

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-4-134-148>

УДК 551.510.411:551.510.42

## **Аномальное аэрозольное загрязнение воздуха в Москве вблизи локального антропогенного источника в июле 2021 года**

***Д.П. Губанова, А.А. Виноградова,  
А.И. Скороход, М.А. Иорданский***

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова  
Российской академии наук, г. Москва, Россия  
gubanova@ifaran.ru*

Анализируется состав приземного аэрозоля в центре Москвы вблизи временно-го локального интенсивного антропогенного источника загрязнения, связанного со сносом многоэтажных строений. Аномальный рост концентрации аэрозольных частиц в дневное время до 5 ПДК среднесуточной и до 14 ПДК максимальной разовой концентрации аэрозоля  $PM_{10}$  усугублялся неблагоприятными метеорологическими условиями в середине июля 2021 года. Выполнена предварительная оценка мощности пылевого аэрозоля и его влияния на аэрозольное загрязнение воздуха близлежащих районов города. Определены экстремальные и «фоновые» значения массовой концентрации аэрозоля, его элементный и дисперсный состав в период воздействия источника. Обсуждается необходимость учета подобных точечных источников загрязняющих веществ при оценке и прогнозировании экологической обстановки в многонаселенном городском районе.

*Ключевые слова:* приземный аэрозоль, локальный антропогенный источник, Москва, массовая концентрация, элементный состав, метеорологические условия

## **Abnormal aerosol air pollution in Moscow near the local anthropogenic source in July 2021**

***D.P. Gubanova, A.A. Vinogradova,  
A.I. Skorokhod, M.A. Iordanskii***

*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics  
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
gubanova@ifaran.ru*

The paper analyzes the composition of surface aerosol close to the local intense anthropogenic source of pollution associated with the active phase of demolition of multi-storey buildings in the center of Moscow. An abnormal increase in the daytime  $PM_{10}$  aerosol particle concentration to 5 MPC for daily values and to 14 MPC for maximum single values was reinforced by unfavorable meteorological conditions in the middle of July 2021. Preliminary estimation of the power of the dust aerosol source and its effect on the aerosol air pollution in nearby areas of the city is performed. The extreme and background values of the aerosol mass concentration, its elemental composition and particle size distribution during this period are determined. It is necessary to take into

account such point pollutant sources in estimating and forecasting environmental conditions in a densely populated city.

*Keywords:* surface aerosol, local anthropogenic source, Moscow, aerosol mass concentration, elemental composition, meteorological conditions

## Введение

Вопросы загрязнения и контроля качества воздушного бассейна города весьма актуальны для всех стран и регионов [16]. Смешение в приземном воздухе выбросов (газов и аэрозолей) различных промышленных предприятий, транспорта и служб жизнеобеспечения населения с эмиссиями природных источников (растения, почвы) создает в городе разнородную пространственную структуру загрязнения воздуха, быстро меняющуюся благодаря подвижности воздушных масс и активной химии газов и аэрозолей.

Москва – крупнейший мегаполис в Европе (только для «старой» Москвы, до официального включения юго-западных районов города, расположенных за МКАД, площадь была  $>1116 \text{ км}^2$ , население  $>12$  млн чел.), где есть многочисленные территории разного качества, от районов жилой застройки и парковых зон отдыха до интенсивных транспортных магистралей и промышленных комплексов. Развернутая в последние годы программа реновации и обновления зданий, затронувшая все городские округа, включает как строительство новых сооружений, так и разрушение и вывоз с территории города старых построек. К сожалению, такие работы не всегда ведутся с соблюдением методик и норм охраны воздуха для жилых территорий.

Регулярный контроль за качеством воздуха в Москве осуществляет ГПБУ «Мосэкомониторинг» (далее – МЭМ [<https://mosecom.mos.ru/>]), имеющий более 50 станций наблюдений, расположенных в разных районах города. Кроме газовых составляющих атмосферы, этой службой оценивается и аэрозольное загрязнение по величинам концентраций частиц размерами менее 10 мкм ( $\text{PM}_{10}$ ) и менее 2.5 мкм ( $\text{PM}_{2.5}$ ). Имея в виду большую площадь Москвы, пространственное разрешение сети невысоко, эта служба скорее предназначена для оценки состояния атмосферы города в целом. В случае появления локального точечного источника загрязнения воздуха (например, площадки, расчищаемой под строительство новых зданий, ремонта и реконструкции дворов и улиц), радиус воздействия которого сравнительно невелик (1–10 км), станции МЭМ не всегда могут его зафиксировать.

Ряд исследовательских работ по изучению состава воздуха в Москве эпизодически выполнялись и выполняются в разных районах города учеными и исследователями различных московских организаций (например, МГУ им. М.В. Ломоносова, НИФХИ им. Л.Я. Карпова, ИФА им. А.М. Обухова РАН [2, 4, 8, 11, 13–15]). Но и этого недостаточно для создания

общей картины загрязнения города и учета источников этого загрязнения различного происхождения.

Данная работа посвящена описанию эпизода экстремального аэрозольного загрязнения воздуха в центре Москвы под воздействием локального антропогенного источника и его влияния на изменение состава аэрозоля приземной атмосферы ближайших территорий.

