

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СИСТЕМ КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

УДК 504.3:656.1

Казанцев М. Р., mihailkazancev690@gmail.com

Верзунов С. Н., verzunov@hotmail.com

Институт машиноведения, автоматизации и геомеханики НАН КР

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ГОРОДЕ БИШКЕКЕ

Актуальность исследования обусловлена высоким уровнем загрязнения воздуха в столице Кыргызстана, где одним из основных источников вредоносных выбросов является автомобильный транспорт. Целью работы является анализ и систематизация существующих методов оценки и прогнозирования загрязнения атмосферы, а также разработка рекомендаций по их применению в условиях города. В статье приводится обзор ключевых загрязняющих веществ, выделяемых автотранспортом, таких как оксиды азота, угарный газ, углеводороды и твердые частицы.

Ключевые слова: качество воздуха, экологическая безопасность, факторы загрязнения, PM_{2.5}, PM₁₀, IoT-датчики, транспорт, анализ дорожного трафика, сезонная динамика выбросов, температурная инверсия, мониторинг.

Введение

Ухудшение качества атмосферного воздуха в крупных городах Кыргызской Республики – одна из приоритетных экологических проблем. В последние годы Бишкек стабильно входит в число 50 самых загрязнённых городов мира по рейтингу *IQAir*, при среднем уровне PM_{2.5}, превышающем рекомендации Всемирной организации здравоохранения более чем в четыре раза. По данным Госкомитета промышленности, энергетики и недропользования КР, с 2018 по 2023 гг. количество зарегистрированных транспортных средств в столице увеличилось почти на 35%, превысив отметку в 400 тыс., что усилило нагрузку на городскую транспортную инфраструктуру и экологическую ситуацию [1,2,15,20].

Экспертные оценки показывают, что автотранспорт является одним из ключевых источников загрязнения, формируя до 60–80% всех выбросов в атмосферу Бишкека. Высокие концентрации взвешенных частиц (PM_{2.5} и PM₁₀), оксидов азота и угарного газа фиксируются вблизи оживлённых улиц и транспортных развязок, особенно в периоды пикового движения и отопительного сезона. Несмотря на запуск отдельных стационарных постов наблюдений и появление первых исследований по оценке качества воздуха, в городе отсутствует интегрированная система совместного анализа экологических и транспортных показателей [3,4].

В связи с этим возрастает научный и практический интерес к обобщению и сопоставлению существующих мировых и отечественных методов мониторинга, дистанционной диагностики и математического анализа, применяемых для оценки качества воздуха и для исследования интенсивности дорожного трафика. Особую значимость приобретает поиск методик, максимально адаптируемых под городскую среду

Бишкека, способных обеспечить достоверную оценку вклада автотранспорта в формирование загрязнённости воздуха.

Методы мониторинга качества атмосферного воздуха в Бишкеке

На территории города Бишкека действует гибридная система наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, включающая стационарные государственные посты Кыргызгидромета и сеть IoT-датчиков Clarity, размещённых в рамках инициативы Clean Air с 2021 года. По состоянию на начало 2024 года на территории города функционирует 52 сенсорных узла (против 36 в 2021 году), что обеспечило повышение пространственного разрешения мониторинга загрязнения воздуха в три раза (рис. 1) [12,13].

Малобюджетные устройства Clarity Node-S используют лазерный оптический метод рассеяния света для определения концентраций частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} . Диапазон измерений составляет от 0 до 1000 $мкг/м^3$ при относительной погрешности порядка 10%. Сильными сторонами системы являются масштабируемость и возможность онлайн-передачи данных, однако высокая чувствительность к влажности, необходимость ежеквартальной калибровки и деградация лазерного компонента после 12–15 месяцев работы приводят к смещению регистрируемых значений, особенно в зимне-весенний период [12].

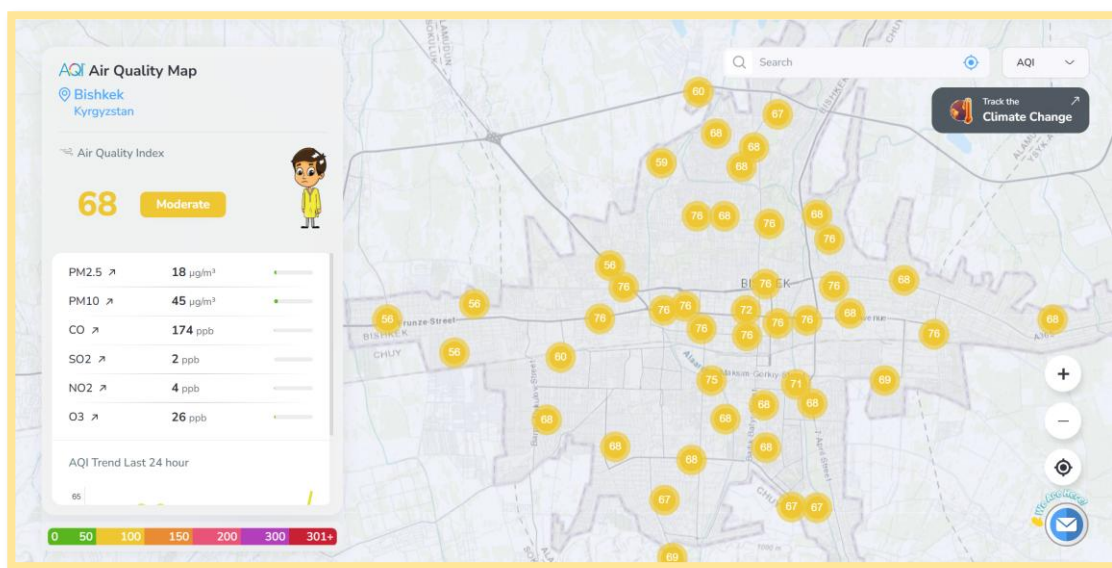


Рисунок 1 – Карта сети датчиков качества воздуха AQI в Бишкеке (по состоянию на 20.08.2025) [1]

