

ОПТИКА КЛАСТЕРОВ, АЭРОЗОЛЕЙ И ГИДРОЗОЛЕЙ

УДК 551.510

## Изменчивость сажевого и субмикронного аэрозоля в Московском регионе в 2014–2016 гг.

В.М. Копейкин<sup>1</sup>, А.С. Емиленко<sup>1</sup>, А.А. Исаков<sup>1</sup>,  
О.В. Лоскутова<sup>2</sup>, Т.Я. Пономарева<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН  
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева  
125047, г. Москва, пл. Миусская, 9

<sup>3</sup>Гидрометцентр России  
123242, г. Москва, Б. Предтеченский пер., 11–13

Поступила в редакцию 19.01.2017 г.

Представлены результаты измерений массовой концентрации сажевого и субмикронного аэрозоля в центре г. Москвы и в двух пунктах на Звенигородской научной станции (ЗНС) в весенне-осенние периоды 2014–2016 гг. Проведено сравнение полученных результатов с данными комплексных измерений за 1989–2013 гг. Выявлены случаи повышения загрязнения атмосферного воздуха дымами от горевших торфяников в Брянской области и дымами при сжигании пораженных короедом деревьев в лесах Московской области, а также дымами лесных пожаров, пришедшими из Сибири. Значительное увеличение за последние 25 лет интенсивности автомобильного движения вблизи пункта измерения на ЗНС, расположенного в 150 м от автодороги, привело к повышению уровня загрязнения воздуха аэрозольными компонентами в 2–3 раза. Во втором пункте, удаленном от дороги на расстояние 1 км, уровень загрязнения сажей сравним с данными, полученными в 1990-е гг., и приблизительно в 3 раза ниже, чем в Москве.

*Ключевые слова:* субмикронный и сажевый аэрозоль, дымовой аэрозоль, массовая концентрация аэрозоля, загрязнение атмосферы; BC and fine aerosol, smoke aerosol, mass concentration of aerosol, pollution of the atmosphere.

### Введение

На сегодняшний день во всем мире мониторинг состава атмосферы и контролю качества воздуха в крупных городах придается большое значение [1]. Концентрации субмикронного  $M_{сбм}$  и сажевого  $M_{BC}$  аэрозоля – важные параметры качества атмосферного воздуха. В большинстве случаев единственный источник сажевого аэрозоля – человеческая деятельность, что позволяет использовать сажу в качестве трассера антропогенного загрязнения атмосферы [2]. Для оценки качества атмосферного воздуха необходимо проводить мониторинг концентрации сажевых частиц и изучать закономерности их поведения в зависимости от метеорологических, географических и антропогенных факторов [3].

В г. Москве сажа занимает 4-е место среди 10 канцерогенов и 5-е место из 16 химических веществ, усугубляющих неонкологические болезни [4]. Для принятия эффективных управленческих мер по сни-

жению заболеваемости населения администрациям мегаполисов необходимо знать концентрации загрязняющих атмосферу веществ и их вариации в разных метеорологических условиях.

Измерения массовой концентрации сажевого аэрозоля в 1957–1987 гг. проводились в Обсерватории МГУ [5], а начиная с 1989 г. и по настоящее время осуществляются в центре Москвы Институтом физики атмосферы (ИФА) РАН [6]. На Звенигородской научной станции (ЗНС) ИФА РАН в 1991–2009 гг. выполнялись ежедневные измерения концентраций субмикронного аэрозоля. Среднегодовые значения  $M_{сбм}$  за этот период приведены в [7] и ее средний годовой ход за 1991–2002 гг. – в работе [8].

В 1990–1993 гг. проведены несколько циклов параллельных измерений Москва – ЗНС (по 1 мес в сезон), в результате чего были рассчитаны соотношения между концентрациями  $M_{BC}$  в двух пунктах наблюдений. Несмотря на то, что уровни загрязнения сажей приземного воздуха в Москве и на ЗНС меняются от сезона к сезону (с максимумом зимой и минимумом летом–осенью), отношение средних  $M_{BC}$  в мегаполисе и на ЗНС практически постоянно для всех четырех сезонов и равно  $3,3 \pm 0,2$  [6].

Синхронные измерения  $M_{сбм}$  и  $M_{BC}$  осуществлялись в Москве и на ЗНС в 2004 г., там же и в Рязани

\* Владимир Михайлович Копейкин (koreikin@ifaran.ru); Александр Сергеевич Емиленко (emilas@list.ru); Андрей Александрович Исаков (A.A.Isakov@mail.ru); Ольга Васильевна Лоскутова (olga13v@mail.ru); Татьяна Яковлевна Пономарева (ponomareva\_tya@mail.ru).

