



АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В БИШКЕКЕ

Распределение источников $PM_{2,5}$
и меры по сокращению выбросов

Анализ качества воздуха в Бишкеке: распределение источников $PM_{2,5}$ и меры по сокращению выбросов

Сентябрь 2023 года

© 2023 Международный банк реконструкции и развития /
Всемирный банк
1818 H Street NW
Washington DC 20433
Телефон: 202-473-1000
Интернет: www.worldbank.org

Настоящий документ подготовлен сотрудниками Группы Всемирного банка с использованием материалов из внешних источников. Содержащиеся в настоящем документе выводы, толкования и заключения могут не отражать мнения Всемирного банка, его Совета исполнительных директоров или правительств представляемых ими стран.

Всемирный банк не гарантирует точности, полноты или актуальности данных, содержащихся в настоящем документе, и не несет ответственности за любые ошибки, пропуски данных или неточность информации, а также за использование или неиспользование изложенных здесь информации, методов, процедур или заключений. Границы, цвета, названия и иная информация, указанная на картах, содержащихся в настоящем документе, не является выражением мнения Всемирного банка относительно правового статуса какой-либо территории или поддержки или признания таких границ.

Ничто в настоящем документе не является и не может считаться ограничением или отказом от привилегий и иммунитетов Всемирного банка, которые в полном объеме особо сохраняются за Банком.

Права и разрешения

Материалы, содержащиеся в настоящем документе, охраняются авторским правом. Поскольку Всемирный банк приветствует распространение информации, которой он располагает, допускается полное или частичное воспроизведение настоящего документа в некоммерческих целях с указанием сведений о его атрибуции в полном объеме.

При цитировании просим указывать источник следующим образом: «Всемирный банк. 2023 год. «Анализ качества воздуха в Бишкеке: распределение источников $PM_{2.5}$ и меры по сокращению выбросов». Вашингтон, округ Колумбия, Всемирный банк».

Все запросы о правах и лицензиях, в том числе относительно производных издательских прав, следует направлять в Издательский отдел Всемирного банка по адресу: World Bank Publications, The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA; телефакс: 202-522-2625; электронная почта: pubrights@worldbank.org.

Фотография на обложке: Collab Media, [Shutterstock.com](https://www.shutterstock.com).

Содержание

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ.....	iv	6.2. Короткий перечень отобранных мер политики и мероприятий.....	43
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	v	6.2.1. Производство электроэнергии и тепла - переход на другие виды топлива, модернизация и использование возобновляемых источников энергии.....	43
РЕЗЮМЕ.....	1	6.2.2. Сжигание топлива в жилом секторе – теплоизоляция, переход на другие виды топлива, электрическое отопление, использование тепловых насосов.....	44
1. ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	10	6.2.3. Автомобильный транспорт – организация дорожного движения, пылеподавление и ограничение выбросов.....	44
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАГРЯЗНЕНИИ ВОЗДУХА В БИШКЕКЕ.....	12	6.2.4. Мусор – сокращение сжигания мусора.....	45
2.1. Сведения общего характера.....	12	6.2.5. Озеленение – борьба с пылью из области.....	45
2.2. Метеорология.....	13	6.3. Результаты моделирования мер по сокращению выбросов.....	45
2.3. Анализ данных о качестве воздуха.....	15	6.4. Меры по сокращению выбросов: краткий обзор.....	48
2.3.1. Инфраструктура мониторинга качества воздуха в Бишкеке.....	15	6.4.1. Производство электроэнергии и тепла - переход на другие виды топлива, модернизация и использование возобновляемых источников энергии.....	49
2.3.2. Тенденции изменения качества воздуха в Бишкеке.....	15	6.4.2. Сжигание топлива в жилом секторе – теплоизоляция, переход на другие виды топлива, электрическое отопление, использование тепловых насосов.....	49
3. МЕТОДОЛОГИЯ И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ.....	18	6.4.3. Автомобильный транспорт – организация дорожного движения, пылеподавление и ограничение выбросов.....	52
3.1. Определение границ воздушных бассейнов.....	19	6.4.4. Мусор – сокращение сжигания мусора.....	53
3.2. Источники данных.....	19	6.4.5. Озеленение – борьба с пылью из области.....	53
3.3. Ограничения в отношении данных.....	21	6.4.6. Позитивное и негативное влияние на объем выбросов CO ₂	53
3.4. Расчет объема выбросов.....	23	7. ОБЗОР СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ВОЗДУХА (СУКВ) В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ.....	55
3.4.1. Отопление жилых домов.....	23	7.1. Введение.....	55
3.4.2. Транспорт.....	25	7.2. Выводы по итогам оценки существующей СУКВ в Кыргызской Республике.....	55
3.4.3. ТЭЦ.....	26	7.3. Рекомендуемые мероприятия и дальнейшие шаги.....	57
3.4.4. Промышленные объекты.....	27	8. ВЫВОДЫ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ДЕЙСТВИЯ.....	62
3.4.5. Мусорный полигон.....	27	ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СОПУТСТВУЮЩИЕ ВЫГОДЫ ОТ МЕР ПО СОКРАЩЕНИЮ ВЫБРОСОВ PM _{2,5} В ВИДЕ СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ CO ₂	66
3.4.6. Кирпичные заводы.....	28	ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ВЫБРОСЫ ЧЕРНОЙ САЖИ.....	71
3.4.7. Карьеры.....	29		
3.4.8. Международный аэропорт «Манас».....	29		
3.5. Анализ других источников загрязнения PM _{2,5}	30		
3.5.1. Городская пыль.....	30		
3.5.2. Переносимая ветром пыль.....	30		
3.6. Подход к моделированию.....	31		
3.7. Процесс консультаций.....	33		
4. АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ PM _{2,5} : РЕЗУЛЬТАТЫ.....	35		
5. АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ PM _{2,5}	38		
5.1. Рассеивание PM _{2,5}	39		
5.2. Сопоставление с данными мониторинга качества воздуха.....	39		
5.3. Вклад источников загрязнения в концентрацию PM _{2,5}	40		
6. ВЛИЯНИЕ МЕР ПО СОКРАЩЕНИЮ ВЫБРОСОВ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ PM _{2,5} В БИШКЕКЕ.....	42		
6.1. Подход к оценке влияния мер по сокращению выбросов.....	42		

СПИСОК ВСТАВОК

Вставка 1: Расчет объема выбросов при отоплении жилых домов.....	24
Вставка 2: Расчет объема выбросов от транспорта.....	26

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок ES1: Смоделированное среднее рассеивание $PM_{2.5}$ в Бишкеке, по месяцам	2
Рисунок ES2: Вклад различных источников загрязнения в среднегодовую концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке	3
Рисунок 1: Расположение и топография Бишкека	12
Рисунок 2: Смоделированные часовые температуры в Бишкеке на высоте 2 м, в разбивке по месяцам, 2018 год, % часов в месяц	13
Рисунок 3: Скорость ветра в Бишкеке, 2018 год: по часам, суточная	13
Рисунок 4: Направления ветра в Бишкеке, 2018 год: среднегодовой показатель, зимой, летом.....	14
Рисунок 5: Высота перемешивания в Бишкеке: по часам, суточная	14
Рисунок 6: Расположение эталонных станций мониторинга качества воздуха в Бишкеке	15
Рисунок 7: Расположение датчиков Clarity Node в Бишкеке.....	16
Рисунок 8: Концентрации $PM_{2.5}$ в Бишкеке, средние показатели за 2020–2021 годы, в $мгг/м^3$	16
Рисунок 9: Схематическое изображение основных компонентов исследования	18
Рисунок 10: Воздушный бассейн Бишкека.....	19
Рисунок 11: Сеть централизованного теплоснабжения и котельных в Бишкеке	23
Рисунок 12: Дорожная сеть в воздушном бассейне Бишкека.....	25
Рисунок 13: ТЭЦ в Бишкеке.....	27
Рисунок 14: Расположение промышленных объектов в воздушном бассейне Бишкека.....	27
Рисунок 15: Мусорный полигон в Бишкеке: расположение и спутниковое изображение	28

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица ES1: Влияние реализации отдельных мер на концентрацию $PM_{2.5}$ и выгода в части сокращения выбросов CO_2	4
Таблица ES2: Основные учреждения, отвечающие за управление качеством воздуха и осуществление мер по улучшению качества воздуха	6
Таблица 1: Основные ограничения в отношении данных и методы устранения этих ограничений	22
Таблица 2: Оценки величины выбросов $PM_{2.5}$ в Бишкеке, 2018 год	35
Таблица 3: Влияние реализации отдельных мер	

Вставка 3: Стоимость вариантов отопления, которыми можно было бы заменить использование угля в индивидуальных жилых домах в Бишкеке.....	51
Рисунок 16: Расположение кирпичных заводов и спутниковое изображение.....	28
Рисунок 17: Расположение карьеров и спутниковое изображение	29
Рисунок 18: Посадки и взлеты в час в международном аэропорту «Манас»	29
Рисунок 19: Трехмерное метеорологическое моделирование с использованием модели WRF	32
Рисунок 20: Структурная схема системы моделирования CAMx	32
Рисунок 21: Ежемесячные колебания объемов выбросов $PM_{2.5}$ в Бишкеке, по отраслям.....	36
Рисунок 22: Карта выбросов $PM_{2.5}$ в Бишкеке, 2018 год.....	36
Рисунок 23: Карта выбросов $PM_{2.5}$ в Бишкеке, 2018 год, по месяцам.....	37
Рисунок 24: Модель среднемесячного рассеивания $PM_{2.5}$ в Бишкеке, по месяцам	38
Рисунок 25: Концентрация $PM_{2.5}$ в Бишкеке: моделирование и данные наблюдений	39
Рисунок 26: Смоделированный вклад источников загрязнения в концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке, по месяцам, $мгг/м^3$	40
Рисунок 27: Финансовая НСО для ИЖД в Бишкеке.....	50
Рисунок 28: Экономическая НСО для ИЖД в Бишкеке.....	51
Рисунок 29: Ранжирование вариантов отопления, которыми можно было бы заменить использование угля в ИЖД в Бишкеке.....	52
Рисунок 30: Функции и обязанности МПРЭТН в области управления КВ.....	56
Рисунок A1: Вклад различных источников в выбросы CO_2 в Бишкеке.....	66

политики и мероприятий на концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке	46
Таблица 4: Основные учреждения, помимо МПРЭТН, отвечающие за управление качеством воздуха.....	56
Таблица 5: Рекомендуемые приоритетные мероприятия по укреплению существующей СУКВ	57
Таблица 6: Основные учреждения, ответственные за реализацию мер по сокращению выбросов	59
Таблица A1: Влияние смоделированных мер по сокращению выбросов $PM_{2.5}$ на выбросы CO_2	67

Выражение признательности

Этот доклад был подготовлен группой специалистов Всемирного банка под руководством **Киртана Саху** (старшего специалиста по вопросам изменения климата), **Тамары Бабаян** (старшего специалиста по вопросам энергетики), **Айдай Ба-ялиевой** (специалиста по вопросам охраны окружающей среды) и **Цзиюн Кристины** Чан (специалиста по вопросам охраны окружающей среды). В состав авторского коллектива входили **Васил Златев** (консультант по вопросам загрязнения воздуха), **Саратх Гуттикунда** (консультант по вопросам моделирования), **Крис Дор** (консультант по вопросам выбросов и институциональным механизмам), **Лариса Дума** (консультант по вопросам городской экологии и устойчивости), **Майлс Доннкарда** (консультант по вопросам озеленения городов), **У Юнь** (старший специалист по вопросам энергетики), **Ким Йя Чжун** (специалист по вопросам энергетики), **Хадзуки Терада** (специалист по вопросам энергетики), **Бектен Доолотов** (консультант по вопросам энергетики) и **Кундуз Адылбекова** (референт по программе). Финансирование доклада осуществлял Корейский трастовый фонд «зеленого» роста – партнерство между Группой Всемирного банка и Республикой Корея.

Авторский коллектив благодарит Министерство природных ресурсов, экологии и технического надзора Кыргызской Республики за сотрудничество при проведении обсуждений с заинтересованными сторонами и подготовке данного доклада. Авторы выражают благодарность Агентству по гидрометеорологии при Министерстве по чрезвычайным ситуациям Кыргызской Республики за поддержку в предоставлении данных о качестве воздуха и обратную связь на всех этапах этого исследования. Авторский коллектив также хотел бы поблагодарить мэрию Бишкека за предоставленные данные и информацию, позволившие подготовить этот доклад. Авторы выражают глубокую признательность всем организациям, принявшим участие в обсуждениях с заинтересованными сто-

ронами в ходе подготовки доклада.

Авторский коллектив выражает глубокую признательность коллегам из Программы развития Организации Объединенных Наций и Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде за то, что они поделились результатами своей работы, которые послужили основой для составления кадастра выбросов, разработанного в данном исследовании. Авторы также хотели бы поблагодарить коллег, занимающихся вопросами качества воздуха в Кыргызской Республике, из Азиатского банка развития, Германского агентства международного сотрудничества (ГАМС), Международной организации по миграции и Детского фонда Организации Объединенных Наций за их отзывы и поддержку.

Авторский коллектив также выражает благодарность за рецензирование доклада коллегам из Всемирного банка: **Самиру Акбару** (старший специалист по вопросам охраны окружающей среды), **Елене Струковой-Голуб** (старший экономист по вопросам охраны окружающей среды), **Мануэлю Хосе Мильяну Санчесу** (старший специалист по вопросам энергетики), **Эрнесто Санчесу-Триане** (ведущий специалист по вопросам охраны окружающей среды), **Харинатху Аппалараджугари** (старший инженер по вопросам окружающей среды) и **Сандипу Кохли** (старший специалист по вопросам энергетики).