Сезонный анализ усреднённых значений $PM_{2.5}$ (табл. 1) демонстрирует отчётливую тенденцию к росту концентраций в отопительный период: в зимние месяцы превышение нормативов ВОЗ (15-25 $мкг/м^3$) достигает 3–7 раз, тогда как в летний период – 1,5–2 раза. Динамика сезонных значений показателей загрязнённости отражена на графике: (рис. 3). [15]

Таблица 1 – Среднесезонные концентрации $PM_{2.5}$ в Бишкеке

Содержание $PM_{2.5}$ в воздухе Бишкека: $мкг/м^3$ (% превышения нормы)				
Год	Зима	Весна	Лето	Осень
2019	98 (390%)	46 (130%)	32 (60%)	58 (190%)

2020	103 (415%)	50 (150%)	34 (70%)	62 (210%)
2021	110 (450%)	54 (170%)	36 (80%)	67 (235%)
2022	119 (495%)	60 (200%)	40 (100%)	71 (255%)
2023	126 (530%)	63 (215%)	42 (110%)	75 (275%)
2024	130 (550%)	65 (225%)	–	–

Рост концентраций частиц объясняется не только увеличением транспортного потока, но и рядом инфраструктурных факторов: ростом пылевой нагрузки из-за дорожных работ и изменением розы ветров, приводящим к задерживанию загрязняющих веществ в городской среде.

Отдельную роль в скачках показаний играют ошибки в калибровке датчиков: например, в конце 2023 года данные с узлов Clarity, расположенных по проспекту Чуй, показали завышение значений на 8–12% по сравнению с референсными данными Кыргызгидромета [12,13].

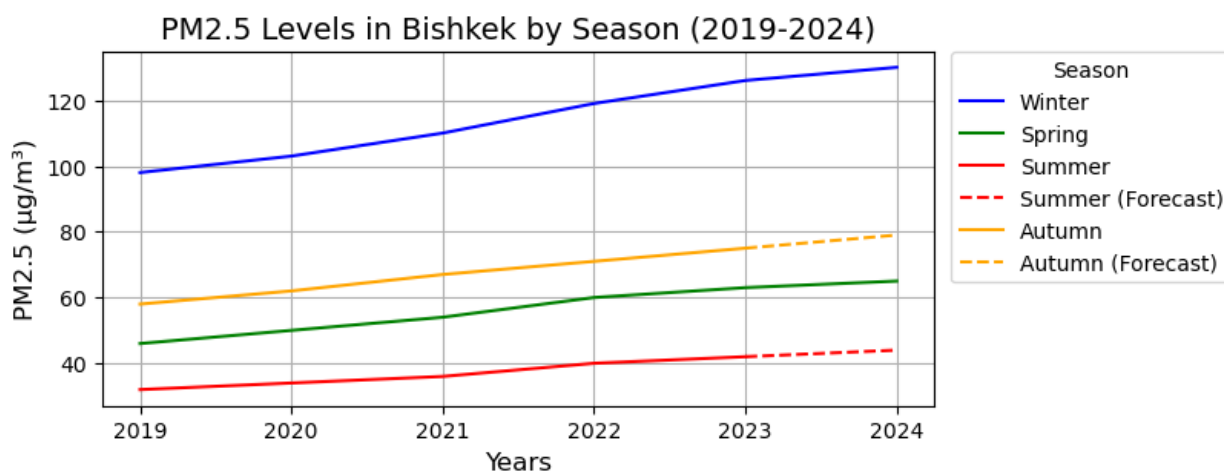


Рисунок 2 – Динамика сезонных концентраций PM_{2.5} в Бишкеке (2019–2024 гг.)

В целом действующая система мониторинга обеспечивает оперативное выявление эпицентров загрязнения и даёт возможность сопоставлять интенсивность выбросов с транспортной нагрузкой. Вместе с тем отсутствие унифицированной процедуры калибровки и рассогласование данных между стационарными постами и IoT-узлами затрудняют точную оценку вклада автотранспорта в общий уровень вредоносных выбросов, что требует дальнейшего совершенствования методико-аппаратной базы.

Методы и данные для оценки интенсивности дорожного движения в Бишкеке (2019–2025) и их связь с качеством воздуха

В период 2019–2025 годов проблема транспортной перегруженности в Бишкеке проявляется в росте автопарка и в увеличении времени, которое жители проводят в заторах. По данным 2GIS, только за июль–сентябрь 2024 года средний водитель провёл в пробках 777 часов; наибольшие задержки фиксировались в утренние часы пик (8:00–9:00) и вечером (18:00–19:00), преимущественно на магистралях, ориентированных по направлению север–юг, а также на перекрёстках с интенсивным левоповоротным трафиком. Одновременно специалисты отмечают дисбаланс между пропускной способностью улично-дорожной сети и численностью автопарка: при проектировании города расчётная нагрузка составляла порядка 100 тыс. автомобилей, тогда как к середине

2024 года в Бишкеке было зарегистрировано более 416 тыс. транспортных средств, а к февралю 2025 года — уже около 428 тыс., что означает прирост на 2,5 % всего за восемь месяцев. Эта динамика соответствует росту временных задержек и подтверждает, что общая нагрузка на транспортную систему увеличивается быстрее, чем реализуются локальные инфраструктурные улучшения [9].

