



ООН 
программа по
окружающей среде



КАЧЕСТВО ВОЗДУХА В БИШКЕКЕ

ОЦЕНКА ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ И ДОРОЖНАЯ КАРТА
ДЛЯ СОДЕЙСТВИЯ УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ВОЗДУХА

Октябрь 2022



КАЧЕСТВО ВОЗДУХА В БИШКЕКЕ

**ОЦЕНКА ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ И ДОРОЖНАЯ КАРТА
ДЛЯ СОДЕЙСТВИЯ УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ВОЗДУХА**

Октябрь 2022

© 2022 Программа развития ООН в Кыргызской Республике и Программа ООН по окружающей среде

Данная публикация может быть воспроизведена полностью или частично в любой форме в образовательных или некоммерческих целях без специального разрешения правообладателя при условии ссылки на источник. ЮНЕП, ПРООН в Кыргызской Республике и Финский метеорологический институт хотели бы получить экземпляры всех документов, в которых данная публикация будет использована в качестве источника.

Запрещается использование настоящей публикации в целях перепродажи или в любых других коммерческих целях без предварительного письменного разрешения. Запросы на получение такого разрешения с указанием цели и объема воспроизведения следует направлять на имя директора Отдела коммуникаций Программы ООН по окружающей среде (Р. О. Вох 30552, Nairobi 00100, Кения), а также в ПРООН в Кыргызской Республике (Дом ООН, пр. Чуй, 160, г. Бишкек 710040).

Отказ от ответственности

Использованные в настоящей публикации названия и представление материалов не являются выражением со стороны Организации Объединённых Наций какого-либо мнения относительно правового статуса какой-либо страны, территории, города или района или их соответствующих органов управления, равно как и линий разграничения или границ.

Упоминание какой-либо коммерческой компании или продукта в настоящем документе не означает одобрения со стороны Программы развития ООН, Программы ООН по окружающей среде или авторов. Использование содержащейся в настоящем документе информации в рекламных целях не допускается. Названия и символы торговых знаков используются в редакционной манере без намерения нарушать законы о товарных знаках или авторских правах.

Мнения, выраженные в данной публикации, принадлежат авторам и не обязательно отражают точку зрения ЮНЕП и ПРООН в Кыргызской Республике. Ошибки или упущения, которые могут содержаться в публикации, допущены ненамеренно.

© Карты, фотографии и иллюстрации в соответствии с указанными сведениями. Рекомендуемая ссылка: ПРООН и ЮНЕП (2022). **Качество воздуха в Бишкеке: Оценка источников выбросов и дорожная карта для содействия управлению качеством воздуха.** Бишкек и Найроби.

СОДЕРЖАНИЕ

Выражение признательности.....	6
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	7
РЕЗЮМЕ ДЛЯ ЛИЦ, ПРИНИМАЮЩИХ РЕШЕНИЯ.....	9
ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕЗЮМЕ.....	14
ЧАСТЬ I – ШАГИ ПО РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА	
В БИШКЕКЕ.....	15
1 ВВЕДЕНИЕ.....	15
2 ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА.....	17
2.1 Основные загрязняющие вещества: определения и основные источники.....	19
2.2 Обновленные Глобальные рекомендации Всемирной организации здравоохранения по качеству воздуха.....	22
2.3 Гендерный аспект загрязнения воздуха.....	24
3 КЛЮЧЕВЫЕ ВЫВОДЫ.....	25
3.1 Загрязнение воздуха в Бишкеке.....	25
3.2 Основные источники выбросов.....	26
3.2.1 Влияние выбросов ТЭЦ на качество воздуха в Бишкеке.....	26
3.2.2 Влияние выбросов от транспортных средств на качество воздуха в Бишкеке.....	32
3.2.3 Влияние выбросов от бытового отопления (не связанных с ТЭЦ) на качество воздуха в Бишкеке.....	32
4 ОСНОВЫ ПОЛИТИКИ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ВОЗДУХА.....	37
4.1 Действующее законодательство.....	37
4.2 Текущий план по улучшению экологической ситуации в Бишкеке.....	39
4.3 Основные выявленные источники выбросов и соответствующая приоритетная политика.....	40
4.4 Дорожная карта для реализации приоритетных политик и мер.....	42
4.5 Координация между различными заинтересованными сторонами и донорами.....	44
4.6 Рекомендации по укреплению системы управления качеством воздуха.....	45
4.6.1 Улучшение качества и охвата сети наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха.....	45
4.6.2 Процесс управления качеством воздуха.....	48
4.6.3 Доступность данных.....	49
4.6.4 Предварительная дорожная карта приоритетных мероприятий.....	50
4.7 Рекомендации для периодов ухудшения качества воздуха.....	52
4.7.1 Эпизоды с высокими и экстремально высокими уровнями загрязнения атмосферного воздуха.....	52
4.7.2 Рекомендации для периодов ухудшения качества атмосферного воздуха.....	52

СОДЕРЖАНИЕ

ЧАСТЬ II – НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ.....	55
5 СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О КАЧЕСТВЕ ВОЗДУХА В БИШКЕКЕ.....	55
5.1 Бишкек, Кыргызская Республика.....	55
5.2 Метеорологические условия в Бишкеке.....	56
6 АНАЛИЗ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЗАГРЯЗНЕНИЕМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В БИШКЕКЕ.....	60
6.1 Автоматическая станция наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха Кыргызгидромета.....	60
6.2 Стационарная автоматическая станция мониторинга Посольства США, платформа AirNow.....	74
6.3 Сравнение данных по $PM_{2.5}$ со станций Кыргызгидромета и Посольства США.....	74
6.4 Сети датчиков качества воздуха.....	75
7 СПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ.....	79
7.1 Спутниковые наблюдения за NO_2	80
7.2 Спутниковые наблюдения за SO_2	83
7.3 Спутниковые наблюдения за аэрозолями.....	83
8 ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ВЫБРОСОВ.....	85
8.1 Введение.....	85
8.2 Методология инвентаризации выбросов.....	86
8.3 Инвентаризация выбросов по секторам.....	86
8.3.1 Теплоэлектроцентраль Бишкека и централизованное теплоснабжение.....	86
8.3.2 Промышленное сжигание топлива.....	87
8.3.3 Сжигание топлива в жилых и коммерческих/институциональных объектах/организациях.....	87
8.3.4 Дорожный транспорт.....	88
8.3.5 Прочий транспорт и передвижная техника.....	90
8.3.6 Неорганизованные выбросы, промышленные процессы и использование продуктов.....	91
8.3.7 Сельское хозяйство.....	92
8.3.8 Управление отходами.....	92
8.4 Оценка исторических выбросов и прогнозы.....	93
8.4.1 Качество кадастра выбросов.....	93
8.4.2 Оксиды азота (NO_x).....	94
8.4.3 Мелкодисперсные твёрдые частицы ($PM_{2.5}$).....	95
8.4.4 Оксиды серы (SO_x , в частности SO_2).....	96
8.4.5 Неметановые летучие органические соединения (НМЛОС).....	97
8.4.6 Другие загрязняющие вещества.....	98

СОДЕРЖАНИЕ

8.4.7 Совершенствование инвентаризации выбросов.....	99
9 ПРОГНОЗНЫЕ СЦЕНАРИИ ВЫБРОСОВ.....	101
9.1 Обзор сценариев выбросов.....	102
9.2 Выбросы NO _x при различных сценариях.....	106
9.3 Выбросы PM _{2,5} при различных сценариях.....	108
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	110

Выражение признательности

Программа развития Организации Объединённых Наций (ПРООН) и Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) хотели бы выразить признательность следующим лицам за их вклад в проведение данного исследования.

Авторы:

Г-жа Катя Ловен, заведующая отделом качества воздуха и энергетики, Финский метеорологический институт (ведущий автор)

Г-жа Салла Пюкяри, эксперт по качеству воздуха, Финский метеорологический институт

Г-жа Пиа Анттила старший научный сотрудник, Финский метеорологический институт

Г-жа Ану-Майя Сундстрём, старший научный сотрудник, Финский метеорологический институт

Г-н Харри Пиетарила, директор отдела экспертных услуг, Финский метеорологический институт

Д-р Жерар Берлиу, директор, CHEM-EXP

Г-жа Елена Татаркова, заместитель руководителя национальной команды экспертов

Г-жа Мария Колесникова, заместитель консультанта по взаимодействию с заинтересованными сторонами, национальная команда экспертов

Г-жа Каныкей Кадырова, заместитель консультанта по качеству воздуха, национальная команда экспертов

Г-жа Меерим Шамудинова, местный специалист по поддержке проекта

Д-р Крис Дор, директор, Aether Ltd

Рецензенты:

Айзада Бариева, Жан-Люк Бесомб, Жамал Кадоева, Ольга Корнюхова, Лаура Маликова, Киртан Чандра Саху, Александра Шильич Томич и Райан Шмеддинг.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АООС США	Агентство по охране окружающей среды США
АОТ	аэрозольная оптическая толщина/толща
АУЦА	Американский университет в Центральной Азии
ВВП	валовой внутренний продукт
ВМО	Всемирная метеорологическая организация
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ЕС	Европейский Союз
КВ	качество воздуха
КР	Кыргызская Республика
КТЗВБР	Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния
Кыргызгидромет	Гидрометеорологическая служба при Министерстве чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики
МГЭИК	Межправительственная группа экспертов по изменению климата
НМЛОС	неметановое летучее органическое соединение
НПО	неправительственная организация
НСК	Национальный статистический комитет Кыргызской Республики
ОК/КК	обеспечение качества/контроль качества
ОНУВ	определяемый на национальном уровне вклад
ПАУ	полициклические ароматические углеводороды
ПДК	предельно допустимая концентрация
ПДК _{мр}	максимальная разовая предельно допустимая концентрация
ПДК _{сс}	среднесуточная предельно допустимая концентрация
ПНЗ	пункт наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха
ПРООН	Программа развития Организации Объединённых Наций
СОЗ	стойкие органические загрязнители
СПНЗ	сеть пунктов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха
США	Соединенные Штаты Америки
ТЭЦ	теплоэлектроцентраль
ЮНЕП	Программа Организации Объединённых Наций по окружающей среде
ЮНИДО	Организация Объединённых Наций по промышленному развитию
ЮНИСЕФ	Детский фонд Организации Объединённых Наций

AQI	Индекс качества воздуха
CO	монооксид углерода/окись углерода/угарный газ
EEA	Европейское агентство по охране окружающей среды
EMEP	Европейская программа мониторинга и оценки
FMI	Финский метеорологический институт
MODIS	сканирующий спектрорадиометр среднего разрешения
NASA	Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства
NO	монооксид азота/окись азота
NO _x	оксиды азота
NO ₂	диоксид азота/двуокись азота
O ₃	озон
OMI	прибор для мониторинга озона
PM ₁₀	твёрдые частицы (диаметром менее 10 мкм)
PM _{2.5}	твёрдые частицы (диаметром менее 2,5 мкм)
PM _{1.0} / PM ₁	твёрдые частицы (диаметром менее 1,0 мкм)
SO ₂	диоксид серы/двуокись серы
TROPOMI	прибор для изучения тропосферы
TSP	общее количество твёрдых частиц

РЕЗЮМЕ ДЛЯ ЛИЦ, ПРИНИМАЮЩИХ РЕШЕНИЯ



1. Данное исследование является первым всесторонним анализом основных источников выбросов и их влияния на концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха в Бишкеке. Таким образом, оно впервые предоставляет научно обоснованные данные о состоянии атмосферного воздуха для разработки политики лицами, принимающими решения.

В ходе исследования были изучены данные наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха (2015–2021 гг.), разработаны и проанализированы кадастры выбросов, проведено моделирование рассеивания на местном уровне и изучены спутниковые данные. Результаты данного исследования, включая *Дорожную карту для реализации приоритетных политик и мер*, могут быть использованы для определения первоочередных мероприятий по борьбе с загрязнением воздуха с акцентом на действия, оказывающие наибольшее положительное воздействие на здоровье населения. Это исследование представляет собой важную основу для дальнейшего изучения и анализа загрязнения воздуха; его результаты вносят существенный вклад в представление о загрязнении воздуха в Бишкеке, его источниках и воздействии, а также способах улучшения ситуации.

2. В Бишкеке плохое качество воздуха наблюдается в течение всего года, а экстремально высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха приходится на зимний отопительный период (примерно с октября по март). В период с 2010 по 2019 год

12–13 % (4100–5000) смертей в год в Кыргызской Республике были связаны с загрязнением воздуха. Затраты на здравоохранение, связанные с загрязнением воздуха в Кыргызской Республике, оценивались в 388 миллионов долларов США или 6% от валового национального дохода в 2015 году. Улучшение состояния атмосферного воздуха может уменьшить бремя таких заболеваний, как инсульт, болезни сердца, рак, хронические и острые респираторные заболевания, включая астму.

3. Снижение уровня загрязнения мелкодисперсными твёрдыми частицами (PM_{2.5}) является наивысшим приоритетом, поскольку воздействие высоких концентраций твёрдых частиц вызывает наиболее серьёзные последствия для здоровья человека. Данное исследование показало, что в Бишкеке среднегодовые концентрации PM_{2.5} составляют около 30 мкг/м³, что значительно выше национальных и всех международных (Европейского Союза, Агентства по охране окружающей среды США и Всемирной Организации Здравоохранения) гигиенических нормативов и рекомендаций (например, рекомендованное ВОЗ предельное значение для среднегодовой концентрации PM_{2.5} составляет 5 мкг/м³). Уровни концентраций PM_{2.5} достигают пика в зимнее время, во много раз превышая национальные предельно допустимые краткосрочные значения. Таким образом, действия по снижению PM_{2.5} должны иметь первостепенное значение, чтобы уменьшить подверженность населения высоким уровням концентраций твёрдых частиц и снизить вредное воздействие загрязнения воздуха на здоровье.

4. Наиболее опасные уровни загрязнения твёрдыми частицами ($PM_{2.5}$) возникают в результате отопления жилых домов с использованием угля (с высоким содержанием серы) в зимнее время, которые усугубляются неблагоприятными метеорологическими условиями, способствующих слабому перемешиванию воздушных масс. В первую очередь следует обратить внимание на необходимость снижения выбросов от жилого сектора. По результатам настоящего исследования, основной причиной высокого уровня $PM_{2.5}$ в зимнее время является отопление в жилом секторе, а именно в частных домах, не подключенных к сети теплоэлектростанции (ТЭЦ), использующих для отопления уголь низкого качества с высоким содержанием серы. Политика, стимулирующая использование домохозяйствами других источников отопления, отличных от угля, таких как тепловые насосы или электричество, обеспечиваемое за счёт значительного увеличения потенциала выработки возобновляемой энергии, способна существенно улучшить состояние воздуха в Бишкеке. Положительный эффект окажут также меры по повышению энергоэффективности новых и старых домов и зданий и снижению потребности в энергии.

5. Необходимо разработать планы действий для эпизодов с высокими и экстремально высокими уровнями загрязнения воздуха. Качество воздуха может быстро ухудшаться как на короткий, так и на длительный периоды времени. Ежедневные оповещения о состоянии атмосферного воздуха, особенно в зимнее время, могут предоставить информацию и рекомендации населению для принятия мер по защите своего здоровья.

6. Выбросы ТЭЦ оказывают ограниченное воздействие на состояние приземного слоя воздуха в Бишкеке, и поэтому действия, направленные на уменьшение выбросов на ТЭЦ, скорее всего, окажут минимальное влияние на снижение подверженности населения в Бишкеке загрязнению воздуха. В данном исследовании впервые проведено моделирование выбросов от ТЭЦ и их влияния на приземные концентрации различных загрязнителей. Согласно результатам, практически при

любых метеорологических условиях ТЭЦ оказывает незначительное влияние на приземные уровни концентраций мелких твёрдых частиц ($PM_{2.5}$), диоксида серы (SO_2) и диоксида азота (NO_2). Анализ показал, что вклад ТЭЦ в приземные концентрации $PM_{2.5}$ и PM_{10} менее 1 %, а в приземные концентрации SO_2 в других частях города — менее 10%. Таким образом, несмотря на то, что выбросы от ТЭЦ могут быть высокими по сравнению с другими источниками, ТЭЦ не является основной причиной наиболее опасных уровней загрязнения воздуха в Бишкеке в зимнее время. Благодаря высоким дымовым трубам загрязнение рассеивается по Чуйской долине в сторону от Бишкека, а также на ТЭЦ используется оборудование для контроля выбросов.

В зимнее время в Бишкеке бывают периоды, когда в результате определённых метеорологических условий перемешивание воздушных масс в приземном слое воздуха сильно затруднено, что отрицательным образом сказывается на качестве воздуха. Однако верхняя часть основной трубы ТЭЦ, как правило, расположена выше этого слоя, и, следовательно, выбросы рассеиваются на достаточно большом расстоянии от поверхности земли. Таким образом, в то время как контроль за выбросами ТЭЦ, возможно, не является самой приоритетной мерой для улучшения состояния воздуха в Бишкеке, тем не менее, важно осуществить быстрый переход от ископаемого топлива к возобновляемым источникам энергии с низким уровнем выбросов в соответствии с климатической повесткой дня.

7. Ещё одним основным источником загрязнения воздуха в Бишкеке является транспорт. Согласно кадастрам выбросов, разработанным в ходе данной оценки, автомобильный транспорт является самым крупным источником оксидов азота (NO_x) и значительным источником мелкодисперсных твёрдых частиц ($PM_{2.5}$). Наиболее пагубное воздействие на здоровье людей в городских районах обычно связано с $PM_{2.5}$, однако высокие уровни концентраций NO_x также имеют большое значение. Выбросы от дорожного движения обычно оказывают существенное влияние на качество воздуха, поскольку они попадают в воздух на приземном уровне. Среднегодовые концентрации NO_2 ,

измеренные в фоновом районе Бишкека, составляют около 40 мкг/м^3 , что превышает рекомендованные предельные значения ВОЗ, соответствуют предельному уровню ЕС и ниже предельно допустимого уровня США, установленного Агентством по охране окружающей среды США. Вполне вероятно, что концентрации NO_2 выше в условиях дорожного движения по сравнению с концентрациями, измеренными на городской фоновой станции. Требуется больше данных о транспорте, в частности, точное количество транспортных средств, характеристики автопарка, уровень активности, использование и распределение видов топлива, чтобы подготовить карты выбросов дорожной сети и показать, на какие районы Бишкека приходятся самые высокие выбросы от дорожного транспорта. Также для более точного понимания влияния выбросов от транспортных средств на уровни загрязнения воздуха необходимы наблюдения за состоянием атмосферного воздуха (особенно NO_2) в условиях дорожного движения.

8. Меры по снижению выбросов от дорожного транспорта также являются приоритетными и включают в себя снижение выбросов выхлопных газов (с помощью установки каталитических нейтрализаторов, регулирования выбросов, реформирования стандартов топлива), а также инвестирование в общественный транспорт и его существенную модернизацию. Другие меры политики, такие как постепенный вывод старых большегрузных автомобилей с городских дорог, также приведут к снижению выбросов от транспорта.

9. Улучшение управления отходами приведёт к снижению токсичных выбросов в атмосферный воздух. На территории Бишкека расположен крупный санитарный полигон — Бишкекская санкционированная свалка, где постоянно происходят неконтролируемые пожары, оказывающие сильное негативное влияние на качество воздуха в прилегающих районах. Неконтролируемое сжигание отходов приводит к образованию множества токсичных соединений и канцерогенных загрязнителей воздуха, таких как полициклические ароматические углеводороды, которые представляют угрозу

для здоровья людей, особенно живущих поблизости. Необходимо принять меры для максимально возможного контроля над пожарами. В более широком смысле улучшение управления отходами в городе, например, путём внедрения сортировки и переработки отходов, может уменьшить объём отходов, поступающих на свалку, а современные технологии переработки отходов в энергию могут быть использованы для выработки тепла и электричества.

10. При сценарии «обычного хода деятельности» к 2040 году ожидается значительное повышение уровней выбросов всех основных загрязняющих веществ. Для Бишкека был разработан кадастр выбросов, содержащий ежегодные оценки выбросов основных загрязнителей воздуха с 2000 года и прогнозы выбросов до 2040 года. По оценкам, к 2040 году выбросы $\text{PM}_{2.5}$ увеличатся на три пятых (60%) в основном за счёт увеличения выбросов от сжигания топлива в домохозяйствах; выбросы NO_x увеличатся почти на две трети (63%) преимущественно по причине увеличения выбросов от транспорта, особенно с бензиновыми двигателями; а выбросы SO_2 вырастут наполовину (50%) за счёт выбросов от ТЭЦ. Важно отметить, что объёмы выбросов не соотносятся напрямую с уровнями концентраций загрязнителей на приземном уровне. Например, источники небольших объёмов выбросов, расположенные ближе к приземному уровню, могут быть причиной более высоких уровней концентраций загрязняющих веществ, чем крупные источники загрязнителей, выбрасываемых в вышерасположенных слоях (например, через высокие дымовые трубы или дымоходы). Таким образом, для правильного определения основных причин загрязнения атмосферного воздуха на приземном уровне важно понимание контекста выбросов и, по возможности, проведение моделирования их рассеивания.

11. Возможности контроля загрязнения воздуха на уровне отдельных людей ограничены, поэтому необходимы действия со стороны разработчиков политики на местном, национальном и региональном уровнях. Сокращения выбросов можно добить-

ся во многих секторах, включая энергетику, транспорт, жилищное строительство, производство электроэнергии, управление муниципальными и сельскохозяйственными отходами. Можно расширить доступ к недорогим бытовым энергетическим решениям и повысить энергоэффективность. Выбросы от дорожного транспорта можно снизить с помощью политики «избегать-изменить-улучшать», избегая необязательного использования транспорта путём улучшения городского планирования, переходя на более экологичные виды транспорта и совершенствуя технологии, используемые в транспорте для снижения выбросов. Энергоэффективность зданий можно повысить, сократив при этом потребление энергии. Выбросы от выработки электроэнергии могут быть снижены за счёт перехода на топливо с низким уровнем выбросов и возобновляемые источники энергии, не требующие сжигания, такие как солнечная, ветровая и гидроэнергия. Стратегии, направленные на сокращение и сортировку отходов, их переработку и повторное использование, а также применение наилучших доступных технологий могут снизить выбросы от бытовых и сельскохозяйственных отходов.

12. Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха были обновлены в 2021 году и содержат оценку последствий загрязнения воздуха для здоровья, а также рекомендуемые пороговые значения концентраций вредных для здоровья человека уровней загрязнения. **Снижение загрязнения воздуха в соответствии с рекомендациями ВОЗ является первоочерёдной задачей, которая может быть выполнена путём достижения промежуточных целей за счёт поэтапного снижения высокого уровня загрязнения воздуха.**

13. Необходимо усилить управление качеством воздуха в Бишкеке для защиты от негативного воздействия загрязнения воздуха на здоровье человека и окружающую среду. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха проводится лишь частично, а разработка и внедрение политики по снижению уровней загрязнения воздуха лицами, принимающими решения, носят ограниченный характер. Существующие государственные инструменты

управления качеством воздуха недостаточны для предоставления надёжных данных о его состоянии для дальнейшей поддержки принятия решений и информирования граждан об уровне загрязнения. Для оценки качества воздуха и анализа воздействия и эффективности принятых мер по борьбе с загрязнением необходима не только надёжная, высококачественная сеть мониторинга, но и подробный высококачественный кадастр выбросов. Важно, чтобы они не только были созданы, но и функционировали/поддерживались в долгосрочной перспективе.



Наблюдение за состоянием атмосферного воздуха является одним из краеугольных камней управления качеством воздуха.

Необходимо усовершенствовать систему наблюдения за качеством воздуха в Бишкеке путём установки большего количества мониторинговых станций референтного уровня для соблюдения требований к проведению мониторинга, а также повысить потенциал экспертной организации, ответственной за эксплуатацию сети, обработку и анализ данных.

Существующая система наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха недостаточна для предоставления надёжных данных о качестве воздуха для поддержки принятия решений, информирования и защиты граждан. Станции наблюдения должны соответствовать современным стандартам качества для мониторинга загрязнения воздуха, располагаться в местах, представляющих различные условия и районы (транспорт, промышленность, городской фон и сельский фон), и измерять основные загрязнители воздуха, включая твёрдые частицы ($PM_{2.5}$ и PM_{10}), оксиды азота (NO_x , NO_2), диоксид серы (SO_2), озон (O_3) и монооксида углерода (CO). Улучшение мониторинга качества воздуха позволит получить более глубокое понимание загрязнения воздуха в Бишкеке, в том числе его пространственных вариаций, благодаря чему лица, принимающие решения, смогут реализовывать более эффективные политические меры. Создание сети наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха референтного уровня требует значительных

и долгосрочных инвестиций и затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание, но вместе с тем позволит получить точную информацию о качестве воздуха и производить данные для анализа основных источников выбросов, обеспечивая тем самым научно обоснованное формирование политики.



Малобюджетные датчики качества воздуха играют важную роль в информировании населения о загрязнении воздуха в Бишкеке и предоставлении населению оперативной информации о состоянии воздуха.

В Бишкеке растёт число недорогих датчиков и их сетей, эксплуатируемых различными организациями, включая государственную гидрометеорологическую службу. Малобюджетные датчики являются индикативными, удобными в использовании и доступными инструментами мониторинга качества воздуха. Они могут дополнять сеть референтных станций мониторинга для информирования населения о качестве воздуха в режиме реального времени. Плотные сети датчиков, такие как в Бишкеке, могут также помочь составить карту качества воздуха для всего города и использоваться для выявления наиболее загрязнённых районов и планирования расположения станций наблюдения референтного уровня. В настоящее время качество датчиков не соответствует требованиям Европейского Союза по мониторингу. Несмотря на это, они остаются бесценным инструментом для предоставления индикативной информации о состоянии атмосферного воздуха, выявления очагов загрязнения воздуха, поддержки развития более сложных сетей наблюдения и особенно важны в условиях недостатка ресурсов.



Важное значение имеет совершенствование законодательства в области охраны атмосферного воздуха, а также эффективная координация и администрирование систем, поддерживающих управление качеством воздуха.

Существующее законодательство основано на определении предельно допустимых концентраций (ПДК) и не соответствует международным нормативам, основанным на последних научных данных о негативном воздействии загрязнителей воздуха. Именно поэтому требуется совершенствование существующего законодательства. Аналогичным образом, для повышения эффективности процесса управления качеством воздуха в национальном законодательстве важно определить институт, ответственный за координацию, управление и контроль процесса борьбы с загрязнением воздуха.

14. Загрязнение атмосферного воздуха и изменение климата взаимосвязаны, и улучшение состояния воздуха является частью климатической повестки дня. Сжигание ископаемого топлива на сегодняшний день является крупнейшим источником загрязнения воздуха. Поэтому сокращение использования ископаемых видов топлива является приоритетом не только для улучшения качества воздуха, но и наиболее важной мерой для смягчения последствий изменения климата. Таким образом, подавляющее большинство мер по предотвращению загрязнения воздуха могут внести значительный вклад в смягчение последствий изменения климата и наоборот. Более того, инвестиции в меры по борьбе с изменением климата часто окупаются уже в краткосрочной перспективе за счёт сопутствующих выгод, связанных с улучшением качества воздуха, благодаря экономии средств в секторе здравоохранения.

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕЗЮМЕ

В данном отчёте представлено научное обоснование состояния атмосферного воздуха в Бишкеке, описан процесс определения основных источников выбросов, влияющих на качество воздуха, и приведена новая дорожная карта по управлению качеством воздуха в целях его улучшения. Цель исследования состояла в том, чтобы оценить качество воздуха в Бишкеке и оказать поддержку управлению в борьбе с загрязнением воздуха для улучшения ситуации.

Оценка качества воздуха, представленная в данном отчёте, основана на всестороннем анализе имеющихся данных наблюдений за состоянием атмосферного воздуха за несколько лет, полученных как со стационарных референтных автоматических станций, так и с датчиков качества воздуха, расположенных в Бишкеке. В ходе оценки также использовались метеорологические, географические и спутниковые данные. В рамках данного исследования были составлены и рассчитаны кадастры выбросов для текущей ситуации и будущих сценариев выбросов для Бишкека. Оценка качества воздуха была также подкреплена анализом конкретных примеров по отдельным источникам выбросов. Влияние теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) Бишкека и бытового отопления в частных домах было исследовано с помощью математической Гауссовой модели рассеивания атмосферных загрязнений в условиях города UDM-FMI, разработанной Финским метеорологическим институтом (FMI), для изучения влияния этих источников на загрязнение воздуха в Бишкеке. Очевидно, что выбросы от бытового отопления оказывают более значительное влияние на качество воздуха, чем выбросы от ТЭЦ. Моделирование выбросов от дорожного транспорта не проводилось из-за отсутствия исходных данных, необходимых для расчётов рассеивания.

Концентрации основных загрязнителей воздуха в Бишкеке, таких как твёрдые частицы, диоксид азота, диоксид серы и монооксид углерода, были сопоставлены с национальными и международными нормативами по качеству воздуха, а также с рекомендациями ВОЗ. Было выявлено, что концентрации большинства загрязняющих веществ в Бишкеке превышают все указанные выше нормы.

Согласно проведённому анализу, основные источники выбросов включают бытовое отопление, дорожное движение и неконтролируемое сжигание отходов. В отчёте выделены первоочерёдные направления политики, направленные на регулирование основных источников выбросов, а также приведена дорожная карта по реализации этих направлений, которая обеспечивает политическую основу для управления качеством воздуха.

Отчёт состоит из двух частей. В первой части, *«Шаги по решению проблемы загрязнения воздуха в Бишкеке»*, представлены ключевые результаты анализа и моделирования загрязнения воздуха, определены основные источники выбросов, а также описана политика по управлению качеством воздуха. Вторая часть, *«Научное обоснование»*, включает подробные технические аспекты анализа состояния атмосферного воздуха и инвентаризации выбросов, а также справочную информацию о качестве воздуха.

ЧАСТЬ I – ШАГИ ПО РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В БИШКЕКЕ



1 ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение воздуха представляет собой изменение состава чистого, природного воздуха в результате выбросов химических или физических веществ из различных источников, наиболее распространёнными из которых являются автотранспорт, промышленные предприятия, производство энергии и бытовая деятельность. Существуют также и природные источники загрязнения воздуха: извержения вулканов, пожары, в том числе лесные, пыль из пустынь/почвенная пыль и морская соль. Загрязнение воздуха вызывает проблемы со здоровьем у людей, наносит ущерб окружающей среде и объектам (зданиям, памятникам и т.д.). Мелкие частицы (PM_{2.5} и мельче) наиболее вредны для здоровья человека (WHO, 2021). Влияние таких частиц на здоровье зависит от их размера и происхождения. Чем мельче частицы, тем глубже они могут проникнуть в организм человека и тем больший вред могут нанести. Происхождение частиц определяет их химический состав и токсичность. Существует два типа частиц: первичные и вторичные (часто называемые аэрозолями). Первичные частицы выбрасываются непосредственно в атмосферу. Вторичные аэрозоли образуются в атмосфере в результате химических реакций первичных аэрозолей, например, образование капель серной кислоты и сульфатных частиц из газа диоксида серы в окружающем воздухе. Часто различные типы аэрозолей перемешиваются, образуя гибридные частицы как природного, так и антропогенного происхождения. Технически аэрозоль состоит из частиц и окружающего газа, а аэрозольные частицы — это частицы в конденсированной фазе.

В Бишкеке наблюдается сложная ситуация с загрязнением воздуха, особенно в зимний отопительный период: с октября по март. В последние годы по Индексу качества воздуха (AQI) Бишкек во время отопительного сезона возглавляет мировые рейтинги городов с наиболее загрязнённым воздухом. Плохое качество воздуха приводит к серьёзным последствиям для здоровья, в том числе к увеличению числа случаев детской астмы и заболеваемости, связанной с респираторными заболеваниями. Существующие государственные инструменты управления качеством воздуха, такие как сеть пунктов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, включающая современные и надежные мониторинговые станции, работающие в режиме реального времени, и онлайн-данные, моделирование, а также кадастр выбросов, в Бишкеке являются недостаточными для предоставления надёжных данных о качестве воздуха в целях принятия решений и информирования граждан. Это говорит о необходимости усовершенствования инструментов/систем управления качеством воздуха и проведении более детального анализа данных о качестве воздуха для содействия принятию решений и подготовке планов действий по его улучшению.

В партнёрстве с Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) Программа развития ООН (ПРООН) заключила контракт с Финским метеорологическим институтом и его субподрядчиком СНЕМ-EXP на проведение исследования качества воздуха в Бишкеке и поддержку участия заинтересованных сторон в решении вопросов загрязнения воздуха. Целью данного исследования является

проведение анализа данных текущих наблюдений за состоянием атмосферного воздуха и кадастра выбросов, выявление на его основе ключевых источников загрязнения в Бишкеке, а также предоставление рекомендаций по усилению мониторинга качества воздуха и оказанию поддержки в управлении качеством воздуха.

Этот отчёт представляет научное обоснование о качестве воздуха в Бишкеке на основе анализа доступных данных наблюдений. Эта доказательная база легла в основу дорожной карты, предлагающей действия и меры по борьбе с загрязнением воздуха в городе. Исследователи проанализировали данные стационарных станций по мониторингу загрязнения воздуха Кыргызгидромета и Посольства США, данные датчиков качества воздуха и спутниковые данные. Для оценки крупнейших источников загрязнения, которые могут оказывать значительное влияние на качество воздуха в Бишкеке, использовались кадастры выбросов. Данное исследование является первой научной оценкой основных источников выбросов, влияющих на качество воздуха в Бишкеке, основанной на анализе данных мониторинга (почасовой ход концентраций загрязняющих веществ с 2015 по 2021 год), кадастрах выбросов, моделировании рассеивания локального масштаба, спутниковых данных и данных датчиков качества воздуха. Таким образом, исследование и рекомендации основаны на данных о качестве воздуха, измеренных в режиме реального времени в Бишкеке, и представляют первые научно обоснованные рекомендации в области политики, касающейся качества воздуха.

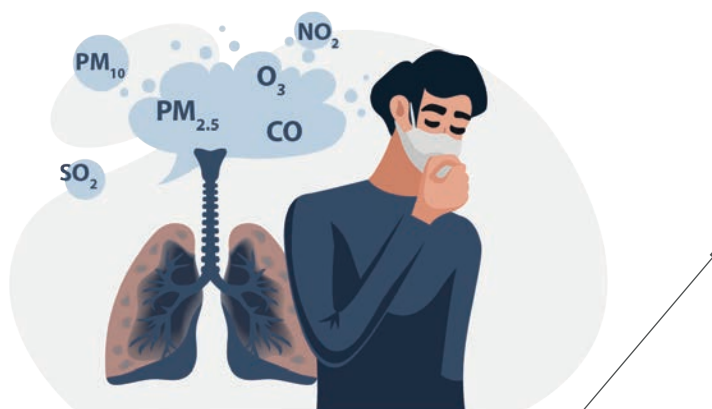
В данный момент осуществляется, а также планируется множество проектов, связанных с качеством воздуха, финансируемых различными организациями, такими как Всемирный банк (ВБ), Германское общество по международному сотрудничеству (GIZ), Азиатский банк развития (АБР), Министерство иностранных дел Финляндии, ПРООН, ЮНЕП и Детский фонд Организации Объединённых Наций (ЮНИСЕФ). Эти проекты осуществляют несколько местных организаций, в том числе общественное объединение «MoveGreen (МувГрин)» и другие, которые так или иначе поддерживают управление качеством воздуха в Бишкеке. Это первое комплексное базовое исследование по оценке загрязнения воздуха в Бишкеке, основанное на множестве различных источников данных о качестве воздуха, включая данные по загрязнению воздуха со стационарных мониторинговых станций, датчиков, спутников и кадастров выбросов, предоставляющее основанные на фактах рекомендации по улучшению управления качеством воздуха в Бишкеке.

Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха является одним из фундаментальных элементов управления качеством воздуха. Базовая оценка, включающая измерение концентрации различных загрязняющих веществ в воздухе, имеет важное значение. Сочетание данных мониторинга с данными кадастра выбросов позволяет оценить и проанализировать влияние различных источников выбросов на качество воздуха. Располагая такой информацией, лица, принимающие решения, могут разрабатывать планы по снижению выбросов с конкретными индикаторами и формулировать политику по улучшению качества воздуха. Наблюдение за качеством воздуха также необходимо для оценки воздействия и эффективности реализуемых действий и мер по предотвращению загрязнения воздуха. Тенденции изменения качества воздуха возможно проследить только в рамках долгосрочного мониторинга.

Однако сами по себе наблюдения за состоянием атмосферного воздуха не улучшают его качество; необходимы планы управления качеством воздуха, а также выработка и эффективная реализация целенаправленных мер. Это, в свою очередь, требует надлежащей координации и организации процесса управления качеством воздуха.

Следует помнить, что борьба с загрязнением воздуха и смягчение последствий изменения климата тесно связаны. Одним из основных источников загрязнения воздуха является сжигание ископаемого топлива, в то же время сокращение или прекращение использования ископаемого топлива является приоритетной мерой по смягчению последствий изменения климата. Таким образом, действия по предотвращению загрязнения воздуха могут внести значительный вклад в смягчение последствий изменения климата и наоборот. Более того, инвестиции в меры по борьбе с изменением климата часто быстро окупаются в краткосрочной перспективе за счёт сопутствующих выгод, связанных с качеством воздуха, благодаря экономии средств в секторе здравоохранения.

2 ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА



Загрязнение воздуха — одна из основных экологических проблем, оказывающих влияние на здоровье каждого человека как в развитых, так и в развивающихся странах. По последним оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), загрязнение воздуха является причиной смерти около 7 миллионов человек ежегодно и поэтому считается одним из самых больших экологических рисков для здоровья (WHO, 2021b). Согласно показателям Глобального бремени болезней, в Кыргызской Республике в период с 2010 по 2019 год 12-13% (примерно 4100-5000) смертей ежегодно были связаны с загрязнением воздуха (IHME, 2022). В свою очередь, в Плате действий ЮНИДО по вопросам здоровья и загрязнения окружающей среды (2019) говорится о том, что загрязнение воздуха в Кыргызской Республике нанесло ущерб здоровью на сумму почти 388 миллионов долларов США, что составляет около 6% валового национального дохода Кыргызской Республики в 2015 году (Kyrgyz Republic, 2019).

Снижая уровень загрязнения воздуха, страны могут уменьшить бремя инсульта, болезней сердца, рака лёгких, хронических и острых респираторных заболеваний, включая астму. Наблюдается тесная связь между состоянием здоровья и уровнем загрязнения воздуха как в долгосрочной, так и краткосрочной перспективе: чем ниже уровень загрязнения воздуха, тем более здоровы сердечно-сосудистая и дыхательная системы населения. Воздействие мелких твёрдых частиц диаметром 2,5 микрона и менее (PM_{2.5}), вызывающих сердечно-сосудистые и респираторные заболевания, а также рак, является основным объяснением столь высокого уровня смертности. Недавно ВОЗ обновила свои Рекомендации по качеству воздуха, и в Глобальном обновлении 2021 года содержится оценка последствий загрязнения воздуха для здоровья и приведены пороговые значения загрязнения, вредные для здоровья.

Политика и инвестиции в поддержку более экологически чистого транспорта, энергоэффективных домов, экологических производств электроэнергии, промышленности и муниципального управления отходами помогают сократить выбросы из основных источников загрязнения атмосферного воздуха. Поскольку возможности отдельных людей в области контроля загрязнения воздуха весьма ограничены, необходимы действия со стороны лиц, формулирующих политику местного, национального и регионального уровней, работающих в секторах транспорта, энергетики, управления отходами, городского планирования и сельского хозяйства.

ВОЗ приводит несколько примеров успешной политики, направленной на снижение уровня загрязнения воздуха в различных секторах (WHO, 2021b). Примеры таких мер перечислены ниже.



Промышленность: внедрение экологических технологий, снижающих выбросы дыма из промышленных дымовых труб.



Энергетика: обеспечение доступа к недорогим экологичным бытовым энергетическим решениям для приготовления пищи, отопления и освещения, улучшение строительных норм; утепление и повышение энергоэффективности способствуют в первую очередь снижению потребности/спроса на энергию.



Транспорт: общепринятой основой для политики и мер в транспортном секторе является концепция «избегать-изменить-улучшить». Меры «избегать» включают, например, улучшение городского планирования, работу из дома и другие меры — они исключают необходимость в поездках. Меры «изменить» касаются изменения способа передвижения и поощряют людей к использованию более экологичных видов транспорта. В качестве примера можно привести различные меры поощрения езды на велосипеде или использование общественного транспорта вместо личных автомобилей. «Избегать» и «изменить» обычно требуют от людей изменения поведения и далеко не всегда могут быть подвергнуты количественной оценке. Меры «улучшения», в свою очередь, направлены на сокращение выбросов от одного и того же вида транспорта; это, например, модернизация автопарка посредством его сбыта или усовершенствование оборудования для контроля выбросов в автобусах, грузовиках и т. д., или использования топлива с низким содержанием серы.



Городское планирование: повышение энергоэффективности зданий и повышение экологичности и компактности городов, а значит, и их энергоэффективности в целом.



Производство электроэнергии: расширение использования топлива с низким уровнем выбросов и возобновляемых источников энергии, не использующих сжигание (солнечная, ветровая или гидроэнергия), комбинированное производство тепла и электроэнергии и распределённая генерация энергии (например, мини-сети и генерация энергии с использованием солнечных батарей на крышах). Использование дополнительного оборудования для контроля выбросов также может существенно снизить выбросы от электростанций.



Управление муниципальными и сельскохозяйственными отходами: осуществление стратегий сокращения объёмов отходов, сортировка отходов, их переработка и повторное использование, применение усовершенствованных методов управления биологическими отходами, таких как анаэробное сбраживание для получения биогаза, а также использование доступных в финансовом плане альтернатив открытому сжиганию твёрдых отходов. Там, где сжигание неизбежно, решающее значение имеют технологии сжигания, предусматривающие строгий контроль выбросов.

2.1 Основные загрязняющие вещества: определения и основные источники

ВОЗ определяет загрязнение воздуха следующим образом:

«Загрязнение воздуха — это заражение окружающей среды внутри и вне помещений любым химическим, физическим веществом или биологическим агентом, которые изменяют природные характеристики атмосферы. Бытовые устройства для сжигания, автотранспортные средства, промышленные объекты и лесные пожары являются распространёнными источниками загрязнения воздуха. К числу загрязнителей, вызывающих серьёзную озабоченность в области общественного здравоохранения, относятся взвешенные частицы, окись углерода, озон, двуокись азота и двуокись серы. Загрязнение атмосферного воздуха и воздуха в помещениях вызывает респираторные и другие заболевания и является важным источником заболеваемости и смертности» (WHO, 2022a).

На основе данных ВОЗ (WHO, 2021a; 2021b; и 2022a) в последующих разделах описано воздействие на здоровье основных загрязнителей.

Твёрдые/взвешенные частицы (PM₁₀ и PM_{2.5})

Среди всех загрязнителей воздуха твёрдые частицы представляют наиболее серьёзный риск для здоровья (WHO, 2021). Основными компонентами твёрдых частиц в атмосферном воздухе являются сульфаты, нитраты, аммиак, хлорид натрия, органический углерод, чёрный углерод, минеральная пыль и вода. Твёрдые частицы – это сложная смесь твёрдых и жидких органических и неорганических веществ, таких как тяжёлые металлы и полициклические ароматические углеводороды, присутствующих в воздухе во взвешенном состоянии. Отдельные компоненты твёрдых частиц могут иметь разную токсичность, а их химический состав зависит от источника. Воздействие частиц на здоровье зависит от их размера и происхождения. Частицы диаметром 10 микрон и менее (\leq PM₁₀) могут проникать глубоко в лёгкие и оседать в них. Ещё более вредны для здоровья частицы диаметром 2,5 микрон и менее (\leq PM_{2.5}). PM_{2.5} могут проникать через барьеры в лёгких и попадать в кровеносную систему. Хроническое воздействие твёрдых частиц повышает риск развития сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний, а также рака лёгких. Мелкодисперсные и сверхтонкие частицы (диаметром менее 0,1 микрон) гораздо более многочисленны, чем крупные частицы, несмотря на доминирование последних в измерениях массовой концентрации.

