

Качество воздуха в Москве во время карантина COVID-19 в сравнении с другими регионами мира

Ю. О. Шувалова*, А. С. Гинзбург**

Проведен анализ изменения концентрации угарного газа (СО) и твердых частиц (PM₁₀) в атмосфере Москвы в период карантина весной 2020 г. вблизи автомагистралей и в жилых районах на фоне значений этих концентраций за предыдущие годы (2015—2019 гг.). Показано, что вблизи автомагистралей в период карантина уменьшение концентрации СО составило около 40%, а в жилых районах всего около 10%. Для твердых частиц (PM₁₀) в период карантина обнаружено уменьшение концентрации примерно на 10%. Сравнение тенденций изменения интенсивности движения автотранспорта и концентраций загрязняющих веществ в атмосфере больших городов различных регионов мира показало близость эффектов карантина в Москве и в других мегаполисах, а также выявило особую значимость потоков автотранспорта как источника эмиссии угарного газа во всех рассмотренных больших городах мира.

Ключевые слова: качество воздуха, состав атмосферы, автотранспорт, метеорологические условия, карантин.

DOI: 10.52002/0130-2906-2024-2-82-93

1. Введение

Загрязнение атмосферы и, в первую очередь, приземного воздуха в больших городах — один из важнейших факторов, определяющих качество окружающей среды и здоровья населения. Климатические изменения и особые, в том числе экстремальные, погодные ситуации, влияют на здоровье населения больших городов различными способами. Загрязнение атмосферного воздуха угарным газом (СО, монооксид углерода) и другими малыми газовыми примесями, а также уменьшение содержания кислорода во время волн жары приводят к ухудшению самочувствия людей. Кроме того, твердые и жидкие аэрозольные частицы могут служить переносчиками инфекции. Пандемия COVID-19 и локдауны весной 2020 г. в большинстве крупных городов мира стали некоторым уникальным экспериментом для исследования влияния изменений загрязнения городского воздуха на здоровье и самочувствие горожан. Уменьшение газового и аэрозольного

* Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации; e-mail: meteo.julia@gmail.com (Шувалова Юлия Олеговна).

**Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова Российской академии наук; e-mail: gin@ifaran.ru (Гинзбург Александр Самуилович).

загрязнения городского воздуха за счет снижения экономической активности весной 2020 г. во время карантина способствовало некоторому улучшению качества воздуха на урбанизированных территориях во всех регионах мира. В настоящей статье обсуждается роль карантинных мер в снижении загрязнения городского воздуха. Важно отметить, что в 2023 г. пандемия COVID-19 по-прежнему угрожает некоторым регионам мира, и на этом фоне растет количество аналитических и обзорных публикаций, посвященных воздействию карантинных мер на качество городского воздуха [10, 21, 22, 25, 29].

Во время карантина, введенного весной 2020 г. в большинстве мегаполисов мира в связи с пандемией новой коронавирусной инфекции COVID-19, резкое уменьшение экономической деятельности и, в первую очередь, уменьшение потоков автотранспорта привело к значимому снижению уровня загрязнения атмосферы во многих регионах мира: в Индии [18], США [13], европейских странах [24] и др. Ограничительные меры снизили интенсивность движения автотранспорта, который является одним из основных источников антропогенных выбросов [16]. Структура антропогенных эмиссий урбанизированных территорий изменилась как вблизи автомагистралей, так и в жилых районах [12, 19, 23].

В Москве ограничительные меры в связи с COVID-19 были введены 13 апреля 2020 г. и сняты только 9 июня 2020 г. Москва — крупный мегаполис с населением около 13 млн человек, в городе насчитывается 5 млн личных транспортных средств [8], поэтому введение ограничительных мер существенно повлияло на содержание малых газовых примесей и взвешенных веществ в атмосфере города [2, 4, 6, 11, 14].

Данная работа является продолжением исследования [1, 7], в котором отмечено совместное снижение транспортной активности и концентраций угарного газа на автоматических станциях контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА) сети Государственного природоохранного бюджетного учреждения (ГПБУ) “Мосэкомониторинг”. В разделе 2 рассмотрены методика исследования, данные измерительной сети, а также обзорно показаны метеорологические условия в Москве во время карантина весной 2020 г. В разделе 3 приведен анализ массовых концентраций угарного газа и взвешенных твердых частиц размером не более 10 мкм (PM₁₀) в период ограничительных мер, а в разделе 4 — сравнительный анализ эффектов карантина в Москве и в других регионах мира.

