

УДК 502.057, 504.3.054

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭРОЗОЛЯ г. МОСКВЫ И ПОДМОСКОВЬЯ В ИЮНЕ 2009 г. И НА ПИКЕ ПОЖАРОВ 2010 г.

© 2012 г. А.В. Трефилова¹, М.С. Артамонова², Т.М. Кудерина³, Д.П. Губанова¹,
К.А. Давыдов¹, М.А. Иорданский¹, Е.И. Гречко², В.М. Минашкин¹

¹ Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова;
Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», г. Москва, Россия

² Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

³ Институт географии РАН, г. Москва, Россия

Выполнены одновременные измерения в приземном слое атмосферы микрофизических характеристик аэрозоля в центре г. Москвы и в ближайшем Подмоскowie (на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН) с 15.06 по 30.06.2009 г. с целью сравнения массовой концентрации, функции распределения частиц по размерам и элементного состава аэрозоля в мегаполисе и в фоновой зоне. В пиковый период пожаров, 08.08.2010 г., в центре г. Москвы выполнен отбор проб аэрозоля и определен их химический состав.

По результатам сравнительного анализа одновременных измерений концентраций и элементного состава аэрозоля установлена их межсуточная изменчивость, свидетельствующая о том, что особенности временных вариаций носят региональный характер и в основном определяются динамикой синоптических процессов смены воздушных масс. Определение химического состава полученных проб проводилось методом атомно-адсорбционной спектроскопии. По результатам измерений в июне 2009 г. выявлено повышенное содержание техногенных элементов в атмосфере г. Москвы относительно их содержания в атмосфере фоновой зоны.

В г. Москве в период пожаров лета 2010 г. концентрация серы на порядок превышала ее концентрацию в июне 2009 г., а элементов Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe – в несколько раз. Средняя массовая концентрация аэрозоля в августе 2010 г. составляла 917 мкг/м³, а в июне 2009 г. – в среднем 50–70 мкг/м³.

Ключевые слова: аэрозольные частицы, загрязнение атмосферы, элементный состав, распределение по размерам, массовая концентрация, коэффициент обогащения, мегаполис, здоровье человека.

PACS 92.60.Mt

Введение

Растущее в последние годы число опасных гидрометеорологических явлений, техногенных аварий и катастроф способствует резкому увеличению содержания в воздухе загрязняющих аэрозолей, негативно влияющих на жизнедеятельность живых организмов.

Так, летом 2010 г. установившийся на длительное время над Европейской территорией России (ЕТР) блокирующий антициклон [Шакина, Иванова, 2010] способствовал установлению рекордно жаркой, засушливой погоды и возникновению многочисленных очагов лесных и торфяных пожаров, что привело к резкому увеличению загрязнения атмосферы – были значительно превышены предельно допустимые концентрации (ПДК) содержания аэрозоля (PM_{10} , $PM_{2.5}$ и PM_{10}) [Горчаков и др., 2011], дыма, смога, угарных газов [Еланский и др., 2011; Исаков и др., 2011]. В этот же период был зарегистрирован сильный всплеск заболеваний дыхательной, эндокринной, сердечно-сосудистой систем, системы кровообращения, отмечалось резкое увеличение летальных исходов [Anderson, 2009; Доклад..., 2010]. Только в г. Москве в июле–августе 2010 г. смертность людей увеличилась в 1.5–2 раза [Пресс-релиз..., 2010]. Атмосферные аэрозольные частицы диаметром менее 10 мкм (PM_{10} , $PM_{2.5}$ и PM_{10}), концентрация которых в период пожаров лета 2010 г. была в несколько раз выше ПДК, проникая в организм человека, способствуют заболеваниям дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Кроме того, они содержат вредные токсичные элементы, которые накапливаются в органах и тканях человека, вызывая заболевания эндокринной системы и способствуя образованию злокачественных опухолей.

В настоящее время одной из актуальных проблем является исследование влияния атмосферных аэрозолей на здоровье людей [Pope, Dockery, 2006] и в целом на живые организмы. Выявление факторов такого влияния невозможно без мониторинга аэрозоля в приземном слое атмосферы, наиболее подверженном загрязнению антропогенного и природного характера [Волох, Журавлева, 1994; Андропова и др., 2010].

Для изучения аэрозольного загрязнения атмосферы Московского мегаполиса и ближайшего Подмосковья с 15.06 по 30.06.2009 г. в приземном слое атмосферы были выполнены одновременные измерения в двух точках. Первая точка находилась в центре г. Москвы на территории Научно-исследовательского физико-химического института (НИФХИ) им. Л.Я. Карпова (ул. Воронцово Поле), вторая – в Подмосковье, в 40 км от МКАД, на территории Звенигородской научной станции Института физики атмосферы (ИФА) им. А.М. Обухова РАН (дер. Новошихово, Одинцовский р-н) (далее вторую точку будем обозначать как ЗНС).

В данной работе представлены результаты двухнедельного мониторинга аэрозоля в приземном слое атмосферы в июне 2009 г. Проведен сравнительный анализ параметров и химического состава загрязняющих аэрозолей с целью выявления их возможных источников, определено влияние метеорологических условий на состав и содержание приземных аэрозолей. Кроме того, проведено сравнение химического состава аэрозоля г. Москвы в июне 2009 г. и в период пика пожаров 08.08.2010 г., когда было отмечено увеличение массовой концентрации серы на порядок, а элементов Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe – в разы.

Пункты наблюдений, аппаратура и методика аэрозольных измерений

Как уже говорилось, измерения параметров аэрозолей в приземном слое атмосферы проводились в двух пунктах: 1) в центре г. Москвы на территории НИФХИ им. Л.Я. Карпова (эти данные характеризовали аэрозольное загрязнение воздушной среды в мегаполисе в целом) и 2) на региональной фоновой станции в Подмосковье (ЗНС).

Во время катастрофических пожаров летом 2010 г. 8 августа в центре г. Москвы (ул. Б. Андроньевская) были отобраны пробы для определения химического состава аэрозоля; массовая концентрация определялась методом взвешивания.

В июне 2009 г. измерения микрофизических характеристик аэрозоля (счетная и массовая концентрации, дисперсный состав аэрозоля) осуществлялись в двух пунктах наблюдений в будни в дневное время суток (с 9:00 до 18:00) с использованием одинаковых комплектов аппаратуры, в который входили следующие приборы:

- спектрометр аэрозольный лазерный ЛАС-П (изготовитель – ФГУП «НИФХИ им. Л.Я. Карпова») ($D = 0.15\text{--}1.5$ мкм и более);
- фотоэлектрический счетчик аэрозольных частиц модели 220 фирмы «Roуso Instrument» (США) ($D = 0.5\text{--}5$ мкм);
- 6-каскадный импактор (изготовитель – ФГУП «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»);
- аспирационный пробоотборник.

Применявшаяся методика отбора проб подробно описана в работе [Ивлев, 1982], а параметры используемой аппаратуры приведены в статье [Andronova et al., 2002].

Для определения элементного состава атмосферных аэрозольных частиц производился забор проб на аналитические фильтры ХА-20 аспирационными пробоотборниками с расходом $12\text{ м}^3/\text{ч}$. Общий расход воздуха контролировался газовым счетчиком. С учетом требований получения достаточного привеса на фильтре время отбора проб составляло не менее 6 ч. Массовая концентрация аэрозоля на фильтре определялась методом взвешивания дискретных проб, отобранных при помощи аспирационного пробоотборника. Элементный анализ проб осуществлялся при помощи спектрометра ICAP-61 (фирма «Thermo Jarrell Ash», США) по методике, описанной в работе [Кудряшов, 1997].

Метеорологические условия в период измерений

На ЗНС проводились регулярные измерения метеопараметров, а для г. Москвы использованы данные метеостанции «Балчуг» с сервера «Погода России» (<http://meteo.infospace.ru>).

Метеорологические параметры, существенные для переноса и осаждения аэрозоля (температура воздуха, количество осадков, направление ветра) в период измерений с 15.06 по 30.06.2009 г., приведены на рис. 1, 2. На рис. 2, а представлены изолинии геопотенциала на уровне 700 мб и направления скорости ветра над ЕТР для 18.06.2009 г., на рис. 2, б – аналогичные характеристики для 25.06.2009 г. Характерной климатической особенностью этого периода для Московского мегаполиса явилась положительная аномалия ($+0.7\text{ }^\circ\text{C}$) среднемесячной температуры воздуха [Основные..., 2009].

