

М.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан, В.К. Ковалевский, В.А. Пирогов, Д.В. Симоненков,
Т.К. Складнева

Структура многолетнего тренда аэрозоля в районе г. Томска

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 4.07.2002 г.

Показано, что выявленный авторами ранее многолетний тренд концентрации аэрозоля обусловлен в основном изменением субмикронной фракции частиц. При этом концентрация частиц грубодисперсной фракции варьирует случайным образом вблизи какого-то среднего значения. В результате суммарное количество аэрозольного вещества в атмосфере изменяется в значительно меньших пределах, чем счетная концентрация. Анализ ионного и элементного состава аэрозоля показал, что уменьшение его счетной концентрации происходило за счет соединений, имеющих природное происхождение.

Аэрозольные частицы играют важную роль в целом ряде атмосферных процессов. Рассеивая или поглощая солнечное излучение, они способствуют охлаждению приземного воздуха, если находятся в стратосфере, или его нагреванию, если находятся в тропосфере. Активно участвуя в конденсационных процессах, они могут приводить к образованию облаков и туманов. Образуясь в ходе химических и фотохимических процессов, частицы концентрируют в себе тяжелые металлы или другие канцерогенные примеси, ухудшая тем самым экологическую обстановку. Такая роль атмосферного аэрозоля приводит к необходимости постоянного контроля его концентрации в воздухе с целью выявления причин его изменчивости и разработки методов краткосрочного и долгосрочного прогнозирования.

Мониторинг счетной концентрации аэрозоля начат авторами в 1983 г. Вначале он велся с помощью самолетов-лабораторий Ил-14 и Ан-30 «Оптик-Э» [1], а затем продолжился на TOR-станции [2]. Результаты многолетних измерений счетной концентрации были обобщены в [3, 4]. Оказалось, что у счетной концентрации аэрозоля имеются многолетние вариации, при которых ее величина изменялась в 4,7 раза в 80-х гг. и в 13 раз в 90-х. Причем ход концентрации повторяет ход солнечной активности со сдвигом в 2–3 года. Подобный ход был зафиксирован также в работах [5, 6] для аэрозольной оптической толщи атмосферы.

Несмотря на то что результаты по тенденциям изменения концентрации аэрозоля в основном совпадали [3–6], другие данные об изменении концентрации аэрозоля в эти же годы заметно отличались. Так, мониторинг аэрозоля, организованный в ИФА РАН с помощью нефелометра, измеряющего коэффициент аэрозольного рассеяния под углом 45° при $\lambda = 0,55$ мкм [7], и в ИОА СО РАН с помощью фотоэлектрического аэрозольного нефелометра (ФАН), измеряющего ту же

характеристику под углом 45° при $\lambda = 0,52$ мкм [8], в 90-х гг. не выявил такого значительного изменения коэффициента аэрозольного рассеяния, как в [3, 4]. Это видно из рис. 1, на котором представлены

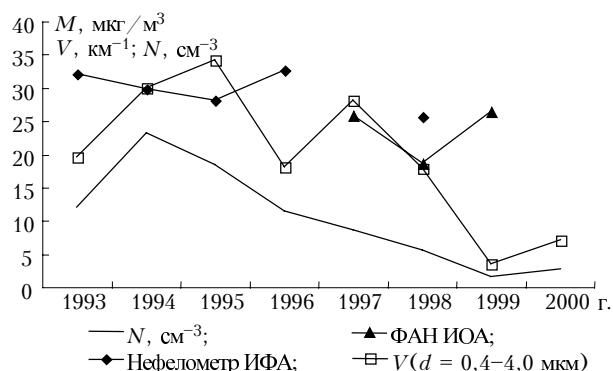


Рис. 1. Среднегодовые счетная N (—) и объемная V (\square) концентрации аэрозоля на TOR-станции, массовые концентрации (M) в районе Звенигорода (\blacklozenge) и в Томске (\blacktriangle), мкг/м³

многолетняя изменчивость счетной и объемной концентрации аэрозоля по данным TOR-станции и массовой концентрации аэрозоля в районе Звенигорода (Московская область) и Томска, измеренных с помощью нефелометров и пересчитанных авторами по коэффициенту аэрозольного рассеяния в массовую концентрацию. Из рис. 1 следует, что массовая концентрация по данным нефелометров в 90-х гг. изменилась максимум в 1,5 раза, в то время как счетная в 13 и объемная в 7 раз. Возможно, что такие расхождения обусловлены трансформацией распределения частиц по размерам, а сам объем аэрозольного вещества изменяется незначительно. Проверка этой гипотезы является одной из целей данной статьи.

