

**ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КОНЦЕНТАРЦИЙ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ PM 2,5
И PM 10 В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В РАЙОНЕ УЛ.ЗАХАРОВА
Г. МИНСКА ПО ДАННЫМ ДАТЧИКА AIRMQ**

**CHANGE IN THE CONTENT OF PM 2.5 AND PM 10 SOLID PARTICLES
IN THE ATMOSPHERIC AIR IN THE AREA OF ZAKHAROV STREET IN MINSK
ACCORDING TO THE DATA OF THE AIRMQ SENSOR**

Т. В. Шлендер¹, Г. Д. Бурченко², Е. А. Прокопчик², Е. А. Чумаков²
T. Schlender¹, H. Burchanka², Y. Prakopchik², E. Chumakov²

¹Национальный научно-исследовательский центр озоносферы БГУ

²Белорусский государственный университет, Факультет географии и геоинформатики

г. Минск, Республика Беларусь

timajaya@mail.ru

heorhiburchanka2001@gmail.com

ogurchikop7@gmail.com

zhenya.chumakov.02@mail.ru

¹National Ozone Monitoring and Research Educational Center BSU

²Faculty of geography and geoinformatics BSU, Minsk, Republic of Belarus

В данной статье представлены обработанные данные твердых частиц PM_{2,5} и PM₁₀ датчика AirMQ по ул.Захарова г.Минска. Производилась усреднение 15 минутных показаний до среднедневных, среднемесячных и среднегодовых значений за период августа 2019 – январь 2021гг. Представлен анализ данных по сезонам года, по 15 минутным срокам наблюдений и по дням недели. Сделаны выводы о возможных природных и антропогенных причинах суточного, недельного и сезонного изменения содержания твердых частиц PM_{2,5} и PM₁₀ в приземном воздухе по ул.Захарова г.Минска. Сделан анализ связи твердых частиц и городского острова тепла (приземной температуры воздуха) в районе пл.Победы.

This article presents the processed data of PM_{2.5} and PM₁₀ particulate matter of the AirMQ sensor on Zakharova street, Minsk. The 15 minute readings were averaged to the daily average, monthly average and annual average values for the period August 2019 - January 2021. The analysis of data by seasons of the year, by 15-minute periods of observations and by days of the week is presented. Conclusions are made about the possible natural and anthropogenic causes of daily, weekly and seasonal changes in the content of PM_{2.5} and PM₁₀ solid particles in the surface air at Zakharova Street in Minsk. An analysis is made of the relationship between solid particles and the urban heat island (surface air temperature) in the area of Victory square.

Ключевые слова: твердые частицы PM_{2,5} и PM₁₀, AirMQ, загрязнение воздуха, антропогенное загрязнение, блокирующие антициклоны.

Keywords: solid particles PM_{2.5} and PM₁₀, AirMQ, air pollution, anthropogenic pollution, blocking anticyclones.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-375-378>

Взвешенные частицы (PM, particulate matter) являются загрязнителем атмосферного воздуха, который включает в себя смесь твердых и жидких частиц, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии. К основным источникам PM в городских условиях относят автомобильный транспорт (частицы сгорания дизеля, бензина и эрозия дорожного покрытия, автомобильных шин), сжигание твердых видов топлива в промышленности и отопительных системах (такие как каменный уголь, бурый уголь, нефть, древесина, торф и пр.). Природным источником образования PM в городе является атмосферный перенос почвы и пыли, сажи и золы, особенно из засушливых районов, мест горения лесов и торфяников. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) относит PM 10 и 2,5 микрон, которые находятся в приземном атмосферном воздухе, к значимым факторам воздействия на здоровье людей [1].

В работе [2] указано, что на долю PM 2,5 (годовые концентрации) загрязнения атмосферного воздуха пришлось более 3 млн случаев смерти и более 3% числа заболеваний, связанных с воздействием PM 2,5 во всем мире. Твердые частицы размером PM 10 могут проникать в бронхи и вызывать воспалительные процессы. Частицы размером PM 2,5 могут достигать нижних отделов легких, проникая в другие органы человека [3].

