

Ю.А. Пхалагов, В.Н. Ужегов, Б.Д. Белан, М.В. Панченко, Н.Н. Щелканов

## К ВОПРОСУ ОБ АЭРОЗОЛЬНО-ГАЗОВЫХ СВЯЗЯХ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Проведены одновременные измерения метеопараметров приземной атмосферы, концентрации газов  $O_3$ ,  $CO$  и  $CO_2$ , счетной концентрации частиц и спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления в летний период вблизи г. Томска. На основе результатов корреляционного анализа вариаций измеряемых параметров сделан вывод о существовании незначительного стока газов  $O_3$  и  $CO$  на атмосферный аэрозоль малых размеров ( $r < 0,4$  мкм).

Исследования газообразных и взвешенных загрязнений в атмосфере промышленных центров свидетельствуют о значительном вкладе антропогенного фактора на состояние воздушной среды [1–3]. Основными источниками газовых микропримесей здесь являются процессы сжигания угля и нефтепродуктов ( $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $NO_2$  и углеводороды) и выхлопные газы автотранспорта ( $CO$ ). В результате фотохимических реакций, проходящих под действием УФ-излучения в присутствии кислорода и паров воды, часть углеводородов, окиси углерода ( $CO$ ) и окиси азота ( $NO$ ) трансформируются во вторичные продукты – двуокись азота ( $NO_2$ ), формальдегид ( $H_2CO$ ) и озон ( $O_3$ ) [3]. Некоторые из углеводородов на солнечном свете в присутствии окислов азота ( $NO$  и  $NO_2$ ), двуокиси серы ( $SO_2$ ) и озона образуют фотохимический аэрозоль [1, 2, 4–6]. Окись углерода и все вторичные газообразные и взвешенные примеси в городском воздухе при повышенных концентрациях представляют опасность для здоровья людей. По этой причине изучение стоков этих примесей, приводящих к очищению атмосферы, является весьма актуальной задачей.

В настоящее время известно несколько механизмов выведения загрязняющих микропримесей из атмосферы. Это прежде всего химические реакции, в результате которых происходит превращение одних веществ в другие. Эффективность выведения газов при этом зависит от химической реакционной способности их молекул и от их растворимости в воде. Хорошо растворимые газы, такие как  $SO_2$  или  $NH_3$ , быстро удаляются из атмосферы при дожде, а также при непосредственном контакте с водной поверхностью морей и океанов. Осаждение на поверхность Земли является достаточно эффективным стоком и для слабо растворимых газов, например,  $CO$  или  $O_3$ . Известны также и такие механизмы стоков газовых загрязнителей, как поглощение биохимическими объектами, фотосинтез, упоминавшиеся уже фотохимические реакции, приводящие к образованию аэрозоля, и, наконец, абсорбция газов на аэрозолях [1].

Согласно [1] захват газов аэрозолями при определенных условиях может быть эффективным механизмом удаления из атмосферы малорастворимых газов. Если скорость абсорбции на поверхности взвешенных частиц высока, то скорость удаления газа будет определяться его тепловым движением к поверхности частиц. Скорость этого переноса ( $V_{\pi}$ ) зависит от концентрации частиц в атмосфере и от их размера ( $r$ ). Теоретические оценки, приведенные в [1] для сфер, показывают, что в случае сильных замутнений атмосферы зависимость  $V_{\pi}$  от  $r$  имеет линейный характер, а при слабых замутнениях скорость переноса газа  $V_{\pi}$  оказывается пропорциональной  $r^2$ . Это означает, что при сильных замутнениях эффективность захвата газа частицами разных размеров будет определяться в основном видом функции распределения частиц по размерам. Так, например, для распределений типа Юнге сток, главным образом, будет осуществляться на мелкие частицы, т. е. концентрация их значительно выше.