Для интерпретации экологических эффектов важны не только объёмы и задержки, но и состав автопарка. Таблица ниже суммирует срез структуры по видам топлива для Бишкека за 2019–2025 годы на основе сведений НСК КР:

Таблица 2 – Структура автопарка Бишкека по видам топлива, 2019–2025

Год	Бензиновые, тыс. (доля)	Дизельные, тыс. (доля)	Газовые, тыс. (доля)	Электрические, тыс. (доля)	Гибридные, тыс. (доля)
2019	240,0 (80%)	30,0 (10%)	18,0 (6%)	0,40 (0,13%)	1,20 (0,40%)
2020	250,0 (78%)	34,0 (11%)	21,0 (6,5%)	0,80 (0,25%)	1,80 (0,60%)
2021	260,0 (75%)	38,0 (11%)	24,0 (7%)	1,40 (0,40%)	2,60 (0,75%)
2022	270,0 (72%)	44,0 (12%)	28,0 (7,5%)	2,40 (0,65%)	3,60 (1,00%)
2023	276,0 (68%)	48,0 (12%)	36,0 (9%)	4,00 (1,00%)	6,00 (1,50%)
2024	280,0 (65%)	52,0 (12%)	40,0 (9,5%)	7,00 (1,60%)	9,00 (2,10%)
2025	284,0 (62%)	56,0 (12%)	44,0 (10%)	10,00 (2,20%)	12,00 (2,60%)

Видно равномерное снижение доли бензиновых автомобилей и одновременный рост газа, гибридов и электромобилей при почти стабильной доле дизельных ТС. Это критично, поскольку именно дизель даёт основной вклад в NO_x и первичные РМ в городской среде, тогда как газ снижает РМ, но может повышать NO_x без грамотной эксплуатации [5,6].

Такая динамика согласуется с макротрендом: парк растёт «вширь», электротранспорт и гибридные автомобили пока остаются нишевыми, хотя их численность ускоренно увеличивается (парк электромобилей в стране превысил 13 тыс. к середине 2024 года, но их доля по-прежнему невелика, значительная часть сконцентрирована в столице).

В общественном транспорте одновременно происходят два процесса: поставка партии газовых автобусов (CNG) и запуск проекта по внедрению до 120 электробусов с приоритетными коридорами и модернизацией остановок/перекрёстков. Эти проекты должны снизить «километры» личного автотранспорта на самых перегруженных участках и, как следствие, локальные выбросы в часы пик [5,9].

Воздействие дорожного транспорта на качество воздуха подтверждается независимыми экологическими источниками. Эксперты Всемирного банка для Бишкека показали, что при разных метеоусловиях автотранспорт остаётся одним из двух ключевых источников $\text{PM}_{2.5}$ в городе (сезонные оценки вклада – от ~17% весной до ~30% зимой при учёте вторичных частиц).

По данным Кыргызгидромета, в зимне-весенний период на стационарных постах в центральных районах Бишкека многократно фиксировались превышения по диоксиду азота – маркеру транспортных выбросов и уличной химии. Эти значения коррелируют с наблюдаемыми заторами на магистралях и перекрёстках. Дополнительно показания индикаторов заторов 2GIS за 2024 год статистически совпадают по времени с вечерними всплесками концентраций NO_2 . Такая недельная асимметрия (высокие уровни в будние дни в часы пик и снижение в выходные) типична для транспортных источников загрязнения [3,12].

Совокупность этих наблюдений формирует основу для корректной оценки вклада транспорта в общее загрязнение воздуха.

Метрики дорожных заторов позволяют оперативно фиксировать динамику перегруженности уличной сети. Данные камер видеонаблюдения дают детализацию по отдельным магистралям и развязкам, хотя требуют дополнительного доступа и верификации. Статистика регистрации автомобилей отражает тенденции роста автопарка и его топливной структуры. Эти сведения в дальнейшем используются в расчётных моделях выбросов, таких как ЕМЕР/ЕЕА или COPERT.

Для надёжной интерпретации необходимо сопоставление показателей по трём критериям: времени (часы пик и будни по сравнению с ночным временем и выходными), пространству (магистральные улицы против жилых кварталов) и сезонам (отопительный период против межсезонья). Такой подход позволяет разделить вклад транспорта и бытового отопления и снизить риск ложных корреляций, возникающих при изменениях инфраструктуры или калибровке датчиков.

Особое внимание заслуживает структура автопарка. Доля бензиновых автомобилей остаётся преобладающей, хотя постепенно снижается (с 80% в 2019 г. до 62% в 2025 г.). При этом увеличивается число дизельных машин (с 10% до 12%) и автомобилей на газе (с 6% до 10%), что связано с их большей экономичностью. Однако именно дизельный транспорт считается одним из наиболее загрязняющих: он производит больше сажи и оксидов азота, которые напрямую связаны с формированием мелкодисперсных частиц $PM_{2.5}$.

Сравнение кривых роста численности автопарка и среднегодовых концентраций $PM_{2.5}$ (рис. 3) позволяет сделать важное наблюдение: качество воздуха в Бишкеке ухудшается быстрее, чем растёт транспортная нагрузка. Это указывает на наличие дополнительных факторов, усиливающих воздействие транспорта на экологию. Среди них можно выделить: низкое качество топлива (часто ввозимого без должного контроля), старые автомобили, а также уязвимость города к неблагоприятным метеоусловиям в зимний период [8,9].

