

Изменчивость общего содержания озона над территорией России в 1973–2008 гг.

А.М. Звягинцев¹, Л.Б. Ананьев², А.А. Артамонова^{2*}

¹ГУ «Центральная аэрологическая обсерватория» Росгидромета
141700, г. Долгопрудный, Московск. обл., ул. Первомайская, 3

²Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ
123242, г. Москва, Большой Предтеченский пер., 9–13

Поступила в редакцию 15.06.2009 г.

По данным наземной сети озонметров М-124 и спутниковых наблюдений с помощью аппаратуры TOMS и SBUV проведен анализ изменчивости общего содержания озона над территорией России в 1973–2008 гг.

Ключевые слова: озоновый слой, общее содержание озона, долговременные изменения, тренды; ozone layer, total ozone, long-term changes, trends.

Из всех характеристик озонового слоя наибольшее внимание уделяется общему содержанию озона (ОСО), измеряемому наземными сетями и со спутников [1–5]. Анализ временных рядов наблюдений ОСО позволяет получить информацию о влиянии, которое ОСО испытывает под воздействием различных гелио- и геофизических факторов. К числу наиболее сильных факторов относятся атмосферные колебания: арктическое колебание (или североатлантическое) (АК или САК соответственно) и квазидвухлетние колебания (КДК) [5, 6]. Эти колебания претерпевают как кратковременные (в частности, периодические), так и долговременные (с характерным временем 10 лет и более) изменения.

Кроме того, на ОСО могут оказывать влияние долговременные изменения газового состава атмосферы, обусловленные, в частности, антропогенными выбросами. Это влияние описывается многочисленными химико-транспортными моделями (ХТМ) [1, 7, 8]. Однако качество описания наблюдаемой изменчивости озонового слоя этими моделями в настоящее время оказывается не лучше качества описания статистическими моделями [3, 4, 9–11], в которых влияние изменений газового состава атмосферы описывается кусочно-линейной функцией от времени.

Анализ изменчивости озонового слоя над столь обширными регионами, как Россия, позволяет определять пути переноса озона в атмосфере [5]. Ряд особенностей изменений озонового слоя над территорией России рассмотрен в отечественных публикациях [2, 5, 12, 13], однако до уровня, позволяющего прогнозировать эти изменения, еще далеко. В настоящей статье проведен сравнительный анализ изменчи-

вости ОСО над территорией России в 1973–2008 гг. и ряда гелио- и геофизических факторов.

Для анализа были использованы среднемесячные данные отдельных станций (С.-Петербург, Большая Елань, Москва, Омск, Екатеринбург, Якутск, Петропавловск-Камчатский, Красноярск, Воронеж – у этих станций наиболее длинные ряды наблюдений и наименьшее число пропусков) Российской наземной озонметрической сети в период 1973–2003 гг., находящиеся в архиве WOUDC (<http://www.woudc.org>), оперативные данные этих станций в период 2004–2008 гг. и данные спутниковых наблюдений США в 1978–2008 гг. с помощью аппаратуры SBUV и TOMS, усредненные по ячейкам 5° с.ш. × 10° в.д. (<http://hyperion.gsfc.nasa.gov>). Использована область спутниковых наблюдений, ограниченная координатами между 25 и 65° с.ш. и 30 и 170° в.д. Кроме того, в качестве влияющих факторов (регрессоров) использованы среднемесячные данные по индексам солнечной активности (СА) $F_{10,7}$, АК и КДК зональной скорости ветра в экваториальной стратосфере на уровне 30 гПа, оказывающим заметное влияние на изменчивость ОСО [1, 14].