Для того чтобы проанализировать, как изменялся дисперсный состав, обратимся к рис. 2. Напомним, что измерения частиц на TOR-станции выполняются

в диапазоне $d = 0,4-10$ мкм по 12 каналам. Из рис. 2 видно, что субмикронная фракция ($d = 0,4-1,5$ мкм),

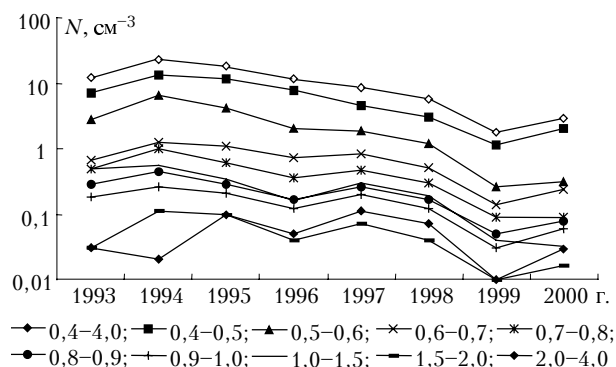


Рис. 2. Изменение дисперсного состава аэрозоля в районе Томска в период 1993–2000 гг.

которая в основном и определяет счетную концентрацию аэрозоля ($d > 0,4$ мкм), изменяется так же, как описано в [3, 4]. Максимум ее концентрации наблюдается в 1994 г. Затем следует плавное уменьшение до 1999 г., когда зафиксирован минимум. Грубодисперсная же фракция ($d = 2-4$ мкм) вела себя в рассматриваемый период иначе. В начале 90-х гг., когда концентрация субмикронной фракции возрастала, содержание грубодисперсной изменялось случайным образом. В 1997 г. концентрация грубодисперсной фракции достигла максимума, в то время как субмикронная уменьшилась в 2–3 раза. В период с 1998 по 2000 г. обе фракции изменялись синхронно.

Счетная концентрация частиц аэрозоля не всегда адекватна массовому и объемному содержанию аэрозольного вещества в атмосфере, и ряд ученых предпочитает не работать с этой характеристикой. На рис. 3 представлены данные об объемной концентрации частиц различных размеров.

Из рис. 3 видна та же тенденция, что и на рис. 2. Субмикронная фракция начиная с 1994 г. уменьшала свою концентрацию, а грубодисперсная вначале несколько упала и затем возросла в 1995 г. В период с 1995 по 1998 г. она флуктуировала возле некоторого среднего значения и только в 1999 г. упала. Суммарный объем аэрозольного вещества V ($d = 0,4-4,0$ мкм) в период с 1993 по 1998 г. почти не изменился.

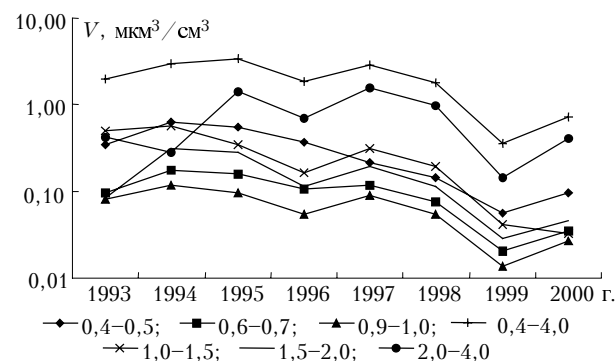


Рис. 3. Объемная концентрация V аэрозоля в районе Томска в период 1993–2000 гг.

Видны межгодовые вариации, которые, так же как и данные нефелометров, не превышают 2 раз. В 1999 г. синхронно уменьшилась объемная концентрация частиц всех фракций, что отразилось и в суммарном объеме аэрозольного вещества.

