

Наблюдение содержания субмикронного аэрозоля в атмосфере над Россией в международных экспедициях TROICA

В.М. Копейкин*

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
119000, Москва, Пыжевский пер., 3*

Поступила в редакцию 1.02.2008 г.

Представлены результаты измерения массовой концентрации субмикронного аэрозоля M_a с помощью вагона-лаборатории в 5 экспедициях TROICA (Trans-Siberian Observations Into the Chemistry of the Atmosphere) вдоль Транссибирской магистрали и на Московской кольцевой железной дороге. Сезонный ход содержания аэрозоля имел максимум в осенне-зимний период (39,6–73,6 мкг/м³) и минимум в весенне-летний период соответственно (10,7–31,1 мкг/м³). Превышение содержания аэрозоля в населенных пунктах по сравнению с окрестностями при неблагоприятных метеорологических условиях составляло 50–250 мкг/м³. Во время лесных пожаров, возгорания торфяников и сжигания трав M_a повышалась до 50–516 мкг/м³ на участках 4–2000 км. В шлейфе загрязненного воздуха от г. Москвы на кольцевой железной дороге «городская до-бавка» изменялась в зависимости от метеорологических условий в Москве от 0 до 110 мкг/м³.

Ключевые слова: аэрозоль, загрязнение атмосферы, дальний перенос аэрозоля.

Введение

Человеческая деятельность в последние два десятилетия оказывает сильное влияние на содержание в атмосфере газовых примесей и аэрозольных частиц, их природные циклы и источники. Качество воздуха в городах и промышленных районах существенно понизилось. В результате изменения состава атмосферы ослабевает стратосферный озоновый слой, растет приземная концентрация озона, климат становится теплее. При этом важную роль в радиационных процессах играет атмосферный аэрозоль [1, 2].

Глобальная служба атмосферы Всемирной метеорологической организации (ГСА ВМО), созданная развитыми странами, включает 54 обсерватории и более 350 региональных фоновых станций. К сожалению, на территории России нет станций, входящих в сеть ГСА ВМО. Российская государственная сеть мониторинга окружающей среды, базовую основу которой составляют наблюдательные органы Росгидромета, проводит следующие виды наблюдения за атмосферой: 1) за состоянием загрязнения воздуха в городах и промышленных центрах (629 стационарных постов в 229 городах и населенных пунктах); 2) за трансграничным переносом веществ, загрязняющих атмосферу (4 пункта); 3) за фоновым загрязнением атмосферы (четыре станции в Европейской части России и одна на Алтае) [3].

Регулярные измерения содержания субмикронного аэрозоля в Европейской части России проводятся на стационарных станциях Института физики атмосферы РАН [Звенигородская научная станция (ЗНС) и Кисловодская высокогорная научная станция (КВНС)]. В Сибири организована система мониторинга атмосферных аэрозолей, охватывающая территорию Западной и Восточной Сибири. В большинстве случаев для этого используются стационары институтов СО РАН [4]. Регулярно ведутся измерения характеристик аэрозоля на наблюдательном пункте в Академгородке г. Томска в Институте оптики атмосферы СО РАН [5]. С начала 1990-х гг. получил свое развитие Российский интеграционный проект «Аэрозоли Сибири».

Разработанная Институтом физики атмосферы РАН и Всесоюзным научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта передвижная лаборатория для наблюдения газового и аэрозольного состава атмосферы TROICA позволяет измерять пространственно-временную изменчивость атмосферного аэрозоля над территорией России. Одним из достаточно простых методов, позволяющих изучать вариации массовой концентрации приземного аэрозоля, является нефелометрия. В табл. 1 приведены стационарные пункты наблюдения, в которых использовался этот метод, и средние значения концентрации субмикронного аэрозоля в них. Сроки непрерывных нефелометрических измерений, осуществленных аэрозольным комплексом ИФА РАН в пяти экспедициях TROICA, приведены в табл. 2. С 1998 г. используется аэрозольный измерительный комплекс ГНИЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова [6].

* Владимир Михайлович Копейкин (kopeikin-ifa@ Rambler.ru).