Как и в большинстве работ [3, 4, 9–11, 14–17], анализ проведен с помощью метода множественной линейной регрессии [18] с использованием модели

$$\Delta X(m) = \text{const} + \text{Trend}(m) + \sum_i k_i(m) \text{Re}_i(m) + \text{res}(m), \quad (1)$$

где m – время, мес; $\text{Trend}(m)$ – тренд; $\Delta X(m) = X(m) - X_0(m)$ – отклонения (аномалии) наблюдаемых значений ОСО $X(t)$ от «норм» (многолетних средних) $X_0(m)$, представляемых в виде

$$X_0(m) = X_{00} + \sum_j \left[A_j \sin\left(\frac{2\pi j m}{12}\right) + B_j \cos\left(\frac{2\pi j m}{12}\right) \right]; \quad (2)$$

* Анатолий Михайлович Звягинцев (azvyagintsev@cao-rhms.ru); Леонид Борисович Ананьев (alb1980@mail.ru); Анна Александровна Артамонова (Sobchulya1@mail.ru).

$$k_i(m) = k_{i0} \left[1 + M_{is} \sin\left(\frac{2\pi m}{12}\right) + M_{ic} \cos\left(\frac{2\pi m}{12}\right) \right], \quad (3)$$

или в эквивалентном представлении:

$$k_i(m) = k_{i0} \left[1 + M_i \sin\left(\frac{2\pi j(m - m_{0i})}{12}\right) \right]; \quad (3')$$

$Re_i(m)$ – регрессоры (влияющие на ОСО факторы); const – постоянная (не равная 0, поскольку среднее не всех $Re_i(m)$ равно 0); $X_{00}, A_j, B_j, M_{is}, M_{ic}, M_i, m_{0i}$ – постоянные; $res(m)$ – остаток со средним, равным нулю, превращающийся после авторегрессии в «белый шум».

Суммирование в выражении (2) проведено по четырем гармоникам годового хода. Сезонная зависимость коэффициентов для влияющих факторов обусловлена неодинаковостью их влияния в различные сезоны. В ряде работ, например в [5], влияние рассчитывают отдельно для различных сезонов, но при этом существенно уменьшается число степеней свободы, используемых для получения оценок коэффициентов, и ухудшается точность этих оценок.

Считается, что тренд в соотношении (1) отражает влияние, главным образом, изменений химического состава атмосферы, а именно: Эквивалентную Эффективную концентрацию Стратосферного Хлора (ЭЭСХ), которая увеличивалась примерно до 1996 г., а с тех пор уменьшается [1, 3, 4, 10, 11]. В работах до 2000 г. тренд было принято представлять кусочно-линейным (в виде «хоккейной клюшки»): он считался нулевым до 1979 г. и линейным начиная с января 1979 г. [16, 18]. Предполагалось, что такая форма хорошо описывает содержание в стратосфере хлорфторуглеродов (ХФУ), считающихся основными разрушителями озонового слоя. Благодаря принятию в 1987 г. Монреальского протокола о сворачивании производства ХФУ их содержание в стратосфере после роста со второй половины 1990-х гг. стало уменьшаться.

В [19] показано, что в 1979–2000 гг. изменения ОСО происходили, скорее, по параболической форме. Квадратическое представление тренда позволило по данным наблюдений оценить сроки наступления минимальных ОСО в различных широтных поясах. Считается, что в последние годы уменьшение ЭЭСХ в стратосфере происходит примерно по линейному закону и тренд начиная с 1970-х гг. (точность наблюдений в более ранние периоды считается существенно худшей) обычно представляют в следующем виде [3–5, 10]:

$$\text{Trend}(m) = -K_1(m_0 - m)\theta(m_0 - m) + K_2(m - m_0)\theta(m - m_0), \quad (4)$$

где коэффициенты K_1 и K_2 – положительны, а тета-функция $\theta(x)$ равна 0, если $x < 0$, и равна 1, если $x > 0$. В качестве m_0 берут декабрь 1995 г. Целесообразность использования нами именно такой кусочно-линейной формы иллюстрируется рис. 1, где в период 1973–2007 г. хорошо просматривается характер долговременных изменений ОСО в различных

пространственных ячейках по данным TOMS-SBUV (причины пониженных значений ОСО в 2008 г. будут указаны ниже).