Сопоставление рис. 2 и 3 свидетельствует о том, что по сравнению со счетной концентрацией объемная концентрация большую часть анализируемого периода (1993–1997 гг.) изменялась незначительно. Это говорит о том, что в указанные годы в атмосфере не было многократного уменьшения массы аэрозольного вещества, а произошло лишь качественное изменение состава частиц, уменьшалась концентрация частиц в субмикронной фракции и почти не изменялась концентрация в грубодисперсной фракции.

С учетом закономерностей генерации и трансформации аэрозоля в атмосфере [10, 11] можно предположить, что в период с 1993 по 1999 г. по каким-то причинам постепенно уменьшались мощность источника аэрозолеобразующих паров либо интенсивность очищающих атмосферу процессов. Это приводило к тому, что либо субмикронная фракция не успевала пополняться свежими частицами из микродисперсной, либо парциального давления аэрозолеобразующих паров было недостаточно для гетерогенной конденсации на частицах микродисперсной фракции. Поступление же грубодисперсных частиц аэрозоля происходило по обычным законам. А так как масса аэрозоля в атмосфере в значительной мере определяется грубодисперсной фракцией частиц, то она почти не изменялась, о чем и говорят данные нефелометрических измерений и суммарного объема аэрозоля, приведенные выше. Возможно каким-то образом сказывается и поствулканическое очищение атмосферы от аэрозоля [8]. Но предпринятые нами ранее исследования прямого поствулканического воздействия привели к отрицательному результату [12]. По-видимому, если такой механизм имеется, то реализуется он опосредованно, через промежуточные процессы, например фотохимические.

Второй вопрос, который рассматривается в настоящей статье, обусловлен следующим. По имеющимся оценкам [9] в настоящее время доля аэрозоля антропогенного происхождения в атмосфере составляет в среднем 10%. По данным же [3] счетная концентрация в 90-х гг. упала в 10–11 раз. Следовательно, возникает вопрос: куда из атмосферы исчезает антропогенный аэрозоль, либо оценки его вклада завышены?

В течение 90-х гг. на ТОР-станции проводились эпизодические отборы проб аэрозоля для анализа его химического состава. Полученные данные позволяют увидеть изменение не только дисперсного, но и химического состава, который может отражать природу аэрозолеобразующих соединений. Результаты определения ионно-элементного состава в 1993, 1997 и 1998 гг. представлены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что ионы и элементы природного происхождения (верхняя часть рисунка) в период с 1993 по 1998 г., как правило, уменьшили свою кон-

центрацию. Исключение составляют Mg, K⁺, NO₃⁻, Cl⁻, Al, у которых имеется переменная тенденция. Ионы и элементы, имеющие антропогенную природу

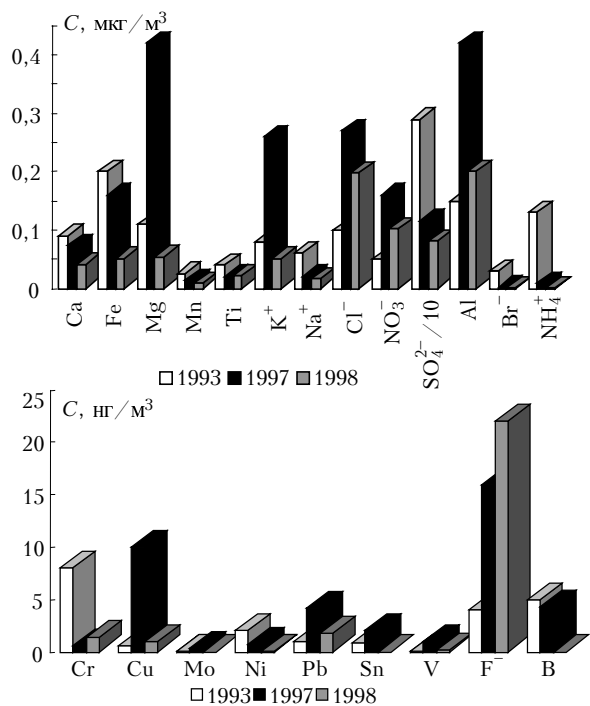


Рис. 4. Концентрация С химического состава аэрозоля в Томске в 1993, 1997 и 1998 гг.