Согласно ВОЗ [1], с целью повышения качества наблюдений за загрязнением воздуха и достоверной оценки изменений концентраций PM в странах Восточной Европы, где мало датчиков измерения PM, необходимо проводить мониторинг PM 10 и PM 2,5 в большем числе пунктов. Необходима постоянная оценка концентраций PM по стандартизированным методам или методам, близким к стандартным.

Согласно гигиеническим нормативам РБ, установленным в 2004 г., производиться наблюдение ПДК трех периодов осреднения (максимальная разовая, среднесуточная и среднегодовая) для PM10 – 150 мкг/м³, 50 мкг/м³, 40 мкг/м³, и для PM2.5 – 65 мкг/м³, 25 мкг/м³, 15 мкг/м³ [3].

Помимо вышеописанного наличие твердых частиц в приземном воздухе города повышают мощность городского острова тепла и теплового загрязнения. В работе [4] рассматриваются взаимозависимости городского острова тепла (UHI, urban heat island) и городского острова загрязнения (UPI, urban pollution island), где делается вывод о том, что PM2.5 уменьшают дневной максимум UHI и увеличивают ночной минимум UHI, за счет рассеивающих и поглощающих эффектов аэрозолей, что приводит к различным радиационным воздействиям в городских условиях.

Целью данной работы является установление связи между UHI и концентрацией твердых частиц PM 10 и PM2,5 на районе ул.Захарова г.Минска. В связи с этим были решены следующие задачи – первичная обработка данных датчик AirMQ, анализ данных по сезонам года, по 15 минутным срокам наблюдений и по дням недели, установить возможные причины суточного, недельного и сезонного изменения содержания твердых частиц PM2,5 и PM10 и анализ связи концентрации твердых частиц и городского острова тепла (приземной температуры воздуха по датчику температуры воздуха и температуры земной поверхности (Land Surface Temperature, LST) по данным спутника Landsat-8).

Проект AirMQ – это независимый мониторинг качества воздуха в городах Беларуси, созданный группой инженеров и экологов (<https://airmq.by>). Датчики AirMQ измеряют аэрозольные частицы различных размеров (PM1.0, PM2.5, PM10), температуру воздуха, относительную влажность воздуха и атмосферное давление. На плате датчиков размещаются два основных сенсора: сенсор пыли PMS7003 и сенсор температуры/влажности/давления BME280. Имеется широкая сеть установленных датчиков по г.Минску, которые установлены частными лицами и передают данные в режиме онлайн, что позволяет создать сеть загрязнения воздуха в г.Минске и доступность информации для каждого жителя города через приложение в телефоне. Все измерения датчика (мкг/м³) производятся каждые 15 минут. Полученные первичные данные (PM1.0, PM2.5, PM10, температура воздуха) датчика AirMQ по ул.Захарова г.Минска (координаты расположения датчика 53.907 с.ш. 27.577 в.д., в районе дома №28) за период август 2019 – январь 2021 обрабатывались в программных пакетах Microsoft Excel и Origin Pro Lab.

Обработка спутникового снимка Landsat - 8 производилась с помощью модуля Land Surface Temperature (LST) в Quantum Geographic Information System ver.2 (QGIS). Модуль Land Surface Temperature QGIS перед тем как получить поверхностную земную температуру рассчитывает показатели радиации (Radiance), далее температурную яркость (Brightness Temperature), после индекс NDVI, далее через него определяется значение излучательной способности земной поверхности (Emissivity). После предварительных расчетов модуль позволяет внести атмосферные параметры или коррекцию по географическим координатам, атмосферному давлению, относительной влажности, высоте местности и приземной температуре. Расчетная формула LST выполнялась по зависимости:

$$LST = T_B / [1 + (\lambda * T_B / c_2) * \ln(e)],$$

где T_B – температурная яркость;

λ – длина волны излучения;

$c_2 = h * c / s = 1.4388 * 10^{-2}$ м К;

h – Постоянная Планка = $6.626 * 10^{-34}$ Дж с;

s – Постоянная Больцмана = $1.38 * 10^{-23}$ Дж/К;

c – скорость света = $2.998 * 10^8$ м/с;

e – излучательная способность земной поверхности.