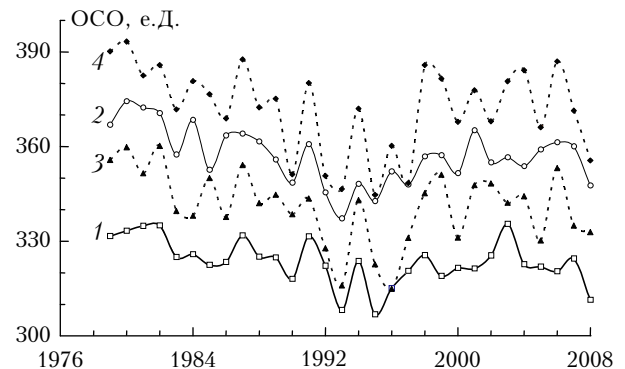


Рис. 1. Временной ход среднегодовых ОСО в географических ячейках: $(42,5 \pm 2,5)^\circ$ с.ш., $(45 \pm 5)^\circ$ в.д. – 1; $(62,5 \pm 2,5)^\circ$ с.ш., $(45 \pm 5)^\circ$ в.д. – 2; $(42,5 \pm 2,5)^\circ$ с.ш., $(135 \pm 5)^\circ$ в.д. – 3; $(62,5 \pm 2,5)^\circ$ с.ш., $(135 \pm 5)^\circ$ в.д. – 4 в период 1979–2008 гг. по данным TOMS-SBUV

Видно, что долговременные изменения ОСО в различных ячейках качественно сходны, количественно различаются лишь коэффициенты. В первом приближении можно считать, что в период до 1996 г. ОСО во всех областях над территорией России уменьшалось, а дальше возрастало.

Влияние на ОСО солнечной активности учтено традиционным способом – по индексу $F_{10,7}$ [18]. Временные ходы зональных экваториальных скоростей ветра на стандартных уровнях от 70 до 10 гПа, используемых в качестве характеристик КДК, очень близки к ходу гармонической функции с периодом ~29 мес. На разных уровнях они различаются, главным образом, амплитудой и фазой; максимум кросс-корреляционных функций КДК на разных уровнях достигает 0,8–0,95, а различия связаны, по-видимому, с погрешностями измерений и атмосферными шумами. Поэтому в регрессионном разложении ОСО роль КДК сводится к тому, чтобы убрать гармоники с основным периодом около 29 мес. В [20] использовали значения КДК на 5 уровнях, в [9, 16, 21] – на двух уровнях. По нашему мнению, достаточно использовать ряд КДК $QVO(m)$ на любом уровне (мы использовали «средний» уровень 30 гПа) совместно с его сдвинутым на 7 мес (примерно на $1/4$ периода) рядом $QVO^*(m) = QVO(m - 7)$.

Влияние на ОСО метеопараметров, определяющих АК (или САК), впервые обнаружено в [22, 23], а связь их долговременных изменений с изменениями ОСО отмечена в [24, 25]. Наибольшее влияние АК (САК) в холодный период года на ОСО проявляется в умеренных и высоких широтах [6, 25]. Время максимального влияния связано с периодом максимальной активности планетарных волн, способствующей переносу озона из нижней тропической стратосферы в арктическую [26]. На рис. 2 представлен коэффициент корреляции между годовыми рядами средних за январь–март значений индекса АК и наблюдаемых среднемесячных значений ОСО

в различные месяцы для разных широтных поясов (качественно такой же ход наблюдается и для корреляции того же индекса АК и ОСО в отдельных ячейках).

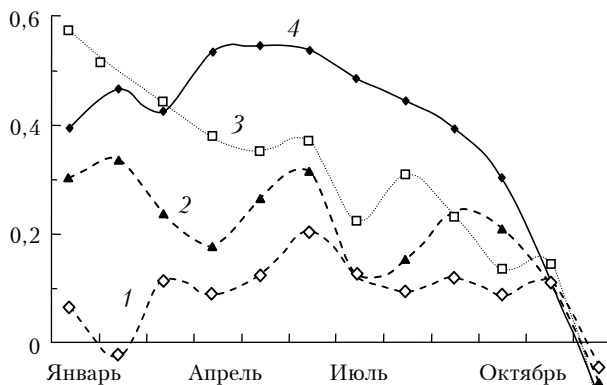


Рис. 2. Коэффициенты корреляции (с обратным знаком) в различные месяцы межгодовых рядов (1979–2008 гг.) средних за период январь–март индексов АК и среднемесячных зональных средних ОСО для зональных поясов 25–30° с.ш. — 1; 35–40° с.ш. — 2; 45–50° с.ш. — 3; 55–60° с.ш. — 4

Видно, что в широтном поясе 55–60° с.ш. январское значение индекса АК в заметной степени определяет ОСО в течение практически всего года, уменьшаясь к его концу. Это влияние уменьшается с приближением по широте от полюса к экватору, поэтому чтобы учесть различное влияние АК на ОСО в течение года и его нелинейный характер, кроме обычного [3] ряда среднемесячных индексов $AO(m)$ в качестве регрессора использован ряд $AO1(m)$, в котором для всех месяцев одного года значения равны среднемесячному индексу АК за период с января по март. Для иллюстрации временных ходов использованных регрессоров на рис. 3 приведен их ход на ограниченном интервале.

