

Московская дымная мгла 2010 г. Экстремальное аэрозольное и газовое загрязнение воздушного бассейна Московского региона

Г.И. Горчаков¹, Е.Г. Семутникова², А.А. Исаков¹,
В.М. Копейкин¹, А.В. Карпов¹, Г.А. Курбатов³,
Е.А. Лезина², Т.Я. Пономарева⁴, А.В. Соколов^{3*}

¹Учреждение Российской академии наук Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

²Государственное природоохранное учреждение «Мосэкомониторинг»
119019, г. Москва, Новый Арбат, 11, стр. 1

³Государственное учебно-научное учреждение Физический факультет
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова
119991, г. Москва ГСП-1, Ленинские горы, 1, стр. 2

⁴Государственное учреждение «Гидрометцентр России»
123242, г. Москва, Б. Предтеченский пер., 11

Поступила в редакцию 18.02.2011 г.

Проанализированы вариации массовой концентрации аэрозоля и концентрации угарного газа в период интенсивного задымления Московского региона во время крупномасштабных лесоторфяных пожаров летом 2010 г. Рассчитаны статистические характеристики вариаций и вероятности превышения разовых предельно допустимых концентраций и кратных ПДК_{мр} пороговых концентраций для массовой концентрации аэрозоля с аэродинамическими размерами частиц меньше 10 мкм (PM₁₀) и для концентрации угарного газа. Выявлены 5-кратные для PM₁₀ и 6-кратные для угарного газа превышения ПДК_{мр}. Показано, что основные статистические характеристики (средние, стандартные отклонения, коэффициенты вариаций, параметры асимметрии и эксцесс) вариаций PM₁₀ и концентрации угарного газа для задымленной атмосферы существенно отличны от соответствующих характеристик для незадымленной атмосферы. Кратко описаны метеорологические условия задымления в августе 2010 г. Методом обратных траекторий для периода интенсивного задымления определены источники задымления воздушных бассейнов Москвы и Подмосковья в первой декаде августа 2010 г.

Ключевые слова: дымная мгла, дымовой аэрозоль, массовая концентрация аэрозоля, коэффициент рассеяния, угарный газ, разовые предельно-допустимые концентрации, вероятности превышения, экстремальное загрязнение; smoky haze, smoke aerosol, aerosol mass concentration, scattering coefficient, single maximal permissible concentration, exceeding probabilities, carbon monoxide, extremal air pollution.

Введение

Располагавшийся в июне – августе 2010 г. на европейской территории России (ЕТР) блокирующий антициклон привел к длительной засухе и последующим лесоторфяным пожарам и, как следствие, к интенсивному задымлению обширных территорий России, включая Московский регион. Летом

2010 г. в этом регионе были превышены максимальные уровни аэрозольного и газового загрязнения атмосферного воздуха, наблюдавшиеся при задымлении атмосферы в 2002 г. [1, 2]. Среди газовых компонентов загрязнения летом 2010 г. в задымленной атмосфере Московского региона экстремально высокими оказались концентрации угарного газа. Беспрецедентно большими для Москвы были максимальные значения массовой концентрации аэрозоля с размерами частиц меньше 10 мкм (PM₁₀), что качественно согласуется с результатами измерений коэффициента рассеяния света на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы (ЗНС ИФА).

В настоящей статье дана оценка статистических характеристик вариаций (включая вероятности превышения разовых предельно допустимых концентраций и кратных ПДК_{мр} пороговых концен-

* Геннадий Ильич Горчаков (gengor@ifaran.ru); Евгения Геннадьевна Семутникова (info@mosecom.ru); Андрей Александрович Исаков (A.A.Isakov@mail.ru); Владимир Михайлович Копейкин (koreikin@ifaran.ru); Алексей Владимирович Карпов (karпов@ifaran.ru); Григорий Александрович Курбатов (kurbatov_ga@physics.msu.ru); Елена Александровна Лезина (lezina@mosecom.ru); Татьяна Яковлевна Пономарева (ponomareva_tya@mail.ru); Александр Валерьевич Соколов.

траций) концентраций PM_{10} и угарного газа в первую декаду августа 2010 г., когда наблюдалось интенсивное задымление воздушного бассейна Московского региона, по данным экологического мониторинга [3] на сети автоматических постов контроля качества атмосферного воздуха ГПУ «Мосэкомониторинг» [4]. Мониторинг концентрации угарного газа в период с 01.08 по 10.08.2010 осуществлялся в Москве, Зеленограде, Павловском Посаде и на ЗНС ИФА (всего на 28 постах) с помощью газоанализаторов К-100 («ОПТЭК», Санкт-Петербург), а мониторинг PM_{10} на 6 постах, в том числе в Зеленограде и Павловском Посаде с помощью анализаторов ТЕОМ-1400 [5]. Измерения коэффициента рассеяния проводились на ЗНС ИФА с помощью проточных нефелометров и спектрополяриметра [6].