в 2005 г. Было показано, что уровни концентраций  $M_{сбм}$  в трех пунктах сопоставимы, а концентрации  $M_{вс}$  больше в Москве и в Рязани, чем в фоновом районе Подмоскovie [9].

Устойчиво более низкое по сравнению с фоновым аэрозолем относительное содержание сажи ( $P = M_{вс}/M_{сбм}$ ) в дымах удаленных лесных пожаров (1–4,5%), приводящее к уменьшению его значений при вторжении дымовой мглы в район измерений, выявлено в [10].

Суммарное воздействие локальных и региональных источников сажи крупного города приводит к значениям параметра  $P = 0,07–0,15$ . При этом концентрации субмикронного аэрозоля  $M_{сбм}$  находятся в основном в диапазоне 30–60 мкг/м<sup>3</sup>. Очень низкие значения параметра  $P < 0,025$  при концентрациях  $5 < M_{сбм} < 20$  мкг/м<sup>3</sup> характерны для фонового аэрозоля [9].

В 2014–2016 гг. мы провели пять серий параллельных измерений концентраций субмикронного и сажевого аэрозоля в мегаполисе и на ЗНС. В настоящей работе анализируются результаты измерений в Московском регионе с целью расширения наших знаний о вариациях атмосферного субмикронного и сажевого аэрозоля в городских и фоновых условиях и их суточной, сезонной и долговременной изменчивости.

## Методика измерений

Для измерений  $M_{сбм}$  в 2014–2016 гг. использовались два идентичных нефелометра фирмы GRIMM (модель 1.412, Германия) и нефелометр ФАН, измеряющие коэффициент направленного рассеяния света ( $D$ ). Концентрация субмикронного аэрозоля определялась по формуле  $M_{сбм} = 1500D$  [11, 12].

В данной работе термин «черный углерод» (black carbon, сажа) относится только к частицам, которые определяют черный цвет аэрозольных проб и ответст-

венны за поглощение аэрозолем солнечной радиации в видимой области спектра. Для оценки содержания сажевой компоненты аэрозоля в атмосферном воздухе осуществлялся отбор проб с помощью аэрозольных пробоотборников на кварцевые волоконные фильтры или на фильтры АФА-ХП на основе перхлорвиниловых волокон. Содержание сажи в пробе воздуха определялось с помощью фотометра методом измерения ослабления света аэрозольным фильтром [13]. Калибровка фотометра проводилась по набору кварцевых фильтров с известной поверхностной концентрацией сажи.

В Москве единичный отбор аэрозоля из воздуха на фильтр проводился с 10:00 до 15:00;  $M_{вс}$  измерялась круглосуточно с периодом 5 мин с помощью Aethalometer AE-16 (Германия). На ЗНС в пункте 1 отбор проб осуществлялся с периодичностью 8–12 ч на уровне второго этажа оптического корпуса, расположенного на территории ЗНС в 150 м от автомобильной дороги. В измерительном пункте 2, располагающемся в 1 км к западу от пункта 1, использовался автоматический прибор, отбиравший 12 проб на один фильтр каждые 2 ч.

В табл. 1 представлены сроки проведения наблюдений в Москве и в двух пунктах ЗНС (2014–2016 гг.).

Информация о переносе дымов лесных пожаров получена из анализа пятисуточных обратных траекторий переноса воздушных масс на уровне 925 мбар (что соответствует высоте порядка 700 м над уровнем моря), рассчитанных в Гидрометцентре России [14].

## Основные результаты

Для оценки содержания сажевого и субмикронного аэрозоля в атмосфере Московского региона в 2014–2016 гг. данные измерений усреднялись для каждого из пяти периодов наблюдений (табл. 2).

Таблица 1

Сроки проведения наблюдений в 2014–2016 гг.

Москва	Пункт 1 ЗНС	Пункт 2 ЗНС
13–30.04.2014	11–30.04.2014	–
16.09–24.10.2014	19.09–14.10.2014	19.09–11.10.2014
13–31.07.2015	10–30.07.2015	10–30.07.2015
14.09–5.10.2015	14.09–3.10.2015	13.09–3.10.2015
18.04–19.05.2016	18.04–8.05.2016	18.04–8.05.2016

Таблица 2

Средние за период концентрации сажевого  $M_{вс}$  (мкг/м<sup>3</sup>) и субмикронного аэрозоля  $M_{сбм}$  (мкг/м<sup>3</sup>) и относительное содержание сажи ( $P$ ) в Москве и двух пунктах ЗНС

