

Связь дат схода снежного покрова в Московском мегаполисе с сезонным повышением уровня концентраций взвешенных частиц

К. В. Родина^{1,2,*}, И. Ю. Шалыгина^{2,†}, Е. А. Лезина²

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра физики атмосферы
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2*

*ГПБУ «Мосэкомониторинг». Россия, 119019, Москва, Новый Арбат, д. 11, стр. 1
(Поступила в редакцию 18.05.2022; подписана в печать 13.09.2022)*

Обсуждается сезонная изменчивость среднего городского уровня концентраций взвешенных частиц PM₁₀ и PM_{2.5} в Москве в 2017–2021 гг. Показано, что концентрации взвешенных частиц имеют сезонную зависимость: максимальные значения концентраций приходятся на весну, абсолютные максимумы характерны для апреля, зимой наблюдается сезонный минимум. Эпизоды повышенных концентраций взвешенных частиц в весеннее время после схода снежного покрова сопровождаются периодом сухой погоды — комплексом метеорологических условий, способствующих накоплению загрязняющих веществ в приземном слое воздуха. Еще одним фактором формирования эпизодов с высокими концентрациями взвешенных частиц является их занос на территорию Московского мегаполиса из других регионов.

PACS: 92.60.Mt

УДК: 3937.

Ключевые слова: взвешенные частицы PM₁₀, взвешенные частицы PM_{2.5}, сезонный ход, мегаполис, дальний перенос, неблагоприятные метеорологические условия, COVID-19.

ВВЕДЕНИЕ

Взвешенные частицы — твёрдые или жидкие частицы, представляющие смесь пыли, золы, сажи, дыма, сульфатов, нитратов и др. веществ и находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе. Взвешенные вещества состоят из частиц разного химического происхождения и состава, поэтому для удобств классификации и определения вреда, наносимого взвешенными веществами, их обычно делят на основе размера фракции частиц. Под PM₁₀ обычно понимаются частицы с диаметром менее 10 мкм. PM_{2.5} используется в свою очередь, для частиц с диаметром менее 2.5 мкм.

Частицы могут либо непосредственно выбрасываться в атмосферный воздух (первичные взвешенные частицы), либо образовываться в атмосфере из таких газообразных прекурсоров, как двуокись серы, окислы азота, аммиак и неметановые летучие органические соединения (вторичные частицы). Первичные взвешенные частицы и газообразные прекурсоры могут происходить как из искусственных (антропогенных), так и из природных (неантропогенных) источников [1, 2].

Данные, касающиеся взвешенных частиц и общественного здравоохранения, неизменно указывают на вредное воздействие на здоровье при величинах экспозиции, которым подвергаются жители городов во всем мире, как в развитых, так и в развивающихся странах. PM₁₀ могут свободно проникать в легкие и накапливаться в них в течение всей жизни. С грубой фракцией PM₁₀ (то есть с частицами размером от 2.5 до 10 мкм) связана заболеваемость дыхательных путей.

Однако наиболее тесная связь между смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний и долговременным воздействием взвешенных частиц наблюдалась в отношении концентрации взвешенных частиц PM_{2.5} [3].

В Москве основным источником взвешенных частиц является автотранспорт: путем создания взвешенных частиц в атмосфере при использовании тормозных колодок, от износа шин и от подъема пыли с дорог. Выбросы выхлопных газов от автомобильного транспорта постоянно снижаются, поскольку выхлопные фильтры становятся более эффективными и используются в более широком спектре транспортных средств, а также увеличивается доля электромобилей. Однако, выбросы взвешенных частиц PM_{2.5}, PM₁₀ в результате процессов износа и истирания увеличиваются пропорционально объемам движения [4–6]. Весной дополнительным источником взвешенных частиц становится пыление с подстилающей поверхности и трансграничный перенос взвешенных частиц из других регионов [7]. Осенью продолжительный период сухой погоды и сжигание сухой листвы также могут привести к повышению уровня взвешенных частиц [8].

Мониторинг и оценка концентраций взвешенных частиц, а также условий, способствующих их образованию и накоплению, являются необходимым условием для эффективного управления качеством воздуха в целях охраны здоровья.

