

УДК 551.521.3, 235.216.2-17

АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИИ МИКРОЧАСТИЦ И ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДА БИШКЕК

Жусупкелдиев Ш.¹, Асанбекова Д.Д.², Исмаилова Г.Д.¹, Бердибекова С.К.³,
Шаршенова Х.А.⁴

¹Кыргызский национальный университет имени Ж.Баласагына, Бишкек, Кыргызская Республика

²Кыргызская государственная медицинская академия имени И. К. Ахунбаева, Бишкек, Кыргызская Республика

³Ошский технологический университет, Ош, Кыргызская Республика

⁴Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева, Бишкек, Кыргызская Республика

Ухудшение качества воздуха приводит к увеличению экологических рисков, повышению уровня стресса у населения, а также к потере времени и экономических ресурсов. Эти обстоятельства обуславливают необходимость систематических экспериментальных наблюдений и мониторинга в Бишкеке, а также всестороннего анализа уровня загрязнения воздуха.

Целью исследования является оценка влияния микрочастиц и парниковых газов на качество атмосферного воздуха города Бишкек в осенне-зимний период 2025 года. Объектом исследования служит приземный слой атмосферного воздуха городской территории. В работе использованы методы полевых инструментальных измерений концентраций твердых микрочастиц (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) и парниковых газов (CO₂, CH₄) с применением портативных газоанализаторов и лазерных датчиков. Измерения проводились три раза в сутки с последующей статистической обработкой данных и расчетом средних значений. Дополнительно применялось компьютерное моделирование для анализа динамики концентрации CO₂. Результаты исследования показали устойчивое превышение нормативных значений микрочастиц в осенне-зимний период, особенно в начале отопительного сезона. Установлено, что основными факторами ухудшения качества воздуха являются выбросы автотранспорта, использование твердого топлива и неблагоприятные метеорологические условия. За период 2022–2025 гг. выявлена тенденция к постепенному росту концентрации CO₂ при относительно стабильном уровне CH₄. Точность применяемой модели прогнозирования составила 8,15%. Полученные данные подтверждают необходимость систематического мониторинга атмосферного воздуха и разработки комплексных мер по снижению антропогенных выбросов. Результаты

исследования могут быть использованы при формировании экологической политики и программ по улучшению качества городской среды.

Материалы и методы. Измерения проводились в приземном слое атмосферы с использованием портативных измерительных приборов три раза в сутки. Для определения концентраций твердых микрочастиц применялся портативный анализатор типа BR-SMART; концентрация парниковых газов измерялась с помощью цифрового газоанализатора HAL-HCO201. Применялись методы компьютерного моделирования с последующим сравнением расчетных и экспериментальных данных.

Результаты. Полученные результаты подтверждают, что основными факторами, влияющими на загрязнение воздуха, являются интенсивная эксплуатация транспортных средств, износ дорожного покрытия (асфальта) и перенос воздушных масс из соседних стран ветром. Результаты научных исследований доказывают, что основным источником загрязнения атмосферного бассейна Бишкека являются вредные химические соединения, выбрасываемые транспортными средствами.

Ключевые слова: мониторинг, Бишкек, атмосфера, парниковые газы, микрочастицы, смог, ультрафиолетовый свет, климат, загрязнение воздуха, компьютерное прогнозирование

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Жусупкелдиев Ш., Асанбекова Д.Д., Исмаилова Г.Д., БердIBEKOBA C.K., Шаршенова Х.А. Анализ концентрации микрочастиц и парниковых газов в атмосферном воздухе города Бишкек. Медицина труда и экология человека. 2026; 1: 173 - 188.

doi: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2026 - 101108>

Для корреспонденции: Жусупкелдиев Шаршенбек, e-mail: sharshen58@mail.ru

ANALYSIS OF THE CONCENTRATION OF MICROPARTICLES AND GREENHOUSE GASES IN THE ATMOSPHERIC AIR OF BISHKEK

Zhusupkeldiev Sh.¹, Asanbekova D.D.², Ismailova G.D.¹, Berdibekova S.K.³,
Sharshenova H.A.⁴

¹ The Balasagyn Kyrgyz National University, Bishkek, Kyrgyz Republic

²The Akhunbaev Kyrgyz State Medical Academy, Bishkek, Kyrgyz Republic

³Osh Technological University, Osh, Kyrgyz Republic

⁴The Arabaev Kyrgyz State University, Bishkek, Kyrgyz Republic

Deteriorating air quality leads to increased environmental risks, heightened stress levels among the population, and a loss of time and economic resources. These circumstances necessitate systematic experimental observations and monitoring in Bishkek, as well as a comprehensive analysis of air pollution levels.