При слабых замутнениях квадратичный характер зависимости от размера частиц может приводить к тому, что преимущественный сток газов будет происходить на крупные частицы. Последнее наглядно иллюстрирует рисунок, заимствованный из [1], на котором представлен расчет относительного вклада частиц разных размеров в абсорбцию газов в городской и морской дымках. По оси ординат отложено отношение количества газа, конденсированного на поверхности частиц с радиусом  $r_i$ , к его количеству на поверхности частиц с  $r = 1,0$  мкм. Видно, что в морской дымке (слабое замутнение) газовые примеси в основном конденсируются на частицах с радиусом  $0,2–2$  мкм. В городской дымке, где концентрация мелких частиц существенно выше, захват газа осуществляется преимущественно частицами с  $r < 0,5$  мкм. Отметим, что в этом случае максимум кривой лежит в районе  $r \approx 0,05$  мкм, где эффективность вымывания газа на три порядка выше, чем для частиц с  $r = 1,0$  мкм.

Очевидно, что экспериментальная проверка этих теоретических оценок представляет собой очень трудную задачу даже в строго контролируемых лабораторных условиях. В реальной же атмосфере непосредственное выявление аэрозольно-газовых связей совершенно невозможно в силу большого разнообразия одновременно действующих известных и неизвестных факторов. Поэтому, по существу, единственным подходом для изучения аэрозольно-газовых связей в атмосфере является статистический подход, основанный на анализе корреляционной связи вариаций концентрации аэрозоля и газо-

вых компонент. При этом измерения концентрации аэрозоля можно заменить измерениями коэффициентов направленного светорассеяния или коэффициентов аэрозольного ослабления. Убедительным подтверждением применимости статистического подхода для такой задачи является работа [7], где была уверенно выявлена отрицательная корреляция вариаций концентрации озона и коэффициента направленного светорассеяния на длине волны 0,51 мкм в условиях песчаной бури. Поскольку этот результат был получен при оптических толщах  $\tau > 3$ , когда источник озона «выключен», он был интерпретирован как захват озона аэрозодем.

В рамках начатой в ИОА СО РАН комплексной программы изучения тропосферного озона в 1991 г. были развернуты целенаправленные исследования по выявлению аэрозольно-газовых связей в приземном слое атмосферы вблизи промышленного центра.

В число измеряемых параметров были включены: температура и влажность воздуха, концентрация газов  $O_3$ ,  $CO$  и  $CO_2$ , счетная концентрация частиц разных диапазонов размеров и коэффициенты аэрозольного ослабления излучения видимого и инфракрасного диапазонов длин волн. Введение в состав комплексных исследований измерений счетной концентрации частиц и спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления в видимой и ИК-областях спектра необходимо для изучения эффективности аэрозольного стока газов на частицы разных размеров.

Для измерений вышеназванных параметров использовалась следующая как стандартная, так и специальная аппаратура:

- акустическая метеостанция [8] для измерения метеорологических параметров атмосферы. Погрешность измерений: температура  $\pm 0,05^\circ C$ , относительная влажность  $\pm 10\%$ ;
- оптико-акустические газоанализаторы ГИАМ-15 для измерения концентрации  $CO$  и  $CO_2$  в атмосфере. Погрешность измерений для  $CO$   $\pm 5\%$ , для  $CO_2$  –  $\pm 10$ ;
- хемилуминесцентный газоанализатор ХГ-02П для измерения концентрации озона. Погрешность  $\pm 3\%$ . Порог регистрации  $\sim 1$  мкг/м<sup>3</sup>;
- фотоэлектрический счетчик аэрозоля АЗ-5 для измерения счетной концентрации частиц, взвешенных в воздухе. Погрешность  $+20\%$ , диапазон по концентрации  $0-300$  см<sup>-3</sup>;
- многоволновой измеритель спектральной прозрачности атмосферы для измерения коэффициентов ослабления излучения в области длин волн  $0,44-1,06$  мкм. Погрешность измерений на трассе длиной 1 км порядка  $0,03$  км<sup>-1</sup> [9].

Выделение аэрозольной компоненты ослабления из общих коэффициентов ослабления осуществлялось статистическим методом, подробно изложенном в [10].

Ниже представлены результаты летнего цикла комплексных исследований, которые проводились в июне – июле 1991 г.

Отметим, что измерения метеопараметров, концентрации газов и счетной концентрации аэрозоля проводились в локальном объеме, а измерения коэффициентов ослабления – на протяженной трассе длиной 1000 м (трасса с отражением на базе 500 м).