Пороговое значение для концентрации твёрдых частиц, ниже которого не наблюдается вреда для здоровья, не определено. Влияние твёрдых частиц на здоровье в настоящее время испытывает большинство городского и сельского населения как развитых, так и развивающихся стран. Как краткосрочное, так и долгосрочное воздействие твёрдых частиц может вызвать пагубные последствия для здоровья. Такое воздействие происходит в результате вдыхания частиц. Существует тесная количественная связь между воздействием высоких концентраций твёрдых частиц (PM₁₀ и PM_{2.5}) и повышенной смертностью и заболеваемостью как при ежедневном воздействии, так и с течением времени. И наоборот, при снижении концентрации крупнодисперсных и мелкодисперсных частиц также снижается и уровень смертности при условии, что все остальные факторы остаются неизменными (WHO, 2021a; 2021b; и 2022a).

В настоящее время концентрации твёрдых частиц в Бишкеке измеряются всего на двух стационарных автоматических станциях мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, которые соответствуют правилам контроля за соблюдением требований (эквивалент референтного метода). Кроме того, установлено около ста датчиков качества воздуха, измеряющих концентрации мелкодисперсных твёрдых частиц и передающих данные в режиме реального времени. Среднегодовая концентрация мелкодисперсных частиц в Бишкеке составляет около 30 мкг/м³, что значительно превышает

все международные (ЕС, АООС США и ВОЗ) и национальные предельные и нормативные значения (рекомендованное ВОЗ предельное значение для среднегодовой концентрации $PM_{2.5}$ составляет 5 мкг/м^3) (сравнение предельных и нормативных значений представлено в **таблице 7**). Таким образом, мелкодисперсные частицы являются приоритетным загрязняющим веществом с точки зрения измерения и реализации целевых мер по снижению выбросов. Для более глубокого понимания источников, влияющих на концентрацию твёрдых частиц, требуется больше многокомпонентных пунктов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, осуществляющих мониторинг и химический анализ мелких частиц. Это необходимо для разработки целевых мер по снижению концентрации $PM_{2.5}$. Согласно данному исследованию (в основе которого по большей части лежат данные мониторинга качества воздуха), топливо с высоким содержанием серы, используемое для бытового отопления, является основным источником высоких концентраций твёрдых частиц в зимнее время.

Диоксид азота (NO_2)

Кратковременное воздействие диоксида азота (NO_2) может привести к неблагоприятным последствиям для здоровья, особенно среди групп риска, например, беременные женщины, в частности, старше 30 лет, подвержены высокому риску потери плода. Длительное воздействие загрязнителя может привести к иным серьёзным последствиям, например, снижению функции лёгких (Liang et al., 2021). Как и озон (O_3), диоксид азота в первую очередь воздействует на дыхательную систему. NO_2 в значительной степени коррелирует с другими загрязняющими веществами, такими как твёрдые частицы. Диоксид азота также является основным источником нитратных аэрозолей, на которые приходится существенная доля $PM_{2.5}$, а в присутствии ультрафиолетового света — озона. Основным источником антропогенных выбросов NO_2 являются процессы сжигания топлива (отопление, производство электроэнергии, двигатели транспортных средств и судов) (WHO, 2021a; 2021b; и 2022a).

В настоящее время концентрации диоксида азота в Бишкеке, используемые в данном исследовании, измеряются только на одной станции, которая отвечает требованиям контроля за загрязнением атмосферного воздуха (эквивалент референтного метода). С точки зрения расположения и окружающего пространства (**рисунок 19**), ПНЗ Кыргызгидромета может быть классифицирована как городская станция мониторинга фоновое загрязнение атмосферы (городская фоновая станция), поэтому измеряемые там концентрации диоксида азота могут быть намного ниже, чем в Бишкеке с его интенсивным транспортным потоком. Кроме того, существует несколько датчиков качества воздуха, измеряющих концентрацию оксидов азота в режиме онлайн. Среднегодовые фоновые концентрации диоксида азота, измеренные в Бишкеке, составляют около 40 мкг/м^3 , что превышает рекомендованные предельные значения ВОЗ, соответствует предельному уровню ЕС, но вместе с тем не достигает предельного уровня, установленного Агентством по охране окружающей среды США (АООС США). Вполне вероятно, что концентрации диоксида азота в условиях дорожного движения будут намного выше концентраций, наблюдаемых на городских фоновых станциях.

Диоксид серы (SO_2)

Диоксид серы (SO_2) – это бесцветный газ, обладающий резким запахом. Он образуется при сжигании ископаемого топлива (угля и нефти) и при выплавке серосодержащих минеральных руд. Основным антропогенным источником SO_2 является сжигание ископаемых видов топлива с высоким содержанием серы в целях бытового отопления, производства электроэнергии и автотранспорта. SO_2 может оказывать отрицательное влияние на дыхательную систему и функции лёгких, а также вызывать раздражение глаз. Воспаление дыхательных путей, в свою очередь, вызывает кашель, выделение слизи, обострение астмы и хронического бронхита, а также повышает подверженность инфекциям дыхательных путей.

В настоящее время известно, что вред здоровью наносят гораздо более низкие уровни SO_2 , чем

считалось ранее. Хотя причинно-следственная связь влияния низких концентраций SO_2 всё ещё не ясна, снижение уровня концентрации SO_2 , вероятно, уменьшит воздействие сопутствующих загрязняющих веществ. При соединении с водой SO_2 образует серную кислоту — основной компонент кислотных дождей, которые являются причиной обезлесения.

Концентрации диоксида серы, измеренные на фоновой станции в Бишкеке, очень высоки. Среднесуточные значения превышают 125 мкг/м^3 , а среднечасовые значения в отопительный сезон могут превышать 350 мкг/м^3 . Как среднесуточные, так и среднечасовые значения превышают рекомендованные предельные значения ВОЗ, предельные значения ЕС и АООС США в зимнее время. В настоящее время концентрации диоксида серы измеряются на станции Кыргызгидромета (городская фоновая станция). Однако из-за высоких концентраций требуется больше измерений. Концентрации диоксида серы предположительно тесно связаны с использованием топлива с высоким содержанием серы в целях отопления, чаще всего в секторе частной застройки.

Озон (O_3)

Приземный озон (не путать со стратосферным озоном — озоновым слоем в верхних слоях атмосферы), образуется в результате фотохимической реакции в присутствии солнечного света и загрязнителей-прекурсоров, такими как оксиды азота (NO_x) из автомобильных и промышленных выбросов, а также летучие органические соединения (ЛОС), выделяемые транспортными средствами, растворителями и объектами промышленности. В результате самые высокие уровни загрязнения озоном наблюдаются в периоды солнечной погоды. Озон также является одним из основных компонентов фотохимического смога. Озон — это реактивный окислитель, который может вступать в реакцию с широким спектром клеточных компонентов и биологических материалов и может воздействовать на ткани дыхательных путей и лёгких. Избыток озона в воздухе может оказывать существенное влияние на здоровье человека, провоцируя проблемы с дыханием, астму, снижая функцию лёгких и вызывая легочные заболевания. В настоящее время концентрации озона на станции Кыргызгидромета не измеряются и данные измерений озона в Кыргызской Республике в целом отсутствуют. Таким образом, настоятельно рекомендуется начать проводить мониторинг концентрации озона. Концентрации озона следует измерять в сельских и городских фоновых условиях, а также на промышленных станциях. Автотранспортные дороги не являются оптимальным местом для измерения концентрации озона, так как озон участвует в химических процессах превращения монооксида азота в оксиды азота, и поэтому обычно вблизи участков транспортного потока наблюдается низкая концентрация озона.

Монооксид углерода (CO)

Монооксид углерода (угарный газ) образуется в результате неполного сгорания углеводородов. Типичными источниками данного загрязнителя являются дорожное движение и отопление жилых помещений. В высоких концентрациях угарный газ очень ядовит; он ограничивает поступление кислорода в ткани и подавляет клеточное дыхание. Симптомы острого отравления монооксидом углерода включает головную боль, тошноту, рвоту, гематемезис, гипервентиляцию, сердечную аритмию, отек лёгких, кому и острую почечную недостаточность. Концентрация монооксида углерода в Бишкеке также достигает пиковых значений в зимнее время, поэтому рекомендуется продолжить измерения на станции Кыргызгидромета и установить новые пункты наблюдения, где монооксид углерода будет измеряться наряду с другими основными загрязнителями. Рекомендуется измерять монооксид углерода на городских фоновых, транспортных и промышленных станциях.

Стойкие органические загрязнители (СОЗ)

Стойкие органические загрязнители (СОЗ) относятся к долговечным соединениям, которые обладают высокой стойкостью и токсичностью и накапливаются в организме. СОЗ, включая полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), признаны токсичными для биоты. Большинство соединений используются в качестве промышленных химикатов, антипиренов или пестицидов, а некоторые являются примесями или образуются непреднамеренно, например, при сгорании. СОЗ, такие как дихлордифенилтрихлорэтан, полихлорированные дифенилы, диоксины и фураны, являются наиболее вредными экологическими токсинами, поскольку они долго сохраняются в окружающей среде, и даже их низкие концентрации могут причинить вред человеку и окружающей среде. Некоторые из этих веществ вызывают нарушениями развития и репродуктивной функции у животных, и могут аналогичным образом воздействовать на человек. Долгосрочное взаимодействие этих веществ пока не изучено.

При неполном сгорании топлива в воздух попадают ПАУ. Они всегда выделяются в воздух при сгорании органических веществ, однако наиболее значительными источниками ПАУ в городском воздухе являются выбросы от бытового сжигания топлива, зачастую не очень эффективного и экологичного, а также выхлопные газы автомобильного транспорта. Другими источниками ПАУ являются некоторые отрасли промышленности. ПАУ связываются с частицами, находящимися в воздухе ($PM_{2.5}$ и PM_{10}). Наиболее известным и изученным соединением ПАУ является бензапирен; он считается типичным представителем ПАУ. В Европейском Союзе (ЕС) среднегодовая концентрация бензапирена в атмосферном воздухе не должна превышать целевого значения в 1 нанogramm на кубический метр (ng/m^3). В настоящее время в Бишкеке измерений СОЗ не проводится. Настоятельно рекомендуется измерять концентрации этого вещества, например, в течение одного года на городской фоновой станции Кыргызгидромета. Бензапирен измеряется в твёрдых частицах путём отбора проб на фильтрах и химического анализа в лаборатории. Процесс анализа требует специальных знаний и лабораторного оборудования, однако альтернативным вариантом может стать направление образцов для анализа в лабораторию, специализирующуюся на ПАУ. Вполне вероятно, что концентрации бензапирена в Бишкеке очень высоки из-за повсеместного использования угля с высоким содержанием серы для бытового отопления в старых традиционных печах, работающих на твёрдом топливе (World Bank, 2020).

2.2 Обновленные Глобальные рекомендации Всемирной организации здравоохранения по качеству воздуха

В сентябре 2021 года ВОЗ выпустила обновленные Глобальные рекомендации по качеству воздуха (WHO, 2021a). В **таблице 1** представлены новые рекомендации по концентрациям $PM_{2.5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 и CO. Рекомендации по качеству воздуха, действительные на дату выпуска отчёта, представлены в **таблице 2**. Со времени последнего обновления Глобальных рекомендаций ВОЗ по качеству воздуха в 2005 году произошло значительное расширение научных знаний о последствиях воздействия загрязнения воздуха на здоровье человека.

В дополнение к рекомендуемым значениям Глобальные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха предусматривают промежуточные целевые значения для концентраций PM_{10} и $PM_{2.5}$, которые должны быть достигнуты путём постепенного перехода от высоких концентраций к более низким. При достижении этих промежуточных целевых показателей можно ожидать значительного снижения риска острых и хронических последствий загрязнения воздуха для здоровья. Однако, по мнению ВОЗ, конечной целью должно быть достижение рекомендованных предельных значений. В странах, где незамедлительный переход к рекомендуемым предельным значениям невозможен из-за фи-

нансовых ограничений, нехватки потенциала и других факторов, промежуточные целевые значения призваны содействовать значительному снижению бремени для здоровья, связанного с загрязнением воздуха, а улучшение управления качеством воздуха, сопряженное с их достижением, должно направить страну на курс достижения рекомендуемых предельных значений в среднесрочной перспективе.

В странах с низким и средним уровнем дохода воздействие загрязняющих веществ внутри домов и в жилом секторе в целом, наблюдаемое в результате сжигания загрязняющих видов топлива на открытых кострах или в традиционных печах в целях приготовления пищи, отопления и освещения, ещё сильнее усугубляет риск заболеваний, связанных с загрязнением воздуха, включая острые инфекции нижних дыхательных путей, сердечно-сосудистые заболевания, хроническую обструктивную болезнь лёгких и рак лёгких. Женщины и дети в большей степени страдают от загрязнения воздуха в помещениях, поскольку проводят больше времени дома и чаще участвуют в сжигании топлива в домашних условиях, например, при приготовлении пищи.

Таблица 1 Обновленные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха (WHO, 2021a).

Загрязняющее вещество	Время усреднения	Промежуточное целевое значение				Новая рекомендация по качеству воздуха (КВ)
		1	2	3	4	
PM _{2.5} (мкг/м ³)	Год	35	25	15	10	5
	24 часа ^a	75	50	37.5	25	15
PM ₁₀ (мкг/м ³)	Год	70	50	30	20	15
	24 часа ^a	150	100	75	50	45
O ₃ (мкг/м ³)	Пиковый сезон ^b	100	70	-	-	60
	8 часов ^a	160	120	-	-	100
NO ₂ (мкг/м ³)	Год	40	30	20	-	10
	24 часа ^a	120	50	-	-	25
SO ₂ (мкг/м ³)	24 часа ^a	125	50	-	-	40
CO (мг/м ³)	24 часа ^a	7	-	-	-	4

^a 99-й процентиль (т.е. 3-4 дня превышения фонового уровня в год).

^b Суточная 8-часовая средняя максимальная концентрация O₃ в течение шести последовательных месяцев с наибольшим средним шестимесячным значением концентрации O₃.

Таблица 2 Действующие рекомендации ВОЗ по качеству воздуха (с 2005 года) (WHO, 2021a).

Загрязняющее вещество	Время усреднения	Действующие рекомендации ВОЗ по КВ
NO ₂ (мкг/м ³)	1 час	200
SO ₂ (мкг/м ³)	10 минут	500
CO (мг/м ³)	8 часов	10
	1 час	35
	15 минут	100

2.3 Гендерный аспект загрязнения воздуха

Преыдушие исследования показали, что уровень воздействия загрязнения воздуха и связанный с ним риск для здоровья могут зависеть и от социально-экономических факторов, таких как гендер, социальный класс и этническая принадлежность. Женщины могут быть особенно уязвимыми к загрязнению воздуха из-за своей традиционных гендерных ролей, более низкого уровня заработной платы, материнства и культурных норм. Основным источником загрязнения воздуха в помещениях является приготовление пищи с использованием твёрдого топлива (например, древесины, отходов растениеводства, древесного и каменного угля) и керосина на открытом огне и в низкоэффективных печах. Ограниченная площадь помещений приводит к повышению концентрации загрязняющих веществ, и поэтому, проводя больше времени в помещении, человек получает более высокую дозу загрязнителей. По данным эпидемиологических исследований, с высокими уровнями загрязнения воздуха связаны выкидыши, преждевременные роды и низкий вес при рождении (WHO, 2022b).

Загрязнение воздуха является одним из основных рисков для здоровья детей: на него приходится почти 10 процентов смертей среди детей в возрасте до пяти лет. Бытовое загрязнение воздуха при приготовлении пищи и загрязнение атмосферного воздуха являются причиной более 50 процентов острых инфекций нижних дыхательных путей у детей в возрасте до пяти лет в странах с низким и средним уровнем дохода. Воздействие загрязнения воздуха влияет на развитие нервной системы у детей, что может привести к снижению когнитивного, умственного развития и развития двигательного аппарата, а также спровоцировать развитие рака или астмы у детей (WHO, 2022b).

Любые мероприятия по решению проблемы загрязнения воздуха должны учитывать гендерный аспект воздействия загрязняющих веществ и их влияние на здоровье. В долгосрочной перспективе это позволит снизить гендерное неравенство, усугубляемое загрязнением воздуха. Например, в случае проектирования и разработки технологий чистой энергии в качестве альтернативной меры борьбы с загрязнением воздуха в помещениях женщины должны рассматриваться как основная группа заинтересованных сторон, поскольку именно они в большей степени подвержены загрязнению воздуха в помещениях. Это позволит решить проблему загрязнения воздуха в помещениях и одновременно сократить время, затрачиваемое женщинами на гендерно обусловленные виды деятельности, такие как приготовление пищи с использованием твёрдого топлива.

3 КЛЮЧЕВЫЕ ВЫВОДЫ



3.1 Загрязнение воздуха в Бишкеке

Проблема загрязнения воздуха в Бишкеке носит серьёзный характер. Концентрации загрязняющих веществ очень высоки и в течение года, особенно в зимний отопительный период, превышают национальные и международные гигиенические нормативы, а также рекомендации ВОЗ. Эпизоды высокого загрязнения в зимнее время в основном связаны со сжиганием низкокачественного угля с высоким содержанием серы в целях отопления частных домов. Это, в сочетании с местными метеорологическими условиями, приводит к плохому перемешиванию воздушных масс. Высокая интенсивность дорожного движения в Бишкеке является ещё одним из основных факторов загрязнения воздуха.

Результаты долгосрочного многокомпонентного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на автоматической станции Кыргызгидромета позволяют предположить, что эпизоды высокого загрязнения в зимнее время вызваны широким использованием угля с высоким содержанием серы в целях отопления жилых домов, не подключенных к ТЭЦ. Данные также однозначно свидетельствуют о том, что речь идёт не об одном или нескольких точечных источниках, а о множестве расположенных по всему городу мелких источников выбросов, связанных с отоплением жилых домов.

Основными источниками выбросов в Бишкеке являются выработка энергии (ТЭЦ Бишкека, районными отопительными котельными и в результате отопления жилых домов) и дорожное движение. Однако объёмы выбросов не являются прямым показателем влияния источника выбросов на качество воздуха. В частности, источники выбросов, расположенные на уровне органов дыхания, такие как дорожное движение и бытовое отопление и сжигание топлива, могут оказывать большее влияние на качество воздуха, чем большие объёмы выбросов из труб, расположенных на большей высоте. Исследования с использованием моделирования показывают более низкое влияние выбросов ТЭЦ на концентрацию загрязнителей на приземном уровне в сравнении с другими источниками.

Воздействие мелкодисперсных частиц, особенно частиц диаметром менее 2,5 микрон ($PM_{2.5}$), представляет собой наиболее серьёзный риск для здоровья среди всех загрязнителей воздуха. Политика и инвестиции в поддержку более экологичного производства энергии, энергоэффективных домов, промышленности и муниципального управления отходами помогают снизить уровень загрязнения атмосферного воздуха и должны быть в срочном порядке реализованы в Бишкеке.

3.2 Основные источники выбросов

Основные источники выбросов, влияющие на качество атмосферного воздуха в Бишкеке, были определены в основном путём анализа данных мониторинга загрязнения воздуха с автоматической станции Кыргызгидромета и данных кадастра выбросов. Станция Кыргызгидромета является единственной многокомпонентной станцией мониторинга загрязнения воздуха, данные которой доступны для проводимого исследования.

В качестве дополнительных материалов в оценке использовалась информация, полученная в результате спутниковых наблюдений и данные датчиков качества воздуха. Кроме того, для демонстрации влияния определённых источников выбросов на качество воздуха использовалась программа моделирования рассеивания UDM-FMI. Результаты расчётов моделирования рассеивания являются индикативными, так как исходные данные для модели были рассчитаны на основе имеющихся источников данных. Для моделирования рассеивания были необходимы технические данные и данные о выбросах, характеризующие ТЭЦ. Поскольку не все данные были доступны, пришлось произвести предположительную оценку и использовать экспертные суждения.

3.2.1 Влияние выбросов ТЭЦ на качество воздуха в Бишкеке

Бишкекская угольная теплоэлектроцентраль является основной станцией по производству энергии в Бишкеке (**рисунок 1**). В настоящее время станция производит 910 МВт электроэнергии и вырабатывает тепловую энергию для горячего водоснабжения и отопления. В сегодняшний день ТЭЦ Бишкека является крупнейшим поставщиком электроэнергии на севере Кыргызской Республики (GEM, 2022).

По данным инвентаризации выбросов, проведённой в целях данного исследования, в 2021 году на ТЭЦ приходилось примерно 55 процентов от общего объёма выбросов SO_2 , менее 10 процентов от объёма выбросов NO_x и 5 процентов от объёма выбросов $PM_{2.5}$ в Бишкеке. Выбросы от ТЭЦ попадают в воздух через высокие дымовые трубы (предполагаемая высота труб 60-160 метров; оценка, вероятно, занижена). Данные о высоте дымовых труб были запрошены у ТЭЦ, но получить эту информацию для моделирования не удалось. Таким образом, при необходимости использовались предположения и экспертные оценки. Полученная в последующем информация позволяет предположить, что высота рабочих труб составляет 150 метров, 180 метров и 300 метров. Результаты этого моделирования следует считать индикативными, и, вероятнее всего, выбросы ТЭЦ оказывают даже меньшее влияние на приземные концентрации, чем в приведённом здесь моделировании.

ТЭЦ в основном использует отечественный уголь, однако в 2021 году казахстанская компания выиграла тендер на поставку из Республики Казахстан около 650 тысяч тонн угля с месторождения Каражыра. Остальной объём — около миллиона тонн угля — по-прежнему поступает на ТЭЦ с угольного разреза Кара-Кече в Кыргызской Республике. По данным Международного энергетического агентства, ТЭЦ Бишкека требуется 2,5 миллиона тонн угля в год (GEM, 2022; IEA, 2020).



Рисунок 1 Бишкекская угольная теплоэлектростанция (ТЭЦ). Фото Ромена Марата (2021 год).

Анализ воздействия дымовых газов ТЭЦ Бишкека на качество воздуха был проведён с помощью математической Гауссовой модели рассеивания атмосферных загрязнений в условиях города UDM-FMI, разработанной Финским метеорологическим институтом (Karppinen et al., 1998; Karppinen, 2001). Система моделирования городского масштаба позволяет учитывать различные эффекты местного уровня, например, влияние зданий и препятствий, явления нисходящего потока и подъёма дымового факела вместе с химическими преобразованиями и осаждением (например, Kukkonen et al., 1997).

Концентрации диоксида серы, диоксида азота и твёрдых частиц за 2021 год были рассчитаны с помощью модели рассеивания. Метеорологические данные, отражающие местоположение ТЭЦ, использованные в моделировании, были взяты из базы данных FMI, которая включает международные метеорологические наблюдения, передаваемые через глобальные телекоммуникационные системы Всемирной метеорологической организации (ВМО). Метеорологические данные, используемые в моделировании, более подробно описаны в **главе 5.2**. Технические исходные данные по источникам и выбросам были оценены на основе имеющихся материалов и рассчитаны компанией Aether Ltd. Исходные данные, использованные в моделировании, представлены в **таблице 3**. Предположительная оценка и допущения носили консервативный характер, чтобы избежать необоснованного оптимизма в части воздействия выбросов на загрязнение воздуха. Данные о выбросах и технические данные были запрошены непосредственно у ТЭЦ Бишкека, однако получить данные, необходимые для моделирования, не удалось. Таким образом, при необходимости применялись предположения и экспертные оценки, поэтому результаты расчёта моделирования рассеивания следует считать индикативными.

Полученные в результате расчётов концентрации были сопоставлены с рекомендациями ВОЗ и концентрациями, измеренными на ПНЗ Кыргызгидромета (**рисунки 5 и 6**). Целью моделирования рассеивания являлась демонстрация влияния ТЭЦ на загрязнение приземного слоя атмосферы. Результаты расчётов моделирования рассеивания представлены на **рисунках 2-4**.

Таблица 3 Данные о выбросах (расчётные) и характеристики источников (оценочные и рассчитанные на основе имеющихся данных), использованные при моделировании рассеивания. Часы работы указаны в часах/год (ч/г). Выбросы приведены в тоннах/год (т/г).

Источник выбросов	Часы работы (ч/г)	Высота дымовой трубы	Температура выхлопного газа на выходе из трубы (°C)	SO ₂ (т/г)	NO _x (т/г)	PM _{2,5} (т/г)
Дымовая труба 1	8016	160	200	4 388	2 206	70
Дымовая труба 2	4368	80	200	2 391	1 202	38
Дымовая труба 3	4368	60	200	2 391	1 202	38
Всего				9 170	4 610	146

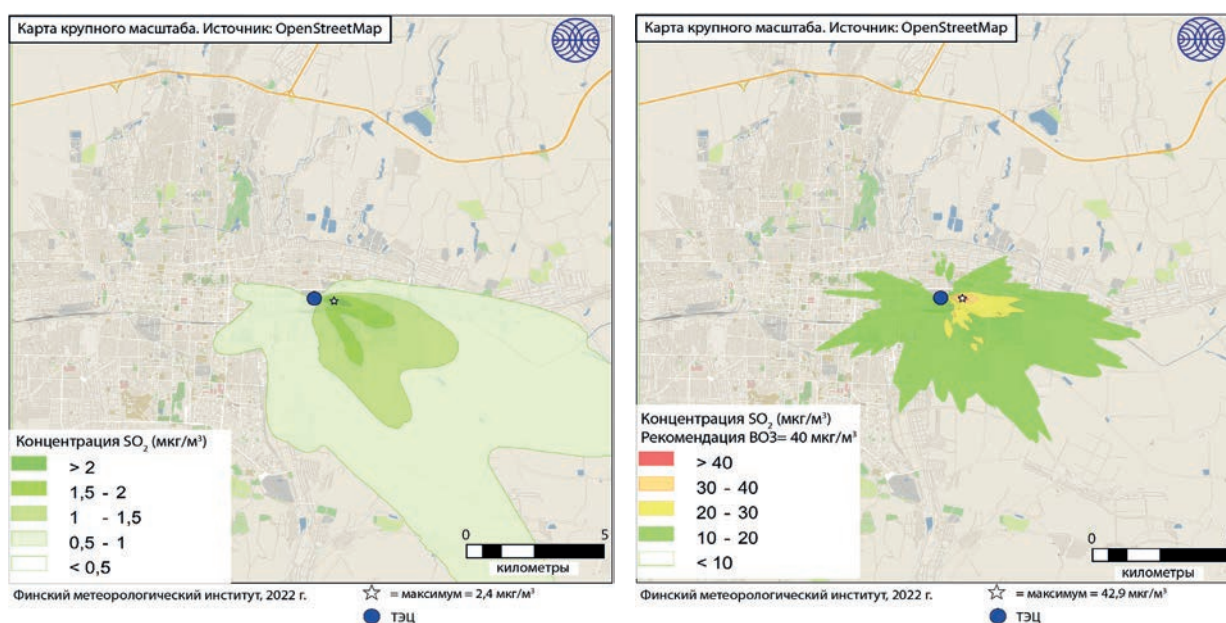


Рисунок 2 Среднегодовая концентрация (слева) и среднесуточная концентрация (мкг/м³) (справа) диоксида серы (SO₂) (мкг/м³) в результате выбросов ТЭЦ Бишкека, на основе расчётных данных инвентаризации выбросов за 2021 год.

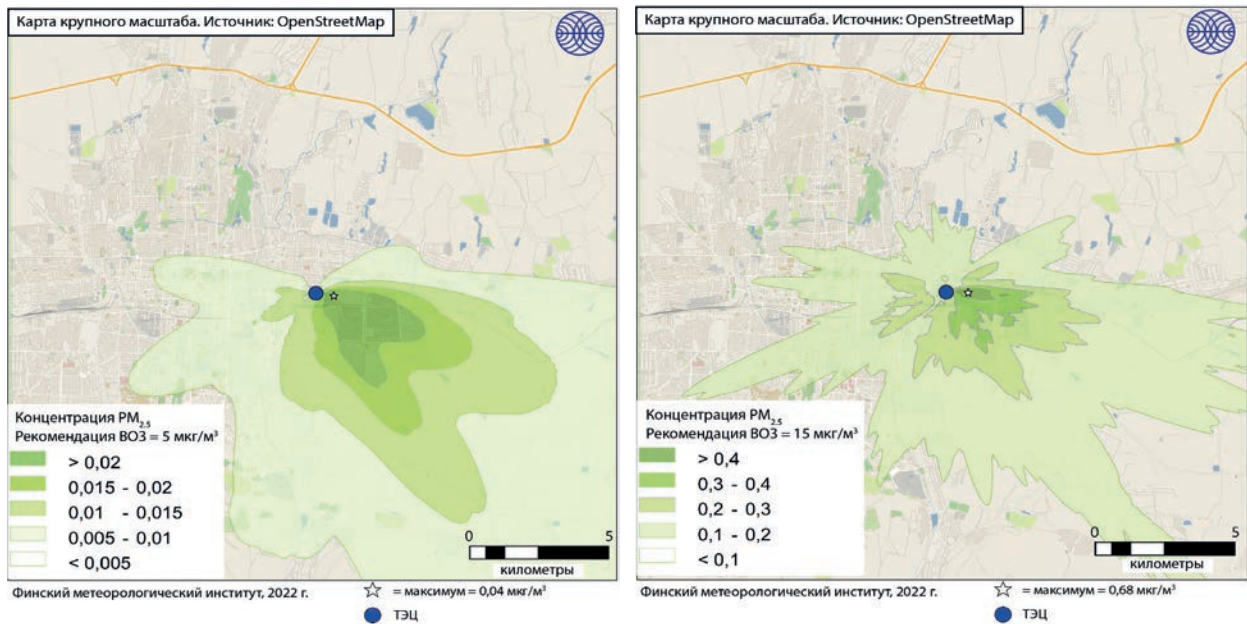


Рисунок 3 Среднегодовая концентрация ($\text{мкг}/\text{м}^3$) (слева) и среднесуточная концентрация ($\text{мкг}/\text{м}^3$) (справа) твёрдых частиц ($PM_{2,5}$) в результате выбросов ТЭЦ Бишкека, на основе расчётных данных инвентаризации выбросов за 2021 год.

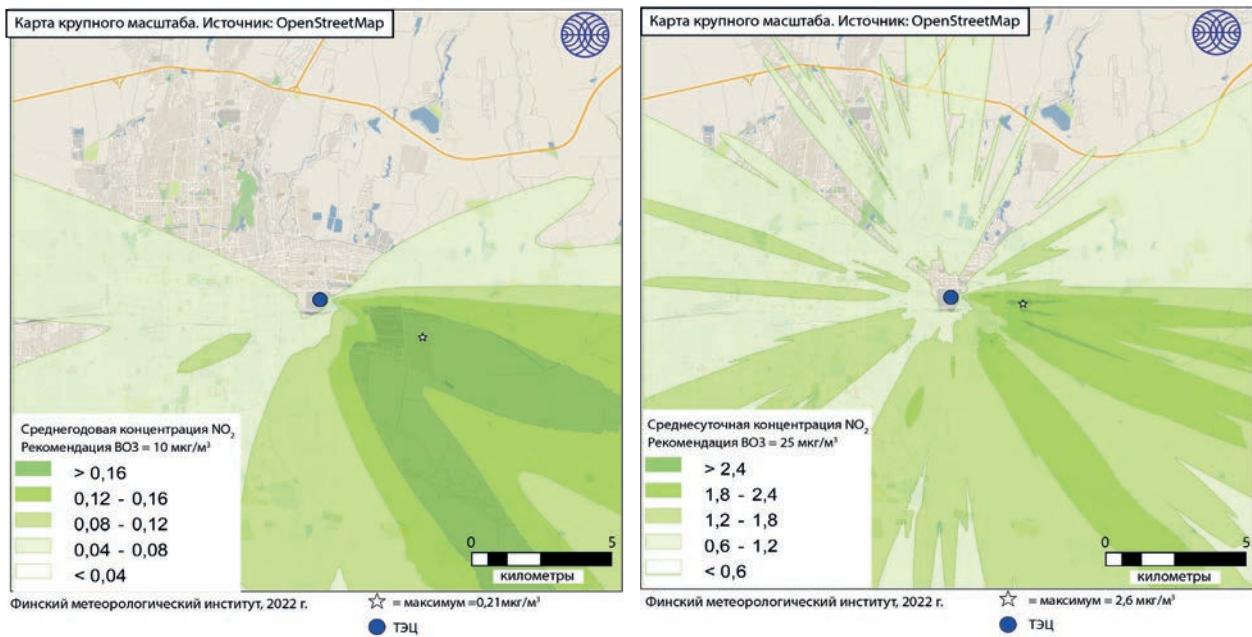


Рисунок 4 Среднегодовая концентрация ($\text{мкг}/\text{м}^3$) (слева) и среднесуточная концентрация ($\text{мкг}/\text{м}^3$) (справа) диоксид азота (NO_2) в результате выбросов ТЭЦ Бишкека, на основе расчётных данных инвентаризации выбросов за 2021 год.

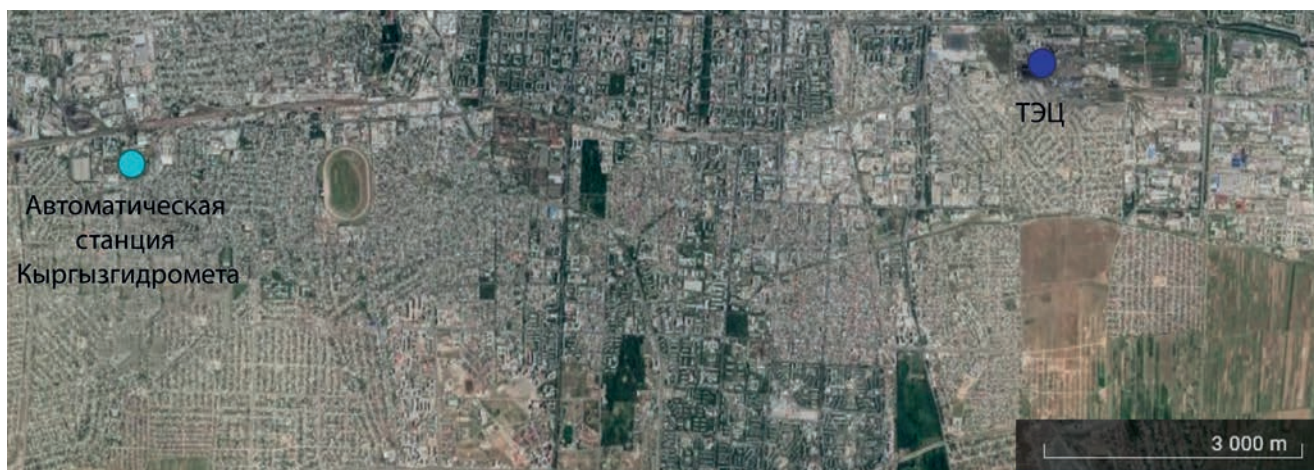


Рисунок 5 Расположение стационарной автоматической станции мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Кыргызгидромета и ТЭЦ Бишкека. Расстояние между станцией и ТЭЦ составляет около 10 километров.

Согласно результатам расчёта моделирования рассеивания, влияние выбросов ТЭЦ Бишкека на приземные концентрации очевидно в сравнении с общими концентрациями SO_2 , измеренными на станции Кыргызгидромета. Максимальная смоделированная среднегодовая концентрация SO_2 , произведённого ТЭЦ, составила $2,4 \text{ мкг/м}^3$, в то время как измеренная максимальная среднегодовая концентрация SO_2 на станции Кыргызгидромета составила 24 мкг/м^3 (таблица 4). Таким образом, вклад выбросов ТЭЦ в загрязнение приземного слоя может быть оценен примерно на уровне 10 процентов от приземных концентраций. Однако стоит учитывать, что станция Кыргызгидромета расположена на расстоянии более 8 километров от ТЭЦ Бишкека, поэтому максимальные смоделированные концентрации не вполне сопоставимы с измеренными значениями, хотя и дают представление о влиянии выбросов ТЭЦ на приземные концентрации. Максимальная смоделированная концентрация находилась вблизи ТЭЦ. Согласно инвентаризации выбросов, ТЭЦ Бишкека является основным источником выбросов SO_2 , производя более 50 процентов (около 10 тонн) от общего годового объёма выбросов данного загрязнителя (около 22 тонн) в Бишкеке (глава 8.4.4). Сжигание топлива в жилых домах является вторым по величине источником SO_2 в кадастре выбросов, но предполагается, что оно вносит пропорционально бóльший вклад в концентрации загрязнения окружающей среды, поскольку их выброс происходит гораздо ближе к приземному уровню.

Влияние выбросов ТЭЦ на уровни концентрации других загрязняющих веществ, твёрдых частиц ($PM_{2,5}$) и диоксида азота (NO_2) в атмосферном воздухе явно меньше, чем влияние на уровни концентрации SO_2 (таблица 4).

Таблица 4 Максимальные смоделированные среднегодовые концентрации диоксида серы (мкг/м^3) в результате выбросов ТЭЦ Бишкека в сравнении с самыми высокими среднегодовыми концентрациями SO_2 , измеренными на станции Кыргызгидромета в 2018-2020 гг. Данные по озону для Бишкека отсутствуют, поэтому в модели использованы данные по озону из Финляндии. Озон оказывает большое влияние на результаты по NO_2 , поэтому, чтобы подчеркнуть неопределённость результатов, концентрации NO_2 выделены серым цветом.

	Смоделированная максимальная среднегодовая концентрация [мкг/м^3]	Измеренная максимальная среднегодовая концентрация [мкг/м^3]	Индикативный вклад ТЭЦ в измеряемую концентрацию*
SO_2	2.4	24	10 %
$\text{PM}_{2.5}$	0.04	29	< 1 %
PM_{10}	0.04	100	< 1 %
NO_2	0.21	40	< 1%

*Станция Кыргызгидромета расположена на расстоянии более 8 км от ТЭЦ Бишкека, поэтому максимальные смоделированные концентрации не полностью сопоставимы с измеренными значениями, но они дают представление о величине воздействия выбросов ТЭЦ на приземные концентрации.

Одной из основных причин незначительного влияния выбросов ТЭЦ на приземные концентрации, несмотря на большие объёмы выбросов, является высота дымовых труб, которая способствует эффективному рассеиванию и разбавлению выбросов. В метеорологических ситуациях с низкой высотой слоя перемешивания воздуха (плохие условия, создающие неблагоприятную ситуацию для качества воздуха) дымовые трубы часто находятся выше слоя перемешивания, и выбросы рассеиваются ветрами верхних слоев атмосферы и поэтому не вносят существенного вклада в атмосферные концентрации на уровне земли. В этих случаях влияние выбросов на приземные концентрации вблизи ТЭЦ очень мало.

Основной вывод моделирования рассеивания выбросов на примере ТЭЦ заключается в том, что ТЭЦ Бишкека не является основным источником выбросов, влияющим на приземные концентрации загрязняющих веществ (SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ и NO_2) в Бишкеке. Таким образом, несмотря на то, что в долгосрочной перспективе рекомендуется сократить или полностью отказаться от использования ископаемого топлива путём перехода на возобновляемые источники энергии в целях смягчения последствий изменения климата, что также положительно влияет на качество воздуха, это не является приоритетным действием для улучшения качества воздуха в Бишкеке в краткосрочной перспективе. Согласно данному исследованию качества воздуха, существуют более значительные источники выбросов, чем ТЭЦ. В частности, это бытовое отопление с использованием ископаемого топлива с высоким содержанием серы. ТЭЦ оказывает меньшее влияние на загрязнение воздуха и особенно на концентрацию основных загрязнителей (твёрдых частиц и диоксида серы) в Бишкеке благодаря большей высоте выброса, эффективности сжигания и контрольному оборудованию.

Однако в случае, если использование ископаемого топлива является необходимостью в настоящее время и в ближайшем будущем, очевидно, что производство тепла и электроэнергии с использованием угля на ТЭЦ является более выгодным вариантом, чем в традиционных твёрдотопливных печах в частных домах. Несмотря на важность быстрого отказа от угля и других видов ископаемого топлива, следует отметить, что сжигание угля на ТЭЦ значительно более эффективно и меньше влияет на качество воздуха, чем сжигание топлива в печах в частных домах. Условия сжигания

топлива на ТЭЦ контролируются и оптимизируются, есть возможность использовать технологии контроля и снижения выбросов, а выбросы выводятся в воздух через высокие трубы. Все это минимизирует влияние выбросов ТЭЦ на приземные концентрации по сравнению со сжиганием угля в частных домах.

3.2.2 Влияние выбросов от транспортных средств на качество воздуха в Бишкеке

Согласно кадастру выбросов (**глава 8**), автомобильный транспорт является самым значимым источником оксидов азота (NO_x), а также существенным источником выбросов мелких твёрдых частиц ($\text{PM}_{2.5}$) в Бишкеке. Автомобильные выбросы также попадают в воздух на приземном уровне, и это отчасти объясняет их значительное влияние на качество воздуха.

Расчёты кадастра выбросов позволяют учитывать технологии, используемые в двигателях, например, легковых автомобилей, фургонов, грузовиков и автобусов. Однако в ходе данного исследования не удалось получить подробную информацию о легковых и других транспортных средствах. Транспортные средства, оснащённые технологиями контроля выбросов, могут выбрасывать на порядок меньше загрязняющих веществ в атмосферу, чем не оснащённые транспортные средства, поэтому важно дать характеристику транспортным средствам с этой точки зрения. Эта задача осложняется тем, что в Бишкеке с автомобилями часто снимают оборудование для контроля выбросов.

Также не удалось получить официальные данные об уровне активности в данном секторе. В ходе исследования был произведен расчёт общего количества топлива, используемого различными автотранспортными средствами в Бишкеке, однако доли дизельного топлива, используемого легковыми автомобилями, микроавтобусами и грузовиками были распределены на основе оценок. Требуется дополнительная работа для получения более точных данных. Также необходимо подготовить карты выбросов дорожной сети, чтобы наглядно показать, на какие районы в городе приходится наибольшие объёмы выбросов.

В настоящее время в районах оживлённых транспортных потоков в Бишкеке автоматические станции контроля качества воздуха отсутствуют, что делает невозможным детальное изучение влияния транспортных выбросов на качество воздуха в центре города и вблизи крупнейших дорог. Вполне вероятно, что вблизи основных дорог и в районах с интенсивным движением концентрация загрязняющих соответствующих веществ в воздухе намного выше, чем в фоновых городских районах, где расположена станция Кыргызгидромета.

Рост городского населения и увеличение числа владельцев автомобилей привели к повышению интенсивности движения, объёма выбросов и высокому уровню концентрации NO_2 . Решение подобной проблемы качества воздуха местного масштаба требует не только сокращения выбросов выхлопных газов, но и сложных и дорогостоящих структурных изменений, таких как масштабные улучшения и инвестиции в общественный транспорт. Однако, прежде чем принимать непростые решения о мерах по улучшению качества воздуха, необходимо глубокое понимание указанной проблематики.