Метеорологические условия в период задымления

Блокирующий антициклон в июне – августе 2010 г. охватывал большую часть ЕТР. Он отчетливо прослеживался по полю ветра в тропосфере от приземного слоя атмосферы до уровня 500 мбар. В качестве примера на рис. 1 приведен прогноз поля ветра на уровне 500 мбар для 6 августа 2010 г. в 16:00 MSD (московское летнее время).

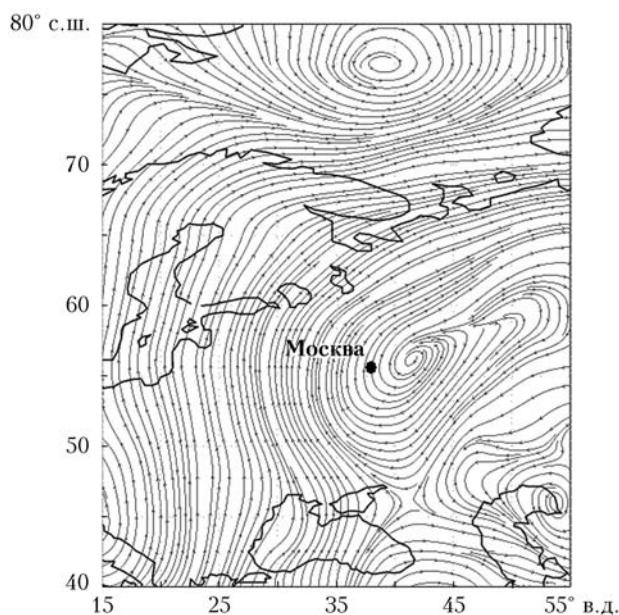


Рис. 1. Поле ветра на уровне 500 мбар 06.08.2010 в 16:00 MSD

Выше уровня 500 мбар поле ветра заметно трансформируется. На территории, охваченной блокирующим антициклоном, дневные температуры приземного воздуха в течение длительного времени достигали 35–45 °С. Об этом, в частности, свидетельствует рис. 2, на котором представлены результаты измерений температуры воздуха на ЗНС ИФА с помощью профилера МТП-5 [7] в приземном

и в пограничном слоях атмосферы на высоте 300 м в период с 1.08 по 10.08.2010. Если в приземном слое атмосферы внутрисуточные вариации температуры воздуха достигали примерно 20 °С, то на высоте 300 м они составляли 5–10 °С, а иногда меньше.

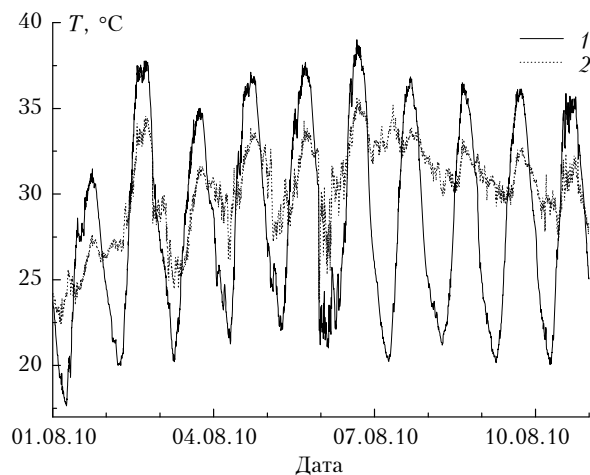


Рис. 2. Вариации температуры воздуха в приземном слое атмосферы (1) и на высоте 300 м (2) по данным измерений с помощью профилера МТП-5 на ЗНС ИФА в период с 1.08 по 10.08.2010

В рассматриваемый период времени наблюдались сильные ночные инверсии температуры в пограничном слое атмосферы. Разность ночных температур (город – сельская местность) достигала 8 °С. Днем, как правило, стратификация в нижней тропосфере и в пограничном слое была близка к безразличной, что в совокупности с ночными инверсиями способствовало удержанию дымов лесоторфяных пожаров в пограничном слое атмосферы.

Вариации концентрации угарного газа в задымленной атмосфере Московского региона

Концентрация угарного газа в Московском регионе летом 2010 г. измерялась на 28 постах. Результаты измерений [CO] в Москве на ул. Чайнова (1) и Павловском Посаде (2) в первой декаде августа, когда имело место интенсивное задымление атмосферы, представлены на рис. 3, а.

Римскими цифрами I, II, III и IV указаны кратные ПДК_{мр} концентрации угарного газа. Рекордная концентрация (37,4 мг/м³) угарного газа в задымленной атмосфере Москвы наблюдалась 8.08.2010 на посту Балчуг (табл. 1). На других постах максимальные концентрации C_{max} угарного газа (табл. 1) варьировали в пределах от 13,7 мг/м³ до вышеупомянутых 37,4 мг/м³ (среднее значение C_{max} по 28 постам оказалось равным 21,5 мг/м³).