Таблица 1

Средние значения массовой концентрации субмикронного аэрозоля M_a ($\text{мкг}/\text{м}^3$), измеренные нефелометрическим методом на стационарных пунктах наблюдения

Место измерения	Период измерения	M_a	Ссылка
г. Москва	июнь 1990 г.	32	[10]
	февраль 1991 г.	126	[10]
	октябрь 1993 г.	37	[10]
	июль–август 2002 г.	90	[10]
	сентябрь 2002 г.	250	[10]
ЗНС	февраль 1991 г.	110	[12]
	январь–декабрь 1991 г.	39–113	[12]
	октябрь 1993 г.	24	[13]
г. Кисловодск	1985–1990 гг.	36	[10]
	12–28 апреля 2000 г.	35	[14]
	30 апреля – 12 мая 2000 г.	10	[14]
	2001–2006 гг.	23–62	[17]
ВКНС	1985–1990 гг.	21	[10]
Голубая бухта (Черное море)	10–31 августа 2004 г.	32	*
о-в Чистая банка (Каспийское море)	август 2000 г.	13	[15]
г. Лагань	ноябрь 2000 г.	26	[15]
	май–июнь 2001 г.	13	[15]
р. Обь (г. Томск – г. Ханты-Мансийск)	12–26 июля 1999 г.	40	[16]
ИОА, г. Томск	1997–2006 гг.	12–95	[5]
г. Алма-Ата	ноябрь 1987 г.	146	[10]
г. Пекин	ноябрь, 1996–1998 гг.	238–292	[18]
	июль 1999 г.	153	[18]
	ноябрь 2000 г.	188	[18]

* Измерения автора.

Таблица 2

Сроки проведения экспедиций и средние значения массовой концентрации субмикронного аэрозоля M_a , $\text{мкг}/\text{м}^3$

Экспедиция	Москва–Владивосток		Владивосток–Москва	
	Период измерения	M_a	Период измерения	M_a
TROICA-3	1–7 апреля 1997 г.	29,3	8–14 апреля 1997 г.	31,1
TROICA-4	17–26 февраля 1998 г.	40,9	1–7 марта 1998 г.	39,0
TROICA-8	19–25 марта 2004 г.	30,5	26 марта–1 апреля 2004 г.	19,3
TROICA-9	4–11 октября 2005 г.	73,7	11–18 октября 2005 г.	53,3
TROICA-11	22–29 июля 2007 г.	17,7	29 июля – 5 августа 2007 г.	28,3

Методика измерений

Отбор анализируемого воздуха производился выше 0,3 м над уровнем крыши железнодорожного вагона в центральной его части. Вагон-обсерватория располагался в голове поезда сразу после электровоза. Комплекс газовой, аэрозольной и метеопаратуры работал в автоматическом режиме с записью показаний на персональный компьютер в реальном масштабе времени с периодичностью 10 с.

Для определения массовой концентрации субмикронного аэрозоля использовался метод нефелометрии. В [7] было показано, что массовая концентрация субмикронного аэрозоля M_a ($\text{мкг}/\text{м}^3$) в мелкодисперсных дымках может быть определена по известному значению коэффициента рассеяния σ

(км^{-1}): $M_a = a\rho\sigma$, где ρ – плотность вещества аэрозоля; a – 220 км.

В экспедициях 2004–2007 гг. использовался нефелометр «Измеритель пыли Dust Indicator and Tunnel System» производства фирмы GRIMM (Германия), с диапазоном измерения концентраций от 0,01 до 15 $\text{мг}/\text{м}^3$. В экспедициях 1997–2000 гг. применялись двухканальный нефелометр (конструкции ЛОМА ИФА РАН) [8] и нефелометр ФАН. Наряду с проведением калибровок приборов собственными калибраторами (ФАН-А по призме и по чистому воздуху, нефелометра ЛОМА – с помощью диффузно отражающего экрана), осуществлялись регулярные совместные калибровки как собственных приборов, так и нефелометров наблюдателей, принимающих участие в совместных измерениях.

Обсуждение результатов измерений

Наблюдение субмикронного аэрозоля на Московской кольцевой железной дороге

Экспедиция TROICA-10 была проведена 4–7 октября 2006 г. Протяженность железной дороги составляла 526 км (удаленность от г. Москвы на северо-западном участке приблизительно 50 км и 100 км на восточном участке). Передвижение двух вагонов наблюдательного комплекса с помощью индивидуального электровоза было неравномерным по скорости движения, с частыми остановками на станциях. Содержание субмикронного аэрозоля в приземном воздухе в течение 4 сут измерений сильно менялось в диапазоне 8–210 мкг/м³. В отдельных случаях под влиянием выхлопов маневровых тепловозов на железнодорожных станциях значения массовой концентрации субмикронного аэрозоля достигали 550 мкг/м³ (например, на ст. Орехово-Зуево 6 октября 2006 г. в 2:20–2:40). На рис. 1 представлены результаты измерения массовой концентрации субмикронного аэрозоля за весь период измерений с осреднением 1 мин, за исключением моментов больших загрязнений воздуха, вызванных местными источниками (тепловозами, встречными железнодорожными составами, дымами печей отопления).