3.2.3 Влияние выбросов от бытового отопления (не связанных с ТЭЦ) на качество воздуха в Бишкеке

Согласно анализу имеющихся данных наблюдения за загрязнением воздуха с ПНЗ Кыргызгидромета, эпизоды высокого уровня загрязнения в зимнее время обусловлены использованием угля с высоким содержанием серы для отопления жилых домов. Из анализа также следует и то, что речь идёт не об одном или нескольких точечных источниках, а о повсеместных неорганизованных мелкомасштабных источниках выбросов, таких как отопление жилых домов.

Была обнаружена сильная прямая корреляция между CO , NO_x , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ и PM_1 (анализ корреляции представлен более подробно в **главе 6.1, рисунок 27**). Эти соединения, скорее всего, происходят в результате сжигания топлива. Наблюдается слабая корреляция PM_{10} и полное отсутствие корреляции общего количества твёрдых частиц (TSP) с этими «загрязняющими веществами от сжигания». TSP — это преимущественно пыль, как и крупная фракция PM_{10} , что объясняет ослабленную корреляцию с загрязнителями от сжигания. Мелкая фракция PM_{10} ($\text{PM}_{2.5}$ и PM_1), однако, коррелирует с другими загрязнителями, образующимися при сжигании топлива.

CO , NO_x , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ и PM_1 демонстрируют отрицательную корреляцию со скоростью ветра, т.е. концентрации этих веществ увеличиваются при уменьшении скорости ветра, что говорит о том, что загрязнение, наблюдаемое в Бишкеке, вызвано местными выбросами, тепловыми инверсиями в ночное и зимнее время, а также тепловыми инверсиями, вызванными близостью гор.

Концентрации SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ и PM_1 в свою очередь, сильно отрицательно коррелируют с температурой (концентрации этих веществ увеличиваются при понижении температуры), т.е. при очень низких температурах наблюдаются самые высокие концентрации SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ и PM_1 . Это свидетельствует о том, что высокие уровни концентраций SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ и PM_1 являются результатом выбросов мелких отопительных установок, работающих на твёрдом топливе. Другая причина может быть связана с увеличением устойчивости атмосферы и плохими условиями перемешивания воздуха при понижении температуры. Эти результаты также помогают определить основной источник выбросов на основе известных характеристик выбросов от различных видов топлива.

Таким образом, поскольку концентрации SO_2 также сильно коррелируют с другими загрязняющими веществами, образующимися при сжигании топлива, измеренными ПНЗ Кыргызгидромета, похоже, что сжигание угля (с высоким содержанием серы) играет свою роль в зимних эпизодах высокого уровня загрязнения воздуха в Бишкеке. Выбросы от сжигания древесины содержат большой объём твёрдых частиц (PM_1 и $\text{PM}_{2.5}$), но не содержат SO_2 , и древесина не является основным источником топлива для отопления жилых домов в городе.

Инвентаризация выбросов (результаты которой представлены в **главе 8** данного отчёта) показывает, что основными источниками выбросов, загрязняющих воздух, являются производство энергии (ТЭЦ и отопление жилых домов), а также дорожное движение. Однако объёмы выбросов не являются прямым свидетельством влияния источника выбросов на качество воздуха (объёмы выбросов не коррелируют напрямую с концентрацией загрязнения приземного слоя воздуха).

Воздействие на качество воздуха выбросов от бытового отопления (не связанных с ТЭЦ и централизованным теплоснабжением) также оценивалось с помощью математической модели атмосферного рассеивания UDM-FMI (Karppinen et al., 1998; Karppinen, 2001). Концентрации диоксида серы, диоксида азота и твёрдых частиц были рассчитаны с помощью модели рассеивания в рамках теоретического примера с использованием пригородной зоны Бишкека размером примерно 1 км x 1 км, на которой расположено 1480 домов (количество домов рассчитано исходя из предположения, что каждый дом имеет площадь около 750 м²). Предполагалось, что дома в районе исследования не подключены к ТЭЦ и сетям теплоснабжения и поэтому не обеспечиваются горячей водой в целях отопления. Были приняты одинаковые объёмы выбросов, связанных с отоплением, для каждого дома. Предполагалось, что выбросы, связанные с отоплением, приходятся на отопительный сезон — с октября по март. Выбросы были рассчитаны на основе средневзвешенного значения трёх типов обычных печей, представленных ниже. Оценка выбросов была проведена с использованием имеющихся источников данных компанией Aether Ltd. Оценки и допущения, использованные для расчёта выбросов в качестве исходных данных для моделирования, носят консервативный характер, чтобы избежать чрезмерного оптимизма относительно уровня загрязнения воздуха. Метеорологические данные, использованные при моделировании, более подробно описаны в **главе 5.2**.

- **Обычные угольные печи**

Существует три различных типа обычных угольных печей (традиционная, буржуйка и контра-марка), однако для целей данного исследования использовалось средневзвешенное значение.

- **Малые угольные котлы**

Сюда входят автоматизированные, простые и кустарные угольные котлы. По ним также было рассчитано средневзвешенное значение.

- **Газ, древесина и твёрдые бытовые отходы**

Домохозяйства также в определённой степени используют газ. Этот вид отопления не входит в систему централизованного теплоснабжения. В рамках исследования невозможно определить, идёт ли речь о магистральном или баллонном газе. Методология, используемая в инвентаризации, не позволяет оценить выбросы от использования газа в расчёте на одно домохозяйство.

Таблица 5 Оценка выбросов обычных печей и малых угольных котлов в Бишкеке.

	Расход угля	NO_x	SO₂	PM_{2.5}
	т/г	кг	кг	кг
Обычная печь	2.44	5.86	58.6	28.13
Малый угольный котел (<=50 кВт/ч)	3.22	12.21	77.3	23.19
Сумма	5.66	18.07	135.9	51.32

Пропорции вышеуказанных категорий на исследуемой территории

Пропорции домохозяйств, подпадающие под три вышеописанные категории, во многом зависят от местоположения. Данные Всемирного банка (World Bank, 2015) указывают на следующее распределение установок в домохозяйствах:

Таблица 6 Доли отопительной техники в домохозяйствах в Бишкеке.

Электрический нагреватель/котел	11 %
Газовый нагреватель/котел	14 %
Обычная угольная печь	27 %
Малый угольный котел	48 %

В целях данного исследования был выбран теоретический жилой район, расположенный вдали от центра города, в котором предположительно проживают жители с доходом ниже среднего. Район вблизи станции Кыргызгидромета не был выбран, так как ближайший сектор частной застройки расположен в сотнях метров от станции. Предполагается, что домохозяйства в районе исследования используют только обычные угольные печи и малые угольные котлы. Расчётные концентрации (PM_{2.5} и SO₂) выбросов от бытового отопления в пригородном районе Бишкека с примерно 1500 частными домами, использующими твёрдое топливо (уголь) для отопления, были очень высокими. Максимальные среднегодовые концентрации SO₂ (более 200 мкг/м³) и PM_{2.5} (около 90 мкг/м³) при-

ходятся на исследуемый сектор частной застройки (**рисунки 6 и 7**). Пример моделирования рассеивания является индикативным и демонстрационным и связан с высокой неопределённостью из-за множественных допущений, сделанных при расчёте выбросов. Однако даже при высокой неопределённости результаты расчёта дисперсии согласуются с выводами, сделанными на основе данных контроля качества воздуха, о том, что выбросы от бытового отопления оказывают значительное влияние на концентрации SO_2 и $\text{PM}_{2.5}$ в городских фоновых районах (пригородных зонах) Бишкека. Кроме того, малобюджетные датчики качества воздуха в различных пригородных районах Бишкека показывают очень высокие пики среднесуточных концентраций $\text{PM}_{2.5}$ во время отопительного сезона (**глава 6.4, рисунок 32**). В связи с этим при выработке мер по сокращению выбросов бытовое отопление должно рассматриваться в качестве приоритетного источника.

В данном исследовании концентрации диоксида азота (NO_2), вызванные бытовым отоплением, были низкими по сравнению с воздействием на качество воздуха диоксида серы и выбросов твёрдых частиц (**рисунок 8**). Из-за отсутствия данных фоновых измерений озона, необходимых для моделирования, неопределённость моделирования NO_2 также была достаточно высокой. Однако вероятно, что самые высокие концентрации NO_2 в Бишкеке будут наблюдаться в условиях дорожного движения, а не в пригородных районах. Согласно кадастрам выбросов (**глава 8**), автомобильный транспорт является основным источником выбросов оксидов азота.

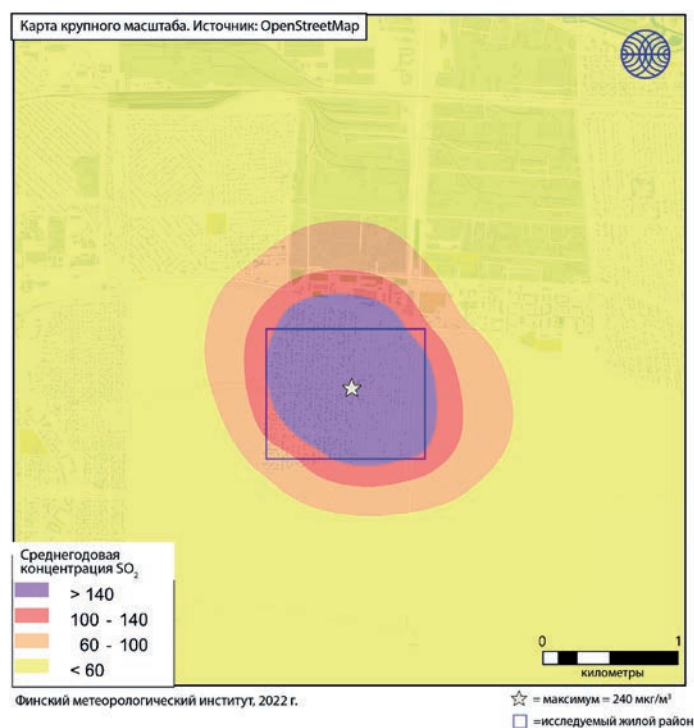


Рисунок 6 Среднегодовая концентрация диоксида серы (SO_2) (мкг/м^3), обусловленная выбросами от бытового отопления (не связанными с ТЭЦ), на основе расчётных данных инвентаризации выбросов для теоретической жилой зоны площадью 1 км x 1 км с 1480 домами (синий квадрат на рисунке).

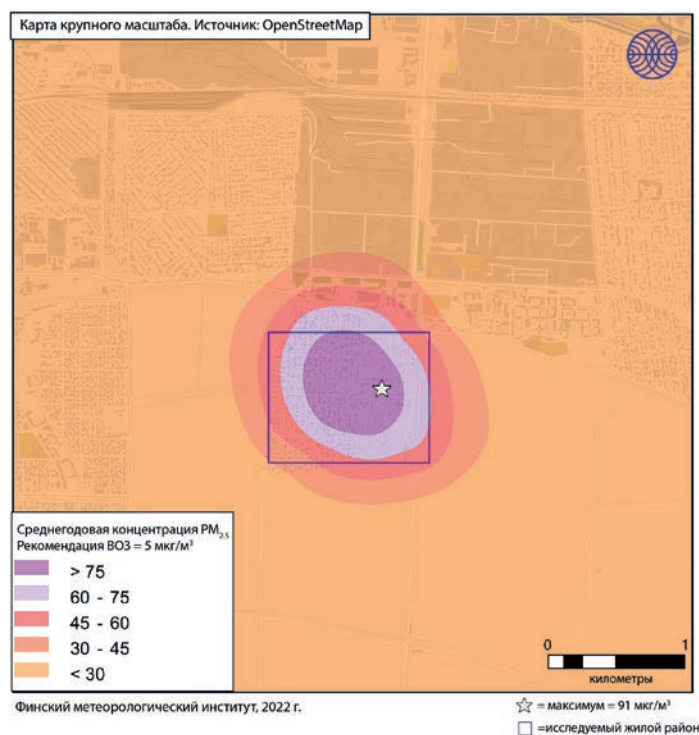


Рисунок 7 Среднегодовая концентрация твёрдых частиц ($PM_{2,5}$) ($\mu\text{г}/\text{м}^3$), обусловленная выбросами от бытового отопления (не связанными с ТЭЦ), на основе расчётных данных инвентаризации выбросов для теоретической жилой зоны площадью 1 км x 1 км с 1480 домами (синий квадрат на рисунке).

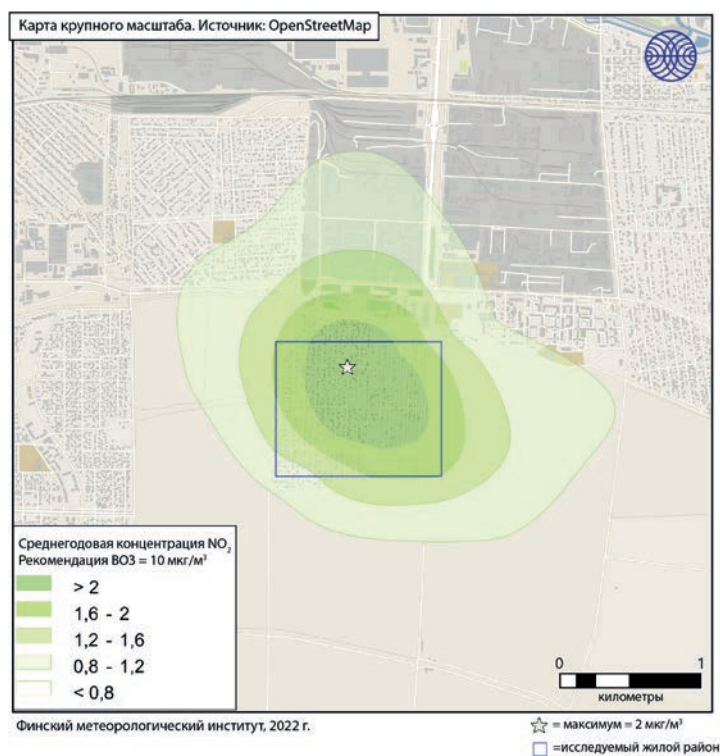


Рисунок 8 Среднегодовая концентрация диоксида азота (NO_2) ($\mu\text{г}/\text{м}^3$), обусловленная выбросами от бытового отопления (не связанными с ТЭЦ), на основе расчётных данных инвентаризации выбросов для теоретической жилой зоны площадью 1 км x 1 км с 1480 домами (синий квадрат на рисунке).

4 ОСНОВЫ ПОЛИТИКИ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ВОЗДУХА



4.1 Действующее законодательство

Действующее законодательство и нормативные акты, касающиеся наблюдений за состоянием воздуха, основываются на ручном 20-минутном отборе проб с определёнными уровнями предельно допустимой концентрации (ПДК) загрязняющих веществ. Эти нормы устанавливают максимальное разовое значение для однократного измерения по каждому загрязняющему веществу, и показатели концентрации 20-минутных проб сравниваются с этим значением. Другой уровень ПДК устанавливается для среднесуточного значения, рассчитываемого на основе 20-минутного ручного отбора проб. В **таблице 7** приведены основные международные нормы качества воздуха (Европейского Союза, рекомендуемые значения ВОЗ и нормы качества воздуха (первичные) в области охраны здоровья в США), а также национальные нормативы Кыргызской Республики.

Настоятельно рекомендуется, чтобы Кыргызская Республика реформировала национальное законодательство об охране атмосферного воздуха, регулирующее наблюдения за первичными загрязняющими веществами с учётом современных технологий измерения качества воздуха, благодаря которым устаревший ручной отбор проб может быть заменен на автоматические непрерывные измерения.

Таблица 7 Предельные значения качества воздуха Европейского Союза, рекомендованные предельные значения ВОЗ, нормы КВ (первичные) в области охраны здоровья в США и национальные нормативы КВ по отдельным загрязняющим веществам в Кыргызской Республике.

		ЕС	Комментарии	ВОЗ	Комментарии	АООС США	Комментарии	Кыргызская Республика
Загрязняющее вещество	Период усреднения	Предельное значение, мкг/м ³	Не рекомендуется превышать более чем	Рекомендуемое предельное значение, мкг/м ³	Не рекомендуется превышать более чем	Стандарт в области охраны здоровья	Не рекомендуется превышать *в среднем за три года	Предельно допустимая концентрация, мкг/м ³
SO ₂	Час	350	24 раз в год			75 млрд ⁻¹ (~200 мкг/м ³)	*99-й процентиль дневного часового максимума	500 ¹
	Сутки	125	3 раза в год	40	3-4 раза в год			50
NO ₂	Час	200	18 раз в год	200		100 млрд ⁻¹ (~200 мкг/м ³)	*98-й процентиль дневного часового максимума	85 ¹
	Год	40		10		53 млрд ⁻¹ (~200 мкг/м ³)		
	Сутки			25	3-4 раза в год			40
PM ₁₀	Час							300 ¹
	Сутки	50	35 раз в год	45 ²	3-4 раза в год	150 мкг/м ³	*1 раз в год	60
	Год	40		15				
PM _{2.5}	Час							160 ¹
	Сутки			15 ²	3-4 раза в год	35 мкг/м ³	*98-й процентиль	35
	Год	25		5		12 мкг/м ³		
CO	Час			35000		35 млн ⁻¹ , (~40 000 мкг/м ³)	*1 раз в год	5000 ¹
	8 часов	10000		10000		9 млн ⁻¹ (~10 000 мкг/м ³)		
	Сутки			4000 ²	3-4 раза в год			3000

¹ максимальное разовое значение.

² 99-й процентиль (т.е. 3-4 дня превышения фоновой концентрации в год).

4.2 Текущий план по улучшению экологической ситуации в Бишкеке

Действующий План комплексных мер по улучшению экологической ситуации в городе Бишкек и Сокулукском, Аламудунском районах Чуйской области на 2021-2023 годы был утвержден в мае 2021 года. План включает в себя в общей сложности 43 меры по восьми тематическим направлениям, перечисленным ниже. Сроки реализации этих мероприятий в большинстве случаев приходятся на период с 2021 по 2023 год. Таким образом, это большой и амбициозный план, включающий широкий спектр тем, приоритетных областей, а также смешанные действия и меры. Вместе с тем трёхлетний срок является очень коротким для реализации запланированных мер и достижения ожидаемого результата, принимая во внимание необходимые ресурсы для реализации всех мероприятий.

Ниже перечислены восемь тематических направлений текущего плана по улучшению экологической ситуации:

1. Планирование, градостроительство и дизайн
2. Сохранение и развитие зелёных зон
3. Управление твёрдыми отходами
4. Теплоснабжение и отопление
5. Общественный транспорт и городская мобильность
6. Личный транспорт
7. Мониторинг загрязнения воздуха, информирование
8. Контрольная деятельность

Поскольку срок реализации текущего плана (2021-2023 гг.) уже пройден наполовину, рекомендуется в ближайшее время приступить к подготовке нового плана. Важно также критически оценить ход выполнения текущего плана и выявить возможные проблемы при подготовке нового плана на период с 2024 года.

Также рекомендуется подготовить отдельный план, направленный только на улучшение ситуации с качеством воздуха в Бишкеке. Такая узкая направленность плана поможет сделать его более выполнимым; им будет легче управлять и определять приоритетные направления, вовлекать ответственные организации, управлять финансированием мероприятий, а также отслеживать и оценивать воздействие и эффективность реализуемых действий.

План по улучшению качества воздуха на практике является планом по предотвращению и контролю за загрязнением воздуха, поскольку улучшение ситуации с качеством воздуха требует снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Важно, чтобы обязательства и ответственность за поставленные цели и разработанные планы по улучшению качества воздуха были взяты на высоком уровне (правительство, министры), поскольку практическая работа требует значительных инвестиций и финансовой поддержки, а также разработки законодательного инструмента и политики. Сильная коммуникационная кампания должна сопровождать как разработку, так и реализацию плана по улучшению качества воздуха.

Важно установить достижимые цели для выбранных приоритетных областей и составить реалистичный график реализации определённых мер. Зачастую реализация мероприятий, например, разработка новых нормативных актов или законодательства, может занять до пяти лет, а эффект будет виден лишь после их вступления в силу. Длительные сроки реализации требуют тщательного руководства и надзора, чтобы процесс шёл в соответствии с планом. Также необходимо создать межведомственный исполнительный руководящий совет, который будет внимательно следить за процессом и эффективностью реализации.

Однако, несмотря на то, что улучшение качества воздуха носит долгосрочный характер в горизонте пяти-десяти лет, очень важно как можно скорее приступить к реализации мероприятий по сокращению выбросов и совершенствованию сети пунктов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха. Действия могут осуществляться поэтапно, одно за другим.

4.3 Основные выявленные источники выбросов и соответствующая приоритетная политика

Качество воздуха в Бишкеке и основные выявленные источники выбросов были представлены в главах 3 и 6. На основе анализа имеющихся данных о качестве воздуха, инвентаризации выбросов и примеров расчёта моделирования рассеивания были определены три приоритетных ключевых источника выбросов. В порядке убывания их вклада в загрязнение воздуха в Бишкеке это:

1. **Бытовое отопление** (топливо с высоким содержанием серы). Этот источник оказывает наиболее сильное воздействие на фоновые концентрации загрязняющих веществ в городе в зимние эпизоды загрязнения, когда концентрации мелких частиц и диоксида серы достигают пиков и сильно коррелируют с другими загрязняющими веществами, также образующимися в результате сжигания топлива, такими как CO , NO_x , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ и PM_{10} .
2. **Дорожное движение.** Согласно инвентаризации выбросов, выбросы от автомобильного транспорта являются одним из приоритетных источников выбросов NO_x и $\text{PM}_{2.5}$. Автомобильные выбросы также оказывают сильное влияние на качество воздуха, поскольку их выброс происходит на приземном уровне.
3. **Неконтролируемое сжигание отходов.** Выбросы от бытового сжигания садового мусора и смешанных бытовых отходов включены в кадастр выбросов, но не вносят большого вклада в общий объём выбросов в Бишкеке. Оценки выбросов также были проведены для пожаров в зонах свалки, но не были включены в общие данные, поскольку свалка находится за пределами городской черты. Тем не менее, пожар на свалке оказывает значительное влияние на качество воздуха вблизи свалки, и эта проблема должна быть решена в приоритетном порядке.

Эти ключевые источники выбросов были определены на основе данных о качестве воздуха, доступных авторам настоящего исследования. При наличии более подробной характеристики источников (посредством улучшенного наблюдения или оценки выбросов), можно будет более точно определить основные дальнейшие шаги по управлению качеством воздуха. Однако даже при наличии ограниченных данных можно предоставить некоторые рекомендации.

Приоритетные меры политики по снижению нагрузки выбросов из этих трёх выявленных источников, а также сценарии снижения выбросов представлены в главе 9.



1. **Бытовое отопление.** Необходимо в оперативном порядке определить доступные альтернативы использованию угля с высоким содержанием серы в традиционных твёрдотопливных печах для отопления домов. Следует избегать любого вида сжигания твёрдого топлива, особенно угля, домашними хозяйствами. С точки зрения качества воздуха лучше производить тепло и электричество, используя уголь на ТЭЦ. ТЭЦ сжигает топливо более эффективно, чем домашние хозяйства, а также использует систему контроля выбросов, поэтому расширение использования электрического отопления и сети ТЭЦ было бы хорошим вариантом. Другие альтернативные варианты отопления могут

включать использование тепловых насосов или электричества, обеспечиваемое за счёт значительного увеличения мощности генерации возобновляемых источников энергии, таких как гидроэлектроэнергия. Ещё одна опция — это установка на крыше солнечных систем отопления и солнечных водонагревателей. Такие системы используются в Риме и Сан-Франциско — в городах, находящихся в схожих с Бишкеком широтах.

Также важно повышать энергоэффективность новых и старых домов и зданий, чтобы уменьшить количество энергии, необходимой для отопления. Помимо этого, необходимо регулирование энергоэффективности зданий. Следует также рассмотреть и изучить инструменты и модели финансовой поддержки со стороны правительства для домашних хозяйств в целях повышения энергоэффективности старых домов или инвестирования в новые варианты отопления и оборудование, такое как тепловые насосы. Льготы в налогообложении, а также модели гарантирования кредитов для поддержки инвестиций домохозяйств в экологичные решения могут быть эффективным механизмом стимулирования общества и экономики. Обеспечение финансовой поддержки и расширение доступности альтернативных вариантов могут повысить готовность домохозяйств инвестировать в более экологичные отопительные системы.

Дополнительные меры могут включать поощрение использования электроэнергии вместо угля во время периода пиковых загрязнений, поддержку реформ в секторе энергетики и электроэнергетики для создания соответствующих условий, пилотирование тепловых насосов и других альтернативных технологий и т.д.



2. Дорожное движение. Сокращение транспортных выбросов можно достичь с помощью различных мер. Среди наиболее широко используемых вариантов политики — повышение стандартов выбросов от дорожных транспортных средств и создание привлекательной и надлежащим образом функционирующей системы общественного транспорта в качестве альтернативы использованию личных автомобилей.

Улучшить экологические характеристики автопарка можно путём обеспечения оснащения автомобилей технологиями контроля выбросов. Для этого требуется стимулирование продаж новых автомобилей, поощрение списания старых автомобилей и/или проведение ежегодной инспекции, чтобы убедиться в использовании технологии контроля выбросов.

Аналогичным образом, важно установить нормы и ограничения выбросов для общественного транспорта, поскольку выбросы от современного автобуса могут быть меньше, чем от сотни более старых частных автомобилей. Поскольку в Бишкеке широко используются микроавтобусы («маршрутки»), они должны быть включены в любые инициативы по модернизации, контролю и проверке транспортных средств.

Соблюдение норм выбросов большегрузными транспортными средствами также важно для снижения выбросов в этом секторе, и в контексте Кыргызской Республики и Бишкека крайне важно начать постепенный вывод большегрузных автомобилей советской эпохи с городских дорог. Как и другие типы транспортных средств, современные грузовые автомобили значительно экологичнее старых (потенциально более чем в 100 раз).

Другим конструктивным шагом может стать пересмотр топливных стандартов для оценки возможностей их улучшения.



3. Сжигание отходов на полигонах и в частных домах. Необходимо создать эффективную систему управления отходами, включающую сбор, переработку, транспортировку и контролируемые процессы захоронения/сжигания отходов. Было бы целесообразно рассмотреть возможность инвестирования в современный завод по переработке отходов в энергию вместо использования свалки. Современные заводы работают в соответствии с чётко определёнными нормами выбросов, такими как Директива Европейского парламента и Совета ЕС «О промышленных выбросах» (EU, 2010). Завод по переработке отходов в энергию мог бы обеспечить город дополнительными электрическими и тепловыми мощностями.

Также было бы разумно обеспечить улучшенное управление отходами, чтобы погасить текущие пожары на свалке.

Считается, что объём отходов в городе, который сжигается или выбрасывается на не-санкционированные свалки, относительно мал. Однако сбор хозяйственно-бытовых биологических отходов для компостирования мог бы стать полезной инвестицией для предотвращения сжигания бытовых отходов и создания полезных запасов компоста для зелёных насаждений Бишкека.



4. Повышение осведомлённости и образование. Важно делиться информацией о влиянии различных действий на качество воздуха, чтобы домохозяйства, население, органы власти и лица, принимающие решения, могли совершать правильный выбор и принимать решения в повседневной жизни, способствующие сокращению выбросов в атмосферу. Также важно делиться информацией о воздействии загрязнения воздуха, чтобы граждане могли уменьшить влияние высоких уровней концентраций загрязняющих веществ в воздухе на свой организм (например, через ношение масок на открытом воздухе или закрытие окон в периоды пиковых концентраций).



5. Долгосрочные цели (т.е. до 2030 и 2040 гг.) по переходу от ископаемого топлива к возобновляемым источникам энергии, таким как гидроэнергия, солнечная энергия и энергия ветра. Эти цели поддерживают действия по борьбе с изменением климата и улучшают качество воздуха.

4.4 Дорожная карта для реализации приоритетных политик и мер

Качество воздуха можно улучшить путём снижения вредных выбросов, предотвращения распространения загрязнителей воздуха и снижения воздействия на людей с помощью различных средств. Таким образом, необходимо разработать долгосрочную национальную программу по борьбе с загрязнением воздуха, определяющую приоритетные области и основные меры по сокращению выбросов и улучшению качества воздуха в долгосрочной перспективе (т.е. на ближайшие 10-15 лет).

Целевые планы действий также необходимы на местном, городском уровне. Приведём пример ЕС: если в каком-либо муниципалитете (городе) превышены предельные значения качества воздуха, установленные ЕС, этот муниципалитет обязан разработать план по улучшению качества воздуха, включающий меры по наискорейшему снижению показателей ниже предельных значений. В частности, такой план был разработан в Хельсинки, Финляндия, где среднегодовая предельная концентрация диоксида азота была превышена на некоторых оживлённых улицах в центре города. В дополнение к снижению выбросов от транспорта, План по улучшению качества воздуха Хельсинки на 2017-2024 годы включает меры по снижению загрязнений от уличной пыли и сжигания древесины.

Хельсинки ежегодно отчитывается о выполнении плана перед Министерством охраны окружающей среды и региональным природоохранным органом, центром Uusimaa ELY Centre. Планы стран-членов ЕС также представляются в Европейскую комиссию для проверки и анализа. Государства-члены могут быть оштрафованы в случае невыполнения своих обязательств по сокращению выбросов.

Согласно законодательству ЕС о качестве воздуха в случае внезапного ухудшения качества воздуха города должны принять меры для улучшения качества воздуха и защиты жителей (EU, 2008). В столичном районе Хельсинки существует совместный план действий по улучшению качества воздуха на случай таких ситуаций (City of Helsinki, 2016). План включает в себя мероприятия по управлению дорожным движением в случае загрязнения воздуха, но его никогда не приходилось применять. Однако планы управления дорожным движением использовались на практике во многих городах Франции, таких как Париж и Лион, в случаях резкого ухудшения качества воздуха.

Меры по защите атмосферного воздуха часто также способствуют сокращению выбросов, являющихся причиной изменения климата. Поэтому их нередко включают в программы и стратегии городов по борьбе с изменением климата и охране окружающей среды. Например, использование транспортных средств и топлива с низким уровнем вредных выбросов, а также продвижение устойчивых видов транспорта и производства чистой энергии дают преимущества как для качества воздуха, так и для климата. Сокращения выбросов от сжигания древесины добиваются, в частности, с помощью средств коммуникации и стимулирования использования более экологичных каминов (аналогичные меры для Бишкека могут быть направлены на сокращение использования угля). Борьба с уличной пылью ведётся, например, путём введения жёсткого контроля за выбросами пыли на строительных площадках в центрах городов.

Таким образом, оптимальной отправной точкой для составления дорожной карты по улучшению качества воздуха в Бишкеке является действующий План комплексных мер по улучшению экологической ситуации в городе Бишкек и Сокулукском, Аламудунском районах Чуйской области на 2021-2023 годы. Срок реализации плана уже наполовину пройден, поэтому в ближайшее время необходима подготовка нового плана.

Рекомендуется, чтобы новый план был более долгосрочным и охватывал более продолжительный период времени (например, 2024-2030 гг.), поскольку реализация целевых мер по контролю загрязнения воздуха требует времени. В случае наличия отдельного национального плана управления качеством воздуха, определяющего приоритетную область (-и) снижения уровня загрязнения на национальном уровне, более «локальный» план управления качеством воздуха по Бишкеку должен быть согласован с национальным планом и поддерживать цели по снижению выбросов на национальном уровне. Примеры такого интегрированного подхода можно увидеть в национальных планах управления качеством воздуха, составленных государствами-членами ЕС (Национальные программы контроля загрязнения воздуха), которые представляются на рассмотрение Европейской Комиссии.

В проектирование, разработку и внедрение системы управления качеством воздуха необходимо вовлечь широкий круг различных заинтересованных сторон, включая наиболее уязвимых и пострадавших, поскольку, как правило, улучшение качества воздуха и сокращение выбросов требует значительных финансовых ресурсов и бюджетирования, а также, что очень важно, приверженности и вклада всех заинтересованных сторон. Таким образом, различным министерствам предстоит согласовать цели/задачи и роли, которые они играют в достижении этих задач.

Важно понять, как можно оптимизировать эффективность политики и мер и обеспечить наилучшую отдачу от расходов. Следовательно, до согласования политики и мер необходимо провести анализ результативности затрат.

Также необходимо определить приоритетные области планирования долгосрочного сокращения выбросов. Именно на эти приоритетные области должны быть ориентированы разрабатываемые меры. Реализация этих мер, в свою очередь, требует детального плана действий и плана корректирующих действий. План действий должен также учитывать гендерные аспекты и предусматривать правозащитный подход как способ решения этой экологической проблемы. Например, поскольку женщины больше подвержены воздействию выбросов от бытового отопления, как основного источника загрязнения воздуха в Бишкеке, их идеи должны быть в обязательном порядке учтены при разработке или реализации любых мер.

Три различных сценария сокращения выбросов и их влияние на выбросы представлены в **главе 9**, а основные выявленные источники выбросов описаны в предыдущей **главе 4.3**.

4.5 Координация между различными заинтересованными сторонами и донорами

Группа по оценке, в частности местные эксперты, а также ЮНЕП и ПРООН хорошо знакомы с заинтересованными сторонами в области качества воздуха в Бишкеке. Соответствующие технические/национальные заинтересованные стороны — это представители государственных ведомств, например, Министерства природных ресурсов, экологии и технического надзора, Аппарата Председателя Кабинета Министров, Министерства здравоохранения, Министерства чрезвычайных ситуаций и подведомственного ему Кыргызгидромета, Мэрии Бишкека и городской администрации; неправительственных организаций (НПО), гражданского общества, общественных групп и активистов, например, из экологического, правозащитного, медицинского и других секторов; частного сектора. Другими важными заинтересованными сторонами являются партнёры по развитию, дипломатические миссии, например, Посольство США, и академические круги.

В управлении качеством воздуха важна координация между различными заинтересованными сторонами, чтобы все они разделяли единое видение и цели по обеспечению чистого воздуха в Бишкеке. Благодаря презентациям экспертов и семинарам, заинтересованные стороны получили знания и информацию о загрязнении воздуха, его причинах и последствиях, а также о проблемах качества воздуха. Это важный шаг в достижении консенсуса в отношении доказательных данных и фактов по вопросам качества воздуха.

Для обмена информацией, результатами исследований, а также для координации различных мероприятий так, чтобы они могли дополнять, а не дублировать друг друга, очень важны коммуникация и координация.

Координация деятельности заинтересованных сторон в настоящее время осуществляется посредством регулярных многосторонних встреч, организуемых НПО, международными группами и игроками. Многосторонние встречи заинтересованных сторон являются платформой для представления различных точек зрения, обсуждения вопросов, проведения переговоров и составления коллективных соглашений. В ходе совещаний заинтересованные стороны и представители группы по оценке рассматривают технические темы, предоставляют информацию о процессе вовлечения заинтересованных сторон, предлагают решения различных вопросов, а также разрабатывают механизмы для дальнейшего вовлечения и поддержки участия заинтересованных сторон.

Результаты и итоги оценки были представлены на совещаниях с заинтересованными сторонами, на семинаре ЮНЕП-ПРООН-АУЦА по загрязнению воздуха «Решение проблемы загрязнения воздуха для улучшения здоровья и зелёного будущего» (в октябре 2021 года) и на 1-й Центральноазиатской

конференции по качеству воздуха в Бишкеке (в марте 2022 года), организованной при поддержке Государственного департамента США и ЮНЕП. Кроме того, в ходе проекта партнёры по развитию приняли участие в нескольких других совещаниях доноров.

4.6 Рекомендации по укреплению системы управления качеством воздуха

Учитывая высокие уровни концентраций загрязняющих веществ и численность населения (1 миллион человек) в Бишкеке, существующей сети мониторинга за загрязнением атмосферного воздуха недостаточно для предоставления достоверной информации о качестве воздуха в целях поддержки принятия решений, информирования и защиты граждан. В настоящее время существует всего одна стационарная автоматизированная станция мониторинга за качеством воздуха, эксплуатируемая Кыргызгидрометом, которая расположена в фоновом районе Бишкека. Требуется больше станций наблюдения за загрязнением воздуха в различных условиях и районах — дорожных, промышленных, городских и районных фоновых станций — поскольку уровень загрязнения и воздействие различных источников выбросов варьируется в зависимости от района города. Также рекомендуется приобретение опыта местными экспертами и учреждениями в области систем моделирования атмосферной дисперсии. Кроме того, во многих моделях прогнозирования качества воздуха можно улучшить исходные данные по Бишкеку (выбросы, виды деятельности, фоновые концентрации, метеорологические наблюдения).

В Бишкеке увеличивается число датчиков качества воздуха и их сетей, эксплуатируемых различными организациями. Датчики являются индикативными инструментами мониторинга качества воздуха, которые могут использоваться в дополнение к референтным (эталонным) станциям, однако качество датчиков не соответствует требованиям ЕС по мониторингу (EU, 2015). Поэтому существует необходимость в расширении сетей пунктов наблюдения за качеством воздуха и проведении более детального анализа, такого как исследование распределения источников концентрации источников, для поддержки принятия решений и подготовки планов действий по улучшению качества воздуха. Другим важным шагом является совершенствование законодательства в области охраны атмосферного воздуха. Существующее в Кыргызской Республике законодательство о качестве воздуха не соответствует последним международным рекомендациям и не учитывает последние знания о негативном воздействии загрязнителей воздуха.

4.6.1 Улучшение качества и охвата сети наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха

Планирование и создание сети станций мониторинга/пунктов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха (СПНЗ) является важной задачей органов, ответственных за охрану окружающей среды. Органам власти необходимо спланировать и организовать эффективную с точки зрения затрат, систематически и надлежащим образом функционирующую СПНЗ, позволяющую отслеживать концентрации отдельных загрязнителей. Определение целей измерения повлияет на организацию сети станций и позволит оптимизировать ресурсы, необходимые для наблюдения. Благодаря этому сеть сможет предоставлять оптимизированную информацию по ключевым рассматриваемым вопросам (**рисунок 9**).

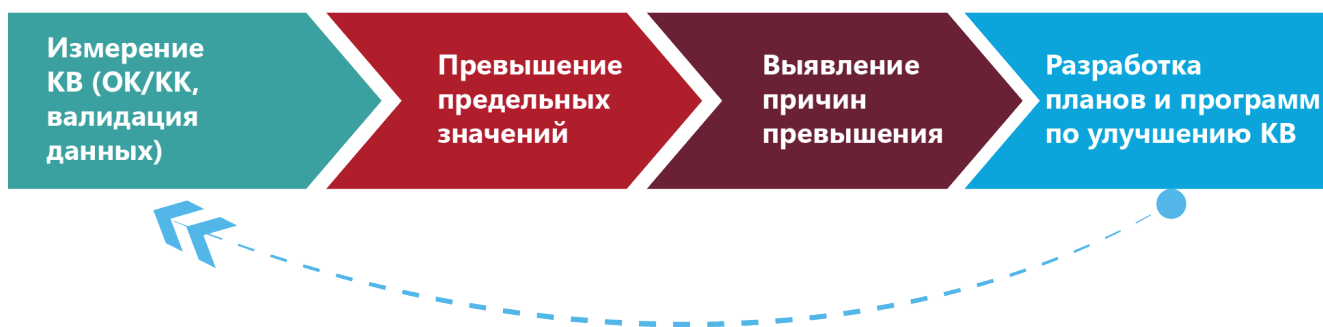


Рисунок 9 Надлежащим образом спланированная система наблюдения за качеством воздуха является фундаментальным элементом эффективного процесса управления качеством воздуха.

Основные цели разработки программы измерения и наблюдения за качеством воздуха связаны со следующими аспектами:

- оценка воздействия загрязнителей на население и их влияния на здоровье, включая сбор и анализ данных, где это возможно, с разбивкой по полу;
- определение рисков для природных экосистем;
- выявление и отнесение загрязнения к различным источникам;
- обеспечение соответствия промышленных источников выбросов экологическим разрешениям;
- определение соответствия национальным или международным нормам качества воздуха;
- информирование населения о качестве воздуха и создание систем оповещения;
- обеспечение объективного вклада в управление качеством воздуха и в планирование в секторах транспорта, землепользования и промышленности;
- разработка политики и установление приоритетов для управленческих действий;
- разработка и валидация инструментов управления, таких как модели и географические информационные системы;
- количественная оценка тенденций для выявления будущих проблем или прогресса в достижении целей управления или контроля.

На **рисунке 10** показаны основные элементы организации СПНЗ. Необходимы исходные данные о видах деятельности и выбросах на исследуемой территории, а также о соответствующих загрязнителях атмосферы.

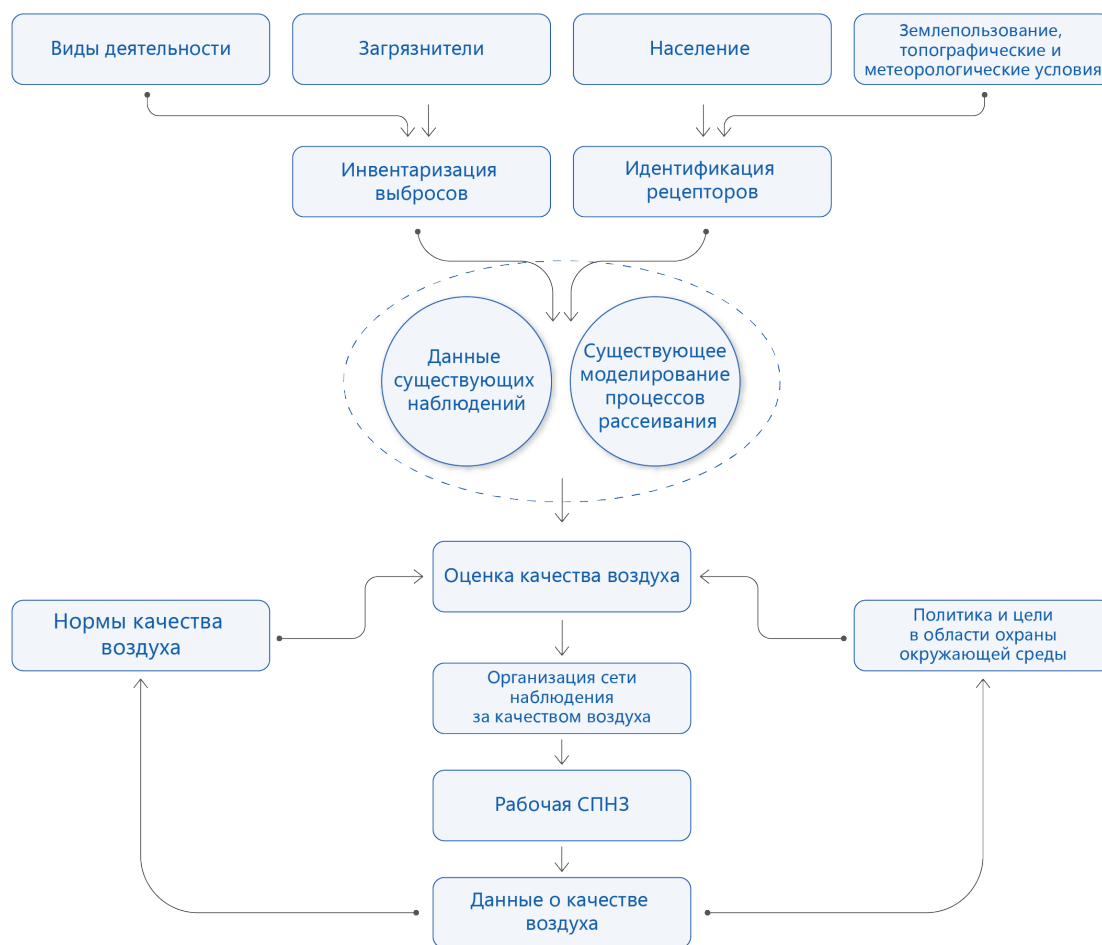


Рисунок 10 Пример основных элементов дизайна системы управления качеством воздуха.

