

# ЧАСТИЦЫ В ВОЗДУХЕ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ

## PARTICULATE MATTER IN THE AIR OF CITIES IN BELARUS

**A. N. Akimov<sup>1</sup>, A. M. Liudchik<sup>1</sup>, E. A. Melnik<sup>2</sup>, P. N. Pavlenko<sup>3</sup>**  
**A. N. Akimov, A. M. Liudchik, H. A. Melnik, P. N. Paulenka**

<sup>1</sup>Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы,  
Белорусский государственный университет,  
г. Минск, Беларусь  
liudchikam@tut.by

<sup>2</sup>Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю  
радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды,  
г. Минск, Беларусь  
kbb@hmc.by

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь  
pavlenko\_pn@mail.ru

*National Ozone Monitoring Research Centre of the Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus*  
*Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive*  
*Contamination and Environmental Monitoring, Minsk, Republic of Belarus*  
*Belarusian National Technical University,*  
*Minsk, Republic of Belarus*

Анализируются некоторые особенности загрязнения воздуха на основании данных автоматических пунктов наблюдений Республиканского центра по гидрометеорологии за содержанием частиц в воздухе областных городов Беларуси и Березинского биосферного заповедника за период 2012 – 2022 гг. Самые высокие уровни загрязнения воздуха частицами наблюдаются в Минске и Гомеле, которые являются также и лидерами по газовым загрязнениям в Беларуси. Самые чистые города – Брест, Гродно, Витебск, Могилев.

Some features of air pollution are analyzed based on data from automatic observation points of the Republican Center for Hydrometeorology for the content of particles in the air of regional cities of Belarus and the Berezinsky Biosphere Reserve for the period 2012–2022. The highest levels of air pollution by particles are observed in Minsk and Gomel, which are also the leaders in gas pollution in Belarus. The cleanest cities are Brest, Grodno, Vitebsk, Mogilev.

*Ключевые слова:* частицы в воздухе, метеорологические условия, трансграничный перенос.

*Keywords:* particular matter, meteorological conditions, transboundary transport.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-97-100>

Анализируются некоторые особенности загрязнения воздуха на основании данных автоматических пунктов наблюдений Республиканского Центра по гидрометеорологии (Белгидромет) за содержанием частиц в воздухе областных городов Беларуси и Березинского биосферного заповедника за период 2012 – 2022 гг.

Основными антропогенными источниками попадающих в воздух частиц, как и других загрязняющих веществ, являются транспорт, фабрики, нефтеперерабатывающие заводы и электростанции, строительные площадки, а также сельское хозяйство и добыча полезных ископаемых. Транспорт не только выбрасывает частицы в процессе сжигания топлива, но и способствует поднятию дорожной пыли. Очень эффективным источником частиц, правда, не всегда «антропогенного происхождения» является сжигание биомассы, например, лесные пожары. Следует также понимать, что мелкие частицы хорошо переносятся на большие расстояния вместе с движением воздушных масс

В Беларуси наблюдения за концентрацией частиц в воздухе проводятся в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) и обобщенные результаты ежегодных наблюдений публикуются [1]. НСМОС предоставляет только среднесуточные значения концентраций. Ряды данных содержат пропуски, обусловленные объективными причинами, поэтому количество лет, месяцев и дней с результатами измерений на разных пунктах наблюдений различается.

На основании имеющихся данных определены среднемесячные значения концентраций частиц и их многолетние средние для всех автоматических пунктов наблюдений в областных городах и Березинском биосферном заповеднике. На большинстве пунктов в названных городах измеряются концентрации частиц до 10 мкм, и только на минском пункте 16 (район Уручья) регистрируются частицы размером менее 2.5 мкм.

Среднемесячные значения рассчитываются на основании данных суточных измерений, если число последних превышает 20. Многолетние средние месячных значений определяются на основании имеющихся для конкретного пункта среднемесячных за весь указанный выше период. Количество лет, использованных для расчета на каждом пункте наблюдений для каждого месяца, указано в табл. 1. В таблице приведены все действующие в каждом городе пункты (их нумерация никак не связана с количеством).