Этот доклад был подготовлен при поддержке и под общим руководством **Ксении Львовской** (ведущий эколог-экономист, ранее руководитель отдела департамента глобальной практики), **Санджая Шриваставы** (руководитель отдела департамента глобальной практики), **Навида Хасана Накви** (глава представительства в Кыргызской Республике) и **Жанетты Байдолотовой** (специалист по операционной деятельности в Кыргызской Республике). **Нигара Абате** подготовила доклад к публикации, а **Линь Ван Нгуен** и **Грейс Агилар** оказали поддержку в управлении проектом.

Список сокращений

БТС	Большегрузное транспортное средство
ВВП	Валовой внутренний продукт
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ГБЗ-ОИЗВ	Глобальное бремя заболеваний – Основные источники загрязнения воздуха
ГИС	Географическая информационная система
ГНП	Программа «Глобальные населенные пункты»
ДСФ	Дизельный сажевый фильтр
ЕКА	Европейское космическое агентство
ИЖД	Индивидуальный жилой дом
ККЗ	Короткоживущие климатические загрязнители
КР	Капитальные расходы
КТЗВБР	Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния
Кыргыз-гидромет	Агентство по гидрометеорологии при Министерстве Кыргызской Республики по чрезвычайным ситуациям
МОМ	Международная организация по миграции
МПРЭТН	Министерство природных ресурсов, экологии и технического надзора
НСО	Нормированная стоимость отопления
ПГ	Парниковый газ
ПРООН	Программа развития Организации Объединенных Наций

РКИК ООН	Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата
СУКВ	Система управления качеством воздуха
ТСМГ	Транспортное средство малой грузоподъемности
ТЧ	Твердые частицы
ТЭЦ	Теплоэлектроцентраль
ФВ	Фактор выбросов
ЧС	Черная сажа
ЭР	Эксплуатационные расходы
ЭФ	Электрофильтр
ЭЭ	Энергоэффективность
ЮНЕП	Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде
ЮНИСЕФ	Детский фонд Организации Объединенных Наций
A2W	Воздушно-водяной
CAMx	Комплексная модель качества воздуха с расширениями
EPA	Агентство по защите окружающей среды
GAINS	Модель взаимодействия и синергии парниковых газов и загрязнения воздуха
MOZART/WACCM	Модель для озона и связанных с ним химических индикаторов / Комплексная общеатмосферная климатическая модель
OSM	База данных Open Street Maps
W2W	Водо-водяной
WRF	Модель исследования и предсказания погоды

Обозначения и единицы

долл. США	доллар Соединенных Штатов
км²	квадратный километр
м/с	метры в секунду
МВт	мегаватт

МВт·ч	мегаватт-час
мкг/м³	микрограмм на кубический метр
т	тонна
т/год	тонна в год

Резюме

Цель данного исследования

Цель данного исследования – оценить ситуацию с качеством воздуха в Бишкеке, уделив особое внимание загрязнению твердыми частицами $PM_{2,5}$ ¹, оказывающему наиболее серьезное влияние на здоровье человека, и оказать поддержку разработке мер по улучшению качества воздуха в городе. Концентрация $PM_{2,5}$ в Бишкеке значительно превышает допускаемую международными стандартами качества воздуха – например, среднегодовая концентрация $PM_{2,5}$ в Бишкеке более чем в 10 раз превышает рекомендованный Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) уровень 5 мкг/м³. Ежегодный ущерб здоровью населения Бишкека от загрязнения $PM_{2,5}$ оценивается в 1,2 процента валового внутреннего продукта (ВВП) Кыргызской Республики.

Имеющиеся сведения о качестве воздуха в Бишкеке и его исследования ограничены и порой содержат противоречивую информацию об основных источниках загрязнения воздуха в городе. Поэтому в данном исследовании использован научный подход к определению основных источников загрязнения воздуха в Бишкеке, оценке их относительного вклада в концентрацию $PM_{2,5}$, моделированию рассеивания загрязнения $PM_{2,5}$ по воздушному бассейну Бишкека и оценке влияния на концентрацию $PM_{2,5}$ ряда мер по сокращению выбросов. Результаты исследования подкрепляют доказательную базу для разработки мер по улучшению качества воздуха в Бишкеке.

Управление качеством воздуха – сложная задача межотраслевого характера, требующая системного подхода и действий многих ведомств и учреждений в стране. Обзор системы управления качеством воздуха (СУКВ) в Кыргызской Республике с акцентом на институциональные механизмы был проведен отдельно. Для полноты картины в главе 7 настоящего доклада обобщены

основные результаты этого институционального анализа и приведено подробное описание обязанностей различных институтов.

Оценка ситуации с качеством воздуха в Бишкеке

Для оценки качества воздуха и определения вклада различных источников выбросов в загрязнение частицами $PM_{2,5}$ в Бишкеке в исследовании использованы новейшие методики и подходы к моделированию. Для подкрепления оценки мер по снижению выбросов было проведено комплексное изучение различных источников выбросов $PM_{2,5}$ и их вклада в концентрацию этих частиц в окружающей среде. С помощью подробного кадастра выбросов, разработанного в рамках исследования, и моделирования загрязнения окружающей среды были составлены карты загрязнения, дающие представление о пространственно-временном распределении как выбросов, так и концентрации $PM_{2,5}$ в окружающей среде.

Моделирование загрязнения $PM_{2,5}$ в Бишкеке включает в себя различные исходные данные, как местные, так и полученные в ходе глобальных исследований. Карты выбросов $PM_{2,5}$ (пространственное распределение выбросов) используются в качестве основных исходных данных в модели переноса загрязняющих веществ. Множество других исходных данных, включая метеорологические данные, топографические данные, данные о землепользовании и о химических реакциях, в которые вступают конкретные загрязняющие вещества в воздухе, используются в модели переноса загрязняющих веществ, чтобы определить, как эти загрязняющие вещества распространяются по городу, что приводит к их различной концентрации в окружающей среде в разных районах города. Поскольку местные данные по некоторым аспектам, например, по отоплению жилых домов,

¹ Под $PM_{2,5}$ понимаются мелкодисперсные твердые частицы диаметром не более 2,5 микрона (мкм).

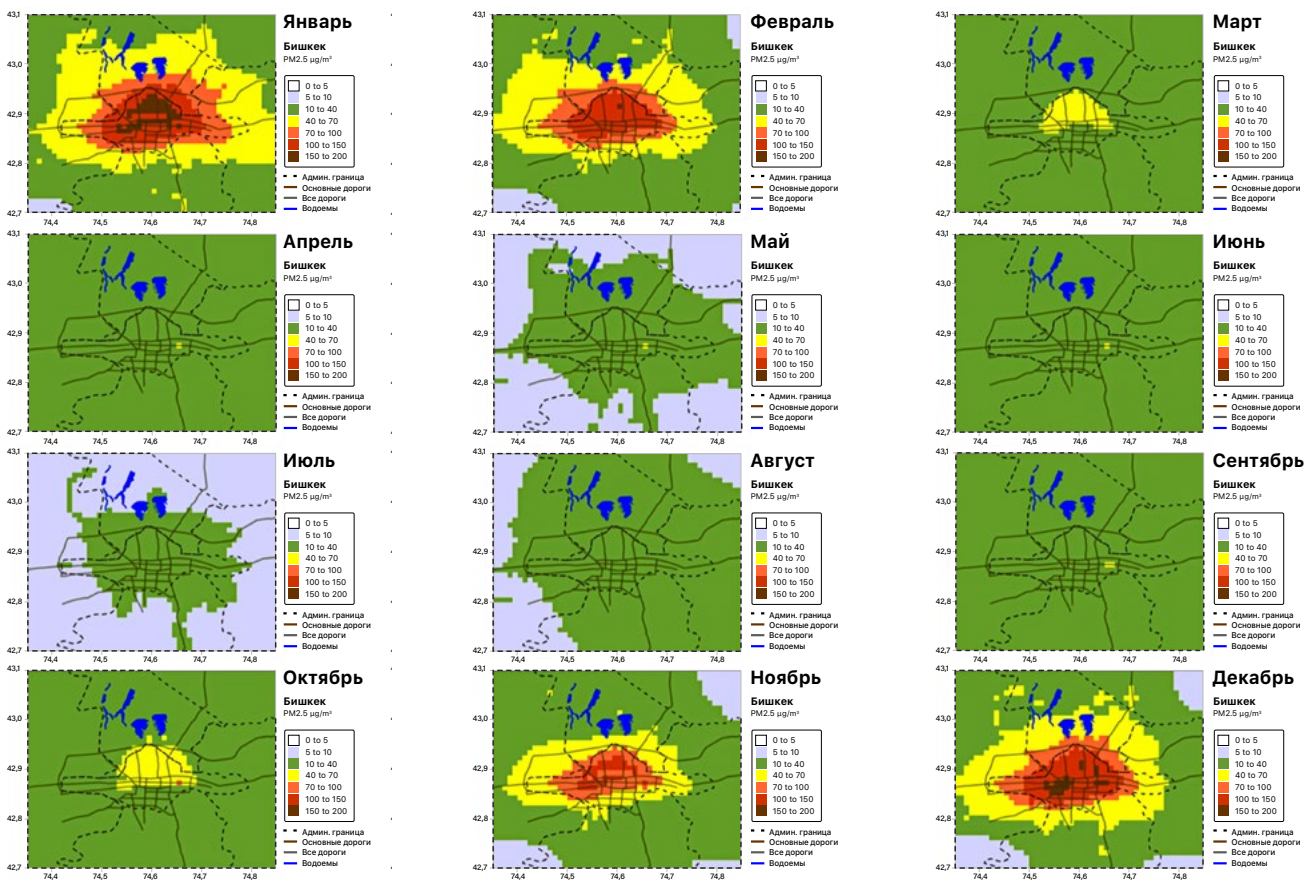
ограничены, потребовалось сделать некоторые допущения в соответствии с существующими исследованиями. Естественно, ограниченность данных и информации вносит некоторую неопределенность в результаты моделирования, однако они дают целостное представление о текущей ситуации и общей тенденции.

Смоделированные уровни концентрации $PM_{2,5}$ хорошо согласуются с наблюдаемыми уровнями концентрации $PM_{2,5}$, что дает уверенность в надежности результатов исследования, несмотря на некоторую ограниченность данных. Для подтверждения эффективности модели смоделированные месячные уровни концентрации сравнивались с фактическими уровнями концентрации $PM_{2,5}$, полученными в результате анализа данных мониторинга качества воздуха. Смоделированные уровни концентрации совпали с данными мониторинга с доверительной вероятностью 94 процента. Таким образом, результаты моделирования

считаются адекватно воспроизводящими реальную ситуацию с загрязнением воздуха в Бишкеке.

Смоделированное рассеивание $PM_{2,5}$ в воздушном бассейне Бишкека показывает, что пик концентрации $PM_{2,5}$ приходится на зимние месяцы, причем наивысшие уровни концентрации наблюдаются в северных районах города, где расположено большинство индивидуальных жилых домов, для отопления которых используется уголь. Результаты моделирования показывают, что концентрация в городе Бишкеке превышает среднегодовой рекомендованный норматив ВОЗ (5 $мкг/м^3$), и даже летом среднемесячная концентрация превышает 10 $мкг/м^3$ (см. рис. ES 1). Поэтому, чтобы привести среднегодовую концентрацию $PM_{2,5}$ в Бишкеке к нормативам ВОЗ, необходимо реализовать меры по сокращению выбросов из различных источников и смягчению последствий таких выбросов с целью снижения концентрации $PM_{2,5}$ в каждый месяц года.

Рисунок ES1. Смоделированное среднее рассеивание $PM_{2,5}$ в Бишкеке, по месяцам

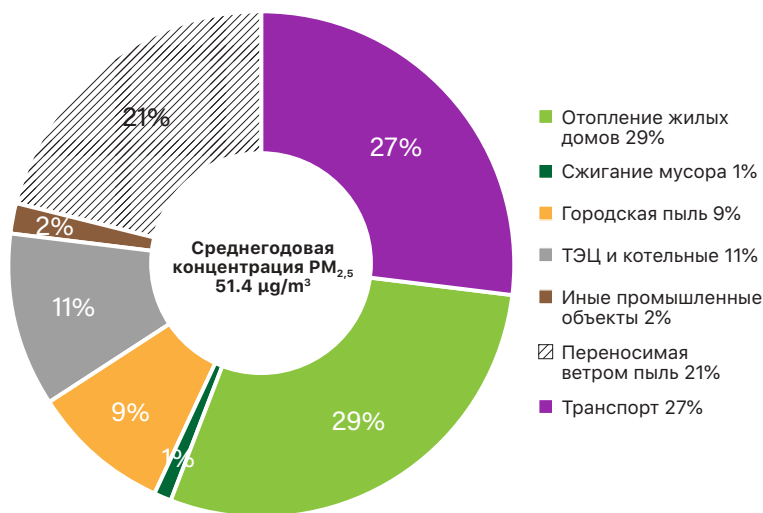


Источник: Расчеты, специально выполненные для данной публикации.