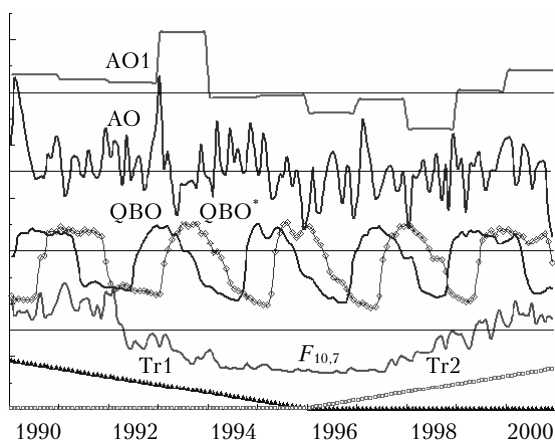


Рис. 3. Временные ходы использованных регрессоров

Таким образом, регрессионное соотношение (1) записывается в виде:

$$\Delta X(m) = \text{const} - K_1(m_0 - m)\theta(m_0 - m) + K_2(m - m_0)\theta(m - m_0) + k_{SA}(m)F_{10.7}(m) +$$

$$+ k_{QBO1}(m)QBO(m) + k_{QBO2}(m)QBO(m - 7) + k_{AO}(m)AO(m) + k_{AO1}(m)AO1(m) + \text{res}(m). \quad (1')$$

Коэффициент детерминации представления временного ряда аномалий зональных средних значений ОСО по данным TOMS-SBUV по соотношению (1') составляет 0,76 для широтного пояса 25–30° с.ш. и монотонно уменьшается при движении к северу, достигая 0,47 для пояса 60–65° с.ш. Коэффициент детерминации представления временного ряда аномалий значений ОСО по данным TOMS-SBUV в различных ячейках заметно меньше: от 0,15 до 0,45, причем наибольшие значения наблюдаются там, где изменчивость аномалий ОСО наибольшая — над Республикой Саха (Якутия). По данным станций отечественной озонметрической сети, этот коэффициент существенно ниже, чем по данным TOMS-SBUV в близлежащих ячейках, что, вероятно, связано с их более низким качеством наблюдений [1]. Лишь у двух станций (Красноярск и Якутск) коэффициент детерминации выше 0,3, у двух станций он ниже 0,2; для сравнения: у западноевропейских станций, проводящих наблюдения ОСО с помощью спектрофотометров Добсона, соответствующий коэффициент детерминации находится на уровне 0,4.

На рис. 4 приведено географическое распределение среднегодовых трендов ОСО в период его общего уменьшения по данным TOMS-SBUV в различных ячейках.

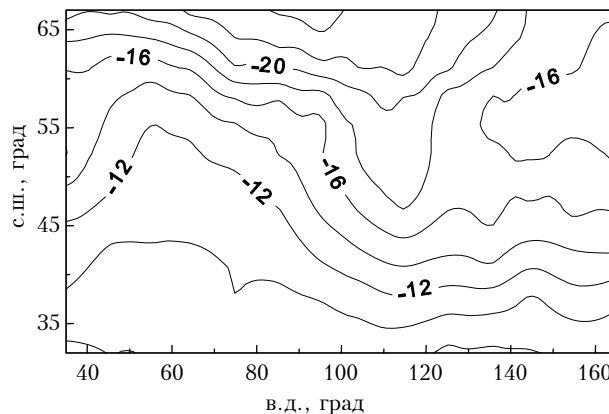


Рис. 4. Географическое распределение трендов ОСО (е.Д. за 10 лет) в 1979–1995 гг.

