

М.А. Волкова, Г.О. Задде, И.В. Кужевская, А.И. Кусков

## СВЯЗЬ СУММАРНОГО ОЗОНА С АЭРОЗОЛЕМ НАД РОССИЕЙ

По данным измерений суммарного озона и спектральной прозрачности на 38 станциях России и сопредельных государств за период с 1973 по 1988 г. анализируется связь мелкодисперсной фракции аэрозоля с межмесячными изменениями суммарного озона.

Учитывая многофакторность изменения озона во времени и пространстве, а именно: влияние на общее содержание озона газового состава, циркуляции атмосферы, термического режима атмосферы, наличия аэрозоля и т.д., представляло интерес оценить связи между изменением в атмосфере аэрозоля и изменением суммарного озона. К настоящему времени накоплен обширный материал по суммарному озону, который измерялся на 45 станциях, расположенных в различных природных зонах России и сопредельных государств. Наблюдения за суммарным озоном с 1973 по 1988 г. опубликованы в справочнике «Общее содержание атмосферного озона...» [1].

В отличие от суммарного озона систематических и регулярных измерений аэрозоля на станциях озонометрической сети не проводилось. В этой связи для оценки характеристики аэрозоля были использованы косвенные методы. Из [12] вытекает, что отношение оптической плотности аэрозоля ( $\delta_{\lambda_1}$  и  $\delta_{\lambda_2}$ ) в один и тот же момент времени для двух длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  будет равно

$$\frac{\delta_{\lambda_1}}{\delta_{\lambda_2}} = \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{3-n}, \quad (1)$$

где  $n$  – параметр, который входит в формулу Юнге (2) и характеризует распределение аэрозольных частиц по размерам:

$$\frac{dN}{dr} = cr^{-n}, \quad (2)$$

где  $N$  – общее число аэрозольных частиц, радиус которых меньше  $r$ ;  $c$  – постоянная.

В [1] параметр Юнге рассчитан. Однако для его расчета использовались только две длины волны: 369 и 530 нм. Параметр  $n$  не должен зависеть от выбора пар длин волн; чем больше этих пар, тем точнее результат. Из теории математической статистики известно, что ошибка расчета  $n$  зависит от числа пар и убывает в  $\sqrt{N}$  раз, где  $N$  – число пар. Поэтому для расчета  $n$  применяем 6 длин волн, которые образуют 15 пар. Ошибка расчета параметра Юнге при этом уменьшилась в  $\sqrt{15}$  раз.

Оптическая плотность аэрозоля для каждой из 6 длин волн была получена по формуле

$$\delta_\lambda = \log T_\lambda - \beta_\lambda \frac{P}{P_0} - \alpha_\lambda X, \quad (3)$$

где  $T_\lambda$  – спектральная прозрачность;  $\beta_\lambda$  – рэлеевская оптическая толща;  $\alpha_\lambda$  – спектральный коэффициент поглощения озона;  $X$  – общее содержание озона.

Таким образом, были получены временные ряды суммарного озона и параметра Юнге. Предполагая, что изменения аэрозоля не влияют на годовой ход озона, на первом этапе обработки материала из массивов суммарного озона и величины  $n$  был удален годовой ход, затем был произведен переход от абсолютных значений  $X$  и  $n$  к их межмесячным изменениям. Полная выборка была разделена на два подмассива. В первый подмассив попали ситуации, когда уменьшение (увеличение) параметра Юнге соответствует уменьшению (увеличению) озона, и подмассив, когда отмечаются обратные изменения между  $n$  и озоном.

Таким образом, получилась последовательность первой и второй ситуаций, когда однонаправленность изменений сменяется разнонаправленностью. Для доказательства, что при эти последовательности неслучайны, был применен критерий серий. Для всех рассмотренных пунктов статистика критерия оказалась в три-четыре раза выше критической. Из этого следует, что полученные последовательности значительно отличаются от случайных и разделение общего массива на две ситуации является оправданным.