Как показано на рисунке ES2, наибольший вклад в среднегодовые концентрации $PM_{2,5}$ вносят отопление жилых домов, транспорт и переносимая ветром пыль. Сезонный вклад источников меняется в течение года, в частности, из-за различий в масштабах определенных видов деятельности (например, жилые дома отапливаются только зимой), метеорологических и географических особенностей (например, периоды засушливой погоды летом, возникновение пыльных бурь летом). Наибольший вклад в концентрацию $PM_{2,5}$ в зимний период вносит отопление жилых домов – в некоторые зимние месяцы (например, в январе и ноябре) он достигает почти 40 процентов. С другой стороны, летом, когда концентрация $PM_{2,5}$ в целом ниже, чем зимой, наибольший вклад в концентрацию $PM_{2,5}$ вносит переносимая ветром пыль². Вторым по значимости фактором, влияющим на концентрацию $PM_{2,5}$ во все сезоны, является транспорт: зимой он стоит на втором месте после отопления жилых домов, а летом – на втором месте после переносимой ветром пыли.

Для первоначальной оценки влияния различных мер по снижению загрязнения воздуха на концентрацию $PM_{2,5}$ в Бишкеке используется проверенная система моделирования. Для этого сначала оценивалось изменение объема выбросов, связанное с принятием конкретных мер, что отражалось в кадастре выбросов, а затем запускалась модель переноса загрязняющих веществ для определения снижения концентрации $PM_{2,5}$ по городу. Было проведено несколько «прогонов» модели для оценки воздействия ряда мер по снижению выбросов и сценариев выбросов. Короткий список мер и сценариев выбросов, которые были рассмотрены и включены в оценку, был составлен с учетом крупнейших источников выбросов и мер, широко используемых в других городах, а также с учетом мнений местных и зарубежных экспертов. Хотя основное внимание уделялось выбросам $PM_{2,5}$, в исследовании также оценивался потенциал снижения выбросов CO_2 в рамках соответствующих сценариев.

Рисунок ES2. Вклад различных источников загрязнения в среднегодовую концентрацию $PM_{2,5}$ в Бишкеке



Источник: Расчеты, специально выполненные для данной публикации.

Основные результаты

Были смоделированы различные меры по снижению выбросов в пяти ключевых сферах деятельности, и получены результаты воздействия отдельных мер и сочетаний мер в рамках отдельных сфер деятельности. В таблице ES1 показано снижение среднегодовой концентрации $PM_{2,5}$ в процентах в городской зоне Бишкека в результате полномасштабной реализации различных мер по уменьшению загрязнения воздуха, а также сопутствующие выгоды в виде сокращения выбросов CO_2 . Результаты приведены для 2018 года, но предполагается, что они будут показательны для последних лет, поскольку снижение концентрации представлено в процентах.

² Переносимая ветром пыль – это частицы, переносимые ветром в Бишкек из соседних районов, например, с сельскохозяйственных угодий и открытых пространств.

Таблица ES1: Влияние реализации отдельных мер на концентрацию PM_{2,5} и выгода в части сокращения выбросов CO₂

Направление деятельности	Мера	Снижение годовой концентрации PM _{2,5} (%)		Сокращение выбросов CO ₂ (%)	
		Консервативный сценарий	Оптимистичный сценарий	Консервативный сценарий	Оптимистичный сценарий
Эксплуатация ТЭЦ и котельных	Перевод теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) с угля на газ	9		29	
	Перевод всех котельных с угля на газ	2		1	
	Увеличение использования энергии из возобновляемых источников в ТЭЦ и котельных на 30%	4		11	
Отопление жилых домов ^а	Теплоизоляция домов – консервативный и оптимистичный сценарии	2	3	0.5	1
	Перевод отопления жилых домов с угля на газ – консервативный и оптимистичный сценарии	6	12	2	3
	Тепловые насосы в жилых домах – консервативный и оптимистичный сценарии	5	13	0.5	1
	Расширенное внедрение электрического отопления в жилых домах – консервативный и оптимистичный сценарии	5	9	-2	-4
	Полный переход на экологически чистое отопление	29		8	
Транспорт	Управление дорожным движением	3		5	
	Пылеподавление на автодорогах	1		—	
	Ограничение выбросов от легковых автомобилей – консервативный и оптимистичный сценарии	3	6	6	13
	Ограничение выбросов от «маршруток»	1		1	
	Ограничение выбросов от автобусов	0.2		0.3	
	Ограничение выбросов от транспортных средств малой грузоподъемности (ТСМГ) / большегрузных транспортных средств (БТС)	3		4	
	Совокупность всех мер в сфере транспорта	13		22	
Сжигание мусора	Ограничение открытого сжигания мусора	0.6		—	
	Искоренение открытого сжигания мусора, в том числе на свалках	1		—	
Озеленение ^б	Природные ограничители образования пыли – консервативный сценарий	1		—	
	Природные ограничители образования пыли – оптимистичный сценарий	2		—	

Источник: расчеты, специально выполненные для данной публикации..

Примечание: а. Консервативный и оптимистичный сценарии подразумевают, что меры по повышению энергоэффективности (ЭЭ) или переходу на экологически чистое отопление будут реализованы соответственно в 20 процентах и 40 процентах домов, для отопления которых используется уголь. Для мероприятий по отоплению жилых домов, предусматривающих переход на использование электроэнергии для отопления (например, тепловые насосы и отопление с помощью электрических котлов/ радиаторов), был смоделирован дополнительный спрос на электроэнергию от существующей ТЭЦ. Выбросы от ТЭЦ зависят от вида топлива, используемого для выработки электроэнергии. б. Мероприятия по озеленению используются в качестве природных ограничителей образования пыли и в первую очередь воздействуют на пыль, переносимую ветром.

Поскольку в Бишкеке необходимо добиться значительного снижения концентрации $PM_{2.5}$, обеспечить требуемое сокращение выбросов может комплексная реализация мероприятий в различных сферах деятельности. Смоделированная среднегодовая концентрация $PM_{2.5}$ для Бишкека составляет 51,4 мкг/м³, в то время как рекомендованный норматив ВОЗ равен 5 мкг/м³. Кроме того, не существует ни одного источника выбросов, сосредоточившись на котором, можно было бы обеспечить всё необходимое сокращение выбросов $PM_{2.5}$. Хотя стратегия улучшения качества воздуха в Бишкеке может предусматривать реализацию наиболее эффективных или простых мер в той или иной отрасли – источнике выбросов, очевидно, что такая стратегия должна будет обеспечить существенное сокращение выбросов в ряде отраслей – источников выбросов. Поэтому успешная стратегия улучшения качества воздуха в Бишкеке должна быть «комплексной» по своему охвату.

Проведенное моделирование показывает, что заметнее всего улучшить качество воздуха в Бишкеке можно, заменив более чистыми альтернативами уголь, используемый для отопления индивидуальных домов и в котельных. Полный переход на экологически чистое отопление в домохозяйствах, использующих в настоящее время уголь, внесет наибольший вклад в снижение концентрации $PM_{2.5}$. Поэтому данный сценарий рассматривается как сценарий с высокой степенью воздействия. Среди различных рассмотренных вариантов экологически чистого отопления наибольшее воздействие на годовую концентрацию $PM_{2.5}$ оказывает переоборудование домов, отапливаемых в настоящее время углем, под отопление с помощью тепловых насосов.

Комплекс мер политики в области автомобильного транспорта может оказать значительное влияние на качество воздуха, а меры политики в области обращения с отходами и озеленения дают множество преимуществ, помимо улучшения качества воздуха. Влияние мер политики в области автомобильного транспорта оказывается относительно небольшим, если рассматривать отдельные меры по отдельности. Мера в транспортной отрасли, способная оказать наибольшее влияние на концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке, заклю-

чается в увеличении количества новых автомобилей (стандарта Евро-5 и выше) и замещении ими старых автомобилей, изготовленных до введения экологических стандартов Евро. Однако если рассмотреть смоделированные сценарии снижения выбросов на транспорте в совокупности, то результирующее воздействие будет сопоставимо со сценарием с высокой степенью воздействия в жилом секторе. Воздействие сценариев сокращения выбросов и соответствующих мер политики в сферах обращения с отходами и озеленения относительно невелико. Тем не менее, выгоды от политики и мер по озеленению и ограничению открытого сжигания отходов обеспечивают множество преимуществ, помимо улучшения качества воздуха.

Все смоделированные меры, за исключением перехода на отопление с использованием электрических котлов/радиаторов, обеспечивают сопутствующие выгоды в виде сокращения выбросов CO_2 . Электрические радиаторы менее эффективны, чем тепловые насосы, и поэтому потребляют больше электроэнергии, которая в настоящее время производится за счет сжигания угля на Бишкекской ТЭЦ. Если источник топлива на ТЭЦ будет заменен на менее углеродоемкое топливо, то ожидается, что и эта мера принесет сопутствующие выгоды в виде сокращения выбросов парниковых газов (ПГ). Кроме того, меры по сокращению выбросов $PM_{2.5}$ обычно приводят к сокращению выбросов черной сажи (ЧС), поскольку ЧС является одним из основных компонентов $PM_{2.5}$.

Обзор системы управления качеством воздуха в Кыргызской Республике

Параллельно было проведено отдельное исследование под названием «Система управления качеством воздуха в Кыргызской Республике: обзор институциональных механизмов» с целью выявления недостатков в существующей системе управления качеством воздуха (СУКВ) в Кыргызской Республике. Правильная организация СУКВ – это один из ключевых компонентов основы эффективной реализации мер по сокраще-

нию выбросов, конечной целью которых является улучшение здоровья населения за счет снижения уровня загрязнения воздуха. **Подробные рекомендации по укреплению СУКВ в Кыргызской Республике можно найти в докладе об этом исследовании, однако первоочередные рекомендации сводятся к следующему:**

- Первоочередными мерами, необходимыми для обеспечения эффективного функционирования СУКВ в Кыргызской Республике, являются создание Межведомственного координационного комитета по качеству воздуха и определение соответствующих задач, обязанностей и структур на государственном уровне.
- Настоятельно необходимо создать группу по разработке политики в области качества воздуха, разработать стандарты и целевые показатели качества воздуха, коммуникационную стратегию по качеству воздуха, а также определить возможности создания сети мониторинга загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и инвентаризации выбросов загрязняющих веществ.

- Разработка генерального плана улучшения качества воздуха в Кыргызской Республике и, в частности, в Бишкеке также является приоритетной задачей для определения направления общей работы по улучшению качества воздуха на национальном и местном уровнях.

Загрязнение воздуха обусловлено деятельностью целого ряда отраслей, поэтому создание межведомственного механизма для эффективной координации действий отраслевых министерств позволит улучшить управление качеством воздуха. Основным ведомством, отвечающим за общую СУКВ в Кыргызской Республике, является Министерство природных ресурсов, экологии и технического надзора (МПРЭТН). Однако, помимо МПРЭТН, существуют различные учреждения, отвечающие за деятельность, влияющую на качество воздуха, и за реализацию смоделированных мер по сокращению выбросов. В таблице ES 2 перечисляются обязанности основных учреждений, связанные с качеством воздуха, и предлагается определить основные учреждения, которые могли бы участвовать в реализации смоделированных мер по сокращению выбросов..

Таблица ES2: Основные учреждения, отвечающие за управление качеством воздуха и осуществление мер по улучшению качества воздуха

Учреждение	Функции, связанные с управлением качеством воздуха	Предложения относительно роли в осуществлении мер
<p>Министерство природных ресурсов, экологии и технического надзора</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Общая ответственность за разработку политики и законодательства в области качества воздуха; ▪ Обеспечение соблюдения природоохранного законодательства; ▪ Экологический и технический надзор; ▪ Установление предельных значений выбросов для предприятий; ▪ Подготовка кадастров выбросов и анализ распределения источников выбросов; ▪ Экологический мониторинг (мониторинг источников загрязнения воздуха); ▪ Экологическая оценка. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Общее укрепление СУКВ; ▪ Создание Межведомственного координационного комитета по качеству воздуха и руководство им; ▪ Модернизация законодательства, касающегося установления норм предельно допустимых выбросов и общего ограничения выбросов в ключевых отраслях; ▪ Участие в модернизации стандартов качества воздуха; ▪ Создание групп специалистов по разработке политики в области качества воздуха и по техническим вопросам (инвентаризация выбросов); ▪ Совершенствование технической инфраструктуры управления качеством воздуха (например, лабораторий, мониторинга выбросов и т. д.).

Учреждение	Функции, связанные с управлением качеством воздуха	Предложения относительно роли в осуществлении мер
Министерство здравоохранения	<ul style="list-style-type: none"> Разработка стандартов качества воздуха 	<ul style="list-style-type: none"> Участие в модернизации стандартов качества воздуха
Агентство «Кыргызгидромет» при Министерстве чрезвычайных ситуаций	<ul style="list-style-type: none"> Мониторинг качества атмосферного воздуха; Анализ качества воздуха; Моделирование и прогнозирование качества воздуха 	<ul style="list-style-type: none"> Развитие сети мониторинга качества атмосферного воздуха; Развитие потенциала моделирования и прогнозирования качества воздуха; Совершенствование технической инфраструктуры мониторинга качества воздуха (например, станций мониторинга качества воздуха, лабораторного оборудования).
Министерство энергетики	<ul style="list-style-type: none"> Разработка политики и нормативных актов, касающихся энергетики, в том числе сферы производства тепловой и электрической энергии. 	<ul style="list-style-type: none"> Обновление законодательства и ужесточение контроля за соблюдением ограничений на выбросы в энергетических отраслях; Перевод Бишкекской ТЭЦ на иное топливо; Содействие повышению энергоэффективности жилого фонда и внедрению более экологически чистых альтернативных способов отопления.
Министерство транспорта и коммуникаций	<ul style="list-style-type: none"> Разработка политики и нормативных актов, касающихся транспортной отрасли; Выработка технических стандартов и проведение проверок автотранспортных средств. 	<ul style="list-style-type: none"> Обновление законодательства и ужесточение контроля за соблюдением ограничений на выбросы на транспорте; Усиление проверок автотранспорта; Поддержка реализации мер по управлению дорожным движением.
Мэрия города Бишкек	<ul style="list-style-type: none"> Отвечает за управление различными видами деятельности на местном уровне, такими как: <ul style="list-style-type: none"> городское планирование и развитие; управление котельными и теплосетями в Бишкеке; управление дорожным движением в Бишкеке; общественный транспорт; инспекция малых предприятий; управление отходами; озеленение. 	<ul style="list-style-type: none"> Развитие потенциала мэрии Бишкека по управлению качеством воздуха; Перевод оставшихся угольных котельных на более чистые виды топлива; Содействие повышению энергоэффективности жилого фонда и переход на более экологически чистые виды отопления; Реализация мер по управлению дорожным движением с целью снижения интенсивности движения транспорта и ресуспензии дорожной пыли в городе; Совершенствование системы ограничения выбросов в атмосферу от общественного транспорта и «маршруток»; Совершенствование инфраструктуры озеленения; Поддержка городского планирования, способствующего уменьшению загрязнения воздуха; Ужесточение ограничений на открытое сжигание отходов.

