

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 4 — 1974.

УДК 551.510.534

Н. А. ПЕТРЕНКО, А. Х. ХРГИАН

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ОЗОНА В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Статья содержит сводку данных об общем содержании озона, полученных мировой озонометрической сетью обсерваторий в 1957—1969 гг., и краткий анализ годового хода и географического распределения озона на земном шаре.

Озон — один из газов атмосферы, примешанный к воздуху в очень малой дозе и вместе с тем очень важный для жизни на Земле. В повышенных концентрациях (порядка 5-ти миллионных) вдыхание его вредно или даже опасно для жизни, такая концентрация его встречается часто (во все сезоны) в стратосфере выше 18 км, а весной в околополярных широтах и на меньшей высоте. Здесь озон становится опасным, например, для пассажиров и экипажа самолетов.

В то же время озон верхней атмосферы поглощает большое количество ультрафиолетовых лучей Солнца, которые тоже вредны как для простых форм жизни на Земле, так и для человека. Озон защищает все живое на Земле от этого вредного влияния солнечных лучей.

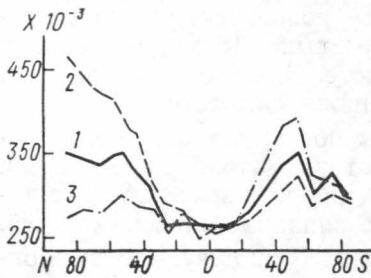
В 1971 г. П. Крутцен в Швеции высказал гипотезу, что выхлопные газы высотных самолетов, в особенности содержащиеся в них окислы азота, могут разрушить в стратосфере большую часть озона и уменьшать его количество. В результате усилятся на Земле ультрафиолетовая радиация Солнца, вредная для растительного и животного мира. Тут налицо, несомненно, еще одно важное и может быть опасное следствие влияния человека на окружающую среду. За появлением такого эффекта, очевидно, нужно внимательно следить. К нему могут добавляться другие, еще недостаточно изученные влияния космоса, например эффект повышающейся и уменьшающейся активности Солнца, с которой меняется периодически поток его ультрафиолетовой радиации. Активность Солнца была наибольшей в 1958 и в 1969 гг.

Чтобы изучать многолетние изменения озона, нами рассчитано для 127 озонометрических станций всего мира (действующих в настоящее время и некоторых работавших прежде) среднее общее количество озона (x) за 1957—1969 гг. Далее, чтобы определить значения x , свободные от местных влияний, мы вычислили среднее x за эти годы для отдельных широтных поясов, шириной в 5 или 10°

Среднемесячные зональные значения $x \cdot 10^{-3}$ см за 1957—1969 гг.

Широтные зоны	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
80—90 С	354	397	465	467	410	333	306	268	273	279	318	292	349
70—80	372	409	454	443	414	348	322	279	282	296	313	324	344
60—70	358	393	418	420	381	317	281	275	279	294	301	310	335
55—60	379	422	431	412	379	338	318	306	291	293	304	323	348
50—55	372	405	412	401	378	346	332	315	297	293	309	324	350
45—50	365	383	389	378	347	332	314	311	291	283	294	340	336
40—45	350	369	377	370	349	326	300	290	288	280	294	313	326
35—40	325	343	345	339	340	317	301	292	284	278	283	306	313
30—35	288	301	309	310	317	317	300	290	282	271	277	286	290
20—30	242	252	274	284	282	270	258	260	257	258	251	243	259
10—20	241	251	267	277	267	257	264	271	275	263	256	251	263
0—10	226	232	250	247	250	243	244	—	—	—	—	—	—
0—10 Ю	258	257	256	257	260	266	258	258	262	257	252	246	255
10—20	259	260	269	259	257	257	256	261	268	272	268	268	262
20—30	270	264	247	265	264	270	275	283	295	299	290	279	276
30—40	290	284	278	280	291	302	310	320	336	327	310	297	305
40—50	322	325	302	300	320	332	353	356	370	367	344	342	332
50—60	352	312	305	318	324	343	345	360	390	404	378	339	348
60—70	322	301	297	281	275	292	300	294	322	347	369	344	295
70—80	324	304	305	294	284	282	313	308	312	329	370	355	317
80—90	313	290	270	288	288	278	283	285	292	307	358	353	291

(см. табл. 1). Очевидно, эти данные более точны для северного полушария (где число станций гораздо больше), чем для южного.