Максимальные тренды наблюдаются обычно в марте (что соответствует значению m_{0i} в соотношении (3'), близкому к 3), минимальные — в сентябре; в течение всего года тренды отрицательны. Географическое распределение отношения максимального и минимального в течение года трендов ОСО в период 1979–1995 гг. приведено на рис. 5.

Видно, что максимальные тренды больше минимальных примерно вдвое, максимальные отношения наблюдаются в районе Уральских гор и сразу за ними.

На рис. 6 приведено географическое распределение среднегодовых трендов ОСО по тем же данным в период его общего увеличения.

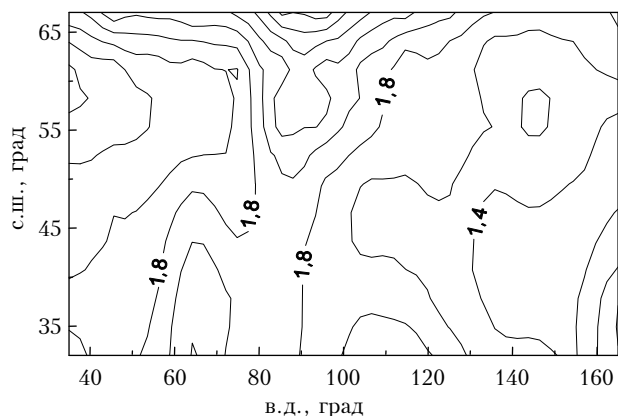


Рис. 5. Географическое распределение отношения трендов ОСО в 1979–1995 гг. в марте и сентябре

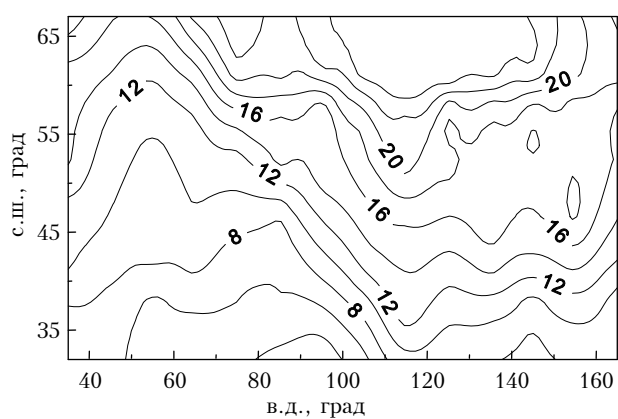


Рис. 6. Географическое распределение трендов ОСО (е.Д. за 10 лет) в 1996–2007 гг.

Видно, что значения положительного тренда в 1996–2007 гг. по абсолютной величине близки к значениям отрицательного тренда в 1979–1995 гг. Максимальные положительные тренды наблюдаются в конце зимы — начале весны.

Влияние солнечной активности на ОСО над Россией почти не зависит от сезона и географического положения и в максимуме может вызвать отклонение ОСО на 6–8 е.Д. (до 10). В отличие от этого влияния КДК и АК обнаруживают значительную зависимость как от сезона, так и от географического положения (широты и долготы). Максимальное влияние КДК и АК наблюдается в феврале–марте, т.е. вблизи периода, когда ОСО максимально. В согласии с известными результатами [27] КДК может быть ответственно за дефицит ОСО 25–35 е.Д.; АК в высоких широтах Северного полушария может давать еще большее уменьшение ОСО. На рис. 7 показано географическое распределение коэффициента (е.Д.), описывающего влияние АК на ОСО в марте по модели (1'), в предположении равенства мартовского и январского индексов АК.