Основу мониторинга атмосферного воздуха города Москвы составляет сеть из 56 стационарных автоматических станций контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА). В 2021 г. измерение взвешенных веществ PM₁₀ проводилось на 29 АСКЗА, PM_{2.5} — на 35 [9].

АСКЗА расположены по всей территории города и охватывают различные функциональные зоны: территории, находящиеся под влиянием крупных автодорог,

* RodinaKV@eco.mos.ru

† ShalyginaIY@eco.mos.ru

жилые районы, фоновые, находящиеся на удалении от источников выбросов, а также территории под влиянием выбросов крупных промышленных объектов [10].

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Данные непрерывных наблюдений на 13 АСКЗА, измеряющих концентрации взвешенных частиц PM10, и 9 АСКЗА, измеряющих концентрации PM2.5 взяты для анализа. Анализ данных проведен за 5 лет в период с 01.01.2017 г. по 31.12.2021 г.

Станции выбирались исходя из идентичности методов измерений, полноты ряда данных и периодичности измерений концентраций PM10 и PM2.5 (все измерения проведены приборами ТЕОМ на основе метода микровибровесов).

Данные о высоте снежного покрова взяты из Бюллетеней Метеорологической Обсерватории МГУ.

2. СЕЗОННЫЙ ХОД КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ PM10 и PM2,5

На основании данных 13 АСКЗА, измеряющих концентрации взвешенных частиц PM10, и 9 АСКЗА, измеряющих концентрации PM2.5, путем осреднения часовых концентраций рассчитан средний городской сезонный ход медиан взвешенных частиц PM10 и PM2.5 (рис. 1).

Средний сезонный ход концентраций взвешенных частиц в Москве рассчитанный за 5-ти летний период, как показывали и предыдущие исследования [11], обусловлен погодно-климатическими особенностями региона и сезонностью основных источников. Максимальные значения концентраций взвешенных частиц в целом приходятся на весну, когда к постоянно действующему основному источнику автотранспорту, добавляются природные: а — пыление в условиях теплой сухой погоды, в период, начиная со схода снежного покрова и до наступления вегетационного периода у растений; б — пыльца цветущих растений, в том числе и ее перенос из других районов. Рост концентраций взвешенных частиц PM10 и PM2.5 в весеннее время в Московском мегаполисе также может быть обусловлен дальним переносом из районов:

- проведения пахотных работ;
- природных пожаров (палы сухой травы) [12–15];

Зимой в Москве благодаря наличию снежного покрова и применению одного из экологичных видов топлива (газ) в работе тепло-энергетической системы наблюдается годовой минимум концентрации взвешенных частиц (рис. 1), в отличие от, например, регионов Сибири, где несмотря на наличие снежного покрова, из-за широкого применения для отопления угля в зимние месяцы наблюдаются высокие концентрации взвешенных частиц [16].