Среднее широтное распределение общего количества озона 1957—1969 гг.: 1 — среднегодовое, 2 — апрель, 3 — сентябрь

На рисунке представлено среднее распределение x в тысячных долях см по широтам, как среднее годовое, так и в отдельные месяцы — в апреле, когда количество озона в северном полушарии и во всем мире наибольшее, и в сентябре, когда оно минимально. На рисунке ясно выделяется пояс широт примерно от 28° ю. ш. до 28° с. ш. (занимающий почти половину поверхности земного шара), где количество озона невелико и мало меняется с сезоном и широтой. Просмотр данных ежедневных наблюдений в этом поясе показывает также, что количество озона здесь очень мало меняется и ото дня ко дню.

К северу и к югу от этого пояса количество озона быстро увеличивается, в особенности весной в соответствующем полушарии. Так образуются в высоких широтах два пояса повышенного количества озона, наиболее четко выраженные в конце зимы и весной. Ближе к полюсам образуются глубокие «провалы» количества озона. В Антарктике такой провал глубокий и постоянный весь год, в северном полушарии он выражен слабее, а весной его наличие почти незаметно.

Объяснение его довольно очевидно: как свидетельствует фотохимическая теория основной источник образования озона находится в верхней стратосфере тропической области и последний оттуда переносится в полярные зоны. Очевидно, этот поток озона не доходит до полюсов, будучи «перехваченным» нисходящим движением воздуха, и

накапливается в субполярном поясе, где и достигает высоких значений. В соответствии с этим околополярные зоны с наибольшим x наиболее опасны для стратосферной авиации, особенно зимой и весной. Зато здесь на поверхности Земли защита от ультрафиолетовых лучей наиболее надежна. Известное же очень сильное и даже тяжелое влияние лучей тропического Солнца на организм человека, возможно, объясняется некоторым избытком ультрафиолетовых лучей, зависящим от малого количества озона в верхней атмосфере.

Сравнивая рассчитанные нами многолетние средние количества озона с теми, которые наблюдались в Международном геофизическом году (1957—1959 гг.), т. е. в годы большой активности Солнца, видим, что именно в эти годы число солнечных пятен было исключительно велико (такое не наблюдалось почти за 200 лет). Поэтому период МГГ—МГС особенно интересен для выяснения общих черт солнечного влияния на озон.

Мы сравнили по широтным поясам, шириной в 5—10°, средние значения x за 1957—1959 гг., взятые из [1], с нашими данными за 1957—1969 гг., которые охватывают полный цикл солнечной активности и в которых можно считать ее влияние осредненным. Заметим, что в период МГГ—МГС сеть станций и «покрытие» ею отдельных широтных поясов были заметно хуже, чем сейчас.

Таблица 2

Значения x по широтным поясам

Широтные пояса	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
80—90	+22	+47	+73	-7	+16	-7	+13	+24	+13	+39	+48	-
70—80	-30	+49	+48	+37	+44	+24	+4	+25	+28	+30	+45	+14
60—70	-8	+10	+10	0	+9	+43	+49	+35	+8	-9	-15	-12
50—60	-12	-18	-14	+2	+10	+25	+21	+12	+8	+4	-4	+3
40—50	-6	-2	+8	+9	+13	+16	+11	+2	-2	+8	+6	-3
30—40	-4	-5	+5	+8	+4	+15	+5	+5	+1	+4	-5	0
20—30	0	-2	-12	-14	-17	-1	-2	-4	-8	-8	-9	0
10—20	-2	-7	-12	-9	+7	+19	+3	-4	-14	-7	-14	-18

