

DOI: <https://doi.org/10.51922/1818-426X.2025.2.71>

Н. А. Дзержинская¹, А. В. Гиндюк¹, И. В. Сысоева¹,
Л. Л. Гиндюк¹, Ю. Б. Кособуцкий¹, Д. А. Крупская²,
Г. В. Гетюк², Ю. Е. Урбан²

ЦИКЛИЧНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

УО «Белорусский государственный медицинский университет»,¹
ГУ «Минский городской центр гигиены и эпидемиологии»²

В статье представлены результаты анализа цикличности изменения концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Минска. Целью настоящего исследования явилось установление цикличности изменения концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Минска для разработки системы профилактических мероприятий.

Материалы и методы. Материалами исследования явились концентрации основных загрязнителей с маршрутных постов мониторинга г. Минска за 2009–2022 годы. Методы: статистический, ретроспективный эпидемиологический анализ.

Вывод. Установлено наличие сезонных колебаний содержания диоксида азота и твердых частиц (повышение содержания в летний период), монооксида углерода и формальдегида (в летне-осенний период), что может быть использовано для разработки системы профилактических мероприятий.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, сезонные колебания концентраций.

N. A. Dziarzhynskaya, A. V. Hindziuk, I. V. Sysoeva,
L. L. Hindziuk, Y. B. Kosobutski, D. A. Krupskaya,
G. V. Getyuk, U. E. Urban

CYCLICITY OF CHANGES IN POLLUTANT CONCENTRATIONS IN ATMOSPHERIC AIR IN THE DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF PREVENTIVE MEASURES

The article presents the results of the analysis of the cyclicity of changes in the concentrations of pollutants in the atmospheric air of Minsk. The purpose of this study was to establish the cyclicity of changes in the concentrations of pollutants in the atmospheric air of Minsk to develop a system of preventive measures.

Materials and methods. The study materials were the concentrations of the main pollutants from the route monitoring posts of Minsk for 2009–2022. Methods: statistical, retrospective epidemiological analysis.

Conclusion. The presence of seasonal fluctuations in the content of nitrogen dioxide and particulate matter (increased content in the summer), carbon monoxide and formaldehyde (in the summer-autumn period) was established, which can be used to develop a system of preventive measures.

Key words: air pollution, seasonal fluctuations in concentrations.

Введение. Загрязнение атмосферного воздуха является фактором риска развития многих экологически обусловленных заболеваний, в том числе тех, этиологический фактор которых может иметь инфекционную или иммунную природу. В крупных населенных пунктах данное влияние более выражено и может формировать значимое повышение частоты возникновения различных заболеваний [1–2]. Исследование зависимости изменений в состоянии здоровья населения под влиянием факторов окружающей среды является важным объектом многочисленных научных исследований [3–4], и именно загрязнением атмосферного воздуха обусловлено до 30 % общих заболеваний [5]. Считается доказанной связь между концентрациями атмосферных загрязнений и распространенностью болезней органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, бронхиальной астмы [6–7].

В городе Минске активно проводятся мероприятия, направленные на сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, результатом действия которых является снижение содержания загрязняющих веществ. Однако степень снижения на различных территориях не одинакова, также значительное влияние имеют сезонные колебания содержания веществ, связанные с метеорологическими и антропогенными факторами. В таких условиях установление цикличности изменения концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе позволяет установить основные тенденции, характерные для состояния атмосферного воздуха, оценивать эффективность уже проведенных профилактических мероприятий, прогнозировать возможное неблагоприятное влияние на популяционное здоровье и определять наиболее перспективные направления профилактических мероприятий в долгосрочной перспективе.

Цель работы – установить цикличность изменения концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Минска для разработки системы профилактических мероприятий.

Материалы и методы

При анализе использованы данные о максимально-разовых концентрациях загрязняющих химических веществ в атмосферном воз-

духе г. Минска за 2009–2022 гг. с маршрутных постов мониторинга. Распределение постов по районам: Октябрьский: 3 поста вдоль автодорог, Первомайский: 6 внутриквартальных постов, Фрунзенский: 7 внутриквартальных постов, Московский: 4 внутриквартальных поста, Партизанский: 1 внутриквартальный пост и 2 вдоль автодороги, Советский: 1 внутриквартальный пост и 1 вдоль автодороги, Центральный 3 поста вдоль автодорог, Ленинский: 3 внутриквартальных поста и 1 вдоль автодороги, Заводской: 4 внутриквартальных поста и 1 вдоль автодороги, зеленые зоны: парк Горького, парк Челюскинцев. Список загрязняющих веществ включал: диоксид азота, акролеин, бензол, ксилолы, углерода оксид, фенол, диоксид серы, твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль) (далее – твердые частицы), 1,3 бутадиен, формальдегид.