Таблица 1

*Количество лет наблюдений, для которых получены среднемесячные значения для конкретного месяца года*

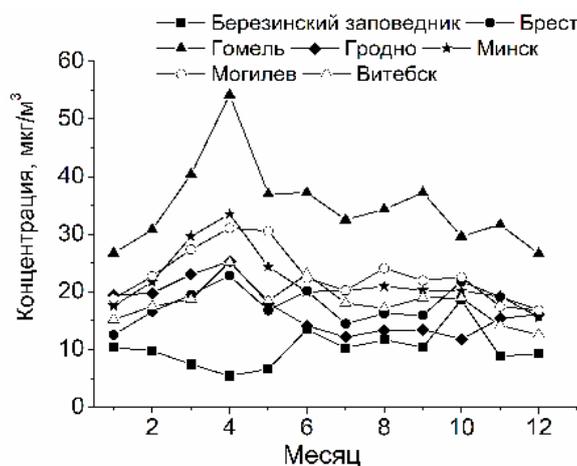
Город, пункт	Количество среднемесячных значений последовательно для каждого месяца
Березинский заповедник 01	1,2,3,1,3,3,3,2,2,4,4
Брест 01	2,4,6,6,6,6,4,5,4,4,3,2
Гомель 14	6,5,6,6,5,4,7,5,3,6,7,7
Гродно 07	5,7,7,6,7,5,5,4,4,4,5,7
Могилев 04	4,7,6,6,6,6,7,7,7,7,7
Могилев 06	4,4,3,2,3,4,4,4,3,4,3,2
Витебск 03	7,6,9,5,6,5,5,5,4,5,4,7
Минск 01	6,5,7,4,7,5,5,6,5,7,4,6
Минск 04	3,2,4,3,5,6,4,5,4,3,1,3
Минск 11	4,3,8,4,7,8,4,6,4,6,6,4
Минск 13	4,7,6,5,6,5,4,8,6,7,6,8
Минск 16 (2.5 мкм)	6,6,6,6,6,6,7,7,6,6,6,6

Среднесуточные концентрации частиц зависят не только от интенсивности местных источников загрязнений, но также и от переноса из близких и удаленных регионов. Поэтому метеорологические условия играют определяющую роль в уровне загрязнения воздуха мелкими частицами: они могут способствовать рассеянию частиц, выбрасываемых местными источниками, и доставке частиц, выброшенных в воздух в удаленных от места наблюдений регионах. Последние ситуации относительно редки, однако часто связаны с очень высоким уровнем загрязнения воздуха частицами. В Беларуси максимальные среднемесячные концентрации частиц регистрируются в основном в весенние месяцы. Причина весеннего максимума не выявлена.

В качестве примера на рис. 1 приведены рассчитанные среднемесячные значения концентраций частиц, полученные за весь период для Березинского биосферного заповедника, Бреста, Гродно, Гомеля и Витебска. Для обозначения данных за 2012 – 2021 гг. использованы цифры от 0 до 9, за 2022 г. – буква А. Наибольший интерес вызывает отсутствие весеннего максимума в Заповеднике. Вместо максимума за все 3 года наблюдений наблюдается минимум. Концентрации частиц, как и следовало ожидать ввиду отсутствия сильных местных источников, – самые низкие.

В Минске на многих пунктах в некоторые годы очень четко проявляется весенний максимум концентраций, приходящийся на март – апрель. Причины его появления не известны. Возможно, это связано с таянием снежного покрова, увеличением интенсивности дорожного движения и поднятием транспортом накопившейся пыли с дорожного покрытия. Такие же весенние максимумы характерны и для других городов. И следует отметить, что весеннее повышение концентраций частиц практически не заметно на минском пункте 01 (Обсерватория).

В Могилеве (на рис. 2 приведены результаты многолетнего усреднения) на обоих пунктах наблюдений также можно обнаружить весеннее повышение концентраций частиц, и естественны их более высокие значения в промышленном районе (пункт 04).