Период	Москва			Пункт 1 ЗНС			Пункт 2 ЗНС		
	$M_{сбм}$	$M_{вс}$	$P$	$M_{сбм}$	$M_{вс}$	$P$	$M_{сбм}$	$M_{вс}$	$P$
Весна (2014 г.)	30,0	4,4	0,15	22,5	3,0	0,13	–	–	–
Весна (2016 г.)	25,4	1,7	0,07	17,8	1,05	0,06	18,3	0,9	0,05
Лето (2015 г.)	20,4	3,0	0,15	18,1	1,5	0,08	33,4 (18,6)	0,8	0,02 (0,04)
Осень (2014 г.)	48,0 (33,4)	3,4	0,07 (0,10)	95,6 (33,3)	3,1	0,03 (0,09)	27,7	1,2	0,04
Осень (2015 г.)	34,4	4,0	0,12	22,8	1,7	0,07	48,5 (30,7)	1,5	0,03 (0,05)

Из табл. 2 следует, что для четырех периодов (за исключением осени 2014 г.)  $M_{сбм}$  в Москве находится в интервале 20,4–34,4 мкг/м<sup>3</sup>, в пункте 1 ЗНС – в интервале 17,8–22,8 мкг/м<sup>3</sup>, а разность между их средними значениями, равная 26%, обусловлена добавкой от городских источников. Осенью 2014 г. значения  $M_{сбм}$  в приземном слое воздуха как в Москве (48,0 мкг/м<sup>3</sup>), так и в пункте 1 (95,6 мкг/м<sup>3</sup>) значительно превысили  $M_{сбм}$  для других четырех периодов. Как видно на рис. 1, который представляет вариации  $M_{ВС}$  и  $M_{сбм}$  в мегаполисе 1–19 октября 2014 г., в период с 9 по 12 октября ход этих величин имеет наибольшее отличие, а вычисленное значение  $P = 0,06$  (0,03–0,09), что характерно для городского воздуха, содержащего аэрозоль дымов лесных пожаров. Анализ обратных траекторий переноса воздушных масс 1–18 октября (рис. 2) показал, что траектории 9–12 октября соответствуют переносу дыма из юго-западного сектора от пожаров в Брянской области. О наличии там очагов горения торфяников свидетельствуют данные аэрокосмической съемки спутником «Терра» за 10 октября [15]. Для периодов измерений 1–11 и 13–18 октября, при отсутствии в атмосфере Москвы дымов лесных пожаров,  $P \approx 0,1$ . С учетом изложенного среднее значение  $M_{сбм}$  за период 1–18 октября оценивается в 33,4 мкг/м<sup>3</sup> (в предположении отсутствия дымов лесных пожаров; указано в круглых скобках в табл. 2). Это значение попадает в интервал изменчивости  $M_{сбм}$  для четырех периодов измерений в Москве (20,4–34,4 мкг/м<sup>3</sup>).

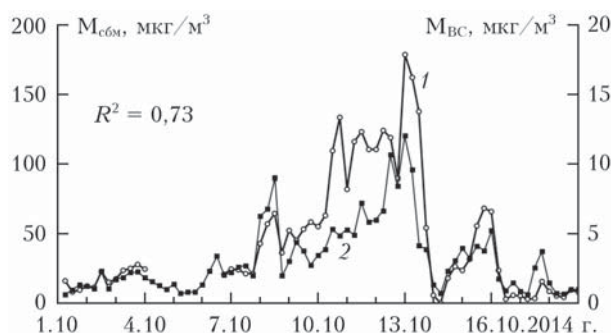


Рис. 1. Вариации шестичасовых значений концентрации субмикронного  $M_{сбм}$  (1) и сажевого  $M_{ВС}$  (2) аэрозоля 1–19.10.2014 г. в Москве

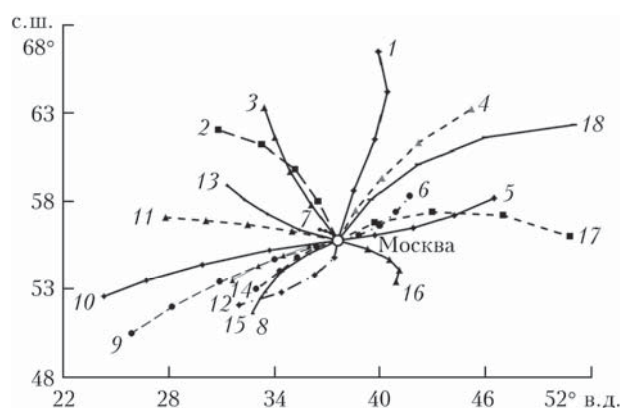


Рис. 2. Пятисуточные обратные траектории переноса воздушных масс на уровне 925 мбар в Москву 1–18.10.2014 г.