2. Методика работы и метеорологические условия карантина

Анализ разных периодов ограничительных мер в Москве после наступления COVID-19 показал, что весна 2020 г. является наиболее репрезентативным примером эффекта снижения антропогенной активности на уровень атмосферного загрязнения в мегаполисе. В данной работе рассмотрен период с марта по июль 2020 г., разделенный на три подпериода: 1) с 1 марта по 12 апреля — период до карантина, 2) с 13 апреля по 9 июня — период карантина, 3) с 10 июня по 30 июня — период после карантина.

В нашем исследовании были использованы данные 20-минутных наблюдений АСКЗА ГПБУ “Мосэкомониторинг” на территории Москвы за



Рис. 1. Рассматриваемые АСКЗА, измеряющие массовые концентрации PM_{10} (1), CO и PM_{10} (2).

март — июнь 2015—2020 гг. о массовых концентрациях угарного газа и взвешенных веществ в атмосфере размером не более 10 мкм. Исследование проводилось на основе среднечасовых значений массовых концентраций, которые рассчитывались при условии, что в рассматриваемый часовой интервал отсутствуют результаты не более одного 20-минутного наблюдения. Среднесуточные концентрации получены на основе среднечасовых при условии отсутствия не более одного среднечасового значения из рассматриваемых суток. Анализ метеорологических условий в Москве в 2015—2020 гг. проводился на основе данных гидрометеорологической станции ВДНХ.

На рис. 1 представлены отобранные для анализа станции с полнотой ряда наблюдений в рассматриваемый период не менее 85%. Из представленных станций только станция Сухаревская площадь расположена вблизи автомагистралей. Остальные станции находятся в жилых зонах, и среди них станции Черёмушки, Спиридоновка и МГУ наименее подвержены воздействию антропогенных источников, так как расположены в отдалении от промышленных предприятий и магистралей автотранспорта [9].

Как показано во многих работах по исследованию весеннего карантина [4, 6, 11, 14], метеорологические условия весной 2020 г. в Москве отличались от нормы. В табл. 1 приведены средние значения и 95%-ные доверительные интервалы для атмосферного давления, температуры воздуха и относительной влажности на высоте 2 м в 2015—2020 гг. для выбранных подпериодов 1—3.

В период до карантина температура воздуха в 2020 г. оказалась выше, чем значение для этого подпериода в среднем за последние 5 лет. Московский регион преимущественно находился под влиянием зон высокого давления. Атмосферное давление в целом соответствовало пятилетнему сред-

Таблица 1

**Метеорологические условия в Москве в 2015—2020 гг.
по данным станции ВДНХ**

Период	Атмосферное давление, гПа			Температура воздуха, °С			Относительная влажность, %		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2015—2019 гг.	1016 ± 3	1014 ± 2	1014 ± 3	2 ± 1	13 ± 1	18 ± 1	68 ± 4	61 ± 4	63 ± 5
2017 г.	1015 ± 3	1013 ± 2	1007 ± 2	3 ± 1	9 ± 1	16 ± 1	75 ± 4	62 ± 4	70 ± 4
2020 г.	1017 ± 3	1010 ± 2	1018 ± 2	4 ± 1	10 ± 1	20 ± 1	64 ± 5	67 ± 4	63 ± 4

Примечание. Цифрами 1—3 указан подпериод: 1 — до карантина, 2 — в период карантина, 3 — после карантина. Приведены среднее арифметическое и 95%-ный доверительный интервал.

нему, а относительная влажность воздуха была несколько ниже нормы. В период карантина в Москве было холоднее, чем в 2015—2019 гг., что связано с преобладающим влиянием северных направлений переноса воздушных масс, что подробно проанализировано в работе [14]. Над Москвой господствовали, преимущественно, условия зон низкого давления и малоградиентного барического поля на фоне низкого давления. Относительная влажность была в среднем на 6% выше, чем в аналогичный период 2015—2019 гг. После карантина на территории Москвы отмечались более высокие значения температуры относительно периода 2015—2019 гг. с преимущественно антициклональными условиями.

В течение карантина в разных точках земного шара отмечалась положительная аномалия температуры [28], за исключением отдельных регионов, в число которых входит европейская часть России. Учитывая нетипичные метеорологические условия апреля и мая 2020 г., для выделения эффекта карантина в Москве в предыдущих исследованиях применялись различные методы анализа массовых концентраций аэрозоля: выделение однотипных синоптических ситуаций [14], исследование условий в 2020 г. с разделением на период карантина и период “восстановления” [4], исследование штилевых условий с целью снизить воздействие адвективного переноса на эффекты карантина [6]. В данной работе применен аналоговый метод анализа. В период карантина (с 13 апреля по 9 июня) метеорологические условия в Москве в 2017 и 2020 гг. были близки. Однако следует отметить, что в 2020 г. влияние зон низкого давления было выражено сильнее, чем в 2017 г., в связи с чем относительная влажность воздуха была выше в среднем на 5%, что могло способствовать более интенсивному вымыванию аэрозоля.