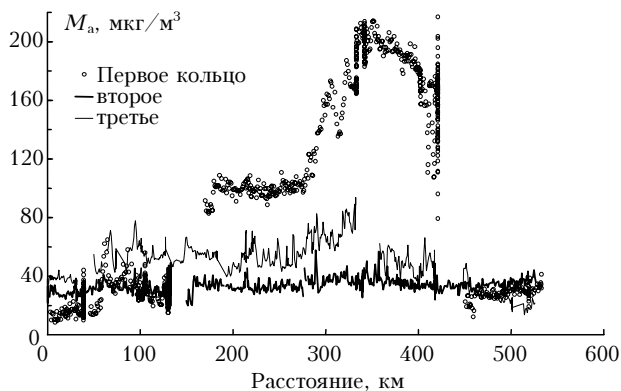


Рис. 1. Вариации массовой концентрации субмикронного аэрозоля M_a на Московской кольцевой железной дороге 4–7 октября 2006 г.

Среднее значение массовой концентрации субмикронного аэрозоля для первого кольца наблюдений

(14:20, 4 октября – 16:14, 5 октября) равно 185,6 мкг/м³, для второго (16:40, 5 октября – 7:25, 6 октября) – 33,7 мкг/м³ и для третьего кольца (7:25, 6 октября – 10:28, 7 октября) – 49,5 мкг/м³. В табл. 3 приводятся периоды измерения от ст. Икша, принятой нами за нулевой отсчет, и средние значения массовой концентрации субмикронного аэрозоля M_a на участках с разным уровнем содержания аэрозоля на первом и третьем кольце. Во время измерений на втором кольце наблюдений M_a менялась мало, на третьем не превышала 80 мкг/м³ и значительно менялась на первом кольце.

Ранее проводимые исследования содержания субмикронного аэрозоля в приземном воздухе на стационарных пунктах наблюдения в Москве и на расположенной вблизи железнодорожного кольца ЗНС [8] показали, что в зимних условиях экстремально высокие концентрации аэрозоля отмечались, в основном, при юго-восточном и восточном направлениях ветра, в то время как ветры северного сектора соответствуют пониженным уровням M_a как в Подмосковье, так и в центре Москвы. В работе [9] показано, что осенью, в октябре 1993 г., «городская добавка» – превышение содержания аэрозоля в Москве по сравнению с Подмосковьем, была наибольшей в дневное время и могла достигать приблизительно 30 мкг/м³.

Таким образом, с помощью данных для построения траекторий переноса воздушных масс, взятых в сети Internet (www.arl.noaa.gov), нами получены для Москвы за 4–7 октября 2006 г. 24-часовые прямые и обратные траектории переноса воздушных масс на высоте 500 м через каждые 2 ч (рис. 2). Аналогичные траектории за тот же период через каждые 6 ч, построенные в Гидрометцентре России, хорошо согласуются с нашими данными. Сопоставляя периоды наблюдения разных уровней содержания аэрозоля в приземном воздухе, приведенных в табл. 3, и обратные траектории переноса воздушных масс (рис. 2, а и в), можем констатировать, что большие значения M_a на первом кольце с 3,5 до 12 ч 5 октября соответствуют переносу юго-западного направления, а низкие M_a с 15 до 22 ч 4 октября и с 14,5 до 16,2 ч 5 октября связаны с переносом с западного направления. Обратные траектории воздушных масс, принадлежащие проезду по второму кольцу (рис. 2, в) и соответствующие третьему кольцу, – все западного направления.

Таблица 3

Изменчивость средней массовой концентрации субмикронного аэрозоля M_a (мкг/м³) на разных участках Московской кольцевой железной дороги (2006 г.)

Дата	Первое кольцо				Третье кольцо				
	4 октября	5 октября		5 октября	6 октября	6 октября		7 октября	
Время, ч	15–22	3,5–6	6–12	14,5–16,2	7,4–8	8–19	19–21	1–6	6–10
Расстояние, км	0–130	170–300	300–420	450–532	0–32	32–255	255–332	360–495	495–526
Сектор, град	270–290	210–230	230–270	270	250	270	270	270	250
M_a	18	100	170–210	25	40	60	70	40	20