### **Аппаратура, методы измерений и анализа данных**

В течение последних двух лет (с октября 2019 до ноября 2021 года) в ИФА им. А.М. Обухова РАН (далее – ИФА РАН) сотрудниками этого института проводится уникальный комплексный аэрозольный эксперимент по исследованию физико-химических характеристик приземного аэрозоля [3]. Пункты наблюдения выбраны в административном центре мегаполиса (двор ИФА РАН, Пыжевский пер., 3, муниципальный р-н «Якиманка», ЦАО г. Москвы, координаты  $55,739085^\circ$  с. ш.,  $37,623807^\circ$  в. д.) и в условно фоновом районе Подмоскovie на Звенигородской научной станции (ЗНС ИФА РАН, дер. Новошихово, Одинцовский р-н Московской обл.,  $55,695895^\circ$  с. ш.,  $36,773343^\circ$  в. д.). Комплекс измерительной аппаратуры в обоих пунктах включает:

- аспирационные пробоотборники для ежесуточного забора аэрозольных проб на аналитические фильтры типа АФА с последующим гравиметрическим и элементным анализом;

- 6-каскадные импакторы, снаряженные гидрофобными фильтрами, для определения массового фракционного и элементного состава аэрозоля в каналах размеров частиц: больше 6.5 мкм; 4.0–6.5 мкм; 2.5–4.0 мкм; 1.5–2.5 мкм; 0.5–1.5 мкм; меньше 0.5 мкм;

- лазерные аэрозольные спектрометры типа ЛАС-П для определения дисперсного состава и счетной концентрации аэрозольных частиц размерами 0.15–2.0 мкм при концентрации до  $2 \cdot 10^3$  частиц/см<sup>3</sup>, 10 каналов измерений, частота регистрации сигнала 5 минут;

- оптико-электронные аэрозольные спектрометры типа ОЭАС-05 для определения дисперсного состава и счетной концентрации аэрозольных частиц размерами 0.2–10.0 мкм при концентрации до  $10^3$  частиц/см<sup>3</sup>, 10 каналов измерений, частота регистрации сигнала 5 минут;

- пробоотборные устройства, снаряженные гидрофобными фторопластовыми фильтрами, собирающие пробы для исследования морфологической структуры аэрозольных частиц и химического состава.

Массовую концентрацию аэрозолей определяли гравиметрическим методом, а также численным методом с использованием измеренной счетной концентрации приземного аэрозоля. Элементный состав аэрозольных проб исследовали методами масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП, АЭС-ИСП), а также методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА)

[5, 6, 9]. Выполнен анализ содержания в приземном аэрозоле более 60 химических элементов различного генезиса – элементы глобального распространения, редкоземельные и радиоактивные элементы, тяжелые металлы и металлоиды.

Эксперимент методически был построен таким образом, что за два года наблюдений получены непрерывные ряды данных о дисперсном составе, счетной и массовой концентрации субмикронных и микронных аэрозольных частиц в диапазоне размеров 0,25–10 мкм в приземном слое атмосферы мегаполиса и пригорода. Кроме этого, каждый сезон в течение 35–40 суток проводился интенсивный комплексный эксперимент, когда дополнительно гравиметрическим методом определяли суточную массовую концентрацию всех аэрозольных частиц (размером до 30–40 мкм), а также исследовали элементный состав приземного аэрозоля – на основе суточных проб, собранных с помощью аспирационных пробоотборников как в городе, так и в пригороде (анализ первых результатов в [3, 4, 14]).

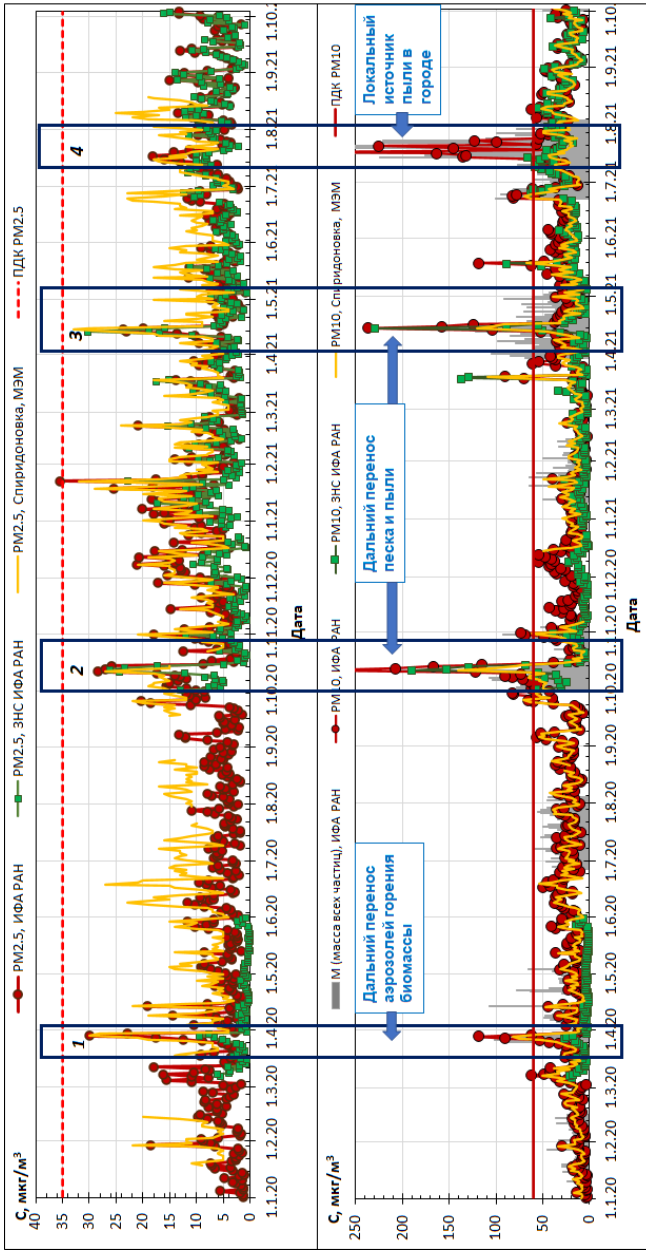
### **Основные результаты непрерывного мониторинга**