Следует отметить, что при измерениях отдельных параметров не всегда соблюдалась синхронность всех измерений. Поэтому при формировании общих массивов данных для статистической обработки по разным параметрам получались несколько укороченные массивы. Так, в частности, при формировании массива данных для изучения связи между концентрацией  $O_3$ ,  $CO$  и  $CO_2$ , счетной концентрацией аэрозоля разных диапазонов и коэффициентами аэрозольного ослабления было отобрано только 69 синхронных измерений.

Таблица 1

Средние значения и СКО измеряемых параметров в летний цикл исследований ( $n = 69$ )

Измеряемый параметр	$\bar{x}$	$\sigma_x$	Измеряемый параметр	$\bar{x}$	$\sigma_x$
Концентрация газов:					
$O_3$ , мкг/м <sup>3</sup>	41,5	16,9	$\alpha(0,63)$ , км <sup>-1</sup>	0,243	0,093
$CO$ , ppm	10,7	2,59	$\alpha(0,69)$ , км <sup>-1</sup>	0,236	0,090
$CO_2$ , ppm	394	15	$\alpha(0,87)$ , км <sup>-1</sup>	0,219	0,083
$N_1$ , л <sup>-1</sup>	6086	6148	$\alpha(0,94)$ , км <sup>-1</sup>	0,221	0,083
$N_2$ , л <sup>-1</sup>	647	1066	$\alpha(1,06)$ , км <sup>-1</sup>	0,242	0,084
$N_3$ , л <sup>-1</sup>	283	448	$F$ , %	65,9	14,6
$\alpha(0,44)$ , км <sup>-1</sup>	0,302	0,115	$a$ , г/м <sup>3</sup>	8,65	1,4
$\alpha(0,48)$ , км <sup>-1</sup>	0,282	0,107	$t$ , °C	15,5	2,9
$\alpha(0,55)$ , км <sup>-1</sup>	0,267	0,102			

В табл. 1 приведены средние значения ( $\bar{x}$ ) и среднеквадратические отклонения ( $\sigma_x$ ) указанных параметров, измеренных синхронно в приземном слое атмосферы за весь период исследований.  $O_3$ , CO и  $CO_2$  — концентрация газов, измеренных в локальном объеме;  $N_1$ ,  $N_2$  и  $N_3$  — счетные концентрации аэрозольных частиц с диаметрами  $d > 0,4$ ,  $d > 1,0$  и  $d > 2,0$  мкм соответственно;  $\alpha(\lambda)$  — коэффициенты аэрозольного ослабления на разных длинах волн  $\lambda$ ;  $F$  и  $a$  — относительная и абсолютная влажность воздуха;  $t$  — температура воздуха.

Из данных, приведенных в табл. 1, следует особо отметить очень пологий характер спектральной зависимости средних коэффициентов аэрозольного ослабления, что указывает на значительный вклад в формирование зависимости  $\alpha(\lambda)$  грубодисперсного аэрозоля и дефицит субмикронной фракции частиц. Возможно, что это является следствием вымывающего действия дождей, которые часто выпадали во время измерений.

В табл. 2 приведены коэффициенты корреляции  $\rho_{N_i F}$ ,  $\rho_{N_i газ}$ ,  $\rho_{\alpha_i F}$ ,  $\rho_{\alpha_i газ}$  и  $\rho_{F газ}$ , рассчитанные для сформированного массива данных. Следует заметить, что несмотря на небольшую размерность полученного массива, рассчитанные коэффициенты корреляции с учетом уровня значимости могут быть использованы для качественного изучения аэрозольно-газовых связей. Напомним, что для массива  $n = 69$  уровень значимости корреляции составляет 0,25, а существенно значимой — 0,32.