Источник: Анализ, специально проведенный для данной публикации.

Помимо институциональных заинтересованных сторон, отвечающих за реализацию мер по сокращению выбросов, к осуществлению таких мер можно было бы привлечь различные субъекты частного сектора. Например, правительства обычно привлекают коммерческие банки к финансированию мероприятий по повышению энергоэффективности и внедрению экологически чистых способов отопления жилых домов. Другие субъекты частного сектора, такие как компании по сбыту и монтажу тепловых насосов и газораспределительные компании, также могут способствовать реализации мер по сокращению выбросов. Сектор гражданского общества можно было бы привлечь к разъяснению общественной необходимости мер по сокращению выбросов для улучшения качества воздуха и к распространению информации о доступном финансировании таких мер.

Выводы и дальнейшие действия

Результаты исследования обеспечивают прочную аналитическую основу для разработки и обновления стратегических документов по качеству воздуха, таких как план обеспечения надлежащего качества воздуха в Бишкеке. Целью данного исследования является определение потенциального влияния широкого спектра мер по сокращению выбросов на концентрацию $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе городской зоны Бишкека. Исследование предоставляет ценный технический вклад в инструмент принятия решений при определении приоритетов политики по улучшению качества воздуха в Бишкеке. Проведенное в рамках исследования моделирование качества воздуха может послужить основой для оценки эффективности реализации будущих мер по сокращению выбросов.

Полученные результаты дают весьма информативную первоначальную оценку степени возможного снижения концентрации $PM_{2.5}$, контекстуальную информацию об относительном воздействии различных видов мер по сокращению выбросов и относительной важности мер по сокращению выбросов, применяемых к различным источникам выбросов. Определив основные

источники выбросов и сравнив эффективность различных мер по сокращению выбросов, исследование задает направление дальнейшей работы, касающейся политики в различных областях. Надо отметить, что исследование проводилось на основе имеющихся на настоящий момент данных. Существует возможность дальнейшего уточнения этих данных за счет дополнительных усилий и некоторых целевых инвестиций в сбор данных как на уровне источников выбросов, так и на уровне концентрации в окружающей среде. Такой анализ следует проводить на регулярной основе для обеспечения динамичного формирования политики.

Рекомендуется широко распространить результаты исследования и его выводы среди различных заинтересованных сторон с целью разработки комплексной стратегии по улучшению качества воздуха в Бишкеке. Рекомендуемые дальнейшие шаги включают следующее:

- Улучшить понимание различных источников выбросов и их относительного вклада в растущую проблему загрязнения воздуха в Бишкеке.
- На основе отзывов местных заинтересованных сторон определить, имеется ли необходимость пересмотра мер и сценариев по сокращению выбросов, которые оценивались в ходе исследования, включая рассмотрение новых мер в ходе моделирования.
- Спланировать на основе результатов данной работы дальнейшие шаги по разработке комплексной стратегии улучшения качества воздуха в Бишкеке, которая, в частности, определит наиболее эффективные инвестиционные возможности для улучшения качества воздуха. Такие последующие шаги могли бы включать: оценку затрат/выгод от реализации мер по сокращению выбросов, распределение воздействия мер по борьбе с загрязнением воздуха на экономический рост и человеческий капитал, а также способы реализации, включая законодательство, ресурсы, потенциал и узкие места в реализации согласованных мер и стратегий. Кроме того, анализ «снизу вверх» в ключевых сферах, имеющих непосредственное отношение к управлению качеством воздуха, позволит определить не-

обходимость усиления отраслевой политики и потребности в инвестициях.

В конечном счете, для создания функциональной СУКВ необходимо, чтобы комплексный план управления качеством воздуха был дополнен возможностями оценки качества воздуха и осуществления мер по улучшению его качества.

Для оценки нынешнего состояния качества воздуха, определения того, оказывает ли уровень загрязнения воздуха неприемлемо высокое воздействие на здоровье человека, и выработки политики, основанной на фактических данных, необходимы определенные технические средства и соответствующие навыки в различных государственных министерствах, государственных исследовательских организациях, научных кругах и частных компаниях. Необходимы достаточный институциональный потенциал и ресурсы для разработки и реализации политики и плана в области качества воздуха, например, для подготовки необходимых законодательных актов и обеспечения соблюдения законодательства.

В целом, комплексный план улучшения качества воздуха в Бишкеке и соответствующие институциональные механизмы и возможности позволят определить приоритетность мер политики и мероприятий, контролировать их реализацию и при необходимости адаптировать их в интересах улучшения качества воздуха. Необходимо разработать график реализации приоритетных мер политики и мероприятий, а также определить лиц, ответственных за их реализацию, финанси-

рование, обеспечение исполнения и мониторинг. Эффективный мониторинг реализации мер политики и мероприятий позволит определить, есть ли необходимость в их переработке, разработке иных/дополнительных мер политики и мероприятий, изменении методов осуществления и/или привлечении дополнительного финансирования. Такой процесс планирования улучшения качества воздуха отражает динамичный и сложный характер управления качеством воздуха и обеспечивает гибкость при решении проблем, возникающих в процессе осуществления мер политики и мероприятий, направленных на достижение целевых показателей качества воздуха.

Результаты исследований по технической оценке качества воздуха в Бишкеке и институциональных механизмов СУКВ в Кыргызской Республике легли в основу разработки проекта по улучшению качества воздуха, поддержанного Всемирным банком. В данном докладе определены основные источники загрязнения $PM_{2,5}$, которые необходимо взять под контроль в целях улучшения качества воздуха в Бишкеке, а оценка институциональных механизмов СУКВ выявила пробелы в инфраструктуре и потенциале, а также позволила сформулировать рекомендации по поддержке разработки политики в области качества воздуха. В совокупности эти доклады привлекают внимание к аспектам, в которых правительство Кыргызской Республики может принять меры в целях улучшения качества воздуха в городе Бишкеке и в целом в Кыргызской Республике.

1. Цель исследования

В конце 2020 – начале 2021 года Бишкек оказался в центре внимания мировых средств массовой информации из-за плохого качества воздуха в городе, особенно после того, как платформа IQAir объявила, что в 2020 году Бишкек стал самым загрязненным городом мира³. Он получил это место в рейтинге, главным образом, на основе данных недорогих датчиков, которые, как правило, уступают мониторингу качества воздуха эталонного уровня, однако это побудило ряд исследователей и партнеров в области развития приступить к оценке ситуации с качеством воздуха в Бишкеке и изучению причин загрязнения воздуха в городе.

Существовавшая до начала настоящего анализа информация и исследования по качеству воздуха в Бишкеке были ограничены и порой противоречивы. Одни источники⁴ утверждали, что основным фактором загрязнения воздуха в Бишкеке является транспорт, другие – что основной причиной загрязнения $PM_{2,5}$ в Кыргызской Республике является переносимая ветром пыль⁵, третьи – что основными виновниками загрязнения воздуха в Бишкеке являются ТЭЦ⁶ или городские мусорные полигоны⁷. Аналогичным образом различались и подходы, использовавшиеся в существующих исследованиях: одни из них основывались на оценках выбросов, другие – на спутниковых наблюдениях и моделировании, третьи – на ограниченных данных мониторинга.

Поэтому возникла необходимость всестороннего анализа ситуации с качеством воздуха в Бишкеке с использованием всех имеющихся данных и ресурсов и составления кадастра местных выбросов для его использования в качестве основы для со-

временного моделирования переноса загрязняющих веществ. Комплексная оценка, проведенная в данном исследовании, соответствует научному подходу к анализу качества воздуха и позволяет получить надежные результаты, подтверждающие фактические данные о ситуации с качеством воздуха в Бишкеке.

Настоящее исследование преследует следующие основные цели:

- собрать и обобщить все имеющиеся данные и информацию – как местные данные, так и сведения из глобальных баз данных – об основных источниках выбросов твердых частиц диаметром менее 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) в Бишкеке;
- создать первую пространственно-временную динамическую карту выбросов $PM_{2,5}$ в Бишкеке;
- провести первое современное моделирование загрязнения воздуха на всей территории Бишкека для определения вклада различных источников в концентрацию $PM_{2,5}$;
- смоделировать влияние основных мер по снижению выбросов на концентрацию $PM_{2,5}$.

В рамках достижения поставленных целей настоящее исследование направлено на информационное обеспечение разработки научно обоснованных приоритетных мер по улучшению качества воздуха в Бишкеке. Таким образом, исследование представляет собой ценный технический вклад в процесс принятия решений по определению приоритетов политики повышения качества воздуха в Бишкеке. Кроме того,

³ <https://www.iqair.com/kyrgyzstan>.

⁴ Центр окружающей среды и развития. 2018. Источники загрязнения воздуха в городах Кыргызстана. <http://ced.auca.kg/wp-content/uploads/2019/10/Воздух-PC-для-сайта.pdf>

⁵ Глобальное бремя заболеваний – Основные источники загрязнения воздуха (ГБЗ-ОИЗВ). 2019. Кыргызстан. https://costofairpollution.shinyapps.io/gbd_map_global_source_shinyapp/.

⁶ 24.kg. Загрязнение воздуха. В БГК предложили ТЭЦ Бишкека использовать проектный уголь. https://24.kg/obschestvo/257992_zagryaznenie_vozduha_vbgk_predlozili_tets_bishkeka_ispolzovat_proektnyy_ugol/.

⁷ Молдогазиева К. 2020. Влияние мусорных полигонов на здоровье населения. <http://ekois.net/wp-content/uploads/2020/09/Vliyanie-na-zdorove-naseleniya-musornyh-poligonov.pdf>.

моделирование качества воздуха, проведенное в рамках исследования, может служить основой для оценки эффективности реализации будущих мер по снижению выбросов. Результаты исследования служат прочным аналитическим фундаментом для разработки и обновления стратегических документов по качеству воздуха, таких как план улучшения качества воздуха в Бишкеке.

Поскольку основные задачи исследования связаны с восполнением существующих пробелов в знаниях об источниках загрязнения воздуха и формированием общего понимания в отношении источников выбросов $PM_{2,5}$ и их вклада в концентрацию $PM_{2,5}$ в Бишкеке, в исследовании не рассматриваются такие вопросы, как оценка затрат и выгод от реализации рассматриваемых мер по сокращению выбросов, распределение воздействия мер по борьбе с загрязнением воздуха на экономический рост и человеческий капитал, а также конкретные способы реализации этих мер. Такие анализы важны для разработки комплексной оценки качества воздуха и будут рассмотрены на последующих этапах, а именно в процессе разработки плана улучшения качества воздуха в Бишкеке.

Основное внимание в данном исследовании уделяется $PM_{2,5}$ как загрязнителю, представляющему, согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), наибольшую опасность для здоровья. $PM_{2,5}$ оказывает воздействие на сердечно-сосудистую (ишемическая болезнь сердца), цереброваскулярную (инсульт) и дыхательную системы благодаря способности частиц не только проникать глубоко в легкие, но и попадать в кровоток. Более того, существует взаимосвязь между показателями заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний и долгосрочным и краткосрочным воздействием $PM_{2,5}$. Кроме того, длительное воздействие высоких уровней $PM_{2,5}$ приводит к неблагоприятным перинатальным последствиям и раку легких⁸. В докладе Всемирно-

го банка⁹ о глобальных затратах на здравоохранение, связанных с загрязнением окружающей среды $PM_{2,5}$, на основе результатов исследования «Глобальное бремя заболеваний» (ГБЗ) было установлено, что с загрязнением окружающей среды $PM_{2,5}$ в Кыргызской Республике может быть связан 61 случай преждевременной смерти на 100 000 человек. В целом, согласно оценкам, загрязнение $PM_{2,5}$ ежегодно наносит здоровью населения страны ущерб, эквивалентный 5,1 процента валового внутреннего продукта (ВВП). Согласно оценкам в настоящем исследовании, полученным при использовании той же методологии ГБЗ¹⁰, ежегодный ущерб здоровью населения Бишкека, определенный по итогам мониторинга концентраций $PM_{2,5}$ и, соответственно, расчета среднегодового воздействия на население, эквивалентен 1,2 процента ВВП Кыргызской Республики.

Помимо выбросов $PM_{2,5}$, в настоящем исследовании рассматривается влияние мер по снижению выбросов $PM_{2,5}$ на выбросы основного парникового газа (ПГ) – углекислого газа (CO_2). В исследовании также анализируются основные источники черной сажи (ЧС) в Бишкеке – одного из ключевых компонентов $PM_{2,5}$ и короткоживущего климатического загрязнителя (ККЗ).