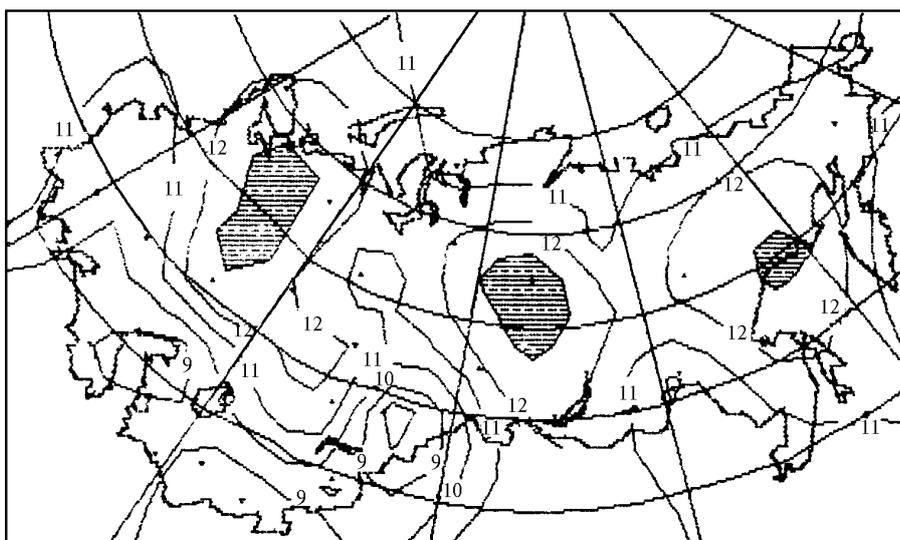
Было предположено, что изменения суммарного озона линейно зависят от изменения мелкодисперсной фракции аэрозоля. Поэтому для каждого подмассива были построены уравнения линейной регрессии. По ним были оценены значения межмесячного изменения озона под влиянием изменения параметра Юнге. В таблице представлена оценка связи мелкой части аэрозоля и суммарного озона.

Анализ таблицы показал, что практически на всех станциях наблюдается значимый коэффициент корреляции. Хорошую зависимость по первой выборке имеют станции Тикси (0,672), Воронеж (0,647), Красноярск (0,646). Значимая обратная зависимость наблюдается на станциях: Куйбышев (–0,671), Ханты-Мансийск (–0,655), Екатеринбург (–0,640).

Оценка вклада мелкодисперсной фракции аэрозоля в межмесячную изменчивость озона

Станция	$r_1$	$r_2$	$D_1$	$D_2$	$a_1$	$a_2$
О. Диксон	0,524	-0,507	403,34	572,5	10,515	12,122
О. Котельный	0,617	-550	259,83	332,01	9,953	10,028
Тикси	0,672	-0,459	271,82	373,23	11,080	8,863
Мурманск	0,469	-0,401	668,74	681,19	122,126	10,477
Архангельск	0,464	-0,517	811,19	506,41	13,202	11,625
Игарка	0,520	-0,518	547,37	559,08	12,173	12,242
Печора	0,488	-0,606	714,71	721,27	13,057	16,285
Ханты-Мансийск	0,436	-0,655	535,40	411,33	10,096	13,292
Оленек	0,534	-0,453	366,74	324,19	10,221	8,165
Тура	0,559	-0,415	618,34	656,52	13,892	10,644
Якутск	0,605	-0,475	434,58	381,28	12,614	9,275
Марково	0,488	-0,492	542,66	538,65	11,372	11,416
Нагаево	0,550	-0,520	584,76	569,80	13,299	12,423
Санкт-Петербург	0,616	-0,467	342,07	674,78	11,391	12,132
Рига	0,554	-0,444	345,52	362,39	10,292	8,461
Москва	0,587	-0,600	344,73	422,48	10,898	12,338
Куйбышев	0,628	-0,671	486,98	506,86	13,859	15,109
Екатеринбург	0,560	-0,640	433,59	379,92	11,664	12,466
Омск	0,533	-0,492	506,28	460,27	11,990	10,546
Красноярск	0,646	-0,529	347,57	786,90	12,044	14,840
Сковородино	0,633	-0,527	236,86	233,70	9,739	8,054
Иркутск	0,591	-0,534	444,41	467,05	12,453	11,534
Николаевск-на-Амуре	0,632	-0,578	399,89	429,39	12,646	11,986
Владивосток	0,609	-0,533	292,88	337,41	10,428	9,795
Петропавловск-Камчатский	0,513	-0,593	386,88	393,45	10,083	11,760
Киев	0,543	-0,489	437,20	403,49	11,359	9,814
Львов	0,576	-0,494	354,66	364,24	10,848	9,429
Одесса	0,531	-0,590	372,23	377,51	10,251	11,459
Воронеж	0,647	-0,481	357,85	397,30	12,248	9,589
Караганда	0,609	-0,594	306,23	285,56	10,660	10,035
Гурьев	0,492	-0,505	302,45	265,55	8,550	8,237
Аральское море	0,552	-0,538	337,45	202,24	10,146	7,658
Семипалатинск	0,531	-0,481	192,13	284,58	7,355	8,118
Алма-Ата	0,574	-0,513	274,75	236,39	9,512	7,8877
Тбилиси	0,531	-0,508	291,99	264,29	9,076	8,258
Чарджоу	0,573	-0,636	200,69	177,76	8,116	8,476
Душанбе	0,599	-0,635	187,68	224,14	8,205	9,507
Ашхабад	0,563	-0,441	293,92	203,96	9,655	6,304