Видно (рис. 3, а), что в период задымления наблюдалась сильная нерегулярная межсуточная и внутрисуточная изменчивость концентрации угарного газа. Пространственная изменчивость [CO] в Московском регионе также была значительной.

Статистические характеристики вариаций концентрации угарного газа в задымленной атмосфере Московского региона (01.08–10.08.2010)

Пост	C_{\max} , мг/м ³	\bar{C} , мг/м ³	σ_c , мг/м ³	γ_c	A_c	E_c
Балчуг	37,4	7,24	7,34	1,01	1,48	1,68
Пр. Головачева	24,9	5,51	5,01	0,91	1,35	1,59
Долгопрудный	23,8	5,02	4,72	0,94	1,24	0,99
Ул. Толбухина	20,4	4,61	4,49	0,97	1,20	0,61
Павловский Посад	19,5	4,13	4,15	1,00	1,52	2,09
Лосинный Остров	18,4	3,60	3,68	1,02	1,31	1,15
Зеленоград	13,7	3,49	3,22	0,92	0,98	0,11

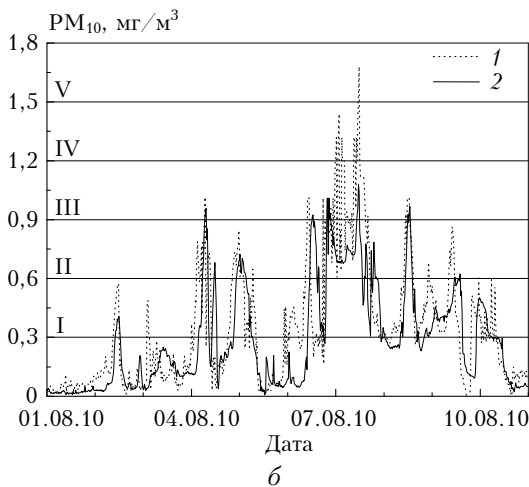
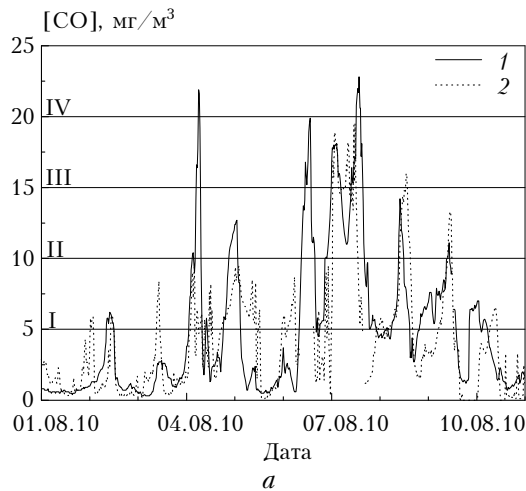


Рис. 3. Вариации концентрации угарного газа (а) в Москве на ул. Чайнова (1) и в Павловском Посаде (2) и массовой концентрации аэрозоля PM₁₀ (б) на постах Кожухово в г. Москве (1) и в г. Зеленограде (2) в период с 1.08 по 10.08.2010. Римскими цифрами указаны кратные ПДК_{мр} концентрации

Для оценки изменчивости [CO] в задымленной атмосфере были рассчитаны статистические характеристики вариаций [CO] в период с 01.08 по 10.08.2010 по данным измерений на 28 постах. Примеры результатов расчетов средних концентраций угарного газа

$$\bar{C} = n^{-1} \sum_{i=1}^n C_i,$$

где $C_i (i = 1, 2, \dots, n)$ – разовые концентрации и n – число измерений, представлены в табл. 1. Как следует из табл. 1, средние значения [CO] в период с 01.08 по 10.08.2010 менялись в пределах от 3,49 до 7,24 мг/м³ (в среднем для региона 4,5 мг/м³). Отсюда следует, что максимальные концентрации CO в период интенсивного задымления превышали соответствующие средние значения по региону примерно в 5 раз.

Средний региональный уровень загрязнения воздуха в первую декаду августа (4,5 мг/м³) примерно в 4–5 раз выше среднегодового для Москвы, который можно оценить по приведенным в [8] данным измерений [CO] в 2004 г. (1,15 мг/м³). Примерно в таких же пределах варьируют стандартные отклонения [CO] в задымленной атмосфере (табл. 1):

$$\sigma_c = \sqrt{(n-1) \sum_{i=1}^n c_i^2},$$

где c_i – отклонения наблюдаемых концентраций от их средних значений, что непосредственно видно по результатам расчетов коэффициентов вариаций $\gamma_c = \sigma_c / \bar{C}$ [9, 10].