В настоящем докладе проводится оценка ситуации с загрязнением воздуха в Бишкеке (глава 2), описываются методология и использованные данные (глава 3), далее обобщаются результаты анализа источников выбросов $PM_{2,5}$ (глава 4), проведенного моделирования (глава 5) и сценариев снижения выбросов (глава 6). В главе 7 представлены основные рекомендации по повышению эффективности системы управления качеством воздуха (СУКВ) в Кыргызской Республике. В главе 8 подведены основные итоги исследования и сформулированы предложения в отношении дальнейших мер по применению и развитию результатов исследования.

⁸ WHO. Type of pollutants. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>.

⁹ Awe, Yewande Aramide, Bjorn Klavyd Larsen, and Ernesto Sanchez-Triana. The Global Health Cost of $PM_{2,5}$ Air Pollution: A Case for Action Beyond 2021. International Development in Focus. World Bank, Washington, DC.

¹⁰ <https://ghdx.healthdata.org/record/ihme-data/gbd-2019-relative-risks>.

2. Общие сведения о загрязнении воздуха в Бишкеке

В настоящей главе изложены сведения общего характера, использованные для аналитической работы, проведенной в рамках данного исследования. Глава состоит из трех подразделов. В разделе 2.1 изложены общие характеристики Бишкека, такие как расположение, численность населения и рельеф местности. В разделе 2.2 кратко описаны основные метеорологические параметры, влияющие на рассеивание загрязняющих веществ в воздухе Бишкека. Раздел 2.3 содержит обзор инфраструктуры мониторинга качества воздуха в Бишкеке и выводы по результатам анализа данных мониторинга $PM_{2.5}$.

2.1. Сведения общего характера

Бишкек – столица и крупнейший город Кыргызской Республики, население которого в 2022 году составляло немногим более 1 млн человек¹¹. Площадь территории города составляет более 160 км², город расположен в Чуйской долине на высоте около 800 м. Он находится примерно в 25–30 км к северу от подножия горного хребта Ала-Тоо. Некоторые из вершин этого хребта возвышаются над уровнем моря более чем на 4 000 м. На севере, востоке и западе Бишкек окружает плодородная степь (рисунок 1).

Рисунок 1: Расположение и топография Бишкека



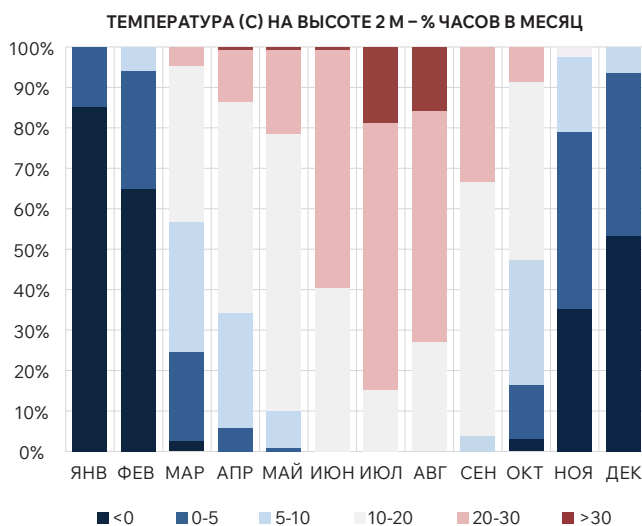
Источник: Google Maps.

¹¹ Национальный статистический комитет Кыргызской Республики. <http://www.stat.kg/ru/statistics/naselenie/>.

2.2. Метеорология

Характерными чертами климата Бишкека являются холодная зима и жаркое лето. Снег может выпадать как в конце сентября - начале октября, так и в конце апреля. Среднемесячное количество осадков наиболее велико весной и осенью. Среднесуточная минимальная температура в зимние месяцы составляет около -9°C , в то время как среднесуточная максимальная температура летом достигает 32°C . Кроме того, в самые холодные зимние месяцы температура ниже 0°C держится более 80 процентов часов в течение месяца и, как правило, опускается ниже 10°C в течение всех зимних месяцев, свидетельствуя о высокой потребности в отоплении в зимний период (рисунок 2).

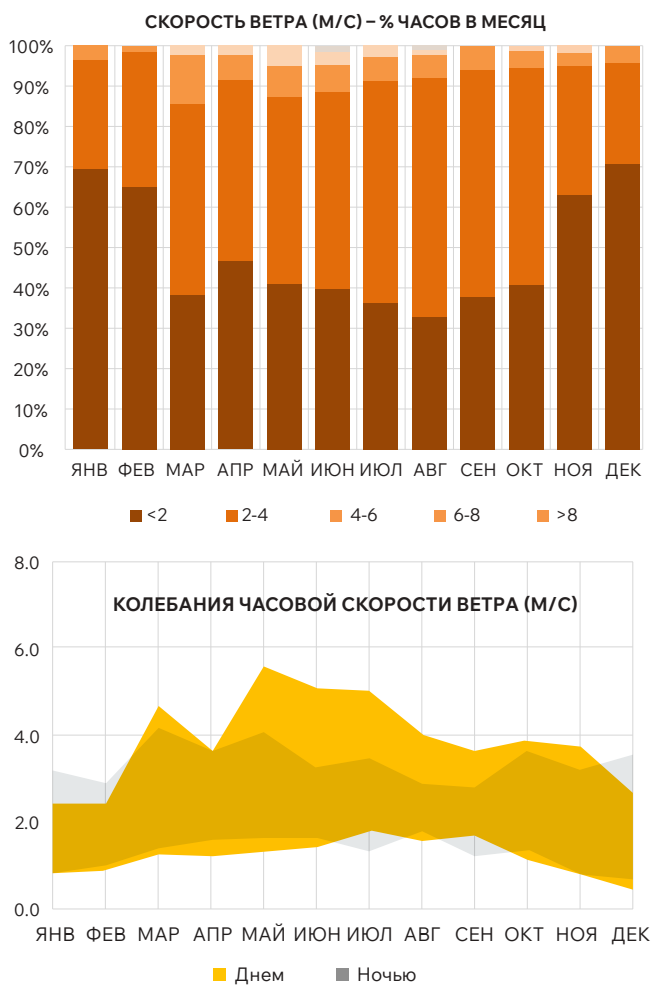
Рисунок 2: Смоделированные часовые температуры в Бишкеке на высоте 2 м, в разбивке по месяцам, 2018 год, % часов в месяц



Источник: модель WRF.

Скорость ветра в Бишкеке в зимние месяцы невысока – она составляет менее 2 м/с на протяжении 60 процентов зимнего периода (рисунок 3, вверху). Кроме того, суточные различия в скорости ветра в зимние месяцы минимальны (рисунок 3, внизу). Эти факторы неблагоприятны для рассеивания загрязняющих веществ в зимний период и способствуют задерживанию загрязнений над городом.

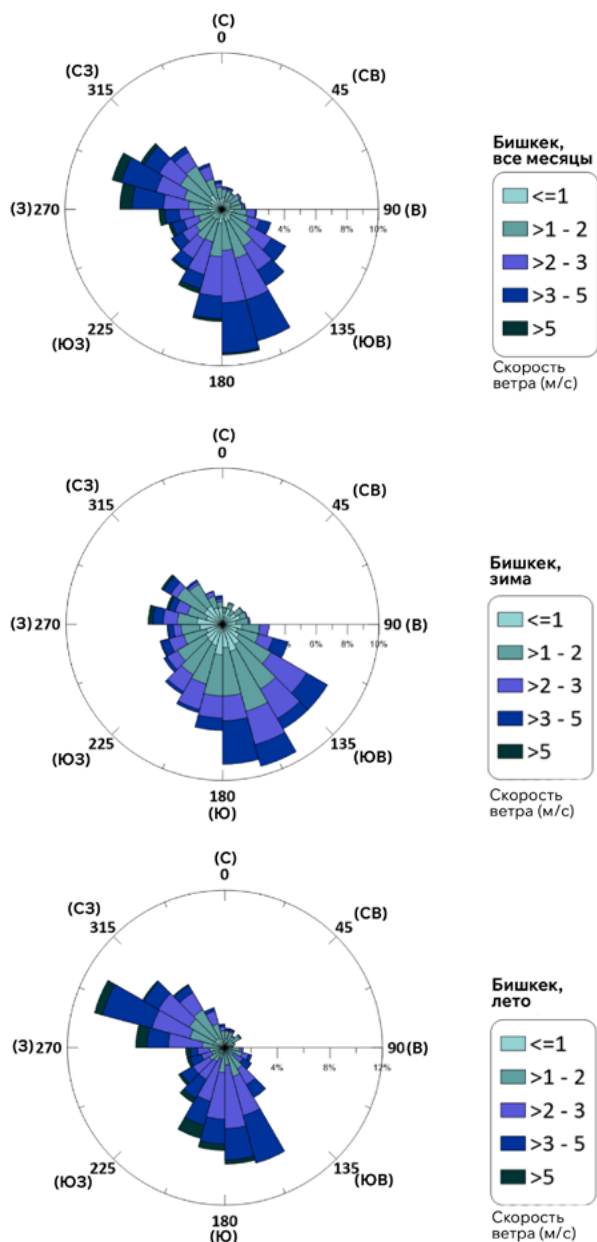
Рисунок 3: Скорость ветра в Бишкеке, 2018 год: по часам (вверху), суточная (внизу)



Источник: модель WRF.

Преобладающими направлениями ветра в Бишкеке в течение всего года являются южное и западное (рисунок 4, вверху). Ветер, идущий с запада, имеет наивысшую скорость (темно-синие области на Рисунке 4). Характер ветра меняется в течение года: в зимние месяцы преобладает южный ветер с низкой скоростью, а в весенние и летние месяцы – западный ветер с более высокой скоростью (рисунок 4, в середине и внизу). Таким образом, если зимой низкие скорости ветра задерживают загрязнения в городе, то весной и летом более высокие скорости ветра могут приносить твердые частицы в Бишкек, особенно из районов, расположенных к западу и югу от города.

Рисунок 4: Направления ветра в Бишкеке, 2018 год: среднегодовой показатель (вверху), зимой^а (в середине), летом^б (внизу)



Примечания: модель WRF.

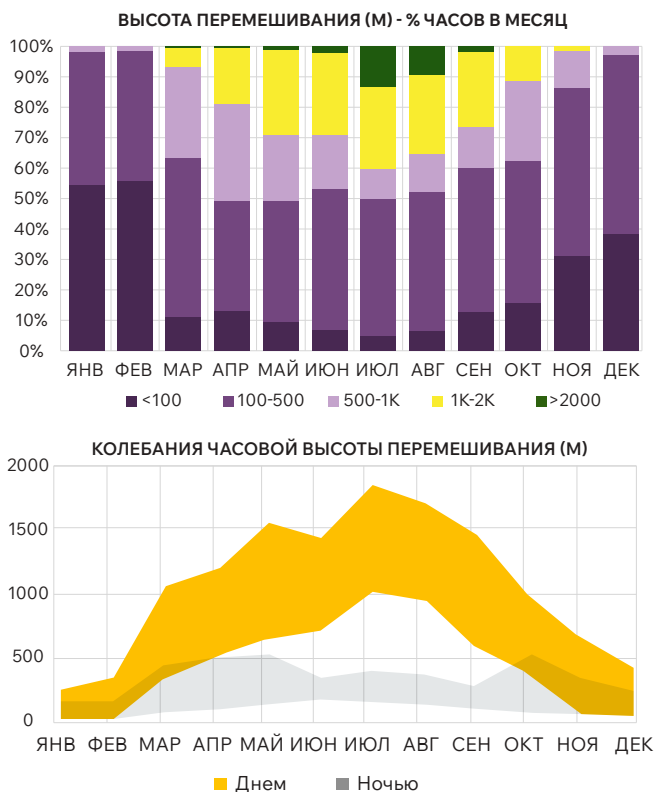
Примечания: а. Зимние месяцы – ноябрь, декабрь, январь и февраль; б. Летние месяцы – июнь, июль и август

Другим ключевым параметром рассеивания загрязняющих веществ в воздухе является высота перемешивания. Высота перемешивания – это высота над землей, на которой происходит вертикальное перемешивание воздуха, включая взвешенные твердые частицы. Воздушная масса будет подниматься в атмосфере до тех пор, пока она

теплее температуры окружающей среды. Однако, как только воздух становится холоднее температуры окружающей среды, его подъем замедляется и в конце концов прекращается. Именно в этот момент воздушная масса достигает максимальной высоты перемешивания, за которой уже нет возможности рассеиваться дальше в атмосфере. Температурные инверсии, часто наблюдаемые в Бишкеке, ограничивают вертикальное перемешивание и препятствуют рассеиванию загрязнений.

Как показано на рисунке 5, более половины времени в некоторые зимние месяцы высота перемешивания в Бишкеке может составлять менее 100 м. В целом зимние месяцы характеризуются низкой высотой перемешивания и небольшими суточными различиями в высоте перемешивания, в отличие от летних месяцев, когда высота перемешивания значительно выше. Низкая высота перемешивания в сочетании с низкой скоростью ветра в зимний период способствует задерживанию загрязнений над Бишкеком.

Рисунок 5: Высота перемешивания в Бишкеке: по часам (вверху), суточная (внизу)



Источник: модель WRF.