The purpose of the study is to assess the impact of particulate matter and greenhouse gases on the quality of atmospheric air in the city of Bishkek during the autumn–winter period of 2025. The object of the research is the near-surface urban atmospheric air layer. Field instrumental measurements of particulate matter concentrations (PM_{1} , $PM_{2.5}$, PM_{10}) and greenhouse gases (CO_2 , CH_4) were carried out using portable gas analyzers and laser sensors. Measurements were performed three times a day followed by statistical data processing and calculation of average values. Computer modeling was additionally applied to analyze the dynamics of CO_2 concentrations. The results demonstrate a persistent exceedance of regulatory limits for particulate matter during the autumn–winter season, especially at the beginning of the heating period. The main factors contributing to air quality deterioration were identified as vehicle emissions, solid fuel combustion, and unfavorable meteorological conditions. An increasing trend in CO_2 concentrations was observed for the period 2022–2025, while CH_4 levels remained relatively stable. The predictive model showed an accuracy of 8.15%.

The findings highlight the necessity of systematic air quality monitoring and the development of integrated strategies to reduce anthropogenic emissions. The results can support environmental policy development and urban air quality improvement programs.

Materials and methods. Measurements were taken in the ground layer of the atmosphere using portable measuring instruments three times daily. A BR-SMART portable analyzer was used to determine particulate matter concentrations; greenhouse gas concentrations were measured using a HAL-HCO201 digital gas analyzer. Computer modeling methods were used with subsequent comparison of calculated and experimental data.

Results. The findings confirm that the main factors influencing air pollution are intensive vehicle use, road surface (asphalt) wear, and wind-blown air masses from neighboring

countries. Scientific research shows that the main source of pollution in Bishkek's atmosphere is harmful chemical compounds emitted by vehicles.

Keywords: monitoring, Bishkek, atmosphere, greenhouse gases, microparticles, smog, ultraviolet light, climate, air pollution, computer forecasting

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Funding: The study did not have sponsorship.

For citation: Zhusupkeldiev Sh., Asanbekova D.D., Ismailova G.D., Berdibekova S.K., Sharshenova H.A. Analysis of the concentration of microparticles and greenhouse gases in the atmospheric air of Bishkek. *Occupational Health and Human Ecology*. 2026; 1:173 – 188.

doi: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2026-10108>

В последние годы в странах, граничащих с Кыргызской Республикой, наблюдается значительный рост экономической активности. Этот процесс в основном сопровождается интенсивным использованием природных ресурсов, что приводит к выбросу в атмосферу значительных объемов антропогенных выбросов. Результаты научных исследований показали, что некоторые вредные атмосферные соединения ($PM_{2.5}$, PM_{10} , CO_2 и другие аэрозольные частицы) способны сохраняться в воздухе от нескольких дней до нескольких месяцев, в результате атмосферной циркуляции, переноситься на расстояния в сотни, даже тысячи километров. С учётом закономерностей атмосферной циркуляции загрязняющие вещества, переносимые трансграничными воздушными потоками, могут в короткие сроки распространяться на территорию города Бишкек.

Кроме того, уровень загрязнения атмосферного воздуха в столице в значительной степени определяется внутренними факторами, в частности количеством, техническим состоянием и сроком эксплуатации транспортных средств. Международные и региональные научные исследования показывают, что выбросы от автомобилей, не соответствующих современным экологическим стандартам, вносят существенный вклад в ухудшение качества воздуха.

По статистике на конец 2018 года в Бишкеке было зарегистрировано около 420 тысяч автомобилей [1]. По последним данным, общее количество автомобилей в республике достигло 1,8 миллиона [2]. По оценкам экспертов, более 70% этих автомобилей сосредоточено в Бишкеке и его окрестностях. Некоторые источники

указывают, что количество зарегистрированных автомобилей в столице составляет около 1,3 миллиона [3]. Эту ситуацию также подтверждает ежедневное увеличение пробок в городе.

Город Бишкек расположен в центральной части Центральноазиатского континентального региона и окружён горными хребтами, что ограничивает обмен воздушных масс и повышает вероятность инверсионных явлений. В результате загрязняющие вещества длительное время задерживаются в городской атмосфере, оказывая негативное воздействие на здоровье населения и социально-экономическое развитие.

Ухудшение качества атмосферного воздуха сопровождается ростом экологических рисков, повышением уровня стрессовой нагрузки на население и экономическими потерями. Эти обстоятельства обуславливают необходимость систематического мониторинга и комплексного анализа уровня загрязнения воздуха. Сбор и обработка достоверных данных о состоянии атмосферного воздуха имеют важное научное и практическое значение при разработке экологической политики и программ по улучшению качества городской среды.