По результатам измерений в пункте 1 ЗНС в период с 25 по 28 июля 2016 г.  $M_{сбм}$  возросла с 20 до 55 мкг/м<sup>3</sup>, а параметр  $P$  снизился до 0,04. Как показал анализ десятисуточных обратных траекторий переноса воздушных масс, увеличение  $M_{сбм}$  связано с приходом дымов лесных пожаров с территории Красноярского края и Ханты-Мансийского округа.

Увеличение содержания субмикронного аэрозоля в воздухе фонового района часто происходит из-за сжигания порубочных остатков древесины, пораженной короедом. Так, 5–10 октября 2014 г. произошло интенсивное задымление пункта 1 ЗНС с приходом воздуха от участка с вырубленным лесом, расположенного в 200–500 м от пункта измерения. После исключения значений субмикронного аэрозоля, зарегистрированных в период задымления, средняя  $M_{сбм}$  снизилась до 33,3 мкг/м<sup>3</sup>. Близкое значение (27,7 мкг/м<sup>3</sup>) было получено в пункте 2 ЗНС, не попавшем в шлейф дымов. В период 20–30 сентября 2015 г. в пункте 2 при ветрах юго-восточного направления единичные значения  $M_{сбм}$  временами (27–28 сентября) достигали 100–450 мкг/м<sup>3</sup> за счет дымов от сжигания порубочных материалов на участке леса, расположенного в 300 м к юго-востоку от пункта измерения. В среднем за период  $M_{сбм} = 48,5$  мкг/м<sup>3</sup>, а после исключения значений периода задымления  $M_{сбм} = 30,7$  мкг/м<sup>3</sup>. При ветрах западного направления (14–27 июля 2015 г.)  $M_{сбм}$  в пункте 2 (15–17 июля) возросло до 200–400 мкг/м<sup>3</sup>, что увеличило среднее значение  $M_{сбм}$  за весь период до 33,4 мкг/м<sup>3</sup>. После исключения периодов влияния дымов среднее значение снизилось до 18,6 мкг/м<sup>3</sup>, что практически совпадает с уровнем содержания субмикронного аэрозоля в пункте 1 ЗНС (18,1 мкг/м<sup>3</sup>).

Среднее содержание сажи в воздушном бассейне Москвы, по данным табл. 2, меняется в интервале 3,0–4,4 мкг/м<sup>3</sup> для четырех периодов наблюдения, а параметр  $P$  находится в пределах 0,10–0,15. Исключением является весна 2016 г., когда средняя концентрация сажи составляла 1,7 мкг/м<sup>3</sup>, а  $P = 0,07$ .

Вариации часовых концентраций сажевого, субмикронного аэрозоля и температуры приземного воздуха 19 апреля – 19 мая 2016 г. в Москве показаны на рис. 3, а обратные траектории переноса воздушных масс в этот период – на рис. 4. Корреляция концентраций сажевого и субмикронного аэрозоля

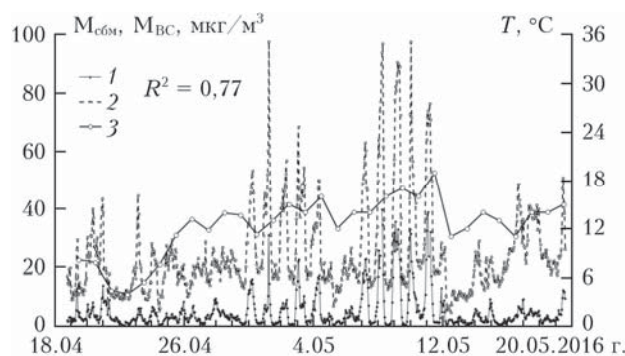


Рис. 3. Вариации часовых концентраций сажевого  $M_{ВС}$  (1), субмикронного  $M_{сбм}$  (2) аэрозоля и температуры приземного воздуха  $T$  (3) в Москве 19.04–19.05.2016 г.