Дополнительно были рассмотрены обратные траектории переноса аэрозоля на высоте 1 км с использованием модели HYSPLIT (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov>), полученные для Метеорологической обсерватории Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, для периода карантина в 2017 и 2020 гг. Как показал их анализ, преобладали направления адвекции от северных до западных. При этом графики повторяемости направлений переноса аэрозоля в 2017 и 2020 гг., построенные на основе наиболее удаленных точек траекторий, находятся в хорошем соответствии (не показано).

Таким образом, при дальнейшем анализе данные о PM_{10} за 2020 г. рассматриваются относительно 2017 г. С методической точки зрения применение аналогового метода позволит исследовать воздействие карантина на содержание аэрозоля с новой стороны. Однако необходимо помнить о недостатках предлагаемого подхода. Во-первых, не наблюдается полного соответствия влажностных условий и источников эмиссий аэрозоля в 2017 и 2020 гг. Во-вторых, в работе не приводится подробный анализ синоптических ситуаций со структурой поля ветра и условиями накопления примесей в нижней тропосфере в оба года. Также не проводился подробный анализ влияния дымового аэрозоля, интенсивность источников эмиссий которого также изменилась в период карантина [4].

3. Влияние карантина на уровень атмосферного загрязнения

Содержание угарного газа. На рис. 2а представлен ход среднесуточных значений CO в 2020 г. и за период 2015—2019 гг., осредненных на шести рассматриваемых станциях. Для периода март — июнь в 2015—2019 гг. концентрации CO составили от 324 до 477 $мкг/м^3$, а для 2020 г. — от 171 до 1040 $мкг/м^3$. Максимальные массовые концентрации угарного газа 27 и 28 марта 2020 г. обусловлены переносом продуктов травяных пожаров из близлежащих регионов и синоптическими условиями, способствовавшими накоплению примесей, что подробно рассмотрено в работах [2, 3].

Период карантина выделяется более низкими концентрациями CO относительно прошлых лет. В содержании CO в 2020 г. прослеживаются недельная цикличность, связанная с антропогенными выбросами, и влияние

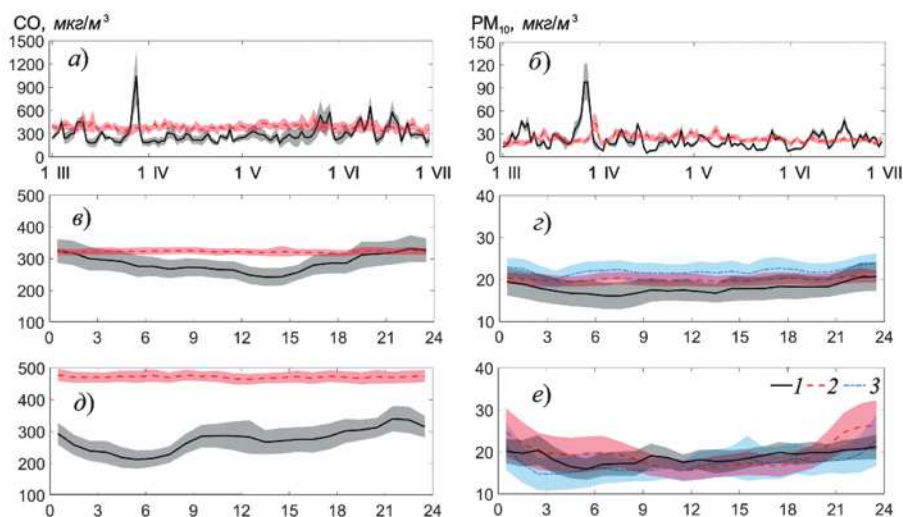


Рис. 2. Массовые концентрации угарного газа (а, в, д) и PM_{10} (б, з, е): а, б — среднесуточные концентрации, в—е — суточный ход массовых концентраций в период карантина на станциях Спиридоновка (в, з) и Сухаревская площадь (д, е) в 2020 г. (1), в среднем за 2015—2019 гг. (2) и в 2017 г. (3).

Доверительные интервалы показаны заливкой.

синоптической ситуации, определяющей интенсивность накопления загрязняющих веществ в атмосфере. В период карантина недельная изменчивость сохраняется, однако она наблюдается на фоне более низких значений. Начиная с 22 мая 2020 г. прослеживается рост концентраций СО в связи с постепенным ослаблением карантинных ограничений. После окончания карантина массовая концентрация СО в Москве возвратилась к уровню 2015—2019 гг., что связано как с восстановлением антропогенных выбросов, так и с более благоприятными синоптическими условиями для накопления примесей относительно 2015—2019 гг. (табл. 1).