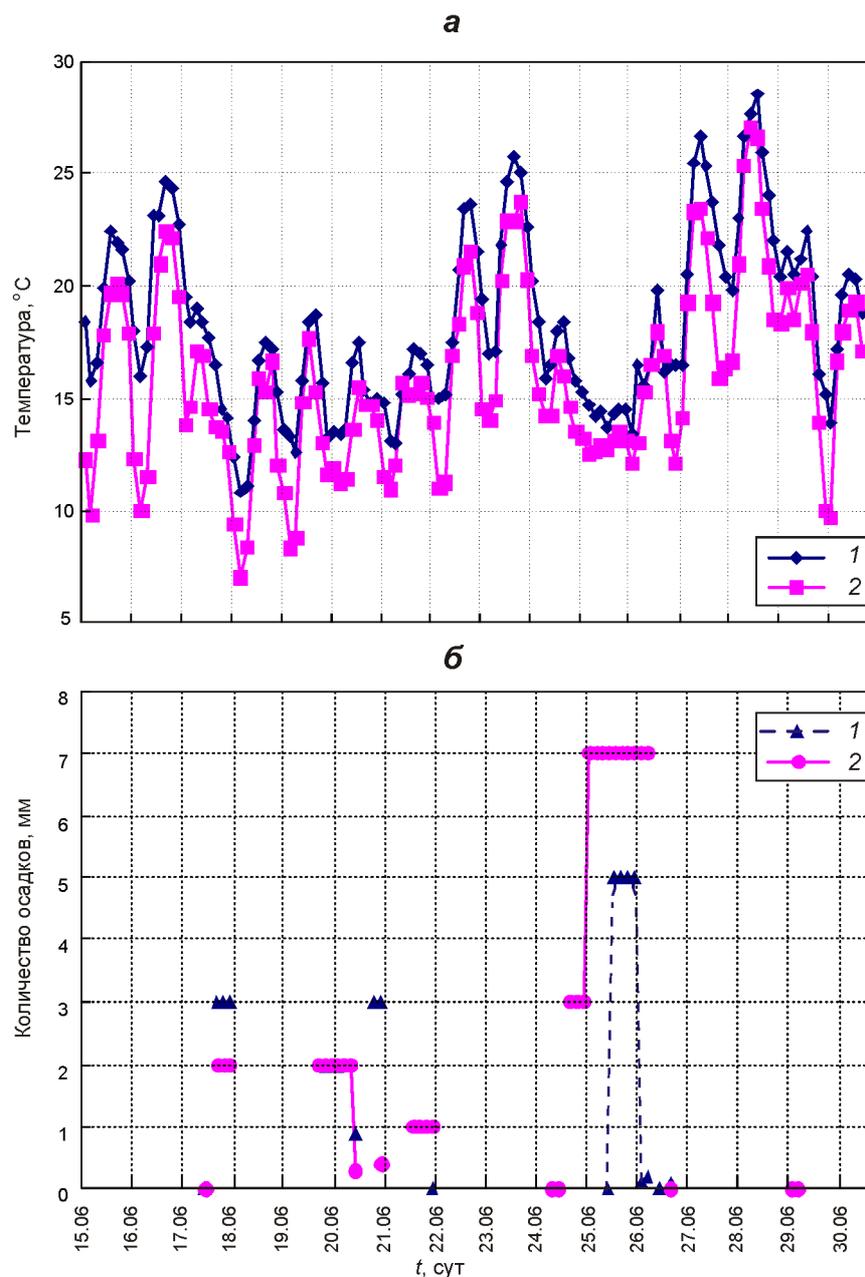


Рис. 1. Температура воздуха (а) и количество осадков (б) за 15–30.06.2009 г. на метеостанции «Балчуг», г. Москва (1) и на ЗНС (2)

Для анализа атмосферного переноса по модели NOAA HYSPLIT [Draxler, Hess, 1998] были построены пятисуточные трехмерные обратные траектории движения воздушных масс, представленные на рис. 3. Траектории построены для каждого дня наблюдений (оканчиваются на высоте 150 м над уровнем поверхности Земли) в 10, 13, 16, 19 ч по московскому времени (или 6, 9, 12, 15 UTC). С 15.06 по 22.06.2009 г. преобладало западное направление движения воздушных масс, 23 июня произошла смена направления движения с западного на восточное.

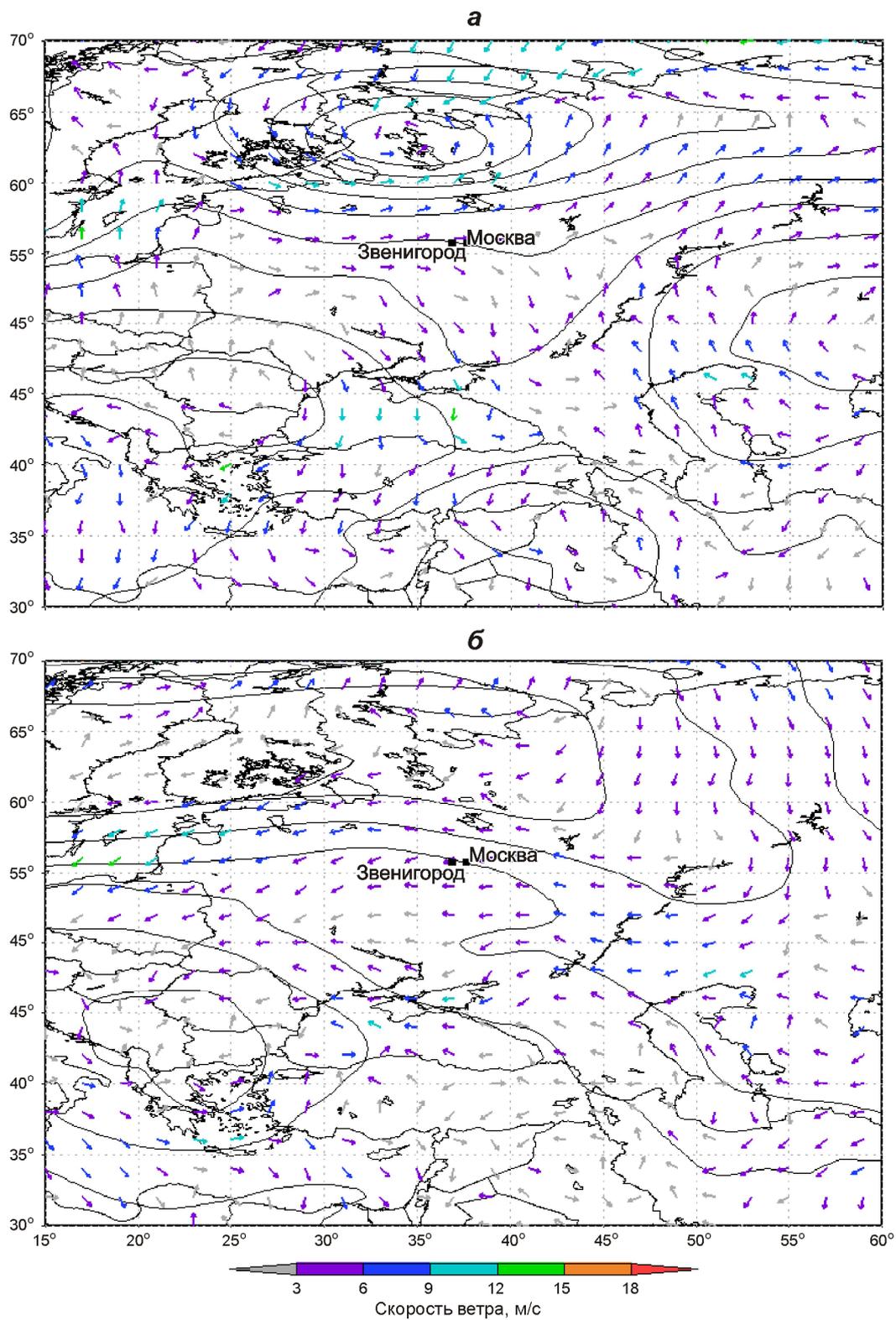


Рис. 2. Изолинии геопотенциала, направление и скорость ветра на уровне 700 мб 18.06.2009 г. (а) и 25.06.2009 г. (б)