Все расчеты производились по 10 каналу (Band) снимков спутника. Полученная карта LST далее редактировалась в QGIS, где выбирались цветовые заливки, рисовались необходимые слои и редактировалась итоговая карта. Разрешение карты - 30 метров в одном пикселе.

В качестве исходных данных для выделения промышленных зон был использован генеральный план г. Минска и векторные данные Open Street Maps (OSM) (кварталы и улицы г. Минска). Система координат проекта: WGS 84 / UTM Zone 35N.

На рисунке 1 представлены среднесуточные данные PM2.5 и PM10 датчика. К сожалению, данные за март, начало апреля, конец октября, ноябрь и начало декабря 2020 года отсутствуют. На рисунке 2 отражены среднемесячные данные PM2.5 и PM10 датчика. Из этих двух рисунков видно, что наибольшие значения концентраций твердых частиц PM2.5, PM10 наблюдаются в зимний период (декабрь, январь) с максимальными суточными концентрациями PM2.5 свыше 50 мкг/м³, что в 1,5-2 раза выше ПДК и среднемесячными концентрациями PM 2.5 выше 25 мкг/м³, что выше ПДК в 1,5 раза. Рост концентраций начинается с октября и заканчивается в феврале-марте. Подобные тенденции могут быть связаны с началом отопительного сезона. Также осенний (октябрь 2020 г.) и летний (июнь 2020г.) резкий рост концентраций PM2.5, PM10 связывают с пожарами и антициклонными погодными условиями [4]. Максимально разовые концентрации PM2.5 в зимний период 2020 года превышали значения 105 мкг/м³ и выше 180 мкг/м³ в летний период 2020 года, что в 1,5-2 раза выше нормы ПДК, а максимально разовые концентрации PM10 были в пределах нормы ПДК - 187 мкг/м³ в осенний период. В целом, средние значения среднесуточной концентрации PM2.5 за весь период наблюдения датчика составило 19,75 мкг/м³, максимальное значение – 57,58 мкг/м³, минимальное - 2,4 мкг/м³. Для среднесуточной концентрации

PM10 средние значения за весь период наблюдения датчика составило 23,63 мкг/м³, максимальное значение – 78,24 мкг/м³, минимальное – 3,33 мкг/м³. Из всех среднесуточных данных PM 2,5 только 42% были выше нормы ПДК в 25 мкг/м³, PM 10 – около 10% выше нормы ПДК в 50 мкг/м³ за исследуемый период.

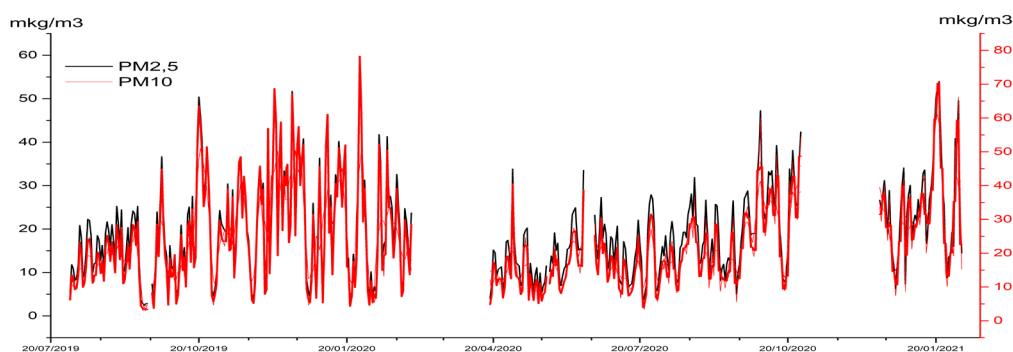


Рис. 1 – Среднесуточные данные датчика AirMQ по ул. Захарова г. Минска за период август 2019 г. – январь 2021 г.