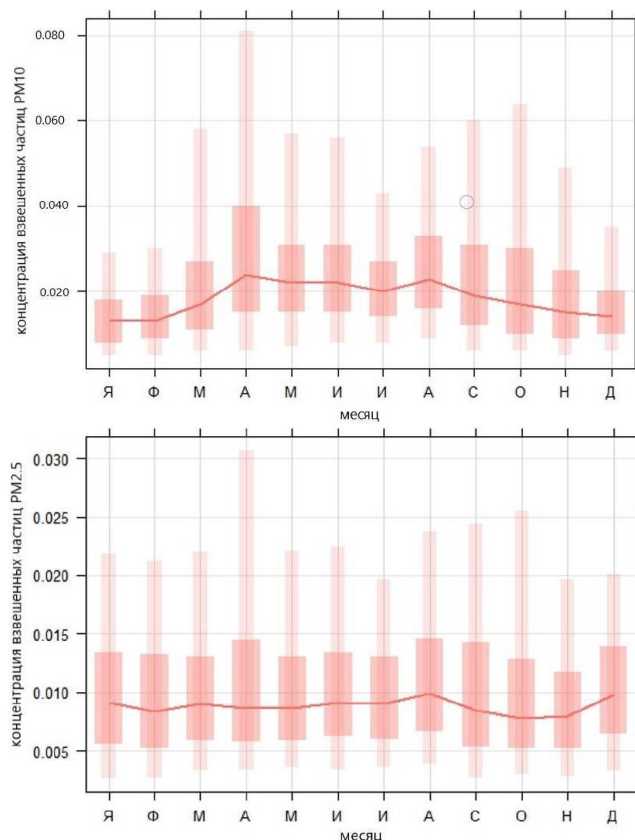


Рис. 1. Средний сезонный ход медиан и стандартного отклонения концентраций взвешенных частиц PM10 и PM2.5 2017–2021 гг. в Московском мегаполисе

Средний годовой максимум взвешенных частиц PM10 и PM2.5 в Москве приходится на апрель. Величина стандартного отклонения PM10 (рис. 1) в этот месяц составляет 0.08 мг/м³, что примерно в 2.6 раза больше зимних значений (0.03–0.04 мг/м³). Аналогичная ситуация с концентрациями PM2.5: стандартное отклонение в апреле составляет 0.03 мг/м³, что примерно в 1.3 раза выше зимних значений (0.02–0.022 мг/м³).

Второй годовой менее выраженный максимум взвешенных частиц PM10 и PM2.5 в Москве приходится на первые осенние месяцы (рис. 1). Осенью повышение концентраций взвешенных частиц может наблюдаться в периоды тихой, сухой погоды и может сопровождаться сжиганием листьев на частных придомовых территориях.

Сезонный ход концентраций взвешенных частиц в Москве существенно отличается от наблюдаемого сезонного хода в городах Западной Европы, где годовой максимум концентраций взвешенных частиц приходится на зимние месяцы и наблюдается в январе-феврале. В условиях ослабления вертикального перемешивания повышенные значения могут формироваться с участием выбросов при сжигании топлива в отопительных системах (как известно, для зарубежной Европы харак-

терен высокий уровень применения угольно-дровяного обогрева), а также из-за регионального переноса аэрозоля над редко заснеженной поверхностью Западной Европы [17, 18]. И если выбросы от дорожного движения имеют слабо выраженный сезонный ход, максимальны в утренние и дневные часы, то вклад от сжигания во время обогрева в жилых помещениях преобладает в ночное время и в холодное время года. Исследования показывают существенные различия в суточных и сезонных характеристиках этих двух источников [19]. В Азиатских странах годовой максимум тоже приходится на холодный сезон, так например в Пекине, где статистические данные свидетельствуют об очень серьезной ситуации с загрязнением воздуха взвешенными частицами, зимой и осенью фиксируются более продолжительные периоды с повышенными концентрациями взвешенных частиц, чем в теплый сезон, что в значительной степени обусловлено сезонным ветром и характером выбросов [20, 21].

В Москве дополнительным фактором, определяющим весенний максимум концентраций взвешенных частиц, является пыление с подстилающей поверхности после схода снежного покрова. Ниже будет проанализирована связь дат схода снежного покрова и наблюдаемых эпизодов с повышенными и высокими концентрациями взвешенных частиц.

3. ЭПИЗОДЫ ПОВЫШЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ PM₁₀ и PM_{2.5} В МОСКОВСКОМ МЕГАПОЛИСЕ В МАРТЕ–АПРЕЛЕ 2017–2021 гг

Даты схода снежного покрова определялись по наблюдениям на станции метеообсерватории МГУ. Рассмотрена связь повышения концентрации взвешенных частиц с датами схода снежного покрова (табл. 1) в Московском мегаполисе за 2017–2021 гг.

Колебание дат разрушения снежного покрова весьма велико. Даты зависят от среднесуточной температуры и количества выпавших осадков. Сход снежного покрова, как правило, происходит при среднесуточной температуре 2–4°C. Средняя дата схода снежного покрова на территории Москвы — 28 марта (по данным Метеорологической обсерватории МГУ за 1961–2000 гг.). Разброс дат схода снежного покрова весьма существенен: от 28 марта до 20 мая. Разность между датами окончательного разрушения и окончательного схода снежного покрова составляет в среднем 2–3 недели [22].