Методы: статистический, ретроспективный эпидемиологический анализ (анализ годовой динамики). Были проанализированы средне-многолетние значения максимальных разовых концентраций за каждый месяц года в каждой точке отбора проб.

В большинстве случаев концентрации диоксида азота в точках отбора проб имели нормальное распределение (критерий Колмогорова-Смирнова $Z_{\text{КС}}$ составлял от 0,72 до 1,26 при p от 0,67 до 0,08 соответственно). Концентрации акролеина в точках отбора проб в 61,29 % случаев в среднем по всем постам находились ниже пределов обнаружения, в связи с чем акролеин был исключен из дальнейшего анализа. Концентрации бензола в точках отбора проб в 74,03 % случаев в среднем по всем постам находились ниже пределов обнаружения, в связи с чем бензол был исключен из дальнейшего анализа. Концентрации ксилолов в точках отбора проб в 69,74 % случаев в среднем по всем постам находились ниже пределов обнаружения, в связи с чем ксилолы были исключены из дальнейшего анализа. Концентрации углерода оксида в большинстве случаев в точках отбора проб не подчинялись нормальному распределению (критерий Колмогорова-Смирнова $Z_{\text{КС}}$ составлял от 2,19 до 3,5 при $p < 0,01$). В большинстве случаев концентрации фенола в точках отбора проб имели нормальное распределение (критерий Колмогорова-Смирнова $Z_{\text{КС}}$ составлял от 0,68

до 1,32 при p от 0,74 до 0,06 соответственно). Концентрации диоксида серы в точках отбора проб в 50,54 % случаев в среднем по всем постам находились ниже пределов обнаружения, в связи с чем диоксид серы был исключен из дальнейшего анализа. Концентрации твердых частиц в большинстве случаев в точках отбора проб не подчинялись нормальному распределению (критерий Колмогорова-Смирнова $Z_{КС}$ составлял от 1,42 до 5,6 при p от 0,03 до $<0,01$). Концентрации 1,3 бутадиена в большинстве случаев в точках отбора проб не подчинялись нормальному распределению (критерий Колмогорова-Смирнова $Z_{КС}$ составлял от 1,4 до 6,24 при p от 0,04 до $<0,01$). Концентрации формальдегида в большинстве случаев в точках отбора проб не подчинялись нормальному распределению (критерий Колмогорова-Смирнова $Z_{КС}$ составлял от 1,36 до 5,28 при p от 0,05 до $<0,01$). Анализ годовой динамики концентраций загрязняющих веществ проводился путем сравнения фактических среднесезонных максимальных разовых концентраций веществ с уровнями многолетней эпидемической тенденции, а также путем группировки лепестковых диаграмм значений среднесезонных максимальных разовых концентраций анализируемых веществ по постам. Критический уровень значимости p при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05.

Результаты и обсуждение

Был проведен анализ многолетней динамики изменения концентраций по средним ежемесячным значениям максимальных разовых концентраций по отношению к линии тренда и определены месяцы, для которых средние ежемесячные значения максимальных разовых концентраций загрязняющих веществ превышали уровень линии. В результате были установлены следующие закономерности: повышенные концентрации в летний период года – для диоксида азота и твердых частиц, в летне-осенний период – для монооксида углерода и формальдегида; не было характерно наличие выраженной сезонности, происходило чередование месяцев с повышенными и пониженными по сравнению с линией многолетней эпидемической тенденции концентрациями (1,3 – бутадиен и фенол) с учетом 5 % погрешности.

Кроме того, для более наглядной оценки сезонных изменений концентраций загрязняющих веществ были построены графики изменения средних ежемесячных значений максимальных разовых концентраций анализируемых веществ в виде лепестковых диаграмм. При этом была проведена группировка данных диаграмм для различных маршрутных постов по их внешнему виду. Для концентраций диоксида азота были получены три ведущих типа годовой динамики (рисунок 1).