2.3. Анализ данных о качестве воздуха

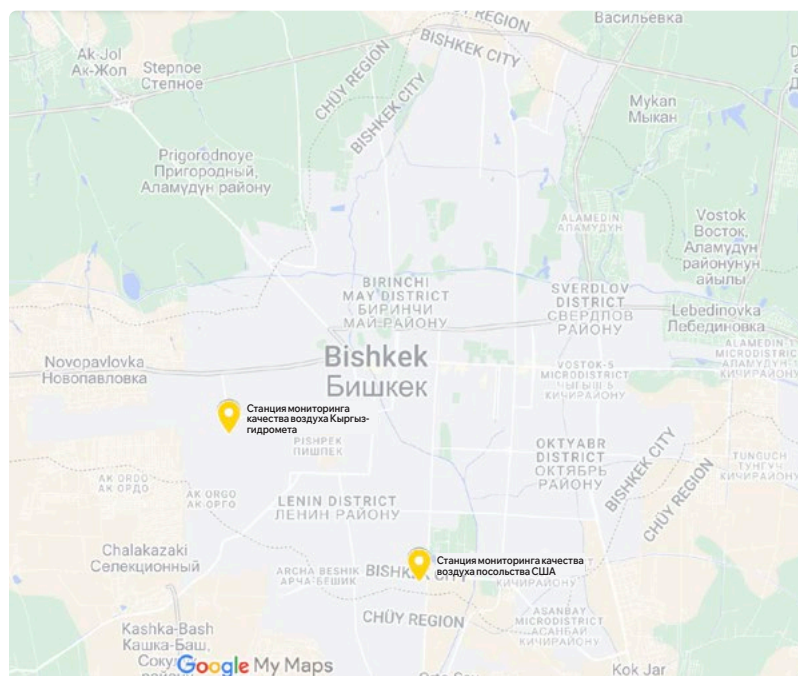
2.3.1. Инфраструктура мониторинга качества воздуха в Бишкеке

В настоящем исследовании проанализированы все имеющиеся данные мониторинга $PM_{2.5}$ в Бишкеке, полученные как с автоматических эталонных станций, так и с помощью сетей датчиков. В Бишкеке имеются две автоматические станции, отвечающие международным стандартам мониторинга качества воздуха. За управление одной станцией отвечает Кыргызгидромет, за управление другой – посольство США в Бишкеке, использующее эталонное оборудование и методы Агентства по защите окружающей среды. Станция Кыргызгидромета расположена в жилом районе в западной части Бишкека, в то время как станция посольства США находится в южной части города (рисунок 6).

Автоматическая станция мониторинга качества воздуха, действующая под управлением Кыргызгидромета, была установлена осенью 2015 года. Она проводит мониторинг большинства основных загрязнителей воздуха. В связи с техническими проблемами данные по $PM_{2.5}$ не представлялись с августа 2018 года по сентябрь 2020 года. Автоматическая станция мониторинга качества воздуха при посольстве США начала работу в феврале 2019 года и с тех пор представляет данные по $PM_{2.5}$.

Крупнейшая сеть датчиков качества воздуха в Бишкеке находится в ведении Кыргызгидромета и состоит из 50 датчиков Clarity Node. Датчики Clarity Node калибруются по данным автоматической станции мониторинга качества воздуха Кыргызгидромета. Датчики установлены на всей территории города Бишкек, включая ряд датчиков, расположенных непосредственно за административными границами города (рисунок 7). В этом от-

Рисунок 6: Расположение эталонных станций мониторинга качества воздуха в Бишкеке



Источник: Google Maps.

ношении сеть датчиков Clarity Node обеспечивает хорошее географическое покрытие Бишкека. Для данного исследования также были собраны данные, предоставляемые сетями датчиков Purple Air и AirKaz. Данные доступны примерно для 15 датчиков из каждой из этих двух сетей.

2.3.2. Тенденции изменения качества воздуха в Бишкеке

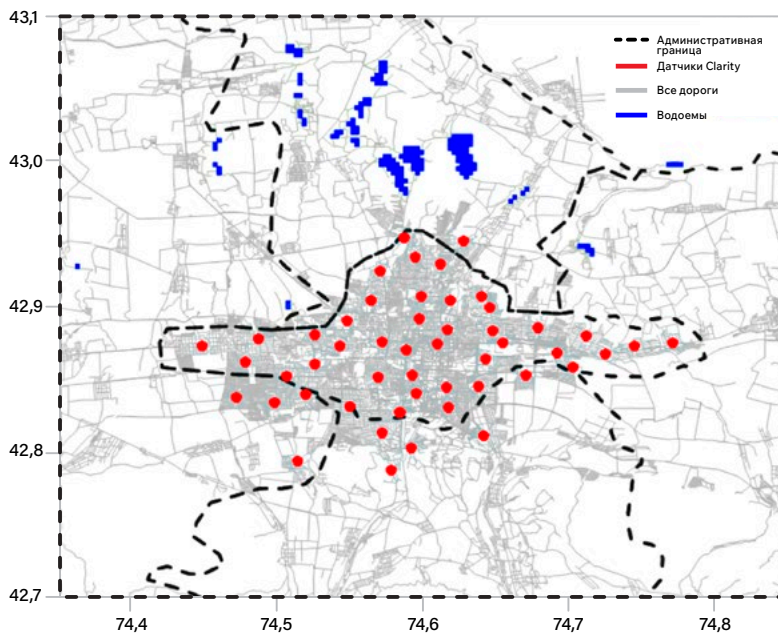
При анализе тенденций изменения качества воздуха в Бишкеке были использованы все собранные данные мониторинга качества воздуха. Наибольшую достоверность данных обеспечивают автоматические станции мониторинга качества воздуха, однако в Бишкеке их всего две. Кроме того, автоматическая станция мониторинга качества воздуха Кыргызгидромета в течение двух лет не представляла данные по $PM_{2.5}$.

С другой стороны, данные, полученные с помощью сетей датчиков, менее надежны, поскольку датчики не обладают такой точностью, как оборудование, установленное на автоматических станциях контроля качества воздуха. Однако сети датчиков

обеспечивают более широкий географический охват, чем автоматические станции, и позволяют судить о тенденциях изменения качества воздуха. Данные, полученные с помощью сетей датчиков, подверглись тщательному изучению, и датчики, сообщающие неправдоподобные данные (например, концентрации $PM_{2.5}$, превышающие концентрации PM_{10}), не были включены в анализ.

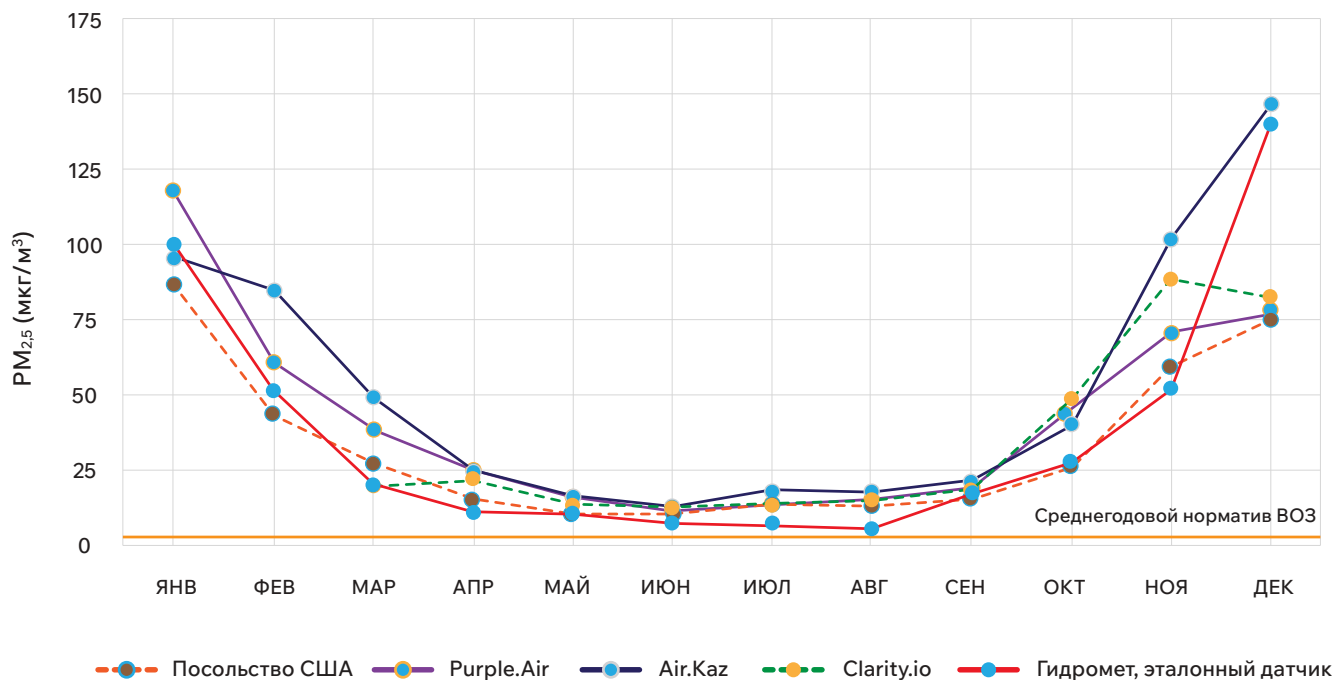
Кроме того, из-за разного времени установки и периодов отсутствия данных в различных сетях мониторинга качества воздуха не удалось получить охватывающий несколько лет временной ряд с данными от всех сетей. Поэтому имеющиеся временные ряды по каждой сети мониторинга подверглись отдельному анализу. На рисунке 8 показано сравнение всех проанализированных сетей мониторинга за период 2020–2021 годов при наличии данных, предоставленных всеми сетями.

Рисунок 7: Расположение датчиков Clarity Node в Бишкеке



Источник: Кыргызгидромет.

Рисунок 8: Концентрации $PM_{2.5}$ в Бишкеке, средние показатели за 2020–2021 годы, в $\mu\text{г}/\text{м}^3$



Источник: Кыргызгидромет, посольство США, Purple Air и AirKaz.

Несмотря на некоторые различия в абсолютных значениях, зарегистрированных различными сетями мониторинга качества воздуха, на рисунке 8 показана четкая тенденция изменения концентрации $PM_{2.5}$. Концентрация $PM_{2.5}$ достигает максимума в зимние месяцы (январь, февраль, ноябрь и декабрь) и является самой низкой в летние месяцы (июнь, июль и август).

Из-за различий в абсолютных значениях наблюдаемых концентраций среднегодовые концентрации $PM_{2.5}$, рассчитанные по данным различных сетей мониторинга, варьируются от 30 мкг/

м³ (станция Кыргызгидромета) до 64 мкг/м³ (сеть датчиков AirKaz). Даже самая низкая рассчитанная среднегодовая концентрация $PM_{2.5}$ в шесть раз превышает нормативы ВОЗ.

Концентрация $PM_{2.5}$ в зимний период чрезвычайно высока, что превышает как кыргызские, так и международные стандарты качества воздуха¹² и может нанести существенный вред здоровью людей. Даже в летние месяцы, когда концентрация $PM_{2.5}$ находится на самом низком уровне, она превышает нормативы ВОЗ.

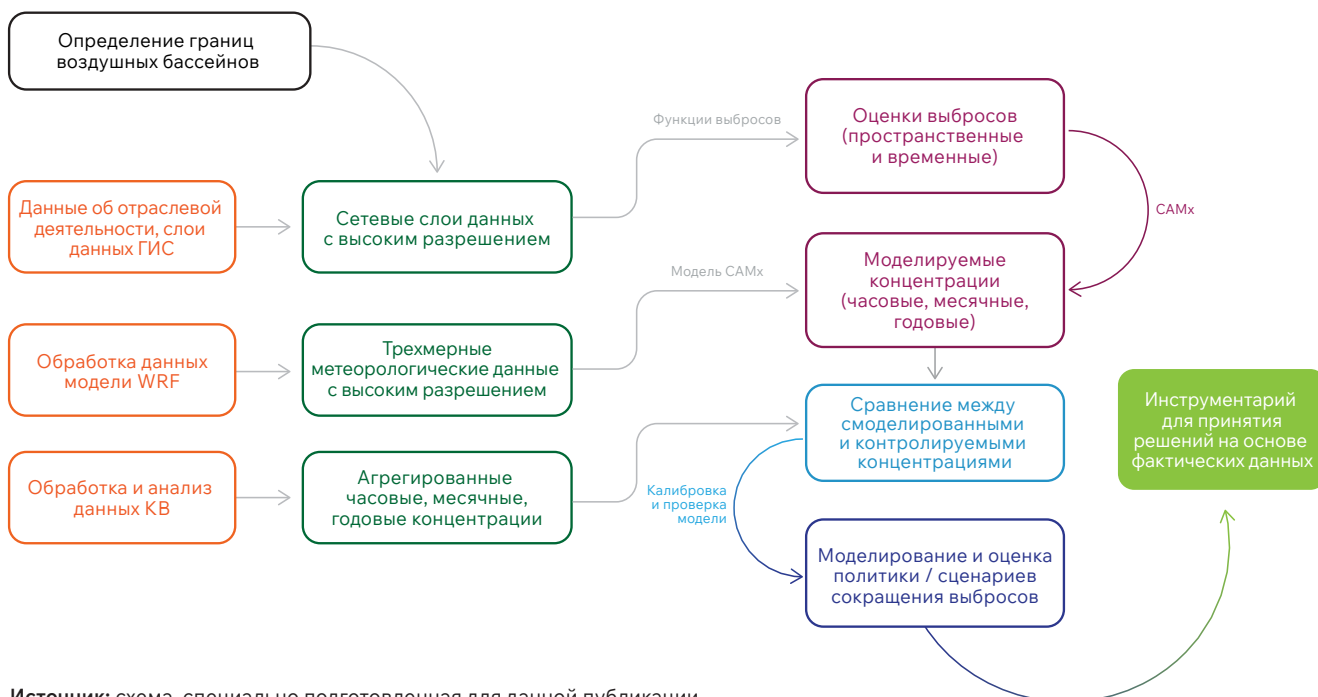
¹² Среднегодовые и среднесуточные нормативы ВОЗ по $PM_{2.5}$ составляют соответственно 5 мкг/м³ и 15 мкг/м³. В Кыргызской Республике предельно допустимые годовые и среднесуточные концентрации $PM_{2.5}$ составляют соответственно 25 мкг/м³ и 35 мкг/м³.