Целью настоящего исследования является оценка влияния микрочастиц и парниковых газов на качество атмосферного воздуха города Бишкек в осенне-зимний период. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи исследования:

- провести инструментальные измерения концентраций микрочастиц (PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_{10}) в приземном слое атмосферного воздуха;
- определить уровни концентраций основных парниковых газов (CO_2 и CH_4) и проанализировать их динамику;
- выявить основные факторы, влияющие на ухудшение качества атмосферного воздуха в городской среде;
- выполнить сравнительный анализ полученных данных с нормативными показателями и оценить тенденции изменения качества воздуха.

Материалы и методы. Исследование основано на полевых инструментальных измерениях качества атмосферного воздуха в городе Бишкек в осенне-зимний период 2025 года. Измерения проводились в приземном слое атмосферы с использованием портативных измерительных приборов[4].

Для определения концентраций твердых микрочастиц (PM_{10} , $PM_{2.5}$ и PM_{10}) применялся портативный анализатор типа BR-SMART, оснащенный лазерным датчиком для высокоточного разделения частиц по размеру. Концентрации

парниковых газов – диоксида углерода (CO_2) и метана (CH_4) – измерялись с помощью цифрового газоанализатора HAL-HCO201 с недисперсионным инфракрасным (NDIR) датчиком [5-8].

Измерения выполнялись три раза в сутки (утром, днем и вечером). Для повышения достоверности результатов в каждой точке проводились повторные измерения с последующим расчетом средних значений. Полученные данные подвергались статистической обработке [9,10].

Для анализа динамики концентрации CO_2 дополнительно применялись методы компьютерного моделирования с последующим сравнением расчетных и экспериментальных данных.

Результаты. Помимо парниковых газов в атмосферном воздухе присутствуют взвешенные частицы (PM), классифицируемые по размеру, воздействию на здоровье человека и времени пребывания в воздухе. В частности, частицы PM_{10} имеют диаметр менее 10 мкм, а частицы $\text{PM}_{2.5}$ – менее 2,5 мкм. Благодаря малым размерам они способны проникать глубоко в дыхательные пути человека, достигая альвеол лёгких и оказывая неблагоприятное воздействие на здоровье. Время пребывания и распределение этих частиц в атмосфере зависят от источников выбросов и метеорологических условий.

Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), частицы $\text{PM}_{2.5}$ представляют высокий риск для здоровья человека. Их концентрация контролируется в рамках систем мониторинга качества воздуха. Массовая концентрация $\text{PM}_{2.5}$ является ключевым показателем при оценке риска для здоровья человека и служит важным индикатором качества атмосферного воздуха. Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), среднегодовой уровень частиц $\text{PM}_{2.5}$ не должен превышать 10 мкг/м³, а среднесуточный уровень – 25 мкг/м³. Предельное значение среднесуточной концентрации частиц PM_{10} составляет 50 мкг/м³ [11]. В работе представлены гистограммы изменений концентраций частиц PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ и PM_{1} в сентябре, октябре, ноябре и декабре 2025 года, а также данные по приземному озону. Гистограммы позволяют сравнивать числовые значения в различных категориях и отслеживать динамику изменений во времени (рис. 1–4). Согласно данным, представленным на рисунках 1–3, в осенний период концентрации всех микрочастиц (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ и PM_{1}) превышают нормативные значения, что свидетельствует о формировании умеренного смога в атмосфере. В декабре 2025 года концентрация $\text{PM}_{2.5}$ удвоилась по сравнению с нормативным уровнем (рис. 4), что связано с началом отопительного сезона в городе.