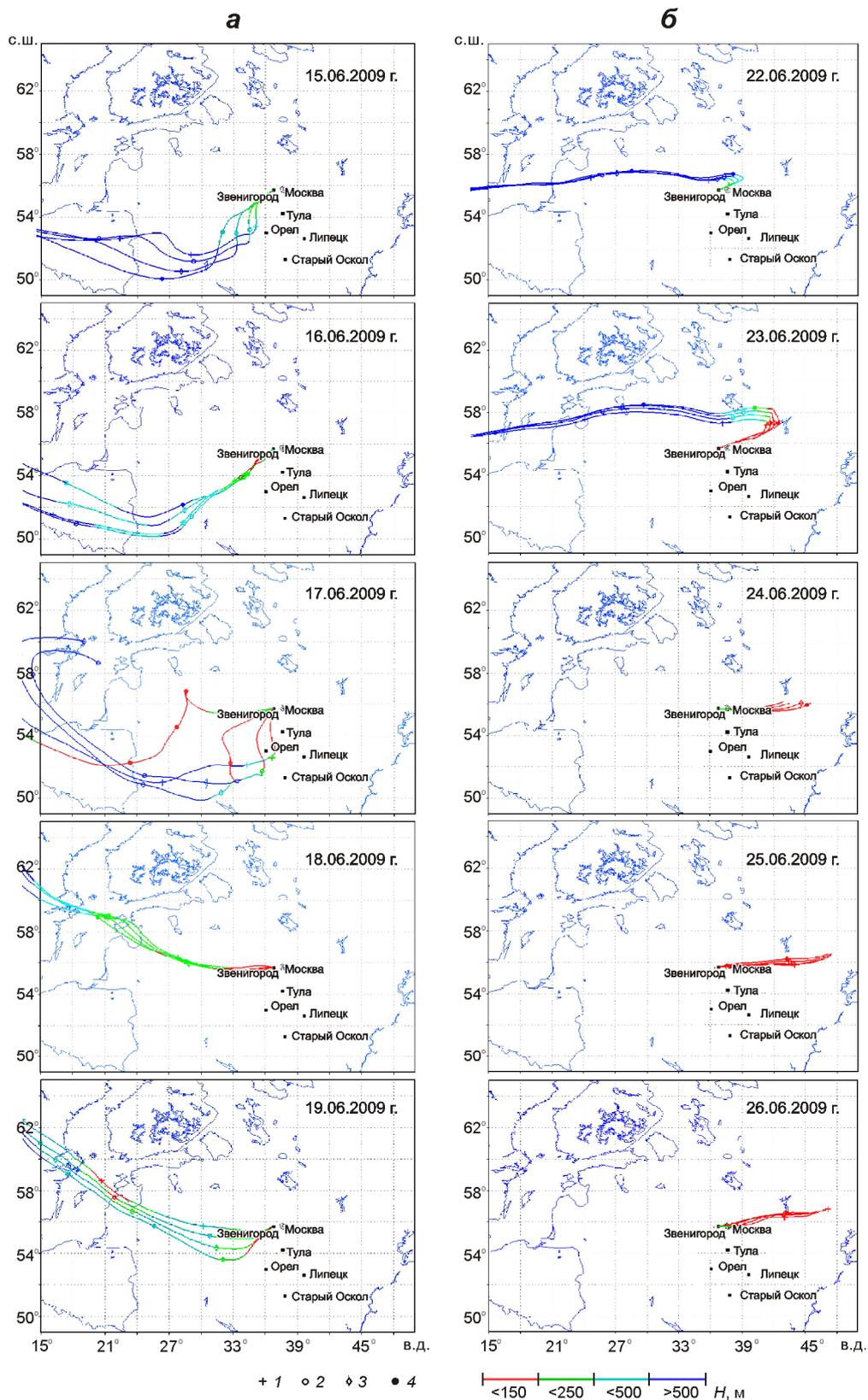


Рис. 3. Траектории движения воздушных масс (H – высота над поверхностью Земли, м), построенные по модели NOAA HYSPLIT для каждого дня наблюдений в 10 (1), 13 (2), 16 (3), 19 (4) часов по московскому времени (6, 9, 12, 15 UTC соответственно) за периоды наблюдений 15–19.06.2009 г. (а) и 22–26.06.2009 г. (б)

Подробная метеорологическая ситуация лета 2010 г. для ЕТР приведена в статье [Шакина, Иванова, 2010]. Рекордные аномалии среднемесячной температуры составляли +5.4 °С [Основные..., 2010]. При установившемся стабильном антициклоне и в отсутствие осадков на ЕТР наблюдались площадные пожары.

Результаты исследований

На рис. 4 представлены графики массовой концентрации аэрозоля в приземном слое атмосферы, полученные по осредненным за 10 мин данным измерений. В течение первой недели измерений массовая концентрация аэрозоля в Московском мегаполисе в 1.5–2 раза превышала таковую на ЗНС. Однако во вторую неделю измерений характер распределения изменился. Значение массовой концентрации аэрозольных частиц на ЗНС значительно возросло и составляло один порядок с величиной концентрации аэрозолей в г. Москве. Траектории движения воздушных масс, приведенные на рис. 3, и направления ветра на рис. 2, б показывают, что в этом случае воздушные массы прошли через Московский мегаполис на ЗНС. Отмечено, что во второй половине дня 17, 18 и 25.06.2009 г. были зарегистрированы невысокие значения массовой концентрации аэрозоля в атмосферном воздухе г. Москвы и ЗНС. Сопоставление этих данных с метеорологическими параметрами в указанные моменты времени показывает, что это связано с прохождением холодного фронта и выпадением осадков. Резкое снижение массовой концентрации аэрозоля на ЗНС зафиксировано 24.06.2009 г. – оно связано с началом интенсивных осадков. В г. Москве осадки были 25.06.2009 г.; они также привели к резкому снижению массовой концентрации аэрозоля в атмосфере.

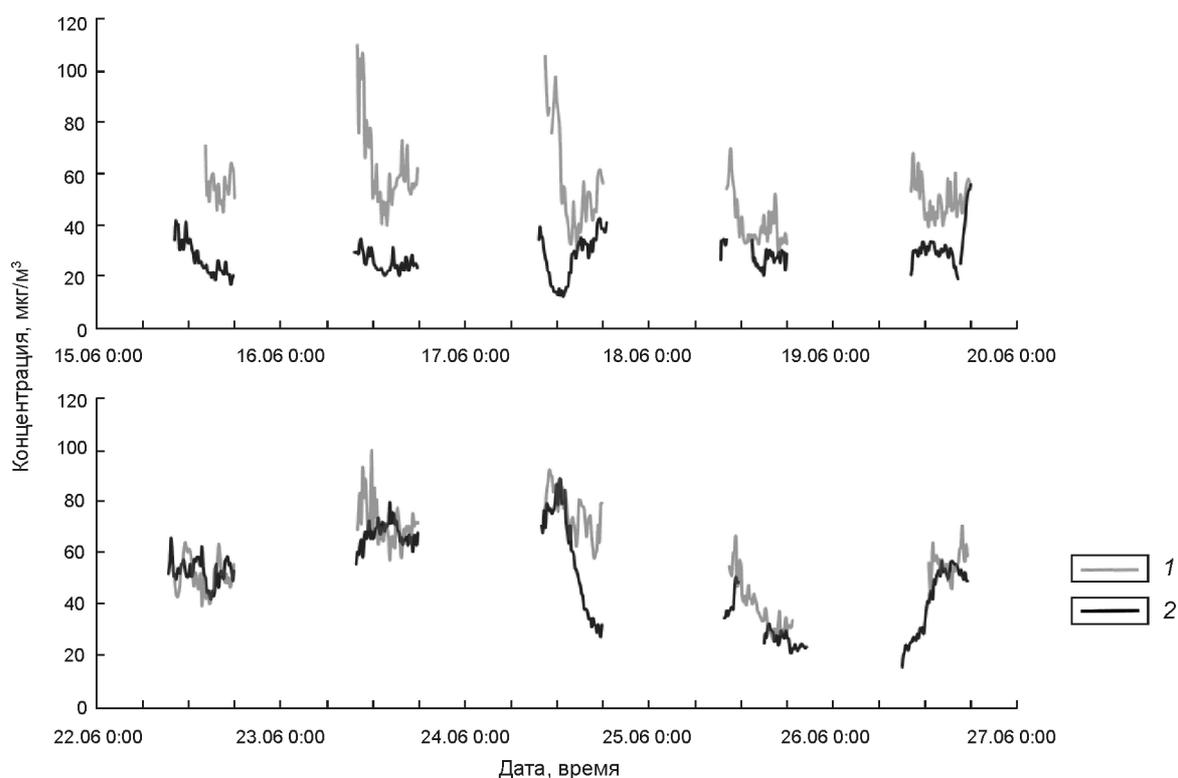


Рис. 4. Распределение по времени массовой концентрации аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы, полученное по результатам наблюдений в промышленном мегаполисе (г. Москва) (1) и чистой (фоновой) зоне (ЗНС) (2) за период 15–27.06.2009 г.

По данным измерений в июне 2009 г. определялись элементный и фракционный составы аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы. Идентифицировано свыше 60 химических элементов. Эти данные представляют исключительный интерес при рассмотрении накопления токсичных элементов в организме человека [Грин, Лейн, 1972; Гигиенические нормативы..., 2010].