Параметры асимметрии $A_c = n^{-1} \sigma_c^{-3} \sum_{i=1}^n c_i^3$ и экс-

цесса $E_c = -3 + n^{-1} \sigma_c^{-4} \sum_{i=1}^n c_i^4$ [9, 10] для периода ин-

тенсивного задымления менялись в сравнительно узких пределах (см. табл. 1).

В частности, асимметрия A_c менялась примерно от 1,0 до 1,5, тогда как для незадымленной атмосферы этот диапазон значительно шире (1,30–5,27) [11]. На большинстве постов в период с 01.08 по 10.08.2010 эксцесс не превышал 2,5, что существенно меньше эксцесса в незадымленной городской атмосфере (2,85–54,7) [11].

В задымленной атмосфере Московского региона (табл. 1) наблюдались 6-кратные и одно 7-кратное превышение разовой предельно допустимой концентрации ПДК_{мр} = 5 мг/м³ для угарного газа. Примеры данных расчетов вероятностей превышения ПДК_{мр} и кратные ПДК_{мр} концентраций для угарного газа в Московском регионе (01.08–10.08.2010) приведены в табл. 2.

Видно, что распределения вероятностей для разных постов оказались существенно различными

Таблица 2

Вероятности превышения (%) в Московском регионе ПДК_{мр} = 5 мг/м³ и кратных ПДК_{мр} пороговых концентраций для угарного газа (01.08–10.08.2010)

Пост	Пороговые концентрации, мг/м ³						
	5	10	15	20	25	30	35
Балчуг	49,2	24,3	15,3	8,50	3,90	1,25	0,15
Черемушки	44,7	26,6	17,2	9,40	2,80	0,70	–
Гурьевский пр.	38,2	9,80	4,00	1,70	0,70	–	–
Ул. Толбухина	37,2	15,3	2,50	0,30	–	–	–
Павловский Посад	34,1	8,50	3,60	–	–	–	–
Зеленоград	26,9	4,90	–	–	–	–	–

(табл. 2), что непосредственно свидетельствует о сильной пространственной изменчивости [CO] в задымленной атмосфере Московского региона.

Наглядные представления об изменчивости концентрации угарного газа в задымленной атмосфере могут дать эмпирические распределения вероятностей. В качестве примера на рис. 4, а представлена эмпирическая функция распределения (ЭФР) концентрации угарного газа в период интенсивного задымления, построенная по данным измерений на посту Кожухово.

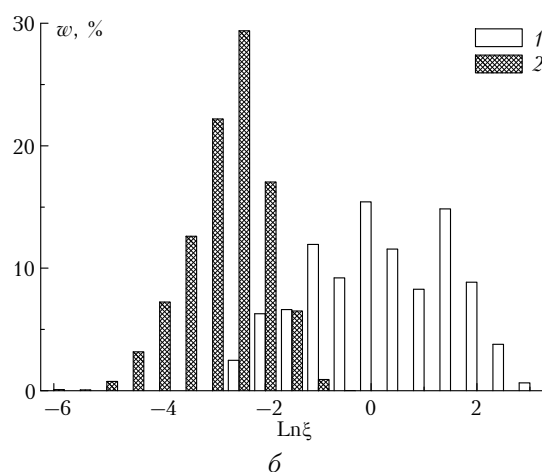
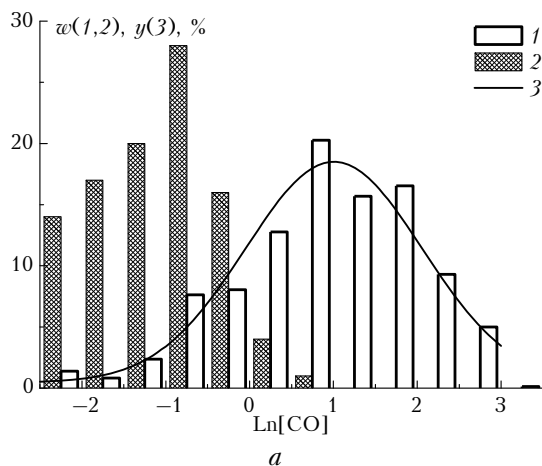


Рис. 4. Эмпирические функции распределения концентрации угарного газа (а) в Москве (Кожухово) и коэффициента рассеяния ξ (б) в Подмосковье (ЗНС ИФА) в период с 01.08 по 10.08.2010 включительно (1) и в летний сезон 2009 г. (2). Аппроксимирующее распределение вероятностей (3) для случая задымленной атмосферы

Для сравнения на рис. 4, а приведена ЭФР концентрации угарного газа для летнего сезона 1.06–31.08. 2009 г. Результаты сопоставления двух ЭФР (1 и 2 на рис. 4, а) свидетельствуют о радикальном различии условий загрязнения в типичных городских условиях [8, 11] и в задымленной атмосфере [1, 2]. ЭФР [CO] в задымленной атмосфере (w_1 на рис. 4, а) с удовлетворительной точностью аппроксимируется в диапазоне изменения $x = \ln C$ от $-2,5$ до $+2,5$ усеченным гауссовым распределением $y(x)$ с небольшой постоянной составляющей y_0 (3 на рис. 4, а):

$$y(\%) = y_0 + \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma_*} \exp\left\{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_*^2}\right\}, \quad (1)$$

где $y_0 = 0,6\%$; $\sigma_* = 1,035$; $x_0 = 1,005$; $A = 45$.