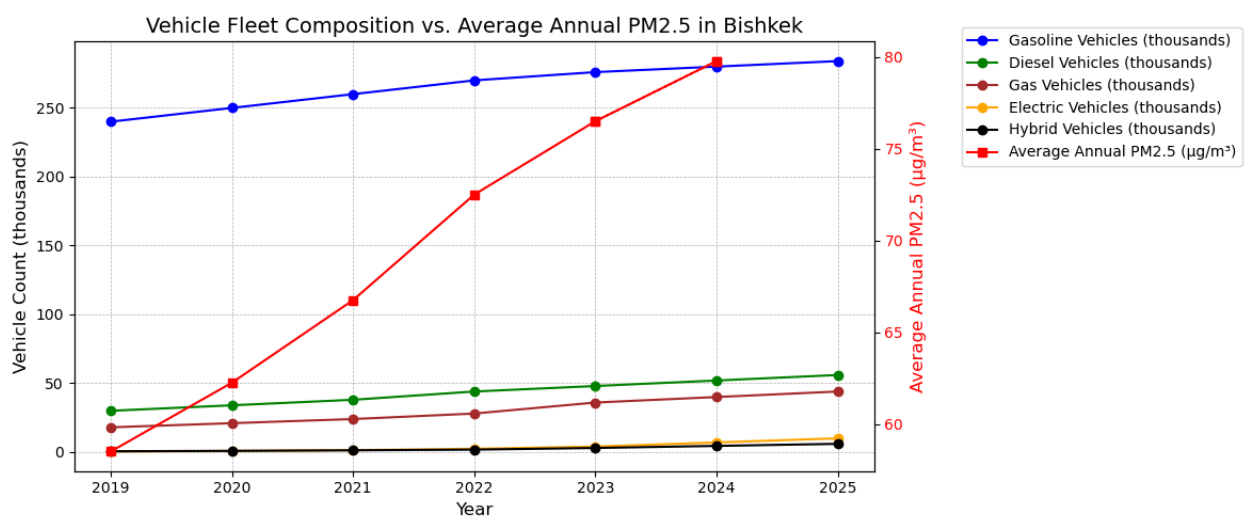


Рисунок 3 – Сравнение роста количества автотранспорта с уровнем загрязнённости атмосферного воздуха в Бишкеке

Рост числа дизельных автомобилей в структуре автопарка (с 10% в 2019 году до 12% в 2025) особенно заметен в холодное время года, поскольку их выбросы сажи и оксидов азота хуже рассеиваются. В летние месяцы более значимым становится вклад бензиновых и газовых автомобилей. Это связано с увеличением пробега и нагрузки на дорожно-транспортную сеть [4,8,9].

Динамика показателей загрязнения воздуха в Бишкеке отражает сложное взаимодействие трёх групп факторов: структуры автопарка, режима его использования и метеоусловий. Рост числа транспортных средств действительно усиливает нагрузку на экологическую ситуацию, но без учёта сезонных особенностей и бытовых источников картина остаётся неполной.

Географический фактор: пространственная неоднородность трафика и загрязнения воздуха в Бишкеке

На карте (рис. 4) видно, что наибольшая транспортная нагрузка сосредоточена в центральной части города. Красные и жёлтые линии, где показатель V/C (Volume-to-Capacity) превышает 1,2–1,5, соответствуют наиболее перегруженным улицам. К ним относятся проспект Чуй, улицы Московская, Токтогула, Ибраимова и бульвар Молодой Гвардии, а также прилегающие перекрёстки, в том числе в районе Ошского рынка и площади Ала-Тоо. Здесь фиксируются наиболее серьёзные задержки движения, что подтверждается данными ЛСА [19].

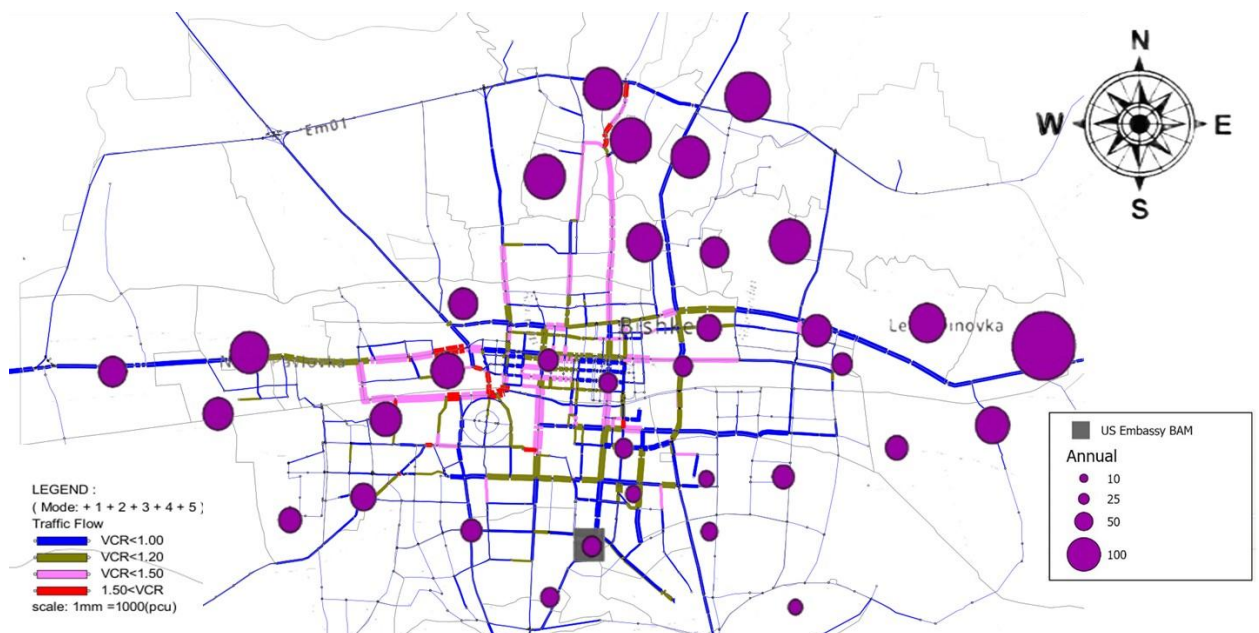


Рисунок 4 – Совмещённая карта загруженности транспортной сети Бишкека по показателю V/C (отношение интенсивности движения к пропускной способности улиц; данные ЛСА) и среднегодовых концентраций $PM_{2.5}$ по точкам городской сети мониторинга [12,14]

В то же время наиболее высокие среднегодовые уровни загрязнения воздуха по показателю $PM_{2.5}$ наблюдаются не в центре, а на северных и северо-восточных окраинах Бишкека. Крупные маркеры на карте отражают концентрации, которые значительно превышают показатели центральных районов. Эта ситуация на первый взгляд может

показаться парадоксальной: при свободных дорогах фиксируется более высокий уровень загрязнений. Однако исследования показывают, что такая пространственная асимметрия объясняется прежде всего вкладом отопления в частном секторе, где широко используется твёрдое топливо. Зимой именно эти районы формируют значительную часть загрязнения, особенно в условиях температурных инверсий и слабого ветра.