В табл. 1 представлен элементный фракционный состав приземных аэрозолей в г. Москве и на ЗНС и процентное содержание элементов в пробах, взятых на каждом из каскадов импактора. В частицах крупных фракций (более 4 мкм) в обеих точках наблюдений сосредоточены Al, Si, Ca, Sr, Bi, Mo, а на ЗНС дополнительно – Ag, Cr, Ni. В частицах мелких фракций (менее 1.5 мкм) в обеих точках наблюдений сосредоточены S, Hg, Tl, Pb, на ЗНС дополнительно – W, B, а в г. Москве – Zn, Ni. Остальные элементы распределены относительно равномерно по всем фракциям атмосферных аэрозольных частиц и г. Москвы, и ЗНС. Среди них выделены лантаноиды, которые имеют сходные физико-химические свойства и характер процентного распределения по фракциям (в частицах PM_{2.5} и PM₁₀).

Таблица 1. Элементный фракционный состав аэрозолей приземного слоя атмосферы (%) ЗНС и г. Москвы в июне 2009 г.

Элемент	ЗНС						г. Москва					
	Диаметр частиц, мкм						Диаметр частиц, мкм					
	< 0.5	0.5–1.5	1.5–2.5	2.5–4.0	4.0–6.5	> 6.5	< 0.5	0.5–1.5	1.5–2.5	2.5–4.0	4.0–6.5	> 6.5
Li	–	16.5	26.7	18.3	29.3	9.2	9.9	8.5	20.9	18.0	26.0	16.7
Be	21.6	–	32.8	12.9	32.8	–	–	–	37.8	–	32.8	29.3
B	–	54.3	–	21.4	24.3	–	–	20.8	30.5	17.0	12.5	19.2
Na	18.2	22.1	20.7	14.0	17.5	7.4	38.7	8.8	18.0	12.2	12.7	9.6
Mg	3.3	9.2	15.0	23.9	40.2	8.4	25.1	–	13.6	11.9	35.9	13.4
Al	–	7.9	17.8	21.2	46.5	6.6	10.6	4.7	21.3	17.4	23.2	22.8
Si	–	17.2	21.6	22.1	30.3	8.8	16.5	–	23.2	13.2	21.0	26.1
P	–	–	–	100.0	–	–	–	–	–	–	–	–
S	5.2	51.5	18.2	7.9	10.8	6.4	46.3	18.1	17.9	9.5	8.2	–
K	–	31.3	20.1	17.2	31.5	–	16.4	15.2	17.1	15.6	20.8	14.9
Ca	0.8	9.7	16.6	21.0	43.0	8.8	10.1	3.4	14.1	15.9	37.3	19.3
Sc	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ti	6.6	18.4	28.8	14.3	22.2	9.6	11.3	7.3	33.2	15.6	14.6	17.9
V	60.3	–	–	–	–	39.7	–	–	–	–	–	–
Cr	–	–	–	26.3	5.3	68.4	21.1	13.4	16.6	16.6	16.7	15.5
Mn	1.1	20.9	24.1	17.2	30.4	6.3	17.6	11.4	22.6	16.4	22.6	9.4
Fe	3.4	12.3	14.0	23.1	36.1	11.1	32.7	3.8	12.1	18.0	23.8	9.6
Co	–	23.0	15.6	28.8	32.6	–	24.1	–	16.0	19.1	25.1	15.7
Ni	19.8	6.2	2.6	9.7	25.7	36.1	61.6	–	10.8	14.8	7.7	5.1
Cu	–	16.6	8.9	32.1	28.2	14.2	8.2	6.5	41.1	17.9	16.2	10.0
Zn	7.9	17.6	11.1	43.7	11.9	7.7	64.2	4.8	8.8	5.0	10.3	6.9
Ga	–	–	–	75.3	24.7	–	–	–	–	–	–	–
As	–	–	–	100.0	–	–	–	–	–	–	–	–
Se	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Rb	–	27.0	23.3	18.2	25.5	6.0	11.0	10.9	23.9	14.6	23.3	16.3
Sr	1.3	13.3	21.3	21.2	36.0	6.9	12.0	6.8	20.7	16.1	29.2	15.2
Y	–	7.1	31.1	20.8	34.4	6.7	2.7	5.3	22.0	17.3	32.0	20.6
Zr	–	30.4	38.3	9.1	22.2	–	–	–	27.1	23.1	29.2	20.7
Nb	0.4	1.7	2.4	90.0	4.8	0.7	14.7	6.5	23.3	16.0	24.1	15.3
Mo	–	14.4	20.2	19.0	35.2	11.3	11.2	6.3	19.3	25.1	28.4	9.8
Rh	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Pd	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 1 (окончание)

Элемент	ЗНС						г. Москва					
	Диаметр частиц, мкм						Диаметр частиц, мкм					
	< 0.5	0.5–1.5	1.5–2.5	2.5–4.0	4.0–6.5	> 6.5	< 0.5	0.5–1.5	1.5–2.5	2.5–4.0	4.0–6.5	> 6.5
Ag	–	17.2	16.8	12.2	43.3	10.6	23.9	8.2	20.5	26.8	7.8	12.8
Cd	1.5	16.5	15.8	41.0	10.5	14.7	9.8	8.7	28.1	10.6	21.0	21.7
Sn	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Sb	–	46.7	27.1	12.6	13.6	–	12.8	10.9	20.7	17.8	31.7	6.0
Te	–	60.8	39.2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cs	–	20.6	25.0	20.2	28.0	6.2	7.5	10.0	25.6	16.7	26.4	13.8
Ba	2.8	12.2	27.5	23.9	23.6	10.0	29.9	4.2	14.1	15.7	25.4	10.6
La	–	5.3	35.0	17.7	29.8	12.2	–	–	24.7	25.3	20.2	29.8
Ce	–	6.7	29.0	20.3	34.1	10.0	–	–	28.1	26.7	16.7	28.5
Pr	–	0.0	35.7	12.6	38.0	13.7	–	–	14.2	29.8	21.2	34.8
Nd	–	3.2	31.9	23.6	31.8	9.4	–	–	15.9	34.4	36.8	12.8
Sm	–	6.9	33.5	19.5	32.5	7.5	–	–	1.4	17.8	67.1	13.7
Eu	–	7.2	34.1	19.4	31.6	7.7	–	–	28.8	16.6	16.2	38.3
Gd	–	4.2	33.1	21.9	32.3	8.5	–	–	17.7	14.2	56.6	11.5
Tb	–	–	–	17.7	82.3	–	–	–	7.5	9.6	50.4	32.6
Dy	–	7.4	33.2	24.4	26.0	9.0	–	6.4	21.4	19.7	34.9	17.6
Ho	–	33.0	26.0	9.6	31.5	–	11.2	19.0	18.7	20.5	9.9	20.7
Er	–	9.1	29.2	22.8	29.7	9.1	7.9	13.8	15.7	8.0	14.3	40.3
Tm	–	53.0	–	–	47.0	–	–	24.9	–	–	60.2	10.7
Yb	1.1	6.9	29.4	22.5	34.0	6.1	7.8	7.8	18.4	16.3	28.9	20.8
Lu	–	–	24.6	22.9	52.4	–	15.2	0.0	22.0	22.0	23.6	17.2
Hf	–	–	–	–	100.0	–	–	–	–	–	–	–
Ta	–	–	–	–	–	–	–	–	47.2	–	–	52.8
W	–	43.5	6.1	18.5	21.3	10.6	28.5	4.1	14.6	19.6	22.8	10.4
Re	–	–	11.5	66.4	22.1	–	–	17.6	18.3	12.4	20.9	30.8
Ir	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Pt	–	–	100.0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Au	–	23.8	28.5	10.8	15.7	21.2	22.7	4.7	12.7	25.0	18.2	16.7
Hg	73.6	–	26.4	–	–	–	100.0	–	–	–	–	–
Tl	15.8	43.4	24.7	7.8	8.4	–	31.6	19.7	22.8	9.7	8.6	7.5
Pb	8.6	40.2	24.9	10.1	11.1	5.1	44.5	15.8	19.2	7.2	7.3	6.0
Bi	–	14.6	21.0	40.6	17.8	6.1	6.8	9.8	16.7	16.8	28.3	21.6
Th	–	8.1	26.0	21.9	33.1	10.9	5.0	5.3	19.2	23.7	30.6	16.3
U	–	21.0	24.3	17.3	30.5	7.0	–	–	–	–	99.9	–

Примечание. Тонем выделены лантаноиды. Прочерк означает, что данный элемент на каскадах не обнаружен.