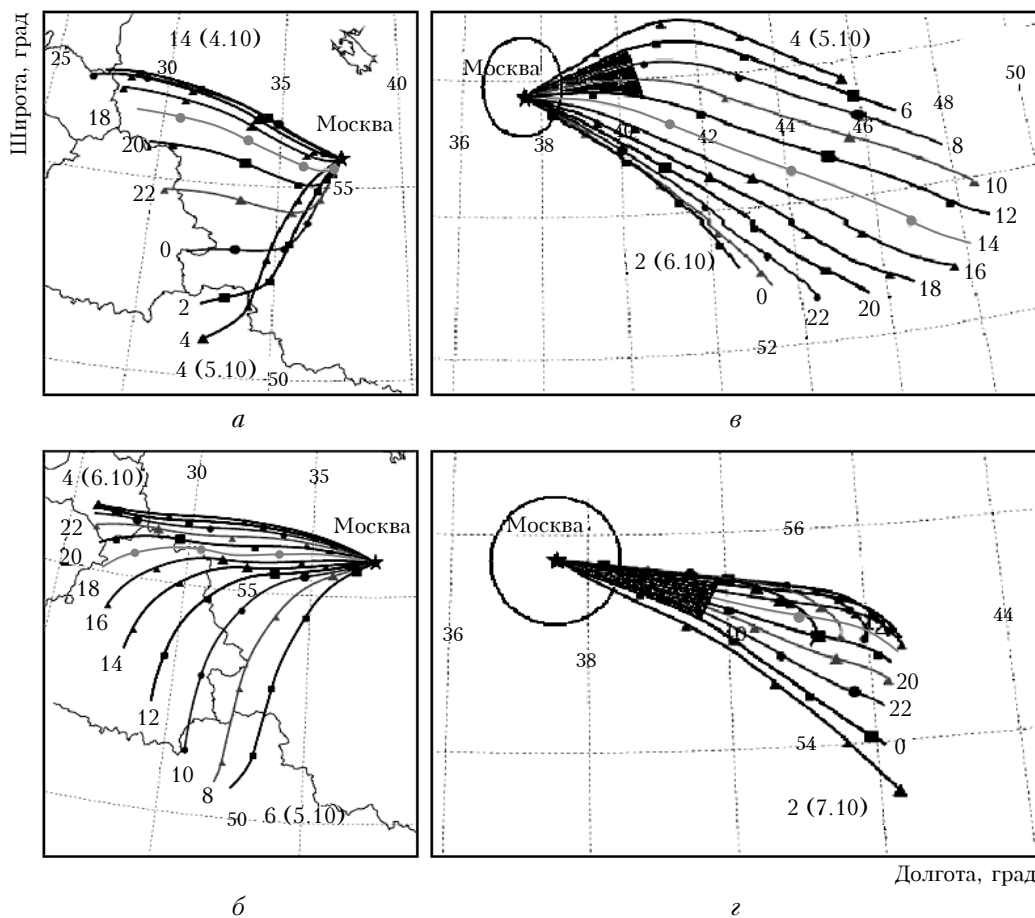


Рис. 2. 24-часовые прямые и обратные траектории переноса воздушных масс на высоте 500 м через каждые 2 ч для г. Москвы 4–7 октября 2006 г.: а, б – прямые, в, г – обратные

Для установления периода поступления на железнодорожное кольцо «городской добавки» в шлейфе приземного воздуха, содержащего антропогенный аэрозоль, образовавшийся в г. Москве, нами построены 24-часовые прямые траектории переноса воздушных масс на высоте 500 м с интервалом 2 ч с 4 ч 5 октября до 2 ч 7 октября (рис. 2, б и г). Интервалы наблюдений на первом кольце с 6 до 12 ч 5 октября и на третьем кольце с 19 до 21 ч 6 октября соответствуют времени измерения в шлейфе от г. Москвы. Антропогенная добавка массовой концентрации субмикронного аэрозоля, найденная как разность между M_a в шлейфе и M_a до въезда в шлейф, в первом случае (между Воскресенском и Александровом) большая и составляет $70\text{--}110 \text{ мкг/м}^3$, во втором случае (между станциями Мякинино и Орехово-Зуевом) – приблизительно 17 мкг/м^3 . В интервале предполагаемого поступления шлейфа на втором кольце с 0 до 3 ч 7 октября, определенном по прямым траекториям, увеличения M_a не наблюдали. Это свидетельствует о малом антропогенном загрязнении атмосферного воздуха в это время в Москве в связи с благоприятными условиями для рассеяния загрязнений атмосферы, что подтверждается низкими значениями ($1,7 \text{ мкг/м}^3$) концентрации сажевого аэрозоля на наблюдательном пункте в центре Москвы. Для сравнения в момент регистрации больших M_a в шлейфе

на первом кольце концентрация сажевого аэрозоля в центре Москвы составляла $5,8 \text{ мкг/м}^3$.

Наблюдение вариаций субмикронного аэрозоля вдоль Транссибирской магистрали

Непрерывные ряды данных о содержании субмикронного аэрозоля в атмосфере вдоль Транссибирской магистрали получены нами в пяти экспедициях TROICA. Сроки проведения измерений и средние значения концентрации субмикронного аэрозоля представлены в табл. 2. Наблюдается сезонный ход содержания субмикронного аэрозоля в воздушном бассейне над территорией России. Максимальные значения M_a зарегистрированы осенью и зимой, минимальные – в весенний и летний сезоны. В весенне-летний период средняя концентрация субмикронного аэрозоля составляет $17,7\text{--}31,1 \text{ мкг/м}^3$, а в осенне-зимний – $39,0\text{--}73,7 \text{ мкг/м}^3$.