В задымленной атмосфере Москвы во время торфяных пожаров летом – осенью 2002 г. [1, 2] максимальная концентрация угарного газа не превышала 15 мг/м³, что примерно в 2,5 раза ниже максимума 2010 г. Следовательно, в период задымления летом 2010 г. максимальные концентрации угарного газа на большинстве постов контроля качества атмосферного воздуха оказались экстремально большими. Очень высокими оказались и средние уровни концентрации угарного газа в период интенсивного задымления.

Аэрозоль в задымленной атмосфере Московского региона

В период интенсивного задымления видимость в Московском регионе иногда снижалась до 200–300 м, что является признаком большой массовой концентрации дымового аэрозоля [12, 13]. Для грубой оценки массовой концентрации аэрозоля (в тех случаях, когда преобладает субмикронный аэрозоль) можно воспользоваться соотношением

$$M = BL^{-1}, \quad (2)$$

где M – массовая концентрация аэрозоля, мг/м³; L – метеорологическая дальность видимости, км; коэффициент $B \cong 0,9$ км·мг/м³. Следует иметь в виду, что «кажущаяся» дальность видимости объектов, как правило, заметно меньше L .

О высоком содержании дымового аэрозоля в столбе атмосферы свидетельствовала возможность наблюдения при интенсивном задымлении солнечного

диска невооруженным глазом (без использования ослабителей света).

Для количественной оценки аэрозольного загрязнения приземного слоя в задымленной атмосфере были использованы данные мониторинга массовой концентрации аэрозоля с аэродинамическими размерами частиц меньше 10 мкм (PM₁₀) [3] с помощью анализаторов ТЕОМ-1400 [5] на сети автоматических постов контроля качества атмосферного воздуха [4], в том числе на 4 постах в Москве и на постах в Павловском Посаде и в г. Зеленограде. В табл. 3 для 5 постов приведены средние и максимальные значения PM₁₀ в период с 01.08 по 10.08.2010, а также соответствующие значения статистических характеристик σ_a , γ_a , A_a и E_a [12, 13].

Таблица 3
Статистические характеристики вариаций массовой концентрации аэрозоля (PM₁₀) в задымленной атмосфере Московского региона (01.08–10.08.2010)

Пост	C_{max} , мг/м ³	\bar{C} , мг/м ³	σ_a , мг/м ³	γ_a	A_a	E_a
Марьино	1,72	0,32	0,30	0,96	1,40	1,50
Кожухово	1,68	0,35	0,32	0,90	1,26	1,25
Косино	1,65	0,35	0,32	0,90	1,24	1,11
Павловский Посад	1,34	0,27	0,35	1,29	1,45	0,83
Зеленоград	1,08	0,29	0,29	1,00	0,91	-0,18

На трех постах в Москве (табл. 4) были зарегистрированы 5-кратные превышения ПДК_{мр} = 0,3 мг/м³ для PM₁₀ [14], что свидетельствует о беспрецедентно высоком для Москвы уровне аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха летом 2010 г. Римские цифры I, II, III, IV и V у горизонтальных прямых на рис. 3, б указывают на кратность превышения ПДК_{мр} для PM₁₀. Вариации PM₁₀ на посту Кожухово (1) и в Зеленограде (2) (см. рис. 3, б) свидетельствуют о сильной межсуточной и внутрисуточной изменчивости концентрации дымового аэрозоля. О некоторых особенностях пространственного распределения дымового аэрозоля можно судить по табл. 4, в которой представлены вероятности превышения ПДК_{мр} для PM₁₀ и для кратных ПДК_{мр} пороговых концентраций.

Таблица 4

Вероятности превышения (%) в Московском регионе ПДК_{мр} = 0,3 мг/м³ и кратных ПДК_{мр} пороговых концентраций для PM₁₀ (01.08–10.08.2010)

Пост	Пороговые концентрации, мг/м ³				
	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
Марьино	46,6	14,8	9,10	0,55	0,18
Кожухово	47,2	19,3	7,00	2,80	0,28
Косино	48,3	19,3	8,10	2,65	0,15
Павловский Посад	30,3	15,5	12,5	0,70	—
Зеленоград	38,6	16,4	2,10	—	—

При заметном различии в период с 01.08 по 10.08.2010 вариаций PM₁₀ на разных постах обнаружена (рис. 5, а) сравнительно тесная корреляция значений PM₁₀ на постах Кожухово (C₁) и Косино (C₂).