На рис. 1 представлены непрерывные ряды среднесуточной массовой концентрации аэрозолей  $PM_{10}$  на площадках ИФА РАН и ЗНС ИФА РАН в сравнении с непрерывными данными, полученными на станции МЭМ «Спиридоновка» (<https://mosecom.mos.ru/spiridonovka/>) как наиболее близкой к ИФА РАН не только по географическому положению, но и по особенностям застройки и интенсивности автотранспортной нагрузки вблизи данных пунктов. Высокая корреляция и хорошая сходимости данных по наблюдениям в ИФА РАН и на ст. «Спиридоновка» в различные сезоны свидетельствуют о правомерности такого сравнения для контроля качества получаемых данных.

За весь период двухлетних наблюдений в ИФА РАН было выявлено (рис. 1) несколько эпизодов с экстремальным ростом содержания в воздухе аэрозольных частиц (общей массы и массы частиц разной размерности), связанных с региональным и дальним переносом аэрозолей горения и пылевых аэрозолей при адвекции воздуха в условиях блокирующих антициклонов весной и осенью [3]. Однако рекордный рост концентрации приземного аэрозоля был зарегистрирован в пункте наблюдения ИФА РАН в период с 14 по 23 июля 2021 года. Подробному анализу именно этого эпизода и посвящена данная работа.

### **Влияние локального антропогенного аэрозольного источника в сложившихся метеорологических условиях**

Аномальное аэрозольное загрязнение приземного воздуха в окрестностях пункта наблюдения в ИФА РАН в дневное время в середине июля 2021 года связано с появлением сильного локального антропогенного источника пылевого аэрозоля.



**Рис. 1.** Среднесуточная концентрация аэрозолей PM<sub>2.5</sub> (вверху) и PM<sub>10</sub> (внизу) в приземной атмосфере на площадках ИФА РАН (красный), ЗНС ИФА РАН (зеленый), «Спиридоновка» МЭМ (желтый), а также всей массы аэрозоля (серый) с 01.01.2020 по 01.10.2021 г. Горизонтальные красные линии – ПДКс.с. для аэрозолей соответствующей размерности. Эпизоды anomalно высокому загрязнению воздуха выделены рамками.

**Fig. 1.** Average daily concentration of aerosols PM<sub>2.5</sub> (top) and PM<sub>10</sub> (bottom) in the surface atmosphere at IAP RAS (red), ZSS IAP RAS (green), Spiridonovka, MEM (yellow), as well as the entire aerosol mass (gray) – from 01.01.20 to 01.10.21. Horizontal red lines – MPC for daily aerosol concentration of corresponding sizes. The episodes of anomalously high air pollution are highlighted with boxes.

На территории, расположенной в 100–300 м в направлении ЗСЗ от пункта наблюдения ИФА РАН осуществлялся демонтаж и снос зданий и сооружений научно-производственного назначения (см. рис. 2). Эти работы были начаты в марте 2021 г. для дальнейшего строительства на этой площадке ЖК «Лаврушинский». Несомненно, правила проведения подобных работ предусматривают защитные меры по предотвращению широкого распространения пыли вокруг демонтируемых объектов. Однако в данном случае никаких адекватных мер принято не было.



**Рис 2.** Схема расположения пункта наблюдений ИФА РАН и территории, на которой осуществлялся демонтаж (снос) научно-производственных зданий (слева) и фотография «пыльной бури» в Пызёвском переулке (справа).  
**Fig. 2.** Scheme of the location of IAP RAS observation point and the territory where the dismantling (demolition) of scientific and industrial buildings was carried out (left) and a photo of the "dust storm" in Pyzhevsky Lane (right).

Как показали результаты комплексного аэрозольного эксперимента, проводившегося как раз в ИФА РАН в июле 2021 года, экстремально высокие значения массовой концентрации  $PM_{10}$ , превысившие ПДКс.с. в 2–5 раз, а концентрацию  $PM_{10}$  на ст. Спиридоновка в 3–9 раз, вызвали «пыльную бурю» в Пызёвском переулке (рис. 2) и экстремальное загрязнение приземного слоя атмосферы близлежащих микрорайонов пылевым аэрозолем.

Величины предельной допустимой среднесуточной и максимальной разовой концентрации частиц  $PM_{10}$  (ПДКс.с.= $60 \text{ мкг/м}^3$  и ПДКм.р.= $300 \text{ мкг/м}^3$  соответственно) неоднократно превышались. Наибольшие разовые значения концентрации частиц  $PM_{10}$  в эти дни составили от 8.74 ПДКм.р. (15.07.2021 15:55) до 14.38 ПДКм.р. (17.07.2021. 09:55) (см. таблицу). При этом концентрация частиц  $PM_{2.5}$  менялась незначительно, что хорошо вписывается в картину загрязнения атмосферы более крупными частицами, образующимися при разрушении построек.