На рис. 2в, д представлен суточный ход массовой концентрации угарного газа в период с 11 апреля по 9 июня (период карантина) на станциях Спиридоновка и Сухаревская площадь. Для станции Спиридоновка в 2020 г. прослеживается выраженный суточный ход СО от 242 до 332 $\text{мкг}/\text{м}^3$ с минимумом в полуденные часы, а в среднем за 2015—2019 гг. суточная изменчивость выражена слабее (317—326 $\text{мкг}/\text{м}^3$). На станции Сухаревская площадь, расположенной вблизи автомагистрали, содержание СО выше, чем на станции Спиридоновка, расположенной внутри городской застройки. В среднем за период 2015—2019 гг. на Сухаревской площади концентрации СО составили 464—478 $\text{мкг}/\text{м}^3$, а в период карантина — 212—340 $\text{мкг}/\text{м}^3$. Минимум суточного хода на станции Сухаревская площадь приходится на 5 часов утра, и далее концентрация угарного газа растет в течение суток, что соответствует суточному ходу СО, представленному в работе [11]. Это связано, в первую очередь, с близостью станции к автомагистрали. Обе станции расположены в центральной части города, где транспортная нагрузка обычно остается высокой в любое время суток, что не выполнялось в период карантина. Таким образом, за счет снижения нагрузки на транспортную сеть изменились суточный ход и приземная массовая концентрация угарного газа.

Содержание PM_{10} . На рис. 2б представлен ход среднесуточных концентраций PM_{10} в среднем за 2015—2019 гг. и в 2020 г. для 14 рассмотренных станций. Содержание PM_{10} в среднем за последние 5 лет составило от 17 до 46 $\text{мкг}/\text{м}^3$, а в 2020 г. — от 5 до 98 $\text{мкг}/\text{м}^3$. Максимальные концентрации в 2020 г. наблюдались 27 и 28 марта (97—98 $\text{мкг}/\text{м}^3$) в период адвекции дымового аэрозоля [3]. В период карантина концентрация PM_{10} в среднем была меньше, чем в 2015—2019 гг., что, в первую очередь, связано с метеорологическими условиями (табл. 1).

На рис. 2г, е изображен суточный ход массовой концентрации PM_{10} на станциях Спиридоновка и Сухаревская площадь в период карантина в 2017 г., в 2020 г. и в среднем за 2015—2019 гг. На станции Спиридоновка концентрации PM_{10} в 2020 г. составили 16—21 $\text{мкг}/\text{м}^3$, в то время как в 2017 г. — 20—24 $\text{мкг}/\text{м}^3$, а в среднем за 2015—2019 гг. — от 19 до 21 $\text{мкг}/\text{м}^3$. На станции Сухаревская площадь, в отличие от Спиридоновки, не прослеживается уменьшения концентрации аэрозоля в период карантина. Так, для 2020 г. концентрации PM_{10} составили 21—26 $\text{мкг}/\text{м}^3$, для 2017 г. — 15—22 $\text{мкг}/\text{м}^3$, а в среднем за 2015—2019 гг. — 15—26 $\text{мкг}/\text{м}^3$. Также не прослеживается различий между станциями в уровне содержания PM_{10} .

4. Загрязнение воздуха в Москве и в других регионах мира во время карантина

В табл. 2 приведены обобщающие статистические характеристики массовых концентраций CO и PM_{10} на станциях Спиридоновка, Сухаревская площадь и в среднем на всех рассмотренных станциях Москвы. В период карантина массовые концентрации угарного газа в Москве уменьшились в среднем на 26%. При этом на станции Сухаревская площадь, расположенной вблизи автомагистрали, концентрация CO снизилась на 41%, а на станции Спиридоновка, расположенной в пределах городской жилой застройки, — в среднем на 11%. Содержание PM_{10} в 2020 г. в период карантина в Москве было ниже в среднем на 25%, что связано с совместным влиянием метеорологических условий и изменения антропогенной нагрузки. Однако относительно 2017 г. со схожим температурно-влажностным режимом концентрации PM_{10} в 2020 г. снизились в среднем на 10%. Данный эффект прослеживается на станции Спиридоновка (–18%), но не наблюдается на станции Сухаревская площадь (+1%). Менее интенсивное сокращение PM_{10} по сравнению с CO может быть связано как с образованием вторичного аэрозоля, так и с непрерывной работой строительного сектора [28].

Особый интерес исследований последствий карантина по всему миру прикован к транспортной сфере. Экологизация двигателей автомобилей и рост числа электромобилей приводят к последовательному уменьшению выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта [8]. Однако даже с учетом наблюдающегося уменьшения содержания загрязняющих веществ в атмосфере Москвы и других европейских городов [5, 20, 31] транспортный сектор остается одним из основных источников антропогенных эмиссий. Карантин стал вынужденным натурным экспериментом по ограничению транспортной активности в пределах Москвы. Согласно [28], в течение карантина в различных регионах мира транспортная активность снижалась от 33 до 89%.