С учетом того что индекс АК приближается к -3 , дефицит ОСО может достигать 40–50 е.Д.; на территории России он наибольший над северо-западной территорией Республики Саха (Якутия). Это, по-видимому, наряду с влиянием извержения влк. Пинатубо (в 1991 г.) внесло существенный вклад в аномалии

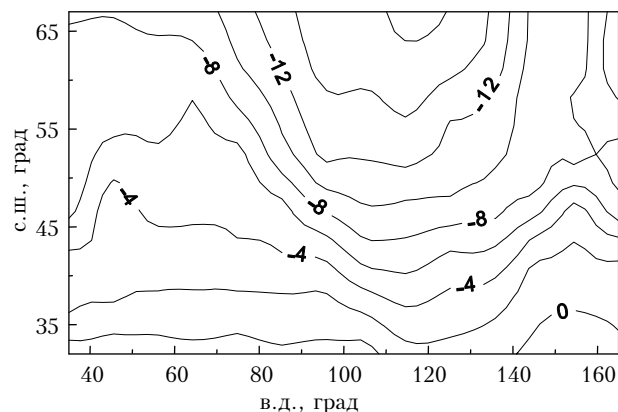


Рис. 7. Географическое распределение коэффициента (е.Д.), описывающего влияние 1 стандартного отклонения индекса АК на ОСО в марте

ОСО 1992 и 1993 гг. [28]. Стабильно высокий положительный индекс АК (0,6–1,0) в период с декабря 2007 по март 2008 г., а также западная фаза КДК, наблюдавшаяся в течение практически всего года, обусловили, по крайней мере, частично, низкое значение ОСО над территорией России и в 2008 г. Полученные результаты указывают, что перенос озона планетарными волнами из тропических в субарктические широты, наиболее интенсивный в холодный сезон, ослабевает во время отрицательных значений индекса АК и западной фазы КДК. Аномалии ОСО в северных широтах, образовавшиеся в холодный период, в основном сохраняются почти целый год до следующего зимнего всплеска волновой активности.

Сравнительный анализ точности измерений ОСО на станциях Российской озонметрической сети, оснащенной озонметрами М-124 и спутниковыми инструментами SBUV и TOMS, показал, что спутниковые наблюдения имеют более высокие метрологические характеристики. Преимущество заметно в большем сходстве данных наблюдений на близлежащих станциях (отдельных ячейках) и расчетных характеристик (например, времени достижения минимума среднегодовых ОСО и соотношения трендов в различные периоды времени), большем коэффициенте детерминации модели по соотношению (1). Спутниковые данные гораздо более пригодны для определения долговременных изменений озонового слоя и влияния описанных гелио- и геофизических факторов, чем данные Российской озонметрической сети. Тем не менее в отдельных пунктах наблюдений озонметры М-124 в основном правильно фиксируют кратковременные изменения ОСО и при оперативном контроле Российская озонметрическая сеть позволяет строить карты поля ОСО над территорией России [12].

Заключение

1. Временные ходы ОСО, измеренного спутниковой аппаратурой TOMS и SBUV в ячейках 5° с.ш. \times 10° в.д. над территорией России, и зональные средние в умеренных и высоких широтах Северного полушария, удовлетворительно описываются

регрессионной моделью, включающей кусочно-линейный тренд и три влияющих фактора: солнечную активность, квазидвухлетнее колебание зонального экваториального ветра на уровне 30 гПа и индекс арктического колебания. Коэффициент детерминации регрессионной модели отклонений ОСО от норм достигает 80% в зональном поясе 25–30° с.ш. и постепенно уменьшается до 35–45% при движении к зональному поясу 60–65° с.ш. и в отдельных ячейках над территорией России.

2. Коэффициенты, количественно описывающие влияние различных регрессоров на ОСО, кроме солнечной активности имеют значительный сезонный ход: наибольшее влияние наблюдается в конце зимы – начале весны, наименьшее – примерно через полгода. В частности, линейные тренды ОСО по абсолютной величине в холодный сезон примерно вдвое больше, чем в теплый.

3. Показано, что январское значение индекса АК в заметной степени обуславливает ОСО в течение почти всех последующих месяцев текущего года, особенно в высоких широтах Северного полушария. Признано целесообразным в качестве регрессора в дополнение к временному ходу среднемесячных индексов АК использовать модельный временной ход, учитывающий для всех месяцев года только январское значение индекса АК. В начале весны под воздействием АК над северными областями республики Саха (Якутия) дефицит ОСО может достигать 40–50 е.д. и более. Влияние КДК примерно в 1,5 раза слабее.

4. В период 1979–1995 гг. над территорией России повсеместно наблюдался отрицательный тренд ОСО, а в период 1996–2007 гг. – близкий к нему по абсолютной величине положительный. Такой положительный тренд ОСО в период 1996–2007 гг. не может быть связан с изменением в стратосфере концентраций соединений хлора и брома [8], а является, по-видимому, следствием происходящих в атмосфере климатических изменений [6, 19].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект № 08-05-90449.