Информация о населении (с разбивкой по полу и социально-экономическому статусу), землепользовании, топографических и метеорологических условиях также необходима для определения объектов для защиты и оценки рассеивания загрязняющих веществ. В идеале нужны данные наблюдений и результаты моделирования рассеивания, на которых органы власти могут основывать свою оценку качества воздуха и проектирование сети пунктов наблюдения; в противном случае организация сети должна быть основана на экспертной оценке с использованием имеющихся исходных данных.

Другие условия проектирования СПНЗ исходят из национальной экологической политики и целей, а также существующих норм качества воздуха. В странах с более совершенным законодательством в области качества воздуха (например, в США, странах-членах ЕС) установлены подробные правила мониторинга КВ, в частности о том, где и когда должны проводиться наблюдения, какие соединения необходимо отслеживать с помощью каких методов и т.д. (например, EU, 2008; NAAQS, 2011). В развивающихся странах такая правовая база может быть недостаточной или вовсе отсутствовать, поэтому необходимо провести анализ пробелов для приведения существующих систем в соответствие с лучшими международными практиками. Международные организации также разработали полезные руководства по КВ, ориентированные на их собственные экспертные области: например, ВОЗ – по вопросам загрязнения воздуха, связанным со здоровьем, а Всемирный банк — по лучшей практике в области КВ для промышленных предприятий.

В каждой стране развитие СПНЗ и разработка вспомогательной правовой базы должны рассматриваться в качестве смежных процессов, которые можно улучшить путём принятия существующих успешных подходов.

4.6.2 Процесс управления качеством воздуха

Сотрудничество между различными заинтересованными сторонами (лица, принимающие решения в области политики, органы власти, экспертные институты и университеты, промышленность/загрязнители, НПО, СМИ, граждане и т.д.) на национальном, субнациональном и местном уровнях имеет решающее значение для эффективного управления качеством воздуха. Борьба с трансграничным загрязнением воздуха, к примеру, требует сотрудничества на региональном и международном уровне. Весь процесс управления качеством воздуха является циклическим и включает в себя множество уровней деятельности, в том числе разработку политики/правовой базы, установление норм КВ, мониторинг и оценку качества воздуха и его воздействия, планирование мер по улучшению качества воздуха и смягчению проблем, выдачу разрешений, реализацию и обеспечение выполнения мероприятий, а также соответствующий мониторинг (**рисунок 11**). Ни один из этих видов деятельности сам по себе не является достаточным для достижения цели улучшения качества воздуха, и все этапы процесса связаны и/или являются необходимыми друг для друга. Мониторинг и оценка качества воздуха, основанные на точной информации об уровне загрязнения, являются важнейшим элементом и основой процесса.

В процессе управления качеством воздуха также необходимо чётко определить лидера, то есть учреждение, которое наделено полномочиями (на уровне законодательства) отвечать за координацию, управление и надзор за процессом управления качеством воздуха. Также необходимо определить долгосрочные цели и обязательства по реализации мероприятий для достижения поставленных целей. Для улучшения качества воздуха требуются действия и меры по снижению объёмов выбросов. Большинство мер связаны со значительным объёмом инвестиций и выделением бюджета со стороны правительства или городской администрации, поэтому прежде всего необходимо провести оценку экономической эффективности планируемых приоритетных действий. Приоритетные действия должны учитывать гендерные аспекты и оказывать максимально возможное влияние на снижение уровня загрязнения. Кроме того, необходимо проводить мониторинг воздействия реализованных мер.

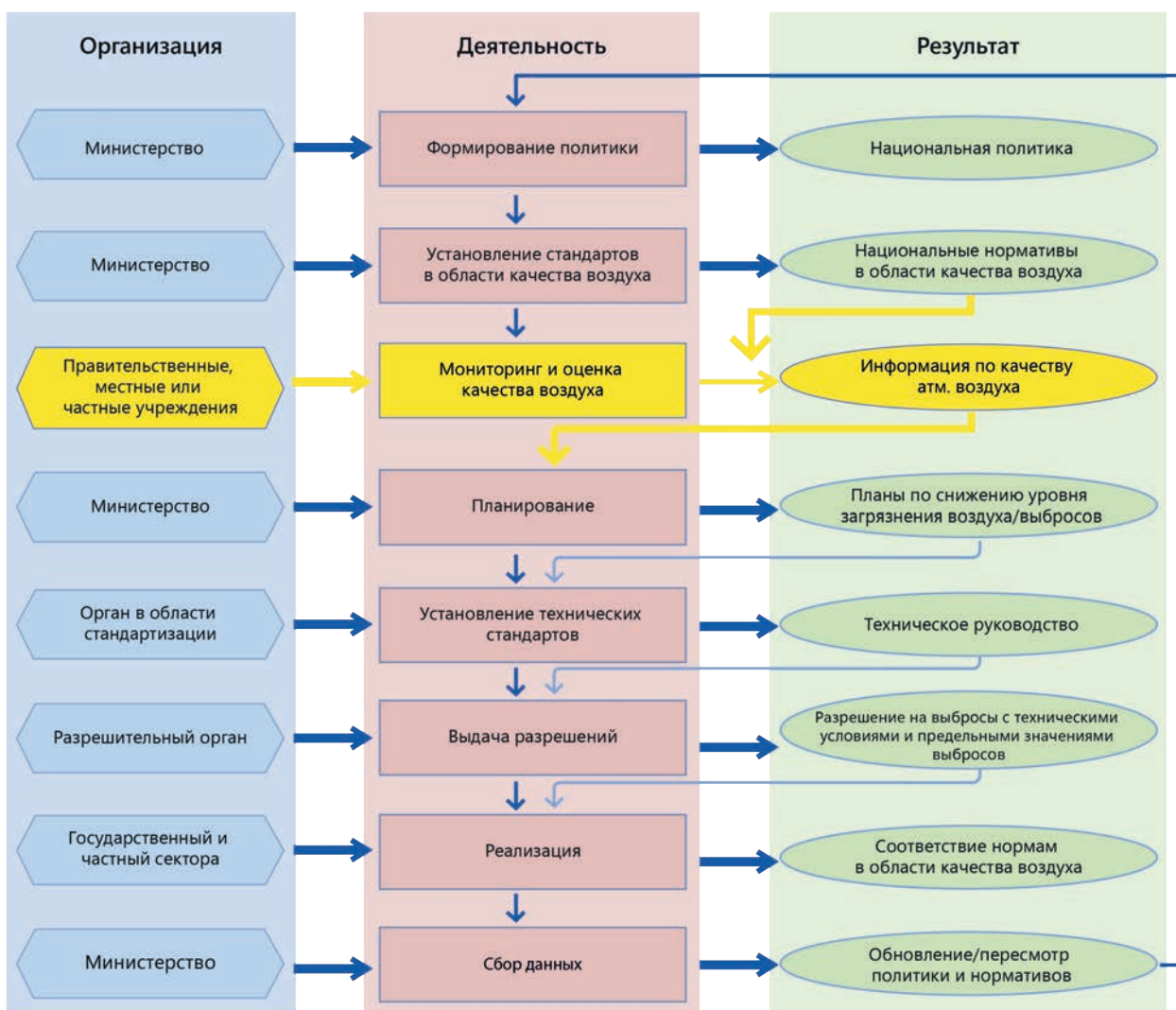


Рисунок 11 Упрощённый процесс управления качеством воздуха во главе с ответственной организацией.

4.6.3 Доступность данных

Очень важно, чтобы все доступные данные о качестве воздуха имели понятную, стандартную форму. Эти данные должны быть доступны для общественности, лиц, принимающих решения, и учёных-исследователей, чтобы любой, кто интересуется качеством воздуха, имел возможность получить эту информацию. При публикации данных к ним, как правило, применяются высокие критерии качества. Таким образом, публикация данных может улучшить обеспечение качества и контроль качества (ОК/КК) данных. Например, данные о качестве воздуха в режиме онлайн и исторические данные должны быть доступны и бесплатны для любого пользователя, желающего получить доступ к ним в электронном виде. Для разработки кадастра выбросов важна доступность всех видов статистических данных. В отсутствие данных очень сложно проводить углублённые оценки и исследования качества воздуха.

В ЕС директива INSPIRE (Директива 2007/2/ЕС) направлена на расширение обмена пространственной информацией об окружающей среде между организациями государственного сектора в целях

упрощения доступа общественности к экологической информации по всей Европе. Благодаря этой директиве была создана европейская инфраструктура пространственных данных, позволяющая находить, просматривать и загружать пространственную информацию для поддержки процесса выработки политики в разных странах.

4.6.4 Предварительная дорожная карта приоритетных мероприятий

Отчёт предлагает мероприятия по усовершенствованию существующих инструментов, аналитических материалов и наборов данных, а также первоначальное представление о том, как может выглядеть реалистичный график таких мероприятий. Приведённые ниже предложения требуют дальнейшего обсуждения и доработки, в частности, с учётом уровня местного потенциала. Рекомендуется проводить работу совместно с международными экспертами. Примерный план работ по реализации Дорожной карты по разработке различных компонентов, составляющих систему управления качеством воздуха для Бишкека (и Кыргызской Республики в целом), представлен в **таблице 8**.

А. Анализ институциональных механизмов

Распределение ролей/ответственности за управление качеством воздуха: Управление качеством воздуха требует участия многих министерств, ведомств, организаций и технических групп экспертов. Ответственность за различные виды технических работ (эксплуатация сети наблюдения, составление кадастра выбросов и прогнозов, проведение политики в различных министерствах и т.д.) должна быть возложена на наиболее подходящие группы/организации. Работа также должна быть хорошо скоординирована, для чего желательно создать межведомственную группу. Помимо эффективной координации её работа призвана способствовать сотрудничеству и налаживанию обмена данными между различными группами заинтересованных сторон.

Соответствующий анализ может быть проведён в течение последующих месяцев. Однако реализация любых рекомендаций, скорее всего, займёт много времени, так как потребует изменения текущих ролей, обязанностей и обеспечения достаточного финансирования (см. ниже).

Развитие и финансирование местного потенциала: Важно обеспечить наличие достаточного количества местных специалистов и усилить их потенциал. Для этого на первоначальном этапе важно работать с командами международных проектов с последующим развитием потенциала местных специалистов для независимой работы в будущем. Необходимо также принять особые меры для того, чтобы мероприятия по повышению экспертных знаний и потенциала включали женщин.

После анализа институциональных механизмов можно организовать мероприятия по укреплению потенциала и обучение для местных групп, обеспечив их необходимыми навыками и инструментами для поддержки эффективной работы системы управления качеством воздуха.

В. Совершенствование сети наблюдения за качеством атмосферного воздуха

Необходимо продолжить развивать сеть наблюдения за качеством/загрязнением атмосферного воздуха. На первом этапе предлагается установить от 3 до 5 новых автоматических многокомпонентных станций наблюдения для различных городских условий. Кроме того, необходимо создать систему сбора данных и портал качества воздуха, предлагающий данные в режиме реального времени. Помимо этого важно укреплять и повышать квалификацию (проводить обучение) сотрудников местных учреждений, ответственных за мониторинг качества воздуха, по вопросам современного мониторинга качества воздуха и соответствующих ОК/КК процессов (в течение примерно 18 месяцев):

- 2 придорожные станции
- 1 промышленная станция (при необходимости)
- 2 городские фоновые станции в разных районах города (центр и пригород).

На втором этапе предлагается размещение региональной фоновой станции в сельской местности (на расстоянии примерно 50 км от городской зоны Бишкека).

С. Совершенствование инвентаризации выбросов и инструментов прогнозирования

Текущий кадастр выбросов основан на нескольких предположениях и экспертных оценках, в связи с чем не может считаться достаточно точным для поддержки разработки политики. Для того, чтобы кадастр выбросов отражал реальные условия в Бишкеке, требуется больше местных данных.

В **главе 8.4.7** представлены приоритетные мероприятия по совершенствованию инвентаризации выбросов и, в частности, данные, которые необходимо получить. Приоритетными источниками выбросов для улучшения кадастра являются сжигание топлива в жилых домах, автомобильный транспорт и производство электроэнергии и тепла. При наличии соответствующих наборов данных улучшение кадастра может занять несколько месяцев, однако может оказаться, что новые данные необходимо будет собирать впервые, и тогда этот срок может увеличиться до одного или двух лет.

Было бы целесообразно закрепить ответственность за инвентаризацию и прогнозы выбросов в Бишкеке за местной группой экспертов, которая уже имеет опыт проведения национальных оценок выбросов парниковых газов и загрязнителей воздуха.

Д. Проведение исследований по распределению концентрации источников

Карты выбросов: Карты выбросов необходимы в качестве исходных данных для моделирования рассеивания, которое даёт представление о распределении концентрации источников. После обновления кадастра выбросов оценки текущих выбросов могут быть нанесены на карту. Это потребует сбора многочисленных пространственных наборов данных.

Возможности моделирования рассеивания: Не обязательно, чтобы местные эксперты развивали эти навыки. Достаточно, чтобы международные эксперты провели исследования по моделированию рассеивания, описывающие связь между выбросами и концентрациями, а затем предоставили эти данные местной группе экспертов, которая будет разрабатывать политику, соответствующие меры и работать с ними в дальнейшем.

Е. Разработка и реализация мер политики

Воздействие политики и мер: Информацию о воздействии на выбросы проводимой политики и различных мер можно объединить для получения сценария выбросов. Сюда же можно включить информацию о распределении источников загрязнителей для проведения количественной оценки изменения их концентраций в окружающей среде при применении политик и мер. В настоящее время эта работа может быть выполнена международными экспертами; вместе с тем, в будущем можно обучить группу экспертов, ответственную за инвентаризацию выбросов, в целях проведения ими моделирования прогнозов выбросов и результирующего воздействия загрязняющих веществ в окружающей среде.

Экономическая оценка политики и мер: Необходимо оценить экономическую эффективность проводимой политики и мер. Поэтому, наряду с воздействием на концентрации загрязнителей в окружающей среде, необходимо определить стоимость проводимых мер. Для этого можно обучить местную группу экспертов проведению анализа затрат и выгод для наиболее приоритетных (и беспроектных) политики и мер, таких как, например, теплоизоляция в домах, модернизация отопительных приборов в жилых помещениях, обеспечение того, чтобы с новых автомобилей не снималось оборудование для контроля выбросов.

Результаты данного исследования представлены в виде перечня рекомендуемых политик и мер.

4.7 Рекомендации для периодов ухудшения качества воздуха

4.7.1 Эпизоды с высокими и экстремально высокими уровнями загрязнения атмосферного воздуха

Качество воздуха может быстро ухудшаться по разным причинам в течение короткого или более длительного периода времени. Как правило, существуют две основные причины плохого качества воздуха: высокий уровень выбросов в сочетании с неблагоприятными для перемешивания воздушных масс метеорологическими условиями. Концентрация загрязняющих веществ может повышаться как из-за местных, так и трансграничных загрязнителей, переносимых на большие расстояния. Причинами плохого качества воздуха могут быть такие явления, как случайные выбросы или утечки на промышленном производстве, взрывы, лесные пожары и пыльные бури. Всё это непредвиденные события, которые трудно спрогнозировать без специальных инструментов. Лесные пожары или пыльные бури можно прогнозировать с помощью специальных инструментов оперативного моделирования качества воздуха, таких как SILAM (FMI, 2020). В некоторых случаях можно ожидать ухудшения качества воздуха в определённое время года, например, из-за бытового отопления в зимнее время, дорожной пыли в весеннее время и сжигания сельскохозяйственных культур в определённое время года. Зная, что в определённый период времени ожидается плохое качество воздуха (типичное сезонное явление, повторяющееся ежегодно), следует разработать инструменты и индикаторы для прогнозирования качества воздуха и оповещений.

Оповещать о загрязнении воздуха следует тогда, когда ежедневные (или ежечасные) концентрации загрязнённого воздуха значительно превышают нормальный уровень и соответствующие государственные нормы. В качестве пороговых значений для оповещения могут также использоваться рекомендуемые уровни ВОЗ. Однако в случае их постоянного превышения они не применимы для этой цели. Оповещения о плохом качестве воздуха обычно подаются, когда уровень загрязнения воздуха остается высоким в течение нескольких дней. Во время таких периодов люди, особенно уязвимые группы, с большей вероятностью будут реагировать на загрязнение воздуха возникновением респираторных или сердечно-сосудистых проблем.

Правительства обычно признают нездоровый или опасный уровень загрязнения воздуха, ссылаясь на ежедневный индекс качества воздуха (AQI), и именно эти цифры часто используются для прогнозирования на ближайшие дни. Индекс качества воздуха — это национальный показатель, основанный на краткосрочных измерениях качества воздуха, и отличный от рекомендаций ВОЗ, которые представляют собой измерения долгосрочного воздействия (WHO, 2019).

4.7.2 Рекомендации для периодов ухудшения качества атмосферного воздуха

Если загрязнение воздуха достигает высокого или экстремально высокого уровня, местные власти могут ввести более строгие меры по приостановлению или ограничению таких видов деятельности,

как вождение автомобиля или промышленная деятельность в городских районах или вблизи них. Уполномоченные органы власти отвечают за выпуск предупреждений или оповещений о высоком и экстремально высоком уровнях загрязнения воздуха и предоставляют рекомендации о том, как защитить себя в это время. Важно понимать и знать причину плохого качества воздуха, чтобы можно было принять целенаправленные меры. В этом случае на первый план выходят ограничение воздействия и прекращение деятельности, которая может усугубить проблему.

Ниже перечислены некоторые поведенческие рекомендации, которым следует следовать в случае ситуации с плохим качеством воздуха:



Как можно больше времени оставаться в помещении. Во время эпизодов высокого загрязнения воздуха все люди, особенно из групп риска (дети, беременные женщины и пожилые люди), должны как можно дольше находиться в помещении и подальше от дорог с интенсивным движением. Внешние двери и окна должны быть закрыты, чтобы снизить уровень проникновения загрязнения извне. Однако загрязняющие вещества всё же могут попасть в помещение, поэтому целесообразно использовать очистители воздуха. Этот прибор может быть дорогим, а для того, чтобы быть эффективным, он должен быть оснащен соответствующим фильтром. *Избегайте использования очистителей воздуха, которые работают за счёт выработки озона — они лишь повысят уровень загрязнения воздуха в вашем доме.* Будьте осторожны в жаркую погоду. Если находиться внутри с закрытыми окнами слишком жарко, или если вы относитесь к группе риска, переместитесь в помещение с фильтрованным воздухом. Когда качество воздуха улучшится, откройте окна и проветрите дом.



Обеспечьте чистую комнату для сна, особенно для маленьких детей и пожилых людей. Лучший вариант — это комната с небольшим количеством окон и дверей. Держите окна закрытыми. Используйте кондиционеры или очистители воздуха, которые не всасывают воздух с улицы и имеют соответствующий фильтр.



Избегайте длительных и интенсивных нагрузок на улице. Избегайте действий, которые заставляют вас дышать быстрее или глубже. В случае плохого качества воздуха следует оставаться в помещении. Рассмотрите возможность ношения маски. Вместе с тем следует помнить, что эффективность масок против загрязнения воздуха не полностью изучена. Индивидуальный подбор маски очень важен. Маски должны обеспечивать плотное прилегание ко рту и носу. Этого может быть непростой задачей, особенно когда речь идёт о детях.



Предотвращайте появление дополнительных источников загрязнения воздуха в помещении. Избегайте процессов сжигания, например, дров/угля, свечей и благовоний. Не курите табачные изделия в помещении.



Уделяйте особое внимание поддержанию чистоты в помещениях внутри домов. Влажная уборка и протирание пыли предпочтительнее, чем подметание или использование пылесоса, так как они могут поднимать дополнительную пыль и частицы. Многие чистящие средства/растворители также могут создавать высокий уровень загрязнения воздуха в помещениях, хотя эта проблема находится на стадии изучения.



Избегайте излишних поездок на автомобилях, скутерах и других моторизованных транспортных средствах. Это не только предотвратит дополнительное индивидуальное воздействие, но и будет способствовать сдерживанию роста и без того высокого уровня загрязнения окружающей среды (WHO, 2019; AIRNOW, 2022).

Таблица 8 Индикативный план работы по реализации дорожной карты для разработки различных компонентов системы управления качеством воздуха для Бишкека (и Кыргызской Республики в целом). План предполагает значительный вклад со стороны международных финансирующих организаций и оперативное содействие со стороны правительства Кыргызской Республики.

	2023				2024				2025	
	К1	К2	К3	К4	К1	К2	К3	К4	К1	К2
A. Анализ институциональных механизмов	<input type="radio"/>									
Распределение ролей/ ответственности за управление качеством воздуха		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Развитие и финансирование местного потенциала		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
B. Совершенствование сети наблюдения за качеством атмосферного воздуха			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
C. Совершенствование инвентаризации выбросов и инструментов прогнозирования	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>								
D. Проведение исследований по распределению концентрации источников										
Карты выбросов			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						
Возможности моделирования рассеивания			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						
E. Разработка и реализация мер политики										
Воздействие политики и мер					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Экономическая оценка политики и мер					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
Реализация краткосрочных и долгосрочных действий в рамках стратегии по улучшению качества воздуха							<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ЧАСТЬ II – НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ

5 СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О КАЧЕСТВЕ ВОЗДУХА В БИШКЕКЕ



5.1 Бишкек, Кыргызская Республика

Бишкек — столица Кыргызской Республики (**рисунок 12**) с населением около одного миллиона человек. Бишкек находится в Чуйской долине на высоте около 700-900 метров над уровнем моря, чуть севернее горного хребта Ала-Тоо. В 40 километрах к югу от города горные вершины возвышаются более чем на четыре тысячи метров. В соответствии с классификацией климатов Кёппена для Бишкека характерен средиземноморский жаркий летний влажный континентальный климат, отличающийся жарким летом и холодной зимой; в течение одной трети года возникает необходимость в отоплении зданий.

Кыргызская Республика богата гидроэнергией, на которую приходится 70 процентов генерируемой электроэнергии; кроме того, страна обладает существенными запасами угля. В Бишкеке имеется одна ТЭЦ и устаревшая система централизованного теплоснабжения; имеются многочисленные большие и малые котельные и индивидуальные системы отопления. Большинство систем централизованного теплоснабжения и отопительных котельных были изначально спроектированы для использования газа. Однако, начиная с 1990-х годов, после обретения независимости, в условиях сокращения импорта природного газа многие из них были переоборудованы для сжигания угля или использования электроэнергии. Кроме того, значительная часть домохозяйств в городе использует неэффективные отопительные приборы, работающие на твёрдом топливе.



Рисунок 12 Расположение города Бишкек. Google Maps, изображение карты рельефа, 2021 год.

5.2 Метеорологические условия в Бишкеке

Метеорологические данные были получены с метеорологической станции Бишкека (42° 51' 0.00, 74° 31' 59.99) за 2018-2020 годы. На **рисунке 13** представлена среднемесячная температура в Бишкеке на основе данных измерений. Наблюдается чёткий сезонный цикл температуры: самые теплые месяцы приходятся на период с июня по август, а самые холодные — на декабрь и январь. Самые тёплые среднемесячные температуры могут подниматься до более 25°C в летние месяцы, а самые холодные — опускаться ниже 0°C в зимние месяцы.

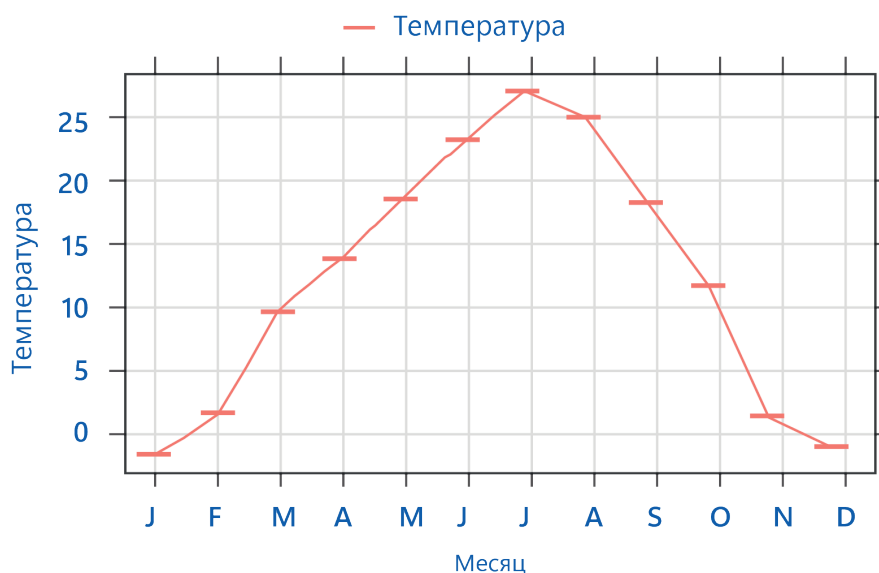


Рисунок 13 Среднемесячная температура в Бишкеке по данным за 2018-2020 гг.

На **рисунке 14** представлены данные о месячном количестве осадков на измерительной станции в Бишкеке. Летние месяцы, как правило, сухие — месячное количество осадков не превышает 40 мм. Весенние месяцы — март, апрель и май — самые влажные месяцы в году. Годовое количество осадков варьировалось от 406 мм (2020 год) до 609 мм (2018 год). Весной 2018 года осадки были исключительно обильными.

Относительная влажность воздуха в Бишкеке показана на **рисунке 15**. Июнь и август являются очень сухими месяцами: относительная влажность падает до 35-40 процентов из-за высоких температур и снижения количества осадков. С ноября по март относительная влажность остается на уровне выше 60 процентов. Согласно классификации климатов Кёппена, в Бишкеке наблюдается средиземноморский жаркий летний влажный континентальный климат (Dsa).

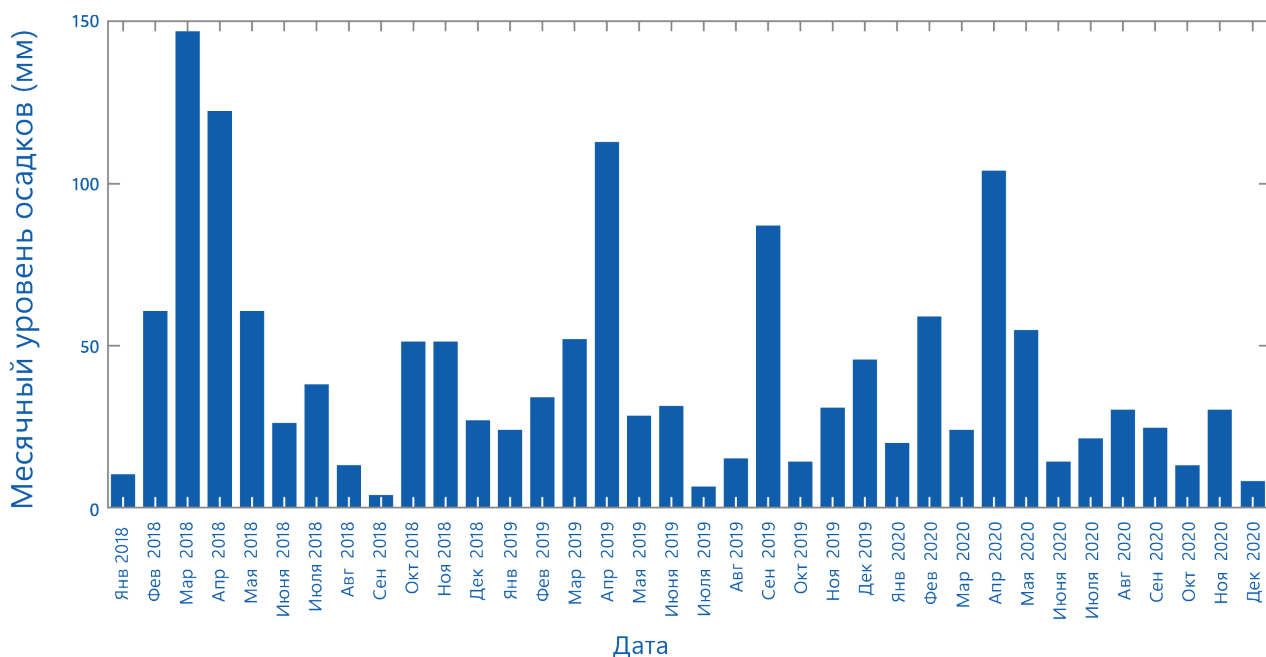


Рисунок 14 Месячное количество осадков (мм) в Бишкеке в 2018-2020 гг.

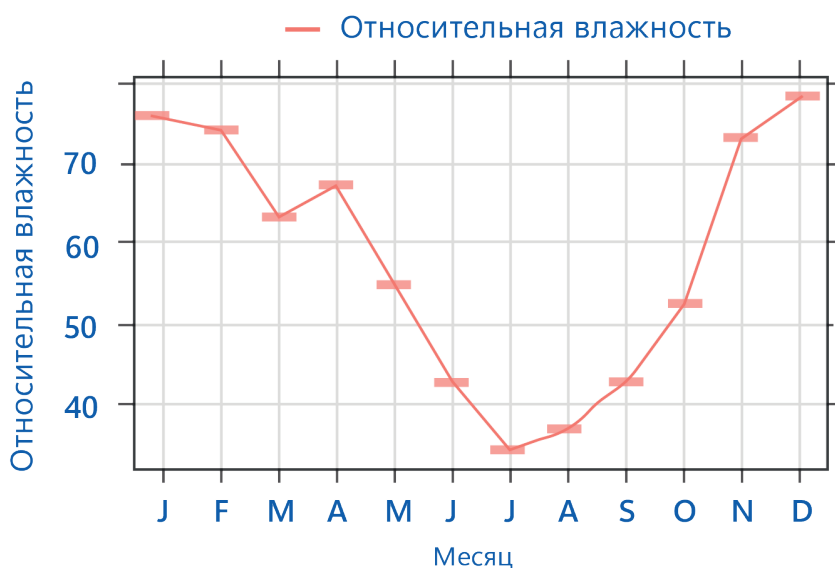


Рисунок 15 Среднемесячная относительная влажность (в процентах) в Бишкеке.

На **рисунке 16** показана роза ветров. Согласно рисунку, преобладают южные и западные ветры. В летние, осенние и зимние месяцы более 15 процентов, а весной почти 20 процентов времени ветер дует с запада. Самые высокие скорости ветра (чёрный и темно-синий цвет), согласно измерениям, приходятся на западные ветры. Низкая скорость ветра (менее 2 м/с, зелёный цвет) чаще приходится на южные ветры.

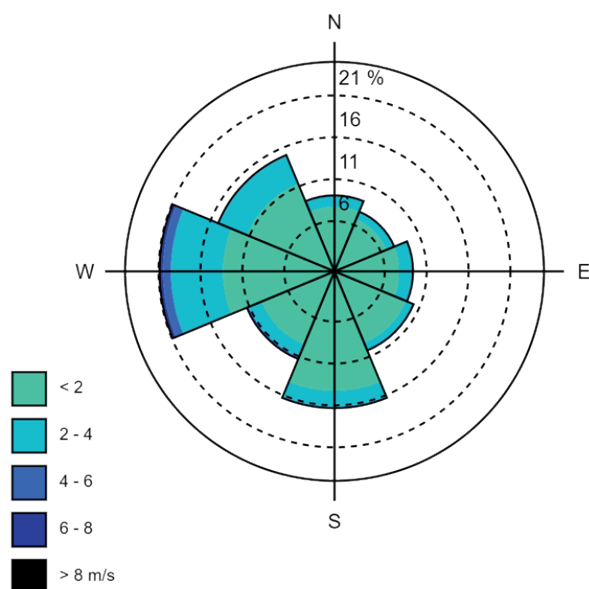


Рисунок 16 Роза ветров: частота повторяемости ветров по сторонам горизонта (в процентах) в Бишкеке.

Рассеивание загрязнителей воздуха происходит в основном в нижней части атмосферы, называемой планетарным пограничным слоем. Высота пограничного слоя определяет объём воздуха, в котором выброшенные загрязняющие вещества могут рассеиваться и перемешиваться с воздухом. Чем больше высота пограничного слоя, тем лучше условия перемешивания загрязняющих веществ. Высота пограничного слоя меняется в зависимости от метеорологических условий и времени года. В ночное и зимнее время, когда солнечная радиация отсутствует или её уровень незначителен, высота пограничного слоя обычно составляет менее 200 метров, но в летнее время она может достигать более 500 метров. Во время приземных инверсий температуры (когда воздух на уровне земли холоднее воздуха над землей), которые обычно возникают в ночное время при ясном небе в условиях близости гор, условия перемешивания очень слабые, и высота слоя перемешивания может быть очень небольшой. Ветровой режим пограничного слоя примерно определяет направление переноса загрязняющих веществ в воздухе, но турбулентность воздушных потоков в пограничном слое и его высота существенно влияют на перемешивание загрязняющих веществ и разбавление их концентраций. Таким образом, ключевыми метеорологическими переменными для рассеивания загрязняющих веществ являются направление и скорость ветра, величина, характеризующая устойчивость атмосферы, и высота слоя перемешивания.

Метеорологические условия благоприятные для перемешивания (смешения) воздушных масс определяют, насколько хорошо загрязняющие воздух вещества рассеиваются в атмосфере. Расчёт условий перемешивания и высоты слоя перемешивания производится с помощью сложных уравнений, учитывающих параметры поверхностной турбулентности и вертикальные профили атмосферы по данным радиозондирования. Условия перемешивания в Бишкеке представлены на **рисунке 17**. Поскольку данные радиозондирования отсутствуют, вертикальные профили температуры и ветра оценивались по данным наблюдений на поверхности. Перемешивание воздушных масс в Бишкеке обычно слабое, в летний сезон — 50 процентов времени, а в зимний сезон — более 85 процентов времени. **Рисунок 18** показывает, что высота слоя перемешивания в Бишкеке в январе и декабре составляет от 100 до 200 метров в 80 процентах случаев. Слабое перемешивание воздушных масс и низкая высота слоя перемешивания обуславливают повышение уровня загрязнения воздуха в зимнее время, поскольку объём, в котором воздух может перемешиваться, меньше, чем в другое время года. Уровень выбросов с земли также обычно выше в зимнее время, что ещё сильнее ухудшает качество воздуха. Периоды сильного и умеренного перемешивания воздушных масс увеличиваются в весенние месяцы, а наилучшие условия наблюдаются в летние месяцы. На **рисунке 18** отсутствуют

данные по высоте слоя перемешивания менее 100 метров. Это связано с отсутствием данных зондирования в районе Бишкека. Самые низкие высоты слоя перемешивания не могут быть определены методом расчёта, который основан на данных измерений ветра метеорологических станций Бишкека. Для более детального вертикального профиля атмосферы необходимы данные зондирования. В Кыргызской Республике зондирования не проводятся, так как они не доступны в базе данных ВМО.

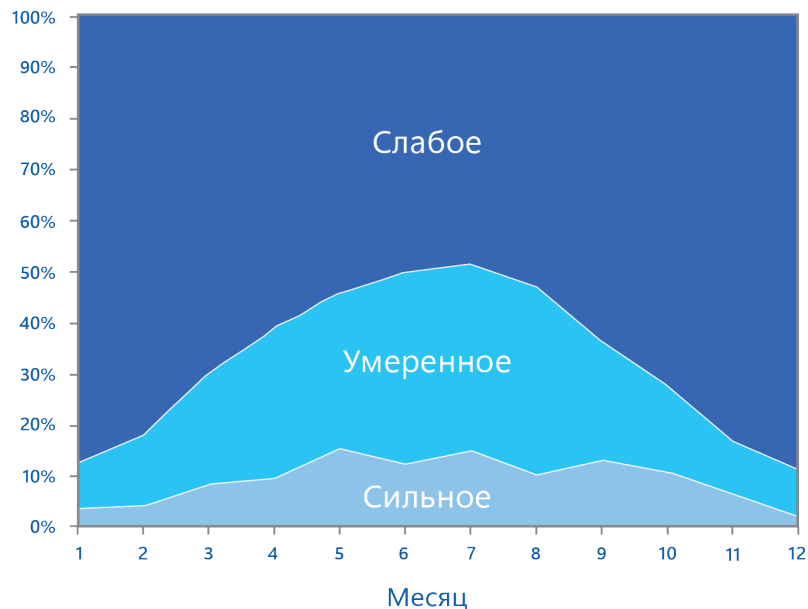


Рисунок 17 Метеорологические условия перемешивание воздушных масс в Бишкеке по месяцам.

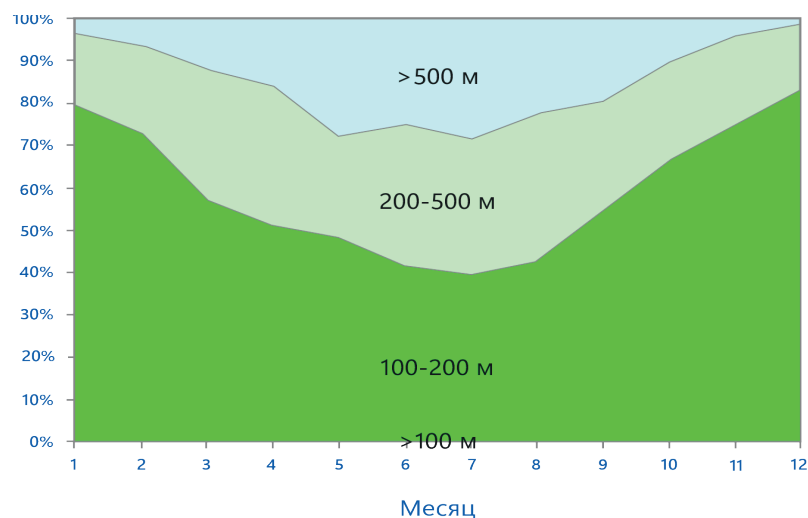
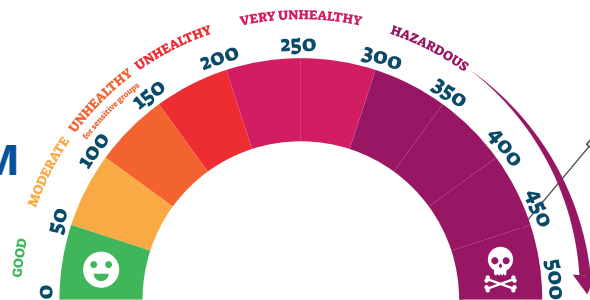


Рисунок 18 Распределение высоты пограничного слоя в Бишкеке.

В Бишкеке близость гор по-разному влияет на метеорологические условия перемешивания атмосферного воздуха. Горы могут вызвать тепловую инверсию, при которой холодный воздух опускается с более высокогорных районов и вызывает уменьшение высоты пограничного слоя. Это может привести к повышению концентраций загрязняющих веществ у поверхности, так как загрязнение воздуха задерживается в меньших объёмах воздушных масс. Горы также могут блокировать ветер и тем самым ухудшать условия перемешивания воздуха. Кроме того, в горах к югу от Бишкека выпадают орографические осадки. Большая их часть выпадает на наветренной (в данном случае южной) стороне гор, а подветренная сторона, как правило, остается сухой. Орографические осадки снижают относительную влажность воздуха и повышают температуру на сухой стороне гор. Поскольку из-за близости гор в Бишкеке выпадает меньше осадков, качество воздуха хуже, чем на равнинной местности, так как осадки очищают атмосферу от загрязняющих веществ путём влажного осаждения.

6 АНАЛИЗ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЗАГРЯЗНЕНИЕМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В БИШКЕКЕ



В настоящее время существует несколько различных источников данных наблюдений за качеством воздуха в районе Бишкека. Однако всего две станции мониторинга — Кыргызгидромета и Посольства США — предоставляют данные усреднённых для каждого часа концентраций основных загрязнителей воздуха за несколько лет, и измерения на этих станциях проводятся с использованием стандартизированных референтных методов или методов, эквивалентного стандартизированному. Мониторинговая станция Посольства США измеряет только твёрдые частицы ($PM_{2.5}$), а станция Кыргызгидромета измеряет почти все основные загрязнители. Таким образом, данная оценка качества воздуха в основном основана на анализе данных со станции наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха Кыргызгидромета, поскольку это наиболее надёжный и всеобъемлющий источник информации, исходя из наличия данных наблюдений за длительный период, измерения уровня концентраций загрязнителей, а также методов измерения и оборудования, используемом на станции. Помимо данных этих двух станций в исследовании были использованы данные сети малобюджетных датчиков. Они по большей части измеряют твёрдые частицы ($PM_{2.5}$), некоторые из них диоксид азота (NO_2). При работе с малобюджетными датчиками были обнаружены существенные ограничения доступа к данным почасового мониторинга и их загрузки, связанные с тем, что на некоторых датчиках данные были доступны только в виде среднесуточных концентраций, а не в виде усреднённых за каждый час значений, на других — данные были представлены в формате индексов качества воздуха. Некоторые датчики также имели очень низкий охват данных. Таким образом, оценить данные датчиков и их надёжность было непросто. Поэтому в этом исследовании данные малобюджетных датчиков рассматривались как индикативный источник данных.

На кафедре метеорологии, экологии и охраны окружающей среды естественно-технического факультета Кыргызско-Российского Славянского университета также имеется автоматическая станция наблюдения за качеством воздуха, которая работает с 2017 года. Однако данные наблюдений этой станции не размещены в свободном доступе, и, следовательно, использованы в данном исследовании не были.

6.1 Автоматическая станция наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха Кыргызгидромета

Автоматическая станция наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха Кыргызгидромета расположена примерно в 5 километрах к западу от центра города (42.860728, 74.525031, **рисунок 19**). Окружающая среда может быть описана как городской фон, жилой район. Основным материалом данного исследования является набор данных усреднённых за час концентраций CO , NO_x , SO_2 , общего количества твёрдых частиц (TSP), PM_{10} , $PM_{2.5}$ и PM_1 . Станция Кыргызгидромета начала функционировать осенью 2015 года. Поддержку Кыргызгидромету в создании станции оказал Финский метеорологический институт.

ПНЗ Кыргызгидромета оснащена анализаторами и оборудованием референтного уровня (таблица 9). Эта область работы осуществляется Кыргызгидрометом при поддержке Финского метеорологического института.

Таблица 9. Приборы для мониторинга качества воздуха на станции Кыргызгидромета.

Компонент	Метод	Прибор
CO	Инфракрасное поглощение	Thermo Scientific, модель 48i
NO/NO ₂ /NO _x	Хемиллюминесценция	Thermo Scientific, модель 42i
SO ₂	Импульсная флуоресценция	Thermo Scientific, модель 43i
TSP	Лазерная нефелометрия	Osiris, Turnkey
PM ₁₀	Лазерная нефелометрия	Osiris, Turnkey
PM _{2.5}	Лазерная нефелометрия	Osiris, Turnkey
PM ₁	Лазерная нефелометрия	Osiris, Turnkey
Автоматический передатчик метеоданных		WXT520, Vaisala



Рисунок 19 Расположение автоматической станции Кыргызгидромета (красный цвет) в Бишкеке и станции Посольства США (синий цвет).

Монооксид углерода (CO)

Сравнение концентраций монооксида углерода, измеренных на станции Кыргызгидромета, представлено на **рисунке 20**. Пиковые концентрации CO в зимнее время превышают рассматриваемые нормативы качества воздуха (за исключением часовой нормы США). Зимой 2017-2018 года в течение четырёхмесячного периода с ноября по февраль национальная среднесуточная норма (ПДКсс) была превышена более чем в половине случаев (59 из 120 дней).