В связи с изменением транспортной активности в городской среде тенденции снижения массовых концентраций загрязняющих веществ вблизи

Таблица 2

Массовые концентрации CO и PM_{10} (мкг/м^3) на всех станциях (средние значения), станциях Спиридоновка и Сухаревская площадь в период карантина (с 13 апреля по 9 июня) 2020 г. и в 2015—2019 гг.

Период, показатель	Спиридоновка		Сухаревская площадь		Все станции	
	CO	PM_{10}	CO	PM_{10}	CO	PM_{10}
2020 г.	289 ± 3	18 ± 2	276 ± 6	28 ± 3	289 ± 7	18 ± 2
2015—2019 гг.	323 ± 3	20 ± 1	472 ± 5	$37 \pm 0,3$	391 ± 7	24 ± 1
		$[22 \pm 2]$		$[28 \pm 0,2]$		$[20 \pm 2]$
Эффект, %	–11	–10	–41	–24	–26	–25
		$[-18]$		$[+1]$		$[-10]$
<i>Примечание.</i> В квадратных скобках приведены данные для 2017 г.						

Таблица 3

**Относительное изменение (%) массовых концентраций CO и PM₁₀
в период карантина в 2020 г. в разных городах мира на станциях,
расположенных у автомагистралей (А), и на станциях
в жилых районах (ЖР)**

Город	Ссылка	CO		PM ₁₀	
		А	ЖР	А	ЖР
Москва	Данная работа	–41	–11	+1	–18
Шанхай	[30]	–29	–16	–37	–32
Пекин	[23]			–13	–8
Лос-Анджелес	[23]			–42	–43
Париж	[23]			–6	+4
Милан	[15]			–8	+2
Рим	[15]			–12	–13
Палермо	[15]			–32	–21

автомагистралей и в жилых районах различны. В исследовании [30] для Шанхая показано, что в период карантина уменьшение концентраций CO вблизи автомагистралей оказалось на 13% интенсивнее, чем в жилых районах, а для Москвы — на 30% интенсивнее (табл. 3). В то же время тенденции содержания PM₁₀ в период карантина носят региональный характер: наблюдается как его уменьшение на 6—43% (Лос-Анджелес, Палермо, Пекин, Шанхай, Москва, Рим), так и рост на 2—17% (Милан, Париж). В целом на станциях вблизи автомагистралей уменьшение содержания PM₁₀ было от 5 до 20% интенсивнее, чем на станциях в районах жилой застройки.

В работе [1] (см. рис. 3) показана тесная связь концентрации угарного газа и количества индивидуальных транспортных средств (транспортной активности) на дорогах Москвы в период карантина. Рассмотрим данную связь относительно других регионов мира, основываясь на публикациях [15, 17, 26—28]. На рис. 3 приведено относительное изменение концентрации угарного газа и PM₁₀ и соответствующее им относительное изменение транспортной активности в Москве и других регионах земного шара [15, 17, 26—28]. На рисунках форма значка означает источник данных, а цвет значка — регионы, в пределах которых проведено осреднение. Все регионы указаны рядом со значком. Информация об уровне транспортной активности в Москве взята из ежедневных докладов Правительства Москвы в период карантина [1]. Так как мы не располагаем детализированными данными по районам Москвы, на рисунке приведено одно значение (–44%) и для всех рассматриваемых станций сети ГПБУ “Мосэкомониторинг”, и для станций Сухаревская площадь и Спиридоновка отдельно. Такой подход позволяет, пусть и с неточностями, но рассмотреть все полученные результаты для Москвы.

При уменьшении уровня транспортной активности прослеживается тенденция снижения концентрации угарного газа. Эффекты карантина в Москве близки к результатам для Северной Европы и США. Интересно, что разброс изменения концентраций угарного газа между станциями Сухаревская площадь и Спиридоновка, расположенными в пределах цен-