**Таблица.** Метеорологические условия и массовая концентрация приземного аэрозоля в исследуемый период по данным наблюдений ИФА РАН и МЭМ  
**Table.** Meteorological conditions and mass concentration of surface aerosol during the study period according to IAP RAS and MEM observations

Дата	Синоптические и метеорологические условия	Массовая концентрация, мкг/м <sup>3</sup>			
		максимальная разовая	среднесуточная		
		PM <sub>10</sub> , ИФА РАН	M*	PM <sub>10</sub> , ИФА РАН	PM <sub>10</sub> , Спиридоновка МЭМ
12.07	Тихий ветер (1 м/с), В-ВСВ-ВЮВ-ЮЮВ, антициклон, T <sub>max</sub> **= 33 °С	237	67	36	26
13.07	Штиль или тихий ветер (1 м/с), СЗ-З, антициклон, T <sub>max</sub> = 35 °С	107	76	43	35
14.07	Тихий ветер (1 м/с), СЗ-СВ-ЗСЗ, антициклон, T <sub>max</sub> = 35 °С	<b>2962</b>	<b>225</b>	<b>136</b>	43
15.07	Тихий или легкий ветер (1-2 м/с), В-ССВ-ЗСЗ-ВСВ, циклон, после 15 ч – грозы, ливни, T <sub>max</sub> = 34 °С	<b>2621</b>	<b>175</b>	<b>131</b>	44
16.07	Тихий или легкий ветер (1-2 м/с), ССВ-С-СВ-ССЗ, циклон, T <sub>max</sub> = 33 °С	<b>3761</b>	<b>250</b>	<b>162</b>	27
17.07	Тихий или легкий ветер (1-2 м/с), СЗ-ЗСЗ-СЗ, наветренная сторона, антициклон, T <sub>max</sub> = 33 °С	<b>4314</b>	<b>630</b>	<b>302</b>	34
18.07	Штиль или тихий ветер (1 м/с), ВЮВ-С-СЗ; циклон, небольшие дожди, T <sub>max</sub> = 32 °С. Работы по демонтажу здания не велись (вск)	116	56	31	25
19.07	Штиль или тихий ветер (1 м/с), ЗЮЗ-ЗСЗ-З; наветренная сторона, циклон, T <sub>max</sub> = 31 °С	<b>2189</b>	<b>267</b>	<b>145</b>	23
20.07	Тихий или легкий ветер (1-2 м/с), СЗ-ЗСЗ; наветренная сторона, циклон, T <sub>max</sub> = 28 °С	<b>3203</b>	<b>421</b>	<b>226</b>	18
21.07	Тихий или легкий ветер (1-2 м/с), З-ССЗ-ЗСЗ-СЗ; наветренная сторона, циклон, T <sub>max</sub> = 26 °С	490	132	56	21
22.07	Тихий или легкий ветер (1-2 м/с), С-ССЗ-ЗСЗ; наветренная сторона, антициклон, T <sub>max</sub> = 23 °С	<b>935</b>	<b>222</b>	<b>99</b>	19
23.07	Штиль или тихий/легкий ветер (1-2 м/с), ЗСЗ-З-СЗ, наветренная сторона, антициклон, кратковременные ливни; T <sub>max</sub> = 24 °С	<b>2224</b>	<b>221</b>	<b>123</b>	27

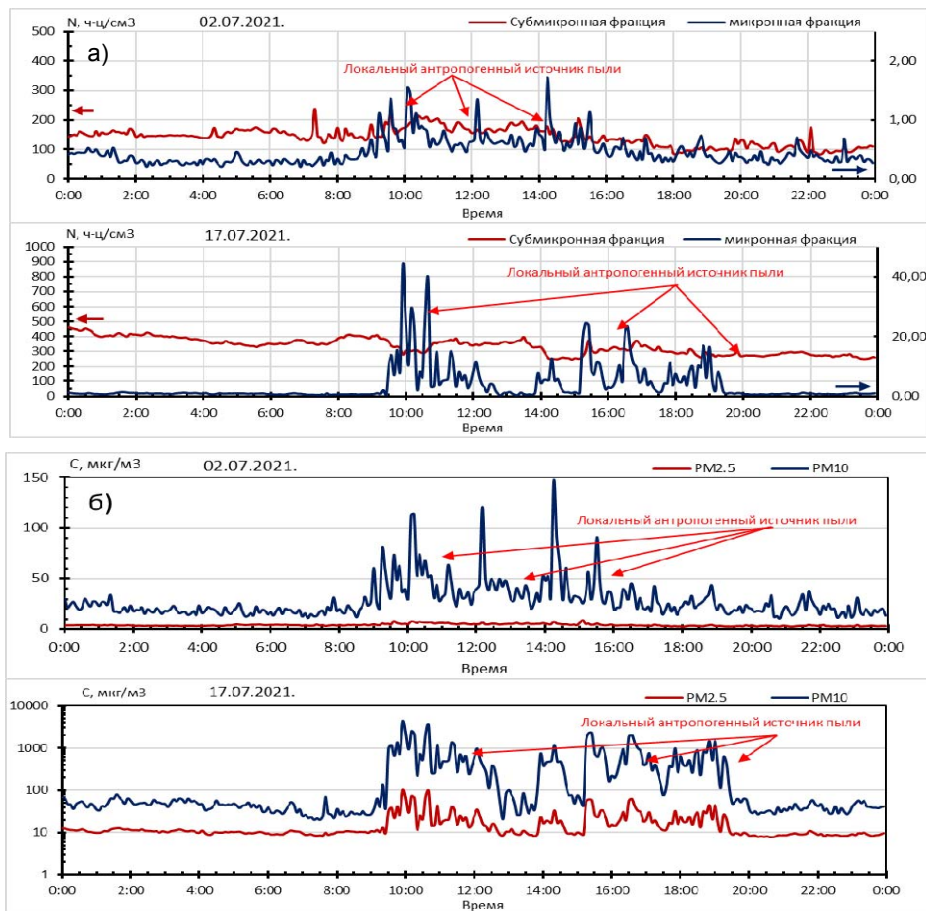
*Примечание:* \*M – масса всех аэрозольных частиц (размером до 40 мкм) по привесу на фильтре, \*\*T<sub>max</sub> – максимальная приземная температура за сутки по данным метеостанции «Балчуг».