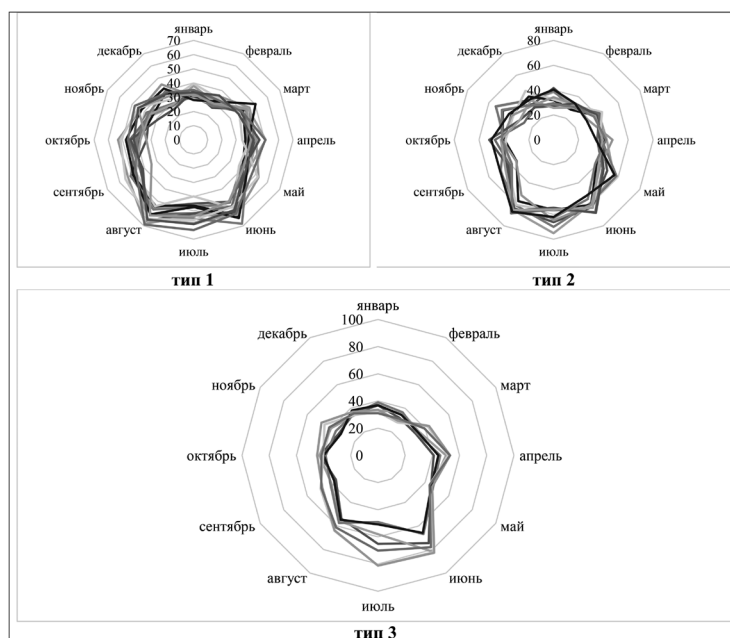


Рисунок 1. Годовая динамика среднесезонных ежемесячных концентраций диоксида азота за 2009–2022 гг., мг/м³, типы 1–3