Вдоль Транссибирской магистрали в приземном воздухе в зимний период выявлены крупномасштабные (500–1000 км) неоднородности распределения субмикронного аэрозоля, связанные с действием синоптических и метеорологических процессов, определяющих его перенос и накопление. Ранее аналогичный сезонный ход M_a получен на фоновых стационарных

станциях: на Звенигородской научной станции ИФ РАН по рядом наблюдений 1991–1998 гг. [9] и на аэрозольной станции ИОА СО РАН по данным 1997–2006 гг. [5].

Вариации концентрации субмикронного аэрозоля вдоль Транссибирской железной дороги, полученные с помощью нефелометра фирмы GRIMM, для трех сезонов (весна, лето и осень) с осреднением 1 ч приведены на рис. 3.

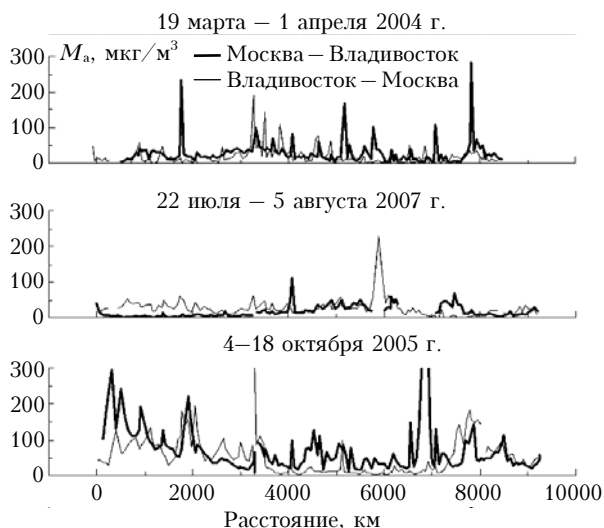


Рис. 3. Вариации массовой концентрации субмикронного аэрозоля M_a вдоль Транссибирской железной дороги для трех сезонов (весна, лето и осень) с осреднением 1 ч

Из рис. 3 видно, что в крупных городах (Екатеринбург – 1760 км, Новосибирск – 3286 км, Красноярск – 4048 км и Иркутск – 5136 км) концентрация субмикронного аэрозоля больше, чем его концентрация в сельской местности. Однако «городская добавка» субмикронного аэрозоля в этих городах была больше только во время неблагоприятных метеоусловий и составляла 50–250 мкг/м³, но нередко в весенний и летний сезоны городская атмосфера по уровню содержания субмикронного аэрозоля мало отличалась от атмосферы сельских мест. Весной в отличие от других сезонов «городская добавка» M_a наблюдалась в большем числе городов.

Как в Европейской, так и Азиатской части континента в теплое время года часто случаются лесные пожары, возгорание торфяников и выжигание трав на полях и вдоль Транссибирской железнодорожной магистрали.

Наиболее мощное задымление от горения торфяников протяженностью 1700 км от Москвы до Урала наблюдалось 4–5 октября 2005 г., вследствие этого содержание субмикронного аэрозоля увеличилось до 50–100 мкг/м³. В Гидрометцентре России были рассчитаны для пяти экспедиций 3-суточные обратные траектории переноса воздушных масс на высоте 700 м для 17 пунктов Транссибирской железнодорожной магистрали. На рис. 4, а 4–11 октября 2005 г. траектории для участка Москва – Тюмень соответствовали западному переносу воздушных масс, что способствовало распространению дыма до Тюмени.

Менее протяженное задымление от лесных пожаров, приблизительно 100 км, но давшее концентрацию аэрозоля 150–510 мкг/м³, наблюдалось 9 октября 2005 г. на участке 6831–6927 км.