Следует отметить, что в первой декаде июля и до 15 числа столичный регион находился под влиянием высокого блокирующего антициклона и характеризовался неблагоприятными метеорологическими условиями (НМУ) I класса опасности, что обусловило достижение нескольких температурных рекордов в Москве (<https://meteoinfo.ru/novosti/18082-v-moskve-temperatura-prevysila-absolyutnyj-maksimum-13-iyunya>; <https://meteoinfo.ru/novosti/18088-14-iyulya-v-moskve-povtoren-absolyutnyj-maksimum-temperatury>) и способствовало формированию условий для накопления в приземном слое атмосферы аэрозольных частиц (см. таблицу). При этом значения ПДКс.с. и ПДКм.р. аэрозольных частиц  $PM_{10}$  на городских станциях МЭМ не были превышены. Однако в этот период в ИФА РАН были зарегистрированы аномально высокие значения массовой концентрации частиц  $PM_{10}$ , превысившие среднесуточную ПДК в 2–5 раз, а максимально разовую ПДК в 3–14 раз (см. таблицу). Смена синоптической обстановки и кратковременные ливни с грозами, прошедшие 15 июля и обусловившие снижение концентрации взвешенных частиц в атмосфере Московского мегаполиса (<https://mosecom.mos.ru/novosti-i-publikacii/2021/07/proshedshie-v-chetverg-dozhdi-sposobstvovali-snizheniyu-koncentracij-vzveshennykh-chastich-v-atmosfernom-vozduxe/>), не смогли значительно очистить атмосферу от аэрозольного загрязнения в окрестностях ИФА РАН. Рекордные значения среднесуточной концентрации приземного аэрозоля  $PM_{10}$  были зарегистрированы 17 июля ( $302 \text{ мкг/м}^3$ ) и 20 июля ( $226 \text{ мкг/м}^3$ ), в период постепенного снижения максимальных значений дневной температуры воздуха (см. таблицу) и при неустойчивой синоптической обстановке. Решающим фактором экстремального аэрозольного загрязнения приземного воздуха в данном случае явилась интенсивность локального антропогенного источника пылевого аэрозоля. При этом флуктуации концентрации более мелких, субмикронных частиц, входящих во фракцию аэрозоля  $PM_{2.5}$ , не были значительными, и по величине данные концентрации оказались гораздо ниже соответствующих ПДК (см. рис. 1). Это подтверждает суточный ход массовой и счетной концентраций, представленный на рис. 3 и иллюстрирующий вклад локального источника в уровень аэрозольного загрязнения атмосферы частицами мелкой и крупной фракций.

### **Оценка мощности выбросов и дальности влияния локального антропогенного источника аэрозольного загрязнения**

Для оценки мощности локального антропогенного источника пылевого аэрозоля использовались следующие исходные данные: расстояние от источника до приемника 150 м, ветер в сторону приемника не меняет направление и скорость, которая составляет в указанные дни, по данным метеостанции Балчуг, около 1 м/с при ЗСЗ направлении ветра. Расчет выполнен для крупных частиц размером около 10 мкм, измеренная концентрация которых составила около  $300 \text{ мкг/м}^3$ , в предположении только одного канала очищения атмосферы – при сухом осаждении частиц на поверхность со скоростью (по Стоксу)  $K=3 \text{ см/с}$  [12].



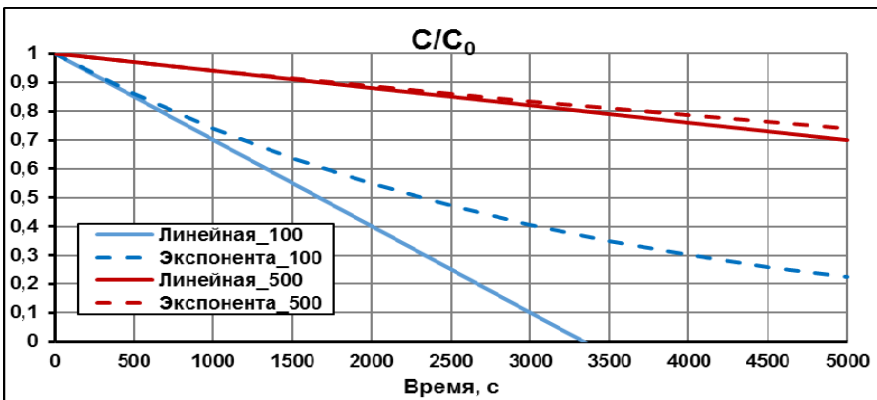


**Рис 3.** Суточный ход счетной концентрации субмикронной и микронной фракций аэрозольных частиц (а) и массовой концентрации аэрозоля  $\text{PM}_{2.5}$  и  $\text{PM}_{10}$  (б) по данным наблюдений в ИФА РАН до и в период интенсивного функционирования локального источника (2 июля и 17 июля, соответственно).

**Fig. 3.** Diurnal variations of the numbers of submicron and micron particles (a) and mass concentration of aerosols  $\text{PM}_{2.5}$  and  $\text{PM}_{10}$  (b) – before and during the period of intensive functioning of the local source (July 2 and July 17, respectively).