За исследуемый 5-ти летний период позже всего сход снежного покрова отмечен в 8 апреля 2018 г. и 3 апреля 2021 г. (табл. 1). В 2020 г. отмечена самая ранняя дата схода снежного покрова — 27 февраля. Зима 2019–2020 гг. стала самой теплой за всю историю метеонаблюдений в Москве (средняя температура зимнего сезона выше нуля), снежный покров установился только 23 января, через месяц уже был отмечен

его сход [23]. В 2017 и 2019 гг. снежный покров сошел в марте: 13 и 29 числа соответственно.

Таблица 1. Даты схода снежного покрова в Московском мегаполисе в 2017–2021 гг.

2017 г.	13 марта
2018 г.	8 апреля
2019 г.	29 марта
2020 г.	27 февраля
2021 г.	3 апреля

Для каждого дня марта и апреля 2017–2021 гг. рассчитана средняя городская средняя суточная концентрация взвешенных частиц PM₁₀ и PM_{2.5}, нормированная на среднюю за март-апрель концентрацию за пятилетний период. На рис. 2 приводятся нормированные средние суточные концентрации PM₁₀ и PM_{2.5} в марте и апреле по годам.

В марте-апреле каждого года (рис. 2) можно выделить по 1–2 выраженному эпизоду, когда средний городской уровень концентраций взвешенных частиц возрастает в 2–4 раза. В эпизодах наблюдается синхронное повышение концентраций взвешенных частиц на территории города, на станциях всех типов. Во все годы, кроме 2021 г. эпизоды с повышенными и высокими концентрациями взвешенных частиц наблюдаются после схода снежного покрова. Эпизод может наблюдаться, как сразу после схода снега, как в 2017 г., так и спустя 7–10 дней, как в 2018 г., или месяц, как 2020 г. Именно продолжительный период без осадков после схода снежного покрова или во время его схода определяет возможность наступления эпизода. Эпизоду предшествует период сухой погоды без осадков 5–7 дней. Формируется эпизод при благоприятных для накопления примесей в приземном слое воздуха метеорологических условиях: слабый ветер в пограничном слое воздуха (1–5 м/с), температурная инверсия в ночные и утренние часы, отсутствие осадков. И сопровождаются повышением концентраций других загрязняющих примесей. Все эпизоды наблюдались при положительных температурах (выше 6–7°C) и относительной влажности менее 50%. Продолжительность эпизода составляет 1–3 дня, заканчивается сменой воздушной массы и выпадением осадков.

Отдельный интерес представляет 2020 г., когда наблюдалась аномально теплая зима и снежный покров сошел еще до окончания календарной зимы, почти на месяц раньше обычного [23]. Несмотря на то, что в Москве в марте 2020 г. по данным станции ВДНХ выпало 51 мм осадков, что составляет 1.5 нормы, все они выпали в первой половине месяца. Так 10 марта был установлен новый суточный максимум суммы выпавших осадков, а к 17 марта месячная норма осадков уже была перевыполнена. С 20-х чисел марта в Москве осадков не наблюдалось. 25 марта в регион начала поступать теплая воздушная масса, температура по-