Таблица 2

Коэффициенты полной корреляции  $\rho_{N_i F}$ ,  $\rho_{\alpha_i F}$ ,  $\rho_{N_i газ}$ ,  $\rho_{\alpha_i газ}$  и  $\rho_{F газ}$  для летнего массива данных ( $n = 69$ )

Измеряемый параметр	$\rho_{N_i F}$	$\rho_{N_i газ}$		
		$O_3$	CO	$CO_2$
$N_1$	0,22	−0,57	−0,01	0,50
$N_2$	0,08	−0,38	0,02	0,36
$N_3$	0,07	−0,42	−0,03	0,38
	$\rho_{\alpha_i F}$	$\rho_{\alpha_i газ}$		
$\alpha(0,44)$	0,43	−0,40	−0,16	0,42
$\alpha(0,48)$	0,41	−0,37	−0,13	0,44
$\alpha(0,55)$	0,42	−0,34	−0,09	0,40
$\alpha(0,63)$	0,39	−0,32	−0,12	0,37
$\alpha(0,69)$	0,31	−0,21	−0,14	0,30
$\alpha(0,87)$	0,18	−0,05	−0,17	0,13
$\alpha(0,94)$	0,16	−0,09	−0,02	0,12
$\alpha(1,06)$	−0,11	0,02	−0,15	−0,05
	$\rho_{FF}$	$\rho_{F газ}$		
$F$	1,00	−0,56	0,20	0,75

Анализ данных табл. 2 показывает, что в обсуждаемом массиве имеется существенно значимая отрицательная корреляция между счетной концентрацией частиц и концентрацией озона. При этом максимальный коэффициент корреляции здесь приходится на диапазон  $N_1$ , где преобладает мелкодисперсный аэрозоль. Формально, значимая отрицательная корреляция между  $N$  и  $O_3$  указывает на наличие стока озона на аэрозольные частицы, взвешенные в воздухе. Это обстоятельство, а также преимущественный сток озона на мелкодисперсную фракцию частиц ( $\rho_{N_1 O_3} = -0,57$ ) позволяет говорить о качественном соответствии этих данных теоретическим оценкам абсорбции газов на аэрозоль [1] и экспериментальным данным [7].

Концентрация угарного газа (CO) имеет нулевую корреляцию с концентрацией частиц всех размеров, что означает полное отсутствие стока этого газа на атмосферный аэрозоль.

Что касается углекислого газа ( $CO_2$ ), то здесь наблюдается положительная и существенно значимая корреляция его концентрации с концентрацией частиц всех диапазонов размеров. Это свидетельствует о наличии в атмосфере в период измерений общего источника аэрозоля и  $CO_2$ , обуславливающего синхронные вариации этих двух компонент.

Наконец, рассмотрим величину и спектральный характер коэффициентов корреляции  $\rho_{\alpha_i газ}$ , представленных в табл. 2. Начнем это рассмотрение с озона. Видно, что коэффициенты корреляции между вариациями концентрации озона и коэффициентов аэрозольного ослабления отрицательны практически во всем диапазоне длин волн и имеют выраженную спектральную зависимость, убывая с ростом

длины волны. Максимальные значения  $\rho_{\alpha, O_3}$  наблюдаются на длине 0,44 мкм ( $-0,44$ ), плавно убывают до длины волны 0,69 мкм, а затем резко падают до нулевых значений. Заметим, что в диапазоне  $\lambda = 0,44 \div 0,55$  мкм коэффициенты корреляции  $\rho_{\alpha, O_3}$  существенно значимы. Таким образом, измерения коэффициентов аэрозольного ослабления также указывают на возможное существование стока озона на атмосферный аэрозоль, причем наиболее мелкодисперсный ( $r < 0,4$  мкм).

Коэффициенты корреляции  $\rho_{\alpha, CO}$ , так же как и  $\rho_{\alpha, O_3}$ , во всем диапазоне длин волн отрицательны, однако уровень корреляции везде ниже значимого. Что касается коэффициентов корреляции с  $CO_2$ , то они практически везде положительны, а в диапазоне  $\lambda = 0,44 - 0,69$  мкм являются значимыми и существенно значимыми.

В целом можно констатировать качественно полное подобие результатов исследований аэрозольно-газовых связей как по микрофизическим, так и по оптическим данным. Однако прежде чем делать окончательные выводы по поводу аэрозольно-газовых связей, необходимо убедиться в том, что эти связи являются действительными, а не обусловлены опосредованным влиянием других более сильных факторов. В частности, таким дополнительным фактором может быть относительная влажность воздуха.