Вычисленные нами величины $\Delta x = x$ (1957—1959 гг.) $- x$ (1957—1969 гг.) помещены в табл. 2. Чтобы их представить более наглядно, мы объединили данные о Δx по более широкому поясам от 70 до 90° с. ш. (арктический пояс, 6% поверхности северного полушария), 35—70° (умеренный пояс, 36,6%) и 20—35° (субтропический пояс, 23,2%). В зоне 10—20° во время МГГ—МГС работала лишь одна станция (Кодайканал в Индии), что безусловно недостаточно для характеристики всего пояса.

Пояс 35—70°, очевидно, оснащен наблюдениями лучше всего (сейчас в нем работает 71 станция). Его наблюдения определенно указывают на увеличение x в годы большой активности Солнца ($\Delta x > 0$), и на то, что Δx меняется параллельно приходу солнечной (световой) радиации с максимумом в июне и минимумом в январе. Иной характер имеет увеличение озона Δx в арктической области, достигающее максимума (значительно более высокого, чем в других широтах) в марте и в октябре—ноябре. Здесь ход как бы параллелен ходу повторяемости полярных сияний, которые видны чаще всего в марте и в сентябре (хотя, конечно, о возможной прямой или косвенной связи обоих явлений мы знаем еще очень мало).

В субтропическом поясе, наоборот, в годы большой активности Солнца налицо постоянный дефицит озона. В среднем за год он достигает $\Delta x = -7,2$. Дефицит его наибольший по абсолютной величине в мае и в ноябре. Граница между двумя областями (больших положительных Δx) и небольших отрицательных Δx), видимо, довольно отчетлива и лежит около 35° с. ш.

На неодинаковое в разных областях Земли влияние солнечной активности на средние годовые значения указал в 1968 г. Г. П. Гушин путем сравнения данных за 1958—1959 гг. и 1964—1965 гг. [3]. Наши данные указывают, однако, на большую, чем отмеченная на карте Гушина, площадь области с положительной аномалией озона и на наличие сильных сезонных различий этой аномалии, зимой, например, обращающейся в нуль везде, кроме околополярной области.

Зависимость эффекта активности Солнца от широты и даже смена его знака указывает определенно, что кроме солнечной радиации этот эффект зависит еще и от фактора чисто земной природы. Известно [1], что общий избыток озона в высоких широтах и малое количество его в низких (с резкой границей опять-таки под 35°) зависит от переноса озона меридиональной циркуляцией стратосферы с общим медленным нисходящим движением к северу от 35° с. ш. и восходящим к югу от этой параллели. Аномалия озона в годы МГГ—МГС была такой, как будто эта циркуляция существенно усиливалась в это время, обостряя широтные различия озона. Вместе с тем годовой ход Δx говорит о том, что летом в годы большой активности в умеренные и полярные широты переносится заметно больше озона, чем зимой. Это заставляет предполагать, что его образование в верхней стратосфере фотохимическими процессами летом действительно усиливается по сравнению с зимой. Близкое совпадение границы аномалий 1957—1958 гг. и границы больших и малых средних x подтверждает это.

Таблица 3

Значения $\Delta_1 x$ и $\Delta_2 x$ для избранных широтных поясов

Пояса	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
55—60°												
$\Delta_1 x$	+22	+58	+15	+18	+7	-10	-26	-7	+2	+11	+35	+11
$\Delta_2 x$	+5	+32	+3	+22	+28	+30	+10	+14	+17	+16	+26	+12
50—55°												
$\Delta_1 x$	+32	+48	+33	+12	+17	-3	-6	-13	-1	+12	+26	+24
$\Delta_2 x$	+25	+38	+16	+11	+15	+7	0	+15	+1	+15	+27	+30
45—50°												
$\Delta_1 x$	+7	+42	+5	-3	-24	-27	-21	-7	-2	-2	+9	+44
$\Delta_2 x$	+4	+31	+14	+9	+1	+3	-1	-5	+6	+11	+21	+31
40—45°												
$\Delta_1 x$	+36	+26	+15	+14	+10	+22	+17	+22	+30	+21	+31	+54
$\Delta_2 x$	+21	+33	+22	+20	+12	+24	+19	+24	+22	+23	+31	+51
20—30°												
$\Delta_1 x$	+12	+6	+21	+24	+36	+27	+28	+24	+27	+26	+21	+20
$\Delta_2 x$	+12	+4	+9	+10	+19	+25	+27	+22	+23	+18	+12	+20