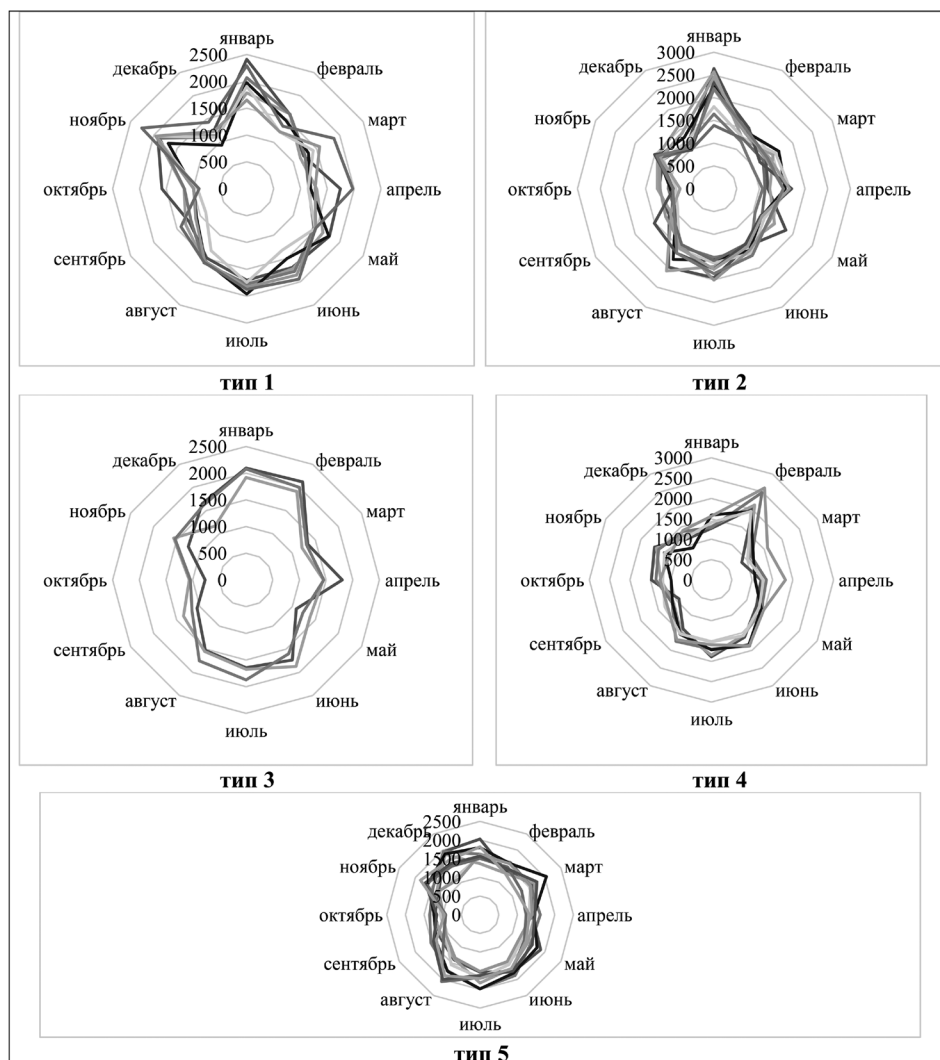


Рисунок 2. Годовая динамика среднемноголетних ежемесячных концентраций монооксида углерода за 2009–2022 гг., мгк/м^3 , типы 1–5

Изменение концентраций по типу 1 было характерно для 41,6 % всего количества постов, (посты были расположены преимущественно внутриквартально), по типу 2 было характерно для 36,1 % постов (внутриквартальные, расположенные вдоль автодорог, а также в зеленой зоне) и по типу 3 для 22,3 % постов (расположены преимущественно вдоль автодорог).

Для концентраций монооксида углерода были получены пять ведущих типов годовой динамики (рисунок 2).

Изменение концентраций по типу 1 было характерно для 19,4 % постов (внутриквартальные и вдоль автодорог), по типу 2 – для 27,8 % постов (расположены преимущественно внутриквартально, а также в зеленой зоне), по типу 3 – для 8,3 % постов, (расположены вдоль автодорог), по типу 4 – 16,7 % постов (пре-

имущественно внутриквартальные) и по типу 5 – 27,8 % постов (как внутриквартальные, так и расположенные вдоль автодорог).

Для концентраций твердых частиц были получены три ведущих типа годовой динамики (рисунок 3).

Изменение концентраций по типу 1 было характерно для 33,3 % всех постов (посты были расположены как внутриквартально, так и вдоль автодорог), по типу 2 – 38,9 % постов (внутриквартальные, расположенные вдоль автодорог и в зеленой зоне), по типу 3 – 27,8 % постов (преимущественно внутриквартальные).

Для концентраций формальдегида были получены три ведущих типа годовой динамики (рисунок 4).

Изменение концентраций по типу 1 было характерно для 33,3 % постов (расположены внутриквартально и вдоль автодорог), по типу 2 –

