стационарных планетарных волн и вихревого переноса озона на межгодовых и декадных временных масштабах. Анализ аномалий ТПО Северной Атлантики за 90 лет [21] показал, что в их спектре присутствуют декадные осцилляции. Ограниченность во времени (14 лет) измерений содержания озона прибором TOMS не позволяет в настоящее время детально исследовать связи декадных изменений ТПО Мирового океана и озонового слоя. Однако в [8] были обнаружены сильные корреляционные связи межгодовых аномалий температуры поверхности Северной Атлантики с изменениями содержания озона над Европой по данным наземной сети, так же как аномалий ТПО центральной части Тихого океана с развитием озоновой дыры над Антарктикой [22–24] в зимне-весенний период. Связи долгопериодных изменений давления в центре Азорского антициклона и его миграций с межгодовыми вариациями содержания озона в Европе также подчеркивают большую роль декадных естественных процессов в трендах озона [25].

Прямым подтверждением того, что наблюдаемые изменения озонового слоя, в том числе и появление озоновой дыры в Антарктике, могут быть инициированы долгопериодными вариациями динамических процессов переноса в стратосфере, являются результаты анализа связей межгодовых аномалий содержания озона и стратосферного углового момента [5, 11–13]. Было показано, что летом 1980 г. в субтропиках нижней стратосферы произошел резкий переход от восточных аномалий зонального ветра к сильным западным аномалиям, которые постепенно распространились к высоким широтам зимой–весной, следуя так называемой V-структуре [5, 26].

Долгопериодные возмущения циркуляции атмосферы возникают сначала вблизи экватора и затем медленно (в течение нескольких лет) распространяются к полярным районам Южного и Северного полушарий. Эти аномалии циркуляции стратосферы начиная с первой половины 80-х гг. достигли окрестностей Антарктики, вызвав сильную изоляцию полярного вихря, охлаждение нижней стратосферы и создав благоприятные условия для образования полярных облаков и гетерогенных реакций, в результате которых произошли химическое разрушение озонового слоя и появление озоновой дыры. Для того чтобы оценить относительное воздействие долгопериодных естественных изменений в системе «океан–атмосфера» и антропогенных факторов на озоновый слой, необходимы дальнейший анализ и теоретические исследования с использованием моделей общей циркуляции атмосферы и океана, которые в параметризованном виде могли бы описывать химию озонового слоя.

Авторы выражают благодарность Ю.А. Борисову (ЦАО) за предоставленный банк данных TOMS и Н.А. Дианскому (ИВМ, РАН) за консультацию в проведении расчетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке НАСА (США), грант NAG 5-3495.

1. *Randel W.J., Cobb J.B.* Coherent variations of monthly total ozone and lower stratospheric temperature // *J. Geoph. Res.* 1994. V. 99. P. 5433–5447.
2. *Stolarski R.S., Bloomfield P., McPeters R.D., Herman J.R.* Total ozone trends deduced from Nimbus-7 TOMS data // *Geoph. Res. Lett.* 1991. V. 18. P. 1015–1018.
3. *WMO*, 1995. International Report No. 37 «Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994», Geneva.
4. *Жадин Е.А.* Планетарные волны и межгодовые аномалии озона в полярных районах // *Известия АН СССР. Сер. ФАО.* 1990. V. 26. P. 1156–1160.
5. *Жадин Е.А.* Распространение долгопериодных аномалий зональной динамики стратосферы // *Метеорология и гидрология.* 1996. № 7. С. 36–48.
6. *Hood L.L., Zaff D.A.* Lower stratospheric stationary waves and the longitude dependence of ozone trends in winter // *Journ. Geoph. Res.* 1995. V. 100. P. 25791–25800.
7. *WMO/UNEP*, 1991 International Report No. 25 «Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1991». Geneva.
8. *Жадин Е.А.* Межгодовые вариации озона над Европой и аномалии температуры океана в Атлантике // *Метеорология и гидрология.* 1992. № 7. С. 22–26.