1. WMO Ozone Report N 50. Scientific assessment of ozone depletion. 2006. Geneva, 2007.
2. Черников А.А., Борисов Ю.А., Звягинцев А.М., Крученицкий Г.М., Перов С.П. Изменчивость озонового слоя в период 1979–1999 гг. // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 1. С. 100–105.
3. Reinsel G.C., Miller A.J., Weatherhead E.C., Flynn L.E., Nagatani R.M., Tiao G.C., Wuebbles D.J. Trend analysis of total ozone data for turnaround and dynamical contributions // J. Geophys. Res. 2005. V. 110. D16306, doi:10.1029/2004JD004662.
4. Harris N.R.P., Kyro E., Staehelin J., Brunner D., Andersen S.-B., Godin-Beekmann S., Dhomse S., Hadjinicolaou P., Hansen G., Isaksen I., Jrrar A., Karpetchko A., Kivi R., Knudsen B., Krizan P., Lastovicka J., Maeder J., Orsolini Y., Pyle J.A., Rex M., Vanicek K., Weber M., Wohltmann I., Zanis P., Zerefos C. Ozone trends at northern mid- and high latitudes – a European perspective // Ann. Geophys. 2008. V. 26. N 5. P. 1207–1220. www.ann-geophys.net/26/1207/2008/

5. Тутова Е.А., Кароль И.Л., Шаламянский А.М., Клягина Л.П., Соломатникова А.А. Статистический анализ и сравнение эффектов внешних факторов, влияющих на поле общего содержания озона над территорией России в 1973–2007 гг. // Метеорол. и гидрол. 2009. № 7. С. 48–64.
6. Звягинцев А.М., Крученицкий А.М. О связях общего содержания озона в северном полушарии с атмосферными колебаниями // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2003. Т. 39. № 4. С. 505–509.
7. Fischer A.M., Schraner M., Rozanov E., Kenzelmann P., Schmidt Poberaj C., Brunner D., Lustenberger A., Luol B.P., Bodeker G.E., Egorova T., Schmutz W., Peter T., Broennimann S. Interannual-to-decadal variability of the stratosphere during the 20th century: ensemble simulations with a chemistry-climate model // Atmos. Chem. Phys. 2008. V. 8. N 24. P. 7755–7777. www.atmos-chem-phys.net/8/7755/2008/
8. Solomon S., Portmann R.W., Sasaki T., Hofman D.J., Thompson D.W.J. Four decades of ozonesonde measurements over Antarctica // J. Geophys. Res. 2005. V. 110. D21311; doi:10.1029/2005JD005917.
9. Krzyscin J.W., Jaroslowski J., Rajewska-Wiech B. Beginning of the ozone recovery over Europe? – Analysis of the total ozone data from the ground-based observations, 1964–2004 // Ann. Geophys. 2005. V. 23. N 5. P. 1685–1695.
10. Dhomse S., Weber M., Wohltmann I., Rex M., Burrows J.P. On the possible causes of recent increases in northern hemispheric total ozone from a statistical analysis of satellite data from 1979 to 2003 // Atmos. Chem. Phys. 2006. V. 6. N 2. P. 1165–1180. www.atmos-chem-phys.net/6/1165/2006/
11. Brunner D., Staehelin J., Maeder J.A., Wohltmann I., Bodeker G.E. Variability and trends in total and vertically resolved stratospheric ozone based on the CATO ozone data set // Atmos. Chem. Phys. 2006. V. 6. N 3. P. 4985–5008. www.atmos-chem-phys.net/6/4985/2006/
12. Звягинцев А.М., Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Кузнецова И.Н., Лезина Е.А., Романюк Я.О. Содержание озона над территорией Российской Федерации в 2008 г. // Метеорол. и гидрол. 2009. № 3. С. 102–109.
13. Кароль И.Л., Сыроваткина О.А., Соломатникова А.А., Шаламянский А.М. Анализ межгодовых изменений общего содержания озона над территорией России в 1973–2002 гг. по данным измерений наземных станций // Метеорол. и гидрол. 2006. № 3. С. 19–28.
14. Stolarski R.S., Bloomfield P., McPeters R.D., Herman J.R. Total ozone trends deduced from Nimbus 7 TOMS data // Geophys. Res. Lett. 1991. V. 18. N 6. P. 1015–1018.
15. Randel W.J., Cobb J.B. Coherent variations of monthly mean total ozone and lower stratospheric temperature // J. Geophys. Res. D. 1994. V. 99. N 3. P. 5433–5447.
16. Bojkov R., Fioletov V.E. Changes of the lower stratospheric ozone over Europe and Canada // J. Geophys. Res. D. 1997. V. 102. N 1. P. 1337–1347.
17. Andersen S.B., Weatherhead E.C., Stevermer A., Austin J., Bruehl C., Fleming E.L., de Grandpre J., Grewe V., Isaksen I., Pitari G., Portmann R.W., Rognerud B., Rosenfield J.E., Smyshlyayev S., Nagashima T., Velders G.J.M., Weisenstein D.K., Xia J. Comparison of recent modeled and observed trends in total column ozone // J. Geophys. Res. 2006. V. 111. D02303, doi:10.1029/2005JD006091.
18. WMO Ozone Report N 18. WMO/NASA International Ozone Trends Panel Report. 1988.
19. Звягинцев А.М., Крученицкий Г.М. Эволюция весенней антарктической озоновой аномалии: результаты