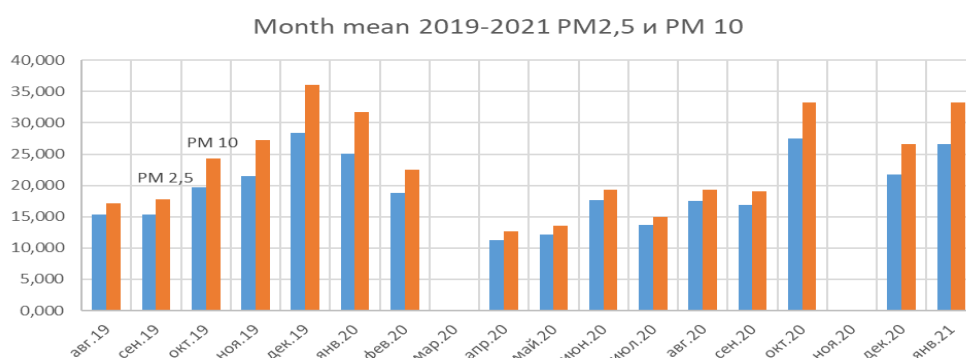


Рис. 2 – Среднемесячные данные датчика AirMQ по ул. Захарова г. Минска за период август 2019 г. – январь 2021 г.

Усредненная обработка данных датчика для каждого 15 минутного срока наблюдений в течении суток и для каждого дня недели за период август 2019 г – январь 2021 г показали, что пики роста концентраций PM 2.5, PM 10 по ул.Захарова наблюдаются в интервале времени 4.30-6 ч утра и в 18-20ч вечера, суточный минимум характерен для полуденного времени – 12-14 ч. Такие смещения пиков концентраций PM можно объяснить атмосферным переносом и усреднением значений за долгий период, потому как в отдельные дни пик концентрации начинается с 7 ч и заканчивается в 9 ч утра, а вечерний начинается с 17 ч. Суточная амплитуда составляет 5-6 мкг/м³. Среди дней недели выделяются повышенные значения PM в среду и пятницу, а пониженные – в выходные (особенно воскресенье) и четверг. Недельная амплитуда составляет примерно 1 мкг/м³ (см. рис. 3). Эти изменения могут быть связаны с трафиком автомобилей в этом районе.

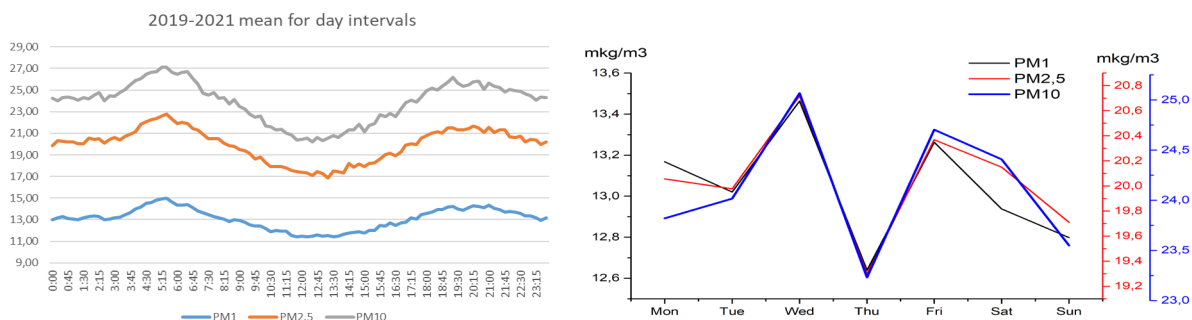


Рис. 3 – Графики изменения PM 1, PM2,5 и PM 10 для каждого срока измерения и дней недели по ул. Захарова г. Минска

Для установления связи PM и городского острова тепла (изменения приземной температуры воздуха) был построен график, где отражались кривые среднесуточных значений PM и приземной температуры воздуха за непрерывный период с 1 августа 2019г по 30 сентября 2019г по ул.Захарова (район дома № 28). Из графика (см. рис.4) видно, что в теплый период росту температур воздуха (в холодный период, зимой - снижению) соотве-

стствует рост концентраций РМ. Это связано с антициклональными условиями над г.Минском. Потому как во время прохождения циклонов, систем фронтов, с обильных осадками и сильными ветрами, воздух, вместе с загрязняющими примесями, переносится, а наличие атмосферных осадков способствует стоку твердых частиц на подстилающую поверхность. По данным спутника Landsat – 8 в районе пл.Победы на 12ч 6 февраля 2021г. температура подстилающей поверхности имела значения в интервале от $-14,5^{\circ}\text{C}$ в зоне парка Горького до -9°C на проспекте Независимости. В данном квартале основной зоной нагрева являются пропекст, кольцевая развилка и улицы, где большой трафик автотранспорта. Таким образом, местный перепад температур подстилающей поверхности составляет более 5°C . В районе ул.Захарова, где расположен датчик AirMQ температура подстилающей поверхности имела значения от -14 до -13°C , а концентрация РМ 2,5 на срок 12ч составила около 18 мкг/м^3 .