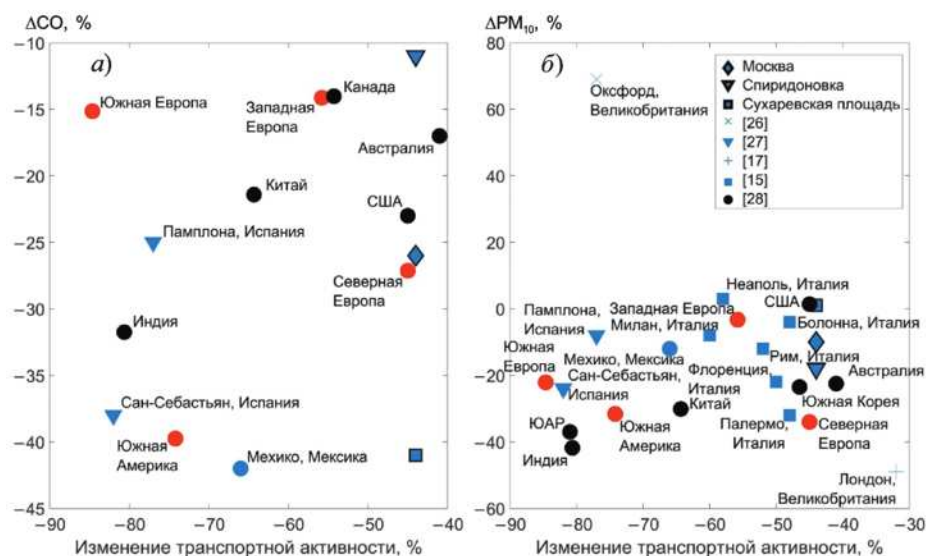


Рис. 3. Сопоставление изменения уровня транспортной активности и изменения массовых концентраций CO (а) и PM_{10} (б) в период карантина в 2020 г. в разных регионах мира.

Форма значка означает источник данных, цвет — регион (черным — страны, красным — географические области, голубым — города). Адаптация результатов [15, 17, 26—28] с добавлением данных для Москвы на всех анализируемых АСКЗА (ромбы), АСКЗА Спиридоновка и Сухаревская площадь.

тральной части мегаполиса, так же велик, как и разброс между различными регионами мира в целом по рассмотренным источникам. Однако снижение загруженности дорог приводит к уменьшению содержания угарного газа.

В то же время для PM_{10} при повсеместном снижении транспортной активности тенденции концентраций сильно изменчивы географически. Так, при схожем снижении активности автотранспорта ($\sim 70\%$) в Оксфорде в период карантина концентрация PM_{10} выросла на 69% , а в Индии — снизилась на 42% . Однако для большинства рассматриваемых регионов при снижении уровня транспортного трафика на $32\text{—}85\%$ изменение PM_{10} составило от -42 до $+3\%$.

Структура источников эмиссий аэрозоля сложнее, чем у угарного газа. Помимо автотранспорта, сразу несколько факторов определяют концентрацию аэрозоля и его состав. Также каждый из элементов аэрозольного состава отличается своей недельной цикличностью с учетом источников и стоков, типа атмосферной циркуляции [2]. Доля выбросов PM_{10} в структуре выбросов автотранспорта в несколько раз меньше, чем доля выбросов CO [1]. Соответственно, связь транспортной активности и массовой концентрации аэрозоля менее строга. Но чем меньше движение автотранспорта, тем вероятнее, что это отразится на массовых концентрациях. Тенденции содержания PM_{10} в период карантина в Москве в целом схожи с тенденциями в Италии и Соединенных Штатах Америки. Уменьшение концентраций PM_{10} интенсивнее на станции Спиридоновка, чем на станции Сухаревская площадь, что противоположно результатам для CO .

Тенденции содержания PM_{10} весной 2020 г. сложнее поддаются анализу, чем содержание угарного газа, не только из-за нетипичных метеорологических условий, но и из-за случаев адвекции дымового аэрозоля на Московский регион [2]. Отметим, что подобная ситуация наблюдалась не только в Москве. Так, в работе [28] показано, что анализ влияния карантинных мер на уменьшение содержания взвешенных веществ в атмосфере усложнили случаи переноса пустынного аэрозоля (Южная Европа и Китай), продуктов лесных и травяных пожаров (Мехико, Богота, многие азиатские города), а также увеличившиеся выбросы от сжигания древесины домашними хозяйствами (преимущественно, Северная Европа).

В то же время уменьшение приземных концентраций угарного газа в Москве прослеживается четко. Похожие результаты наблюдаются во многих городах Евразии (см. рис. S3.4.18 в [28]), за исключением Испании и Индии. В некоторых городах уменьшение концентрации CO происходило интенсивнее, чем в Москве, что связано, в первую очередь, с продолжительностью карантина, численностью населения и географическим положением города.

5. Заключение

Карантин весной 2020 г. в Москве привел к значимому уменьшению массовой концентрации угарного газа в атмосфере — в среднем на 26% на рассматриваемых 14 станциях в центральной части мегаполиса. На примере двух станций показано, что вблизи автомагистралей эффект карантина на содержание CO выражен сильнее, чем в районе жилой застройки (–41 и –11% соответственно). Изменение интенсивности движения автотранспорта привело также к изменению структуры суточного хода концентрации угарного газа. В то же время для PM_{10} , как уже было отражено в других работах по исследованию карантина в Москве [2, 6], сигнал от снижения антропогенной нагрузки достаточно неустойчив ввиду аномальных метеорологических условий. Аналоговый подход позволяет установить уменьшение содержания PM_{10} на 10% в период карантина в 2020 г. относительно схожего по температурно-влажностным условиям 2017 г. Однако даже в пределах центральной части города не выявлено согласованности тенденций массовой концентрации аэрозоля в зависимости от удаленности точки наблюдений от источников эмиссий от автотранспорта.