*Рисунок 1 – Среднемесячные концентрации твердых частиц в приземном воздухе в Березинском заповеднике, Бресте, Гродно, Гомеле и Витебске в разные годы*

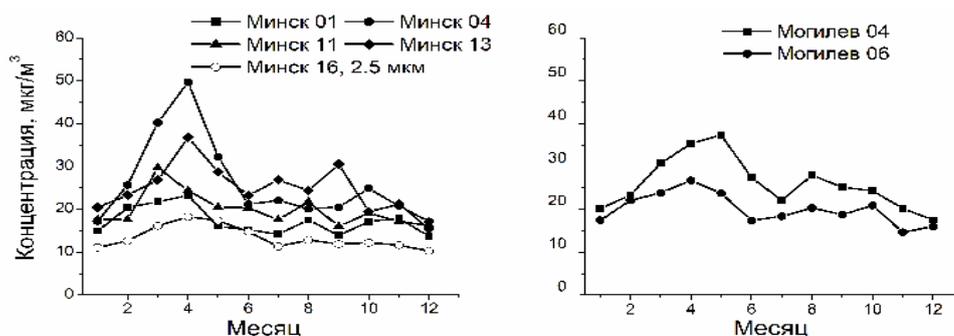


Рисунок 2 – Многолетние средние месячные значения концентраций твердых частиц в приземном воздухе на разных пунктах наблюдений в Минске и Могилеве. На пункте 16 в Минске измерялись концентрации частиц размером до 2.5 мкм. На всех остальных пунктах - до 10 мкм

По поводу весеннего максимума концентрации частиц. Его регистрируют в разных странах, но не везде. В частности, в [2] приведены данные о сезонном ходе концентраций PM10 в двух районах Афин и Хельсинки. В «чистом» районе Афин весенний максимум проявляется, в более «грязном» - нет. В Хельсинки в районах обоих типов весенние максимумы присутствуют. А в Стамбуле [3], имеющем много пунктов наблюдений, весенние максимумы отсутствуют, и наблюдаются в зимнее время. Такая же ситуация и в Португалии [4].

В Бресте в последние годы (2021 и 2022) замечен рост загрязненности воздуха частицами, а в Гродно - снижение. В Гомеле был очень сильный весенний максимум в 2020 г. (см. рис. 1), и уровень загрязнения в целом выше, чем в других городах. В Гродно и Витебске межгодовые различия невелики. То же можно сказать и о Гомеле, если исключить апрель 2020 г.

Самые высокие уровни загрязнения воздуха частицами наблюдаются в Минске и Гомеле, которые являются также и лидерами по газовым загрязнениям в Беларуси. Самые чистые города – Брест, Гродно, Витебск, Могилев. Однако Брест занимает третье место после Гомеля и Минска по газообразным загрязнениям воздуха. Это подтверждает выводы некоторых зарубежных публикаций, что концентрация частиц не может служить достоверной оценкой общей загрязненности воздуха.

Заметные изменения (падение) концентрации частиц с годами выявлены в Минске только на одном пункте наблюдений. На других пунктах существенных изменений с годами не произошло. То же самое можно сказать и о других областных городах за исключением Бреста, где в последние годы регистрируется рост концентраций частиц в приземном воздухе.

Для городов, где имеется несколько пунктов, на рис. 2 приведены многолетние средние месячные значения концентраций частиц для каждого пункта. В Минске самые высокие концентрации регистрировались на пунктах 04 (район бывшего Радиаторного завода) и 13 (Дражня), а в Могилеве, естественно, - на пункте 04, расположенном в промышленном районе.

Уровень загрязнения воздуха частицами в конкретном месте формируется за счет местных источников и переноса из удаленных районов. Поэтому разница в концентрациях частиц на разных пунктах наблюдений одного и того же города может служить заниженной оценкой вклада местных источников, а оценку вклада за счет переноса воздуха следует считать несколько меньшей результатов наблюдений в самом чистом районе.

Для Минска и Могилева было определено «городское» среднее значение месячных концентраций посредством осреднения по всем городским пунктам наблюдений для сравнения с другими городами (рис. 3). Ясно, что меньше всего частиц регистрируется в Березинском заповеднике, не располагающем мощными источниками их выбросов. Далее, по уровню загрязнения следуют Брест, Гродно и Витебск, затем Могилев и Минск, а самым «грязным» городом является Гомель, в котором многолетнее среднее месячное значение для апреля превышает ПДК.