В качестве примера рассмотрим связь между вариациями коэффициента  $\alpha(0,44)$  и концентрацией озона. Известно, что вариации  $\alpha(0,44)$  в общем случае обусловлены изменениями концентрации частиц и их размеров. Последнее происходит под влиянием относительной влажности воздуха  $F$ . А поскольку эффективность стока озона на аэрозоль пропорциональна поверхности всех имеющихся в воздухе частиц, то это означает, что с ростом влажности воздуха, когда увеличивается размер (поверхность) частиц, концентрация озона должна уменьшаться. Однако в реальной атмосфере в летних условиях имеется еще одна отрицательная зависимость концентрации озона от влажности воздуха ( $-0,56$ ), связанная с противоположным суточным ходом этих двух параметров. В результате измеренный коэффициент корреляции  $\rho_{\alpha, O_3}$  может быть существенно искажен и даже неверно интерпретирован.

Для исключения этой неопределенности в выводах целесообразно провести расчет так называемых условных (частных) коэффициентов корреляции  $\rho_{xy/z}$ , т.е. когда рассматривается корреляционная связь между параметрами  $x$  и  $y$  при фиксированном параметре  $z$ , который также участвует в данном процессе.

Предполагая, что счетная концентрация частиц также зависит от относительной влажности воздуха [11], проведем расчет коэффициентов  $\rho_{N_i \text{газ}/F}$  по формуле [12]:

$$\rho_{N_i \text{газ}/F} = \frac{\rho_{N_i \text{газ}} - \rho_{N_i F} \cdot \rho_{F \text{газ}}}{[(1 - \rho_{N_i F}^2)(1 - \rho_{F \text{газ}}^2)]^{1/2}}, \quad (1)$$

где  $\rho_{N_i \text{газ}}$ ,  $\rho_{N_i F}$ ,  $\rho_{F \text{газ}}$  — полные нормированные коэффициенты корреляции между указанными параметрами.

Таблица 3

Полные и условные коэффициенты корреляции между  $N_i$  и газовыми компонентами

$N_i$	$O_3$		$CO$		$CO_2$	
	$\rho_{N_i O_3}$	$\rho_{N_i O_3/F}$	$\rho_{N_i CO}$	$\rho_{N_i CO/F}$	$\rho_{N_i CO_2}$	$\rho_{N_i CO_2/F}$
$N_1$	-0,57	-0,55	-0,01	-0,06	0,50	0,51
$N_2$	-0,38	-0,40	0,02	0,01	0,36	0,45
$N_3$	-0,42	-0,46	-0,03	-0,04	0,38	0,50

Результаты расчета  $\rho_{N_i \text{газ}/F}$  по (1) приведены в табл. 3, где для удобства сравнения даны и полные коэффициенты корреляции, взятые из табл. 2. Анализ этих данных в целом показывает, что введение условных коэффициентов корреляции в этом случае не изменяет сделанные ранее выводы по аэрозольно-газовым связям на основе микрофизических измерений. Это означает, что реально относительная влажность воздуха очень слабо влияет на счетную концентрацию частиц в аэрозольном счетчике АЗ-5.

Рассмотрим теперь, насколько изменятся наши предварительные выводы по аэрозольно-газовым связям, полученные на основе измерений коэффициентов аэрозольного ослабления, после введения условных коэффициентов корреляции. Заметим предварительно, что в данном случае нам придется фиксировать не только относительную влажность воздуха, но и коэффициент аэрозольного ослабления в области  $\lambda = 1,06$  мкм. Последнее необходимо для того, чтобы исключить влияние грубодисперсной фракции на вариации  $\alpha_\lambda$  в исследуемом диапазоне длин волн.

Алгоритм расчета условного коэффициента корреляции для такой четырехфакторной системы имеет вид

$$\rho_{\alpha_\lambda \text{газ}/F\alpha^*} = \frac{\rho_{\alpha_\lambda \text{газ}/F} - \rho_{\alpha_\lambda \alpha^*/F} \cdot \rho_{\alpha^* \text{газ}/F}}{[(1 - \rho_{\alpha_\lambda \alpha^*/F}^2)(1 - \rho_{\alpha^* \text{газ}/F}^2)]^{1/2}}, \quad (2)$$

где  $\alpha^* = \alpha_{1,06}$ ,  $\rho_{N_i \text{газ}/F}$ ,  $\rho_{\alpha_i \text{газ}/F}$ ,  $\rho_{\alpha_i \alpha^*/F}$  и  $\rho_{\alpha^* \text{газ}/F}$  — условные коэффициенты корреляции, рассчитываемые по формуле (1).