Совместный анализ уровня транспортной активности и загрязнения воздуха в период карантина показал, насколько важным источником угарного газа является автотранспорт. Для PM_{10} подобная зависимость выражена слабее ввиду более сложной структуры источников и стоков примеси. Изменения уровня транспортной активности и концентраций загрязняющих веществ в Москве достаточно хорошо согласуются с тенденциями в других регионах мира в период карантина.

Авторы благодарят сотрудников ГПБУ “Мосэкомониторинг” за предоставленные данные измерений.

Литература

1. Гинзбург А. С., Семенов В. А., Семутникова Е. Г., Алешина М. А., Захарова П. В., Лезина Е. А. Влияние ограничений, обусловленных COVID-19, на качество воздуха в Москве. — Доклады РАН. Науки о Земле, 2020, т. 495, № 1, с. 862—866.
2. 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.
3. Губанова Д. П., Виноградова А. А., Скороход А. И., Иорданский М. А. Аномальное аэрозольное загрязнение воздуха в Москве вблизи локального антропогенного источника в июле 2021 года. — Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 2021, № 4 (382), с. 134—148.
4. Поповичева О. Б., Чичаева М. А., Касимов Н. С. Влияние ограничительных мер во время пандемии COVID-19 на аэрозольное загрязнение атмосферы Московского мегаполиса. — Вестник Российской академии наук, 2021, т. № 91, № 4, с. 351—361.
5. Ракитин В. С., Еланский Н. Ф., Скороход А. И., Джола А. В., Ракитина А. В., Шилкин А. В., Кириллова Н. С., Казаков А. В. Долговременные тенденции общего содержания окиси углерода в атмосфере Московского мегаполиса. — Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2021, т. 57, № 1, с. 126—136.
6. Скороход А. И., Ракитин В. С., Кириллова Н. С. Влияние мер по сдерживанию пандемии COVID-19 и метеорологических условий на состав атмосферного воздуха в Москве в 2020 г. — Метеорология и гидрология, 2022, № 3, с. 36—47.
7. Хлестова Ю. О., Гинзбург А. С. Влияние весеннего карантина 2020 года на качество воздуха в Москве по сравнению с другими регионами мира. /В сборнике Международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды, 2022, с. 182—184.
8. О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2019 году. /Под ред. А. О. Кульбачевского. — М., ДПиООС НИИПИ ИГСП, 2020, 222 с.
9. О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2020 году. /Под ред. А. О. Кульбачевского. — М., ДПиООС НИИПИ ИГСП, 2021, 330 с.
10. Akbari M., Fallahzadeh R. A., and Dehghani R. A review of the impacts of COVID-19 on air pollution in the world. — J. Environ. Health Sustain. Dev., 2023, vol. 3, No. 8, pp. 2024—2038.
11. Berezina E., Moiseenko K., Vasileva A., Pankratova N., Skorohod A., Belikov I., and Belousov V. Emission ratios and source identification of VOCs in Moscow in 2019—2020. — Atmosphere, 2021, vol. 13, pp. 257.
12. Brown L., Barnes J., and Hayes E. Traffic-related air pollution reduction at UK schools during the COVID-19 lockdown. — Sci. Total Environ., 2021, vol. 780, p. 146651.
13. Chen L. W. A., Chien L.-Ch., and Lin G. Nonuniform impacts of COVID-19 lockdown on air quality over the United States. — Sci. Total Environ., 2020, vol. 745, p. 141105.
14. Chubarova N. Y., Androsova Y. Y., and Lezina Y. 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, No. 2.
15. Gualtieri G., Brilli L., Carotenuto F., Vagnoli C., Zaldei A., and Gioli B. Quantifying road traffic impact on air quality in urban areas: A COVID19-induced lockdown analysis in Italy. — Environ. Pollut., 2020, vol. 267, p. 115682.
16. Guevara M. et al. Time-resolved emission reductions for atmospheric chemistry modelling in Europe during the COVID-2019 lockdowns. — Atmos. Chem. Phys., 2021, vol. 21, pp. 773—797.
17. Hicks W., Beevers S., Tremper A. H., Stewart G., Priestman M., Kelly F. J., Lanoiselle M., Lowry D., and Green D. C. Quantification of non-exhaust particulate matter traffic emissions and the impact of COVID-19 lockdown at London Marylebone road. — Atmosphere, 2021, vol. 12, No. 2, p. 190.