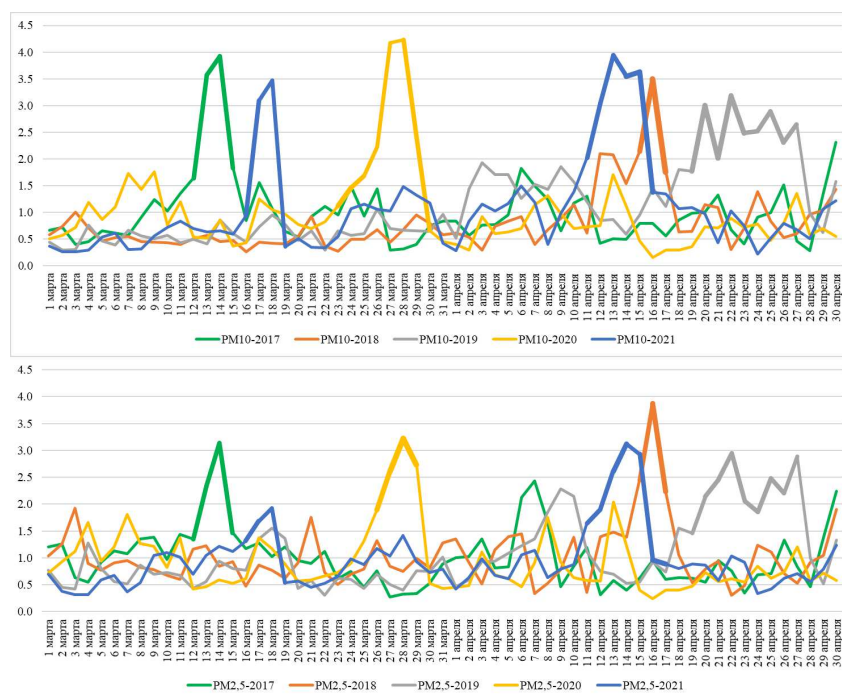


Рис. 2. Нормированный ход средних суточных концентраций взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$. Москва. Март–апрель 2017–2021 гг.

вышалась до $15\text{--}18^\circ\text{C}$. 28 марта, перед вступлением в силу массовых ограничений из-за распространения коронавирусной инфекции, наблюдался один из самых мощных весенних эпизодов с повышением среднего городского уровня взвешенных частиц PM_{10} в 4 раза, $PM_{2.5}$ в 3 раза.

Затем в апреле 2020 г. действовали достаточно жесткие ограничения в том числе на передвижение личного автотранспорта. В период 16–18 апреля 2020 г. зафиксированы одни из самых низких, за весь исследуемый весенний период нормированный средний городской уровень концентраций взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ –0.2–0.3 от среднего городского уровня. Абсолютный минимум приходится на 16 апреля PM_{10} — 0.15, $PM_{2.5}$ — 0.24, стоит отметить, что столь низкий уровень концентраций взвешенных частиц в этот день (четверг) обусловлен не только снижением антропогенной нагрузки, но и благоприятными метеорологическими условиями. В этот день в Москве в зоне атмосферного фронта выпало около 10 мм осадков. Для сравнения 10 марта 2020 г. (вторник), когда в Москве был установлен новый суточный максимум суммы выпавших осадков средний городской уровень концентраций взвешенных частиц составил PM_{10} — 0.76, $PM_{2.5}$ — 0.83. Как отмечают исследователи [24, 25] оценить влияние снижения антропогенной нагрузки, которое отмечалось из-за COVID-19 и значительных ограничений весной 2020 г. во всем мире, достаточно трудно, так как в этот период в большинстве областей как центральной России, так и в Европейских странах наблюдались метеорологические условия способствующие

интенсивному рассеиванию загрязняющих примесей в приземном слое воздуха.

Таким образом, анализ эпизодов со схожей интенсивностью рассеивания в приземном слое воздуха, позволяет установить, что в период максимальных ограничений, средний городской уровень концентраций взвешенных частиц в Москве снижался по PM_{10} до 4–5 раз, по $PM_{2.5}$ в 2.5–3 раза.

В 2021 г. сход снежного покрова в Москве отмечен достаточно поздно, 3 апреля, однако в середине марта был отмечен эпизод с повышением среднего городского уровня взвешенных частиц в 2–3 раза. 17 и 18 марта 2021 г. на всех АСКЗА фиксировался рост концентраций взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$.

Траекторный анализ (рис. 3) позволил установить, что 17–18 марта в Москву происходил занос воздушных масс из районов Нижней Волги, где наблюдались пыльные бури [26]. Т.е. значительный рост в 2–3 раза среднего городского уровня концентраций взвешенных частиц в Москве в весенний период может происходить и при наличии снежного покрова, если он обусловлен дальним переносом.

В то же время во время данного эпизода повышения концентраций других загрязняющих веществ, характерных для выбросов антропогенных источников, не отмечалось. Метеорологические условия способствовали рассеиванию загрязняющих веществ в приземном слое воздуха.