Для выявления природных и техногенных источников поступления химических элементов в городские аэрозоли по методике, приведенной в [Виноградова и др., 1993], и для определения степени загрязнения атмосферного воздуха были рассчитаны коэффициенты обогащения элементов EF_{med} по формуле

$$EF_{med} = (C_3 / C_{Al})_{пробы} / (C_3 / C_{Al})_{коры},$$

где C_3 и C_{Al} – концентрации данного элемента и алюминия, который использовался в качестве опорного элемента.

Элементы, значения коэффициентов обогащения которых близки к 1, можно считать преимущественно терригенными. Значения $EF_{med} > 10$ могут быть обусловлены несколькими причинами, например: существенным влиянием других источников (промышленных объектов, транспорта или океанов) на концентрацию соответствующих элементов в атмосфере; различными вторичными преобразованиями аэрозоля в атмо-

сфере; фракционированием аэрозольных частиц в процессе их выведения из атмосферы по пути переноса воздушных масс.

В зависимости от предполагаемых источников поступления в атмосферу все элементы условно разбиты на две группы. В табл. 2 и 3 приведены коэффициенты обогащения элементов и коэффициенты корреляции ($K_{кор}$) элементов природного происхождения и диапазонов частиц, в которых наиболее вероятно их присутствие.

Таблица 2. Коэффициенты обогащения и коэффициенты корреляции элементов природного происхождения и диапазоны частиц (мкм) в аэрозолях приземного слоя атмосферы г. Москвы и ЗНС в июне 2009 г.

Элемент	EF_{med}		г. Москва		ЗНС	
	г. Москва	ЗНС	D частиц	$K_{кор}$	D частиц	$K_{кор}$
Li	2.09	2.38	7.0–10.0	0.57	0.15–3.0	0.72–0.95
Be	0.76	0.81	5.0–10.0	0.75–0.80	0.15–1.0; 1.5–5.0	0.67–0.91
B	1.57	1.55	7.0–15.0	0.67–0.70	0.15–0.4; 0.5–2.0	0.65–0.96
Na	0.71	4.86	0.15–0.2; 1.0–3.0	0.69–0.89	0.7–1.0	0.77
Mg	1.36	1.34	7.0–10.0	0.67	0.15–2.0	0.73–0.90
Al	1.00	1.00	5.0–10.0	0.61–0.67	0.15–0.4; 0.5–3.0	0.67–0.83
P	9.18	11.52	2.0–15.0	0.69–0.71	–	–
K	1.56	2.02	7.0–10.0	0.64	0.15–0.25; 0.4–1.0	0.65–0.86
Ca	9.21	6.72	7.0–10.0	0.65	0.15–2.0	0.73–0.93
Ti	1.05	0.62	5.0–10.0	0.66–0.70	0.15–0.7; 1.0–7.0	0.71–0.81
V	1.03	–	1.0–15.0	0.86–1.0	–	–
Mn	1.86	1.07	7.0–10.0	0.72–0.74	0.3–1.0	0.79–0.95
Fe	2.94	1.75	2.0–10.0	0.68–0.71	0.15–0.7; 1.0–10.0	0.62–0.93
Co	0.73	0.8	0.5–1.0	0.74–1.0	–	–
Ni	7.05	4.2	0.25–0.3; 1.0–2.0	0.67–0.97	–	–
As	10.56	–	1.5–10.0	0.72–0.97	–	–
Rb	0.23	0.36	5.0–10.0	0.65–0.70	0.3–2.0	0.75–0.99
Sr	1.85	1.85	7.0–10.0	0.66	0.15–2.0	0.65–0.96
Y	0.73	0.53	5.0–10.0	0.68–0.76	0.15–0.3; 1.0–10.0	0.69–0.95
Zr	1.17	1.13	2.0–10.0	0.62–0.67	0.5–0.7	0.62
Nb	0.75	0.55	7.0–10.0	0.67	0.15–0.7; 1.0–10.0	0.7–0.95
Cs	0.74	0.96	7.0–15.0	0.75–0.80	0.15–0.3; 1.0–3.0	0.66–0.91
Ba	4.38	3.02	2.0–3.0	0.64	0.15–7.0	0.71–0.94
La	0.30	0.4	5.0–10.0	0.62–0.68	1.0–10.0	0.50–0.70
Ce	3.81	4.36	7.0–10.0	0.68	0.15–0.3; 1.0–1.5	0.70–0.82
Pr	1.30	1.20	7.0–10.0	0.71	0.15–0.4; 1.0–5.0	0.73–0.96
Nd	1.16	1.28	7.0–10.0	0.71	0.15–0.3; 1.0–5.0	0.68–0.91
Sm	0.89	1.03	7.0–10.0	0.73	0.15–0.3; 1.0–5.0	0.68–0.90
Eu	0.48	0.74	7.0–10.0	0.73	0.15–0.3; 7.0–15.0	0.67–0.88
Gd	0.58	0.43	7.0–10.0	0.73	0.15–0.3; 1.0–15.0	0.83–1.0
Tb	0.26	0.22	7.0–10.0	0.71	0.15–0.3; 1.0–5.0	0.71–0.93
Dy	1.04	0.81	7.0–10.0	0.74	0.15–0.3; 7.0–10.0	0.71–0.91
Ho	0.42	0.38	7.0–15.0	0.80–0.86	0.15–0.3; 1.0–15.0	0.70–0.94
Er	0.84	0.48	7.0–15.0	0.70–0.74	0.15–0.3; 1.0–10.0	0.70–0.97
Tm	1.95	4.08	7.0–10.0	0.71	0.15–0.3; 1.0–10.0	< 0.03
Yb	9.32	6.59	7.0–10.0	0.64	0.15–0.4; 1.0–7.0	0.67–0.90
Lu	0.55	0.43	7.0–10.0	0.67	0.15–0.4; 1.0–5.0	0.77–0.97
Hf	8.49	0.36	5.0–10.0	0.55–0.57	0.15–0.3; 1.0–10.0	< 0.19
Tl	1.56	2.76	1.5–2.0	0.64	0.15–3.0	0.73–0.90
Th	0.85	0.75	5.0–10.0	0.72–0.77	0.15–0.4; 1.0–5.0	0.69–0.96
U	1.68	1.90	7.0–10.0	0.44	0.15–5.0	0.66–0.95

Примечание. Тоном выделены лантаноиды. Прочерк означает, что параметр не определялся вследствие малого количества отобранных проб.

Таблица 3. Коэффициенты обогащения и коэффициенты корреляции и элементов антропогенного происхождения и диапазоны частиц (мкм) в аэрозолях приземного слоя атмосферы г. Москвы и ЗНС в июне 2009 г.

Элемент	EF_{med}		г. Москва		ЗНС	
	г. Москва	ЗНС	D частиц	$K_{кор}$	D частиц	$K_{кор}$
S	146.3	465.15	1.5–3.0	0.64–0.69	0.15–0.4; 0.5–1.0	0.72–0.79
Cr	97.59	–	1.5–3.0	0.50–0.52	–	–
Cu	69.29	110.89	1.5–3.0	0.68–0.71	0.15–3.0	0.77–0.89
Zn	78.55	102.62	1.5–3.0	0.62–0.67	0.15–0.25; 0.4–1.0	0.69–0.82
Se	237.61	1425.82	–	–	–	–
Mo	91.40	–	0.15–3.0	0.66–0.86	–	–
Ag	125.55	697.36	1.5–3.0	0.60–0.68	–	–
Cd	280.32	689.79	1.5–3.0	0.62–0.72	0.15–1.0	0.84–0.96
Sn	169.27	85.62	1.5–3.0	0.70–0.71	–	–
Sb	799.78	523.51	1.5–3.0	0.64–0.68	0.15–0.7; 1.0–7.0	0.69–0.91
Te	–	8697.07	–	–	0.15–0.3; 1.0–15.0	0.76–1.0
Re	2647.55	–	–	–	–	–
W	–	26.24	1.0–1.5	0.74	0.15–0.7; 1.5–10.0	0.70–0.76
Au	289.12	21.02	1.5–2.0	0.34	–	–
Hg	329.18	68.89	1.0–5.0	0.66	0.3–1.0	0.68–0.85
Pb	73.16	132.22	1.5–3.0	0.74–0.75	0.15–0.3; 1.0–10.0	0.75–0.89
Bi	5124.25	1709.06	2.0–3.0	0.53	0.15–0.3; 3.0–10.0	0.61–0.73

Примечание. Прочерк означает, что параметр не определялся вследствие малого количества отобранных проб.

В табл. 4 приведена классификация элементов по данным анализа проб. Элементы, содержание которых в частицах определенного размера составляет не менее 50 %, а коэффициент корреляции с частицами данного размера – не менее 0.7, разделены на группы в зависимости от источников поступления в атмосферу.