Примечание.  $r_1$  и  $r_2$  – коэффициенты корреляции изменчивости параметра Юнге и изменчивости суммарного озона по первой и второй выборкам;  $D_1$ ,  $D_2$  – общая дисперсия изменчивости по первой и второй выборкам;  $a_1$  и  $a_2$  – величина среднеквадратического отклонения озона, обусловленная изменением мелкодисперсной фракции аэрозоля.



Изменчивость суммарного озона, обусловленная межмесячными изменениями аэрозоля в нижней тропосфере (по первой выборке)

Пространственная структура параметра  $a_1$ , отражающего однонаправленные изменения суммарного озона под влиянием мелкодисперсной фракции аэрозоля, представлена на рисунке. Изолинии показывают величины среднеквадратического отклонения, а очаги максимума – что на данной территории изменения суммарного озона обусловлены наличием большого количества мелко дисперсной фракции аэрозоля. Изменения зависят также от счетной концентрации аэрозоля, но мы рассматривали параметр Юнге как показатель именно мелкодисперсной фракции аэрозоля.

Кроме статистической обусловленности зависимости изменения озона от изменения мелкодисперсной фракции аэрозоля их можно объяснить и физически.

Аэрозоль сосредоточен, главным образом, в пограничном слое [3, 4], в этой связи он представляет собой защитный экран от озоноразрушающих веществ антропогенного происхождения. В то же время увеличение мелкой части аэрозоля в стратосфере способствует разрушению озона. Поэтому ситуацию, когда имеют место однонаправленные изменения озона и параметра Юнге, можно физически интерпретировать как наличие мелкодисперсной фракции аэрозоля в пограничном слое, который выступает в роли катализатора химических реакций Cl-, Br-,

F-, S-содержащих веществ. Эти вещества являются газами, проникающими в стратосферу и способствующими разрушению озона. Таким образом, для первой выборки характерно малое содержание аэрозоля в стратосфере, а изменения озона определяются только колебаниями аэрозоля в нижней тропосфере (пограничный слой).

Разнонаправленные изменения  $X$  и  $n$  можно объяснить увеличением мелкодисперсной фракции аэрозоля в стратосфере и уменьшением ее в пограничном слое.

Таким образом, проведенное исследование показало, что существует неслучайная связь между колебаниями суммарного озона и спектром аэрозоля. При этом наибольшие связи отмечаются в средних широтах рассматриваемой территории.

1. *Общее* содержание атмосферного озона и спектральная прозрачность атмосферы: Справочные данные за 1973 – 1988 гг. в 16 вып. / Под ред. Г.И. Гущина. Л.: Гидрометеиздат.
2. *Гущин Г.П.* Методы, приборы и результаты измерения спектральной прозрачности атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 200 с.
3. *Гущин Г.П.* Исследование атмосферного озона. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 268 с.
4. *Александров Э.Л., Седунов Ю.С.* Человек и стратосферный озон. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 104 с.

Томский государственный  
университет

Поступила в редакцию  
4 февраля 1998 г.

*M.A. Volkova, G.O. Zadde, I.V. Kuzhevskaya, A.I. Kuskov.* **Connection between Summarized Ozone and Aerosol over Russia.**

A connection between small – sized aerosol and monthly variations of summarized ozone is analyzed from the data obtained during 1973 – 1988 years from 38 ozonometric stations situated on the territory of Russia and neighbouring countries.