В табл. 4 сведены спектральные коэффициенты автокорреляции  $\rho_{\alpha_i \alpha^*}$  и коэффициенты условной корреляции между  $\alpha_\lambda$  и концентрацией газов  $O_3$ ,  $CO$  и  $CO_2$  при фиксированных значениях относительной влажности воздуха и коэффициентов аэрозольного ослабления на длине волны  $\lambda = 1,06$  мкм. Данные о коэффициентах  $\rho_{\alpha_i \alpha^*}$  необходимы для расчета величины коэффициентов  $\rho_{\alpha_i \alpha^*/F}$ .

Сравнивая условные коэффициенты корреляции  $\rho_{\alpha_i \text{газ}/F\alpha^*}$  с полными коэффициентами корреляции  $\rho_{\alpha_i \text{газ}}$  (см. табл. 2), можно отметить их значительную трансформацию для всех газов и почти для всех длин волн. Так, в частности, заметно уменьшилась корреляция коэффициентов  $\alpha_\lambda$  (в области  $\lambda = 0,44 \div 0,63$ ) с озоном. В результате только в области  $\lambda = 0,44$  мкм эта корреляция оказалась значимой. Причина подобной трансформации в коэффициентах корреляции рассматриваемых величин является существование в данном массиве довольно сильной отрицательной корреляции между концентрацией озона и относительной влажностью воздуха ( $\rho_{O_3 F} = -0,56$ , см. табл. 2). Последнее несколько усиливает антикорреляцию между  $\alpha_\lambda$  и  $O_3$ .

Иной характер трансформации коэффициентов корреляции наблюдается в случае угарного газа. Здесь, наоборот, коэффициенты условной корреляции в области  $\lambda = 0,44 \div 0,55$  мкм заметно возросли по сравнению с полными, а в районе  $\lambda = 0,44$  мкм они стали даже значимы.

В случае углекислого газа условные коэффициенты корреляции заметно уменьшились по сравнению с полными и стали незначимы во всем диапазоне длин волн. Такое изменение корреляции между обсуждаемыми параметрами является следствием существования в исходном массиве сильной положительной корреляции между  $CO_2$  и относительной влажностью воздуха, обусловленной суточным ходом этих двух параметров. Эта связь заметно усиливалась, а возможно и определяла положительную корреляцию между  $\alpha_\lambda$  и  $CO_2$  (см. табл. 2).

Таблица 4

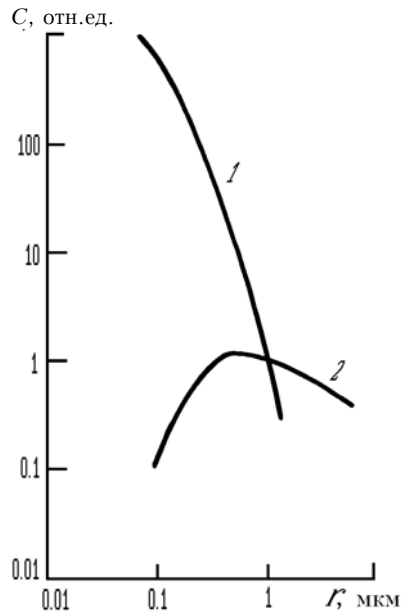
Коэффициенты автокорреляции  $\rho_{\alpha_i \alpha^*}$  и коэффициенты условной корреляции  $\rho_{\alpha_i \text{газ}/F\alpha^*}$  ( $n = 69$ )

$\lambda$ , мкм	$\rho_{\alpha_\lambda \alpha^*}$	$\rho_{\alpha_\lambda O_3/F\alpha^*}$	$\rho_{\alpha_\lambda CO/F\alpha^*}$	$\rho_{\alpha_\lambda CO_2/F\alpha^*}$
0,44	0,69	-0,29	-0,30	0,22
0,48	0,63	-0,22	-0,21	0,27
0,55	0,63	-0,16	-0,15	0,16
0,63	0,63	-0,15	-0,18	0,15
0,69	0,62	-0,01	-0,18	0,10
0,87	0,64	+0,12	-0,17	-0,05
0,94	0,85	+0,08	+0,15	-0,08
1,06	1,0	0,0	0,0	0,0

Таким образом, анализ данных табл. 4 позволяет сделать вывод, что в летних дымках в приземном слое атмосферы имеется очень незначительный сток озона и угарного газа на аэрозольные частицы самых мелких размеров ( $r < 0,4$  мкм).