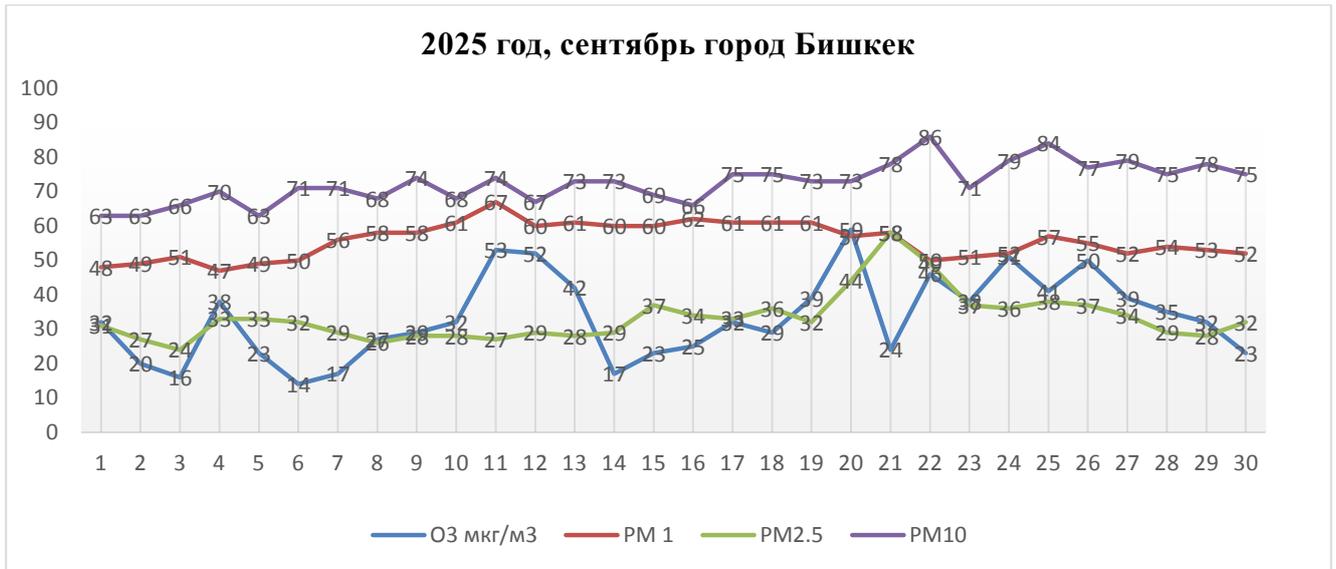


Рисунок 1. Динамика концентраций микрочастиц (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) и приземного озона (O₃) в городе Бишкек в сентябре 2025 года.

Figure 1. Dynamics of concentrations of microparticles (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) and ground-level ozone (O₃) in Bishkek in September 2025

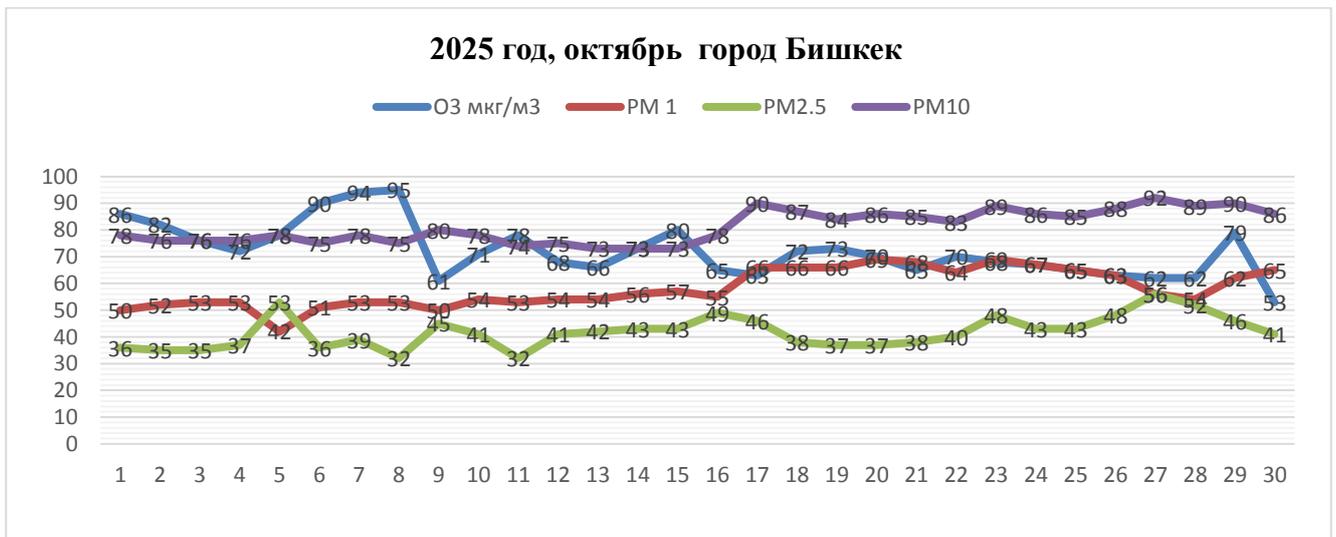


Рисунок 2. Динамика концентраций микрочастиц (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) и приземного озона (O₃) в городе Бишкек в октябре 2025 года.

Figure 2. Dynamics of concentrations of microparticles (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) and ground-level ozone (O₃) in Bishkek in October 2025.