3. Методология и использованные данные

Для проведения оценки вклада источников в концентрацию $PM_{2.5}$ требуется составление базового кадастра выбросов с высоким разрешением. Для целей данного исследования было проведено пространственное и временное размещение выбросов по определенному воздушному бассейну Бишкека, в результате чего была создана первая динамическая карта выбросов для Бишкека. Оценка и распределение выбросов производились с пространственным разрешением 1 км^2 с использованием данных из различных источников, описанных в разделе 3.2. Подходы к расчетам выбросов описаны в разделе 3.4. Кадастр выбросов с высоким разрешением позволяет использовать для анализа динамики загрязнения воздуха сложные модели. В данном исследовании использовалась

фотохимическая комплексная модель качества воздуха с расширениями (CAMx), включающая метеорологические данные из модели исследования и предсказания погоды (WRF), описание которой приведено в разделе 3.6. Результаты моделирования сравнивались с имеющимися данными мониторинга качества воздуха в Бишкеке. После калибровки и проверки модели по данным мониторинга она была использована для оценки влияния на качество воздуха различных сценариев снижения выбросов (глава 6). Наконец, перед окончательным оформлением результатов исследования его предварительные результаты были обсуждены с заинтересованными сторонами из правительства, мэрии Бишкека, партнеров по развитию, научных кругов и гражданского общества (раздел 3.7).

Рисунок 9: Схематическое изображение основных компонентов исследования



Источник: схема, специально подготовленная для данной публикации.

Примечание: ГИС = географическая информационная система.

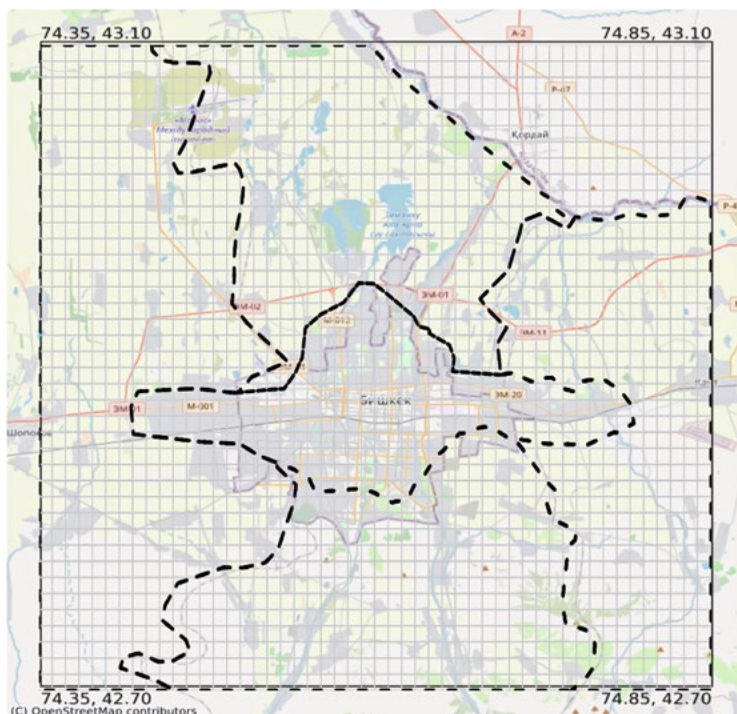
3.1. Определение границ воздушных бассейнов

Первоначально была поставлена задача определить область исследования, т. е., воздушный бассейн, таким образом, чтобы учесть рассеивание выбросов от источников, которые могут влиять на качество воздуха в Бишкеке. Для выявления потенциальных источников выбросов было проведено геосканирование Бишкека и прилегающей территории с использованием программы Google Earth. Выбранный воздушный бассейн охватывает сетку 50×40 с общей площадью $1\,800 \text{ км}^2$ (рисунок 10). Территория охватывает основную часть города Бишкек и прилегающие районы с промышленными предприятиями, кирпичными заводами, карьерами, аэропортом и мусорным полигоном – источниками, которые могут оказывать влияние на качество воздуха в Бишкеке.

Поскольку разрешение пространственной сетки в данном исследовании составляет $0,01^\circ$, т. е., каждый элемент сетки соответствует 1 км^2 , вся собранная информация и проанализированные результаты исследования сохраняются в стандартных форматах ГИС с таким разрешением сетки. Форматы ГИС также позволяют использовать методы трехмерного моделирования. Таким образом, для каждой ячейки сетки определенного воздушного бассейна доступны следующие основные слои данных для анализа загрязнения воздуха:

- Слой метеорологических данных
- Слой населения
- Слой дорожной сети
- Слой уровня урбанизации
- Слой землепользования
- Слой топографии
- Слой точек коммерческой деятельности (промышленные предприятия, больницы, го-

Рисунок 10: Воздушный бассейн Бишкека



Источник: Схема, специально подготовленная для данной публикации и совмещенная с картой Google Earth.

стиницы, автозаправочные станции, торговые центры, рынки, офисные комплексы, банки, кафе, рестораны, магазины и т. д.).

Слои высокого разрешения с ключевыми данными позволили оценить выбросы для каждой ячейки сетки, обеспечив возможность разработки пространственно-временной динамической карты выбросов для воздушного бассейна (глава 4). Данные, полученные в результате моделирования загрязнения воздуха, также доступны для каждой ячейки сетки исследуемого воздушного бассейна и позволяют представить результаты исследования в пространственном и временном разрезе (глава 5).

3.2. Источники данных

Для обеспечения высокого разрешения данных и возможности динамических пространственно-временных оценок выбросов и моделирования загрязнения в настоящем исследовании использовались различные источники данных

– сочетание данных, полученных на местах, информации из глобальных баз данных и опубликованной литературы. Кроме того, для повышения эффективности моделирования, проведенного в данном исследовании, использовались спутниковые данные и данные получивших всемирное признание моделей.

К полученным на местах данным относятся следующие:

- данные мониторинга качества воздуха Агентства по гидрометеорологии при Министерстве по чрезвычайным ситуациям Кыргызской Республики (Кыргызгидромет), включая данные эталонной автоматической станции качества воздуха в Бишкеке и 50 датчиков Clarity Node, установленных в Бишкеке
- Данные Национального статистического комитета Кыргызской Республики, включая данные о промышленных выбросах, энергопотреблении, расходе топлива, грузовых и пассажирских перевозках, количестве зарегистрированных автомобилей в Бишкеке, энергопотреблении в жилых домах и составе отходов.
- Данные мэрии города Бишкек, включая данные о площадях под застройку; карты инфраструктуры централизованного теплоснабжения; данные о местоположении котельных и потреблении ими тепловой энергии; карты газораспределительной сети жилого сектора; данные об общественном транспорте и маршрутных такси («маршрутках»), такие как расход топлива, парк автомобилей и средний пробег общественного транспорта.

Также были проанализированы отчеты о выбросах, представленные Кыргызской Республикой в соответствии с Конвенцией о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (КТЗВБР) и Рамочной конвенцией Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН).

Ряд партнеров по развитию проводили аналитическую работу в области качества воздуха в Бишкеке, поэтому соответствующие данные были получены из исследований:

- Программы развития Организации Объединенных Наций / Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ПРООН / ЮНЕП)¹³,
- Детского фонда Организации Объединенных Наций (ЮНИСЕФ)¹⁴ и
- Международной организации по миграции (МОМ)¹⁵.

Кроме того, в исследовании использовалась информация из ряда глобальных и локальных баз данных:

- **AirNow.** Это веб-платформа Государственного департамента США для публикации данных о качестве воздуха, полученных с помощью станций мониторинга эталонного уровня Агентства по охране окружающей среды США (EPA), расположенных в посольствах США по всему миру. Данные получены со станции мониторинга качества воздуха посольства США в Бишкеке ([https://www.airnow.gov/international/us-embassies-and-consulates/#Kyrgyzstan\\$Bishkek](https://www.airnow.gov/international/us-embassies-and-consulates/#Kyrgyzstan$Bishkek)).
- **Purple Air.** Это глобальная сеть датчиков качества воздуха. Были получены данные с 13 датчиков, установленных в Бишкеке (<https://www2.purpleair.com/>).
- **AirKaz.** Это региональная сеть датчиков качества воздуха. Были получены данные с датчиков, установленных в Бишкеке (<https://airkaz.org/bishkek.php>).
- **STATISTA.** Это коммерческий сайт, предоставляющий информацию о продажах автомобилей, их регистрации по типам и годам выпуска, численности населения и ВВП (<https://www.statista.com>).

¹³ UNDP and UNEP. 2022. Air Quality in Bishkek: Assessment of Emission Sources and Roadmap for Supporting Air Quality Management. Bishkek and Nairobi. <https://www.undp.org/kyrgyzstan/publications/air-quality-bishkek-assessment-emission-sources-and-roadmap-supporting-air-quality-management>

¹⁴ UNICEF. 2022. Health and Social Impacts of Air Pollution on Women and Children in Bishkek, Kyrgyzstan.

¹⁵ IOM. 2021. Air Pollution and Its Health Impacts on Internal Migrants in Bishkek, Kyrgyzstan - Assessment Report. Geneva: IOM. <https://publications.iom.int/books/air-pollution-and-its-health-impacts-internal-migrants-bishkek-kyrgyzstan-assessment-report>

- **База данных Open Street Maps (OSM).** Она используется для получения информации о дорожной сети, охватывающей автомагистрали, центральные магистрали и дороги местного значения, а также для получения информации о точках коммерческой деятельности, таких как гостиницы, больницы, жилые комплексы, промышленные предприятия, автостоянки, автозаправочные станции, торговые центры, рынки, офисные и торговые комплексы, банки, кафе, рестораны и круглосуточные магазины (<https://www.openstreetmap.org>).
- **Программа «Глобальные населенные пункты» (ГНП) Европейского космического агентства (ЕКА).** Используется информация о площади застроенной городской территории на территории воздушного бассейна за 1975, 1990, 2000 и 2014 годы (<https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/datasets.php>).
- **Программа LANDSCAN.** В этой базе данных представлена информация о численности населения в сетке с разрешением 30 секунд для всего городского воздушного бассейна (<https://landscan.ornl.gov/>). В ней используются официальные оценки соответствующих органов власти на уровне районов и округов, которые далее разбиваются на более мелкие сетки с использованием информации о коммерческой деятельности, землепользовании и полях данных о ночном освещении.
- **FlightStats.** Это коммерческая служба данных, предоставляющая информацию о расписании внутренних и международных полетов для аэропортов, расположенных в воздушном бассейне (<https://www.flightstats.com>).
- **Google Earth.** Используется для получения информации об объектах, представляющих интерес, выявленных при сканировании воздушного бассейна, по которым нет доступных полей ГИС (<https://earth.google.com/web/>).
- **Система моделирования MOZART/WACCM¹⁶.** Используется для анализа условий на границах – выявления притока загрязняющих веществ с окружающих территорий в заданный воздушный бассейн.
- **Система моделирования WRF.** Все метеорологические данные обрабатывались в системе моделирования WRF с пространственным разрешением 0,01° и временным разрешением 1 час (<https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>).
- **Модель взаимодействия и синергии парниковых газов и загрязнения воздуха (GAINS).** База данных факторов выбросов (ФВ), выделенная из системы моделирования GAINS, использовалась для составления кадастра базовых выбросов (<https://gains.iiasa.ac.at/models>).
- **Университет Вашингтона в Сент-Луисе.** Этот университет осуществляет программу сбора долгосрочных данных о концентрации PM_{2.5} на основе глобальной модели переноса химических веществ в сочетании со спутниковыми данными (<https://sites.wustl.edu/acag/datasets/>).

3.3. Ограничения в отношении данных

Несмотря на все усилия по сбору данных из местных и глобальных источников, существует ряд существенных ограничений в отношении данных, доступных для настоящего исследования. Основные ограничения в отношении данных и методы устранения этих ограничений описаны в таблице 1.

¹⁶ Модель для озона и связанных с ним химических индикаторов / Комплексная общеатмосферная климатическая модель.