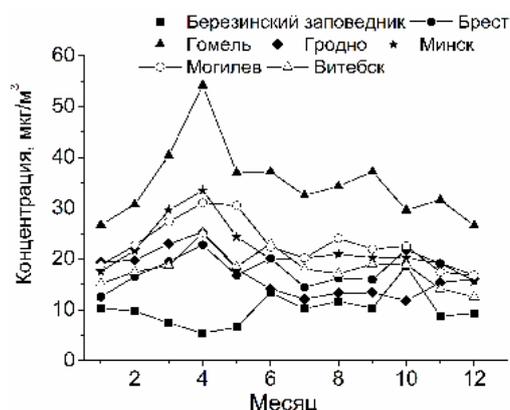


Рисунок 3 – Многолетние средние месячных концентраций частиц в приземном воздухе в областных городах Беларуси и Березинском биосферном заповеднике. Размер – до 10 мкм

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ежегодник состояния атмосферного воздуха. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rad.org.by/articles/vozduh/>. Дата доступа: 14 июня 2023
2. Vlachogianni, A. J. Evaluation of a multiple regression model for the forecasting of the concentrations of NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub> in Athens and Helsinki /A. J. Vlachogianni, Kassomenos, A. Karppinen, S. Karakitsios, J. Kukkonen// J. Science of the Total Environment. – 2001.- Vol. 409. –P. 1559–1571.
3. Unal YuS. Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM<sub>10</sub> concentrations in Istanbul metropolitan area / YuS. Unal, H. Toros, Al. Deniz, S. Incecik // Atmospheric Environment. – 2011. – Vol. 45. – P.5504 - 5513.
4. Russo, A. N<sub>O<sub>2</sub></sub>, PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> urban concentrations and its association with circulation weather types in Portugal/ A. Russo, R.M. Trigo, H. Martins, M.T. Mendes MT//Atmospheric Environment. 2014. – Vol. 89. – P.768–785. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.02.010>.

## АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К УЧЕТУ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА ОТ МЕТЕОУСЛОВИЙ И ПРЕКУРСОРОВ В УРАВНЕНИИ РЕГРЕССИИ

### ANALYSIS OF DIFFERENT APPROACHES TO ACCOUNTING THE NONLINEAR DEPENDENCE OF SURFACE OZONE CONCENTRATION ON METEOROLOGY CONDITIONS AND PRECURSORS IN THE REGRESSION EQUATION

**A. Н. Акимов<sup>1</sup>, А. М. Людчик<sup>1</sup>, П. Н. Павленко<sup>2</sup>, А. Е. Яротов<sup>1</sup>**  
**A. N. Akimov, A. M. Liudchik, P. N. Paulenka, A. E. Yarotov**

<sup>1</sup>*Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы  
Белорусского государственного университета,  
г. Минск, Республика Беларусь  
liudchikam@tut.by*

<sup>2</sup>*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
pavlenko\_pn@mail.ru*

*National Ozone Monitoring Research Centre of the Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus  
Belarusian National Technical University,  
Minsk, Republic of Belarus*

Сравниваются два варианта уравнения регрессии для концентрации приземного озона, зависящей от метеорологических условий и загрязнений воздуха. В первом варианте уравнением аппроксимируется концентрация приземного озона, во втором ее логарифм. Показано, что в обоих случаях расчеты по уравнению регрессии в рамках концепции, развиваемой НИИЦ МО, приводят к близким результатам. Однако второй вариант более предпочтителен по физическим соображениям.

Two versions of the regression equation for surface ozone concentrations depending on meteorological conditions and air pollution are compared. In the first version, the equation approximates the concentration of surface ozone, in the second its logarithm. It is shown that in both cases, calculations using the regression equation within the framework of the concept developed by the NOMREC lead to similar results. However, the second option is more preferable for physical reasons.

*Ключевые слова:* приземный озон, уравнение регрессии, нелинейность.

*Keywords:* surface ozone, regression equation, nonlinearity.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-100-101>

Обоснование методики НИИЦ МО для определения зависимости концентрации приземного озона от прекурсоров и метеоусловий дано в [1]. Методика базируется на построении уравнения регрессии, аппроксимирующей названную зависимость посредством обработки данных наблюдений в областных городах Беларуси. Важной особенностью являлось то, что уравнение регрессии строится только для отклонения концентрации приземного озона от его климатической нормы, определенной для «чистой атмосферы» и средней погоды страны [2]. Для оценки наблюдаемой концентрации озона рассчитанное по уравнению регрессии отклонение складывается с климатической нормой озона для заданных времени суток и дня года.