Транспортные выбросы и загрязнение воздуха распределяются по городу по-разному. Автотранспорт оказывает наиболее заметное влияние на качество воздуха в часы пик и вблизи загруженных магистралей и узлов, таких как проспект Чуй × улица Фучика или Московская × Молодой Гвардии. Здесь локально могут фиксироваться превышения по диоксиду азота и частицам сажи, что подтверждается наблюдениями сети мониторинга. Однако в среднем по городу более высокий уровень загрязнения формируется на периферии, где вклад отопления и неблагоприятные метеоусловия оказываются решающими факторами.

Карта демонстрирует различие в природе источников: транспорт формирует локальные и кратковременные пики загрязнения, а отопление – фоновый и длительный рост концентраций. В результате среднегодовые показатели $PM_{2.5}$ оказываются выше именно в жилых районах на окраинах, тогда как перегруженный центр вносит вклад прежде всего в краткосрочные эпизоды ухудшения качества воздуха.

Метеорологические факторы и их влияние на качество воздуха в Бишкеке

Качество атмосферного воздуха в Бишкеке определяется не только объёмом выбросов автотранспорта, но и метеорологическими условиями, которые формируют способность атмосферы к самоочищению. Даже при сопоставимой транспортной нагрузке зимой и летом показатели загрязнения воздуха отличаются в несколько раз. Это связано с осадками, ветровым режимом и температурными инверсиями, которые в комплексе определяют рассеивание или, напротив, накопление загрязняющих веществ в городской среде.

Таблица 3 – Среднее количество осадков в Бишкеке по сезонам (2019–лето 2025 гг.)

Год	Зима (мм)	Весна (мм)	Лето (мм)	Осень (мм)
2019	88	151	110	94
2020	92	148	107	90
2021	95	156	112	97
2022	91	149	109	92
2023	94	152	113	95
2024	90	147	108	91
2025	87	144	115	–

Количество осадков прямо связано с процессами вымывания твёрдых частиц ($PM_{2.5}$ и PM_{10}) из атмосферы. Весна и лето характеризуются более частыми и интенсивными дождями, что приводит к заметным краткосрочным улучшениям качества воздуха. Напротив, зимой и осенью при минимуме осадков и высокой нагрузке на отопительные системы концентрации загрязняющих веществ остаются наибольшими.

Таблица 4 – Средняя скорость ветра в Бишкеке по сезонам (2019–лето 2025 гг.)

Год	Зима (м/с)	Весна (м/с)	Лето (м/с)	Осень (м/с)
2019	0.9	1.3	1.8	1.1

2020	0.8	1.4	1.7	1.0
2021	1.0	1.5	1.9	1.2
2022	0.9	1.4	1.8	1.1
2023	0.8	1.3	1.7	1.0
2024	0.9	1.5	1.9	1.2
2025	1.0	1.6	2.0	–

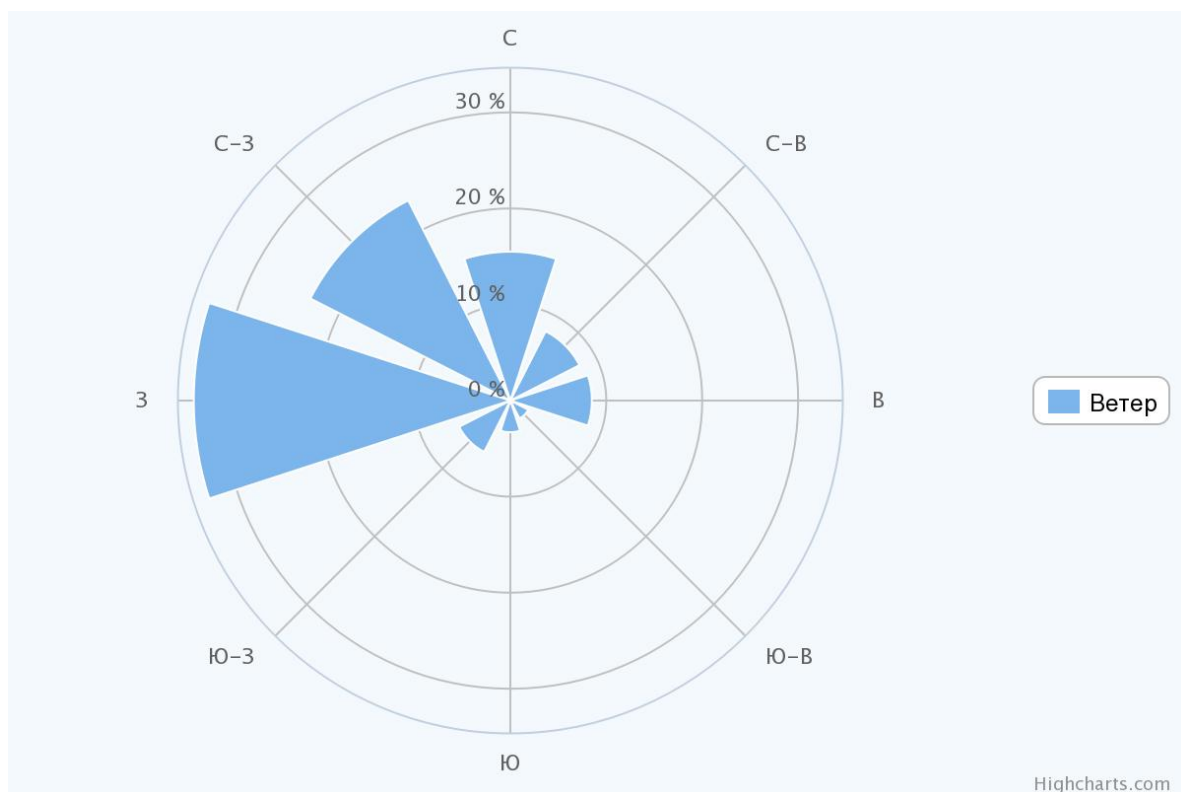


Рисунок 5 – Роза ветров Бишкека (2019 –2024 гг.)