(нижняя часть рис. 4), ведут себя иначе, их концентрация, наоборот, относительно увеличилась либо в 1997, либо в 1998 г. Правда, их концентрация в составе частиц по сравнению с природными на два порядка меньше. Это говорит о том, что обнаруженный в [3, 4] тренд аэрозоля обусловлен в основном естественными процессами и уменьшение концентрации определялось главным образом за счет ионов и элементов природного происхождения. Рост концентрации антропогенных соединений свидетельствует о том, что эта часть аэрозольного вещества в анализируемый период не уменьшилась. Таким образом, данные рис. 4 показывают, что вклад антропогенной компоненты в общую массу аэрозоля в районе г. Томска много меньше, чем в среднем по земному шару, где он составляет 10% [9]. И в период, когда природная компонента аэрозольных частиц уменьшается, относительный вклад антропогенной компоненты увеличивается.

Поскольку измерения на TOR-станции ведутся вблизи города, то естественно, что какой-то вклад в данные должны вносить городские источники. В 1993 и 1997 гг. измерения химического состава проводились сразу же в двух пунктах: на TOR-станции и в п. Киреевск Томской области. Так как вблизи п. Киреевск нет промышленных объектов, то этот район можно считать фоновым. В работе [13] проведена классификация элементов и соединений по их вкладу в происхождение частиц аэрозоля. Следуя этой работе, нами составлена таблица, позволяющая судить о том, насколько данные в Томске соответствуют региональным, фоновым.

Из таблицы следует, что элементы и ионы, имеющие антропогенное происхождение (> 60%), увеличили свой вклад в состав аэрозоля как в Томске, так и в Киреевске. Элементы и ионы, основным источником которых являются природные процессы (антропогенный вклад < 40%), наоборот, свой вклад в обоих пунктах заметно снизили. Следовательно, результаты, полученные в работе, распространяются не только на Томск, но и на весь регион в целом.

Соотношение концентрации химических элементов в аэрозоле в 1997 и 1993 гг.

Антропогенный вклад в состав аэрозоля, %	Элемент	Томск	Киреевск
<i>Антропогенный вклад превышает 60%*</i>			
88	Cu	17	3,5
81	V	11	6
94	Pb	4,4	5,8
83	Mo	4	2,5
93	Cl ⁻	27	34,4
89	F ⁻	4,5	
80	Si	15,8	3,8
79	Sn	2,1	11,8
<i>Антропогенный вклад менее 40%*</i>			
18	Ti	0,5	
10	Ca	0,8	0,6
25	Fe	0,8	0,4
23	Mn	0,5	1
39	Na ⁺	0,3	0,2
7	Br ⁻	0,1	0,3
40	SO ₄ ²⁻	0,4	0,4
38	NH ₄ ⁺	0,1	0,03
<i>Антропогенный вклад 40–60%*</i>			
51	Al	2,9	2,9
45	Cr	0,1	0,8
50	B	0,9	1,3

* По С.В. Савенко.

Сопоставляя ход аэрозоля с солнечной активностью в [3, 4], мы прогнозировали начало роста счетной концентрации в 2000 г. и достижение ею максимума в 2003 г. Данные за 2000 и 2001 гг., представленные на рис. 5, свидетельствуют о том, что первая

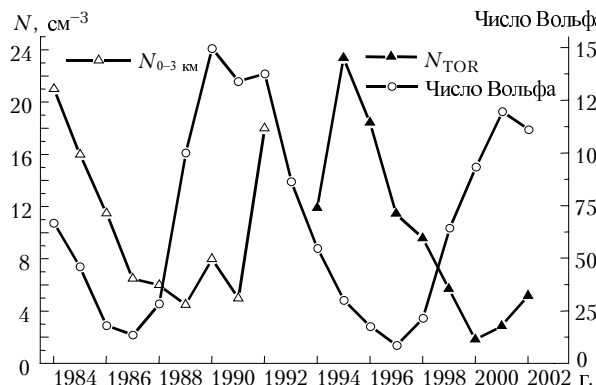


Рис. 5. Многолетний ход концентрации аэрозоля и чисел Вольфа; N_{0-3 км} – счетная концентрация по самолетным данным [1], N_{TOR} – по данным TOR-станций

часть прогноза оправдалась. Дальнейшие измерения должны показать выполнимость прогноза в целом. Если же наше предположение справедливо, то тогда, опираясь на прогноз солнечной активности, можно будет делать долгосрочное предсказание изменения счетной концентрации аэрозоля в атмосфере.