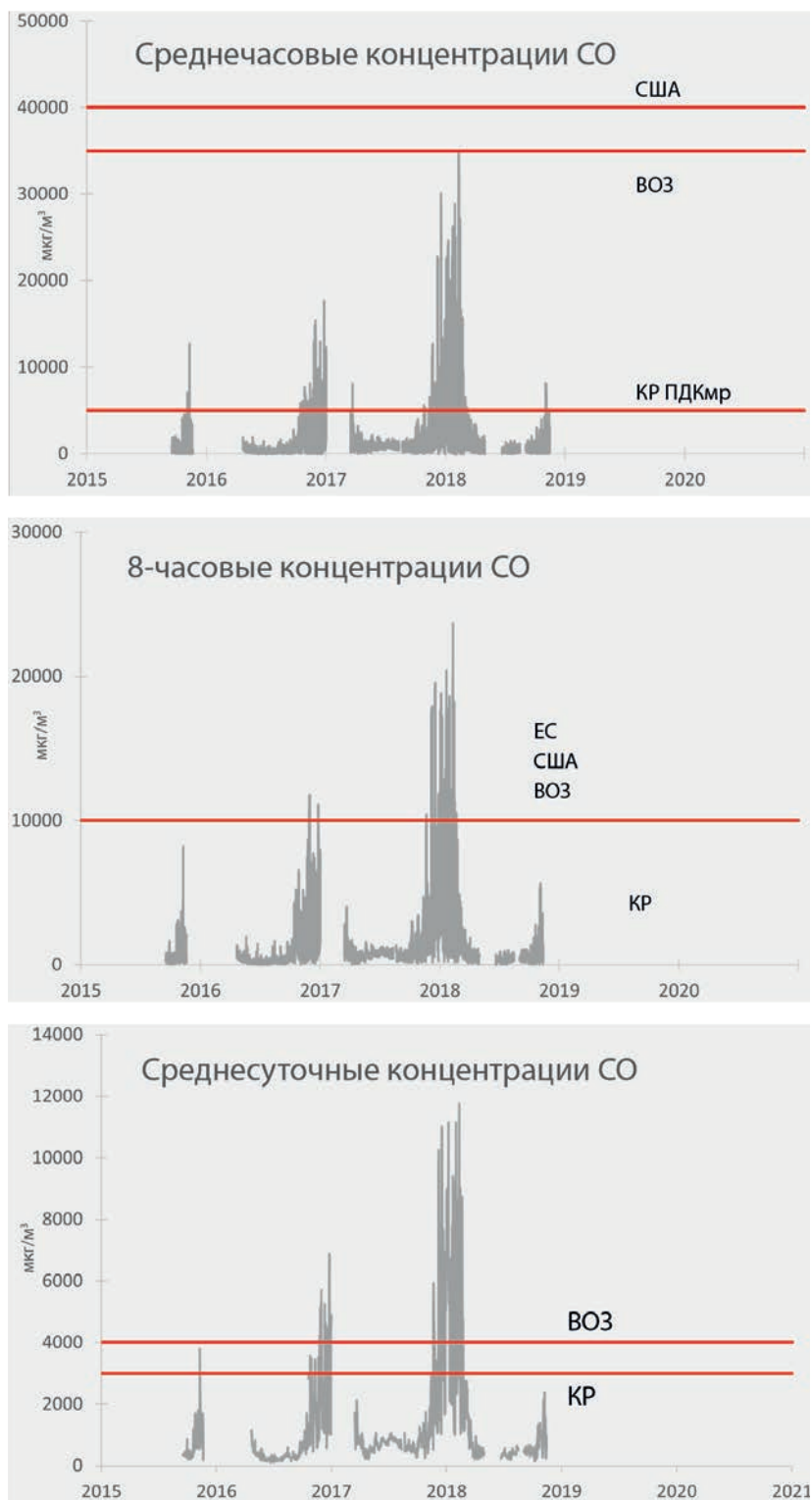


Рисунок 20 Сравнение результатов мониторинга CO на стационарной автоматической референтной станции Кыргызгидромета с основными нормами качества воздуха.

Диоксид азота (NO₂)

Международные усреднённые за час нормы качества воздуха по NO₂ в зимний пиковый сезон (рисунок 21) превышены. В значительной степени превышены и национальные гигиенические нормативы Кыргызской Республики, как максимальная разовая величина (ПДК_{мр}), так и суточные (ПДК_{сс}). В то же время среднегодовые значения находятся на уровне чуть ниже европейских норм и норм ВОЗ. Следует отметить, что станция Кыргызгидромета установлена на отдалении от мест оживлённого транспортного движения, поэтому такое превышение вызывает беспокойство.



Рисунок 21 Сравнение результатов мониторинга NO₂ на стационарной автоматической референтной станции Кыргызгидромета с основными нормами качества воздуха. Белые столбики означают, что охват данных в конкретном году составляет менее 75 процентов.

Диоксид серы (SO₂)

Что касается диоксида серы, в зимний период превышаются все основные нормы, причём наиболее строгие из них — в значительной степени (**рисунок 22**).



Рисунок 22 Сравнение результатов мониторинга SO₂ на стационарной автоматической референтной станции Кыргызгидромета с основными нормами качества воздуха.

Твёрдые частицы диаметром менее 10 мкм (PM₁₀)

Все основные нормы качества воздуха для PM₁₀ сильно превышены. Превышения происходят в течение всего года (рисунок 23).

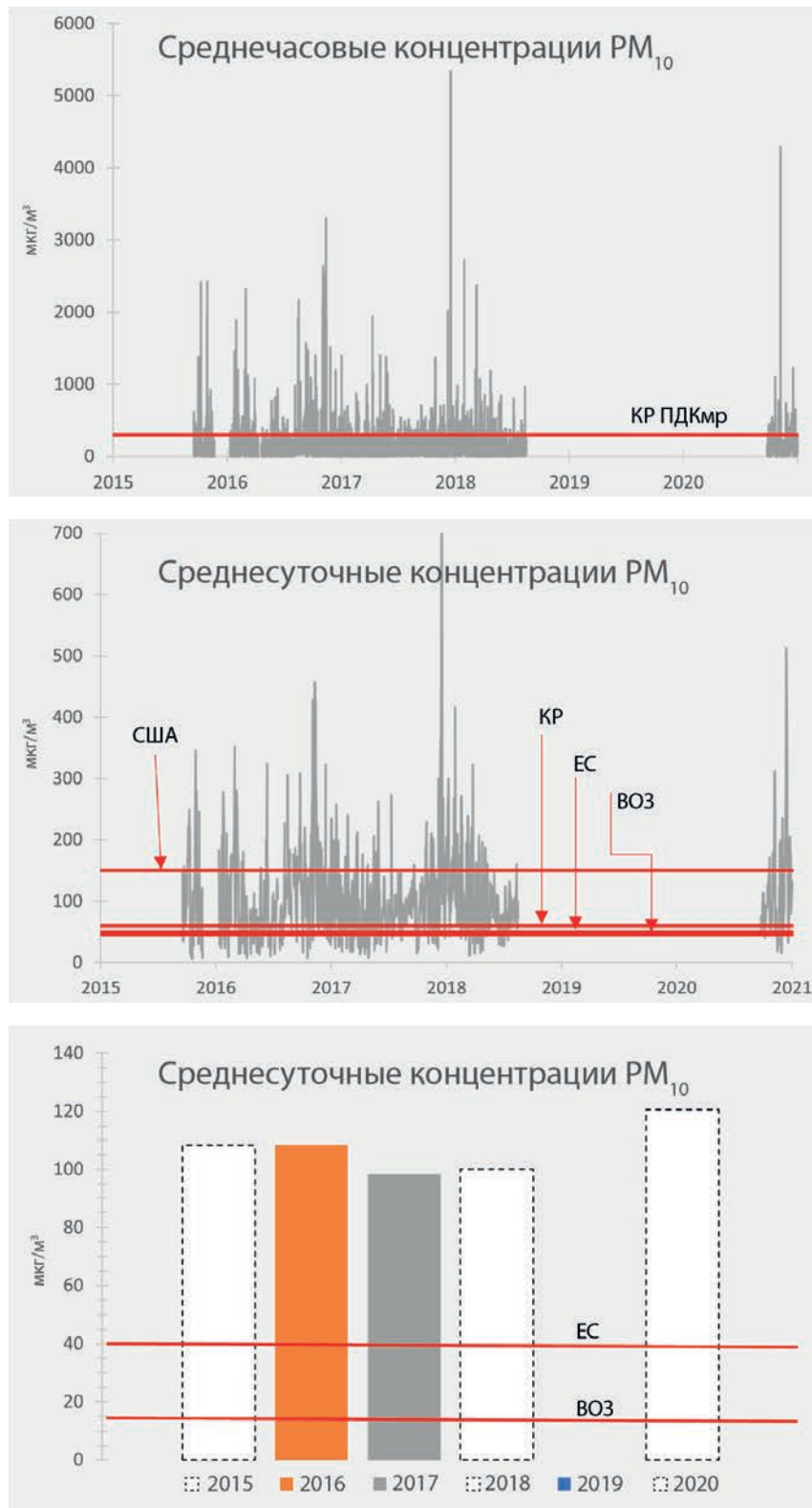


Рисунок 23 Сравнение результатов мониторинга PM₁₀ на стационарной автоматической референтной станции Кыргызгидромета с основными нормами качества воздуха. Белые столбики означают, что охват данных в этом году составляет менее 75 процентов. С августа 2018 года по сентябрь 2020 года данные отсутствуют из-за технических проблем.

Твёрдые частицы диаметром менее 2,5 мкм (PM_{2.5})

Все основные нормы качества воздуха для PM_{2.5} сильно превышены, а краткосрочные стандарты превышаются в основном во время периодов сильного загрязнения, которые происходят в зимнее время. Несмотря на то, что летние концентрации достаточно низки, долгосрочный уровень (среднегодовой) поднимается до тревожно высоких значений (рисунок 24).

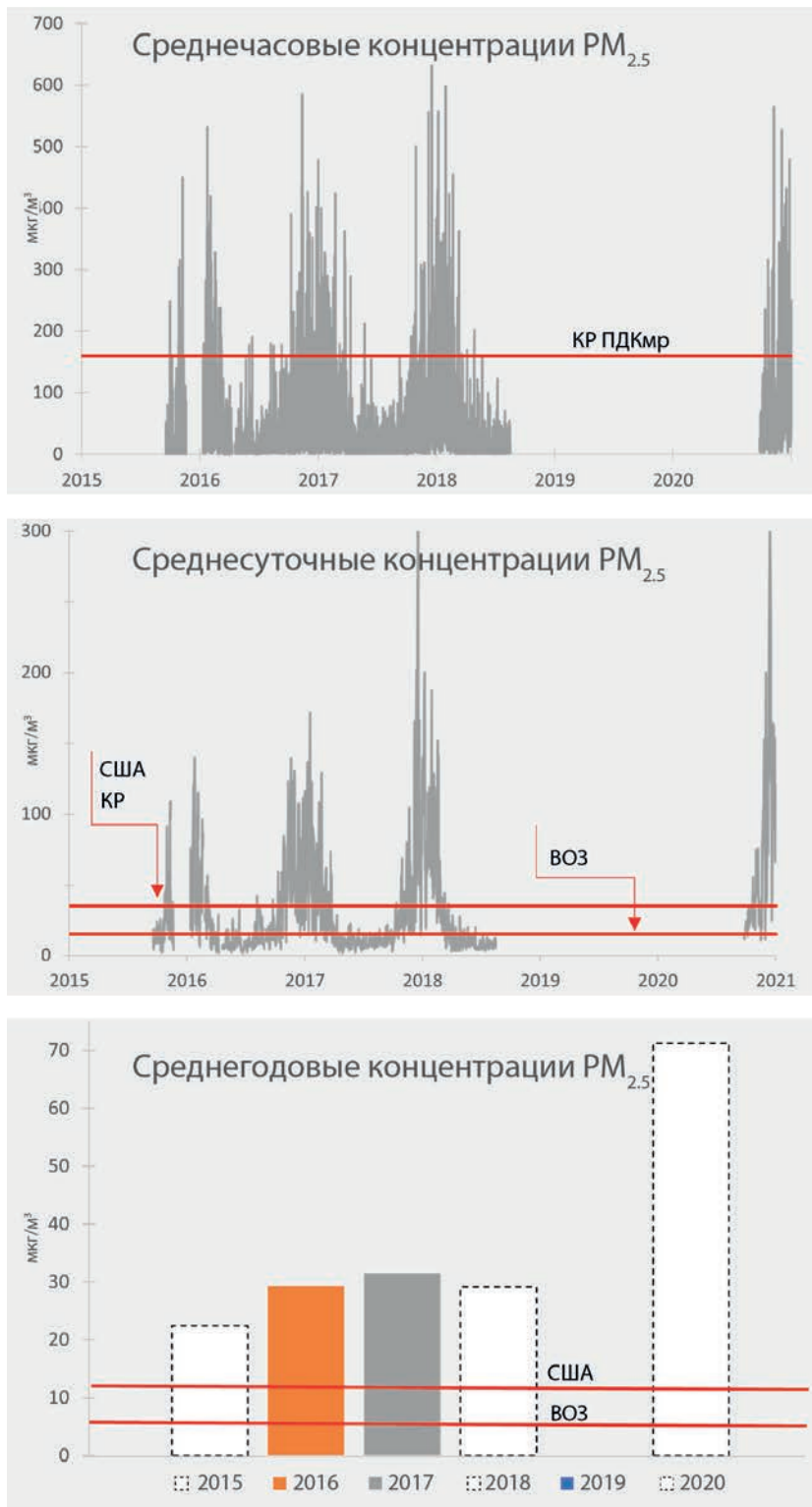


Рисунок 24 Сравнение результатов мониторинга PM_{2.5} на стационарной автоматической референтной станции Кыргызгидромета с основными нормами качества воздуха. Белые столбики означают, что охват данных в этом году составляет менее 75 процентов. С августа 2018 года по сентябрь 2020 года данные отсутствуют из-за технических проблем.

На **рисунке 25** показаны верифицированные данные за 2015-2020 годы. На **рисунке 26** приведён суточный ход всех компонентов, рассчитанный для каждого года. Значительные отклонения в годовых показателях могут указывать на проблемы с качеством измерений, но в данном случае признаков серьёзных проблем нет. Например, аномально высокие значения концентрации $PM_{2.5}$ и PM_1 в 2020 году объясняются тем, что измерения охватывали всего несколько месяцев в конце 2020 года.

Для всех загрязняющих веществ характерны два дневных пика: один до полудня, другой — поздно вечером. Эта закономерность обусловлена сочетанием метеорологических условий перемешивания воздуха и интенсивности выбросов. В полдень высота слоя перемешивания (см. также скорость ветра) достигает своего пика, и загрязняющие вещества эффективно рассеиваются (послеполуденный минимум). После полуночи наблюдается самый низкий уровень выбросов (концентрации начинают снижаться).

Мелкие частицы ($< 2,5$ мкм) демонстрируют лишь слабые утренние пики. Причина этого не очевидна, но это может свидетельствовать о достаточно небольшом уровне утренних выбросов. Аналогичное наблюдение можно сделать по TSP, PM_{10} и PM_1 . Разница между утренним и вечерним пиком, похоже, более выражена в случае твёрдых частиц, чем газообразных загрязнителей.

Что касается метеорологических переменных, интересно отметить, что самые сильные ветры в полдень приходят с запада (вдоль Чуйской долины), а к вечеру поворачивают на юг и ослабевают. Помня о топографии окрестностей Бишкека, это может быть признаком горно-долинного бриза.

Это явление также влияет на качество воздуха. Загрязняющие вещества, выбрасываемые в Бишкеке в дневное время, поднимаются к склонам гор, а вечером при слабом южном ветре возвращаются в город и усиливают вечерние пики загрязнения.

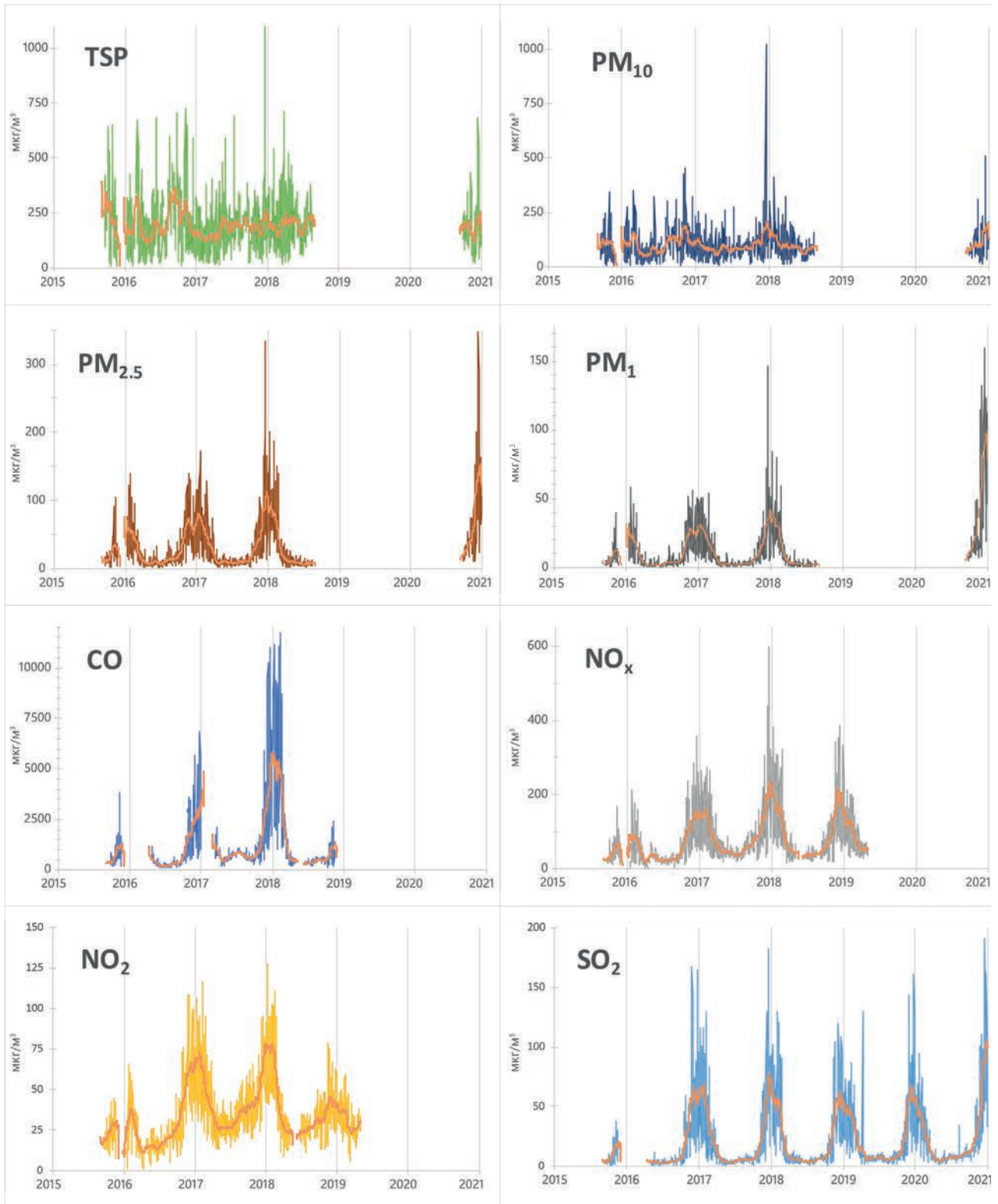


Рисунок 25 Верифицированные данные за 2015-2020 гг. со стационарной автоматической референтной станции Кыргызгидромета, среднесуточные концентрации и 30-дневная скользящая средняя.

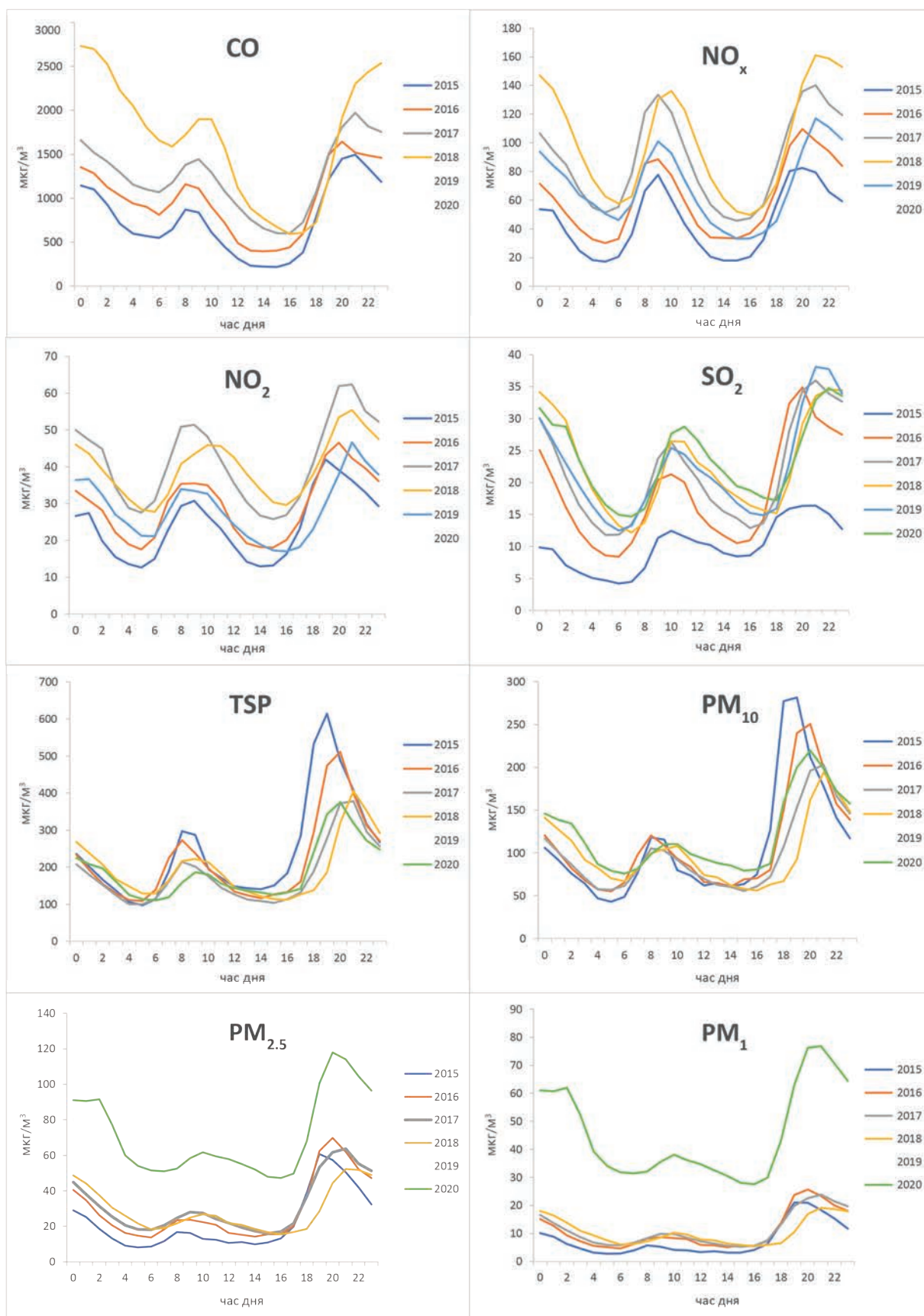


Рисунок 26 Среднесуточные колебания всех переменных, рассчитанные за каждый год. Данные по твёрдым частицам с августа 2018 года по сентябрь 2019 года отсутствуют из-за технических проблем.

Корреляции между концентрациями загрязняющих веществ и метеорологическими переменными

Коэффициент корреляции r измеряет силу и направление линейной связи между двумя переменными. Взаимно-корреляционная матрица показывает коэффициенты корреляции для всех переменных данных. На **рисунке 27** показана взаимно-корреляционная матрица загрязняющих веществ и метеорологических данных. Тёмно-красный цвет указывает на сильную положительную корреляцию, а тёмно-синий цвет — на сильную отрицательную корреляцию.

Была обнаружена сильная положительная корреляция между CO , NO_x , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ и PM_1 . Эти соединения, скорее всего, выбрасываются из источников сжигания топлива. PM_{10} слабо коррелирует, а TSP вообще не коррелирует с этими загрязняющими веществами. TSP, очевидно, является пылью, как и крупная фракция PM_{10} , что объясняет слабую корреляцию с загрязнителями от сгорания. Мелкая фракция ($\text{PM}_{2.5}$ и PM_1) PM_{10} , однако, демонстрирует обоснованную корреляцию с другими загрязнителями от сжигания топлива.

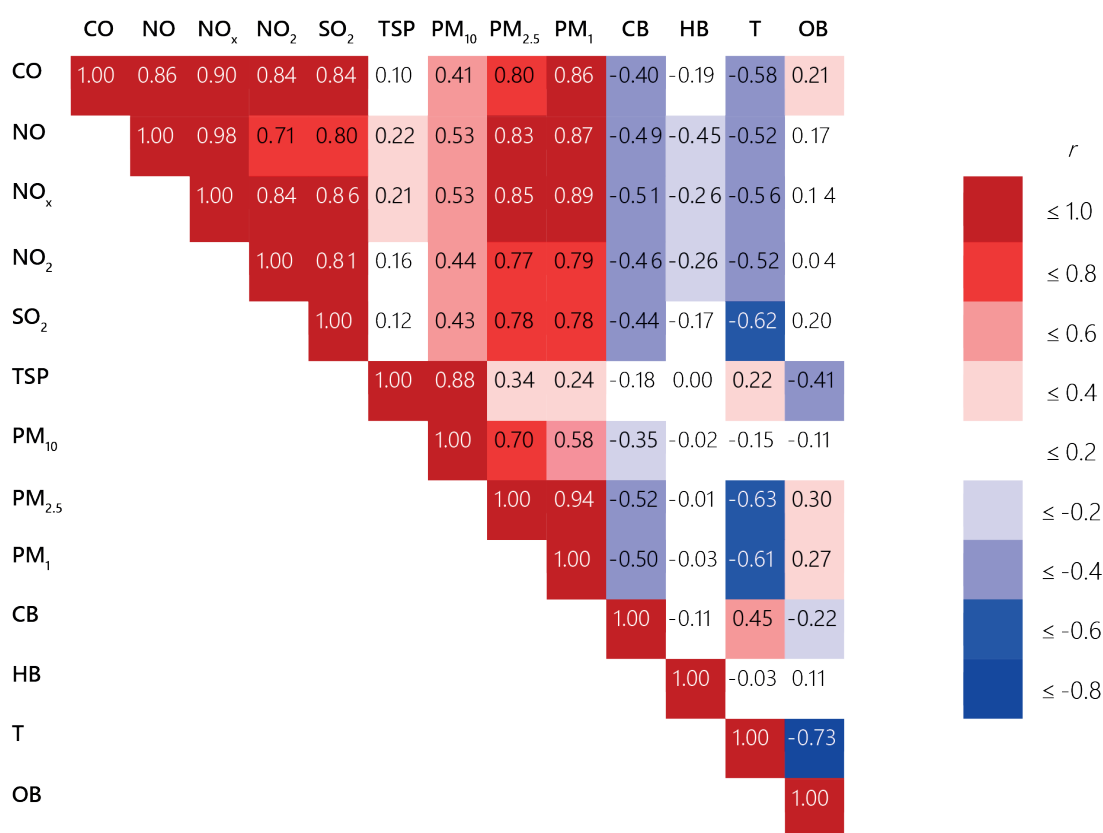


Рисунок 27 Корреляционная матрица среднесуточных значений концентрации и метеорологических переменных. CB=скорость ветра, HB=направление ветра, T=температура и OB=относительная влажность.

CO , NO_x , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ и PM_1 демонстрируют отрицательную корреляцию со скоростью ветра, т.е. при уменьшении скорости ветра концентрации повышаются, что позволяет предположить, что загрязнение, наблюдаемое в Бишкеке, вызвано местными выбросами, температурными инверсиями в ночное и зимнее время, а также температурными инверсиями, вызванными близостью гор (см. главу 5.2).

SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ и PM_1 показывают сильную отрицательную корреляцию с температурой (при снижении температуры концентрации повышаются), что свидетельствует о том, что источником этих загрязнителей являются выбросы от разрозненных отопительных установок с использованием твёрдого топлива. Выбросы от сжигания древесины являются источником огромного количества твёрдых

частиц ($PM_{2.5}$ и PM_{10}), но не содержат SO_2 . Таким образом, поскольку концентрации SO_2 также в существенной степени коррелируют с другими загрязняющими веществами от сжигания, измеренными на станции Кыргызгидромета, вероятно, что сжигание угля с высоким содержанием серы играет важную роль в периоды высокого загрязнения воздуха в зимнее время в Бишкеке.

CO и NO_x имеют более слабую связь с температурой, скорее всего, потому что транспортные выбросы, которые не зависят от сезона или температуры, также являются важным источником этих загрязняющих веществ, наряду с выбросами, связанными с отоплением в зимнее время.

TSP и PM_{10} не коррелируют с температурой; пыль является круглогодичной проблемой в Бишкеке. С другой стороны, TSP демонстрирует слабую связь с относительной влажностью (TSP увеличивается при снижении уровня влажности); в туманные и дождливые дни пыли меньше.

Построение графиков розы загрязнений

Графики розы загрязнений (средние концентрации загрязняющих веществ по секторам направления ветра) могут дать информацию о местоположении источников загрязняющих веществ относительно участка мониторинга. Красные круги на графиках представляют среднюю концентрацию во время штиля (очень низкой скорости ветра). Высокие концентрации во время штиля указывают на сильное воздействие источников выбросов вблизи мониторинговой станции. На **рисунке 28** показаны розы загрязнений NO_2 , NO , CO и SO_2 , обнаруженные на стационарной автоматической референтной станции Кыргызгидромета, а на **рисунке 29** — графики роз загрязнений твёрдых частиц TSP , PM_{10} , $PM_{2.5}$ and PM_1 . Графики розы загрязнения представляют среднюю концентрацию.

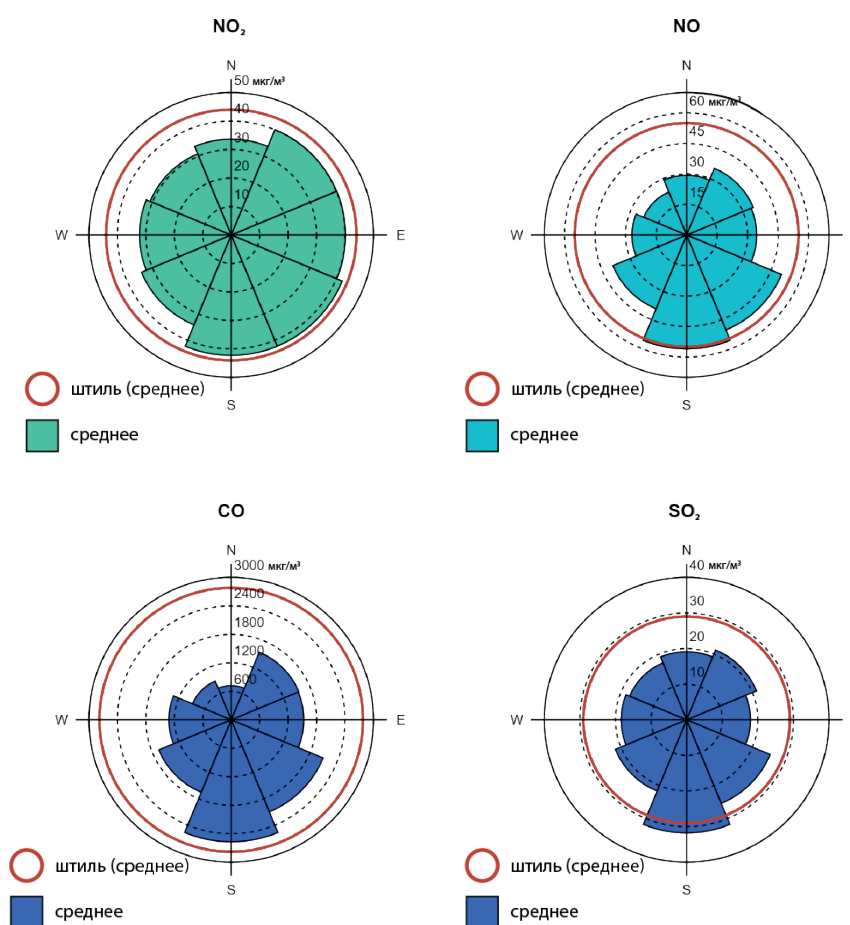


Рисунок 28 Графики розы загрязнений по NO_2 , NO , CO и SO_2 согласно данным стационарной автоматической референтной станции Кыргызгидромета.

По всем загрязняющим веществам самые высокие концентрации наблюдаются во время штиля (скорость ветра менее 0,5 м/с) (исключением является сектор южного ветра для SO_2). Это говорит о том, что загрязняющие вещества имеют местное происхождение, и, скорее всего, выбросы и периоды высоких концентраций в зимнее время могут усиливаться за счёт длительных температурных инверсий. Следующие по величине концентрации наблюдаются при южных и юго-восточных направлениях ветра. В этих направлениях в радиусе нескольких километров располагается плотная застройка из отдельно стоящих домов. В отличие от других загрязнителей наибольшие концентрации NO_2 приходятся на северо-восточное и восточное направления, что, возможно, связано с переносом этого вторичного загрязнителя из центра города, расположенного к востоку от станции Кыргызгидромета.

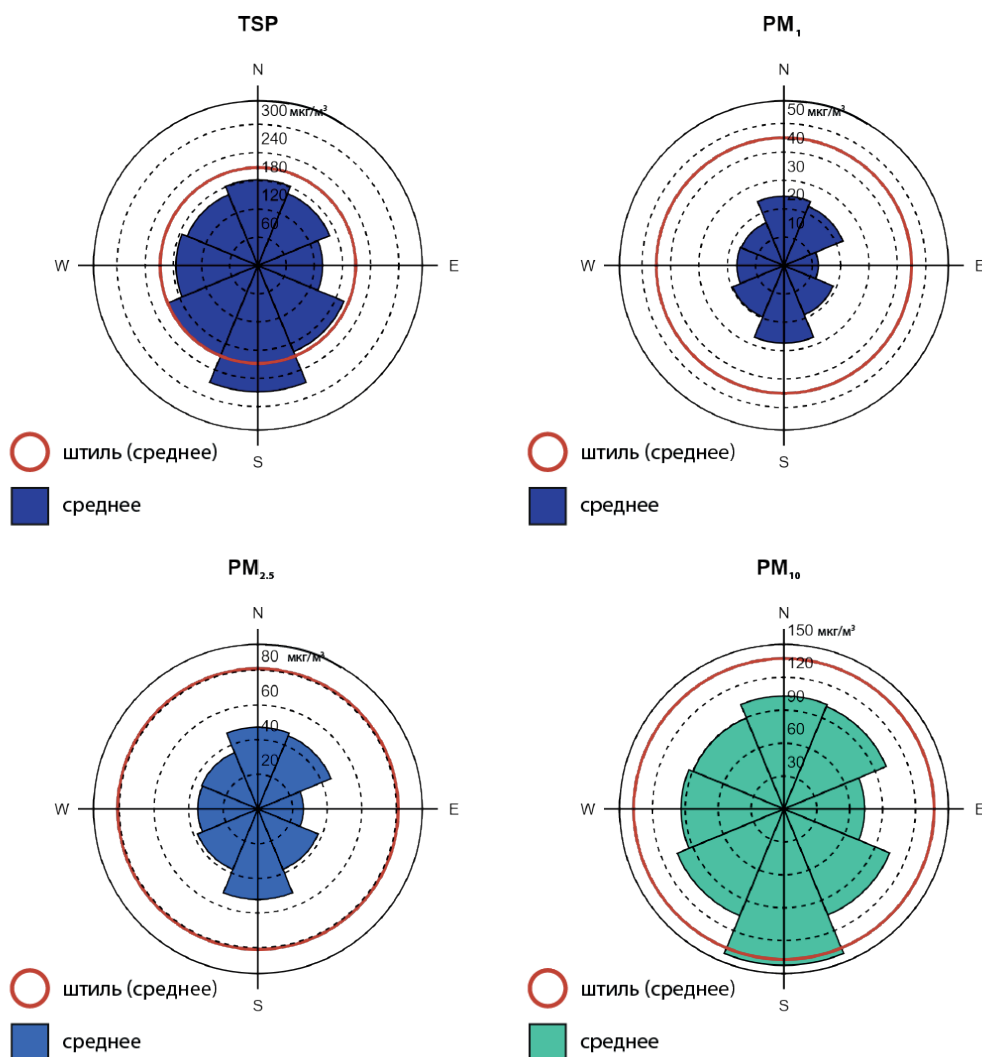


Рисунок 29 Графики розы загрязнений по TSP, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ и PM_1 согласно данным стационарной автоматической референтной станции Кыргызгидромета.

Самые высокие концентрации более крупных частиц, TSP и PM_{10} , довольно равномерно распределены между секторами направления ветра с некоторым преобладанием сектора южного ветра. Примечательно поразительное сходство между «розами» мелких частиц ($\text{PM}_{2.5}$ и PM_1) и «розами» газообразного SO_2 . Это подтверждает очень высокую корреляцию между этими загрязнителями, что указывает на общий, прямой/первичный источник. Опять же, безветренные условия вызывают самые высокие концентрации. Очевидно, что на район наблюдения не влияет какой-либо один до-

минирующий точечный источник SO_2 и мелких частиц ($PM_{2.5}$ и PM_1), однако похоже, что в разных направлениях от мониторинговой станции существует множество рассеянных источников выбросов.

Пропорции различных классов размеров частиц

Результаты мониторинга твёрдых частиц, разделённых на четыре класса размеров — TSP, PM_{10} , $PM_{2.5}$ и PM_1 — обеспечивают дополнительные данные об источниках мелких твёрдых частиц ($PM_{2.5}$ и PM_1). Выбросы твёрдых частиц, связанные с отоплением (сжиганием топлива), представлены только мелкими частицами (размер частиц менее 2,5 мкм) (рисунок 30).

В летнее время (период самой низкой общей массовой концентрации) более крупные фракции (>2,5 мкм) составляют около 95 процентов от общей массы твёрдых частиц, из которых около 60 процентов — размером более 10 мкм и 35 процентов — размером от 2,5 до 10 мкм, т.е. крупные частицы.

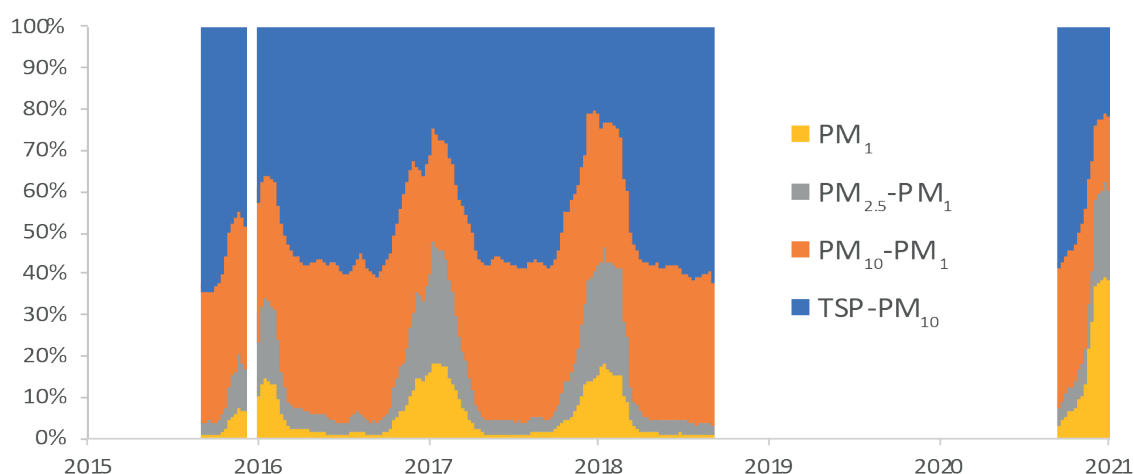


Рисунок 30 Вариация процентного соотношения фракций по размеру твёрдых частиц за период исследования (визуализировано на основе 30-дневной скользящей средней) на стационарной автоматической референтной станции Кыргызгидромета. Данные за период с августа 2018 по сентябрь 2020 года отсутствовали из-за технических проблем.

В зимние месяцы наблюдается значительное увеличение доли более мелких фракций ($PM_{2.5}$ и PM_1) твёрдых частиц. Во время зимнего пика (декабрь–январь) доля мелких частиц (<2,5 мкм) достигает 50 процентов от общей массы, а доля PM_1 составляет почти 20 процентов. В этот период доля твёрдых частиц самого крупного размера падает до 20-40 процентов от общей фракции.

Это указывает на то, что у мелких частиц имеется значительный прямой источник выбросов в зимнее время, скорее всего, связанный с отоплением. Судя по сильной корреляции мелких частиц и SO_2 , основным источником выбросов, вероятнее всего, является местный уголь с высоким содержанием серы, активно используемый в отопительных целях в зимнее время. Распределение источников в разных направлениях также указывает на то, что причиной является бытовое отопление.

6.2 Стационарная автоматическая станция мониторинга Посольства США, платформа AirNow

AirNow (AIRNOW, 2022) — это централизованная система данных Агентства по охране окружающей среды США (АООС США) и других государственных институтов США, предоставляющая данные и информацию о качестве воздуха. Среди них — текущие и исторические данные мониторинга КВ, собираемые для посольств и консульств США по всему миру. В посольствах и консульствах США установлены станции мониторинга качества воздуха референтного класса, результаты наблюдений с которых отображаются на отдельной платформе. Станции устанавливаются для информирования персонала и граждан США за рубежом. Расположение станции мониторинга Посольства США в Бишкеке показано на **рисунке 19**.

Измерения в AirNow собираются агентствами по мониторингу на уровне государства, отдельной местности или племени (коренных народов) с использованием федеральных референтных или эквивалентных методов мониторинга, утвержденных АООС США. Несмотря на проведение предварительной оценки качества данных, данные в AirNow не подвергаются полной верификации, используемой для официального предоставления и сертификации данных в нормативной базе данных АООС США.

Система данных AirNow не содержит подробной информации о типе анализаторов, используемых для мониторинга качества воздуха. Однако на веб-странице AirNow указано, что измерения проводятся с помощью федеральных референтных или эквивалентных методов мониторинга, утвержденных АООС США, что указывает на высокое качество используемых инструментов мониторинга, поскольку они определены как «эквивалентные референтным методам». Таким образом, данные измерений твёрдых частиц Посольства США могут быть использованы в качестве референтного набора данных при оценке надёжности датчиков качества воздуха, используемых в районе Бишкека, подобно тому, как данные стационарной автоматической станции Кыргызгидромета могут быть использованы в качестве данных «референтной станции». При этом важно, чтобы при оценке надёжности датчиков и сравнении данных этих датчиков с данными наблюдений Посольства США или Кыргызгидромета датчики располагались рядом со станцией, данные которой используются для сравнения. В противном случае может возникнуть неопределённость в сравнении из-за влияния местных источников выбросов, расположенных вблизи мест измерения. В случае отсутствия других референтных станций в данном районе, мониторинговая станция Посольства США является хорошим вариантом референтной станции в целях оценки надёжности датчиков.

Карты AirNow и показания AQI в настоящее время отражают только показатели по озону, PM_{10} и $PM_{2.5}$. Большинство данных доступно в течение 30 минут, проходят проверку и публикуются к концу часа. Все «сырые» данные доступны для скачивания.

6.3 Сравнение данных по $PM_{2.5}$ со станций Кыргызгидромета и Посольства США

За последние несколько лет силами граждан и других субъектов в городе были созданы новые системы мониторинга качества воздуха. Станция Кыргызгидромета начала работу осенью 2015 года. Посольство США начало мониторинг $PM_{2.5}$ на прилегающей территории в начале 2019 года. На **рисунке 31** объединены результаты измерений $PM_{2.5}$ на станциях Кыргызгидромета и Посольства США. Общественное объединение «МувГрин» также проводит мониторинг качества воздуха с 2017 года.