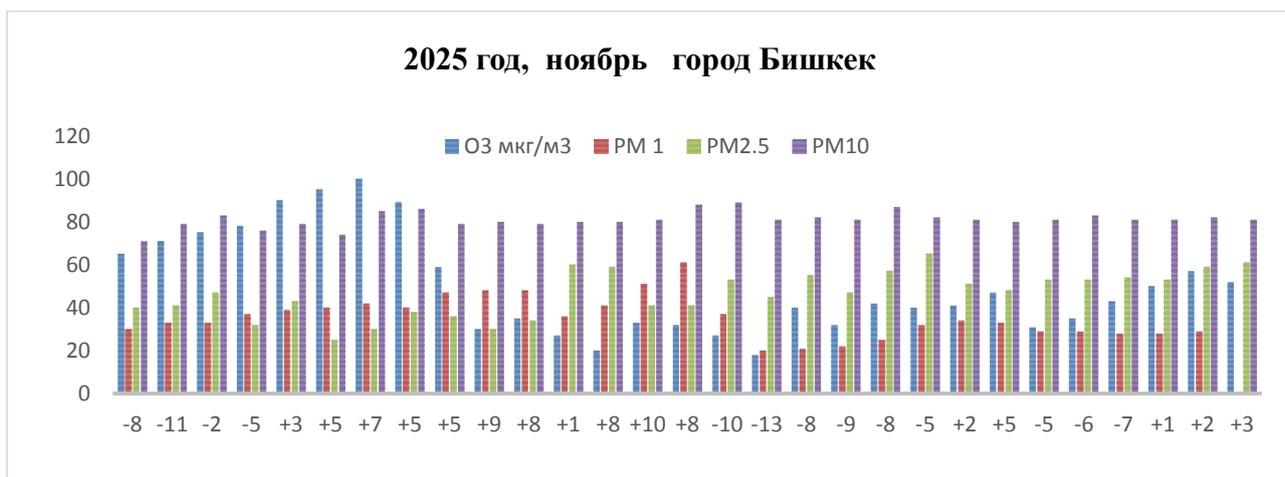


Рисунок 3. Динамика концентраций микрочастиц (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) и приземного озона (O₃) в городе Бишкек в ноябре 2025 года.

Figure 3. Dynamics of concentrations of microparticles (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) and ground-level ozone (O₃) in Bishkek in November 2025.

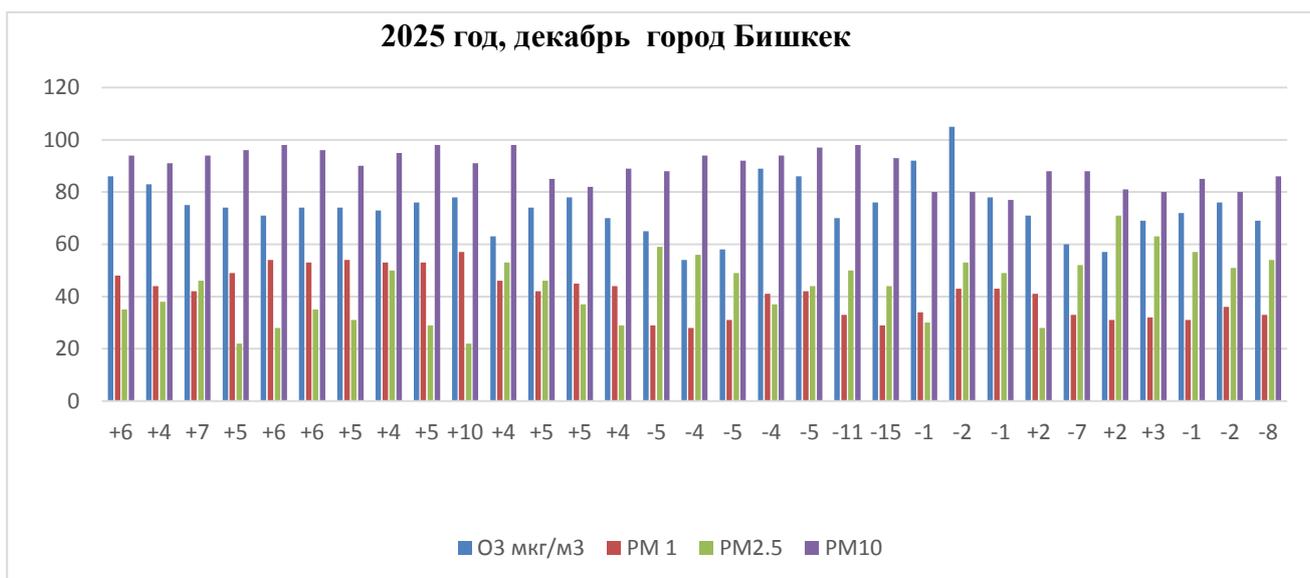


Рисунок 4. Динамика концентраций микрочастиц (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) и приземного озона (O₃) в городе Бишкек в декабре 2025 года.

Figure 4. Dynamics of concentrations of microparticles (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) and ground-level ozone (O₃) in Bishkek in December 2025.