В данном случае прямая регрессии имеет вид $C_2 = C_1$ (рис. 5, а, прямая 1). В большинстве случаев отклонения от линии регрессии укладываются в полосу $C_2 \pm \Delta C$ (2 и 3), где $\Delta C = 0,3$ мг/м³, что обеспечивает лишь грубую оценку восстановления C₂ по известному значению C₁.

Средние значения PM₁₀ на разных постах в период с 01.08 по 10.08.2010 варьируют в пределах от 0,27 до 0,35 мг/м³ (среднее по региону 0,31 мг/м³), что примерно на порядок больше среднегодовых значений PM₁₀ в незадымленной атмосфере Москвы [15]. Отметим также, что среднее значение по региону для максимальных концентраций аэрозоля на 6 постах (1,44 мг/м³) примерно в 4,5 раза больше средней региональной концентрации в незадымленной атмосфере [15].

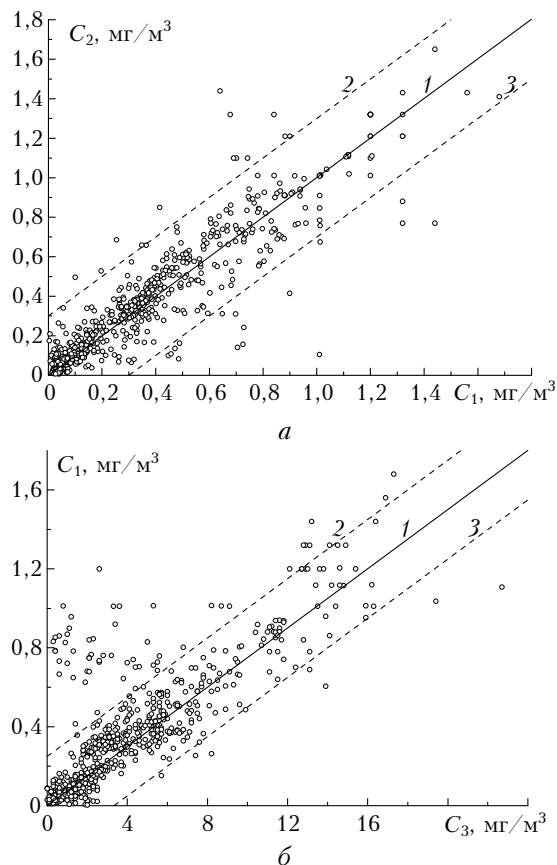


Рис. 5. Корреляция массовой концентрации C₁ аэрозоля (PM₁₀) на посту Кожухово с массовой концентрацией аэрозоля C₂ на посту Косино (а) и с концентрацией угарного газа C₃ на посту Кожухово (б) в период с 01.08 по 10.08.2010

Эмпирические функции распределения PM_{10} в случае задымленной атмосферы оказались примерно такими же узкими, как ЭФР для угарного газа (см. табл. 3): коэффициенты вариаций γ_a изменялись в пределах от 0,9 до 1,5, а параметры асимметрии A_a от 0,9 до 2,0. Что касается параметра эксцесса E_a , то для PM_{10} в задымленной атмосфере его значение не превышало 1,5.

Согласно данным измерений коэффициента рассеяния ζ (в km^{-1}) на ЗНС ИФА массовая концентрация субмикронного аэрозоля в период интенсивного задымления достигала 2 мг/м^3 , а иногда и больше, что согласуется по порядку величины с данными мониторинга PM_{10} . Расчеты показали, что ЭФР для коэффициента рассеяния (см. рис. 4, б) в задымленной атмосфере подобна ЭФР для PM_{10} и ЭФР для концентрации угарного газа (см. рис. 4, а). Для сравнения на рис. 4, б показана ЭФР $\ln \zeta$ (2) для летнего сезона 2009 г. («фоновый» аэрозоль).

Таким образом, статистические ансамбли данных измерений концентраций в задымленной и незадымленной атмосфере как для аэрозоля, так и для угарного газа радикально отличаются друг от друга.

Максимальное значение коэффициента рассеяния летом 2010 г. по крайней мере в 2 раза превысило соответствующий максимум 2002 г. [1, 2], что свидетельствует об экстремально высоком уровне аэрозольного загрязнения воздушного бассейна Московского региона в этот период.

Были проанализированы корреляционные связи между концентрацией угарного газа и PM_{10} . В качестве примера на рис. 5, б показана корреляционная связь между PM_{10} (C_1) и концентрацией угарного газа (C_3) на посту Кожухово. При концентрации угарного газа больше $7\text{--}8 \text{ мг/м}^3$ для оценки PM_{10} по данным измерений [CO] можно воспользоваться соотношением

$$C_1 = 0,075C_3. \quad (3)$$

Соотношение между средними концентрациями угарного газа и аэрозоля в задымленной атмосфере примерно такое же.