Многие из элементов содержатся как в высокодисперсных (PM_1), так и в среднедисперсных (PM_{10}) фракциях аэрозоля. Выявленные в составе атмосферных аэрозолей г. Москвы и ЗНС такие техногенные токсичные элементы, как As, Cd и Pb, относящиеся к I и II классам опасности, содержатся в мелкодисперсных фракциях в повышенных

Таблица 4. Классификация элементов в составе атмосферных аэрозолей г. Москвы и ЗНС в зависимости от размеров частиц

Фракция	ЗНС		г. Москва	
	Природные	Техногенные	Природные	Техногенные
PM_1	Be, Na, Si, K, V, Ni, Rb, Tl, U	S, Zn, Hg, Pb, Au, W	Na, Si, K, Mn, Fe, Co, Ni, Rb, Ba	S, Cr, Zn, Hg, Pb, Sb, Ag, W, Tl
$PM_{2.5}$	Li, Be, B, Na, Al, Si, K, Ti, Mn, Co, Rb, Sr, Zr, Ag, Cs, Ba, U, лантаноиды	S, Cu, Mo, Cd, Sb, Te, Bi, Pt, Tl, Au, Hg, Pb	Li, Be, B, Na, Al, Si, K, Ti, Mn, Ni, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Tl, Th, лантаноиды	S, Cr, Cu, Mo, Ag, Cd, Sb, Pb, Pt, Ta, W, Re, Bi
PM_{10}	Be, B, Si, K, Al, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, Hf, лантаноиды	Cr, Cu, Zn, As, Mo, Ag, Cd, Bi, Au, Re, W, Th, U, P	Be, Li, B, Si, K, Al, Ca, Ti, Mn, Fe, Co, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, U, лантаноиды	Cr, Cu, Zn, As, Mo, Ag, Cd, Sb, Au, Tl, W, Re, Th, Bi

концентрациях. В документе [Гигиенические нормативы..., 2010] отмечено, что аэрозольные частицы PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_{10} не только способствуют заболеваниям легочных путей и сердечно-сосудистой системы, но и содержат токсичные элементы, способные накапливаться в органах и тканях человека.

Как видно из данных табл. 4, элементы литогенного происхождения (Be, Si, K, Al, Ca, Mn и др.) содержатся в аэрозольных частицах всех фракций, причем их соотношение в составе аэрозолей в приземном слое воздуха промышленного мегаполиса и фоновой зоны близко. Массовая концентрация элементов глобального (Si, Al, Ca) и регионального значения (Bi) в воздухе г. Москвы более чем в 2 раза выше, чем в воздухе ЗНС, однако концентрация Na и S в 2 раза выше в воздухе ЗНС.

В приземном слое атмосферы г. Москвы обнаруживается большее количество техногенных элементов (S, Cr, Zn, Hg, Pb) по сравнению с составом приземного слоя на ЗНС, а концентрация таких элементов, как Sr и Tl, повышена.

Результаты проведенного корреляционного анализа показали хорошую корреляцию между собой как элементов природного происхождения ($K_{кор} > 0.8$), так и элементов техногенного происхождения.

Таким образом, в целом по составу химических элементов атмосферные аэрозоли г. Москвы и ЗНС близки.

При сравнении средних значений концентраций всех элементов за весь период наблюдений в фоновой зоне и промышленном мегаполисе в июне 2009 г. выявлено, что их общее содержание в аэрозолях приземного слоя промышленного мегаполиса вдвое превышает таковое в аэрозолях чистой зоны ЗНС. При этом средние значения концентрации большинства элементов в составе приземных аэрозолей в г. Москве превосходят аналогичные значения, характерные для ЗНС:

- Hg, Re, Cr – в 6 раз и более;
- Ti, Fe, Co, Ni, Cu, Mo, Sn, Ho, Bi – в 3–6 раз;
- Li, Be, Mg, Al, P, Ca, Sr, Rb, Mn, Y, Nb, Sb, Ba, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Er, Tm, Yb, W, U, La, Th – в 2–3 раза;
- B, Si, Zn, Ag, Lu, Hf – в 1.3–2 раза.

Содержание S, K, Ga, Cs, Eu, Tl и Pb в атмосферных аэрозолях г. Москвы и ЗНС практически одинаково. Однако в приземном слое воздуха ЗНС концентрация Na, Cd, Te, Ta выше в 1.3–3 раза, чем в г. Москве. Повышенное содержание Se в воздухе ЗНС (в 7.5 раз выше, чем в воздухе г. Москвы) может быть обусловлено близостью аэродрома в Кубинке.

При анализе средних значений массовой концентрации элементов по абсолютной величине выделяется группа элементов глобального значения – Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Fe, концентрации которых на порядки превышают концентрации большинства элементов. Наличие высокой концентрации серы может быть обусловлено повышенным содержанием диоксида серы в атмосфере Московского региона как одного из продуктов сжигания ископаемого топлива и выхлопов двигателей транспорта. Также повышено по сравнению с фоном содержание Cr, Mn, Zn, Pb, которое связано с техногенным влиянием мегаполиса.

Рассчитаны ежедневные коэффициенты корреляции содержания элементов в пробах, взятых в г. Москве и на ЗНС во время измерений в июне 2009 г. Корреляционный анализ показал следующее: на 1-й неделе наблюдений корреляции не наблюдалось; на 2-й

неделе была выявлена положительная корреляционная связь для следующих элементов – Al, Si, Fe, Zn, Y, Nb, Cd, Sn, Cs, Ba, Bi, Th.

За весь период наблюдений лета 2009 г. положительные корреляционные связи были обнаружены для Cd, Sn, Hg, Sb, Pb в пробах как из промышленного мегаполиса, так и из фоновой зоны. Это – свидетельство переноса загрязняющих аэрозолей, содержащих данные химические вещества, из г. Москвы в Подмоскowie.

Особый интерес представляло сравнение концентраций элементов в пробах атмосферного аэрозоля г. Москвы, взятых в июне в 2009 г. и летом 2010 г. В августе 2010 г. из-за аномальной жары и пожаров наблюдалась чрезвычайная загрязненность приземной атмосферы продуктами горения растительности и торфа. Измеренная в это время средняя массовая концентрация аэрозоля составила 917 мкг/м^3 , в то время как в июне 2009 г. в среднем эта величина составляла $\sim 50\text{--}70 \text{ мкг/м}^3$. При этом постепенное накопление аэрозолей горения в атмосфере происходило с середины июля до середины августа 2010 г. Максимальное аэрозольное загрязнение воздуха в г. Москве зафиксировано 4–8.08.2010 г., а 07.08.2010 г. по данным [Чубарова и др., 2010] был зафиксирован абсолютный максимум аэрозольной оптической толщины ($AOT_{500} = 4.6$) за весь период наблюдений.

Помимо общей массовой концентрации аэрозольных частиц, было определено массовое содержание химических элементов в составе атмосферных аэрозолей. В табл. 5 приведены значения концентраций (C_{\min} , C_{med} , C_{\max}) элементов, содержащихся в аэрозолях приземного слоя г. Москвы и ЗНС, по данным измерений 2009 и 2010 гг., а также их предельно допустимые концентрации (ПДК) и фоновые значения.

Таблица 5. Содержание элементов в аэрозолях приземного слоя атмосферы г. Москвы и ЗНС в июне 2009 г. и на пике пожаров 2010 г., нг/м^3

Элемент	г. Москва, 2009 г.			ЗНС, 2009 г.			г. Москва, 2010 г.	Фон	ПДК
	C_{\min}	C_{\max}	C_{med}	C_{\min}	C_{\max}	C_{med}	C_{med}		
Li	0.27	0.78	0.46	0.08	0.53	0.23	1.83	–	–
Be	0.01	0.03	0.02	0.001	0.03	0.01	0.06	–	–
B	0.59	2.90	1.74	0.05	3.31	1.19	Не обн.	–	–
Na	28.08	226.28	130.41	205.29	978.36	169.51	313.62	–	–
Mg	57.09	319.11	180.63	19.34	253.08	86.71	473.80	–	–
Al	244.97	911.32	585.79	78.50	428.57	259.86	1056.01	780	150 000
Si	321.80	1135.95	796.80	184.70	1031.98	535.53	1449.31	–	–
P	22.81	94.80	58.30	9.95	81.89	25.25	Не обн.	–	–
S	206.36	604.40	453.60	341.40	1306.93	505.66	4997.11	–	–
K	138.94	428.29	271.83	41.06	1108.86	237.05	1687.86	190	150 000
Ca	566.00	2680.02	1918.19	151.96	2262.52	679.54	4376.04	650	1500
Sc		Не обн.			Не обн.		1.00	–	–
Ti	12.80	51.10	34.35	1.21	24.80	8.77	16.37	90	–
V	0.20	3.39	0.94		Не обн.		Не обн.	4	2000
Cr	15.65	70.42	28.47	0.17	1.16	0.17	15.49	–	1500
Mn	14.53	37.22	24.23	3.21	24.93	9.27	38.11	–	2000
Fe	500.14	1712.41	1049.61	152.68	552.76	295.64	2009.87	–	–
Co	0.17	1.30	0.46	0.03	0.35	0.13	1.01	0.2	1000
Ni	0.80	15.17	6.00	0.31	5.83	1.54	5.48	5	200
Cu	11.68	37.03	21.40	9.60	14.66	6.44	68.54	2	50
Zn	20.76	56.83	43.56	7.65	142.70	32.47	69.32	23	50 000
Ga	0.06	0.22	0.11	0.04	0.14	0.09	0.67	–	–
As	0.03	0.30	0.04		Не обн.		2.24	2	–
Se	0.03	0.07	0.02	0.00	0.79	0.15	1.03	–	–