18. Kumar P., Hama S., Omidvarborna H., Sharma A., Sahani J., Abhijith K. V., Debele S. E., Zavala-Reyes J. C., Barwise Y., and Tiwari A. Temporary reduction in fine particulate matter due to anthropogenic emissions switch-off during COVID19 lockdown in Indian cities. — Sustainable Cities and Society, 2020, vol. 62, p. 102382.
19. Liu L. and Wang Q. Is the effect of human activity on air pollution linear or nonlinear? Evidence from Wuhan, China, under the COVID-19 lockdown. — Cities, 2022, vol. 127, p. 103752.
20. Putaud J. P., Cavalli F., Martins dos Santos S., and Dell'Acqua A. Long-term trends in aerosol optical characteristics in the Po Valley, Italy. — Atmos. Chem. Phys., 2014, vol. 14, No. 7, pp. 9129—9136.
21. Putaud J.-P. et al. Impact of 2020 COVID-19 lockdowns on particulate air pollution across Europe. — Atmos. Chem. Phys., 2023, vol. 23, pp. 10145—10161.
22. Sarmadi M., Rahimi S., Rezaei M., Sanaei D., and Dianatinasab M. Air quality index variation before and after the onset of COVID-19 pandemic: A comprehensive study on 87 capital, industrial and polluted cities of the world. — Environ. Sci. Europe, 2021, vol. 33, No. 134, pp. 1—17.
23. Shi Z., Song C., Liu B., Lu G., Xu J., Van Vu T., Elliott R. J. R., Li W., Bloss W. J., and Harrison R. M. Abrupt but smaller than expected changes in surface air quality attributable to COVID-19 lockdowns. — Sci. Adv., 2021, vol. 7, No. 3, pp. 1—10.
24. Sicard P., De Marco A., Agathokleous E., Feng Z., Xu X., Paoletti E., Dieguez Rodriguez J. J., and Calatayud V. Amplified ozone pollution in cities during the COVID-19 lockdown. — Sci. Total Environ., 2020, vol. 735, p. 139542.
25. Silva A. C. T., Branco P. T. B. S., and Sousa S. I. V. Impact of COVID-19 pandemic on air quality: A systematic review. — Int. J. Environ. Res. Public Health, 2022, vol. 19, No. 4, p. 1950.
26. Singh A., Bartington S. E., Song C., Ghaffarpasand O., Kraftl M., Shi Z., Pope F. D., Hall J., Thomas G. N., Bloss W. J., and Leach F. C. P. Impacts of emergency health protection measures upon air quality, traffic and public health: Evidence from Oxford, UK. — Environ. Pollut., 2022, vol. 293, p. 118584.
27. Soba D., Gamez A. L., Becerill J. M., Esteban R., and Aranjuelo I. Traffic restrictions during COVID-19 lockdown improve air quality and reduce metalbio-deposition in tree leaves. — Urban Forestry and Urban Greening, 2022, vol. 70, p. 127542.
28. Sokhi R. S. et al. A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions. — Environ. Int., 2021, vol. 157, p. 106818.
29. Torkmahalleh M. A. et al. Global air quality and COVID-19 pandemic: Do we breathe cleaner air? — Aerosol and Air Quality Res., 2021, vol. 1, No. 4, p. 200567.
30. Wu C., Wang H., Cai W., He H., Ni A., and Peng Z. Impact of the COVID-19 lockdown on roadside traffic-related air pollution in Shanghai, China. — Building and Environ., 2021, vol. 194, p. 107718.
31. Zhdanova E. Y., Chubarova N. Y., and Lyapustin A. I. Assessment of urban aerosol pollution over the Moscow megacity by the MAIAC aerosol product. — Atmos. Measur. Techn., 2020, vol. 13, No. 2, pp. 877—891.

Поступила в редакцию 30 X 2023 г., после доработки 27 XI 2023 г., принята к публикации 9 XII 2023 г.

AIR QUALITY IN MOSCOW DURING THE COVID-19 LOCKDOWN IN COMPARISON WITH OTHER REGIONS OF THE WORLD

Yu. O. Shuvalova and A. S. Ginzburg

An analysis of changes in the carbon monoxide (CO) and particulate matter (PM₁₀) mass concentrations near highways and residential areas in the atmosphere over Moscow during the spring lockdown in 2020 against of the mass concentrations in the previous years (2015–2019) is presented. A decrease in the CO mass concentration was about 40% near highways and only 10% in residential areas. A decrease in the PM₁₀ mass concentration by about 10% was found during the lockdown period. The closeness of lockdown effects in Moscow and other megacities was shown by the comparison of trends in the traffic intensity and pollutant mass concentrations. The special importance of motor vehicles as a source of carbon monoxide emissions in the analyzed megacities was revealed.