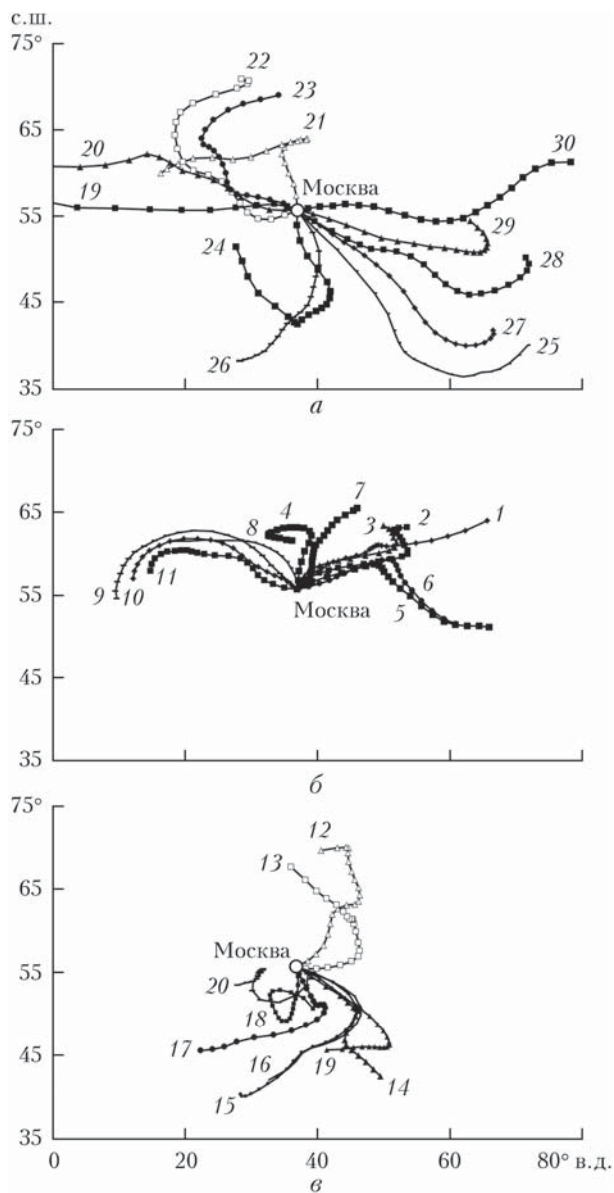


Рис. 4. Пятисуточные обратные траектории переноса воздушных масс на уровне 925 мбар 19.04–19.05.2016 г. в Москву: а – 19–30.04; б – 1–11.05; в – 12–19.05

высокая ( $R^2 = 0,77$ ). Низкие значения  $M_{сбм}$  ( $\sim 10$  мкг/м<sup>3</sup>) наблюдались 21–22 апреля и 12–13 мая, когда в Москву с севера пришли холодные воздушные массы циклонов (рис. 4, а, в), вызвавшие понижение температуры приземного воздуха на 4–8 °С. Относительно высокие величины  $M_{ВС}$  и  $M_{сбм}$ , не превышающие 16 и 100 мкг/м<sup>3</sup> соответственно, наблюдались в 10 случаях (30 апреля – 11 мая 2016 г.) из 32 дней измерений с выраженным суточным ходом (с максимумом в ночные и утренние часы и минимумом во второй половине дня) при нахождении в районе Москвы антициклонов (траектории см. на рис. 4, б). В апреле 2014 г. большие значения  $M_{ВС}$  и  $M_{сбм}$  наблюдались в условиях малоподвижных антициклонов, в которых массы воздуха перемещались в Московском регионе.

По результатам измерений весной и осенью 2014 г. нами получено, что средние концентрации  $M_{ВС}$  в Москве и пункте 1 ЗНС отличаются незначительно: в Москве в 1,5 раза больше весной и в 1,1 раза осенью. В обоих случаях анализ с привлечением обратных траекторий переноса воздушных масс показал, что они в 71% случаев в весенний и в 82% случаев в осенний периоды приходят из юго-западного сектора. Таким образом, пункт 1 ЗНС продолжительное время подвергался загрязнению сажей от выхлопных газов автомобилей, проезжавших по автодороге, расположенной по направлению север–юг. Летом 2015 г. (13–25 июля), когда воздушные массы, судя по траекториям, приходили с запада, средняя концентрация сажевого аэрозоля в пункте 1 была всего 1,5 мкг/м<sup>3</sup>. Однако сравнение результатов измерений в пунктах 1, 2 ЗНС показало, что в этот период загрязнение сажей от автодороги в пункте 1 присутствовало, так как в нем  $M_{ВС} = 1,5$  мкг/м<sup>3</sup>, а в пункте 2  $M_{ВС} = 0,8$  мкг/м<sup>3</sup>. В двух случаях, осенью 2015 г. и весной 2016 г., увеличение средней концентрации сажевого аэрозоля в пункте 1 относительно пункта 2 незначительно – 0,2 и 0,15 мкг/м<sup>3</sup> соответственно, поскольку воздушные массы приходили с юго-западного направления всего в 15% случаев.