- наблюдений // Исслед. Земли из космоса. 2002. № 6. С. 10–18.
20. *Кадыгрова Т.В., Крученицкий Г.М.* Выделение трендов в парциальном давлении озона на различных высотах в атмосфере // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1995. Т. 31. № 1. С. 62–68.
 21. *Fioletov V.E., Bodeker G.E., Miller A.J., McPeters R.D., Stolarski R.* Global and zonal total ozone variations estimated from ground-based and satellite measurements: 1964–2000 // J. Geophys. Res. D. 2000. V. 107. N 22, 4647, doi:10.1029/2001JD001350.
 22. *Бекорюков В.И., Бугаева И.В., Захаров Г.Р., Косельков Ю.П., Тарасенко Д.А.* О связи Азорского воздействия и общего содержания озона над Западной Европой // Метеорол. и гидрол. 1994. № 5. С. 83–90.
 23. *Звягинцев А.М., Крученицкий Г.М.* О связях общего содержания озона в средних широтах Северного полушария с североатлантическим колебанием // Метеорол. и гидрол. 1996. № 7. С. 72–77.
 24. *Звягинцев А.М., Крученицкий Г.М.* Об оценках трендов общего содержания озона в Европе и их связях с изменениями общей циркуляции атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 1997. Т. 10. № 9. С. 1045–1052.
 25. *Thompson D.W.J., Wallace J.M., Hegerl G.C.* Annual modes in the extratropical circulation. Part II: trends // J. Climate. 2000. V. 13. N 5. P. 1018–1036.
 26. *Бекорюков В.И., Бугаева И.В., Захаров Г.Р., Курдюшов Б.М., Тарасенко Д.А.* Азорский антициклон, озон и метеорологические параметры тропосферы и стратосферы // Метеорол. и гидрол. 1995. № 7. С. 40–47.
 27. *Божков Р.Д., Фиолетов В.Э., Кадыгрова Т.В., Ромашкина К.И., Шаламянский А.М.* Оценка уменьшения озона над Европой в 1973–1995 гг. на основе откорректированных данных наблюдений фильтровых озонметров // Метеорол. и гидрол. 1995. № 9. С. 30–40.
 28. *Vojkov R.D., Zerefos C.S., Balis D.S., Ziomas I.C., Bais A.F.* Record low total ozone during northern winters of 1992 and 1993 // Geophys. Res. Lett. 1993. V. 20. N 13. P. 1351–1354.

A.M. Zvyagintsev, L.B. Ananiev, A.A. Artamonova. **Total ozone variability over the Russian territory during the period 1973–2008.**

Based on the data from the ground M-124 ozonometer network and TOMS/SBUV satellite-borne observations, total ozone variability over Russia during 1973–2008 is analyzed.