Таблица 5 (окончание)

Элемент	г. Москва, 2009 г.			ЗНС, 2009 г.			г. Москва, 2010 г.	Фон	ПДК
	C_{min}	C_{max}	C_{med}	C_{min}	C_{max}	C_{med}	C_{med}		
Rb	0.41	1.27	0.83	0.14	1.23	0.50	5.59	–	–
Sr	1.62	6.48	4.44	0.47	9.17	2.29	16.61	–	–
Y	0.02	0.28	0.16	0.01	0.14	0.08	0.70	–	–
Zr	0.63	2.35	1.40	0.26	1.10	0.30	3.22	–	–
Nb	0.04	0.19	0.11	0.00	0.11	0.05	0.33	–	–
Mo	0.78	2.14	1.46	0.04	0.52	0.25	1.80	–	–
Rh		Не обн.			Не обн.		Не обн.	–	–
Pd		“			“		“	–	–
Ag	0.01	0.10	0.05	0.01	0.19	0.04	0.03	–	–
Cd	0.08	0.33	0.23	0.11	0.96	0.28	0.83	0.05	300
Sn	0.84	6.60	2.66	0.43	1.68	0.81	6.89	3	50 000
Sb	1.54	4.08	2.52	0.15	2.12	0.91	7.35	0.3	10 000
Te	0.0003	0.001	0.0002	0.01	0.08	0.01	Не обн.	–	–
Cs	0.01	0.05	0.02	0.00	0.04	0.02	0.27	–	–
Ba	11.06	29.15	19.52	2.32	13.70	7.04	45.82	–	–
La	0.11	0.57	0.35	0.04	0.35	0.20	1.32	–	–
Ce	0.22	1.49	0.81	0.16	0.71	0.38	2.57	–	–
Pr	0.02	0.14	0.08	0.01	0.06	0.04	0.25	–	–
Nd	0.09	0.54	0.32	0.07	0.26	0.16	0.93	–	–
Sm	0.02	0.10	0.06	0.01	0.05	0.03	0.18	–	–
Eu	0.001	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03	–	–
Gd	0.02	0.10	0.07	0.03	0.05	0.03	0.16	–	–
Tb	0.002	0.01	0.01	0.00	0.01	0.004	0.02	–	–
Dy	0.01	0.07	0.04	0.00	0.04	0.02	0.12	–	–
Ho	0.0004	0.01	0.01	0.00	0.01	0.003	0.03	–	–
Er	0.002	0.04	0.02	0.00	0.02	0.01	0.06	–	–
Tm	0.001	0.01	0.004	0.00	0.01	0.002	0.01	–	–
Yb	0.004	0.04	0.02	0.00	0.02	0.01	0.06	–	–
Lu	0.001	0.01	0.003	0.0001	0.003	0.002	0.01	–	–
Hf	0.02	0.14	0.06	0.01	0.09	0.04	Не обн.	–	–
Ta	0.00	0.01	0.003	0.001	0.01	0.01	“	–	–
W	0.05	4.92	1.81	0.25	0.01	0.65	0.58	–	–
Re	0.000004	0.02	0.003	0.0006	0.001	0.0003	Не обн.	–	–
Ir		Не обн.			Не обн.		“	–	–
Pt		“			“		“	–	–
Au	0.003	0.01	0.01	0.00004	0.0010	0.0004	“	–	–
Hg	0.07	0.48	0.21	0.02	0.03	0.02	0.18	0.4	300
Tl	0.003	0.02	0.01	0.001	0.03	0.01	0.15	–	–
Pb	3.14	13.16	7.45	1.88	16.53	7.38	27.31	8	300
Bi	0.16	0.48	0.30	0.002	0.28	0.06	0.28	–	–
Th	0.02	0.15	0.08	0.01	0.08	0.05	0.25	–	–
U	0.02	0.09	0.04	0.003	0.03	0.02	0.09	–	–

Примечание. «Не обн.» означает, что содержание элемента ниже порога обнаружения прибора. Прочерк означает отсутствие данных.

Анализ химического состава аэрозолей (см. табл. 5) за этот период показал, что концентрация Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe повысилась в разы, а S – на порядок. Данные элементы присутствуют в продуктах горения биомасс; частицы аэрозолей горения – мелкодисперсные, гигроскопичные – служат эффективными облачными ядрами конденсации, что в значительной мере способствует формированию облачности, туманов и смога. Исследование морфологии и состава частиц московского смога показало, что они в

среднем имели размеры порядка 1 мкм и грубо сферическую, бесструктурную форму с оплывшими границами, чем принципиально отличались от типичных агломератов сажевых аэрозолей, содержащихся в продуктах сгорания дизельного топлива [Киреева и др., 2010; Плауде и др., 2010].

Результаты проведенных исследований показали, что аномальные метеоусловия, сложившиеся на ЕТР летом 2010 г., способствовали чрезвычайному аэрозольному загрязнению воздушного бассейна Московского мегаполиса и близлежащих областей. Резкое возрастание концентрации аэрозолей пагубно влияло на здоровье людей и биоту.

Выводы

1. Данные измерений и траекторного анализа позволили оценить влияние синоптических процессов и метеорологических условий на степень аэрозольного загрязнения атмосферы мегаполиса и окружающих территорий.

2. Анализ химического состава проб приземного атмосферного аэрозоля выявил возможные источники их происхождения (природные или техногенные). Фракционный и корреляционный анализы позволили классифицировать элементы в составе аэрозолей в зависимости от размеров частиц и происхождения элементов. Основными элементами антропогенного происхождения являются S, Cr, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Re, Hf, W, Hg, Pb, Bi. Их присутствие в атмосфере связано с влиянием поверхности почв, транспорта и промышленных предприятий. Как показал анализ элементного состава фильтров импактора, основные техногенные элементы входят в состав высокодисперсных (PM₁, PM_{2,5}) и среднедисперсных (PM₁₀) аэрозолей, влияние которых на здоровье человека считается особенно опасным и вредным.

3. В целом по химическому составу аэрозоли в приземном слое атмосферы промышленного мегаполиса и фоновой зоны схожи. При благоприятных погодных условиях (в частности, при отсутствии ветра и осадков) массовое содержание природных элементов в атмосферных аэрозолях г. Москвы и ЗНС имеет один порядок, а техногенных элементов в среднем в 3–7 раз выше в промышленном мегаполисе. Однако при переносе воздушных масс из промышленного района в экологически чистую зону атмосфера последней загрязняется, и массовая концентрация техногенных элементов в составе аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы промышленной и фоновой зон выравнивается.

4. Сравнительный анализ химического состава атмосферных аэрозолей в г. Москве в 2009 г. и в период аномально жаркого лета 2010 г., сопровождаемого пожарами, показал всплеск массовой концентрации Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe в разы, а S – на порядок. Измеренная в августе 2010 г. средняя общая массовая концентрация аэрозолей составила 917 мкг/м³, в то время как за период наблюдений в июне 2009 г. эта величина составляла в среднем ~ 50–70 мкг/м³.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Президиума РАН (Проект «Фундаментальные науки – медицине»).

Литература

Андропова А.В., Артамонова М.С., Иорданский М.А., Гинзбург А.С., Гранберг И.Г., Минашкин В.М., Обвинцев Ю.И., Трефилова А.В. Дисперсный состав и содержание химических элементов в аэрозолях приземного слоя атмосферы г. Москвы // Безопасность жизнедеятельности. 2010. № 9. С. 47–51.