Большинство точек на диаграмме рис. 5, б при $[CO] > 8 \text{ мг/м}^3$ попадает в полосу $C_1 \pm \Delta C_*$, где $\Delta C_* = 0,25 \text{ мг/м}^3$. В целом вопрос о взаимосвязи PM_{10} в задымленной атмосфере с концентрациями газовых примесей нуждается в специальном исследовании.

О влиянии переноса воздушных масс на задымление воздушного бассейна Москвы

В июле–августе 2010 г. лесоторфяные пожары происходили во многих регионах ЕТР. В период интенсивного задымления крупномасштабными пожарами была охвачена Рязанская область и прилегающие территории. Продолжались пожары в ряде

районов Московской области. На рис. 6 показаны обратные 1-суточные траектории переноса в Москву воздушных масс в первой декаде августа 2010 г. на уровне 925 мбар.

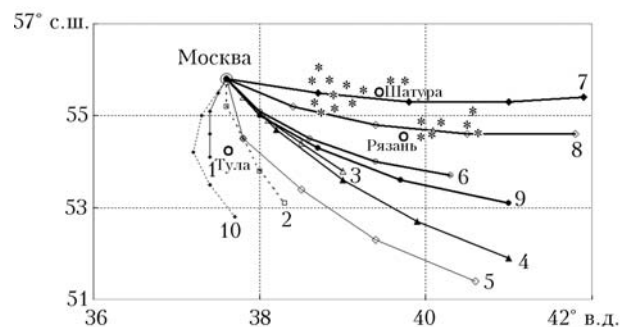


Рис. 6. Обратные 1-суточные траектории переноса воздушных масс на уровне 925 мбар в первой декаде августа 2010 г. (звездочки – очаги пожаров 07.08.2010 г.)

Числа у начала траекторий обозначают дни августа (дни прихода воздушных масс в Москву). Звездочками отмечены районы, в которых 07.08.2010 наблюдались крупные пожары. Нетрудно видеть, что в указанный период дымовой аэрозоль переносился в Москву и в Подомское из охваченных пожарами Шатурского района Московской области и из Рязанской области. При этом дым указанных пожаров переносился в Москву не более чем за сутки. Благодаря стабильности пограничного слоя (см. рис. 2) дымовой аэрозоль за этот срок не успевал распределиться по всей толще тропосферы и большей частью оставался в пограничном слое атмосферы.

Заключение

Проанализированы вариации массовой концентрации аэрозоля с аэродинамическими размерами частиц меньше 10 мкм (PM_{10}) по данным измерений на 6 постах и концентрации угарного газа на 28 постах экологического мониторинга в задымленной атмосфере Московского региона. Максимальные концентрации аэрозоля и угарного газа на постах варьировали от $1,08 \text{ мг/м}^3$ (PM_{10}) и $13,7 \text{ мг/м}^3$ (угарный газ) до экстремально высоких для Москвы значений PM_{10} $1,72 \text{ мг/м}^3$ (в среднем $1,44 \text{ мг/м}^3$) и концентрации угарного газа $37,4 \text{ мг/м}^3$ (в среднем по региону $21,5 \text{ мг/м}^3$) соответственно.

Выполнен статистический анализ вариаций PM_{10} и концентрации угарного газа в период с 01.08 по 10.08.2010. В задымленной атмосфере средние значения концентрации угарного газа варьировали в пределах от $3,49$ до $7,24 \text{ мг/м}^3$ (среднее для региона $4,5 \text{ мг/м}^3$), а средние массовые концентрации аэрозоля на постах экомониторинга – от $0,28$ до $0,36 \text{ мг/м}^3$ (оценка среднего по региону $0,30 \text{ мг/м}^3$). В среднем концентрация угарного газа в задымленной атмосфере (01.08–10.08.2010) была примерно в 4–5 раз больше, чем в незадымленной, а массовая концентрация аэрозоля (PM_{10}) в задымленной атмосфере в 7–10 раз больше среднегодовых концентраций в незадымленной атмосфере.

Эмпирические функции распределения концентраций аэрозоля и угарного газа в случае задымленной атмосферы оказались относительно более узкими и симметричными по сравнению с ЭФР концентраций угарного газа в незадымленной атмосфере. Диапазоны изменения в задымленной атмосфере коэффициентов вариаций (0,9–1,3), асимметрии (0,9–1,5) и эксцесса ($\leq 2,5$) по сравнению с диапазонами изменений в незадымленной атмосфере для угарного газа коэффициента вариаций (0,7–1,87), асимметрии (1,3–5,27) и эксцесса (2,85–54,7) оказались заметно более узкими. Вариации коэффициента рассеяния света приземным воздухом оказались подобны вариациям PM_{10} .