Основными факторами, влияющими на загрязнение воздуха в осенний период, являются интенсивная эксплуатация транспортных средств, износ дорожного покрытия (асфальта) и перенос воздушных масс из соседних стран ветром. Результаты научных исследований доказывают, что основным источником загрязнения атмосферного бассейна Бишкека являются вредные химические

соединения, выбрасываемые транспортными средствами [12]. Поскольку газы, выбрасываемые транспортными средствами, преимущественно накапливаются в нижних слоях атмосферы и концентрируются в приземном слое, они оказывают прямое негативное воздействие на здоровье населения. Поэтому транспортные средства рассматриваются как один из основных источников загрязнения атмосферного воздуха [13]. С 20 по 23 ноября 2022 года концентрация микрочастиц в Бишкеке резко возросла, достигнув 600 мкг/м^3 для PM_{10} и 469 мкг/м^3 для $\text{PM}_{2.5}$. В этот период Бишкек входил в число самых загрязненных городов мира, занимая первое место в течение нескольких дней. Этот факт свидетельствует о том, что загрязнение воздуха в столице является острой экологической проблемой [14]. В этой связи вопрос снижения концентрации микрочастиц в атмосфере выходит на первый план как неотложная мера. Для этого отмечается необходимость улучшения технического состояния городского транспорта, эффективной фильтрации дымовых газов теплоэлектростанций, а также установки фильтрующих устройств на дымоходах топливо сжигающих печей в частных домах.

Изменение климата происходит под воздействием как природных, так и антропогенных процессов, особенно в результате влияния хозяйственной деятельности человека на атмосферу. Среди антропогенных причин, воздействующих на климатическую систему, ключевую роль играют выбросы парниковых газов [15]. В настоящее время, в связи с интенсификацией промышленной деятельности и ростом населения, наблюдается резкое увеличение выбросов парниковых газов в атмосферу. Этот процесс приводит к усилению глобального потепления и нарушению климатического баланса. К наиболее распространенным парниковым газам относятся водяной пар (H_2O), диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O) и хлорфторуглероды (ХФУ) [16]. Эти газы обладают свойством поглощать и переизлучать инфракрасное излучение, что способствует удержанию тепла от поверхности Земли в атмосфере.

На практике пространственное и временное распределение концентраций диоксида углерода (CO_2) в атмосфере прогнозируется и количественно оценивается с помощью методов компьютерного моделирования [17]. Используемое программное обеспечение для прогнозирования обеспечивает высокоуровневые возможности визуализации для анализа данных и интерпретации результатов [18]. В частности, это программное обеспечение позволяет сравнивать результаты расчетов модели с реальными данными измерений и точно отображать их взаимное соответствие в графической форме.

На рисунке 5 показано визуальное сравнение результатов математической модели, созданной для диоксида углерода (CO_2), и реальных данных о распределении CO_2 , полученных за тот же период. Близкое расположение графиков указывает на высокий уровень соответствия между значениями, рассчитанными моделью, и экспериментальными данными наблюдений.



Рисунок 5. Динамика скользящего среднего уровня концентрации CO_2 с 2022 по 2025 год.

Figure 5. Dynamics of the moving average level of CO_2 concentration between 2022 and 2025.

Для количественной оценки точности модели была рассчитана абсолютная ошибка, значение которой составило 8,15%. Этот показатель подтверждает, что результаты расчетов модели достаточно близки к реальным данным и надежность используемого метода прогнозирования. Таким образом, предложенная модель считается подходящей для предварительной оценки и анализа динамики распределения CO_2 в атмосфере.

Увеличение концентрации парниковых газов, таких как диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4) и хлорфторуглероды, в газовом составе атмосферы повышает ее способность удерживать тепло и приводит к усилению парникового эффекта [19,20]. В результате наблюдаются долгосрочные изменения климатических

параметров, оказывающие существенное влияние на экосистемы и социально-экономическую деятельность человека.

По результатам анализа данных наблюдений за период 2022–2025 годов (рисунок 5) наблюдается незначительное увеличение концентрации углекислого газа (CO_2) в атмосфере Бишкека. Можно предположить, что эта тенденция в основном обусловлена увеличением количества транспортных средств, работающих на газовом топливе в городской зоне [21,22]. Углекислый газ, выбрасываемый автотранспортом, накапливается в нижних слоях атмосферы и напрямую влияет на газовый состав городского воздуха. В то же время концентрация метана (CH_4) оставалась относительно стабильной, варьируясь в пределах 1800–2000 ppb. Эти показатели не превышали действующих санитарно-гигиенических и экологических норм, что свидетельствует о стабильности ситуации с метаном.

В целом, полученные результаты подтверждают, что транспортный сектор вносит основной вклад в выбросы углекислого газа в Бишкеке, в то время как концентрация метана остается на уровне, не представляющем серьезной угрозы. Поэтому меры по улучшению качества городского воздуха должны быть направлены в первую очередь на сокращение выбросов от автотранспорта.