Ветровая циркуляция в Бишкеке крайне слабая: среднегодовые скорости ветра редко превышают 2 м/с. Зимой преобладают штиль и слабые западные ветра, что способствует формированию застойных зон и накоплению загрязняющих веществ. Летом ситуация улучшается: рост скорости ветра и более частые порывистые ветра усиливают перемешивание воздуха и снижают концентрации частиц. Особое значение имеет направление ветров (рис. 5): западные и северо-западные потоки переносят загрязняющие вещества в восточные и юго-восточные районы города [12,13].

Таблица 5 – Средняя температура воздуха в Бишкеке по сезонам (2019–лето 2025 гг.)

Год	Зима (°C)	Весна (°C)	Лето (°C)	Осень (°C)
2019	–3.2	+12.3	+24.7	+11.1
2020	–2.9	+12.1	+24.4	+11.3
2021	–3.5	+11.9	+25.1	+10.9
2022	–3.3	+12.4	+25.0	+11.2
2023	–2.8	+12.6	+24.9	+11.4
2024	–3.1	+12.0	+24.8	+11.0
2025	–2.7	+12.2	+25.2	–

Температурный режим оказывает ключевое влияние на формирование инверсий (рис. 6). В зимний период в долине нередко возникает ситуация, при которой тёплый воздух остаётся в верхних слоях, а холодный, насыщенный выбросами транспорта и отопительных систем, задерживается у поверхности. При штиле и отсутствии осадков

такие условия приводят к формированию устойчивого смога, который может сохраняться неделями. Летом, напротив, вертикальная конвекция способствует рассеиванию загрязнителей, что объясняет более низкие средние концентрации $PM_{2.5}$ даже при высокой транспортной активности.



Рисунок 6 – Схема температурной инверсии [15]

Метеорологические факторы играют определяющую роль в формировании качества воздуха в Бишкеке. При высоком числе автомобилей именно слабый ветер, редкие осадки и температурные инверсии создают условия для накопления смога. Зимой транспортные выбросы становятся особенно опасны, так как их рассеивание почти не происходит. Это подтверждает необходимость учитывать климатические и погодные условия при интерпретации данных о загрязнении воздуха и при разработке стратегий снижения экологических рисков [15,16].

Роль автотранспорта на фоне других источников загрязнения воздуха в Бишкеке

По данным первого комплексного моделирования источников $PM_{2.5}$ для Бишкека, выполненного Всемирным банком, автотранспорт – второй по значимости источник взвешенных частиц; его вклад колеблется от 17% весной до 30% зимой. Зимой доминирует бытовое угольное отопление частного сектора (до 40%), летом резко возрастает доля природно-пылевых аэрозолей (до 60%). Вклад ТЭЦ/котельных достигает 15% зимой, строительная и дорожная пыль держится около 10% круглый год; промышленность и сжигание отходов дают малую долю (2% и 1%). Эти величины относятся к вкладу в концентрации $PM_{2.5}$, а не к выбросам по массе.

Таблица 6 – Относительный вклад основных источников в концентрации $PM_{2.5}$ в Бишкеке (по сезонам) на основании отчётов Всемирного банка 2022–2023 гг.

«—» означает отсутствие данных о	Вклад	источника	в	концентрацию	$PM_{2.5}$
----------------------------------	-------	-----------	---	--------------	------------

вкладе источника	в воздухе Бишкека по сезонам			
Источник	Зима	Весна	Лето	Осень
Бытовое отопление (уголь в частной застройке)	до 40%	–	–	–
Автотранспорт	до 30%	17%	–	–
Природно-пылевые аэрозоли (вне города, пыльные шторма)	–	–	до 60%	–
Электро- и теплоэнергетика (ТЭЦ и котельные)	до 15%	–	–	–
Городская/дорожная пыль (ресуспендированная, стройплощадки)	10%	10%	10%	10%
Промышленные источники	~2%	~2%	~2%	2%
Открытое сжигание отходов	~1%	~1%	~1%	~1%

В ранних обзорах и политических документах оценивались выбросы по секторам (тонны загрязнителей) и «совокупные загрязнители» (NO_x , CO и др.). В такой метрике автотранспорт действительно доминирует в городах региона, и для Кыргызстана/Бишкека встречается оценка «до 75% городских загрязнителей». Но это не тождественно вкладу в концентрацию $\text{PM}_{2.5}$, которая определяет здоровье и стандарты качества воздуха. Сравнение должно проводиться в одной и той же метрике (концентрации $\text{PM}_{2.5}$).

Зимние «пики» $\text{PM}_{2.5}$ сконцентрированы по модели (рис. 4) в северных и восточных районах, где много индивидуальной застройки вне системы ЦТП. Это согласуется с сетью датчиков, но не означает, что транспорт «не важен»: в те же периоды вклад транспорта достигает 30% и усиливает суммарные показатели, особенно вдоль коридоров высокой нагрузки.

Для NO_2 и черного углерода транспорт часто является доминирующим городским источником, а локально – основным фактором краткосрочных пиков у крупных магистралей. Но для задач охраны здоровья ключевой целевой показатель – среднесуточные/среднегодовые концентрации $\text{PM}_{2.5}$, где зимой главенствует бытовое отопление, а летом – природная пыль. Это объясняет, почему на сводных графиках (рис. 3) рост автопарка не полностью характеризует линейный рост $\text{PM}_{2.5}$: сезонные и метеорологические эффекты меняют картину быстрее, чем автопарк.