Рисунок 31 Среднечасовые концентрации $PM_{2.5}$ на станции Посольства США и референтной станции Кыргызгидромета.

В 2019 и 2020 годах станция Кыргызгидромета не регистрировала данные за длительный период, поэтому период, за которые данные доступны, слишком короток для проведения более детального анализа. Тем не менее, данные с обеих станций однозначно свидетельствуют о проблемах качества воздуха в Бишкеке.

6.4 Сети датчиков качества воздуха

В настоящее время в Бишкеке действует множество сетей датчиков качества воздуха. Некоторые из сетей датчиков/операторов перечислены ниже. Кыргызгидромет установил 50 датчиков в Бишкеке, из которых 30-40 датчиков качества воздуха Clarity (<https://openmap.clarity.io/>) работают в режиме онлайн, измеряя $PM_{2.5}$. На **рисунке 32** показана среднесуточная концентрация $PM_{2.5}$ в период с 22 декабря 2020 года по 7 ноября 2021 года. Разными цветами обозначены различные датчики качества воздуха. Чёрная жирная линия — это анализатор Посольства США, показанный для сравнения. Эти датчики показывают, что концентрация $PM_{2.5}$ достигает чрезвычайно высоких уровней среднесуточных концентраций (около 1000 мкг/м^3) в зимнее время и снижается к концу отопительного сезона (февраль–март 2021 года). Похоже, что датчики фиксировали повышение концентрации, однако абсолютные уровни концентрации, зарегистрированные различными датчиками, сильно отличаются. Одной из причин этого явления может быть различное расположение датчиков и сильное влияние на измеренные концентрации местных источников выбросов.

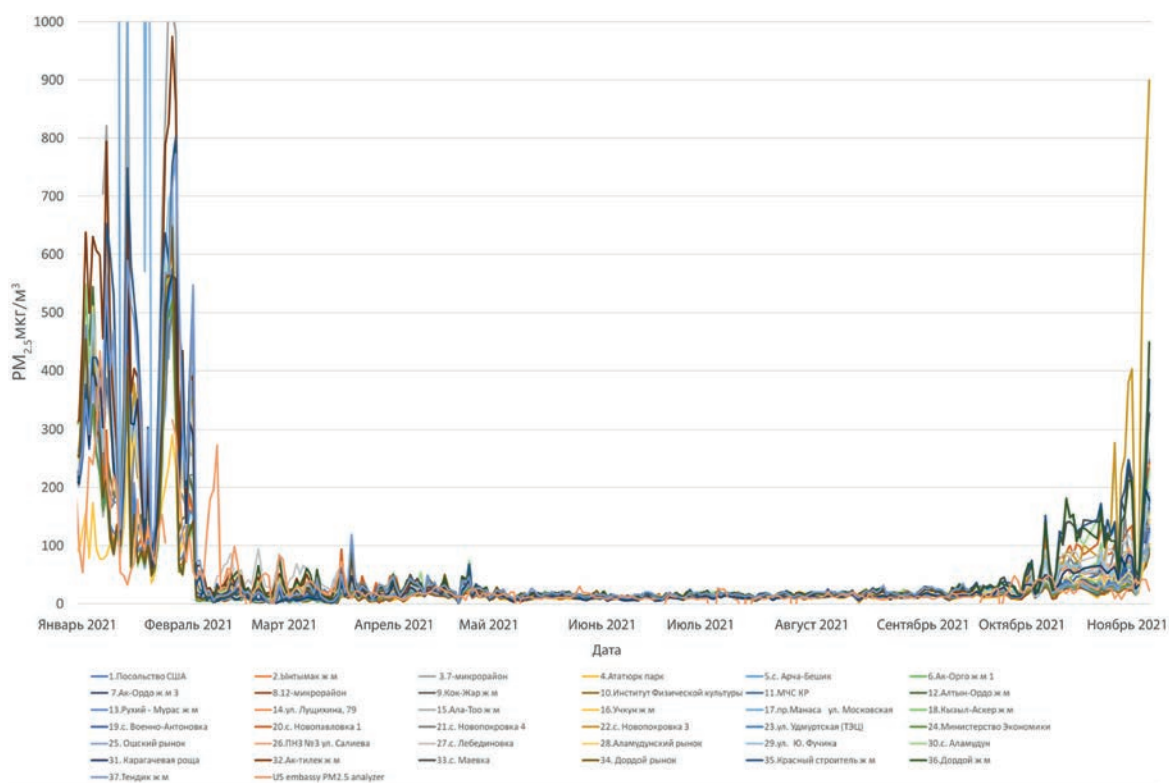


Рисунок 32 Среднесуточная концентрация $PM_{2.5}$ по данным датчиков качества воздуха Clarity в Бишкеке.

На **рисунке 33** представлено пространственное распределение концентрации $PM_{2.5}$ в Бишкеке на основе данных датчиков Clarity за семимесячный период (с 16 февраля по 16 сентября 2021 года). Как видно, вне отопительного сезона концентрации $PM_{2.5}$ ниже в южной и восточной частях Бишкека по сравнению с западной и северной частями города.

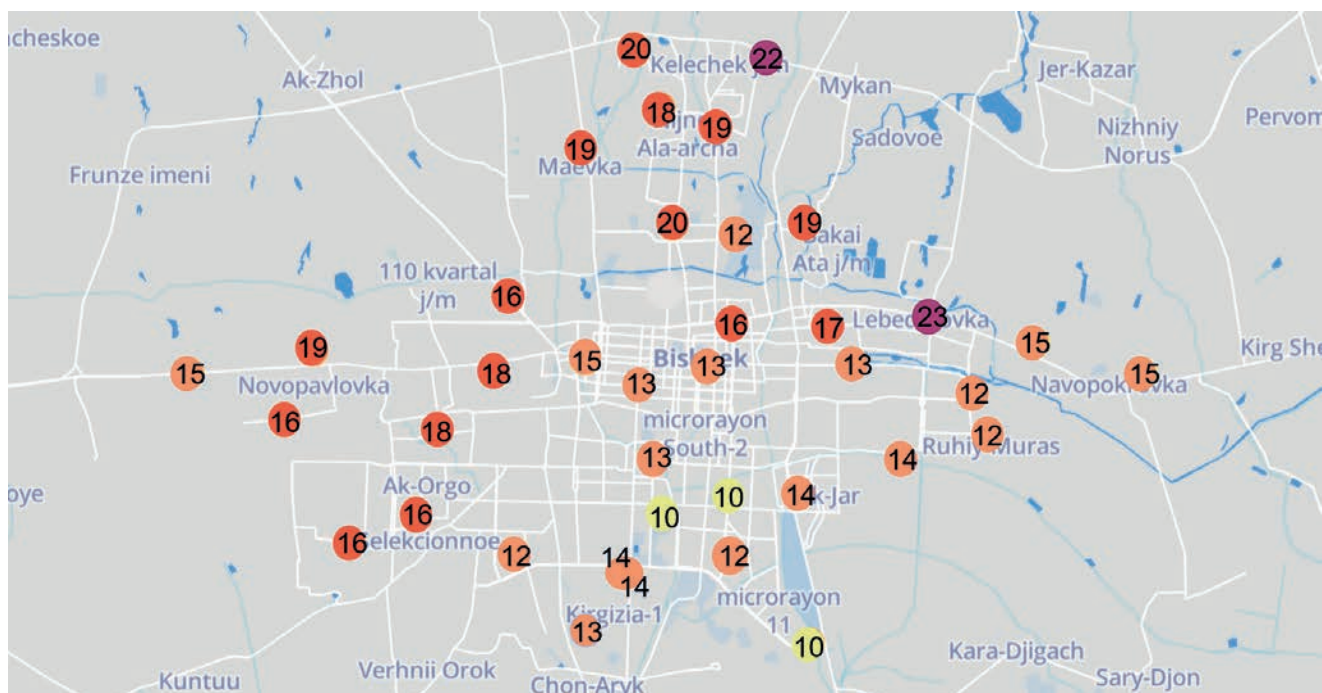


Рисунок 33 Пространственное распределение концентрации $PM_{2.5}$ в Бишкеке по данным датчиков Clarity за семимесячный период (с 16 февраля по 16 сентября 2021 года).

Данные по $PM_{2.5}$ с датчиков «МувГрин» также доступны в режиме реального времени онлайн (<https://aq.kg/>). Эта веб-страница включает в себя онлайн-информацию с более чем 50 датчиков качества воздуха двух учреждений Кыргызгидромета и Института экологических решений. Датчики Кыргызгидромета — это датчики Clarity (рисунок 34). На рисунке 35 показана среднесуточная концентрация $PM_{2.5}$ по данным 11 датчиков AirKaz в Бишкеке. Расположение датчиков на карте показано на рисунке 36. Датчики работали не всё время: наблюдались некоторые проблемы с охватом данных из-за плохого подключения к сети Wi-Fi и проблем с электроснабжением.

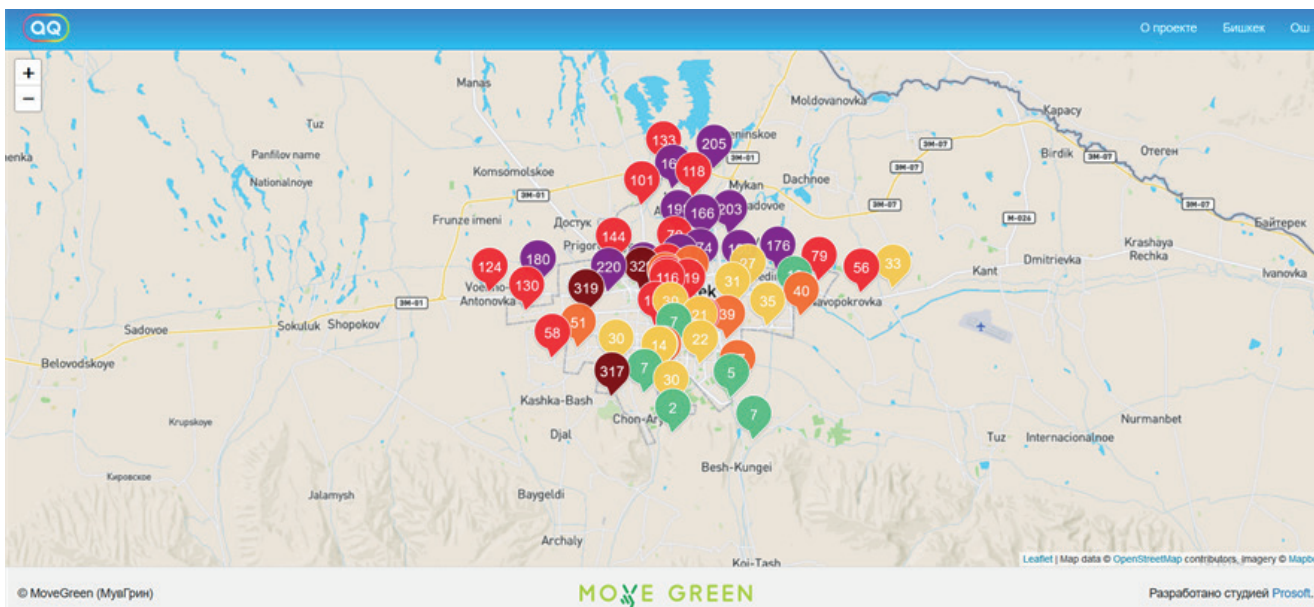


Рисунок 34 Портал/веб-страница о качестве воздуха «МувГрин» с данными датчиков Кыргызгидромета и Института экологических решений (<https://aq.kg/>).

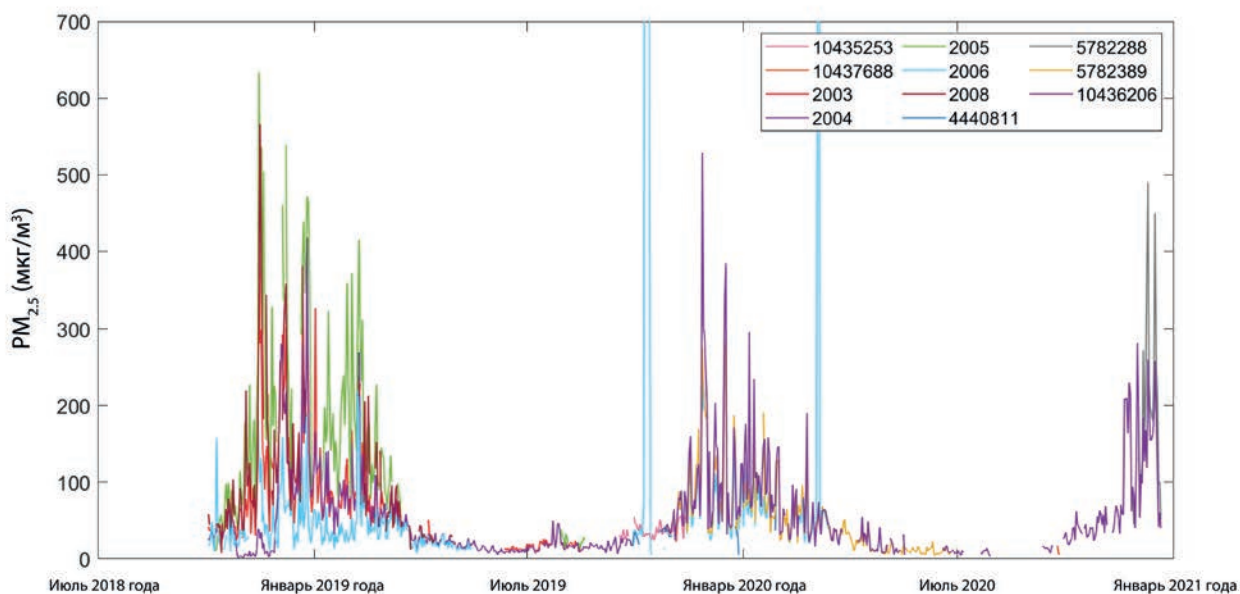


Рисунок 35 Среднесуточная концентрация $PM_{2.5}$ по данным датчиков качества воздуха AirKaz в Бишкеке.

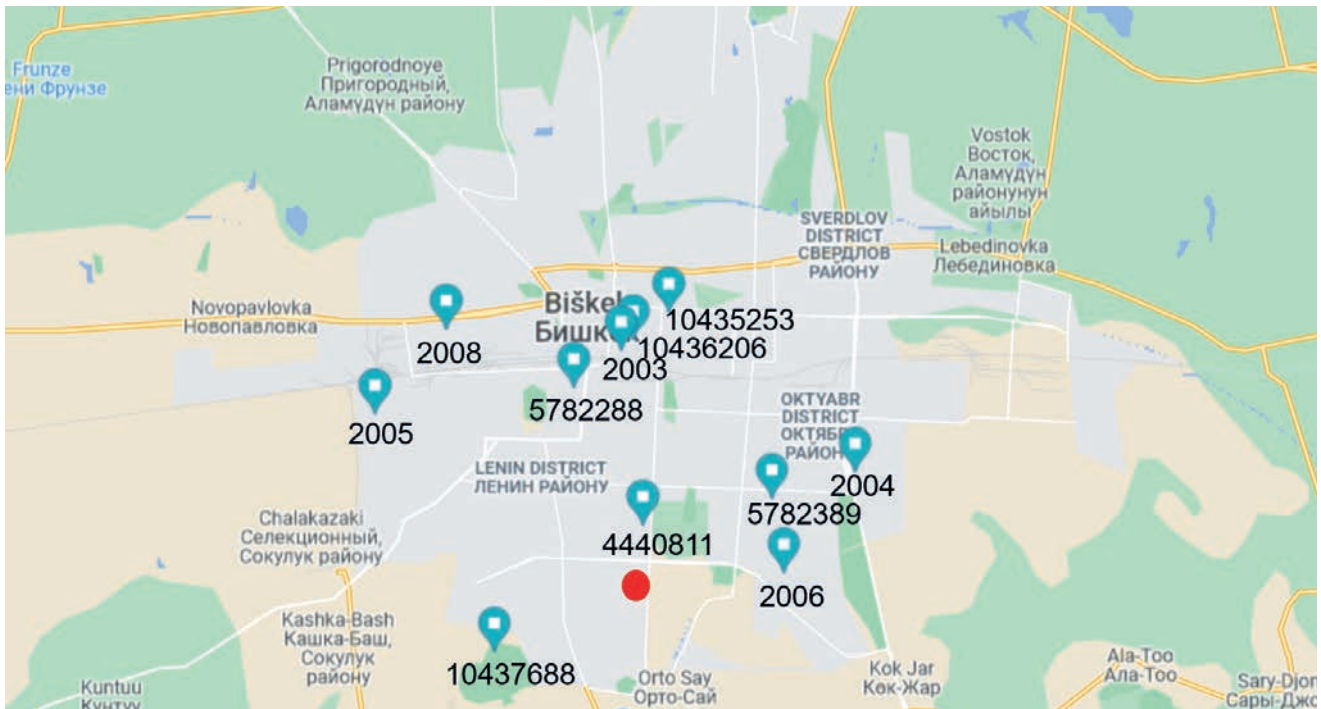


Рисунок 36 Расположение датчиков качества воздуха AirKaz в Бишкеке.

Годовой охват наблюдений датчиков AirKaz показан в **таблице 10**. По-видимому, у многих датчиков возникли серьёзные проблемы с устойчивостью поступления данных, а очень низкий охват наблюдений (менее 75 процентов), в свою очередь, снижает надёжность оценки (EU, 2015). Проверка датчика проводится путём его сравнения с анализатором, работающим по референтному или эквивалентному ему методу, именно поэтому оцениваемый датчик должен располагаться рядом с референтной станцией.

Таблица 10 Поступление данных датчиков качества воздуха AirKaz в Бишкеке.

ID датчика	Поступление данных		
	2018	2019	2020
2003	21.7 %	30.0 %	0 %
2004	23.9 %	71.4 %	0 %
2005	16.3 %	19.4 %	0 %
2006	17.9 %	49.7 %	14.3 %
2008	14.7 %	9.3 %	0 %
4440811	0 %	3.8 %	0.3 %
5782288	0 %	0.02 %	4.9 %
5782389	0 %	17.5 %	45.0 %
10435253	0 %	13.8 %	0 %
10436206	0 %	17.0 %	54.4 %
10437688	0 %	0.02 %	0.5 %

7 СПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ



Спутники обеспечивают глобальные наблюдения за множеством климатических и экологических параметров атмосферы, суши и океана. Одно из главных преимуществ заключается в охвате районов, где наземные наблюдения отсутствуют или сеть измерительных станций разрежена. Спутниковые измерения также облегчают создание длинных временных рядов и часто позволяют отслеживать несколько параметров одновременно. Это особенно актуально в случае Бишкека, где отсутствуют длинные временные ряды и сеть измерений до недавнего времени была очень небольшой.

Пассивные спутниковые приборы измеряют отражённое излучение на отдельных длинах волн (рисунок 37). Ключевым моментом является «отпечаток», который различные газы и аэрозоли оставляют на измеряемом излучении. Выбирая каналы с разными длинами волн, можно измерять концентрации различных газов или аэрозолей.

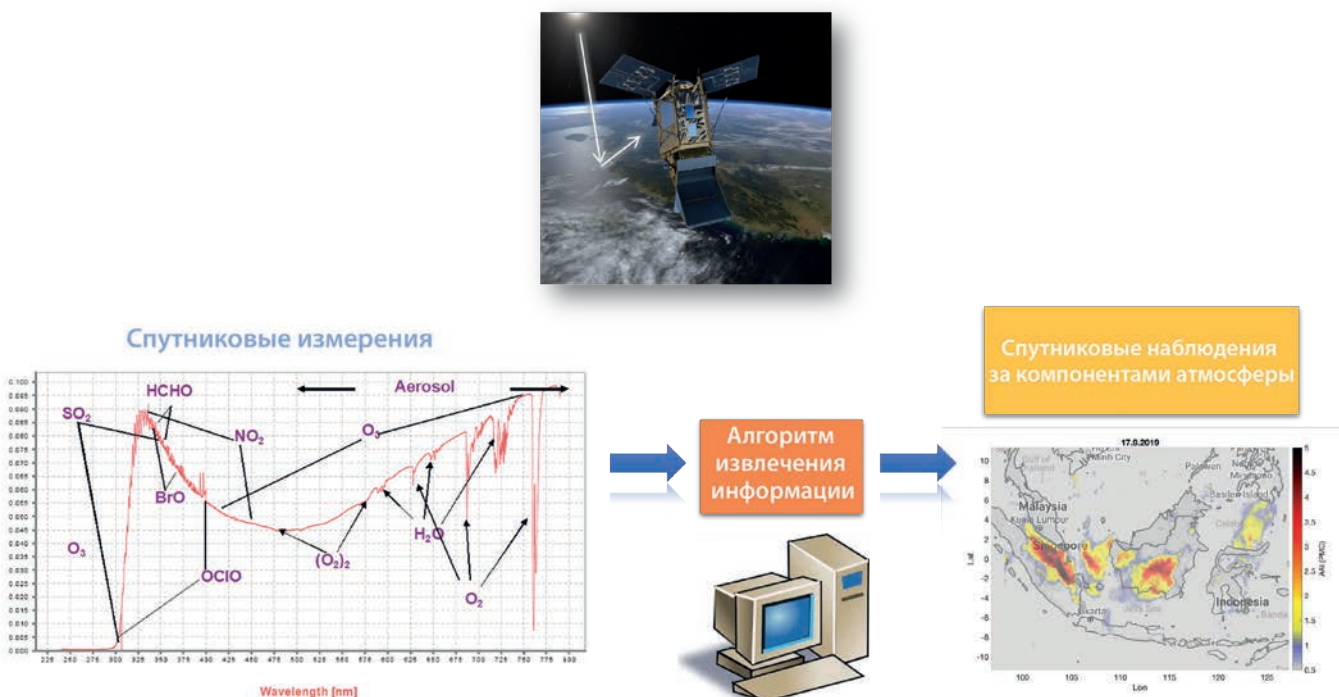


Рисунок 37 Основной принцип пассивного спутникового измерения.

7.1 Спутниковые наблюдения за NO₂

Диоксид азота (NO₂) является важным загрязнителем воздуха, который в основном выделяется в результате работы двигателей внутреннего сгорания и производства энергии (сжигание ископаемого топлива). Именно поэтому концентрации этого загрязнителя обычно повышены вблизи крупных центров сосредоточения населения, таких как города. Его концентрации также коррелируют с концентрациями других загрязнителей воздуха, выбрасываемых из тех же источников, особенно мелких частиц (Touloumi et al., 1997; WHO, 2021a), поэтому значения его концентрации можно использовать в качестве общего индикатора качества воздуха в районах с плохим качеством воздуха.

На **рисунках 38** и **39** показаны изменения тропосферного NO₂ в Бишкеке. Концентрация NO₂ показывает слегка возрастающую тенденцию с 2005 до 2020 года. Однако общий уровень остается неизменным в течение примерно 10 лет. Концентрации в зимние месяцы выше, чем в летние, что, вероятно, связано с метеорологическими условиями.

На **рисунке 40** показаны спутниковые данные о концентрации тропосферного NO₂ в атмосферном столбе над Бишкеком, Кыргызской Республикой и соседними странами. Повышение концентрации NO₂ в основном связано с транспортными выбросами. Над горными районами спутниковые наблюдения обычно весьма неопределенны, однако уровни NO₂ в любом случае очень низки из-за отсутствия соответствующих выбросов. В зимнее время (в качестве примера взят февраль 2020 года) концентрации NO₂ выше, и площадей с высокими концентрациями больше, чем в летнее время. Скорее всего это связано с метеорологическими и топографическими условиями, так как районы с самыми высокими концентрациями в регионе (масштаб, в котором представлены спутниковые данные) расположены на более низких высотах (т.е. в долинах) в Республике Узбекистан, городах Бишкек и Алматы.

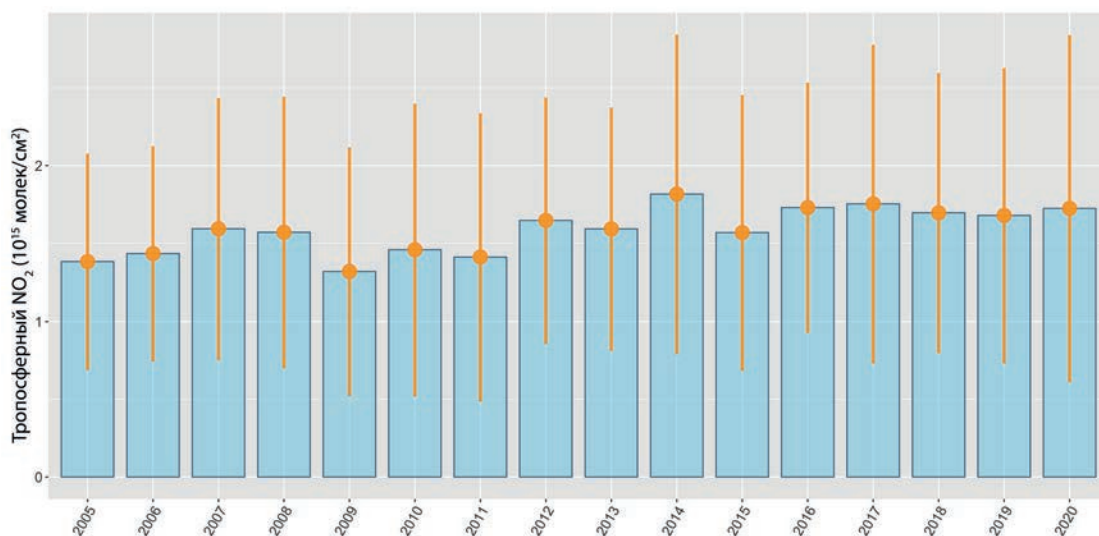


Рисунок 38 Среднегодовые концентрации NO₂ в Бишкеке за 2005-2020 гг. по данным прибора OMI (Ozone Monitoring Instrument).

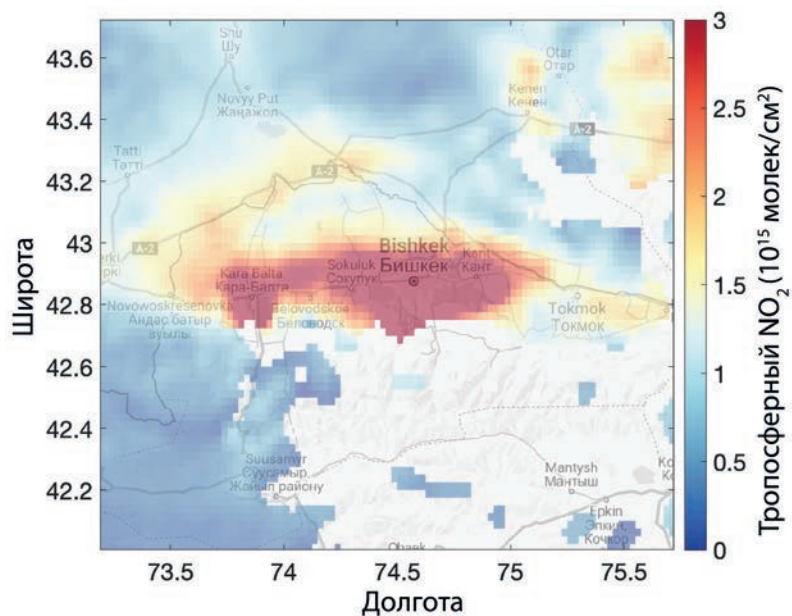
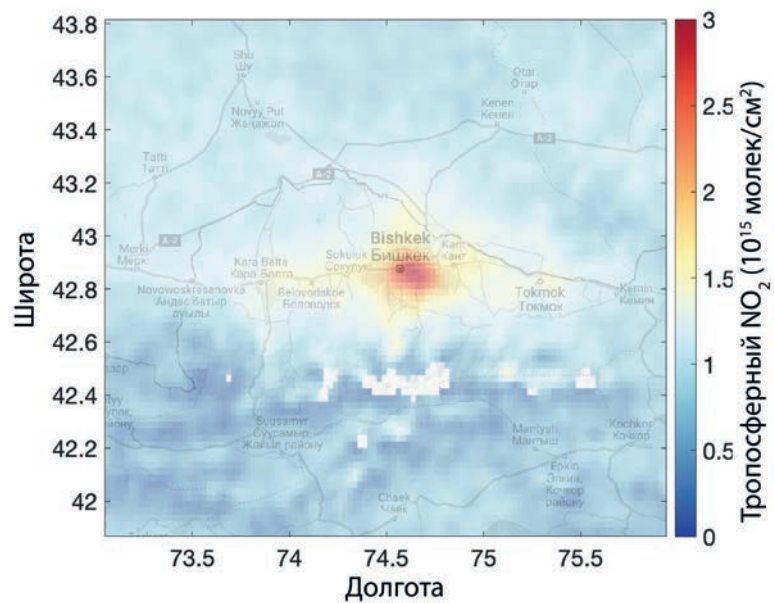


Рисунок 39 Среднемесячное значение тропосферного NO_2 в Бишкеке по данным прибора OMI. Верхний рисунок содержит данные за июль 2020 года, нижний – за февраль 2020 года.

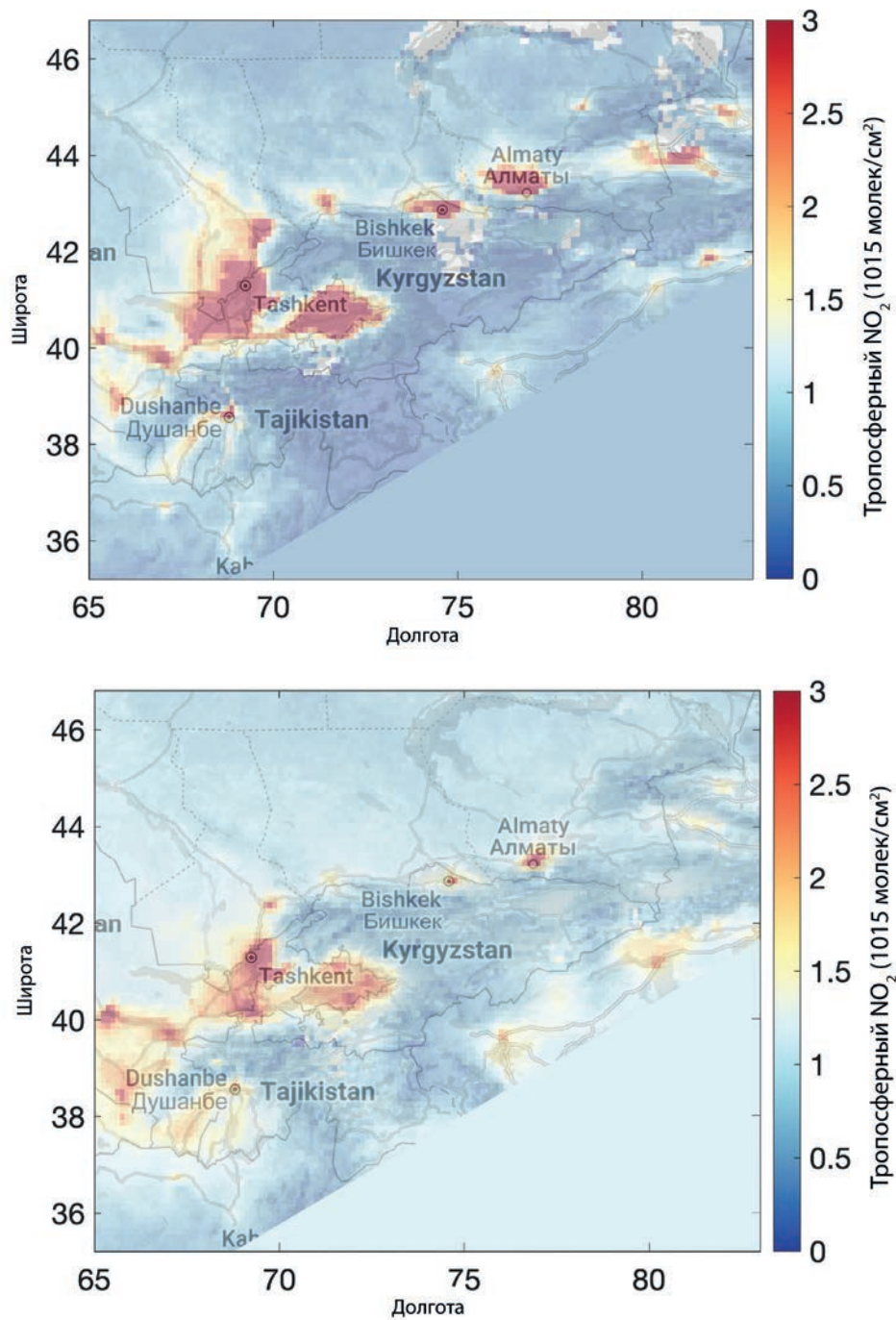


Рисунок 40 Пространственное изменение тропосферного NO₂ в Кыргызской Республике (прибор для изучения тропосферы TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument)), февраль 2020 и июль 2020 года.

7.2 Спутниковые наблюдения за SO₂

Согласно спутниковым данным, над Кыргызской Республикой не было выявлено крупных источников выбросов диоксида серы (SO₂) (**рисунок 41**), и общее содержание SO₂ в Бишкеке и Кыргызской Республике очень низкое. Согласно данным наземного мониторинга качества воздуха, концентрация SO₂ в Бишкеке очень высока, особенно в зимнее время. Таким образом, похоже, что спутники сталкиваются с ограничениями при определении выбросов SO₂ в Бишкеке. Причиной этого может быть то, что выбросы SO₂ происходят не от одного источника, а от многих небольших источников в этом районе. Обычно на спутниковых данных видны крупные месторождения по добыче нефти на Аравийском полуострове, нефтеперерабатывающие заводы или крупные металлургические комбинаты с высоким уровнем выбросов SO₂.

Карта показывает местоположение выявленных источников выбросов (т.е. там, где спутниковые сигналы достаточно сильны) в соседних странах. Источник выбросов SO₂ должен быть очень большим и сильным, чтобы спутники могли его идентифицировать. Например, выбросы от летучих источников, таких как бытовое сжигание топлива/отопление, очень трудно обнаружить с помощью спутниковых данных — обычно они слишком малы и рассеяны.

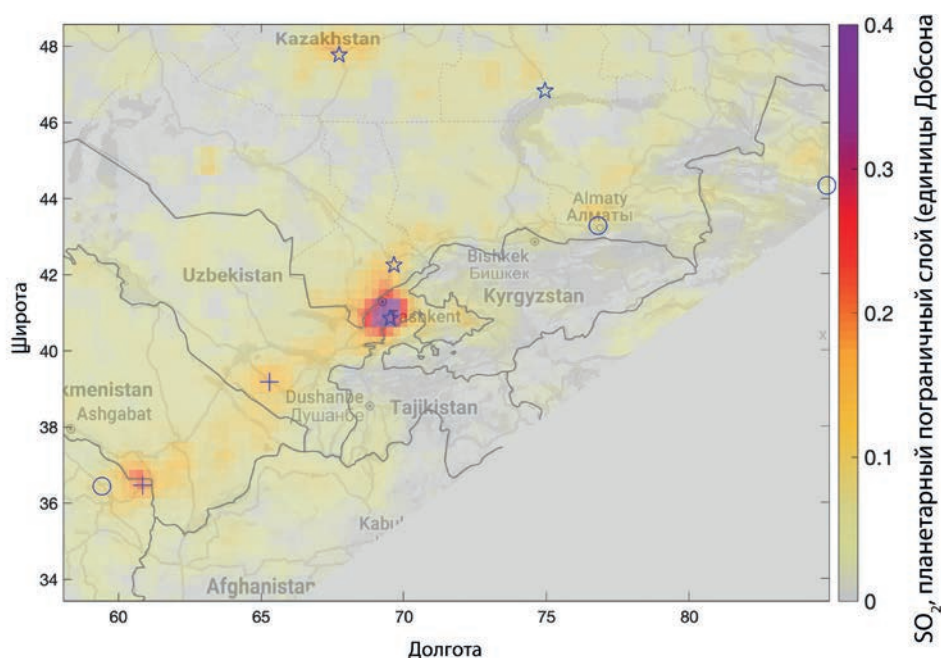


Рисунок 41 SO₂ концентрация в вертикальном столбе атмосферы по данным прибора OMI, среднегодовое значение за 2019 год.

7.3 Спутниковые наблюдения за аэрозолями

Зондированная спутником аэрозольная оптическая толщина (АОТ) описывает аэрозольное ослабление в атмосферном столбе. АОТ сильно связана с количеством аэрозолей, и поэтому несмотря на то, что определение АОТ сильно отличается от определения концентрации твёрдых частиц, эти две величины обычно сильно коррелируют. Следует отметить, что АОТ очень чувствительна к облакам — при наличии облаков наблюдения невозможны. Однако при усреднении за более длительное время (**рисунки 42 и 43**) спутниковая АОТ является полезным параметром для оценки пространственного распределения аэрозолей и источников выбросов, особенно над территориями, где сеть наземных датчиков разрежена или отсутствует.

В настоящее время спутниковые наблюдения за АОТ проводятся с помощью нескольких приборов. В данном отчёте карты АОТ представлены усреднёнными данными двух приборов MODIS на борту спутников NASA Terra и Aqua. Оба спутника проводят наблюдения над определённой территорией один раз в день: Terra — до полудня, примерно в 10:30 по местному времени, а Aqua — во второй половине дня, примерно в 13:30 по местному времени, что не включает время пиковой концентрации твёрдых частиц в Бишкеке — после 18.00 (**рисунок 26**). В данном анализе карты АОТ строятся на среднесуточных данных наблюдений Terra и Aqua. Приборы MODIS также могут предоставить информацию об активных пожарах и выжженных территориях.

АОТ описывает поглощение солнечной радиации аэрозолями в атмосферном столбе. АОТ связана с количеством аэрозолей, при длине волны 550 нм обычно она изменяется в пределах от 0,1 до 1,0. АОТ часто имеет сходное изменение с $PM_{2.5}$ и/или PM_{10} (хотя это не один и тот же параметр).

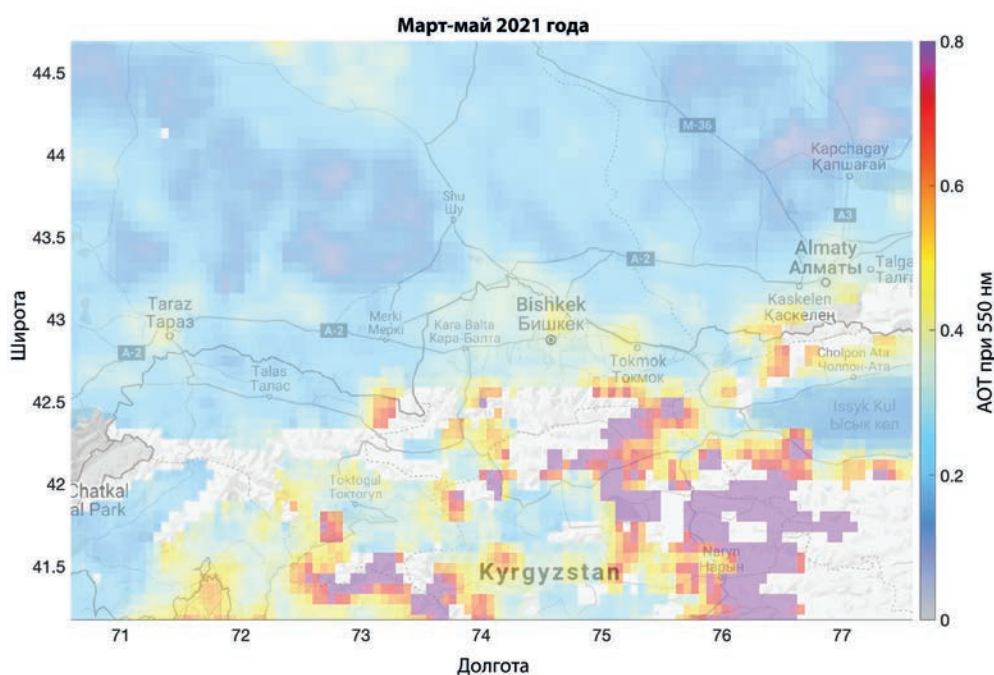


Рисунок 42 Аэрозольная оптическая толщина по данным приборов MODIS. Пространственная вариация АОТ при 550 нм. Розовый цвет иллюстрирует пыль. На участках над горами наблюдается высокая неопределённость.

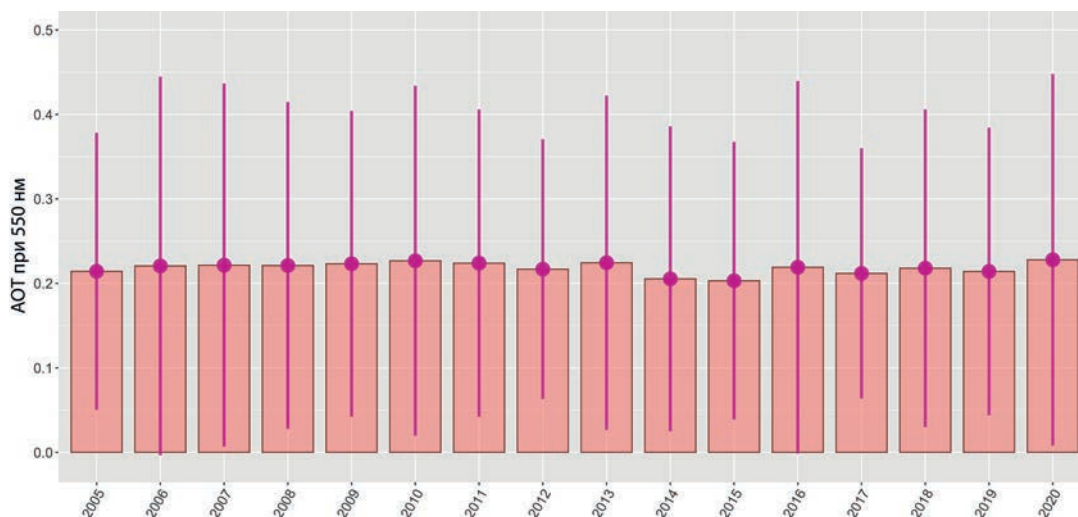


Рисунок 43 Долгосрочное изменение АОТ (2005-2020 гг.), среднегодовое значение (по всей стране), MODIS.