Предположим, что точечный источник площадью  $1 \text{ м}^2$  поставляет в слой перемешивания (высотой  $H=100 \text{ м}$ ) частицы аэрозоля с такой интенсивностью, что над источником в этом слое постоянно поддерживается их массовая концентрация  $C_0$ . Аэрозоль будет перемещаться от источника в направлении ветра со скоростью  $1 \text{ м/с}$ , а концентрация примеси  $C(t)$  в слое перемешивания по мере движения будет уменьшаться со временем  $t$  за счёт осаждения примеси на поверхность, примерно по формуле

$C(t) = C_0 \exp(-Kt/H)$  – без учета Гауссовского расплывания примеси по горизонтали и турбулентного перемешивания по вертикали (например, [1, 10]). Вблизи источника это выражение часто аппроксимируют линейной зависимостью  $C(t) = C_0 (1 - Kt/H)$ . По рис. 4 хорошо видно, что для пункта наблюдений (на расстоянии 150 м от источника, которое проходит примесью за 150 с) годится линейное приближение, и при средней измеренной концентрации аэрозоля во время эпизода  $300 \text{ мкг/м}^3$  источник должен поставлять в слой перемешивания  $314 \text{ мкг/м}^3$ . При прекращении работ (в конце рабочего дня, например) очищение атмосферы до уровня ПДК ( $60 \text{ мкг/м}^3$  для  $\text{PM}_{10}$ ) должно происходить примерно через 3000–5000 с (от 0,75 до 1.4 часа).



**Рис. 4.** Уменьшение со временем концентрации аэрозоля (величина, отнесенная к концентрации над источником) при его перемещении в потоке воздуха от источника или при «выключении» источника. Расчеты для  $H=100$  м и  $500$  м.

**Fig. 4.** Decrease in aerosol concentration over time (the value referred to the concentration above the source) when it is transported in air flow from the source or after the source is “turned off”. Calculations for  $H = 100$  m and  $500$  m.

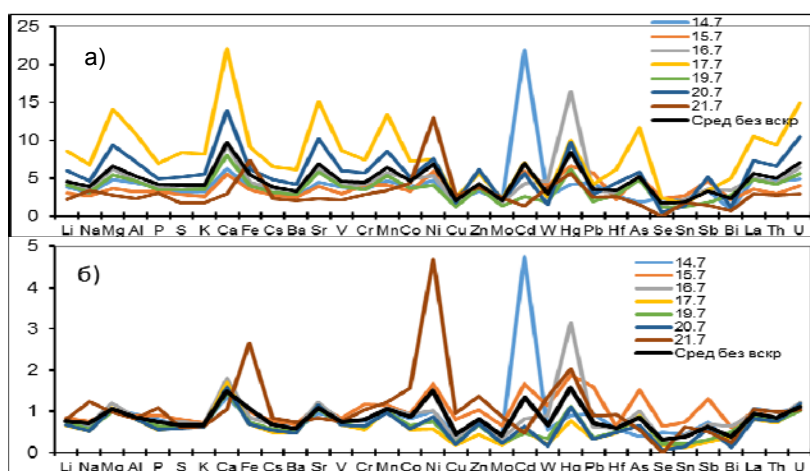
Грубая оценка мощности выбросов аэрозоля  $\text{PM}_{10}$  рассматриваемым локальным источником (исходя из того, что за 1 с ветром уносится вся масса аэрозоля, находящаяся в воздухе ( $H=100$  м) над источником, а это  $31,4$  мг) дает значение от  $0,56$  до  $0,80 \text{ кг/сут/м}^2$  при 5–7-часовой работе. Это вещество рассеивается вокруг источника, в зависимости от изменчивости направления и скорости ветра, на расстояния до 3–5 км.

Конечно, в городе последние оценки могут быть несколько завышены из-за сложности рельефа городской застройки. Хотя возможны и обратные эффекты – благодаря образованию каньонов городских улиц с усилением скорости ветра. Кроме того, высота слоя перемешивания летом в дневное время в Москве обычно больше ( $500$  м и более) [7]. При этом примеси будут распространяться на большие расстояния (рис. 4), и время

очистения в районе источника при его «выключении» также будет больше. Однако неравномерное распределение примеси по высоте в приземном слое атмосферы, сложные процессы перемешивания примеси на высотах, больших высоты соседних зданий и другие процессы сильно усложняют расчеты.

### Элементный состав аэрозоля от локального антропогенного источника

Период загрязнения атмосферы пылевым аэрозолем в середине июля 2021 года совпал с временем проведения летнего интенсивного мониторинга характеристик приземного аэрозоля в ИФА РАН, что позволило зарегистрировать (посуточно) элементный состав аэрозоля, поступавшего от антропогенного источника, связанного с обрушением старых построек. В разные дни работ элементный состав аэрозольных проб был различным, что демонстрирует рис. 5, на котором представлены вариации состава аэрозольных проб за неделю (с пропуском воскресенья, когда концентрации были очень низки).



**Рис. 5.** Отношение содержания элемента в составе аэрозоля в конкретный день к уровню воскресенья: по массовой концентрации (а); по процентному содержанию (б).

**Fig. 5.** The ratio of an element concentration for a specific day to its concentration for Sunday: by mass (a) and percentage (б) concentrations.

Анализ данных показал, что среднесуточные концентрации кальция и общей пыли в приземном воздухе превышали ПДКс.с. во все дни, кроме воскресенья 18 июля, когда работы на объекте не проводились. Видно, что даже среднесуточные концентрации терригенных элементов

и элементов глобального распространения (например, Mg, P, Al, Fe, Mn, Cr) во время работ были в несколько раз выше, чем в воскресенье, хотя длительность рабочего времени не превышала 8 часов. В эти же дни, наоборот, концентрации типичных антропогенных городских элементов, связанных в основном с эмиссиями от транспорта (например, Pb, Sn, Sb, W, Bi), были близки к уровню выходного дня. В субботу 17 июля наблюдались максимальные значения концентрации всех измеряемых элементов (кроме Ni, Cd, Hg), при этом концентрации Fe и Al были чуть ниже уровня ПДК для этих элементов. По процентному соотношению концентраций элементов в конкретные дни особенно выделяются Cd (14.07), Hg (16.07), Fe, Ni (21.07) – рис. 5б.