Заключение. С конца осени концентрация твердых взвешенных частиц в атмосферном воздухе начинает превышать нормативные значения. Это явление в основном связано с усилением антропогенной нагрузки. В частности, с началом отопительного сезона в пригородных населённых пунктах возрастает использование твердого топлива (угля и древесины), что приводит к увеличению выбросов микрочастиц и других загрязняющих веществ в атмосферу.

Дополнительный вклад в загрязнение воздуха вносит работа теплоэлектростанций в отопительный период, сопровождающаяся ростом объемов выбросов. Одновременно увеличение интенсивности транспортного движения и рост автомобильных пробок способствуют накоплению транспортных выбросов. В результате длительной стоянки и медленного движения транспортных средств газообразные и твердые загрязняющие вещества концентрируются в нижних слоях атмосферы.

В целом усиление антропогенной деятельности в осенне-зимний период приводит к повышению уровня загрязнения городской атмосферы и ухудшению качества воздуха, что указывает на необходимость разработки комплексных природоохранных мер и усиления экологической политики.

Список литературы:

1. Смог над Бишкеком: как уменьшить транспортные выхлопы // Kloop.kg. 2018. URL: <https://kloop.kg/blog/2019/03/31/smog-nad-bishkekom-kak-umenshit-transportnye-vyhlopy/>
2. Озвучено количество зарегистрированных автомобилей в Кыргызстане // Kabar.kg. 2025. URL: <https://ru.kabar.kg/news/ozvucheno-kolichestvo-zaregistrirovannyh-avtomobilej-v-kyrgyzstane/>
3. Пробки в Бишкеке: причины и варианты решения // DB.kg. URL: <https://db.kg/?p=1618>
4. Чаянова Э.А. Оценка пропускания солнечного излучения атмосферой при затменном методе наблюдения спектрометром, установленном на спутнике // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. №4. С. 88–104.
5. Ritchie H., Roser M. Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from? // Our World in Data. 2023.
6. Angéilil O., Stone D.A., Tadross M. et al. Attribution of extreme weather to anthropogenic greenhouse gas emissions // Geophysical Research Letters. 2014. Vol. 41(6). P. 2150–2155.
7. Zhao S. Is global warming mainly caused by anthropogenic greenhouse gas emissions? // Energy Sources, Part A. 2011. Vol. 33(21). P. 1985–1992.
8. Tsai K.T., Lin T.P., Hwang R.L. Carbon dioxide emissions generated by energy consumption of hotels // Tourism Management. 2014. Vol. 42. P. 13–21.
9. Лубсанова Т.М. Дыхание почв Селенгинского Среднегорья // Материалы международной научной конференции. СПб., 2007. С. 270–272.
10. Saxena P., Sonwani S., Saxena P. Air pollutants and their impact on environmental health // Environmental Health Criteria. 2019. P. 49–82.
11. WHO Global Air Quality Guidelines. World Health Organization. 2021.
12. Элеманов О.И., Дылдаев М.М. Оценка выбросов загрязняющих веществ в городе Бишкек от передвижных источников // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2021. №4. С. 141–144.

13. Матисаков А.Ж., Сурапов А.К., Дуйшебаев С.С. Альтернативные методы снижения воздействия автомобильного топлива на воздушный бассейн // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2014. №3. С. 53–55.
14. Dzushupov K.O. et al. Air pollution in Bishkek, Kyrgyzstan: driving factors and public health challenges // Public Health Challenges. 2022.
15. World Bank. Air Quality Analysis in Bishkek: PM2.5 Source Apportionment and Emission Reduction Measures. 2023.
16. UNDP. Air Quality in Bishkek: Assessment of Emission Sources. 2022.
17. Asian Development Bank. Tackling Air Pollution in Bishkek. ADB Brief. 2023.
18. UNICEF. Health and Social Impacts of Air Pollution on Women and Children in Bishkek. 2022.
19. World Bank. Air Quality Management in Central Asia. 2023.
20. Mapping PM2.5 Sources and Emission Management Options for Bishkek // Atmosphere. 2023.
21. Comparative Study of PM2.5 Sources in Kyrgyzstan and Other Countries // Environmental Research. 2022.
22. Impact of Climate Change and Air Pollution Forecasting in Bishkek // Aerosol and Air Quality Research. 2021.

References:

1. Smog over Bishkek: how to reduce transport emissions // Kloop.kg. 2018. URL: <https://kloop.kg/blog/2019/03/31/smog-nad-bishkekom-kak-umenshit-transportnye-vyhlopy/>
2. The number of registered cars in Kyrgyzstan has been announced// Kabar.kg. 2025. URL: <https://ru.kabar.kg/news/ozvucheno-kolichestvo-zaregistrovannyh-avtomobilej-v-kyrgyzstane/>
3. Traffic jams in Bishkek: causes and solutions// DB.kg. URL: <https://db.kg/?p=1618>
4. Chayanova E.A. Estimation of solar radiation transmission by the atmosphere using the eclipse observation method with a spectrometer installed on a satellite // Fundamental and Applied Climatology. 2018. No. 4. P. 88–104.