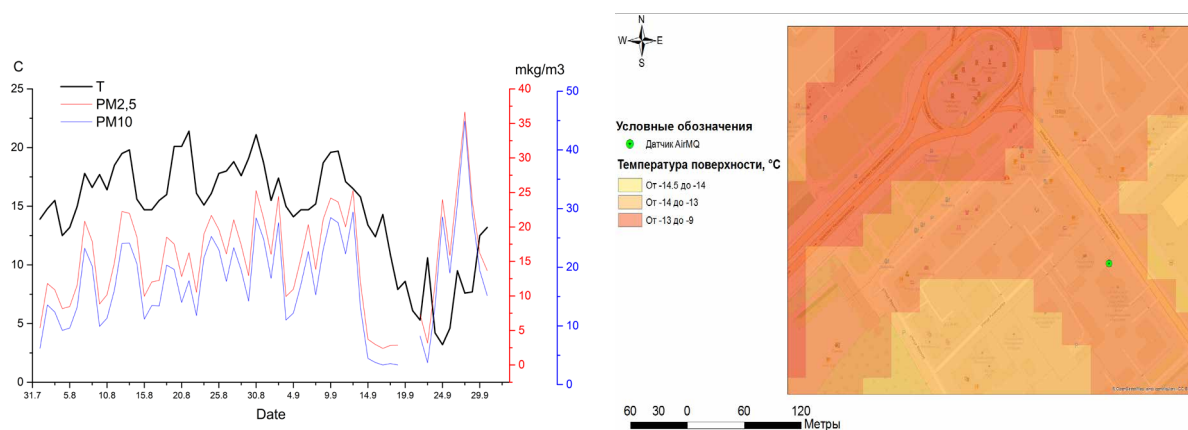


Рис. 4 – График среднесуточных значений приземной температуры воздуха и РМ 2,5, РМ 10 за период август 2019 – сентябрь 2019 г. (слева) и температура подстилающей поверхности района пл. Победы по данным спутника Landsat-8 на 12 ч 6 февраля 2021 г. (справа)

В итоге можно утверждать, что среднесуточные концентрации РМ 2,5 по ул.Захарова г.Минска почти половину дней в году превышает установленную норму ПДК. Суточные и недельные изменения концентраций РМ скорее всего зависят от плотности трафика автомобилей в районе ул.Захарова. Ежегодное увеличение РМ в зимний период связано с началом отопительного периода в г.Минске. В то же время, превышения среднесуточной нормы ПДК РМ 2,5 четко видны на длительных временных интервалах, а именно во время антициклональных, безветренных погодных условий. Связь между РМ и приземной температурой воздуха очевидна. Не до конца понятно, в каких соотношениях воздействуют друг на друга остров тепла и остров загрязнений. Для этой оценки нужны дополнительные исследования и наблюдения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВОЗ: Воздействие взвешанных частиц на здоровье. WHO Regional Office for Europe Copenhagen, Denmark, 2013.
2. Lim SS et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. Lancet, 2012, 380: 2224–2260.
3. Просвирякова И.А., Шевчук Л.М. Гигиеническая оценка содержания твердых частиц РМ10 и РМ2.5 в атмосферном воздухе и риска для здоровья жителей в зоне влияния выбросов стационарных источников промышленных предприятий // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 2. – С. 14–22. DOI:10.21668/health.risk/2018.2.02.
4. Yang, Y., Zheng, Z., Yim, S. Y. L., Roth, M., Ren, G., Gao, Z., et al. (2020). PM2.5 pollution modulates wintertime urban heat island intensity in the Beijing- Tianjin-Hebei Megalopolis, China. Geophysical Research Letters, 47, e2019GL084288. <https://doi.org/10.1029/2019GL084288>.