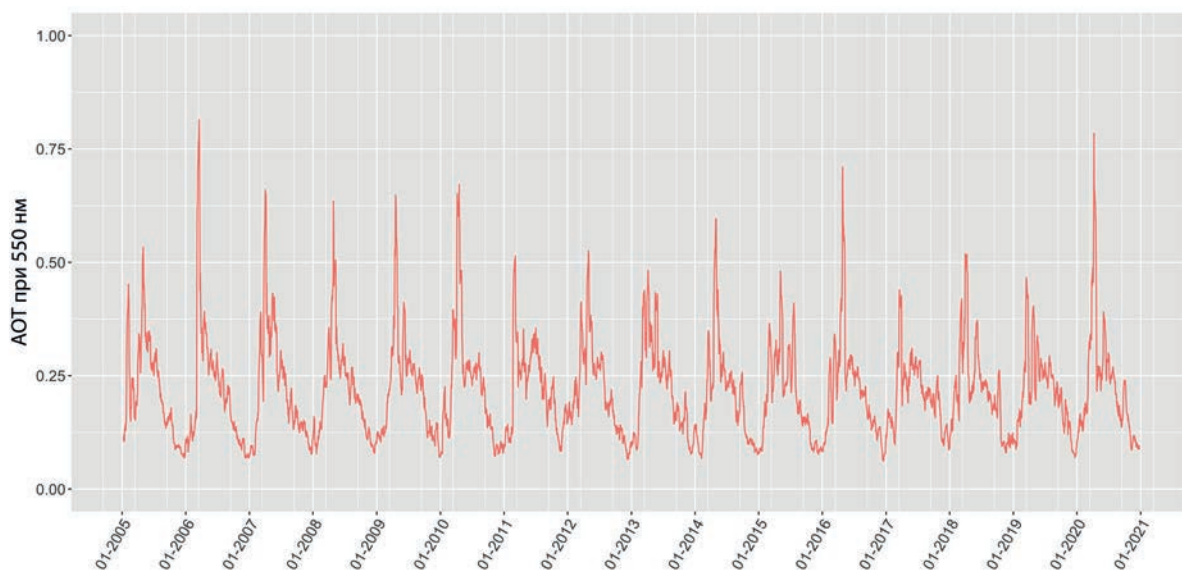
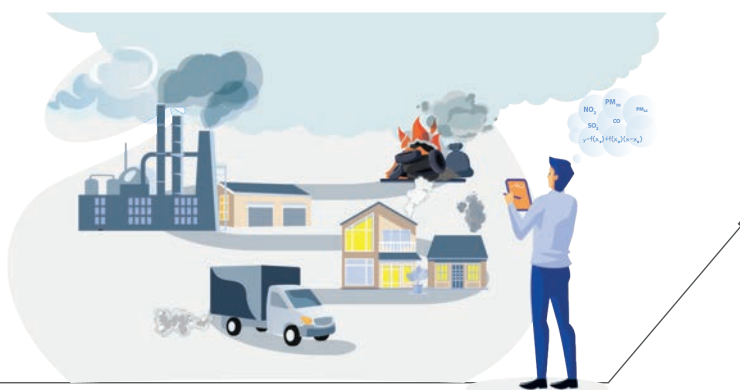


Рисунок 44 Долгосрочное изменение АОТ (2005-2020 гг.), АОТ по данным приборов MODIS. 15-дневная скользящая средняя (по всей стране).

8 ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ВЫБРОСОВ



8.1 Введение

Кадастры выбросов являются ключевым компонентом управления качеством воздуха. Они используются для нескольких целей. Оценки исторических выбросов (данные за прошедшие периоды) предоставляют информацию о величине вклада различных источников выбросов и тенденциях с течением времени. Они также могут использоваться в качестве исходных данных в моделях дисперсии для оценки концентраций на больших площадях.

Кроме того, кадастры исторических выбросов могут быть использованы для разработки и оценки политики:

- **Разработка политики:** Разработка политики требует высококачественных оценок исторических выбросов, которые используются в качестве основы для прогнозирования на будущее. Влияние политики и мер на выбросы в будущие годы может быть определено в количественном выражении, чтобы помочь лицам, принимающим решения, в разработке различных сценариев будущего и, в конечном итоге, в принятии решения о наиболее подходящих для реализации мерах. Кроме того, сбор данных о населении в разбивке по полу в исследуемых районах помогает выявить тенденции и взаимосвязи между населением и гендерно дифференцированными результатами в области здравоохранения. Такая информация имеет решающее значение для выработки комплексных политических подходов, направленных на решение экономических, социальных и экологических проблем.

- **Оценка политики:** Исторические кадастры выбросов могут быть использованы для мониторинга того, насколько успешно реализованные ранее политика и меры помогли достичь запланированных результатов. Это может объяснить как успех такой политики, так и ситуации, когда политика и меры не дали ожидаемого результата. Взаимосвязь между людьми и планетой неразрывна, поэтому анализ тенденций выбросов наряду с данными с разбивкой по полу и данными о здоровье населения конкретного района имеет решающее значение. Комплексные подходы остаются ключевым элементом в этой работе, помогая выявить важные тенденции, которые в противном случае остались бы незамеченными.

В следующих разделах документа представлено объяснение данных, которые были использованы для составления кадастра выбросов для Бишкека с 2000 по 2018 год, а также прогнозы выбросов с 2018 по 2040 год. Кроме того, представлены результаты исторических оценок выбросов. Результаты прогнозов выбросов по различным сценариям представлены в **главе 9**.

8.2 Методология инвентаризации выбросов

В следующих разделах описаны методы, использованные для оценки различных источников в кадастре выбросов. Также включены разъяснения относительно того, в каких случаях было необходимо использовать допущения или экспертные оценки. Как правило, они были необходимы для адаптации наборов данных к потребностям кадастра выбросов, устранения пробелов в имеющихся данных, знании местных условий и специфики источников выбросов.

Выбросы загрязняющего вещества из источника обычно рассчитываются путём умножения *данных о деятельности на коэффициент выбросов*. Данные о деятельности обычно представляют собой количество потреблённого топлива, но это может быть и, например, население, валовый внутренний продукт (ВВП) или другие количественные показатели. Коэффициент выбросов относится к конкретному загрязнителю и может быть взят из международного руководства, такого как Руководство ЕМЕР/ЕЕА по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ (ЕМЕР/ЕЕА, 2019) или Руководство Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) по инвентаризации выбросов парниковых газов 2006 года (IPCC, 2006).

8.3 Инвентаризация выбросов по секторам

8.3.1 Теплоэлектроцентр Бишкека и централизованное теплоснабжение

Данные о деятельности

Исследования Всемирного банка по системам отопления в Бишкеке предоставляют данные о потреблении топлива (угля, мазута и природного газа) за 2012 год на электростанции, городском теплоснабжении, а также больших и малых котельных, т.е. районных тепловых пунктах, эксплуатируемых «Бишкектеплоэнерго». Временной ряд потреблении топлива основан на предположении, что эти источники выбросов составляют постоянную долю национального топлива, используемого для производства электроэнергии и тепла (как указано в таблицах национального топливного баланса за 1999, 2005–2018 годы). При расчётах необходимо было сделать несколько предположений о чистой теплотворной способности топлива, опираясь при этом на местные знания и информацию из международных рекомендаций. Для периода с 2000 по 2004 год использовалась интерполяция, а с 2019 по 2030 год — экстраполяция (пересчёт на прогнозируемую численность населения).

Выше описан относительно простой подход для определения годового потребления топлива из этих основных источников выбросов. Однако значительным улучшением было бы получение данных о фактическом потреблении топлива (или выбросах) по каждому источнику в секторе. Поскольку никакой информации об использовании топлива на нефтеперерабатывающих заводах топливного профиля в Бишкеке получено не было, предполагается, что соответствующая деятельность отсутствует.

Коэффициенты выбросов

Кыргызская Республика предоставила информацию о выбросах из точечных источников в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (КТЗВБР) за определённые годы (см. <https://www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results>). Материалы, представленные в 2016 и 2021 годах, включают оценки выбросов ТЭЦ (см. файлы Приложения IV по Кыргызской Республике на сайте <https://www.ceip.at>). Они позволили сделать некоторые относительно хорошо обоснованные предположения о наиболее подходящих коэффициентах выбросов из Руководства ЕМЕР/ЕЕА (ЕМЕР/ЕЕА, 2019) для электрогенерирующих станций. Коэффициенты выбросов для котельных также были подобраны из диапазонов, представленных в Руководстве ЕМЕР/ЕЕА (ЕМЕР/ЕЕА, 2019), исходя из ограниченности доступной информации об источниках и их эксплуатации.

8.3.2 Промышленное сжигание топлива

Неизвестно, можно ли отнести промышленное сжигание топлива к крупным источникам выбросов в Бишкеке. Потенциальные источники включают в себя все промышленные объекты — от крупных заводов тяжёлой промышленности до малых предприятий, однако все известные крупные промышленные предприятия находятся за чертой города.

Таблицы энергетического баланса, доступные на сайте Национального статистического комитета Кыргызской Республики (НСК), предоставляют данные по потреблению топлива за 2006-2015 годы по секторам «Производство промышленной продукции» и «Строительно-монтажные и буровые работы». Они были масштабированы для получения данных по Бишкеку с использованием данных о валовом региональном продукте. Данные за период после 2015 года были получены путём допущения простого 3-процентного ежегодного роста потребления топлива (экспертная оценка, основанная на уровне роста за последние годы, глобальных экономических прогнозах международных организаций и ожидаемых улучшениях в эффективности использования топлива).

Коэффициенты выбросов по умолчанию были взяты из Руководства ЕМЕР/ЕЕА (ЕМЕР/ЕЕА, 2019).

8.3.3 Сжигание топлива в жилых и коммерческих/институциональных объектах/организациях

Эта категория источников является одним из крупнейших источников выбросов в кадастре выбросов. Поэтому приоритет был отдан поиску подробной информации для обеспечения максимально полной характеристики источника. Вместе с тем, никакой соответствующей информации о топливе, используемом на коммерческих/институциональных объектах/в организациях получено не было. Поэтому авторы документа сделали предположение, что эти источники включены в (гораздо более масштабную) статистику использования топлива в жилых домах. Таким образом, выбросы от коммерческих/институциональных объектов/организаций не исключены из кадастра выбросов, но и не отделены от выбросов от жилых зданий.

Расчёты выбросов включали подробную детализацию — с разделением выбросов от различных типов бытовых приборов. Это не повышает точность расчётов как таковую, которая ограничена качеством исходных данных, но позволяет оценить влияние ряда различных мер политики и мероприятий, что, согласно ожиданиям, важно для поддержки разработки политики.

Данные о деятельности

Расчёты выбросов для этого сектора источников были связаны с расчётами выбросов для сектора производства электроэнергии и тепла. Это обусловлено тем, что некоторые дома используют тепло, получаемое централизованно от ТЭЦ или сетей теплоснабжения, а другие полагаются на бытовые печи и котлы, работающие на различных видах топлива.

Количество домохозяйств, использующих уголь в качестве основного топлива, было взято из последних исследований Всемирного банка (World Bank, 2015; 2020). Оно также даёт представление о различных типах используемых приборов и доле каждого из них в общем количестве приборов.

Количество домохозяйств, не имеющих доступа к централизованному теплоснабжению и использующих уголь в качестве основного топлива, было определено как разница между общим числом домохозяйств в городе и домохозяйствами, охваченными сетью централизованного теплоснабжения. Годовое потребление угля на домохозяйство подробно описано в отчётах Всемирного банка (World Bank, 2015; 2020) с разбивкой по типам приборов и использованием усреднённых значений.

Данные о количестве домохозяйств и годовом потреблении топлива на домохозяйство (с разбивкой по типам приборов) позволило оценить потребление угля в 2015 году с разбивкой на обычные печи и малые котлы. Эта оценка была распространена на все исторические временные ряды путём предположения, что доля национального потребления топлива остается постоянной (и с использованием интерполяции для 2000–2004 годов). Оценки на 2019–2030 годы были сделаны путём экстраполяции — масштабирования по численности населения.

По мнению местных экспертов, оказывавших поддержку проекту, использование мусора в качестве топлива является очень распространённой практикой в Бишкеке. Проведение оценки количества мусора, сжигаемого в отопительных системах, было невозможно, и, соответственно, оценки данных выбросов не были включены в кадастр. Однако выбросы от открытого сжигания мусора включены в кадастр выбросов в секторе отходов (см. ниже).

Коэффициенты выбросов

Коэффициенты выбросов по умолчанию для обычных печей и малых котлов были взяты из Руководства ЕМЕР/ЕЕА (ЕМЕР/ЕЕА, 2019). Однако, поскольку ожидается, что выбросы от этого сектора будут значительными, важно попытаться получить как можно более подробную информацию об использовании различных типов приборов, так как они оказывают значительное влияние на результирующие выбросы.

8.3.4 Дорожный транспорт

Это один из самых крупных источников, на который, скорее всего, будут направлены нескольких различных политик и мер. В этой связи важно использовать подробные данные для расчёта оценок выбросов, которые могут отражать воздействие различных политик и мер.

Выбросы в данном секторе в значительной степени зависят от технологий борьбы с загрязнением воздуха, которые используются в различных типах автомобилей, причем старые автомобили, как правило, загрязняют окружающую среду гораздо сильнее. Поэтому, помимо отдельного рассмотрения бензиновых и дизельных автомобилей, основные категории транспортных средств (легковые автомобили, лёгкие коммерческие автомобили, большегрузные автомобили, а также мотоциклы и мопеды) были разделены на группы в зависимости от используемой технологии в соответствии с законодательством о контроле выбросов.

Ресуспензия (вторичный подъем) дорожной пыли обычно не включается в кадастры выбросов, поэтому оценки выбросов не проводились. Однако этот источник следует рассматривать как один из пунктов для разработки кадастра выбросов в будущем.

Данные о деятельности

Показатель национального потребления бензина и дизельного топлива дорожными транспортными средствами был получен из общедоступных национальных статистических данных за 1999, 2005-2018 годы, взятых из таблиц национального энергетического баланса на сайте НСК (<http://www.stat.kg/en/>). Для оценки количества топлива, использованного в 2000-2004 годах, использовалась интерполяция. Объём топлива, использованного в последующие годы, оценивался на основе предположения, что тенденция роста потребления топлива в 2005-2018 годах сохранится до 2030 года, но при меньших темпах. Для оценки общего объема потребляемого бензина в Бишкеке национальное годовое потребление бензина было объединено с общедоступными данными по «Перевозкам пассажиров автомобильным транспортом» по Бишкеку и соответствующими данными на национальном уровне (данные также доступны на веб-сайте НСК). Предполагалось, что этот бензин используется только в легковых автомобилях, так как информация для распределения его по другим типам транспортных средств была недоступна.

Данные о годовом потреблении дизельного топлива в стране были объединены с общедоступными данными по грузовым автомобильным перевозкам и пассажирам, перевезённым общественным транспортом по Бишкеку и на национальном уровне. Это позволило оценить объём дизельного топлива, используемого в Бишкеке автомобильным грузовым и общественным транспортом. Дизельное топливо, которое приходится на общественный транспорт, затем было поделено на годовое использование топлива в микроавтобусах и (больших) автобусах с учётом количества тех и других, а также соответствующего расхода топлива. Информация о количестве дизельного топлива, используемого автомобилями, отсутствовала, поэтому после консультаций с местными экспертами была использована экспертная оценка доли общего объёма дизельного топлива, используемого автомобилями.

Этот метод распределения дизельного топлива между различными типами транспортных средств требует принятия нескольких существенных допущений, и первоочередной задачей по улучшению этого метода является получение данных, которые обеспечивают гораздо более надёжное представление об объёме топлива, используемого в секторе автомобильного транспорта в Бишкеке, для получения более точных оценок выбросов.

Национальные данные о годовом использовании сжиженного нефтяного газа в автомобильном транспорте были взяты из национальных таблиц энергетического баланса. Предполагалось, что всё это топливо используется в Бишкеке. Ожидается, что эта оценка будет завышенной, однако было решено, что этот подход лучше, чем изменение масштабирования данных, которое потенциально может привести к нерепрезентативности информации. Выбросы, возникающие при использовании сжиженного нефтяного газа, крайне малы по сравнению с бензином и дизельным топливом.

Коэффициенты выбросов

Обязательный технический осмотр, включающий контроль выбросов, был отменен в 2012 году. С этого момента обязательному техосмотру подлежат транспортные средства, зарегистрированные за частными предприятиями, а также специальная техника (грузовики, грузовые автомобили и т.д.). Технический осмотр/контроль выбросов для других транспортных средств осуществляется на добровольной основе.

В Руководстве ЕМЕР/ЕЕА (ЕМЕР/ЕЕА, 2019) приводится агрегированный коэффициент выбросов, призванный учитывать как возраст бензиновых автомобилей, так и технологии, используемые в них, в «новых независимых государствах» (к которым относится Кыргызская Республика). Однако информация от местных партнёров подтверждает предположение о том, что у значительной части автомобилей был снят каталитический нейтрализатор, так как низкое качество местного топлива становится причиной их выхода из строя, а также потому что катализаторы имеют рыночную стоимость. Таким образом, предполагалось, что 95 процентов бензиновых автомобилей не отвечают стандарту Евро-1 (либо в силу возраста, либо в силу отсутствия каталитического нейтрализатора), а остальные 5 процентов соответствовали стандарту Евро-4. Также предполагалось, что все дизельные автомобили были ниже стандарта Евро-1, а автомобили на сжиженном нефтяном газе — ниже Евро-4.

Коэффициенты выбросов для «новых независимых государств» из Руководства ЕМЕР/ЕЕА (ЕМЕР/ЕЕА, 2019) были применены к лёгким коммерческим автомобилям (микроавтобусам и фургонам), автобусам и большегрузным автомобилям.

Считается, что эти коэффициенты выбросов дают разумное представление о парке дорожного транспорта в Бишкеке. Тем не менее, было бы полезно получить местные данные. Важно отметить, что текущие предположения не учитывают изменения в составе парка транспортных средств по всем временным рядам. Это должно быть ключевым усовершенствованием в будущих версиях кадастра выбросов.

8.3.5 Прочий транспорт и передвижная техника

Этот сектор включает выбросы из нескольких категорий источников:

Авиация, железнодорожный транспорт и передвижная техника

Аэропорт Бишкека базируется за пределами географического охвата исследования, поэтому соответствующие оценки выбросов не рассчитывались. Ожидается, что влияние этих выбросов на концентрации в городе будет очень незначительным, так как годовое количество взлётов/посадок невелико по сравнению с другими международными аэропортами.

По данным местных партнёров, существует только одна железнодорожная линия между озером Иссык-Куль и границей с Республикой Казахстан через Бишкек, а также железнодорожная линия снабжения ТЭЦ. Пока не удалось получить информацию об объёме использования дизельного топлива железнодорожными локомотивами в Бишкеке. Вполне вероятно, что оно относительно невелико, и что дизельное топливо, используемое в железнодорожном секторе, было отнесено к автомобильным грузоперевозкам, но повысить точность текущих оценок выбросов можно будет только в том случае, если удастся получить подробные данные об использовании топлива как на автомобильном, так и на железнодорожном транспорте.

Передвижная техника включает в себя широкий спектр различных типов машин — генераторы, компрессоры, строительную технику, машины для обслуживания воздушных судов и другие специализированные машины и оборудование. В настоящее время потребление дизельного топлива в Бишкеке относится к стационарному сжиганию и автомобильному транспорту. При появлении более подробных данных можно будет отнести соответствующую часть потребления топлива к передвижной технике, однако точно отразить этот источник в кадастрах выбросов будет крайне сложно.

8.3.6 Неорганизованные выбросы, промышленные процессы и использование продуктов

Неорганизованные выбросы

Неорганизованные выбросы — это случайные выбросы загрязняющих веществ, образующиеся в основном при производстве и распределении ископаемого топлива. Так, источники включают выбросы из нефтегазового сектора (во время разведки и добычи), утечки из газораспределительных трубопроводов и потери от испарения во время распределения топлива на автозаправочных станциях; почти во всех случаях речь идёт о неметановых летучих органических соединениях (НМЛОС).

Не удалось получить какие-либо соответствующие данные о деятельности в этой области, поэтому в настоящее время в кадастре выбросов нет оценок неорганизованных выбросов.

Промышленные процессы

Промышленные процессы охватывают широкий спектр различных типов источников. Они включают технологические выбросы от минеральных продуктов (включая производство цемента), химической промышленности, производства металлов, использования растворителей, целлюлозно-бумажного производства и деревообработки, а также пищевой промышленности и производства напитков. Сбор данных в разбивке по полу в различных отраслях промышленности, выбрасывающих загрязняющие вещества, является одной из центральных задач. Исследования показывают, что мужчины чаще подвергаются воздействию загрязнения в воздухе рабочей зоны, поскольку они чаще работают на промышленных объектах. Воздействие загрязнения на мужчин и женщин также различно, поэтому сбор этих данных имеет решающее значение для разработки комплексной политики, учитывающей гендерные аспекты.

Данные о годовом производстве продуктов питания и напитков в Кыргызской Республике взяты с веб-сайта НСК (<http://www.stat.kg/en/>). Для подсчёта значений показателя по Бишкеку годовые объёмы производства отдельных продуктов питания и напитков были пересчитаны в контексте статистики по валовому региональному продукту, также доступной на веб-сайте НСК. Совокупность этих данных и коэффициентов выбросов по умолчанию из Руководства ЕМЕР/ЕЕА (ЕМЕР/ЕЕА, 2019) позволила получить соответствующие оценки выбросов.

Выбросы от использования продуктов

В выбросах от использования продуктов обычно преобладают НМЛОС от продуктов, содержащих растворители, таких как краски, косметика и фармацевтические препараты.

Оценить выбросы от бытового использования растворителей можно только на основе ежегодных данных о численности населения. Использование растворителей в промышленности также должно учитываться при инвентаризации выбросов, хотя получение соответствующих данных для коэффициентов выбросов часто проблематично.

8.3.7 Сельское хозяйство

Предполагается, что в Бишкеке нет сельскохозяйственных источников выбросов.

8.3.8 Управление отходами

Этот сектор включает выбросы от свалки, очистки сточных вод, открытого сжигания отходов и мусоросжигательных заводов без выработки электроэнергии/тепла. Источники в секторе управления отходами обычно менее значительны, чем в других секторах, и поэтому обычно имеют более низкий приоритет в городских кадастрах выбросов.

Свалка

Бишкекская свалка находится за пределами географического охвата исследования. Однако не известно, влияют ли выбросы от пожара на свалке на качество воздуха в городе, поэтому были сделаны оценки выбросов (см. раздел «Сжигание отходов» ниже). Оценок выбросов от деятельности самой свалки (выбросы $PM_{2.5}$ при обработке отходов и НМЛОС при разложении отходов) не проводилось из-за отсутствия исходных данных.

Очистка бытовых сточных вод

Очистка сточных вод обычно является незначительным источником загрязнителей воздуха, поэтому соответствующие оценки не были включены в инвентаризацию.

Сжигание отходов

Мусоросжигательные установки

Наличие больниц в Бишкеке предполагает, что там, скорее всего, есть установки для сжигания медицинских отходов (хотя отходы могут и обрабатываться в автоклаве/стерилизаторе для последующего захоронения на городской свалке). Поскольку информация о деятельности и выбросах отсутствует, были собраны данные о выбросах нескольких установок по сжиганию медицинских отходов в Великобритании, и экспертная оценка была использована для определения оценок выбросов, которые считаются репрезентативными для Бишкека. Это лишь грубое приближение, но оно даёт первоначальную оценку выбросов, которую можно в последующем улучшить.

Открытое сжигание отходов

В эту категорию источников включено открытое сжигание отходов и пожар на свалке.

Открытое сжигание отходов является распространённой практикой в садах и дворах Бишкека. Были сделаны оценки частоты и размера этих костров, чтобы получить среднегодовое количество сжигаемых отходов в расчёте на домохозяйство. Затем этот показатель был умножен на количество домохозяйств в городе для получения оценки общего количества сжигаемых отходов. В целях оценки коэффициенты выбросов по умолчанию для открытого сжигания отходов были взяты из Руководства ЕМЕР/ЕЕА.

На городской свалке постоянно происходит неконтролируемый пожар, который приводит к выбросам загрязняющих веществ в атмосферу. Несмотря на то, что свалка находится за пределами города, было сочтено целесообразным сделать оценки выбросов в информационных целях и не включать их в общие данные кадастра выбросов. Длина фронта пожара может быть оценена по спутниковым снимкам в 100 м. Затем были сделаны оценки годового количества сжигаемых отходов на каждый метр пожара, и общая сумма была объединена с коэффициентами выбросов для открытого сжига-

ния отходов из Руководства ЕМЕР/ЕЕА (ЕМЕР/ЕЕА, 2019). Выбросы от пожара на свалке относительно малы по сравнению с другими источниками в Бишкеке. Учитывая влияние, которое пожар, по имеющимся данным, оказывает на качество воздуха на местном уровне, возможно, что вследствие текущих предположений и упрощённого методологического подхода выбросы недооцениваются.

Расчёты выбросов в секторе отходов в настоящее время основываются на лучших доступных оценках и ряде допущений, в связи с чем их неопределённость очень высока. Повысить точность оценок можно путём получения местных данных об объёме сжигания отходов в Бишкеке.

8.4 Оценка исторических выбросов и прогнозы

Результаты инвентаризации выбросов представлены в следующих разделах. Однако, как отмечалось в разделе методологии, существуют существенные пробелы в доступных исходных данных и, как следствие, результирующие оценки могут быть неточными. Исходные данные должны быть более подробными, полными и точными для получения достаточно надёжных оценок выбросов. Текущие результаты дают представление об относительной важности различных источников и исторических тенденциях, но в то же время важно подходить к интерпретации данных результатов с учетом их индикативного характера.

Также представлены прогнозы выбросов на будущие годы. Прогнозы, показанные на рисунках в этой главе, предполагают продолжение текущих мер. Это означает приверженность существующей политике и запланированным мерам (а также внедрение в последующие годы политики и мер, в отношении которых уже были приняты чёткие обязательства). Это сценарий, который часто условно называют «обычный ход деятельности».

Можно создать ряд различных сценариев будущего, добавляя различные комбинации новых или «дополнительных» политик и мер. Это делается для оценки потенциального влияния дополнительных мер и политики на выбросы. Три сценария «с принятием дополнительных мер» рассмотрены в главе 9.

8.4.1 Качество кадастра выбросов

Для оценки качества кадастра выбросов существуют стандартные показатели качества (ЕМЕР/ЕЕА, 2019). К ним относятся: прозрачность, полнота, согласованность, сопоставимость и точность. Кадастр, подготовленный для Бишкека, основан на крайне ограниченных исходных данных, и в этой связи возник ряд проблем.

Наиболее значительной проблемой было отсутствие данных по Бишкеку для проведения расчётов исторических выбросов из различных источников. Для расчётов страновые данные национальной статистики были масштабированы на уровень Бишкека, пробелы в данных были восполнены за счёт общих предположений, и в целом ряде случаев вместо статистических данных были использованы экспертные оценки (либо из международного опыта, либо на основе неофициальной информации, полученной от местных партнёров).

Уровень детализации данных также вызвал проблемы в некоторых расчётах исторических выбросов. В результате были использованы относительно примитивные методики расчёта. Несмотря на то, что они могут обеспечить хорошее представление реальной картины, они часто не учитывают колебания, которые могут возникнуть из-за основных базовых переменных. Например, в секторе автомобильного транспорта было достаточно информации для проведения относительно простого

расчёта на основе использования топлива. Однако в попытке поддержать усилия по разработке политики, годовые выбросы были рассчитаны по типам транспортных средств и по используемым технологиям. Это потребовало выдвижения предположений о возрасте парка транспортных средств и используемых технологиях контроля выбросов, но одновременно с этим позволило провести количественную оценку влияния потенциальной политики и мер по контролю выбросов. Таким образом, важно, чтобы уровни детализации, с которыми представлены источники кадастра выбросов, не интерпретировались как показатели уровня точности оценок выбросов.

Прогнозы выбросов также включены в приведённые ниже графики. В дополнение к неопределённостям, связанным с оценками исторических выбросов, прогнозы включают в себя дополнительные неопределённости, возникающие при проецировании этих оценок исторических выбросов на будущие годы. Будущие тенденции, включенные в кадастр, относительно просты, и большинство из них основаны либо на росте населения, либо на росте ВВП, взятых из общедоступной информации НСК (<http://www.stat.kg/en/>). Влияние различных политик и мер рассматривается в **главе 9**, где представлены прогнозы по сценариям с разным уровнем амбициозности.

Приоритетные мероприятия по усовершенствованию кадастра выбросов и основные его недостатки рассматриваются в **главе 8.4.7** ниже.

8.4.2 Оксиды азота (NO_x)

В выбросах NO_x доминирует автомобильный транспорт, в частности автомобили с бензиновыми двигателями. Тяжёлые транспортные средства (грузовики) также вносят большой вклад в общий объём выбросов NO_x.

Прогнозируемое увеличение пробега автомобилей отражено в увеличении выбросов в будущие годы. Прогноз, представленный на **рисунке 45**, предполагает отсутствие модернизации автопарка. Вместе с тем выбросы NO_x от автомобилей без каталитического нейтрализатора могут быть в 50 раз выше, чем от автомобиля, оборудованного нейтрализатором. Поэтому даже постепенная модернизация автопарка окажет очень большое влияние на общий объём выбросов. Более широкое использование электромобилей также способно существенно сократить выбросы в будущем. Это также относится к большегрузным автомобилям: грузовик без технологии контроля выбросов может выбрасывать в 30 раз больше NO_x, чем грузовик, использующий современные технологии контроля выбросов. Поэтому обеспечение точного представления автопарка в кадастре выбросов важно не только для расчёта исторических выбросов, но и для поддержки разработки политики, направленной на решение проблем качества воздуха. Выбросы от ТЭЦ вносят небольшой вклад в общее загрязнение воздуха NO_x.

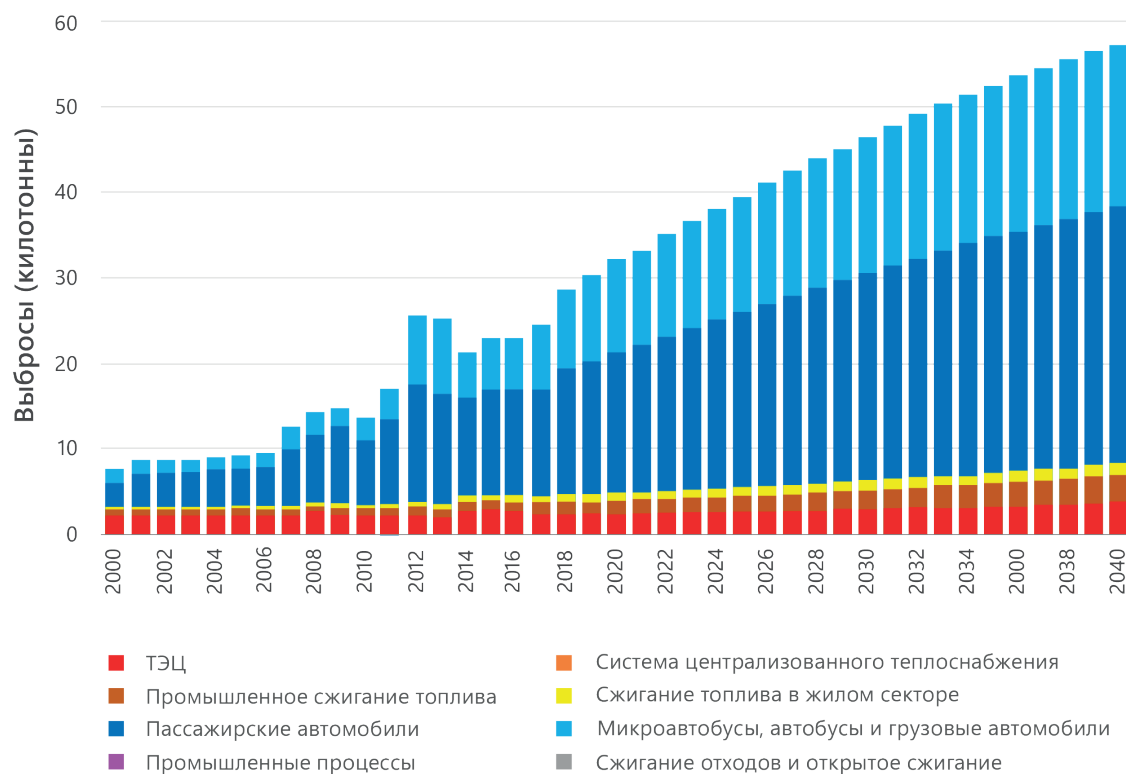


Рисунок 45 Выбросы NO_x (сценарий «с продолжением текущих мер»).

8.4.3 Мелкодисперсные твёрдые частицы ($\text{PM}_{2.5}$)

Выбросы твёрдых частиц, а точнее $\text{PM}_{2.5}$, происходят из ряда различных источников. Автомобильный транспорт вносит большой вклад в общий объём выбросов, однако сжигание топлива в жилых домах является крупнейшим источником со значительным отрывом (**рисунок 46**).

В выбросах от жилых домов преобладает использование угля в простых печах и котлах. Они обычно создают менее эффективные условия сжигания по сравнению с более современными отопительными приборами, а уголь — это топливо, сжигание которого приводит к относительно высоким выбросам $\text{PM}_{2.5}$ по сравнению с другими видами топлива. Переход с обычных печей на современные может снизить выбросы примерно на 30 процентов. Несмотря на то, что это значительное снижение, с учётом превышения рекомендуемых норм для здоровья текущими концентрациями $\text{PM}_{2.5}$, маловероятно, что одного этого изменения будет достаточно для решения проблемы высоких концентраций $\text{PM}_{2.5}$ в городе. И хотя на данный момент детальные исследования по этой теме отсутствуют, ожидается, что потребуются другие меры и политика, такие как инвестиции в теплоизоляцию домов, отказ от использования угля и т.д., а также политика, влияющая на другие категории источников.

Выбросы от автомобильного транспорта приобретают всё большее значение в последующие годы, поскольку, согласно прогнозам, их уровень будет расти быстрее, чем уровень выбросов от деятельности домохозяйств. Замена старого грузовика на грузовик с новым оборудованием для контроля выбросов может сократить выбросы $\text{PM}_{2.5}$ более чем в 100 раз. Таким образом, модернизация парка транспортных средств, оснащённых дизельными сажевыми фильтрами, может оказать большое влияние на контроль выбросов $\text{PM}_{2.5}$.

По прогнозам, проблема выбросов от промышленного сжигания топлива будет усугубляться. Переход от использования угля в качестве топлива внесет большой вклад в контроль выбросов, равно как и модернизация котельных.

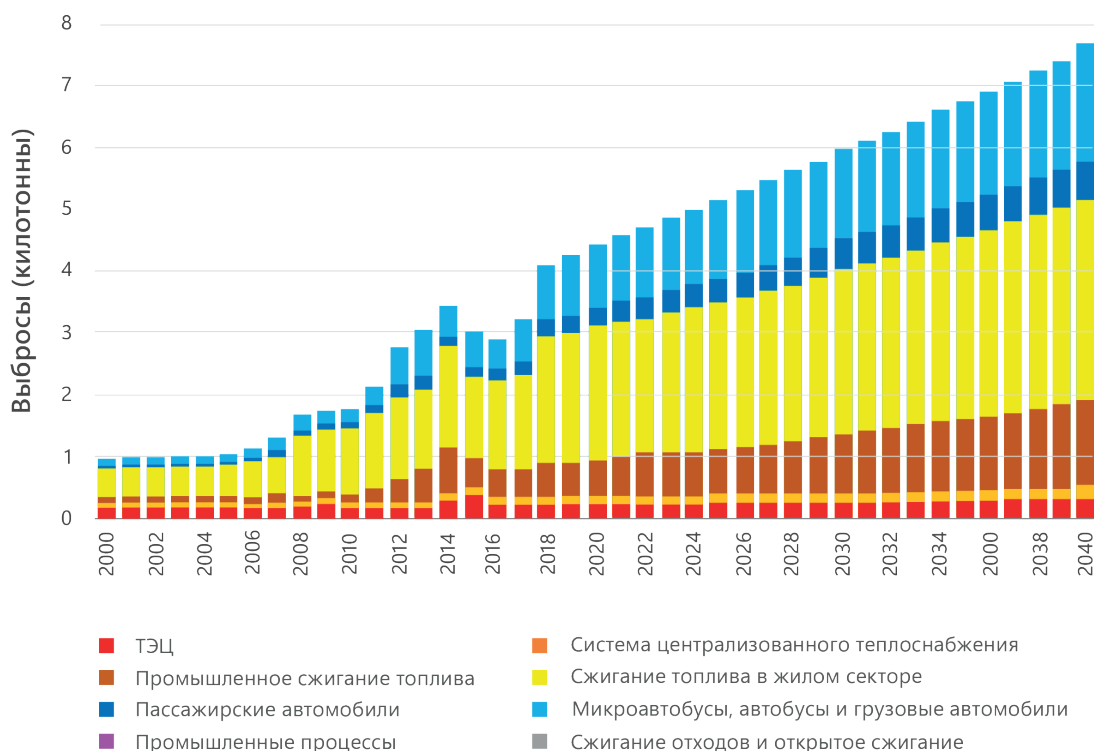


Рисунок 46 Выбросы PM_{2.5} (сценарий «с продолжением текущих мер»).

8.4.4 Оксиды серы (SO_x, в частности SO₂)

В выбросах SO₂ преобладает сера, содержащаяся в угле, которая выбрасывается в воздух при его сжигании. Именно крупнейшие потребители угля являются крупнейшими источниками выбросов (рисунок 47). Крупные точечные источники часто оснащены оборудованием для контроля выбросов, которое может быть на 99 процентов эффективным при удалении SO₂ из выбросов. Известно, что ТЭЦ оснащена контрольным оборудованием, но в настоящее время неясно, насколько эффективно оно работает, и, следовательно, неизвестен потенциал для повышения текущего уровня удаления SO₂ путём улучшения контроля выбросов.

Значительное снижение выбросов SO₂ возможно при условии использования газа вместо угля на ТЭЦ. Однако это сложный вопрос, при рассмотрении которого необходимо учитывать соображения о топливной безопасности, стоимости преобразования/модернизации и конечную стоимость для потребителя на единицу произведенной электроэнергии/тепла.

Домохозяйства также вносят существенный вклад в общий объём выбросов SO₂ из-за сжигания большого количества угля для отопления. На бытовых приборах не установлено оборудование для контроля выбросов. Переход на более эффективные современные приборы означает уменьшение потребления угля и, следовательно, снижение выбросов. Однако это влияние будет незначительным по сравнению, например, с переходом с угля на альтернативное топливо с низким содержанием серы. Тот же принцип применим к выбросам от промышленного сжигания.

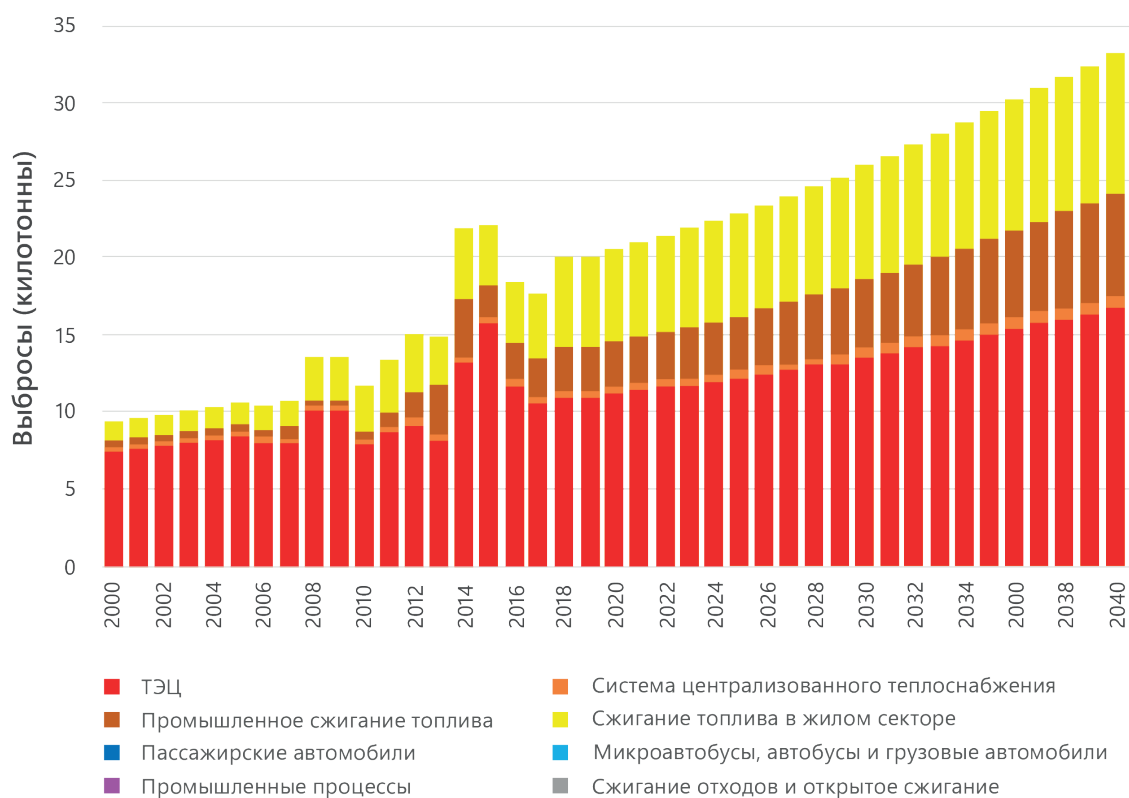


Рисунок 47 Выбросы SO₂ (сценарий «с продолжением текущих мер»).

8.4.5 Неметановые летучие органические соединения (НМЛОС)

В выбросах НМЛОС доминируют легковые автомобили, и поэтому в будущие годы выбросы будут в значительной степени зависеть от автопарка и пробега (или использованного топлива) (**рисунок 48**).

Использование трёхходового катализатора (тройного действия) приводит к значительному снижению выбросов от легковых автомобилей. Сокращение выбросов на километр пробега зависит от того, насколько современна технология контроля выбросов, но даже использование оборудования для контроля выбросов, внедрённого несколько лет назад, сокращает выбросы почти в 50 раз. В результате ожидается, что модернизация автомобильного парка станет одним из приоритетов в борьбе с выбросами НМЛОС, а значительного сокращения выбросов можно будет добиться без широкого распространения электромобилей.

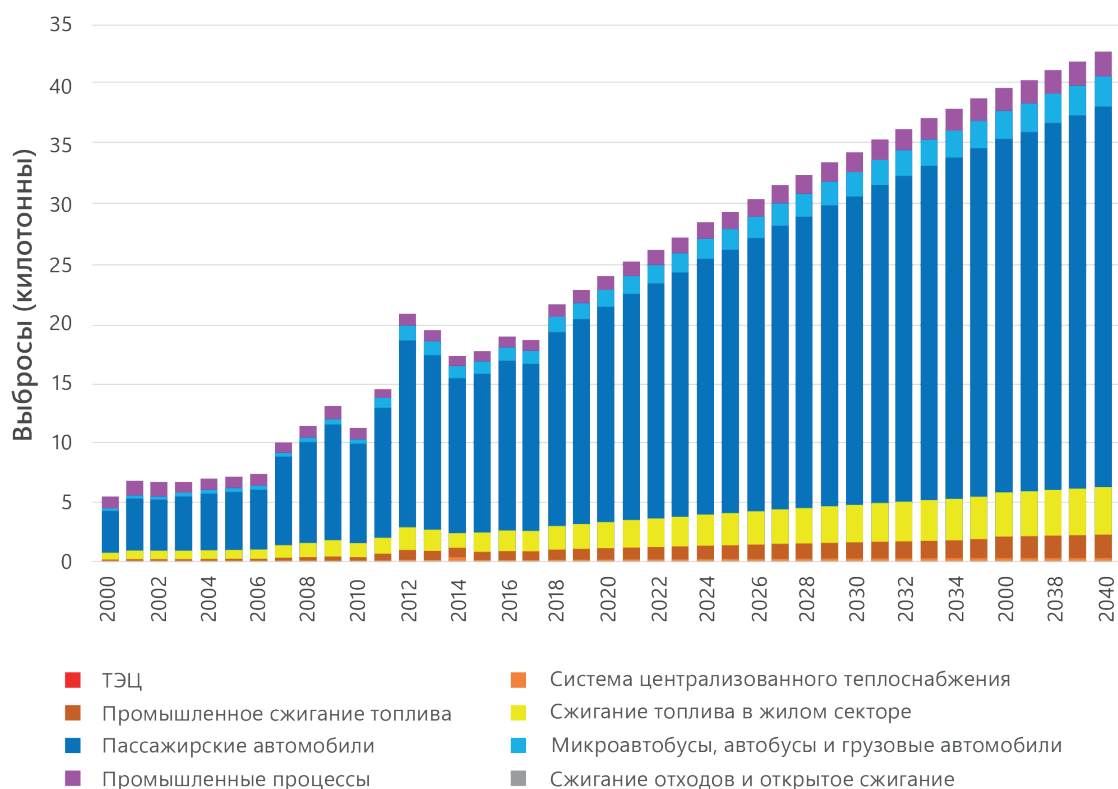


Рисунок 48 Выбросы НМЛОС (сценарий «с продолжением текущих мер»).