Оценим изменчивость уровня загрязнения сажевым аэрозолем атмосферы Москвы и ЗНС по двум видам измерений: дневным и круглосуточным. В табл. 3 приведены средние концентрации сажевого аэрозоля дневных измерений за 1989–1993 гг. (5,4 мкг/м<sup>3</sup>) и 2014–2016 гг. (2,25 мкг/м<sup>3</sup>), а также средние концентрации сажевого аэрозоля круглосуточных измерений в 1990–1993 гг. (4,7 мкг/м<sup>3</sup> в мае 1990 г., феврале 1991 г., марте и октябре 1993 г.) и 2014–2016 гг. (3,1 мкг/м<sup>3</sup>, сроки измерения см. в табл. 1). По дневным данным, уровень загрязнения воздушного бассейна мегаполиса снизился за 25 лет в 2,4 раза, а по круглосуточным – в 1,5 раз; уровень загрязнения сажевым аэрозолем приземного воздуха на ЗНС, по результатам круглосуточных измерений (в 1989–1993 гг. в пункте 1, в 2014–2016 гг. в пункте 2), остался на прежнем уровне.

Таблица 3

**Изменчивость в Москве и на ЗНС средних концентраций сажевого аэрозоля по дневным ( $M_{ВС}$ , ср. дн.) и средним круглосуточным измерениям (4 мес за период,  $M_{ВС}$ , ср. сут., мкг/м<sup>3</sup>)**

Период	$M_{ВС}$ , ср. дн.		$M_{ВС}$ , ср. сут.	
	Москва	ЗНС	Москва	ЗНС
1989–1993 гг. (1)	5,4	1,4	4,7	1,4
2014–2016 гг. (2)	2,25	1,4	3,1	1,4
$M_{ВС}(1)/M_{ВС}(2)$	2,4		1,5	1,0

По результатам [13] нами оценена сезонная изменчивость сажевого аэрозоля в воздушном бассейне Москвы за 1989–1993 гг. с минимальным уровнем в летний период. В табл. 4 представлены средние за три сезона (з-в-о) и летний сезон (л) дневные концентрации  $M_{ВС}$  для двух периодов измерений, а также его средние концентрации по результатам



Сезонная изменчивость средних дневных концентраций сажевого аэрозоля  $M_{BC}$  ( $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ ) в Москве и субмикронного аэрозоля  $M_{сбм}$  ( $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ ) на ЗНС

Москва				ЗНС			
Период	$M_{BC}$		$\frac{M_{BC}(1)}{M_{BC}(2)}$	Период	$M_{сбм}$		$\frac{M_{сбм}(1)}{M_{сбм}(2)}$
	з-в-о (1)	л (2)			з-в-о (1)	л (2)	
1989–1993 гг. [13]	6,1	4,1	1,5	1991–2002 гг. [13]	36,0	22,0	1,6
2014–2015 гг.	3,3	2,1	1,5	–	–	–	–
2014–2015 гг.	$M_{BC}$		$\frac{M_{BC}(1)}{M_{BC}(2)}$	2014–2015 гг.	$M_{сбм}$		$\frac{M_{сбм}(1)}{M_{сбм}(2)}$
	в-о (1)	л (2)			в-о (1)	л (2)	
	3,9	3,0	1,3		26,2	18,1	1,5

круглосуточных измерений для трех периодов по месяцу в 2014–2015 гг. (в-о) и летом 2015 г. (л) в Москве. Средние дневные концентрации субмикронного аэрозоля приведены для периодов 1991–2002 гг. и 2014–2015 гг. Несмотря на значительное снижение  $M_{сбм}$  и  $M_{BC}$  в приземном воздухе, содержание обеих компонент относительно летних значений осталось близким по величине. Низкое содержание  $M_{BC}$  для трех периодов 2014–2015 гг. по отношению к летнему сезону необходимо подтвердить или опровергнуть с помощью его дополнительных измерений в воздушном бассейне Москвы.

По результатам измерений в мегаполисе весной 2014 г., летом и осенью 2015 г. определена среднесуточная изменчивость концентраций сажевого и субмикронного аэрозоля (рис. 5, б–г).