Оценка эффективности политик и инициатив по снижению транспортного вклада в загрязнение воздуха в Бишкеке

За последние годы Бишкек перешёл от точечных закупок экологически безопасного автотранспорта к комплексным программам: «зелёный» город, электрификация автобусного парка и обновление маршрутной сети. В городе реализуются следующие ключевые инициативы:

1) Обновление общественного транспорта: автобусы на CNG и электробусы

Одним из наиболее заметных шагов стало поступление в 2024 году более ста автобусов, работающих на сжатом природном газе (CNG), закупленных при поддержке ЕБРР. По расчётам проекта использование CNG вместо дизельного топлива позволяет сократить выбросы оксидов азота на 70% и углекислого газа почти на 40%. Вслед за этим Азиатский банк развития инициировал программу закупки около 120 электробусов и строительства зарядной инфраструктуры [18,21].

Эти меры имеют важное значение прежде всего для снижения концентраций NO_2 и чёрного углерода вблизи магистральных улиц. Именно вдоль этих транспортных

коридоров фиксируется наибольшая экспозиция населения к загрязнителям. Однако сам эффект оказывается сильно зависим от организации дорожного движения. При отсутствии выделенных полос и приоритета для общественного транспорта экологические преимущества снижаются, поскольку новые автобусы всё равно простаивают в пробках, теряя часть своей эффективности.

Параллельно с обновлением автобусного парка власти Бишкека приняли решение о свертывании троллейбусной сети, что вызвало значительный общественный резонанс. Эксперты и экологические активисты подчёркивают, что троллейбусы, будучи полностью электрическим видом транспорта, имели несомненные преимущества с точки зрения выбросов, особенно в условиях высокой загруженности магистралей. Их замена преимущественно на автобусы, даже на газовом топливе, воспринимается как шаг назад в экологической политике. Критики отмечают, что отказ от троллейбусной системы противоречит мировым тенденциям, где именно электротранспорт становится ключевым инструментом борьбы с загрязнением воздуха. [17,19]

2) «Зелёный» план города и программы «чистого воздуха»

Бишкек одним из первых городов региона разработал Green City Action Plan (GCAP), в котором транспорт рассматривается как ключевой сектор для снижения загрязнения и выбросов парниковых газов. Параллельно был подготовлен план Clean Air Action Plan, предусматривающий меры по управлению эпизодами высокого загрязнения и структурные изменения транспортной системы.

Значимость этих документов заключается в том, что они впервые формируют единый пакет действий, связывающий экологические приоритеты с транспортными проектами. Появились чёткие целевые показатели, например, доля «чистого» общественного транспорта или средняя скорость его движения. Вместе с тем реализация пока идёт медленно и неравномерно. На практике сохраняется разрыв между стратегическим планированием и управлением землепользованием, парковочной политикой, регулированием трафика. Это создаёт риск того, что даже масштабное обновление автобусного парка не приведёт к заметному снижению загрязнения, если не будут устранены системные проблемы загруженности дорог.

3) Топливные стандарты и технический контроль

На уровне Евразийского экономического союза, в который входит Кыргызстан, действует требование соответствия стандарту Euro-5 для топлива и автотранспорта. Теоретически это должно ограничить ввоз автомобилей с высокими выбросами и улучшить качество топлива. Однако в действительности эффект оказывается ограниченным из-за недостаточного контроля. В Бишкеке нередко фиксируются случаи использования топлива низкого качества, а также эксплуатации автомобилей с удалёнными нейтрализаторами или сажевыми фильтрами [10,16].

Таким образом, сами по себе стандарты и техрегламенты имеют высокий потенциал снижения выбросов, особенно от старых дизельных машин. Но без действенного механизма контроля за их соблюдением экологический эффект остаётся скорее номинальным. К тому же вопросы диагностики автопарка и технического осмотра пока далеки от системного решения.

Заключение

Влияние автотранспорта на качество воздуха в Бишкеке проявляется в нескольких ключевых аспектах и имеет как прямой, так и косвенный характер. Основным источником

загрязнения — выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания, содержащие оксиды азота (NO_x), углеродные соединения (CO , CO_2), твердые частицы ($\text{PM}_{2.5}$ и PM_{10}), а также летучие органические соединения (ЛОС).

В Бишкеке транспортное загрязнение имеет ярко выраженный сезонный характер. Зимой, когда температура воздуха низкая и происходит инверсия температур, выхлопные газы задерживаются вблизи поверхности, что приводит к резкому росту концентраций твердых частиц и оксидов азота. Летом, при высокой солнечной активности, увеличивается фотохимическая трансформация ЛОС и NO_x , что способствует образованию озона и ухудшению качества воздуха в дневные часы. Географические особенности города — окружение горами и расположение в долине — дополнительно способствуют локальной концентрации загрязняющих веществ, замедляя их рассеивание.

Помимо прямого влияния на химический состав воздуха, транспорт влияет на аэродинамику городского пространства. Интенсивное движение на магистралях создает локальные турбулентные зоны, где частицы взвешенного вещества удерживаются дольше, а пыль с дорожного покрытия поднимается в воздух. Исследования показали, что в районах с высокой плотностью автотранспорта концентрация $\text{PM}_{2.5}$ и NO_2 может превышать санитарные нормы в несколько раз по сравнению с менее загруженными микрорайонами.

Комплексный анализ данных о движении транспорта, метеоусловиях и уровне загрязнений позволяет выявить закономерности: увеличение числа автомобилей на 10% в пиковые часы приводит к росту концентрации NO_2 на 5–7% в ближайших жилых зонах. Сочетание этих данных с картами загруженности дорог и характеристиками автопарка дает возможность моделировать потенциальные изменения качества воздуха при внедрении экологических стандартов или изменении транспортной инфраструктуры.