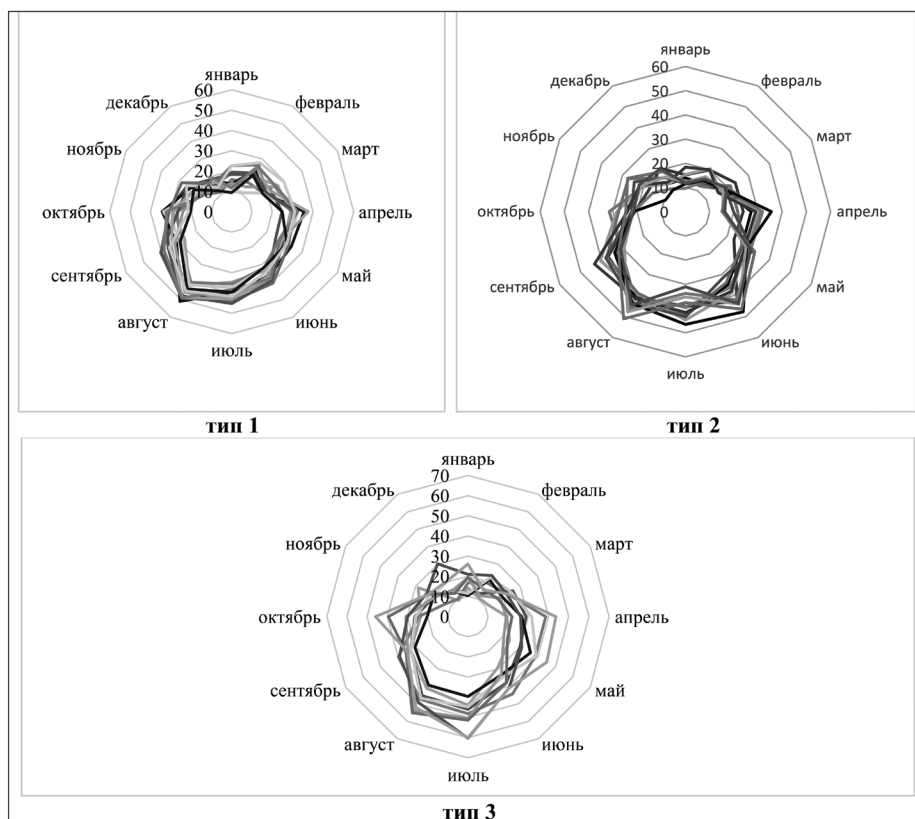


Рисунок 3. Годовая динамика среднемноголетних ежемесячных концентраций твердых частиц за 2009–2022 гг., мгк/м^3 , типы 1–3

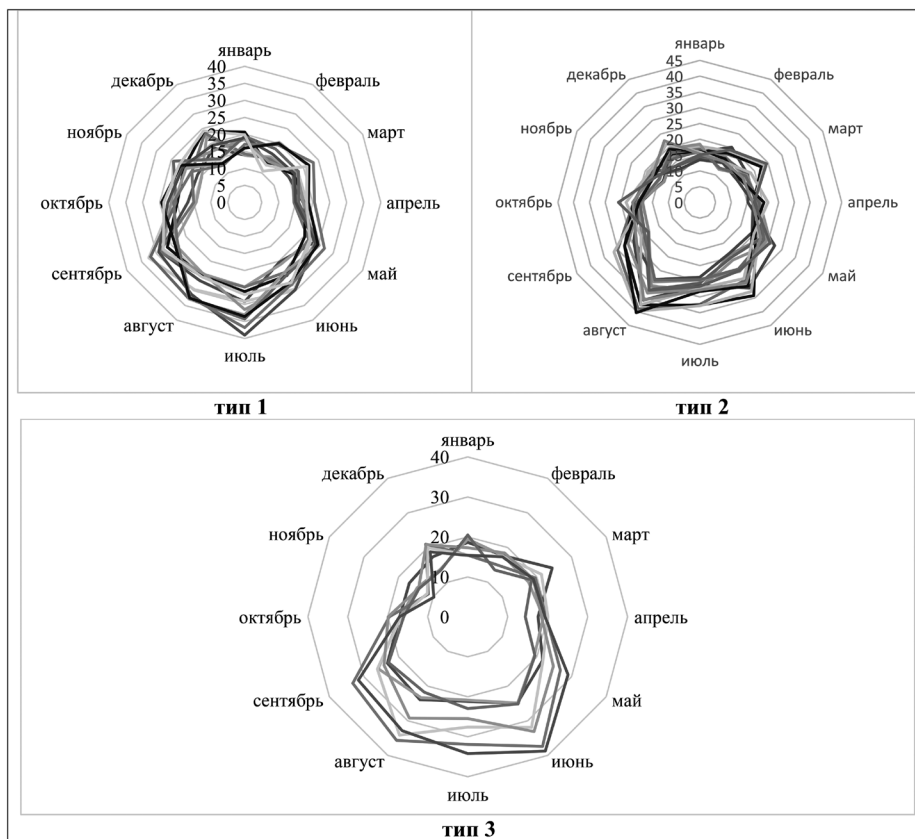


Рисунок 4. Годовая динамика среднемноголетних ежемесячных формальдегида за 2009–2022 гг., мгк/м^3 , типы 1–3

для 38,9 % постов (преимущественно внутри-квартирные), по типу 3 – 27,8 % постов (внутриквартирные, расположенные вдоль автодорог, а также в зеленой зоне). Интерактивная карта, отражающая группировку маршрутных постов мониторинга качества атмосферного воздуха с учетом сезонных изменений концентраций загрязняющих веществ доступна по ссылке https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?hl=ru&ll=53.903446303211076%2C27.533869464011065&z=12&mid=1owasrKkpxB_pKX_1pVBkk78FpiMdG84.