Весной 2021 г. был зафиксирован еще один эпизод дальнего переноса взвешенных частиц в Москву. 13 апреля 2021 г. по данным АСКЗА на всей тер-

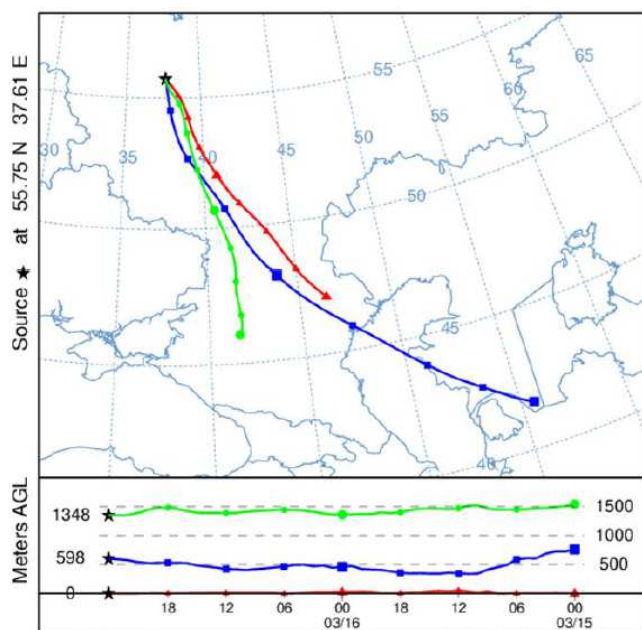


Рис. 3. Траектории переноса воздушных масс в Москву 17 марта 2021 г.

ритории города был зафиксирован рост концентраций взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$. По данным МЧС в эти дни на территории ЦФО наблюдались природные пожары. 13 апреля 2021 г. МЧС зафиксировано в Калужской обл. — 13, в Воронежской обл. — 85, в Орловской обл. — 16, в Тульской обл. — 25, Липецкой обл. — 17, в Тамбовской обл. — 35 термоточек (рис. 4). Перенос воздушных масс в этот день в Московский регион осуществлялся из районов, где наблюдались природные пожары. Эпизоды с переносом воздушных масс в Москву с продуктами горения природных пожаров отмечались и ранее [27], но преимущественно в летний сезон.

Отдельно проанализированы весенние эпизоды с увеличением скорости ветра в пограничном слое воздуха до 10–12 м/с в отсутствие осадков, что приводит к подъему с подстилающей поверхности пылевых частиц. Установлено, что во время таких эпизодов в весенний период наблюдается рост концентраций взвешенных частиц в основном на территориях вблизи автотрасс. При этом значительного роста среднего городского уровня концентраций взвешенных частиц не отмечается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована сезонная изменчивость концентраций взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ по данным АСК-ЗА ГПБУ «Мосэкомониторинг» в среднем по городу за 2017–2021 гг.

Показано, что средний сезонный ход концентрации взвешенных частиц в Москве, обусловлен погодно-

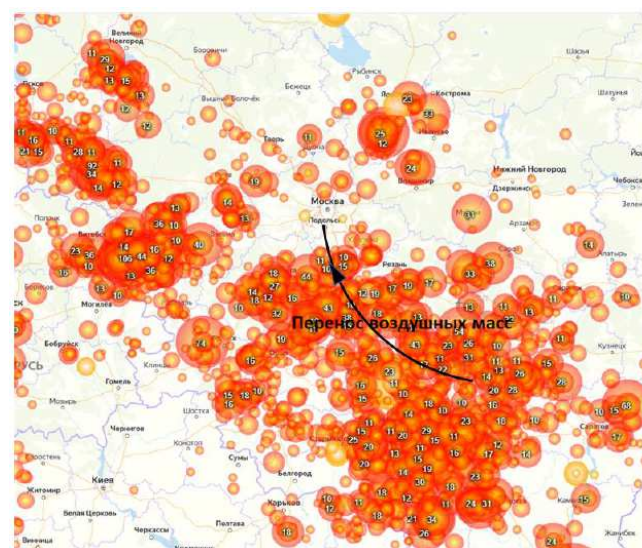


Рис. 4. Карта пожаров и направление переноса воздушных масс 13 апреля 2021 г.