- Виноградова А.А., Малков И.П., Полиссар А.В., Храмов Н.Н. Элементный состав приземного атмосферного аэрозоля арктических районов России // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1993. Т. 29, № 2. С. 164–172.
- Волох А.А., Журавлева М.Г. Оценка техногенного загрязнения воздуха в г. Москве // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1994. Т. 30, № 2. С. 182–188.
- Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.2604-10: Дополнение № 8 к ГН 3.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» / Роспотребнадзор, 2010. Режим доступа: <http://rosпотребнадзор.ru/documents/postanov/28308/print/>
- Горчаков Г.И., Свириденков М.А., Семутникова Е.Г., Чубарова Н.Е., Холбен Б.Н., Смирнов А.В., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Карпов А.В., Лезина Е.А., Задорожная О.С. Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля задымленной атмосферы Московского региона в 2010 г. // Докл. РАН. 2011. Т. 437, № 5. С. 686–690.
- Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. Л.: Химия, 1972. 427 с.
- Доклад Минэкономразвития РФ «Об итогах социально-экономического развития Российской Федерации в январе–сентябре 2010 года» от 25 октября 2010 г. Режим доступа: http://www.economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/monitoring/doc20101025_06
- Еланский Н.Ф., Мохов И.И., Беликов И.Б., Березина Е.В., Елохов А.С., Иванов В.А., Панкратова Н.В., Постыляков О.В., Сафронов А.Н., Скороход А.И., Шумский Р.А. Газовый состав приземной атмосферы в Москве в экстремальных условиях лета 2010 г. // Докл. РАН. 2011. Т. 437, № 1. С. 90–96.
- Ивлев Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. 382 с.
- Исаков А.А., Аникин П.П., Елохов А.С., Курбатов Г.А. О характеристиках дымов лесных и торфяных пожаров в Центральной России летом 2010 г. // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24, № 6. С. 478–482.
- Киреева Е.Д., Поповичева О.Б., Шония Н.К. Морфология и состав частиц дыма. г. Москва, август 2010 г. // Тезисы докладов Всероссийского совещания «Состояние воздушного бассейна города Москвы в экстремальных погодных условиях лета 2010 года», г. Москва, 25 ноября 2010 г. М., 2010. С. 47.
- Кудряшов В.И. Анализ элементного состава атмосферных аэрозолей физическими методами // Проблемы физики атмосферы. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. Вып. 20. Физика и химия атмосферных аэрозолей. С. 97–130.
- Основные погодно-климатические особенности июня 2009 г. в Северном полушарии: Обзор ГУ «Гидрометцентр России». Режим доступа: <http://meteoinfo.ru/climate/climat-tab13/climate-analysis-2009-all/2981--2009>
- Основные погодно-климатические особенности августа 2010 г. в Северном полушарии: Обзор ГУ «Гидрометцентр России». Режим доступа: <http://meteoinfo.ru/climate/climat-tab13/climate-analysis-2010-all/3305--2010>
- Плауде Н.О., Стулов Е.А., Паршуткина И.П., Сосникова Е.В., Монахова Н.А., Гришина Н.П. Результаты измерения характеристик атмосферного аэрозоля летом 2010 г. в г. Долгопрудном // Тезисы докладов Всероссийского совещания «Состояние воздушного бассейна города Москвы в экстремальных погодных условиях лета 2010 года», г. Москва, 25 ноября 2010 г. М., 2010. С. 49.
- Пресс-релиз Минздравсоцразвития РФ. 30 августа 2010 г. Режим доступа: <http://www.utro.ru/articles/2010/08/30/918311.shtml>
- Чубарова Н.Е., Горбенко Е.В., Константинов П.И., Локощенко М.И., Незваль Е.И., Шиловцева О.А. Метеорологические, аэрозольные и радиационные характеристики атмосферы во время пожаров летом 2010 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ // Тезисы докладов Всероссийского совещания «Состояние воздушного бассейна города Москвы в

- экстремальных погодных условиях лета 2010 года», г. Москва, 25 ноября 2010 г. М., 2010. С. 26.
- Шакина Н.П., Иванова А.Р.* Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирование // *Метеорология и гидрология*. 2010. Т. 35, № 11. С. 721–730.
- Anderson H.R.* Air pollution and mortality: A history // *Atm. Env.* 2009. N 43. P. 142–152.
- Andronova A.V., Granberg I.G., Gubanova D.P., Zudin B.V., Iordanskii M.A., Minashkin V.M., Nevskii I.A., Obvintsev Yu.I., Osipov V.P., Cherlina I.E.* Ozone accommodation on aerosol particles: Estimation of the accommodation coefficient from the TROICA-5 Experimental Data // *Izv. Atm. and Ocean. Phys.* 2002. V. 38, Sitpl. 1. P. S132–S137.
- Draxler R.R., Hess G.D.* An overview of the Hysplit_4 modeling system for trajectories, dispersion, and deposition // *Aust. Met. Mag.* 1998. V. 47. P. 295–308.
- Draxler R., Stunder B., Rolph G., Stein A., Taylor A.* HYSPLIT4 User's Guide Version 4.9. Last Revision: January 2009. Режим доступа: http://www.villasmunta.it/pdf/User_guide.pdf
- Pope C.A.III, Dockery D.W.* Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect // *J. Air & Waste Manage. Ass.* 2006. V. 56. P. 709–742.

Сведения об авторах

ТРЕФИЛОВА Анастасия Владимировна – аспирант, Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова. 105064, г. Москва, пер. Обуха, д. 3-1/12, стр. 6. Тел.: (495) 916-10-42. E-mail: a.trefilova@mail.ru

АРТАМОНОВА Мария Стеленовна – ведущий математик, Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН. 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3. Тел.: (495) 953-21-58. E-mail: artamonova@ifaran.ru

КУДЕРИНА Татьяна Маратовна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт географии РАН. 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29. Тел.: (910) 423-14-38. E-mail: tmkud@yandex.ru

ГУБАНОВА Дина Петровна – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова. 105064, г. Москва, пер. Обуха, д. 3-1/12, стр. 6. Тел.: (495) 916-10-42. E-mail: dgubanova@mail.ru

ДАВЫДОВ Константин Алексеевич – научный сотрудник, Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова. 105064, г. Москва, пер. Обуха, д. 3-1/12, стр. 6. Тел.: (495) 916-10-42. E-mail: miordan@mail.ru

ИОРДАНСКИЙ Михаил Алексеевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова. 105064, г. Москва, пер. Обуха, д. 3-1/12, стр. 6. Тел.: (495) 916-10-42. E-mail: miordan@mail.ru

ГРЕЧКО Евгений Иванович – кандидат физико-математических наук, зав. лабораторией, Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН. 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3. Тел.: (495) 953-21-58. E-mail: egrech@ifaran.ru

МИНАШКИН Вячеслав Михайлович – доктор технических наук, зав. лабораторией, Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова. 105064, г. Москва, пер. Обуха, д. 3-1/12, стр. 6. Тел.: (495) 916-10-42. E-mail: vminash@yandex.ru

**THE CHEMICAL COMPOSITION AND MICROPHYSICAL
CHARACTERISTICS OF AEROSOL OVER MOSCOW
AND ITS VICINITY IN JUNE 2009
AND DURING THE FIRE PEAK OF 2010**

**A.V. Trefilova¹, M.S. Artamonova², T.M. Kuderina³, D.P. Gubanova¹, K.A. Davydov¹,
M.A. Iordanskii¹, E.I. Grechko², V.M. Minashkin¹**

¹ Karpov Institute of Physical Chemistry; Rosatom Nuclear Energy State Corporation, Moscow, Russia

² Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The microphysical characteristic of aerosol were simultaneously measured in the atmospheric surface layer over the center of Moscow and its vicinity (Zvenigorod Scientific Station of the Obukhov Institute of Atmospheric Physics, RAS) from June 15 to 30, 2009. Aerosol samples were taken and their elemental composition was determined to compare aerosol parameters (mass concentration, particle-size distribution, and elemental composition). During the fire peak of 2010, on August 8, aerosol samples were taken in the center of Moscow, and their chemical composition was determined. Comparing results obtained from the simultaneous measurements of the concentrations of aerosol and its elemental composition made it possible to establish their interdiurnal variability which suggests that the features of time variations are of regional character and they are determined mainly by the dynamics of synoptical processes of air-mass exchange. The chemical composition of obtained samples was determined using the method of atomic absorption spectrometry.

The measurement results obtained in June 2009 revealed an increase in the content of anthropogenic elements in the atmosphere over Moscow when compared to their content in the atmosphere over the background zone. In Moscow, during the summer fires of 2010, the mass concentration of sulfur increased by an order of magnitude, and the mass concentrations of Na, Mg, Al, Si, K, Ca, and Fe increased by several times. The mass concentration of aerosol over Moscow amounted to $917 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ during the extensive summer fires of August 2010 in European Russia and, on average, $50\text{--}70 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in June 2009.

Keywords: aerosol particles, atmospheric pollution elemental composition, size distribution, mass concentration, enrichment factor, megapolis, human health.