Полученные данные могут быть учтены при разработке плана профилактических мероприятий. Санитарно-эпидемиологической службой города проводится активная работа по снижению выбросов как от стационарных, так и от мобильных источников. Также, реализуется Комплексная программа развития электротранспорта на 2021–2025 годы, целью которой, помимо увеличения количества используемых транспортных средств на электрической тяге, расширения инфраструктуры электротранспорта, является минимизация негативного влияния на экологию. В целом по городу в ходе реализации мероприятий наблюдается тенденция к снижению доли повышенных концентраций по результатам замеров на маршрутных постах. С 2009 года процент снизился с 5,5 до 0,07.

Выводы. По результатам проведенных исследований было установлено наличие сезонных колебаний содержания диоксида азота и твердых частиц (повышение содержания в летний период), монооксида углерода и формальдегида (в летне-осенний период), а также проведена группировка круглогодичной динамики изменений концентраций для загрязняющих веществ на отдельных постах, которая группировка сезонных колебаний концентраций загрязняющих веществ на постах мониторинга позволяет предполагать наличие общих факторов, оказывающих влияние на формирование концентраций загрязняющих веществ.

Литература

1. Liu, H. et al. Effect of ambient air pollution on hospitalization for heart failure in 26 of China's largest cities // *The American journal of cardiology*. – 2018. – Vol. 121, № 5. – С. 628–633.

2. Khomenko, S. et al. Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment // *The Lancet Planetary Health*. – 2021. – Vol. 5, № 3. – С. e121–e134.

3. Чанчаева, Е. А., Гвоздарева О. В., Гвоздарев А. Ю. Состояние атмосферного воздуха и здоровье детей в условиях возрастающей транспортной и теплоэнергетической нагрузки // *Экология человека*. – 2019. – № 11. – С. 12–19.

4. Gouveia, N. et al. Effects of air pollution on infant and children respiratory mortality in four large Latin-American cities // *Environmental Pollution*. – 2018. – Vol. 232. – С. 385–391.

5. Иванова, Л. А., Диденко Д. Р. История взаимодействия городской среды и здоровья человека // *Россия молодая: передовые технологии – в промышленность*. – 2013. – № 3. – С. 130–132.

6. Tiotiu, A. I. et al. Impact of air pollution on asthma outcomes // *International journal of environmental research and public health*. – 2020. – Vol. 17, № 17. – С. 6212.

7. Гошин, М. Е., Бударина О. В., Демина Н. Н. Анализ состояния здоровья населения, проживающего в условиях загрязнения атмосферного воздуха пахучими веществами (обзор литературы) // *Гигиена и санитария*. – 2020. – Т. 99, № 9. – С. 930–938.

References

1. Liu, H. et al. Effect of ambient air pollution on hospitalization for heart failure in 26 of China's largest cities // *The American journal of cardiology*. – 2018. – Vol. 121, № 5. – С. 628–633.

2. Khomenko, S. et al. Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment // *The Lancet Planetary Health*. – 2021. – Vol. 5, № 3. – С. e121–e134.

3. Chanchaeva, E. A., Gvozdeva O. V., Gvozdev A. Yu. Sostoyanie atmosfernogo vozduha i zdorov'e detej v usloviyah vozrastayushchej transportnoj i teploenergeticheskoy nagruzki // *Ekologiya cheloveka*. – 2019. – № 11. – С. 12–19.

4. Gouveia, N. et al. Effects of air pollution on infant and children respiratory mortality in four large Latin-American cities // *Environmental Pollution*. – 2018. – Vol. 232. – С. 385–391.

5. Ivanova, L. A., Didenko D. R. Istoriya vzaimodejstviya gorodskoj sredy i zdorov'ya cheloveka // *Rossiya molodaya: peredovye tekhnologii – v promyshlennost'*. – 2013. – № 3. – С. 130–132.

6. Tiotiu, A. I. et al. Impact of air pollution on asthma outcomes // *International journal of environmental research and public health*. – 2020. – Vol. 17, № 17. – С. 6212.

7. Goshin, M. E., Budarina O. V., Demina N. N. Analiz sostoyaniya zdorov'ya naseleniya, prozhivayushchego v usloviyah zagryazneniya atmosfernogo vozduha pahuchimi veshchestvami (obzor literatury) // *Gigiena i sanitariya*. – 2020. – Vol. 99, № 9. – С. 930–938.

Поступила 20.11.2024 г.