климатическими особенностями региона и сезонным ходом основных источников. Максимальные значения концентраций взвешенных частиц в целом приходятся на весну и осень, однако абсолютные максимумы характерны для весны и наблюдаются в период, начиная со схода снежного покрова и до наступления вегетационного периода у растений. Годовой максимум концентраций взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ приходится на апрель. В то время как зимой, благодаря наличию снежного покрова, наблюдается сезонный минимум.

Рассмотрена связь дат схода снежного покрова с наступлением эпизодов повышенных концентраций взвешенных частиц в весеннее время. Установлено, что эпизоды с повышением среднего городского уровня взвешенных частиц в 2–4 раза в весенний сезон наблюдаются после схода снежного покрова при установлении сухой погоды с положительными температурами воздуха (выше 6–7°C) до начала вегетационного периода у растительности. Эпизоды сопровождаются благоприятными для накопления загрязняющих веществ в приземном слое воздуха метеорологические условия, а именно слабая скорость ветра в пограничном слое (1–5 м/с), устойчивая стратификация пограничного слоя атмосферы. Также к значительному повышению среднего городского уровня взвешенных частиц в весеннее время может приводить перенос загрязненной воздушной массы из районов пыльных бурь, или природных пожаров.

В эпизодах с увеличением скорости ветра в пограничном слое воздуха до 10–12 м/с в отсутствие осадков, когда наблюдается значительное пыление с подстилающей поверхности отмечается рост концентраций взвешенных частиц только на отдельных территориях, значительного роста на территории всего города не отмечается.

- [1] Янин Е.П. // Экология урбанизированных территорий. 2009. **1**. С. 30.
- [2] Загороднов С.Ю., Май И.В., Кокоулина А.А. // Гигиена и санитария. 2019. **98**, № 2. С. 142.
- [3] Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека. Копенгаген: региональные публикации ВОЗ. Европейская серия, № 5. 2001.
- [4] Song Bai, Yuan Du, Stephen Reid. // International Emission Inventory Conference. San Diego, 2015.
- [5] Stojiljkovic A., Kauhaniemi M., Kukkonen J. et al. // Atmos. Chem. Phys. 2019. **19**. P. 11199.
- [6] Gustafsson M., Johansson C. Road pavements and PM₁₀, Summary of the results of research funded by the Swedish Transport Administration on how the properties of road pavements influence emissions and the properties of wear particles, Trafikverket, Report 2012:241, available at: URL: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv/SE/11167/RelatedFiles/2012_241_Road_pavements_and_PM10.pdf (last access: 7 June 2019), 2012.
- [7] Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2019 году». / Под ред. Кульбачевского А.О. Москва, 2020.
- [8] Сельскохозяйственные сжигания в России: регулирование, мониторинг и подходы к их сокращению. / Под ред. Е.Н. Кобеца. СПб.: Экологическое объединение «Беллона», 2017.
- [9] Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2021 году». / Под ред. Кульбачевского А.О. Москва, 2022.
- [10] Официальный сайт ГПБУ «Мосэкомониторинг» [Электронный ресурс] // URL: <https://mosecom.mos.ru>.
- [11] Кузнецова И.Н., Глазкова А.А., Шальгина И.Ю., Нахаев М.И., Архангельская А.А., Звягинцев А.М., Семутникова Е.Г., Захарова П.В., Лезина Е.А. // Оптика атмосферы и океана. 2014. **27**, № 6. С. 473.
- [12] Ситнов С.А., Мохов И.И. // Докл. АН. 2017. **475**, № 3. С. 320.
- [13] Турбулентность, динамика атмосферы и климата: сборник трудов / под ред. Голицына Г.С., Мохова И.И., Куличкова С.Н., Курганского М.В. и др. М.: Физматкнига, 2018.
- [14] Горчаков Г.И., Губанова Д.П., Еланский Н.Ф., Иорданский М.А. и др. О возможностях применения метода экспресс-анализа для определения химического состава приземных аэрозолей с целью идентификации их источников. Международная конференция «Турбулентность, динамика атмосферы и климата», посвящённая столетию со дня рождения А.М. Обухова, 16–18 мая 2018, г. Москва
- [15] Еланский Н.Ф., Шилкин А.В., Пономарев Н.А., Захарова П.В. и др. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. **58**, № 1. С. 92.
- [16] Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2020 году». Красноярск, 2021.
- [17] Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н., Тарасова О.А., Шальгина И.Ю. // Оптика атмосферы и океана. 2014. № 5. P. 424.
- [18] Mage D., Ozolins G., Peterson P., Webster A. et al. // Atmos. Environ. 1996. **30**, N 5. P. 681.
- [19] Sokhi R.S., Moussiopoulos N., Baklanov A., Bartzis J. et al. // Atmospheric Chemistry and Physics. **22**, N 7. P. 4615.
- [20] Liang Xuan, Zou Tao, Guo Bin, Li Shuo et al. // Proc. R. Soc. A. 2015. **471**. 20150257.
- [21] Zhang X., Wang Y., Niu T., Zhang X. et al. // Atmos. Chem. Phys. **12**. P. 779.
- [22] Справочник эколога-климатических характеристик г. Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ), том 1. Солнечная радиация, солнечное сияние. Метеорологические элементы и явления. Характеристики пограничного слоя атмосферы. Отв. ред. проф., доктор географических наук А.А. Исаев. М.: изд-во МГУ, 2003.
- [23] Официальный сайт Гидроцентра России [Электронный ресурс] // URL: <https://meteoinfo.ru/climat-tab3>
- [24] Гинзбург А.С., Семенов В.А., Семутникова Е.Г., Аleshina М. А. и др. // Докл. РАН. Науки о Земле. 2020. **495**, № 1. С. 74.
- [25] Schiermeier Quirin. // Nature. 2020, Apr. **580**(7803). P. 313.
- [26] Пыльная буря началась в Астраханской области [Электронный ресурс] // URL: <https://iz.ru/1137860/2021-03-16/pylnaia-buria-nachalas-v-astrakhanskoi-oblasti>
- [27] Горчаков Г.И., Ситнов С.А., Семутникова Е.Г., Конейкин В.М. и др. // Исследование Земли из космоса. 2018. № 1. С. 27.