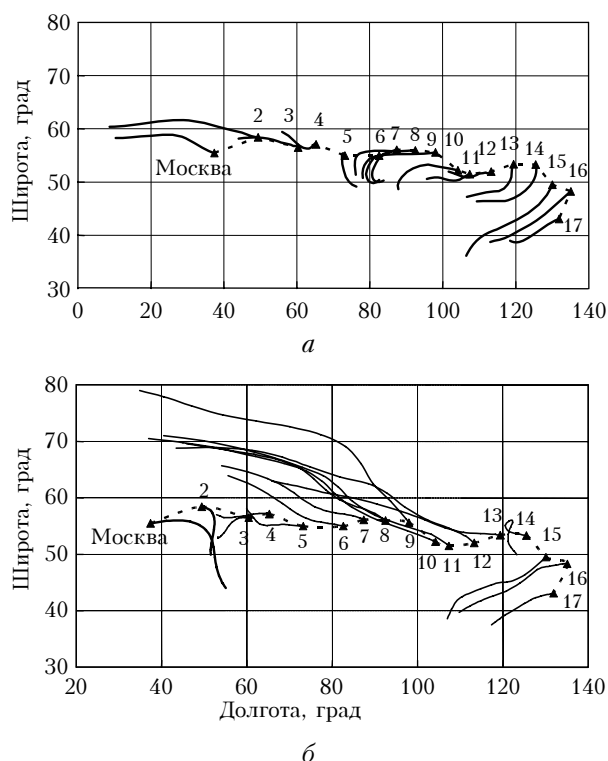


Рис. 4. Трехсуточные обратные траектории переноса воздушных масс на высоте 700 м для 17 пунктов на Транссибирской железной дороге: 4–11.10 (а); 11–18.10.2005 г. (б). 2 – Вятка, 3 – Екатеринбург, 4 – Тюмень, 5 – Омск, 6 – Новосибирск, 8 – Красноярск, 9 – Тайшет, 10 – Иркутск, 11 – Улан-Удэ, 12 – Чита, 13 – Могоча, 14 – Магдагача, 15 – Буря, 16 – Хабаровск и 17 – Владивосток

В 16–17 ч 15 октября 2005 г. приблизительно за 100 км до Новосибирска обнаружено 2 очага задымления (3412 и 3353 км) с концентрацией аэрозоля 800 мкг/м³ на протяжении 4 км, в то время как большие значения M_a в Юрге (3415 км) и Новосибирске (3287 км) 500 и 700 мкг/м³ соответственно свидетельствуют о наступлении неблагоприятных для рассеяния загрязнений метеорологических условий. Сорокакилометровый шлейф субмикронного аэрозоля от Новосибирска, согласно траекторному анализу, обусловлен западным переносом воздушных масс со скоростью 4 м/с.

Задымление в районе ст. Мысовая (5428–5456 км) 26 июля 2007 г. увеличило содержание субмикронного аэрозоля незначительно. Добавка M_a не превышала 20 мкг/м³.

Сильное задымление от лесных пожаров на участке 6010–5830 км в 6–9 ч 1 августа 2007 г., имеющее максимум концентрации субмикронного аэрозоля 420 мкг/м³ на 5960 км (880 м над у.м.), уменьшается приблизительно в 7 раз к начальной и к конечной границам задымления по пути следования поезда. Плотный слой дыма протяженностью 170 км

с M_a 140–420 мкг/м³ находился на высоте 810–920 м над у.м. (здесь же, вероятно, находились очаги возгорания леса). Верхняя граница дыма располагалась на высоте 950–920 м, а нижняя — на высоте 810–760 м. Они имеют M_a , равную 40–140 мкг/м³.

Рассмотрим крупномасштабную пространственно-временную изменчивость содержания субмикронного аэрозоля в приземном воздухе с приходом воздушных масс разных типов. Обратные траектории переноса воздушных масс осенью 2005 г. на участке Могоча — Мариинск (6891–3660 км) — длинные (4000–6000 км), идут с северо-запада, с началом на 65–78° с.ш. (рис. 4, б) и свидетельствуют о приходе в этот район чистого арктического воздуха. Этим объясняется низкое значение $M_a = 10$ мкг/м³, полученное в результате измерений на этом участке. На участках Екатеринбург — Москва (1760–0 км) и Владивосток — Буряя (9242–7982 км) траектории отображают приход континентальных воздушных масс с юга и юго-запада соответственно (рис. 4, а). Это дает вклад в наблюдаемое высокое содержание аэрозоля в приземном воздухе с 25 до 200 мкг/м³. Концентрация M_a от Тюмени до Владивостока осенью 2005 г. находится в интервале значений от 25 до 150 мкг/м³, а обратные траектории переноса воздушных масс также идут с южного и юго-западного направлений (рис. 4, а). В экспедиции 1997 г. (весна) на участке трассы Нижний Новгород — Чита траектории длинные и начинаются с 60–70° с.ш., вследствие этого M_a приблизительно равна 20 мкг/м³. Далее Читы до Хабаровска M_a выросла до 60 мкг/м³, а траектории при этом стали короткими и шли с разных направлений. Очищающая способность атмосферы в первом случае преимущественно связана с адвекцией холодного полярного воздуха. Во время экспедиций 2004 и 2007 гг. переноса арктического воздуха не наблюдалось.