### Заключение

Локальный городской источник, создавший «антропогенную пыльную бурю» в окрестностях ИФА РАН в дневное время в период с 14 по 23 июля 2021 г., по длительности и амплитуде воздействия оказался сопоставим с эффектом от пыльных бурь в засушливых и опустыненных районах Юга России, аэрозоль от которых иногда регистрируется в Москве.

В этот период зарегистрированы экстремальные среднесуточные значения массовой концентрации частиц  $PM_{10}$  и общей массы аэрозоля, превышающие соответствующие уровни ПДК для жилых территорий, а также высокие концентрации ряда отдельных химических элементов терригенного и техногенного генезиса, в частности Ca, Fe, Al, Ni, Cd, Hg.

Выполненные оценки дальности воздействия рассмотренного локального антропогенного источника и времени убывания загрязнения до уровня ПДК показали, что после прекращения работ концентрация загрязнений в приземном аэрозоле должна упасть до уровня ПДК примерно через 1–1.5 часа, при тихом ветре примеси от источника могут быть перенесены на расстояние до 3–5 км, загрязняя ближайшие районы.

Хотя длительность работ по разрушению зданий в Пыжёвском переулке была невелика, таких эпизодов в Москве в разных районах в течение месяца или года может быть множество, что требует их учета с точки зрения экологии города. Уже сейчас вблизи ИФА РАН (в 300–500 м) существует аналогичная застраиваемая площадка, появление и расчистку которой не регистрировали приборы. Возможно, источник был слабее или ветер был не с той стороны, и пострадали другие районы.

Однако вопрос принятия своевременных мер при обнаружении подобных явлений (в т. ч. нарушения правил проведения подобных работ) требует решения, поскольку их последствия представляют опасность для здоровья людей и оказывают негативное воздействие на состояние городских экосистем.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант №19-05-50088 (Микромир), а также в рамках Госзадания № АААА-А18-118021290154-4.

## Список литературы

1. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 278 с.
2. Губанова Д.П., Беликов И.Б., Еланский Н.Ф., Скороход А.И., Чубарова Н.Е. Изменчивость приземной концентрации аэрозолей PM<sub>2.5</sub> в г. Москве по наблюдениям в Метеорологической обсерватории МГУ // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 12. С. 1033-1042.
3. Губанова Д.П., Виноградова А.А., Иорданский М.А., Скороход А.И. Временные вариации состава атмосферного аэрозоля в Москве весной 2020 года // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2021. Т. 57, № 3. С. 334-348. DOI: 10.31857/S0002351521030056.
4. Губанова Д.П., Иорданский М.А., Кудерина Т.М., Скороход А.И., Еланский Н.Ф., Минашкин В.М. Элементный состав аэрозолей в приземном воздухе Москвы: сезонные изменения в 2019 и 2020 гг. // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т. 34, № 6, С. 441-450. DOI: 10.15372/AOO202106.
5. Карандашев В.К., Туранов А.Н., Орлова Т.А., Лежнев А.Е., Носенко С.В., Золотарева Н.И., Москвина И.Р. Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в элементном анализе объектов окружающей среды // Завод. лаб. Диагностика материалов. 2007. Т. 73, № 1. С. 12-22.
6. Кудряшов В.И. Анализ элементного состава атмосферных аэрозолей физическими методами // Проблемы физики атмосферы: Межвуз. сб. Вып. 20. Физика и химия атмосферных аэрозолей. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. С. 97-130.
7. Локощенко М.А. Температурная стратификация нижней атмосферы в Москве // Метеорология и гидрология. 2007. № 1. С. 53-64.
8. Огородников Б.И. Характеристики аэрозолей пограничного слоя атмосферы над Москвой // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 1996. Т. 32, № 2. С. 163-171.
9. Рентгенофлуоресцентный анализ. Применение в заводских лабораториях: Сборник научных трудов, под ред. Х. Эрхардта. Перевод с немецкого. М.: Металлургия, 1985. 254 с.
10. Ровинский Ф.Я., Громов С.А., Бурцева Л.В., Парамонов С.Г. Тяжелые металлы: дальний перенос в атмосфере и выпадение с осадками // Метеорология и гидрология. 1994. № 10. С. 5- 14.
11. Трефилова А.В., Артамонова М.С., Кудерина Т.М., Губанова Д.П., Давыдов К.А., Иорданский М.А., Гречко Е.И., Минашкин В.М. Химический состав и микрофизические характеристики аэрозоля г. Москвы и Подмосковья в июне 2009 г. и на пике пожаров 2010 г. // Геофизические процессы и биосфера. 2012. Т. 11, № 4. С. 65-82.
12. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1955. 350 с. Fuchs N.A. The mechanics of aerosols. Translated by R.E. Daisley and M. Fuchs. London.: Pergamon Press Publ., 1964. 408 p.
13. Chubarova N.Ye., Androsova Ye.Ye., Lezina Ye.A. The dynamics of the atmospheric pollutants during the Covid-19 pandemic 2020 and their relationship with meteorological conditions in Moscow // Geography, Environment, Sustainability. 2021. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-012>.
14. Gubanova D.P., Elansky N.F., Skorokhod A.I., Kuderina T.M., Iordansky M.A., Sadovskaya N.V., Anikin P.P. Physical and chemical properties of atmospheric aerosols in Moscow and its suburb for climate assessments // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. Vol. 606. P. 012019. DOI:10.1088/1755-1315/606/1/012019.

15. Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E. Enrichment of road dust particles and adjacent environments with metals and metalloids in eastern Moscow // *Urban Climate*. 2020. Vol. 32. P. 100638. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100638>

16. Sokhi R.S. et al. A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions // *Environ. Intern.* 2021. Vol. 157, no. 12. P. 106818. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106818>.

## References

1. Byzova N.L., Garger E.K., Ivanov V.N. Jeksperimental'nye issledovanija atmosfernoj diffuzii i raschety rassejanija primesi. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1991, 278 p. [in Russ.].

2. Gubanova D.P., I.B. Belikov, N.Ph. Elansky, A.I. Skorokhod, N.E. Chubarova. Variations in PM<sub>2.5</sub> surface concentration in Moscow according to observations at MSU meteorological observatory. *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2018, vol. 31, no 3, pp. 290-299. DOI: 10.1134/S1024856018030065.

3. Gubanova, D.P., Vinogradova, A.A., Iordanskii, M.A., Skorokhod A.I. Time Variations in the Composition of Atmospheric Aerosol in Moscow in Spring 2020. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.*, 2021, vol. 57, no. 3, pp. 297-309. DOI: 10.1134/S0001433821030051.

4. Gubanova D.P., Iordanskii M A., Kuderina T.M., Skorokhod A.I, Elanskii N.F. Minashkin V.M. Elemental Composition of Aerosols in the Ground Air of Moscow: Seasonal Changes in 2019 and 2020. *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2021, vol. 34, no. 5, pp. 475-482. DOI: 10.1134/S1024856021050122.

5. Karandashev V.K., Turanov A.N., Orlova T.A., Lezhnev A.E., Nosenko S.V., Zolotareva N.I., Moskvina I.R. Use of mass spectrometry with inductively coupled plasma method for element analysis of surrounding medium objects. *Zavodskaya Laboratoriya. Diagnostika Materialov [Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials]*, 2007, vol. 73, no. 1, pp. 12-22 [in Russ.].

6. Kudryashov V.I. Analysis of the elemental composition atmospheric aerosols by physical methods. In *Problemy fiziki atmosfery: Mezhevuzovskii sbornik (Problems of Atmospheric Physics: Interuniversity Transactions)*, vol. 20: *Fizika i khimiya atmosferynykh aerolei (Physics and Chemistry of Atmospheric Aerosols)*. Saint-Petersburg: SPbGU Publ., 1997, pp. 97-130 [in Russ.].

7. Lokoshchenko M.A. Temperature stratification of the lower atmosphere over Moscow: *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2007, vol. 32, no 1, pp. 35-42 [in Russ.].

8. Ogorodnikov B.I. Parameters of aerosols in the atmospheric boundary layer over Moscow. *Izv., Atmos. Oceanic Phys.*, 1996, vol. 32, no. 2, pp. 163-171 [in Russ.].

9. Rentgenofluorescentnyj analiz. Primenenie v zavodskih laboratorijah. Sbornik nauchnyh trudov, pod. red. H. Jerhardta. Perevod s nemeckogo. M.: Metallurgija Publ., 1985, 254 p. [in Russ.].

10. Rovinskij F.Ja., Gromov S.A., Burceva L.V., Paramonov S.G. Tjazhelye metally: dal'nij perenos v atmosfere i vypadenie s osadkami. *Meteorologiya i Gidrologiya [Russ. Meteorol. Hydrol.]*, 1994, no. 10. pp. 5-14 [in Russ.].

11. Trefilova A.V., Gubanova D.P., Davydov K.A., Iordanskii M.A., Minashkin V.M., Artamonova M.S., Grechko E.I., Kuderina T.M. Chemical Composition and Microphysical Characteristics of Atmospheric Aerosol over Moscow and its Vicinity in June 2009 and During the Fire Peak of 2010. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2013, vol. 49, no 7, pp. 765-778. DOI: 10.1134/S0001433813070062.

12. *Fuchs N.A.* The mechanics of aerosols. Translated by R.E. Daisley and M. Fuchs; Edited by C. N. Davies. London. Pergamon Press, 1964, 408 p.

13. *Chubarova N.Ye., Androsova Ye.Ye., Lezina Ye.A.* The dynamics of the atmospheric pollutants during the Covid-19 pandemic 2020 and their relationship with meteorological conditions in Moscow. *Geography, Environment, Sustainability*. 2021. DOI: 10.24057/2071-9388-2021-012.

14. *Gubanova D.P., Elansky N.F., Skorokhod A.I., Kuderina T.M., Iordansky M.A., Sadovskaya N.V., Anikin P.P.* Physical and chemical properties of atmospheric aerosols in Moscow and its suburb for climate assessments. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020, 606 012019. DOI:10.1088/1755-1315/606/1/012019.

15. *Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E.* Enrichment of road dust particles and adjacent environments with metals and metalloids in eastern Moscow. *Urban Climate*, 2020, vol. 32, pp. 100638. DOI: 10.1016/j.uclim.2020.100638.

16. *Sokhi R.S. et al.* A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions // *Environ. Intern.* 2021, vol. 157, no. 12, pp. 106818. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106818.

*Поступила 21.10.2021; одобрена после рецензирования 30.11.2021;  
принята в печать 13.12.2021.*

*Submitted 21.10.2021; approved after reviewing 30.11.2021;  
accepted for publication 13.12.2021.*