Источники и литература

1. IQAir. World Air Quality Ranking, 2024. URL: <https://www.iqair.com/world-air-quality-ranking> (дата обращения 20.08.2025)
2. Н. Осмонова, Б. Асылбек, У. Тилляева «Критический момент наступил». Смог в городах Центральной Азии и почему власти вяло с ним борются // Радио Азаттык, 2024. URL: <https://rus.azattyk.org/a/smog-v-gorodah-tsentralnoy-azii-i-pochemu-vlasti-vyalo-s-nim-boryutsya/33242730.html> (дата обращения 20.08.2025)
3. Д.В. Глазунов, Б.С. Ордобаев, С.С. Тимофеев. Мониторинг состояния атмосферного воздуха города Бишкека Кыргызской Республики для оценки эффективности проводимых природоохранных мероприятий // Кыргызско-Российский Славянский университет, Бишкек, Кыргызская Республика, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия, 2024. URL: [\[https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-sostoyaniya-atmosfernogo-vozduha-goroda-bishkeka-kyrgyzskoy-respubliki-dlya-otsenki-effektivnosti-provodimyh/viewer\]](https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-sostoyaniya-atmosfernogo-vozduha-goroda-bishkeka-kyrgyzskoy-respubliki-dlya-otsenki-effektivnosti-provodimyh/viewer) (дата обращения 20.08.2025)
4. Экологическая безопасность и транспорт, А. К. Ибраев. — Бишкек: Илим, 2019. — 210 с. — С. 73–79. — URL: <https://drive.google.com/file/d/1SUAYNWMIzJIFWVu10HzqLgixAqXdSe4o/view> (дата обращения: 22.08.2025).
5. Экономические аспекты совершенствования эколого-экономической безопасности автотранспорта. — Бишкек: НАН КР, 2019. — 156 с. — С. 58–65. — URL:

- https://drive.google.com/file/d/1Ch_ppqZpFc312EykedERY33ZSao5sN8e/view (дата обращения: 25.08.2025).
6. Исследование инноваций в сфере экологической безопасности транспорта мегаполиса. – Бишкек: Академия управления при Президенте КР, 2020. – 103 с. – С. 41–49. – URL: <https://drive.google.com/file/d/1dlTzjtBGaSRBOJRNxtHHS60rV9QZyeA/view> (дата обращения: 25.08.2025).
7. Актуальные вопросы стратегии экологически устойчивого транспорта. – Бишкек: Илим, 2022. – 82 с. – С. 25–34. – URL: <https://drive.google.com/file/d/1Xrstz1p37aeLQRJs0reL1YZTOGec14c6/view> (дата обращения: 25.08.2025).
8. Качество воздуха в Бишкеке : аналитический отчет. – Бишкек: ОФ «Город и транспорт», 2022. – 38 с. – С. 15–21. – URL: <https://drive.google.com/file/d/1DxhXzOVVRTkdUTVR25wrXOWUaPCHUIYv/view> (дата обращения: 25.08.2025).
9. Анализ качества воздуха в Бишкеке : ежегодный доклад. – Бишкек: НСК КР, 2023. – 52 с. – С. 24–29. – URL: https://drive.google.com/file/d/1XJgaj8nqyKVxptMpZFV78h_QvjP8qT-l/view (дата обращения: 25.08.2025).
10. Концепция экологической безопасности Кыргызской Республики (проект). – Бишкек: Госагентство по охране окружающей среды, 2023. – 44 с. – С. 9–12. – URL: <https://drive.google.com/file/d/11arIAihU5tTsSoQdRNloHH87C9g5iIDt/view> (дата обращения: 25.08.2025).
11. Общественный экотранспорт. Большие проблемы vs чистое будущее планеты. – Google Docs, 2023. – URL: <https://docs.google.com/document/d/1G21qOS-sYmvlndnyhp-Fmy4KwgObVbay5/edit?usp=sharing> (дата обращения: 25.08.2025).
12. Глазунов Д.В., Ордобаев Б.С., Сметанкин Я.Д. Мониторинг загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города Бишкека Кыргызской Республики // XXI век. Техносферная безопасность. – 2024. –Т. 9. No 1. – С. 45–57. URL: <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2024-9-1-45-57>. EDN: HXLQUV.
13. Мониторинг состояния атмосферного воздуха в Бишкеке. – Бишкек: Госагентство по охране окружающей среды, 2024. – 52 с. – С. 22–30. – URL: https://drive.google.com/file/d/150EsBOANxx7nnGWYoEjRQ8V-run6Pd_g/view (дата обращения: 25.08.2025).
14. JICA. The Study on Bishkek Urban Transport Improvement Project. Final Report. – Tokyo: Japan International Cooperation Agency (JICA), 2019. – 326 p. – P. 114. – URL: <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12127619.pdf> (дата обращения: 02.09.2025).
15. WHO. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2021. – Geneva: World Health Organization, 2021. – 91 p. – P. 15–17. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228> (дата обращения: 02.09.2025).
16. UNECE. Air Pollution and Human Health: Report. – Geneva: United Nations Economic Commission for Europe, 2022. – 102 p. – P. 33–40. – URL: <https://unece.org/environment-policy/air-pollution-and-health> (дата обращения: 02.09.2025).
17. Times of Central Asia. *Bishkek Activists Demand Comeback for City's Scrapped Trolleybuses* // The Times of Central Asia. – 2 апр. 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://timesca.com/bishkek-activists-demand-comeback-for-citys-scrapped-trolleybuses/> (дата обращения: 08.09.2025).

18. European Bank for Reconstruction and Development. *Greener public transport for Bishkek* // EBRD News. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ebrd.com/home/news-and-events/news/2024/greener-public-transport-for-bishkek.html> (дата обращения: 08.09.2025).
19. Times of Central Asia. *End of the Trolleybus: Bishkek Authorities Abandon Eco-Friendly Transport Option* // The Times of Central Asia. – 25 нояб. 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://timesca.com/end-of-the-trolleybus-bishkek-authorities-abandon-eco-friendly-transport-option/> (дата обращения: 08.09.2025).
20. Независимая газета. *Бишкек задыхается от смога* // Независимая газета. – 22 янв. 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ng.ru/cis/2025-01-22/5_9176_parliament.html (дата обращения: 08.09.2025).
21. Akchabar. *A new depot for electric buses has opened in Bishkek* // Akchabar. – 28 авг. 2025. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.akchabar.kg/en/news/v-bishkeke-otkrili-novoe-depo-dlya-elektrobusov-bcbyzkwairmkjeiz> (дата обращения: 08.09.2025).