8.4.6 Другие загрязняющие вещества

В кадастр также включены оценки выбросов ряда других загрязняющих веществ, включая PM_{10} , ртуть, диоксины/фураны, бензапирен и CO_2 . Эти загрязнители не представлены подробно в данном отчёте, поскольку обычно их воздействие на здоровье человека в городских районах не вызывает большой озабоченности (хотя при определённых обстоятельствах они могут быть важны, например, в непосредственной близости от крупных промышленных предприятий):

- **PM_{10} .** Относительные вклады из различных источников и тенденции со временем очень схожи с таковыми для $PM_{2.5}$.
- **Ртуть.** В выбросах ртути доминирует использование угля, поэтому относительный вклад в общий объём выбросов и тенденции со временем очень похожи на те, что наблюдаются для SO_2 .
- **Диоксины/фураны.** Выбросы в основном возникают в результате неэффективного сжигания топлива. Использование угля в жилом секторе является самым крупным источником — на него приходится почти 80 процентов от общего объёма выбросов в 2018 году. Ожидается, что переход от обычных печей к более современным приборам сократит выбросы примерно вдвое. На промышленное сжигание приходится бó льшая часть оставшихся выбросов.
- **Бензапирен.** Бензапирен используется в качестве индикатора полициклических ароматических углеводородов. Профиль выбросов и тенденции очень похожи на те, что наблюдаются для диоксинов/фуранов.

- **CO₂.** Хотя CO₂ не является загрязнителем воздуха, он является наиболее важным парниковым газом, поэтому при составлении кадастра выбросов было несложно включить в него оценки выбросов этого газа. В 2018 году автомобильный транспорт был крупнейшим источником CO₂ — на него приходилась почти половина всех выбросов. ТЭЦ также являлась крупным источником, производя более трети всех выбросов. Снижение выбросов CO₂ требует сокращения использования ископаемого топлива. Это обычно согласуется с политикой и мерами, направленными на снижение выбросов загрязнителей воздуха, однако в случае загрязнителей воздуха эффективным представляется использование оборудования для контроля выбросов.

Есть и другие загрязнители воздуха, о которых сообщается в КТЗВБР, но поскольку они не считались основными, то не были включены в кадастр выбросов. Полный список загрязнителей, о которых сообщают Стороны, участвующие в КТЗВБР, приведён в Приложении 1 в целях информации.

8.4.7 Совершенствование инвентаризации выбросов

Несмотря на то, что результаты инвентаризации выбросов представлены в данном документе, рекомендуется провести усовершенствование инвентаризации прежде чем осуществлять вложение существенных инвестиций в политику и меры, основанные на оценках и прогнозах выбросов.

Предложенные усовершенствования оценок и прогнозов выбросов были обсуждены с местными партнёрами и экспертами. Был составлен список ключевых наборов данных, которые могли бы значительно улучшить текущие оценки. В настоящее время ведётся работа по изучению возможности получения различных наборов данных от государственных ведомств и других соответствующих организаций. В некоторых случаях может оказаться, что необходимых данных не существует (речь не идёт об их недоступности) и в этом случае может потребоваться сбор новых данных. Как правило, это занимает много времени и может быть достаточно масштабным мероприятием.

Данные, которые помогут улучшить кадастры выбросов, обобщены в **таблице 11** ниже. В случаях, когда данные получить невозможно, будет необходимо совершенствовать допущения, на которых были построены кадастры, путём консультаций с соответствующими местными и региональными экспертами. Кроме того, в определённых районах решающее значение будут иметь данные о населении с разбивкой по полу, так как они могут помочь выявить важнейшие закономерности и указать на связь выбросов с гендерно-дифференцированными видами воздействия на здоровье, и таким образом способствовать разработке комплексной, более эффективной и устойчивой политики.

Таблица 11 Данные, необходимые для улучшения инвентаризации выбросов.

Сектор и набор данных	Уровень приоритета
Производство электрической и тепловой энергии государством	
Временной ряд по видам топлива, используемым на ТЭЦ	B
Оборудование по контролю/очистке выбросов, используемое на ТЭЦ, и изменения с течением времени	B
Временные ряды по топливу, используемому в районном теплоснабжении	C
Оборудование по контролю/очистке выбросов, используемое в районном теплоснабжении, и изменения с течением времени	C

Промышленное сжигание топлива	
Временные ряды по топливу, используемому в промышленном сжигании	С
Информация об использовании топлива в крупных промышленных точечных источниках	Н
Оборудование по контролю/очистке выбросов, используемое на крупном промышленном предприятии	С
Дорожный транспорт	
Оценки использования топлива (или км) для Бишкека, за каждый год, с разбивкой по типам транспортных средств	В
Информация о парке транспортных средств – количество по типам транспортных средств (и возраст) за каждый год, с учетом снятия каталитических нейтрализаторов	В
Прочий транспорт и передвижная техника	
Авиация – годовые рейсы, прибывающие/приземляющиеся в аэропорту (включение/исключение в кадастр должно быть подтверждено)	Н
Железнодорожный транспорт – использование дизельного топлива (прибытие/отправление на станции Бишкек) для грузовых и пассажирских поездов	Н
Передвижная техника – оценка использования топлива/часов работы	С
Сжигание топлива в жилом секторе	
Использование топлива в жилом секторе, в разбивке по видам топлива и районам города	В
Типы и технологии домашних котлов/нагревательных приборов, в разбивке по районам города	В
Неорганизованные выбросы, промышленные процессы и использование продукции	
Объём топлива на нефтеперерабатывающих заводах	С
Километры газопроводов (в разбивке по типам)	Н
Продажа топлива на автозаправочных станциях	Н
Информация о контроле выбросов на автозаправочных станциях (доставка бензовозов, хранение, заправка автомобилей и т.д.)	Н
Использование растворителей в промышленности	Н
Использование в быту для производства красок, косметики и фармацевтических препаратов	Н
Управление отходами	
Свалка – количественная информация о пожаре на свалке	В
Очистка воды и сточных вод – пропускная способность очистных сооружений и других систем управления отходами	Н

Расшифровка

Очень важно получить/оценить (высокий уровень важности)	В
Важно получить/оценить (средний уровень важности)	С
Менее важно получить/оценить (низкий уровень важности)	Н

9 ПРОГНОЗНЫЕ СЦЕНАРИИ ВЫБРОСОВ



Инвентаризация выбросов была проведена не только для количественной оценки исторических выбросов, но и для изучения будущих выбросов согласно различным сценариям.

Для содействия разработки политики требуется следующее:

- Высококачественный исторический кадастр выбросов, который может лечь в основу прогнозов. Точность и полнота являются особенно важными показателями качества.
- Точные прогнозы текущих тенденций для создания сценария «обычного хода деятельности» (business-as-usual), более точно называемого в рамках данного исследования «с продолжением текущих мер», который предполагает реализацию текущей и запланированной политики. Прогнозы, рассчитанные путём масштабирования источников выбросов по прогнозам численности населения или ВВП, не будут точно отражать будущие тенденции.
- Достаточно подробная структура данных кадастра выбросов и подробные исходные данные. Это необходимо для того, чтобы политика и меры (которые могут влиять на выбросы весьма избирательно) были надлежащим образом представлены в расчётах прогнозов выбросов.
- Сбор данных о затронутых группах населения в разбивке по полу для более точного определения тенденций и принятия подходов к разработке комплексной политики.

Были разработаны три сценария, которые описывают, как можно контролировать выбросы из различных источников при трёх различных уровнях амбициозности. Чтобы использовать информацию о сценариях в прогнозировании выбросов, необходимо было преобразовать описания тенденций и политики в изменения, которые соответствовали бы источникам в кадастре, используя следующий подход:

- **Оценка затронутой доли сектора источников выбросов:** не обязательно, что будет затронут весь сектор как источник выбросов. Например, современные отопительные приборы могут быть установлены в 30 процентах домохозяйств, использующих простые печи, или может быть использован поэтапный подход в течение нескольких лет для установки современных отопительных приборов во всех домохозяйствах. В некоторых случаях бывает

сложно оценить степень проникновения той или иной политики. Например, вместо того чтобы указать, что 30 процентов домохозяйств перейдут с простых печей на современные отопительные приборы, политика может заключаться в предоставлении скидок на новые приборы. В этом случае необходимо оценить взаимосвязь между скидкой и распространением соответствующих приборов, а она часто не подкрепляется данными или исследованиями, полученными на местах, и поэтому требует экспертной оценки.

- **Степень воздействия на выбросы:** некоторые политики/меры могут привести к небольшому сокращению выбросов, а другие — к значительному. Такое различие может зависеть от мельчайших деталей политики и способа её реализации, однако количественная оценка воздействия политики обычно определяется путём изменения коэффициентов выбросов. Существуют также примеры, когда сокращение выбросов в одном секторе-источнике требует увеличения выбросов в другом секторе. Например, перевод отопления жилых домов с угля на электричество снижает выбросы в жилых домах на 100 процентов, но увеличивает выбросы в секторе производства электроэнергии.

9.1 Обзор сценариев выбросов

Для прогноза выбросов до 2040 года были разработаны три сценария с различным уровнем амбиций (таблица 12):

- **Сценарий 1 с принятием дополнительных мер, умеренный уровень амбиций.** Экономика, национальный топливно-энергетический баланс и топливный баланс Бишкека продолжают развиваться по текущей траектории, при этом инвестиции в возобновляемые источники энергии и энергоэффективность ограничиваются в основном проектами развития, реализацией пилотных проектов с незначительным общим воздействием на снижение выбросов в стране, а также несущественными инвестициями со стороны национального правительства в расширение и репликацию демонстрационных проектов. Тарифы на электричество и энергию остаются низкими, существуют проблемы в управлении энергетическим сектором, и, как следствие, наблюдается нехватка международных инвестиций в национальную энергетическую систему. Проблемы, препятствующие развитию крупных гидроэлектростанций, сохраняются, в то время как проекты развития поддерживают спорадическое развитие некоторых мини- и микрогидроэлектростанций. Между тем, воздействие на климат, включая увеличение дефицита воды, сохраняется, продолжая оказывать давление на водные ресурсы и, в свою очередь, на производство гидроэлектроэнергии, стимулируя тем самым использование угля и других видов топлива, особенно в целях отопления в зимнее время, когда потребности в энергии наиболее высоки. Климатические цели, изложенные в первых определяемых на национальном уровне вкладах (ОНУВ) страны (представленных в 2021 году), не достигнуты.
- **Сценарий 2 с принятием дополнительных мер, более высокий уровень амбиций.** При наличии политических обязательств Кыргызская Республика разрабатывает амбициозные планы по привлечению международных инвестиций для поддержки реформ в энергетическом секторе с целью решения энергетического кризиса и получения сопутствующих выгод с точки зрения качества воздуха. Будучи развивающейся страной, Кыргызская Республика выступает за переход к использованию ископаемых видов топлива с меньшими выбросами (газа), а не за прямой переход к возобновляемым источникам энергии. Поддержка со стороны партнёров по развитию и других партнёров позволяет осуществить этот переход в соответствии с ОНУВ страны, высвободить климатическое финансирование и поддержать

завершение долгожданных гидроэнергетических и других проектов. Развитие осуществляется в соответствии с принципами устойчивого развития, а планы реализуются эффективно и прозрачно. В то время как экономический кризис углубляется, реформы в энергетическом секторе рассматриваются как способ частичного решения этой проблемы за счёт новых возможностей в развитии прозрачного сектора возобновляемых источников энергии. Вместе с тем сохраняется социальное неравенство, и более бедным домохозяйствам и маргинализированным группам населения труднее участвовать в переходном процессе и получать доступ к соответствующим преимуществам.

- **Сценарий «Чистый ноль - 2050», очень высокий уровень амбиций.** При наличии сильной политической воли и широкой политической и финансовой поддержки со стороны партнёров по развитию и других партнёров Кыргызская Республика активно и быстро вступает на путь перехода к нулевым выбросам к середине XXI века. Это предполагает широкомасштабные реформы в энергетическом секторе, радикальные экономические реформы и содержательную отчётность для достижения прозрачного управления энергетикой. Кыргызская Республика использует имеющиеся внутренние ресурсы, развивая свой значительный потенциал в области возобновляемых источников энергии. Сценарий подразумевает справедливый энергетический переход с активным вовлечением и поддержкой участия женщин и маргинализированных групп и получение этими группами выгод от энергоперехода.

В таблице ниже представлен обзор того, как вышеуказанные сценарии были интерпретированы с точки зрения степени применения различных политик и мер и того, что это означает для наборов данных, используемых в кадастре выбросов.

Таблица 12 Сценарии выбросов: обзор включенных политик и мер.

Сектор	Описание изменения		
	Сценарий 1 с принятием дополнительных мер	Сценарий 2 с принятием дополнительных мер	Сценарий «Чистый ноль - 2050»
ТЭЦ и централизованное теплоснабжение	<ul style="list-style-type: none"> В зимнее время (с октября по март) ТЭЦ переходит на газ, что повышает эффективность контроля выбросов. Некоторые крупные и малые тепловые котельные системы централизованного теплоснабжения (40%) переходят с угля и нефти на газ. 	<ul style="list-style-type: none"> ТЭЦ полностью переведена на газ и повышает эффективность контроля выбросов. Некоторые крупные и малые тепловые котельные системы централизованного теплоснабжения (60%) переходят с угля и нефти на газ. 	<ul style="list-style-type: none"> К 2040 году ТЭЦ постепенно сворачивает свою деятельность и закрывается по мере роста производства электроэнергии из возобновляемых источников. Использование топлива в системе централизованного теплоснабжения сокращается на 90 процентов, на замену ему приходят возобновляемые источники энергии.
Промышленность	<ul style="list-style-type: none"> В некоторой степени осуществлен переход с угля на газ (30% к 2040 году). 	<ul style="list-style-type: none"> В некоторой степени осуществлен переход с угля на газ (30% к 2040 году). 	<ul style="list-style-type: none"> В некоторой степени осуществлен переход с угля на газ (60% к 2040 году).
Жилой сектор	<ul style="list-style-type: none"> Рост населения и внутренней миграции в Бишкеке приводит к росту городского населения и разрастания новых поселений («новостроек») вокруг города. Проживающие в частных домах переходят с угля на газ как в случае использования печей, так и котлов (25% к 2040 году). Газ по-прежнему используется для отопления в зимнее время среди населения среднего класса, не подключенных к ТЭЦ. В частных домах с угольным отоплением наблюдается ограниченное внедрение (30%) улучшенной изоляции/повышение энергоэффективности. 	<ul style="list-style-type: none"> Рост населения и внутренней миграции в Бишкеке приводит к росту городского населения и разрастания «новостроек» вокруг города. Проживающие в частных домах переходят с угля на газ как в случае использования печей, так и котлов (35% к 2040 году). Газ по-прежнему используется для отопления в зимнее время среди населения среднего класса, не подключенных к ТЭЦ. К 2040 году в 25 процентах домов будут установлены системы отопления на основе возобновляемых источников энергии. В половине частных домов с угольным отоплением улучшена изоляция/ энергоэффективность. 	<ul style="list-style-type: none"> Рост населения и внутренней миграции в Бишкеке приводит к росту городского населения и разрастания новых поселений («новостроек») вокруг города. 80 процентов отопления и электроэнергии обеспечивается возобновляемыми источниками, остальное – современными газовыми приборами. В половине частных домов/зданий с угольным отоплением улучшена изоляция/энергоэффективность.

Сектор	Описание изменения		
	Сценарий 1 с принятием дополнительных мер	Сценарий 2 с принятием дополнительных мер	Сценарий «Чистый ноль - 2050»
Дорожный транспорт	<ul style="list-style-type: none"> • Не наблюдается существенного перехода от автомобилей к общественному транспорту или ходьбе/велосипедам, равно как и значительного распространения частных электромобилей или перехода на газовое топливо (сжиженный газ (пропан-бутан)/сжатый природный газ (метан)). • Автопарк в значительной степени модернизируется за счёт естественного оборота, и автомобили проверяются на предмет удаления каталитических нейтрализаторов/оборудования для контроля выбросов. В результате к 2040 году половина легковых автомобилей и микроавтобусов (бензиновых и дизельных) будут оснащены каталитическими нейтрализаторами/технологиями контроля выбросов. • К 2040 году все грузовые автомобили и автобусы используют современное оборудование для контроля выбросов. 	<ul style="list-style-type: none"> • К 2040 году доля частных электромобилей в автопарке вырастет до 15 процентов. • Автопарк в значительной степени модернизируется за счёт естественного оборота, который усиливается благодаря схеме утилизации, и автомобили проверяются на предмет удаления каталитических нейтрализаторов/оборудования для контроля выбросов. В результате к 2040 году примерно 75 процентов легковых автомобилей и почти все микроавтобусы будут оснащены каталитическими нейтрализаторами/технологиями контроля выбросов. • К 2036 году все грузовые автомобили и автобусы используют современное оборудование для контроля выбросов. 	<ul style="list-style-type: none"> • К 2040 году доля частных электромобилей в автопарке вырастет до 70 процентов. • Все оставшиеся бензиновые/дизельные автомобили и микроавтобусы оснащены каталитическими нейтрализаторами/технологиями контролем выбросов. • К 2036 году все грузовые автомобили используют современное оборудование для контроля выбросов, а все автобусы либо на электрической тяге, либо используют современное оборудование для контроля выбросов.
Отходы	<ul style="list-style-type: none"> • Выбросы от свалки находятся вне сферы охвата кадастра выбросов, поэтому соответствующая политика и меры не рассматривались (влияние пожара на свалке на концентрацию загрязнителей воздуха в Бишкеке требует дальнейшего изучения). 		

Эти сценарии выбросов были разработаны для снижения будущих выбросов NO_x and $\text{PM}_{2.5}$. В анализ были включены прогнозы по другим загрязняющим веществам, но ниже представлены прогнозы только по NO_x and $\text{PM}_{2.5}$.

9.2 Выбросы NO_x при различных сценариях

На следующих графиках представлены выбросы NO_x в соответствии с тремя различными сценариями.

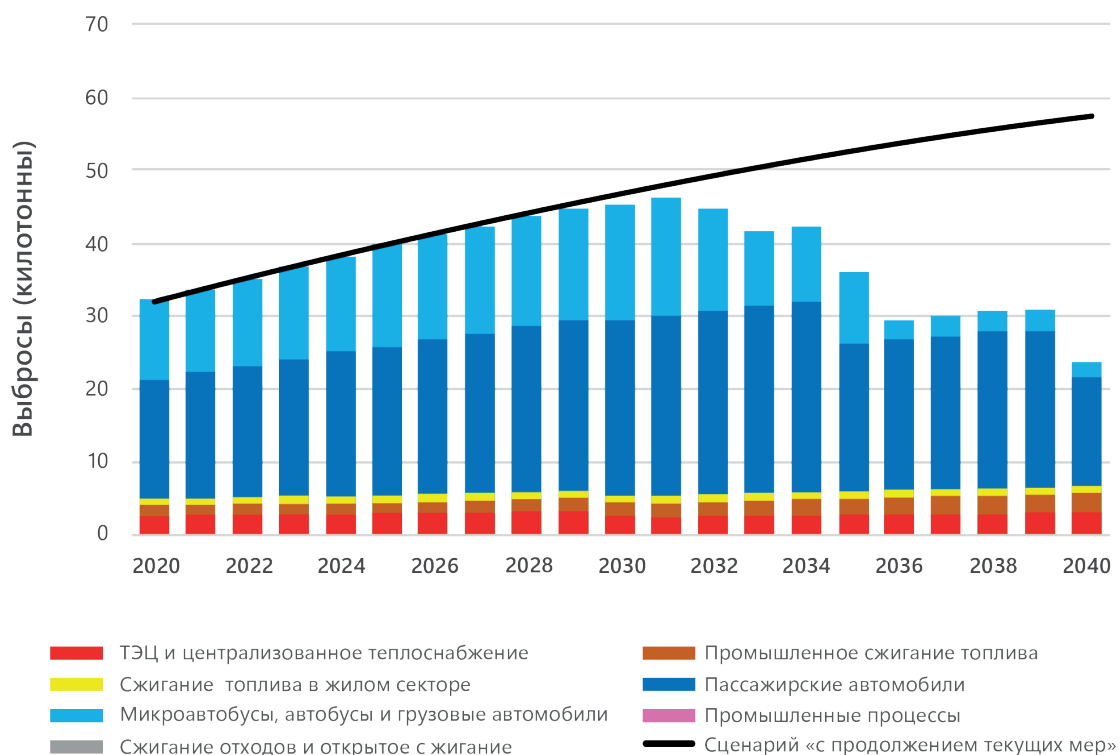


Рисунок 49 Прогнозы выбросов NO_x при сценарии 1 с принятием дополнительных мер (выбросы в сценарии «с продолжением текущих мер» включены для информации).

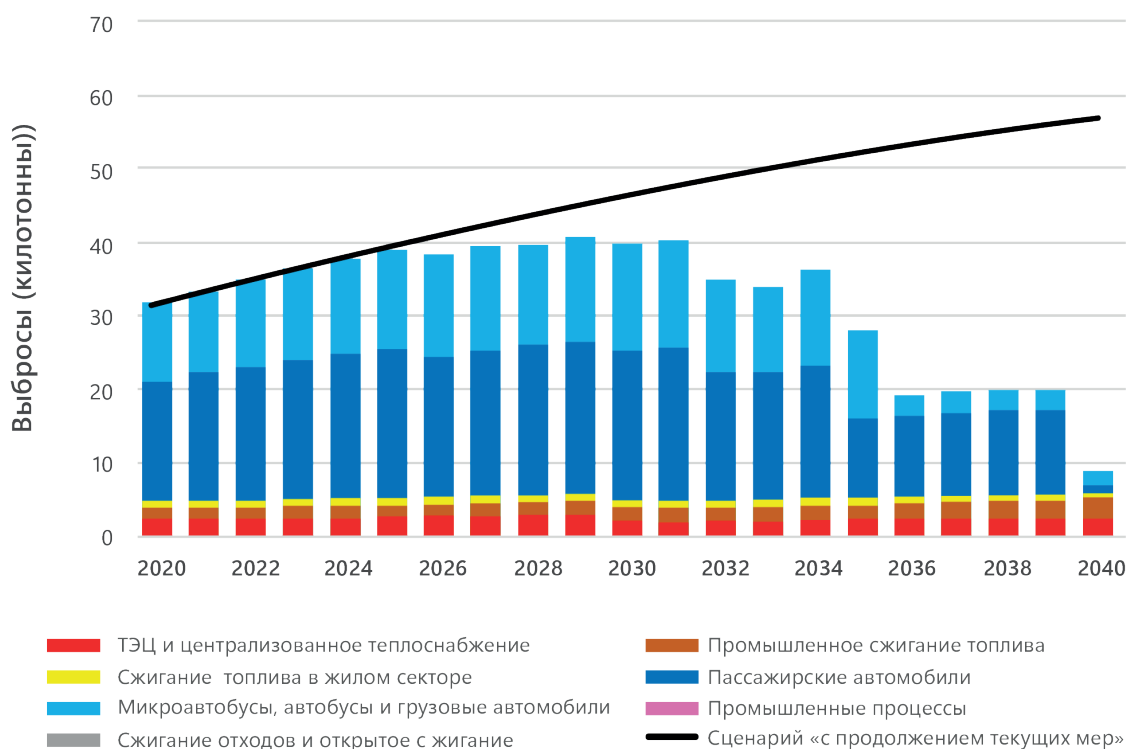


Рисунок 50 Прогнозы выбросов NO_x при сценарии 2 с принятием дополнительных мер (выбросы при сценарии «с продолжением текущих мер» включены для информации).

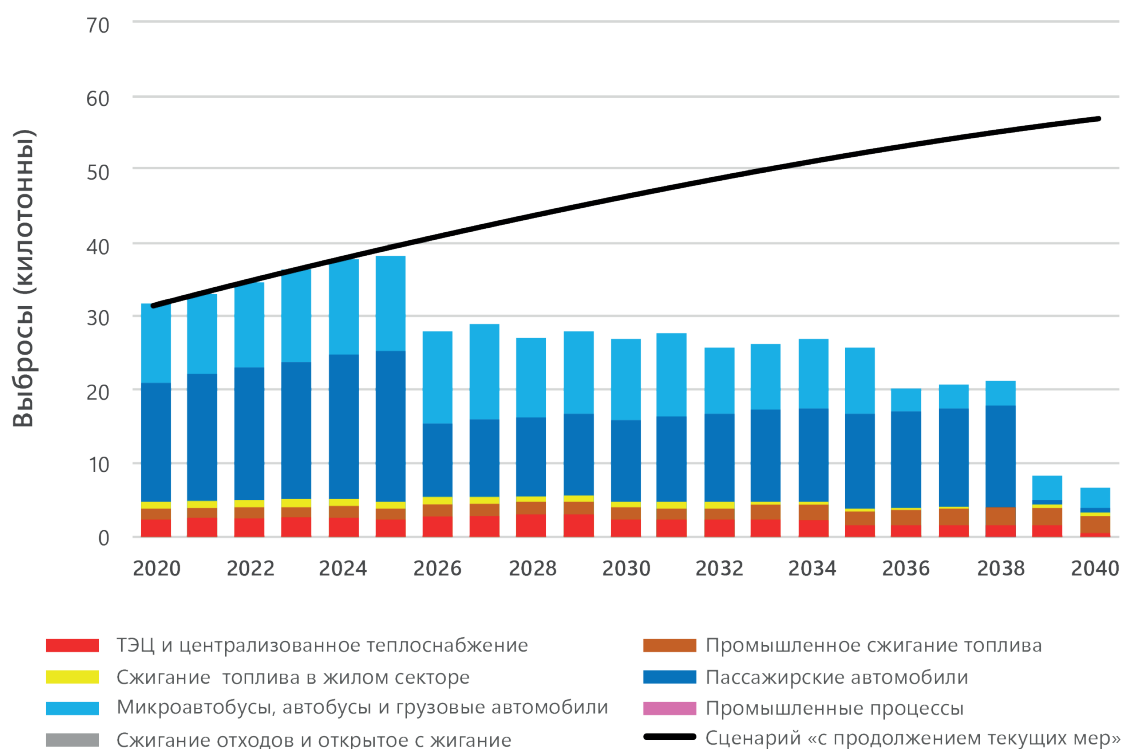


Рисунок 51 Прогнозы выбросов NO_x при сценарии «Чистый ноль - 2050» (выбросы при сценарии «с продолжением текущих мер» включены для информации).

Поскольку выбросы от автомобильного транспорта вносят наибольший вклад в общий объём выбросов NO_x , реализация соответствующих политик и мер в этом секторе является наиболее важной составляющей контроля выбросов. Согласно сценарию 1 с принятием дополнительных мер снижение выбросов по сравнению с 2020 годом может быть достигнуто к 2040 году за счёт использования бензиновых автомобилей, оснащённых каталитическими нейтрализаторами, и дизельных автомобилей, оснащённых сажевыми фильтрами. Значительное сокращение выбросов, достигнутое в сценарии 2 с принятием дополнительных мер, обусловлено более широким распространением оснащённых каталитическими нейтрализаторами/технологиями контроля выбросов транспортных средств в автопарк к 2040 году. В результате автомобильный транспорт перестают быть крупнейшим сектором-источником выбросов. На **рисунке 51** этот процесс показан как поэтапное сокращение к 2040 году, но более вероятно, что он будет представлять собой стабильное снижение выбросов в течение нескольких предшествующих лет.

9.3 Выбросы PM_{2.5} при различных сценариях

На следующих графиках представлены выбросы PM_{2.5} согласно трём различным сценариям.

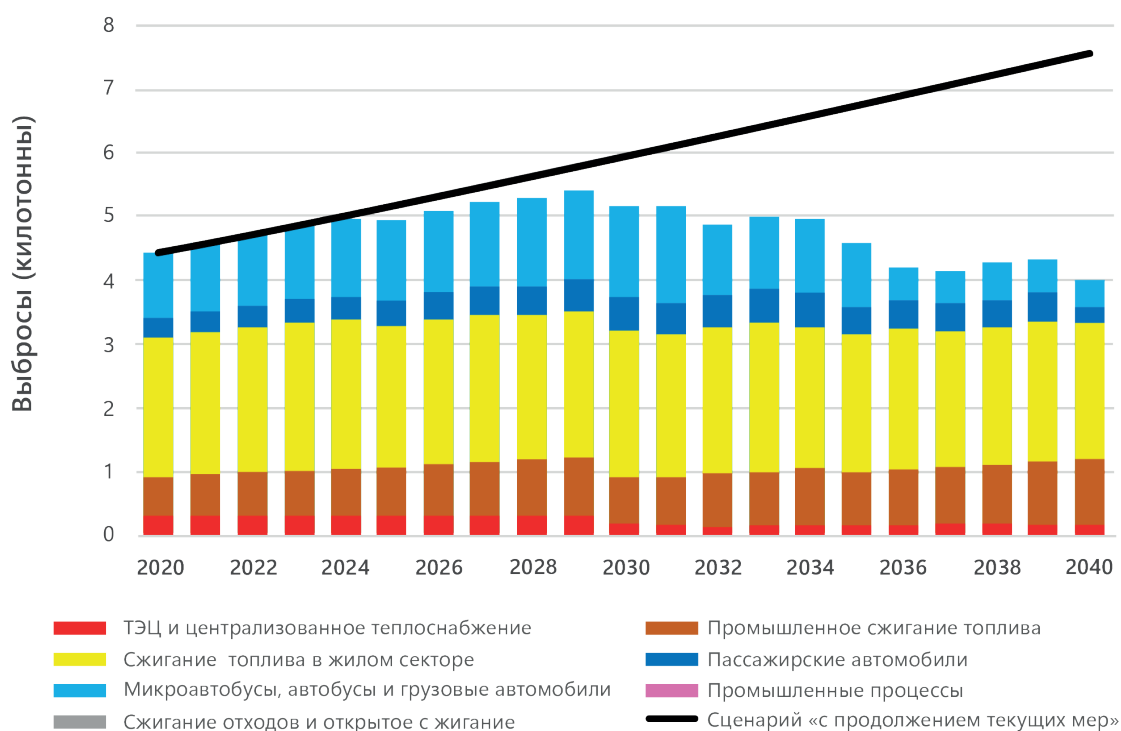


Рисунок 52 Прогнозы выбросов PM_{2.5} при сценарии 1 с принятием дополнительных мер (выбросы при сценарии «с продолжением текущих мер» включены для информации).

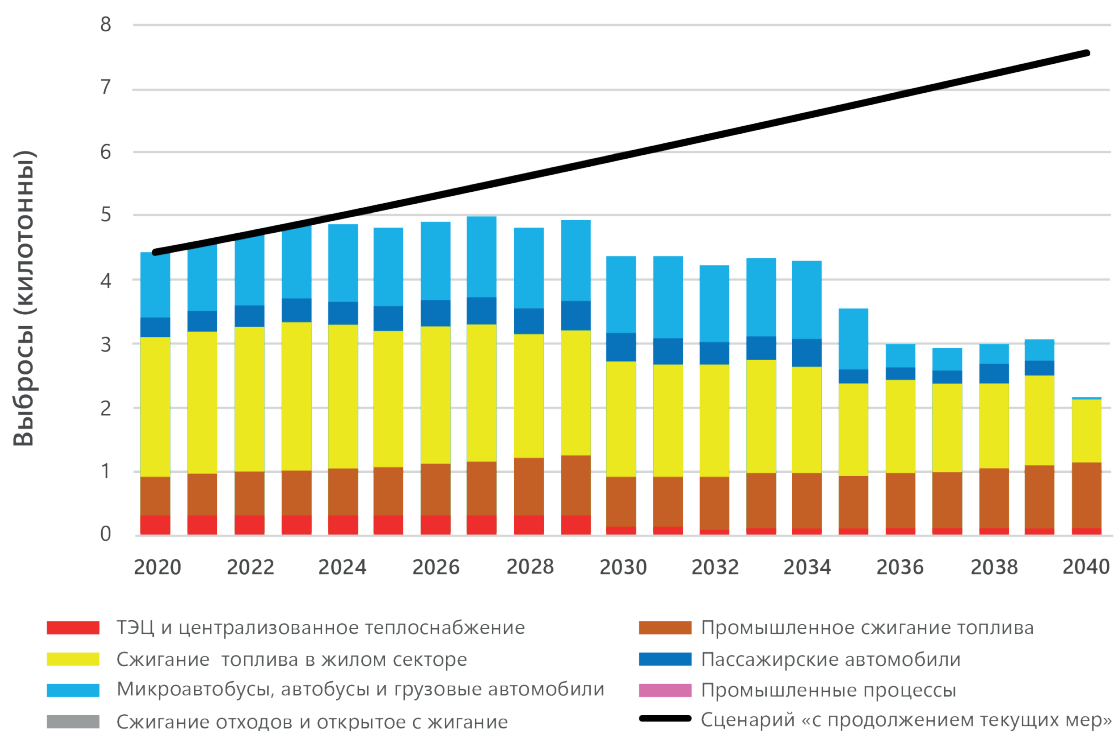


Рисунок 53 Прогнозы выбросов PM_{2.5} при сценарии 2 с принятием дополнительных мер (выбросы при сценарии «с продолжением текущих мер» включены для информации).

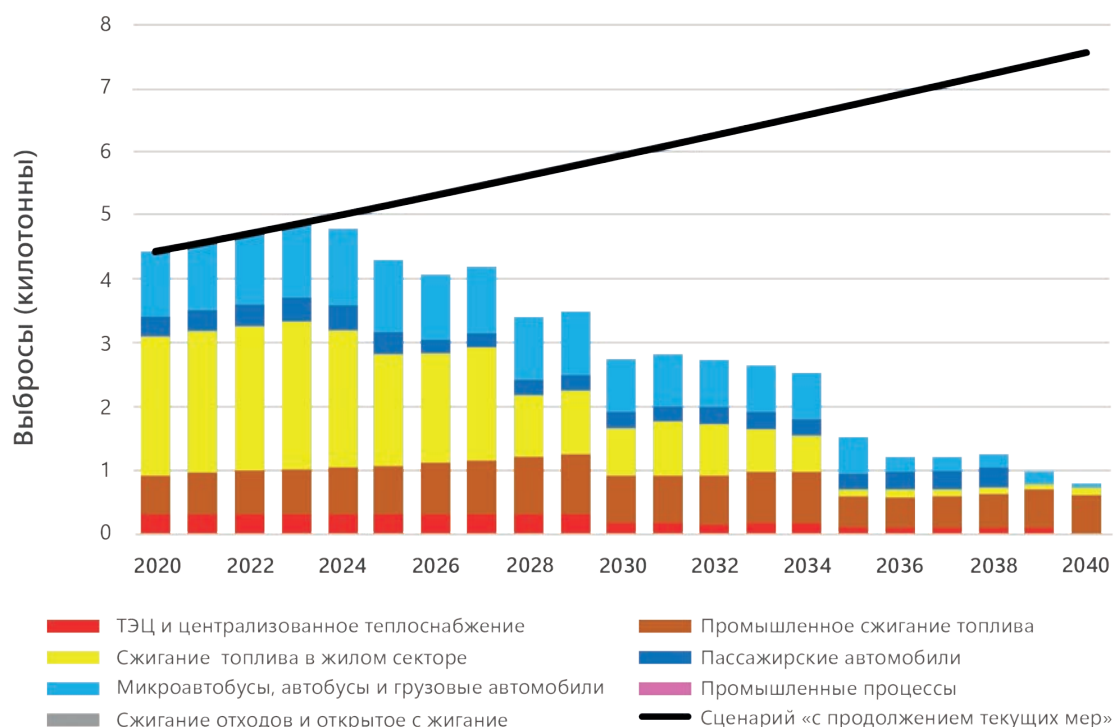


Рисунок 54 Прогнозы выбросов $PM_{2.5}$ при сценарии «Чистый ноль - 2050» (выбросы при сценарии «с продолжением текущих мер» включены для информации).

Использование угля в жилом секторе является самым большим источником выбросов, однако политика, включенная в сценарий 1 с принятием дополнительных мер, приводит лишь к относительно небольшому уровню сокращения выбросов и противостоит их росту (обусловленному ростом населения). Это демонстрирует тот факт, что при реализации политики в рамках сценария 1 (использование современных отопительных приборов и теплоизоляция домов) необходим гораздо больший уровень её проникновения. Сценарий «Чистый ноль - 2050» демонстрирует гораздо более успешное снижение выбросов в жилом секторе, поскольку домохозяйства переходят с угольного на электрическое отопление, эффективно сокращая выбросы от отопления этих домов до нуля. Выбросы от выработки электроэнергии не увеличиваются, поскольку в сценарии предполагается, что электроэнергия вырабатывается за счёт возобновляемых источников, а не за счёт потребления ископаемого топлива.

Данные, лежащие в основе анализа, представленного на рисунках выше, отличаются высокой степенью неопределённости. Однако результаты дают представление об уровне амбиций, который необходим для значительного сокращения выбросов NO_x и $PM_{2.5}$. Согласно данным, к 2040 году выбросы NO_x и $PM_{2.5}$ могут быть вдвое меньше, чем в 2020 году, если будут приняты правильные политика и меры, в первую очередь, по контролю выбросов от автомобильного транспорта и жилого сектора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- AIRNOW, 2022. AirNow.gov - Home of the US Air Quality Index www-page. Extremely High Levels of PM_{2.5}: Steps to Reduce Your Exposure. Материал доступен по ссылке: <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/extremely-high-levels-of-pm25/>, дата последнего обращения: 8 апреля 2022 года.
- City of Helsinki, 2016. Air Quality Plan of the city of Helsinki 2017-2024. In Finnish, English summary. Материал доступен по ссылке: <https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-11-16.pdf>, дата последнего обращения: 8 апреля 2022 года. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 11/2016.
- Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollution in Europe/European Environmental Agency (EMEP/EEA), 2019. The EMEP/EEA Air Pollutant Emissions Inventory Guidebook. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>.
- European Union (EU), 2004. Directive 2004/107/EC relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. European parliament, Council of the European Union.
- EU, 2007. Directive 2007/2/EC establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). European parliament, Council of the European Union.
- EU, 2008. Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe. European parliament, Council of the European Union.
- EU, 2010. Directive 2010/75/EU on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). European Parliament, Council of the European Union.
- EU, 2015. Directive 2015/1480 of 28 August 2015 amending several annexes to Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council laying down the rules concerning reference methods, data validation and location of sampling points for the assessment of ambient air quality. European Parliament, Council of the European Union.
- Finnish Meteorological Institute (FMI), 2020. SILAM v.5.7 System for Integrated modelling of atmospheric composition. Материал доступен по ссылке: <https://silam.fmi.fi/>, дата последнего обращения: 22 апреля 2022 года. Finnish Meteorological Institute, 2020.
- Global Energy Monitor (GEM), 2022. Bishkek power station. Global Energy Monitor wiki website. Материал доступен по ссылке: https://www.gem.wiki/Bishkek_power_station, дата последнего обращения: 8 апреля 2022 года.
- Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), 2022. University of Washington 2022. Global Burden of Disease 2019: GHDx.
- International Energy Agency (IEA), 2020. Kyrgyz Republic Energy Profile. International Energy Agency. Материал доступен по ссылке: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c71e642f-e0fd-4c9c-b910-c7adda2cf6c9/KyrgyzRepublicEnergyProfile.pdf>, дата последнего обращения: 22 апреля 2022 года.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. The 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change's Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Материал доступен по ссылке: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- Karppinen, A., Kukkonen, J., Nordlund, G., Rantakrans, E. ja Valkama, I., 1998. A dispersion modelling system for urban air pollution. Ilmansuojelun julkaisuja no. 28. Ilmatieteen laitos, Helsinki.
- Karppinen, A., 2001. Meteorological pre-processing and atmospheric dispersion modeling of urban air quality and applications in the Helsinki metropolitan area, Academic dissertation, Finnish Meteorological Institute, Contributions No, 33, Helsinki.
- Kukkonen, J., Härkönen, J., Valkonen, E., Karppinen, A., Rantakrans, E., 1997. Regulatory dispersion modelling in Finland. International Journal of Environment and Pollution, 8 (3–6) (1997), pp. 782-788.

Kyrgyz Republic, 2019. Health and pollution action plan. Completed as part of the UNIDO global project entitled Mitigating Toxic Health Exposures in Low- and Middle-Income Countries. Материал доступен по ссылке: <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-10/Kyrgyzstan%20HPAP.English.pdf>, дата последнего обращения: 21 апреля 2022 года.

Liang Z, Xu C, Liang S, Cai TJ, Yang N, Li SD, Wang WT, Li YF, Wang D, Ji AL, Zhou LX, Liang ZQ, 2021. Short-term ambient nitrogen dioxide exposure is associated with increased risk of spontaneous abortion: A hospital-based study. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2021 Aug 16;224:112633. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112633. Epub ahead of print. PMID: 34411816.

Touloumi G, Katsouyanni K, Zmirou D, Schwartz J, Spix C, de Leon AP, Tobias A, Quennel P, Rabczenko D, Bacharova L, Bisanti L, Vonk JM, Ponka A. Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: a combined analysis within the APHEA project. *Air Pollution and Health: a European Approach. Am J Epidemiol.* 1997 Jul 15;146(2):177-85. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a009249. PMID: 9230780.

United Nations Industrial Development Organisation (UNIDO), 2019. Health and Pollution Action Plan. Kyrgyz Republic. May 2019. <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-10/Kyrgyzstan%20HPAP.English.pdf>, дата последнего обращения: 21 апреля 2022 года.

World Health Organisation (WHO), 2019. What to do when there is an air pollution alert. Fact Sheet 3. www-page https://cdn.who.int/media/docs/default-source/searo/wsh-och-searo/what-to-do-when-there-is-an-air-pollution-alert-2019-pdf.pdf?sfvrsn=de2f711a_2, дата последнего обращения: 8 апреля 2022 года. World Health Organization 2019. Обновления от 11 ноября 2019 года.

World Health Organisation (WHO), 2021a. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization 2021. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>.

WHO, 2021b. Ambient (outdoor) air pollution, 22 September 2021. www-page [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health), дата последнего обращения: 8 апреля 2022 года.

WHO, 2022a. World Health Organisation. 2022. Air Pollution. www-page (https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1), дата последнего обращения: 8 апреля 2022 года.

WHO, 2022b. World Health Organisation. Материал доступен по ссылке: <https://www.who.int/news/item/29-10-2018-more-than-90-of-the-worlds-children-breathe-toxic-air-every-day>, дата последнего обращения: 21 апреля 2022 года.

World Bank, 2015. Keeping Warm: Urban Heating Options in the Kyrgyz Republic. Summary Report.

World Bank, 2020. Fueling Kyrgyzstan's Transition to Clean Household Heating Solutions. Report No: AUS0001506. © World Bank.

Фото на обложке: Михаил Дудин



ООН 
программа по
окружающей среде

Кыргызская Республика, 720040
г. Бишкек, проспект Чуй 160, Дом ООН
Тел.: +996 312 611 213
register.kg@undp.org

   @undpkg

#undpkg #ПРООНКР
www.undp.org/kyrgyzstan

Проспект Организации Объединённых Наций, Гигири,
а / я 30552, 00100 Найроби, Кения
Тел.: +254 20 762 1234
unep-publications@un.org

   @UNEP

#UNEP
www.unep.org