Подводя итог работе, можно сделать вывод, что зафиксированный для суммарной счетной концентрации тренд имеет сложную структуру, которая определяется трансформацией дисперсного и химического состава аэрозоля и, скорее всего, имеет естественную первопричину – многолетнюю цикличность атмосферных процессов.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность М.В. Панченко и Н.Н. Щелканову за плодотворную дискуссию, которая, несомненно, улучшила качество данной статьи.

Работа выполнена на установках ЦКП «Атмосфера», грант РФФИ № 00-05-72014.

1. Белан Б.Д., Зуев В.Е., Панченко М.В. Основные результаты самолетного зондирования аэрозоля в ИОА СО РАН (1981–1991) // Оптика атмосф. и океана. 1995. Т. 8. № 1–2. С. 131–156.
2. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Покровский Е.В., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н. Автоматический пост для мониторинга малых газовых составляющих атмосферного воздуха // Метеорол. и гидрол. 1999. № 3. С. 110–118.
3. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н. Многолетняя изменчивость тропосферного аэрозоля над Западной Сибирью // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 6–7. С. 627–630.
4. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Зуев В.Е., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Скляднева Т.К., Толма-

- чев Г.Н. Связь концентрации тропосферного аэрозоля над Западной Сибирью с солнечной активностью // Докл. РАН. 2000. Т. 373. № 2. С. 238–241.
5. Абакумова Г.М., Ярхо Е.В. Изменение аэрозольной оптической толщины атмосферы в Москве за последние 37 лет // Метеорол. и гидрол. 1992. № 11. С. 107–113.
6. Абакумова Г.М. Тенденция многолетних изменений прозрачности атмосферы, облачности, солнечной радиации и альбедо подстилающей поверхности в Москве // Метеорол. и гидрол. 2000. № 9. С. 51–62.
7. Сидоров В.Н. Сезонный и суточный ход содержания сухой фракции субмикронного аэрозоля в приземном слое // Сб. трудов Международной конференции «Физика атмосферного аэрозоля». М.: Диалог-МГУ, 1999. С. 356–367.
8. Панченко М.В., Пхалагов Ю.А., Рахимов Р.Ф., Сакерин С.М., Белан Б.Д. Геофизические факторы формирования аэрозольной погоды Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 1999. Т. 12. № 10. С. 922–934.
9. Кондратьев К.Я. Аэрозоль и климат. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 541 с.
10. Розенберг Г.В. Возникновение и развитие атмосферного аэрозоля – кинетически обусловленные параметры // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1983. Т. 19. № 1. С. 21–25.
11. Розенберг Г.В. Кинетическая модель обезвоженного тонкодисперсного аэрозоля тропосферы // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1983. Т. 19. № 3. С. 241–254.
12. Аршинова В.Г., Белан Б.Д., Воронцова Е.В., Задде Г.О., Рассказчикова Т.М., Семьянова О.И., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н. Анализ природы долговременного тренда аэрозоля в тропосфере над Западной Сибирью // Оптика атмосф. и океана. 1997. Т. 10. № 8. С. 926–934.
13. Савенко С.В. Природные и антропогенные источники загрязнения атмосферы // Итоги науки и техники ВИНТИ. Сер. Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. 1991. Т. 31. 212 с.

M.Yu. Arshinov, B.D. Belan, V.K. Kovalevskii, V.A. Pirogov, D.V. Simonenkov, T.K. Sklyadneva. Structure of many-year aerosol trend in the region of Tomsk.

The many-year trend of aerosol concentration revealed earlier by us is shown to be mostly caused by variation of the submicron aerosol fraction, while the concentration of coarse aerosol particles varies randomly about some mean value. As a result, the total amount of aerosol in the atmosphere varies in far narrower limits than the number concentration. Analysis of the ionic and elemental composition of aerosol showed that the aerosol number concentration decreased due to components of natural origin.