Таким образом, вероятно, аномалия озона, возникающая при большой активности Солнца, зависит от изменения как фотохимических, так и динамических процессов атмосферы. Не исключено, что в высоких арктических широтах на озон действуют и иные факторы.

Причиной разрушения озона могут быть выхлопные газы от самолетов, проникающих в стратосферу. Поскольку развитие стратосфер-

ной авиации в больших размерах происходит лишь в последние годы, данные об озоне за 1969 г. мы сравниваем с режимом озона в предшествовавшие годы (наблюдения за 1970 г. еще не опубликованы). В табл. 3 указаны средние для ряда широтных зон значения $\Delta_1 x = x$ (1969 г.), $-x$ (1957—1959 гг.) и $\Delta_2 x = x$ (1957—1959 гг.) отклонения количества озона в 1969 г. при большой активности Солнца от такового в предыдущий период также высокой активности и отклонение его от многолетней нормы, вычисленной для полного цикла активности.

Небольшой дефицит озона по сравнению с предыдущим максимумом активности в среднем около $13 \cdot 10^{-3}$ см был замечен летом 1969 г. в поясе широт $45-60^\circ$. В эти месяцы здесь количество озона было даже немного меньше (на 10^{-3}) среднего многолетнего, хотя в более высоких широтах озон был в 1969 г. более обилен, чем в среднем за цикл 1957—1969 гг.

Южнее 45° широты такого дефицита в 1969 г. не было и, наоборот, количество озона повышалось как по сравнению с многолетним средним, так и с периодом МГГ. В другие сезоны дефицита озона в 1969 г. нет ни на каких широтах.

Таким образом, в довольно узком поясе средних широт в 1969 г. замечалось летом как будто постоянное (устойчивое) уменьшение количества озона в стратосфере. Этому уменьшению противостоит увеличение в других широтах и в другие сезоны, в том числе и в субтропических широтах ($20-30^\circ$ с.ш.). И годовой ход этого уменьшения, и его географическое распределение не согласуются с ходом и распределением рассмотренного выше Δx , вызванного изменениями активности Солнца. Вероятно, обнаруженный выше дефицит озона 1969 г. есть самостоятельное явление, не связанное с космическими причинами. Если этот дефицит действительно вызван отравлением атмосферы окислами азота, то это отравление должно действовать при участии солнечной радиации, усиливаясь в разгар лета.

Данный вывод о дефиците озона в узком поясе широт в 1969 г., конечно, еще весьма предварительный. В дальнейшем еще необходимо провести более непосредственные исследования интенсивности такого отравления, учитывая интенсивность работы авиации в стратосфере и возникновение больших возмущений озона, связанных с колебаниями общей циркуляции атмосферы. Известно, что эти последние иногда охватывают большие пространства, делятся подолгу и сопровождаются одновременно большими колебаниями озона, охватывающими значительные области земного шара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хргиан А. Х., Кузнецов Г. И., Кондратьева А. В. В сб.: «Метеорология», № 8, 1965.
2. Петренко Н. А., Хргиан А. Х. В сб.: «Метеорологические исследования», № 17, 1970, стр. 80.
3. Гущин Г. П. В сб.: «Метеорологические исследования», № 17, 1970, стр. 58.

Поступила в редакцию
20.7 1972 г.

Кафедра
физики атмосферы