Этот вывод, основанный на данных корреляционного анализа оптических измерений, качественно согласуется с теоретическими оценками, имеющимися в [1] для городского аэрозоля (см. рисунок).

Сопоставление данных табл. 3, 4 показывает весьма заметные различия в коэффициентах условной корреляции, рассчитанных по микрофизическим и оптическим измерениям. Сюда можно отнести более высокий коэффициент корреляции между вариациями счетной концентрации частиц и концентрации озона, который составляет  $-0,55$  против  $-0,29$  для оптических данных. По-видимому, это различие в данных можно объяснить тем, что в первом случае измерения концентрации частиц и озона осуществлялись в одном локальном объеме, а измерения коэффициентов аэрозольного ослабления проводились на протяженной трассе. Естественно, что в первом случае вариации  $N$  и  $O_3$  оказались более скоррелированы, чем вариации  $O_3$  и  $\alpha_\lambda$ .



Относительный вклад аэрозоля разных размеров в абсорбцию газов для городской (1) и морской (2) дымки

Вызывает вопросы также и полное отсутствие корреляции между вариациями числа частиц и концентрацией угарного газа, в то время как по оптическим данным корреляция между  $\alpha(0,44)$  и CO имеет место. Это несоответствие, по-видимому, можно объяснить, предположив, что сток CO идет только на очень мелкие частицы, которые уже не попадают в диапазон действия счетчика АЗ-5.

1. Химия нижней атмосферы /Под ред. С. Расула. М.: Мир, 1976. 408 с.
2. Батчер С., Чарлсон Р. Введение в химию атмосферы. М.: Мир, 1977. 270 с.
3. Белан Б.Д., Микушев М.К., Панченко М.В. и др. //Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. № 9. С. 995–1005.
4. Розенберг Г.В. //УФН. 1968. Т. 95. Вып. 1. С. 159–208.
5. Розенберг Г.В., Горчаков Г.И., Георгиевский Ю.С., Любовцева Ю.С. Оптические параметры атмосферного аэрозоля //Физика атмосферы и проблемы климата. М.: Наука, 1980. С. 216–257.
6. Muraleedharan T.S., Subba Ramu M.C. //J. Rech. Atmos. 1985. № 2–3. P. 97–104.
7. Белан Б.Д., Панченко М.В., Терпугова С.А., Толмачев Г.Н. // V Всесоюзн. совещание по атмосферной оптике (Тезисы докл.), Томск, 1991. С. 135.
8. Ростов А.П. //XI Всесоюзн. симпозиум по распространению лазерного излучения в атмосфере и водных средах (Тезисы докл.), Томск, 1991. С. 196.
9. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. //Оптика атмосферы. 1992. Т. 5. № 6. С. 667–672.
10. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. //Взаимодействие излучения с дисперсными средами: Сборник статей. Томск: ТФ СО АН СССР, 1988. С. 75–81.
11. Козлов В.С., Панченко М.В., Полькин В.В., Пхалагов Ю.А. // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1987. Т. 23. № 3. С. 286–292.
12. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. 648 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
27 марта 1992 г.

Yu. A. Pkhalagov, V. N. Uzhegov, B. D. Belan, M. V. Panchenko,  
N. N. Shchelkanov. **On the Gas-to-Aerosol Connections in the Ground Atmospheric Layer.**

Data of simultaneous measurements of meteorological parameters, concentrations of  $O_3$ , CO and  $CO_2$ , number density of aerosol particles, and spectral coefficients of the aerosol extinction conducted during the summer period of 1991 in the vicinity of Tomsk are presented. Based on the results of correlation analysis of the variations of these quantities an insignificant sink of  $O_3$  and CO on small size ( $r < 0.4 \mu m$ ) aerosol particles has been revealed.