5. Ritchie H., Roser M. Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from? // Our World in Data. 2023.
6. Angéilil O., Stone D.A., Tadross M. et al. Attribution of extreme weather to anthropogenic greenhouse gas emissions // Geophysical Research Letters. 2014. Vol. 41(6). P. 2150–2155.
7. Zhao S. Is global warming mainly caused by anthropogenic greenhouse gas emissions? // Energy Sources, Part A. 2011. Vol. 33(21). P. 1985–1992.
8. Tsai K.T., Lin T.P., Hwang R.L. Carbon dioxide emissions generated by energy consumption of hotels // Tourism Management. 2014. Vol. 42. P. 13–21.
9. Lubsanova T.M. Soil respiration of the Selenga Middle Mountains // Proceedings of the international scientific conference. St. Petersburg, 2007. P. 270–272.
10. Saxena P., Sonwani S., Saxena P. Air pollutants and their impact on environmental health // Environmental Health Criteria. 2019. P. 49–82.
11. WHO Global Air Quality Guidelines. World Health Organization. 2021.
12. Elemanov O.I., Dyl'daev M.M. Assessment of pollutant emissions in the city of Bishkek from mobile sources // Science, new technologies and innovations of Kyrgyzstan. 2021. No. 4. P. 141–144.
13. Matisakov A.Zh., Surapov A.K., Duishebaev S.S. Alternative methods for reducing the impact of motor fuel on the air // Science, new technologies and innovations of Kyrgyzstan. 2014. No. 3. P. 53–55.
14. Dzushupov K.O. et al. Air pollution in Bishkek, Kyrgyzstan: driving factors and public health challenges // Public Health Challenges. 2022.
15. World Bank. Air Quality Analysis in Bishkek: PM2.5 Source Apportionment and Emission Reduction Measures. 2023.
16. UNDP. Air Quality in Bishkek: Assessment of Emission Sources. 2022.
17. Asian Development Bank. Tackling Air Pollution in Bishkek. ADB Brief. 2023.
18. UNICEF. Health and Social Impacts of Air Pollution on Women and Children in Bishkek. 2022.
19. World Bank. Air Quality Management in Central Asia. 2023.
20. Mapping PM2.5 Sources and Emission Management Options for Bishkek // Atmosphere. 2023.

21. Comparative Study of PM2.5 Sources in Kyrgyzstan and Other Countries // Environmental Research. 2022.

22. Impact of Climate Change and Air Pollution Forecasting in Bishkek // Aerosol and Air Quality Research. 2021.

Информация об авторах

Жусупкелдиев Шаршенбек – кандидат физико-математических наук, доцент, Кыргызский национальный университет имени Ж.Баласагына, e-mail: sharshen58@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5734-532X>

Асанбекова Дамира Дайырбековна - кандидат педагогических наук, и.о.доцент, Кыргызская государственная медицинская академия имени И. К. Ахунбаева, e-mail: d-asanbekova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4404-2630>

Исмаилова Гулзат Дерденбаевна - кандидат педагогических наук, Кыргызский национальный университет имени Ж.Баласагына, e-mail: gismailova71@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7213-5865>

Бердибекова Сырга Каныбековна - кандидат педагогических наук, доцент, Ошский технологический университет, e-mail: syrga.berdibekova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1619-3537>

Шаршенова Хамида Алымкуловна - старший преподаватель, Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева, e-mail: sharshenovahamida@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2367-6225>

Information about the authors:

Sharshenbek Zhusupkeldiev – Cand. Sc. (Physics and Mathematics), associate professor, Kyrgyz National University named after Zh. Balasagyn, e-mail: sharshen58@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5734-532X>

Damira D. Asanbekova - Cand. Sc. (Pedagogy), Acting Associate Professor, the Akhunbaev Kyrgyz State Medical Academy, e-mail: d-asanbekova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4404-2630>

Gulzat D. Ismailova - Cand. Sc. (Pedagogy), the Balasagyn Kyrgyz National University, e-mail: gismailova71@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7213-5865>

Syrqa K. Berdibekova - Cand. Sc. (Pedagogy), Associate Professor Osh Technological University, e-mail: syrqa.berdibekova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1619-3537>

Hamida A. Sharshenova - Kyrgyz State University. I. Arabaeva, senior lecturer e-mail: sharshenovahamida@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2367-6225>

Поступила/Received: 26.01.2026

Принята в печать/Accepted: 09.02.2026