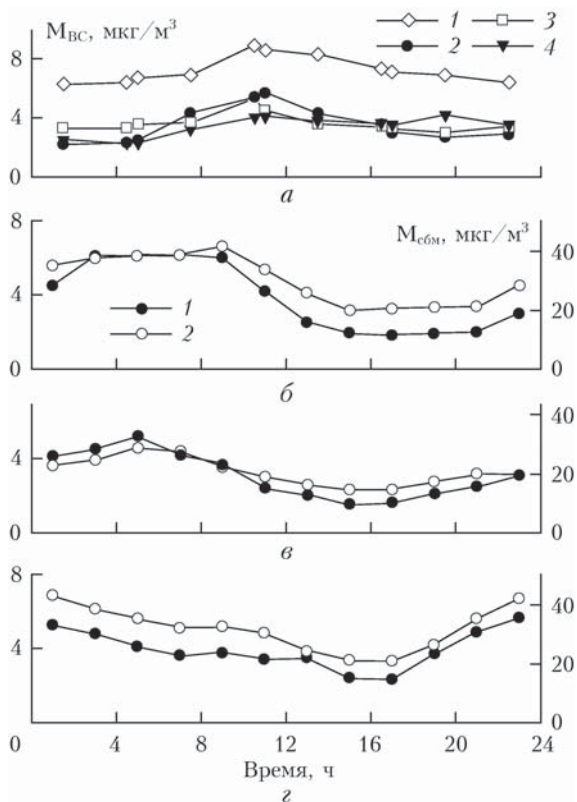


Рис. 5. Среднесуточная изменчивость концентраций сажевого  $M_{BC}$  и субмикронного  $M_{сбм}$  аэрозоля в Москве: а –  $M_{BC}$  в 1990–1993 гг. (1 – зима, 2 – весна, 3 – лето и 4 – осень [13]); б – весна 2014 г.; в – лето 2015 г.; г – осень 2015 г. (1 –  $M_{BC}$ , 2 –  $M_{сбм}$ )

Кривые суточного хода обеих компонент для каждого сезона близки по форме. Минимальные значения  $M_{сбм}$  и  $M_{BC}$  наблюдались во второй половине дня при конвекции, преимущественно происходящей в 12:00–15:00. Для сравнения на рис. 5, а приведены кривые суточного хода сажевого аэрозоля в период 1990–1993 гг. [14]. Суточный ход  $M_{BC}$  для всех сезонов меняется незначительно, а максимум наблюдается в полдень. Существенное изменение в суточных вариациях сажевого и субмикронного аэрозоля весной 2014 г., летом и осенью 2015 г. – появление минимума в дневное и максимума в ночное время – произошло за счет смещения интенсивности движения автотранспорта в городе в вечернее и ночное время суток на более поздние часы.

## Заключение

Проведенные исследования показали, что качество воздуха в центре Москвы в 2014–2016 гг. улучшилось – содержание сажи в приземном воздухе уменьшилось в 2,4 раза, с 5,4 до 2,3  $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ . В сельском населенном пункте 1 ЗНС качество воздуха ухудшилось –  $M_{BC}$  возросло в 2–3 раза в результате увеличения интенсивности движения на автодороге, расположенной в 150 м от него. В сентябре 2014 г. в пункте 1 наблюдалось наиболее интенсивное задымление от местных источников за счет дымов при сжигании порубочных остатков ( $P = 0,01$ ). В 2015 г. в пункте 2 интенсивность задымления от местных источников была больше в июле, чем в сентябре ( $P = 0,02$  и  $0,03$  соответственно); 9–13 октября 2014 г. произошло загрязнение воздуха Москвы аэрозолями дымов, пришедших из Брянской области ( $P$  снизился до  $0,06$ ). В период с 25 по 28 июля 2014 г.  $M_{сбм}$  в мегаполисе возросла с 20 до 55  $\mu\text{кг}/\text{м}^3$  ( $P$  уменьшился до  $0,04$ ) в связи с приходом дымов лесных пожаров из Красноярского края и Ханты-Мансийского автономного округа.

Уровень концентрации сажевого и субмикронного аэрозоля в центре Москвы в суточном ходе увеличился в вечернее и ночное время по сравнению с 1990 гг., так как произошло смещение интенсивности движения автотранспорта на более поздние часы. Сезонный ход средних концентраций сажевого и субмикронного аэрозоля в центре Москвы в период 1989–2016 гг. практически не менялся.

Авторы благодарны М.А. Свириденкову за постоянное и плодотворное сотрудничество.

Работа выполнена при частичной поддержке проектов РФФИ (№ 13-05-00956 и 16-05-00985).