9. *Ozone Trends Panel.* 1988. Report No. 18. WMO.
10. *Paixoto J.P., Oort A.H.* // *Physics of Climate.* New York, 1992.
11. *Жадин Е.А., Дианский Н.А.* Анализ межгодовых вариаций общего содержания озона и циркуляции стратосферы // *Метеорология и гидрология.* 1997. № 9. С. 25–35.
12. *Jadin E.A.* Influence of interannual variations of stratospheric dynamics in model simulations of ozone losses by aircraft emissions // *Proceedings of the International Colloquium «Impact of Aircraft Emissions upon the Atmosphere».* Paris, 15–18 October, 1996.
13. *Jadin E.A., Diansky N.A.* Interannual variations of total ozone and stratospheric dynamics // *Proceedings of the first SPARC General Assembly, Melbourne, Australia, 2–6 December, 1996, WMO/TD – No. 814.* P. 606–609.
14. *Дорохов В.М., Потанова Т.Е., Гутайл А., Померро Ж.-П.* Исследование отрицательной аномалии общего содержания озона в области восточносибирского озонового максимума в зимне-весенний период 1995 г. // *Метеорология и гидрология.* 1996. № 6. С. 53–61.
15. *Garcia R., Solomon S.* A possible relationship between interannual variability in Antarctic ozone and quasi-biennial oscillation // *Geoph. Res. Lett.* 1987. № 14. P. 848–851.
16. *Trenberth K.E.* Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere // *Bull. Amer. Met. Soc.* 1990. V. 71. № 7. P. 988–993.
17. *Jacobs G.A., Hurlburt H.E., Kindle J.C., Metzger E.J., Mitchell J.L., Teague W.J., Wallace A.J.* Decade-scale trans-Pacific propagation and warming effects of an El Niño anomaly // *Nature.* 1994. V. 370. P. 360–363.
18. *Жадин Е.А., Петушков Н.Д.* Диагностика аномалий озона в Северном полушарии // *Метеорология и гидрология.* 1993. № 6. С. 57–61.
19. *Labitzke K., van Loon H.* Association between the 11-year solar cycle, the QBO, and the atmosphere, Part I: The troposphere and the stratosphere in the Northern Hemisphere // *J. Atm. Terr. Phys.* 1988. № 50. P. 197–206.
20. *Жадин Е.А.* Долгопериодная цикличность температуры поверхности океана, температуры нижней стратосферы и озона в умеренных широтах // *Метеорология и гидрология.* 1993. № 5. С. 52–59.
21. *Deser C., Blackmon M.L.* Surface climate variations over the North Atlantic ocean during winter: 1900–1989 // *J. Climate.* 1993. № 6. P. 1746–1753.
22. *Angell J.K.* Relation of Antarctic 100 mb temperature and total ozone to equatorial QBO, equatorial SST, and sunspot number, 1958–87 // *Geoph. Res. Lett.* 1988. № 16. P. 915–918.
23. *Kodera K., Yamazaki K.* A possible influence of the sea surface temperature on recent development of ozone hole // *J. Met. Soc. Japan.* 1989. V. 67. № 3. P. 465–472.
24. *Komhyr W.D., Oltmans S.J., Grass R.D., Leonard R.K.* Possible influence of long-term sea surface temperature anomalies in the tropical Pacific on global ozone // *Canadian Journ. of Physics.* 1991. № 11. P. 1093–1102.
25. *Бекорюков В.И., Бугаева И.В., Захаров Г.П., Кошельков Ю.П., Криволицкий А.А., Тарасенко Д.А.* Исследование параметров Азорского антициклона, влияющих на вариации озона в Западной Европе // *Известия РАН. Сер. ФАО.* 1998. Т. 31. С. 41–45.
26. *Dickey J.O., Marcus S.L., Hide R.* Global propagation of interannual fluctuations in atmospheric angular momentum // *Nature.* 1992. № 357. P. 484–488.

*V.E. Kadigrov, E.A. Jadin. Anomalies and Trends in Ozone Content in 1979–1992.*

Using the satellite measurements of total ozone amounts TOMS (version 7) the monthly mean anomalies and trends were investigated on the global scale with a special attention to their longitudinal structure for the different months in 1979–1992. In contrast with the analyses [1, 2] the linear trends of total ozone were calculated, the analysis of the interannual variations was conducted by means of the calculations of the several empirical orthogonal functions that describe most substantial features of the interannual variability. It is shown that total ozone anomalies and trends have significant variations especially in middle and high latitudes of



the Northern Hemisphere during winter/spring, when the stationary planetary waves are able to penetrate into the stratosphere. Together with the global depletion of ozone layer, the local positive trends of total ozone are revealed in the some regions (for example, north-westward from Greenland in January and southward from South Africa in July), which can be associated with interannual and decadal variations of the stratospheric wave activity. The forcing of long-term changes in the ocean-atmosphere system on interannual and decadal variations of ozone layer is discussed.