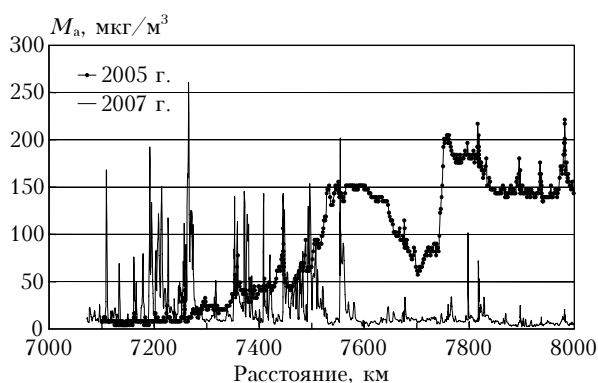


Рис. 5. Вариации M_a в экспедициях 2005 и 2007 гг. на участке трассы 7000–8000 км

Для того чтобы различать изменчивость M_a , связанную с дальним переносом и местными источниками (населенные пункты, встречные поезда и тепловозы), нами использовались ряды данных M_a с осреднением 10 с и 1 мин. На рис. 5 представлены вариации M_a в экспедициях 2005 и 2007 гг. с осреднением 1 мин на одном и том же участке трассы от 7000 до 8000 км. Осенью 2005 г. вариации M_a мел-

комасштабные и соответствуют местонахождению 9 населенных пунктов, являющихся местными источниками антропогенного аэрозоля. Летом 2007 г. вариации M_a с периодичностью изменения приблизительно 200 км обусловлены дальним переносом аэрозоля.

Заключение

Измерения массовой концентрации субмикронного аэрозоля в экспедициях TROICA дали следующие результаты:

1. В приземном воздухе над территорией России наблюдался сезонный ход содержания субмикронного аэрозоля с максимумом в осенне-зимний период и минимумом в весенне-летний период. При этом средние концентрации аэрозоля составляли 39,6–73,7 и 10,7–31,1 мкг/м³ соответственно.

2. При неблагоприятных метеорологических условиях для рассеяния загрязнений (слабый ветер, инверсии температуры) в населенных пунктах наблюдалось превышение M_a по сравнению с окрестностями на 50–250 мкг/м³. Но нередко в весенне-летний сезон воздух в населенных пунктах и вне их по уровню содержания субмикронного аэрозоля мало отличался.

3. Во время лесных пожаров, возгорания торфяников и сжигания трав происходило увеличение содержания субмикронного аэрозоля до 50–800 мкг/м³ на участках Транссибирской магистрали протяженностью от 4 до 2000 км.

4. С приходом воздушных масс из Арктики в весенний и осенний сезоны M_a уменьшается приблизительно до 10 мкг/м³ и достигает 25–200 мкг/м³ с приходом континентальных воздушных масс южного направления.

5. Измерения на Московской кольцевой железной дороге 4–7 октября 2006 г. показали, что с приходом воздушных масс юго-западного направления M_a максимальная (85,6 мкг/м³) и минимальная (33,7 мкг/м³) — в воздушной массе западного направления. «Городская добавка» на кольцевой железной дороге в шлейфе антропогенного загрязнения г. Москвы максимальная при неблагоприятных метеорологических условиях рассеяния загрязнений в Москве.

Автор благодарит Т.Я. Пономареву за предоставление данных по траекториям переноса воздушных масс, А.А. Исакова и А.С. Емиленко за участие в подготовке измерительной аппаратуры, Г.И. Горчакова и М.А. Свириденкова за помощь в работе.

Работа выполнена при поддержке Международного научно-технического центра, проекты № 2770, 2773, и гранта РФФИ № 07-05-01828.

1. Голыцын Г.С. Состав атмосферы и климат // Вестн. РАН. 1997. Т. 67. № 2. С. 105–116.
2. Aselman I., Crutzen P.J. Global distribution of natural freshwater wetlands and rice paddies, their net primary productivity, seasonality and possible methane emissions // Atmos. Chem. 1989. V. 8. N 3. P. 307–358.
3. Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2006 г. Федеральная служба по гидро-