Сопоставление показало, что уровень аэрозольного и газового загрязнения приземного воздуха летом 2010 г. заметно превысил соответствующие уровни во время торфяных пожаров летом – осенью 2002 г.

Охарактеризованы метеорологические условия при задымлении атмосферы Московского региона летом 2010 г. Показано, что термическая стратификация в пограничном слое задымленной городской атмосферы в целом была стабильной. В ночные часы в пограничном слое формировались сильные инверсии. Установлено, что задымление Московского региона в первой декаде августа было обусловлено, главным образом, лесоторфяными пожарами в Московской и Рязанской областях.

В работе использованы данные экологического мониторинга на сети автоматических постов контроля качества атмосферного воздуха ГПУ «Мосэкомониторинг».

Работа частично поддержана РФФИ (проект № 11-05-01144).

1. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Пономарева Т.Я., Семутникова Е.Г., Свириденков М.А., Шукуров К.А. Исследование состава задымленной атмосферы Московского региона // Докл. РАН. 2003. Т. 390, № 2. С. 251–254.
2. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Пономарева Т.Я., Семутникова Е.Г., Свириденков М.А., Шукуров К.А. Исследование состава задымленной атмосферы Москвы во время пожаров торфяников летом–осенью 2002 г. // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2004. Т. 40, № 3. С. 366–380.

3. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека. Копенгаген: Региональные публикации ВОЗ. Европейская серия. 2001. № 5. 293 с.
4. Бюллетень о состоянии атмосферного воздуха в г. Москве в 2005 г. М.: Мосэкомониторинг, 2006. 72 с.
5. Solomon P.A., Sioutas C. Continuous semicontinuous monitoring techniques for particulate matter mass and chemical components: a synthesis of findings from EPA's particulate matter supersites program and related studies // J. Air & Waste Management Assotiat. 2008. V. 58. P. 164–195.
6. Исаков А.А. Спектрополяриметрические и нефелометрические исследования приземного аэрозоля в период лесных и торфяных пожаров в 2002 г. // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2003. Т. 39, № 6. С. 791–798.
7. Кадыгров Е.Н. Микроволновая радиометрия атмосферного пограничного слоя: метод, аппаратура, результаты измерений // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 7. С. 697–704.
8. Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Аношин Б.А., Карпов А.В., Колесникова А.Б. Углеводороды в городской атмосфере // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2009. Т. 45, № 3. С. 337–347.
9. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. М.: Физматгиз, 1959. 264 с.
10. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: РГМУ, 2008. 408 с.
11. Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Зоткин Е.В., Карпов А.В., Лезина Е.А., Ульяновко А.В. Вариации газовых компонент загрязнения в воздушном бассейне г. Москвы // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2006. Т. 42, № 2. С. 176–190.
12. Горчаков Г.И., Емиленко А.С., Свириденков М.А. Однопараметрическая модель приземного аэрозоля // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1981. Т. 17, № 1. С. 39–49.
13. Козлов В.С., Панченко М.В., Яушева Е.П. Субмикронный аэрозоль и сажа приземного слоя в суточном ходе // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 7. С. 561–567.
14. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.2604. Дополнение № 8 к ГН 3.1.6.1338-03. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. URL: <http://rospotrebnadzor.ru/documents/postanov/28308/print/>
15. Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Аношин Б.А. Статистический анализ массовой концентрации грубодисперсного аэрозоля в г. Москве // Оптика атмосфер. и океана. 2007. Т. 20, № 6. С. 501–505.

G.I. Gorchakov, E.G. Semoutnikova, A.A. Isakov, V.M. Kopeikin, A.V. Karпов, G.A. Kurbatov, E.A. Lezina, T.Ya. Ponomareva, A.V. Sokolov. **Moscow smoky haze of 2010. Extreme aerosol and gaseous air pollution in Moscow region.**

Aerosol mass concentration (PM_{10}) and carbon monoxide concentration variations for the dense smoke time in Moscow region during the large-scale peat-forest fires have been analyzed. Statistical characteristics of the concentration variations and exceeding probabilities for single maximal permissible concentration (SMPC) and multiple to SMPC values for aerosol mass concentration with aerodynamic diameters smaller 10 μm (PM_{10}) and for carbon monoxide concentration were calculated. The exceeding of 5 SMPC for PM_{10} and 6 SMPC for carbon monoxide were found. It is shown that main statistical characteristics (averages, standard deviations, asymmetry and excess parameters) of PM_{10} and carbon monoxide concentration variations in the smoky atmosphere differ essentially from corresponding statistical characteristics for non-smoky atmosphere. Meteorology at a period of the smoke screening in August 2010 were outlined. Smoke screening sources of the Moscow region were determined by means of the inverse trajectories analysis.