1. Голицын Г.С., Гречко Е.И., Ван Ген Чен, Ван Пусай, Джола А.В., Емиленко А.С., Копейкин В.М., Ракитин В.С., Сафронов А.Н. Исследование загрязнения атмосферы Москвы и Пекина окисью углерода и аэрозолем // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2015. Т. 51, № 1. С. 8–19.
2. Dasch J.M., Cadle S.H. Atmospheric carbon particles in Detroit urban area: Wintertime source and sinks // Aerosol Sci. Technol. 1989. V. 10, N 2. P. 236–248.
3. Розенберг Г.В. О природе аэрозольного поглощения в коротковолновой области спектра // Изв. АН. Физ. атмосфер. и океана. 1979. Т. 15, № 12. С. 1280–1291.
4. Петрухин В.А., Вишенский В.А., Авалиани С.Л., Буштуева К.А., Пушкарева Е.В., Салиева О.В., Парамонов С.Г., Ларионова О.В., Иванова И.Н., Эсауленко Н.С., Семутникова Е.Г. Риск заболевания населения от загрязнения атмосферы автотранспортом. Опыт применения методологии оценки риска в России / под ред. В.А. Петрухина. М.: Наука, 2000. 188 с.
5. Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы. В 2 т. Т. 2 / под ред. А.А. Исаева. М.: Изд-во МГУ, 2005. 410 с.
6. Копейкин В.М. Сажевый аэрозоль в атмосфере города Москвы // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1998. Т. 34, № 1. С. 104–110.
7. Исаков А.А. О внутригодовой изменчивости массовой концентрации субмикронного приземного аэрозоля в Подмоскowie // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 462–465.
8. Горчаков Г.И., Исаков А.А., Мохов И.И., Свириденков М.А., Шугуров К.А., Карпов А.В., Чернокульский А.В. Статистические характеристики вариаций массовой концентрации субмикронного аэрозоля // Тр. IV Междунар. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли». Санкт-Петербург, 6–9 октября 2003. СПб.: НИИХ СПбГУ, 2003. С. 499–503.
9. Емиленко А.С., Копейкин В.М. Сравнение синхронных измерений концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в регионах с разной степенью антропогенной нагрузки // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 535–540; Emilenko A.S., Kopeikin V.M. Comparison of synchronous measurements of soot and submicron aerosol concentrations in regions with different anthropogenic loadings // Atmos. Ocean. Opt. 2009. V. 22, N 4. P. 421–427.
10. Козлов В.С., Панченко М.В., Яушева Е.П. Относительное содержание сажи в субмикронном аэрозоле как индикатор влияния дымов удаленных лесных пожаров // Оптика атмосфер. и океана. 2006. Т. 19, № 6. С. 484–491.
11. Panchenko M.V., Terpigova S.A., Sviridenkov M.A., Kozlov V.S. Active spectral nephelometry as a method for the study of submicron atmospheric aerosols // Int. J. Remote Sens. 2008. V. 29. P. 2567–2583.
12. Свириденков М.А. Оптическая диагностика свойств аэрозоля в локальных рассеивающих объемах и столбе атмосферы: Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. Ин-т оптики атмосфер. СО РАН. Томск, 2008. 42 с.
13. Копейкин В.М. Экспериментальное исследование изменчивости концентрации сажевого аэрозоля в городской атмосфере: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ин-т физ. атмосфер. М., 1998. 17 с.
14. Белоусов С.Л., Пагава Т.С. Расчет траекторий воздушных частиц // Отраслевой фонд алгоритмов и программ «Гидрометслужба». № 257244 8.00150-0113. Обнинск: ИНИИГМИ-МЦД, 1998. С. 1–104.
15. URL: [http://www.greenpeace.org/russia/ru/news/2014/10-10-2014-Bryansk\\_torf/](http://www.greenpeace.org/russia/ru/news/2014/10-10-2014-Bryansk_torf/) (last access: 10.10.2014).

*V.M. Kopeikin, A.S. Emilenko, A.A. Isakov, O.V. Loskutova, T.Ya. Ponomareva. Variations in soot and submicron aerosols in the Moscow region in 2014–2016.*

The results of measurements of fine aerosol and black carbon mass concentrations in the center of Moscow and at two sites at Zvenigorod Scientific Station (ZSS) in the spring and fall periods of 2014–2016 are presented. The results are compared with the data of comprehensive measurements during 1989–2013. Situations with increased air pollution due to smoke plumes from burning peat bogs in Bryansk region, transport of smokes from forest fires in Siberia, as well as smoke from burning bark beetle affected trees in the forests in Moscow region have been revealed. A significant increase in vehicular traffic near the first measurement point at ZSS, located 150 m away from a road, during past 25 years has resulted in the growth of the aerosol air pollution level by about 2–3 times. At the second point, 1-km distant from the road, the level of air pollution by BC is comparable with that obtained in the 90s of the past century and is lower than in Moscow by about 3 times.