- метеорологии и мониторингу окружающей среды. М.: Роскомгидромет, 2007. 154 с.
4. *Аэрозоли Сибири. Интеграционные проекты СО РАН. Вып. 9* / Под ред. К.П. Кушеного. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 548 с.
 5. *Козлов В.С., Панченко М.В., Яушева Е.П.* Временная изменчивость содержания субмикронного аэрозоля и сажи в приземном слое атмосферы Западной Сибири // *Оптика атмосф. и океана*. 2007. Т. 20. № 12. С. 1082–1085.
 6. *Andronova A.V., Granberg I.G., Grisenko A.M., Gubanova D.P., Zudin B.V., Iordanskii M.A., Lebedev V.A., Nevskii I.A., Obvintsev Yu.I.* Studies of the Spatial and Temporal Distribution of Surface Aerosol along the Trans-Siberian Railroad // *Izvestiya. Atmos. and Ocean. Phys.* 2003. V. 39. Suppl. 1. P. S27–S34.
 7. *Горчаков Г.И., Емиленко А.С., Свириденков М.А.* Однопараметрическая модель приземного аэрозоля // *Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана*. 1981. Т. 17. № 1. С. 39–49.
 8. *Емиленко А.С., Сидоров В.Н.* Нефелометрический метод определения содержания субмикронного аэрозоля в атмосфере города // *Контроль состояния воздушного бассейна г. Москвы. Препр. / ИФА РАН (М.)*. 1991. № 1. С. 53–58.
 9. *Сидоров В.Н.* Суточный и сезонный ход содержания сухой основы фракции субмикронного аэрозоля в приземном слое // *Тр. конф. «Физика атмосферного аэрозоля»*. М.: Диалог МГУ, 1999. С. 356–367.
 10. *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 г. Москвы во время пожаров торфяников летом–осенью 2002 г. // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана*. 2004. Т. 40. № 3. С. 366–380.
 11. *Емиленко А.С., Сидоров В.Н.* Синхронные измерения концентрации субмикронного аэрозоля в Москве и Подмоскowie // *Контроль состояния воздушного бассейна г. Москвы. Препр. / ИФА РАН (М.)*. 1992. № 9. Ч. II. С. 93–104.
 12. *Сидоров В.Н.* Вариации содержания субмикронного аэрозоля в приземном слое (Подмосковье, 1991) // *Там же*. С. 105–115.
 13. *Сидоров В.Н.* Вариации содержания субмикронного аэрозоля в приземном слое (Подмосковье, осень 1993) // *Контроль состояния воздушного бассейна г. Москвы. Препр. / ИФА РАН (М.)*. 1995. № 2. Ч. III. С. 82–87.
 14. *Andronova A.V., Granberg I.G., Iordanskii M.A., Kopeikin V.M., Minashkin V.M., Nevskii I.A., Obvintsev Yu.I.* Sources and composition of the aerosols in the Caucasus Mineral Waters region // *Izvestiya. Atmos. and Ocean. Phys.* 2003. V. 39. Suppl. 1. P. S35–S49.
 15. *Горчаков Г.И., Аникеев В.В., Волох А.А., Жданов А.Г., Захарова П.В., Исаков А.А., Копейкин В.В., Пономарева Т.Я.* Исследование аэрозольного загрязнения воздушного бассейна Северо-Каспийского региона // *Труды IV Междунар. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли»*, 6–9 октября 2003. Санкт-Петербург, 2003. С. 272–276.
 16. *Копейкин В.М.* Исследование вариаций характеристик атмосферного аэрозоля в пойме р. Оби летом 1999 года // *Труды 1 Междунар. совещ. «Экология пойм Сибирских рек и Арктики»*. Томск, 25–26 ноября 1999. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. С. 135–141.
 17. *Исаков А.А.* О межгодовой изменчивости вариаций оптических и микрофизических параметров приземного аэрозоля на Звенигородской научной станции // *Оптика атмосф. и океана*. 2007. Т. 20. № 8. С. 682–686.
 18. *Genchen Wang, Grechko E.I., Emilenko A.S., Dzhola A.S., Kopeikin V.M., Fokeeva E.V.* Results of Simultaneous Measurements of Carbon Monoxide in the Atmosphere and Submicron Aerosol in the Surface Layer over Beijing // *Izvestiya. Atmosf. and Ocean. Phys.* V. 37. Suppl. 1. 2001. P. S1–S9.

V.M. Kopeikin. Observation of the submicron aerosol content in the atmosphere over Russia in the TROICA international experiments.

The results of measurements of the submicron aerosol mass concentration M_a by means of the car-laboratory at 5 experiments of TROICA (Trans-Siberian Observations Into the Chemistry of the Atmosphere) along the Trans-Siberian Railroad and Moscow Circuit Railroad are presented. A seasonal behavior of the aerosol content was observed with maximum in fall (39.6–73.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) and winter period, and minimum in spring and summer (10.7–31.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), respective. An excess of the aerosol content in the populated areas in comparison with neighborhoods was equal to 50–250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in unfavorable conditions. During forest fires, peatbog ignitions, and grass burning, M_a increased up to 50–516 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ at legs of 4 to 2000 km. At the plumes of the polluted air from Moscow at Moscow Circuit Railroad, «an urban addition» varied from zero to 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, depending on the meteorological conditions in Moscow.