The connection of the dates of snow cover disappearance with a seasonal increase in the level of particulate matter concentrations in the Moscow metropolis

K. V. Rodina^{1,2,a}, I. Yu. Shalygina^{2,b}, E. A. Lezina²

¹Department of Physics of atmosphere, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University. Moscow 119991, Russia

²«Мосэкомониторинг», Department for Environmental Management and Protection. Moscow, 119019, Russia

E-mail: ^aRodinaKV@eco.mos.ru, ^bShalyginaIY@eco.mos.ru

In this article the seasonal variability of the concentrations of particulate matter PM₁₀ and PM_{2.5} on average in Moscow for 2017–2021 was investigated. It is shown that particulate matter concentrations vary depending on the season: the maximum values of particulate matter concentrations occur in spring-summer, absolute maximum are typical for April and a seasonal minimum is observed in winter. The differences of the seasonal course in Moscow, London and Beijing are explained by differences in climatic conditions and different anthropogenic sources. Episodes of increased concentrations of particulate matter in the spring

are associated with the descent of snow cover and lack of precipitation, unfavorable meteorological conditions, as well as with the introduction of suspended particles into the territory of Moscow from other regions.

PACS: 92.60. Mt

Keywords: particulate matter PM10, particulate matter PM2.5, seasonal course, megapolis, long-range transport, unfavorable meteorological conditions.

Received 18 May 2022.

Сведения об авторах

1. Родина Кристина Владимировна — аспирант, аналитик второй категории сектора мониторинга атмосферного воздуха; тел.: (495) 691-93-92 доб. 209, e-mail: RodinaKV@eco.mos.ru.
 2. Шалыгина Ирина Юрьевна — канд. геогр. наук, нач. сектора мониторинга атмосферного воздуха; тел.: (495) 691-93-92 доб. 106, e-mail: ShalyginaIY@eco.mos.ru.
 3. Лезина Елена Александровна — заместитель директора по научной работе; тел.: (495) 691-93-92 доб. 199, e-mail: LezinaEA@eco.mos.ru.
-