Таблица 1: Основные ограничения в отношении данных и методы устранения этих ограничений

Ограничения в отношении данных	Методы устранения ограничений
<p>Отсутствующие или противоречивые данные мониторинга качества воздуха:</p> <ul style="list-style-type: none"> Отсутствуют данные мониторинга $PM_{2,5}$ с эталонной автоматической станции качества воздуха Кыргызгидромета за период с августа 2018 года по сентябрь 2020 года. В данных датчиков $PM_{2,5}$ наблюдаются несоответствия и неправдоподобные значения (например, концентрации $PM_{2,5}$ выше концентраций PM_{10}). 	<p>Для обеспечения адекватного охвата данных мониторинга были собраны и проанализированы все имеющиеся данные мониторинга качества воздуха в Бишкеке.</p> <p>Данные датчиков были проанализированы в целях выявления несоответствий и неправдоподобных значений, и данные датчиков, демонстрирующих несоответствия или неправдоподобные значения, были исключены из анализа.</p>
<p>Отсутствуют официальные данные о потреблении топлива и отопительных приборах, используемых в жилом секторе</p> <p>Нет данных о местонахождении домохозяйств, использующих каменный уголь для отопления</p>	<p>Для оценки среднего расхода топлива на отопление жилых домов и использование типичных отопительных приборов, применяемых в домохозяйствах, была использована и подвергнута дополнительной проверке информация из исследований, включая обследование домохозяйств.</p> <p>Расположение домохозяйств, использующих уголь для отопления, было определено на основе анализа существующей в Бишкеке инфраструктуры теплоснабжения (централизованное теплоснабжение от ТЭЦ и котельных), данных о типе жилых домов (многоквартирные и индивидуальные), распределению населения и уровням урбанизации.</p>
<p>Отсутствие информации о технологиях снижения выбросов ТЭЦ</p>	<p>В отсутствие подробных данных о ТЭЦ в Бишкеке, особенно о работе и производительности оборудования для борьбы с загрязнением, было сделано предположение, что электрофильтры (ЭФ) и рукавные фильтры на ТЭЦ работают с эффективностью более 98 процентов.</p>
<p>Отсутствие данных о пробеге и количестве транспорта</p>	<p>Данные о пробеге оценивались на основе имеющихся данных Национального статистического комитета о расходе топлива, грузовых и пассажирских перевозках. Моделирование транспортных потоков проводилось с использованием экспертных оценок и обширных данных слоев ГИС о численности населения, уровне урбанизации, дорожной сети и достопримечательностях.</p>
<p>Отсутствие подробных данных об отходах</p>	<p>Оценки выбросов от мусорных полигонов проводились на основе имеющейся информации о составе отходов, а также снимков Google Earth, запечатлевших территорию мусорного полигона, на котором произошло возгорание, дополненных посещением мусорного полигона.</p>
<p>Отсутствие подробных данных по малым предприятиям</p>	<p>Оценка промышленных выбросов проводилась на основе данных по энергетическому балансу и других соответствующих данных по промышленности, полученных из Национального статистического комитета.</p>
<p>Отсутствие данных о деятельности некоторых категорий источников (например, кирпичных заводов и карьеров)</p>	<p>Выбросы от этих источников оценивались на основе снимков Google Earth и опыта других стран в отношении уровней и практики производства.</p>
<p>Отсутствие ФВ по конкретным странам</p>	<p>Соответствующие ФВ были получены из глобальной модели GAINS.</p>

Источник: работы, специально выполненные при подготовке данной публикации.

3.4. Расчет объема выбросов

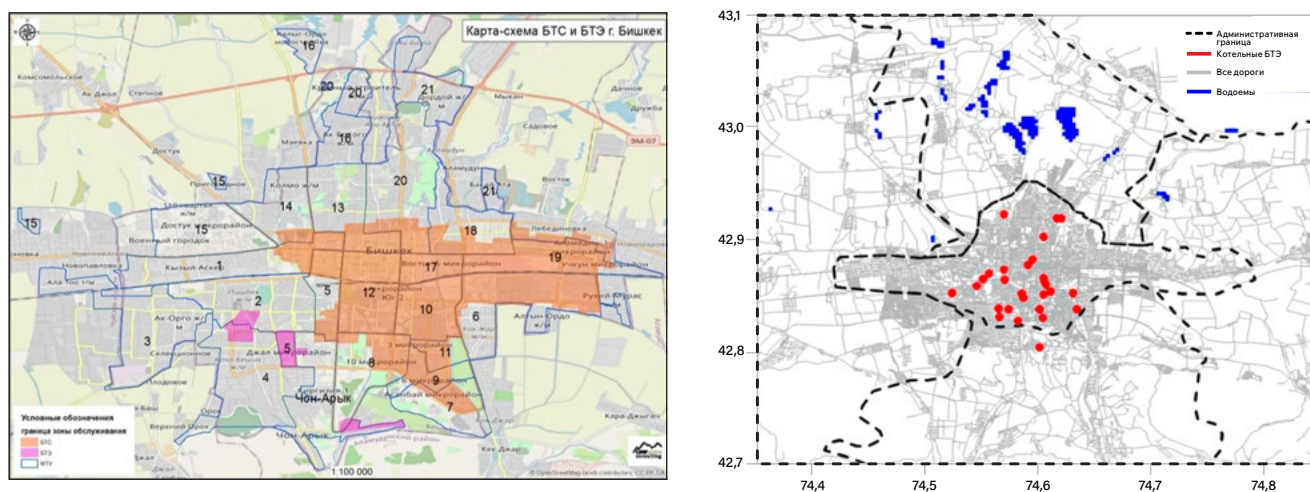
При расчете объема выбросов использовались данные из различных источников, описанных в разделе 3.2, а также экспертная оценка пространственно-временного распределения выбросов по воздушному бассейну. При расчете выбросов использовались факторы выбросов, принятые по умолчанию, из базы данных GAINS. Модель GAINS широко используется для оценки стратегий сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и парниковых газов. Модель используется для анализа политики в рамках КТЗВБР, в ЕС и во многих странах мира. База данных GAINS¹⁷ содержит данные о факторах выбросов для более чем 2000 технологий, производящих выбросы, и, таким образом, является одной из крупнейших баз данных по факторам выбросов в мире. Методология расчетов объема выбросов для основных источников выбросов

описана в представленных ниже разделах.

3.4.1. Отопление жилых домов

Основными данными о деятельности, необходимыми для оценки выбросов от отопления жилых домов, являются данные о потреблении энергии на отопление в разбивке по видам топлива и типу используемых отопительных приборов. В связи с отсутствием официальных данных по ним, при оценке выбросов от отопления жилых домов использовался ряд источников данных для максимально точного пространственно-временного распределения выбросов. Перед проведением расчетов выбросов был проведен анализ доступности вариантов отопления жилых домов в Бишкеке. В мэрии Бишкека были получены карты инфраструктуры централизованного теплоснабжения, а также информация о расположении и потреблении топлива котельными (Рисунок 11).

Рисунок 11: Сеть централизованного теплоснабжения (слева) и котельных в Бишкеке (справа)



Источник: Мэрия Бишкека (слева) и карта, специально подготовленная для данной публикации (справа).

Согласно имеющейся информации, около 50 процентов населения Бишкека подключены к сетям централизованного теплоснабжения и около 10 процентов – к котельным. Таким образом, около 40 процентов населения Бишкека не подключено

ни к одной из этих сетей и пользуется индивидуальными системами отопления. Индивидуальные системы отопления используются преимущественно в индивидуальных жилых домах (ИЖД) и работают на каменном угле¹⁸.

¹⁷ https://previous.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/air/Global_emissions.html.

¹⁸ World Bank. 2021. Research and Assessment of Existing Heating Systems in Bishkek, Kyrgyz Republic.

Большинство ИЖД (98 процентов) используют индивидуальные системы отопления, причем 75 процентов из них используют каменный уголь в качестве основного топлива. Простые котлы низкого давления или традиционные угольные печи являются наиболее распространенными отопительными приборами, используемыми в домохозяйствах, иногда применяющих для отопления комбинацию видов топлива, и характеризуются высокими выбросами загрязняющих веществ и низкой энергоэффективностью (ЭЭ)¹⁹.

Представленная выше информация помогла определить места расположения ОД, использующих для отопления каменный уголь. Предполагалось, что домохозяйства в районах, не охваченных централизованным теплоснабжением и/или сетью котельных, используют индивидуальные системы отопления, и что 75 процентов ИЖД в этих районах используют для отопления преимущественно каменный уголь, в то время как в многоквартирных домах в этих районах используются другие средства отопления (например, электричество и газ). Кроме того, сканирование с помощью системы Google Earth показало, что в

северной части Бишкека преобладают ИЖД.

В рамках ряда недавних исследований²⁰ были проведены обследования домохозяйств и собраны данные о потреблении каменного угля. Данные о потреблении каменного угля варьируются в зависимости от конкретных условий в домохозяйствах. Данные различных исследований свидетельствуют о среднем потреблении угля на отопление около 9 ГДж/год на душу населения, что и было принято в данном исследовании, при использовании простых неэффективных приборов (т. е., с использованием соответствующих ФВ для таких приборов).

Временное распределение выбросов от отопления жилых домов в модели зависит от температуры окружающей среды – предполагается, что отопление используется при температуре ниже 15°C. Как описано в разделе 3.2, метеорологические данные доступны для каждой ячейки сетки воздушного бассейна с разрешением 1 час, что позволяет проводить динамическое моделирование выбросов от отопления жилых домов с высоким разрешением.

Вставка 1: Расчет объема выбросов при отоплении жилых домов

Расчет объема выбросов при отоплении жилых домов

Объем выбросов от отопления ИЖД рассчитывался с использованием следующего уравнения, которое является стандартным подходом для расчета выбросов от отопления жилых домов в последних методиках расчета выбросов (например, Европейская программа мониторинга и оценки / Руководство Европейского агентства по окружающей среде по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу 2019 года):

$$E_i = f(t) \sum_{j,k} EF_{i,j,k} \times A_{j,k}$$

где

E_i = ежегодный объем выбросов загрязняющего вещества i ,

$f(t)$ = функция температуры наружного воздуха t ,

$A_{j,k}$ = годовое потребление топлива k в источнике типа j .

¹⁹ Там же.

²⁰ Исследования Всемирного банка, ЮНИСЕФ и МОМ.

Для целей данного исследования уравнение решалось для каждого ИЖД следующим образом:

- Уравнение выбросов решалось при часовой температуре наружного воздуха ниже 15°C, поэтому предполагается, что отопительный сезон начинается в октябре и длится до конца марта.
- Уравнение выбросов решалось для загрязняющего вещества (i) PM_{2,5}.
- Тип источника j , т. е., тип отопительных приборов, используемых в домохозяйствах, принимался за стандартные отопительные печи без контроля выбросов.
- В качестве топлива k использовался каменный уголь.
- ФВ для угольных печей без контроля выбросов был взят из базы данных GAINS и составил 480 г/ГДж.
- Годовое потребление каменного угля оценивалось в 9 ГДж/год на душу населения на основе результатов обследования домохозяйств.
- Общий объем выбросов от отопления жилых ИЖД складывался из суммы выбросов каждого ИЖД.

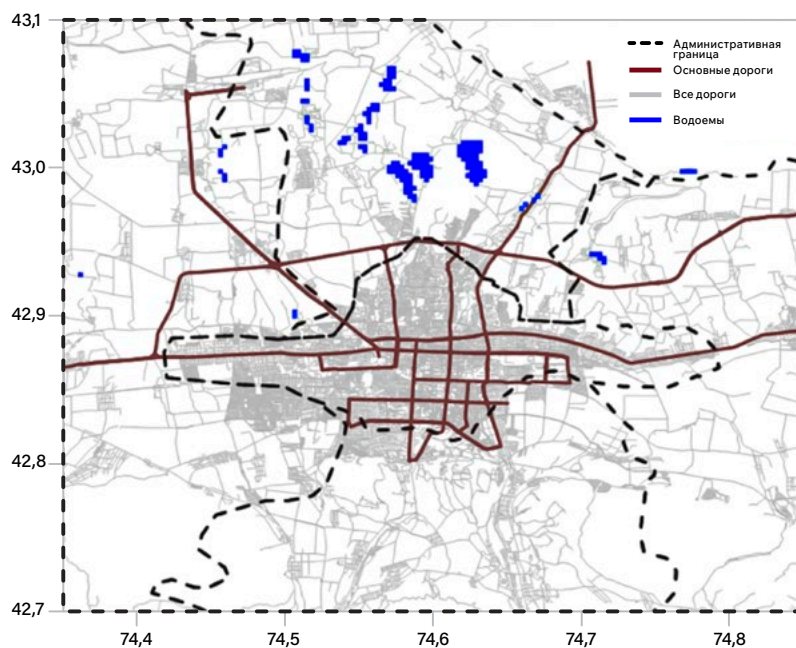
Для расчетов объема выбросов других источников выбросов в данном исследовании использовались функции по умолчанию из последних международных методик.

3.4.2. Транспорт

Основными данными, необходимыми для оценки объема выбросов от автомобильного транспорта, являются данные о структуре автопарка, расходе топлива и пробеге. Данные о структуре автопарка были получены от Национального статистического комитета Кыргызской Республики, а также от мэрии Бишкека. Согласно полученным данным, возраст около 95 процентов всех зарегистрированных в Бишкеке автомобилей превышает 15 лет, поэтому использовались ФВ для более старых категорий автомобилей (Евро-4 и старше). Для оценки пробега использовались данные о расходе топлива из национального энергетического баланса Кыргызской Республики, а также статистические данные о грузовых и пассажирских перевозках, которые были получены в Национальном статистическом комитете Кыргызской Республики. Объем грузоперевозок и пассажироперевозок в масштабах страны был уменьшен до уровня Бишкека, исходя из численности населения и экономической активности. Затем полученный пробег сравнивался с расчетным расходом топлива на транспорте в Бишкеке для проверки предположений о пробеге в Бишкеке, использованных в моделировании.

Для получения пространственного и временного представления об объеме выбросов от автомобильного транспорта и в отсутствие данных о количестве транспорта в различных точках Бишкека необходимо было сделать несколько предположений о транспортных потоках в городе. Детальные сло

Рисунок 12: Дорожная сеть в воздушном бассейне Бишкека



Источник: Карта, специально подготовленная для данной публикации.

Вставка 2: Расчет объема выбросов от транспорта

Расчет объема выбросов от транспорта

Объем выбросов от транспорта рассчитывался с использованием следующего уравнения:

$$E_{v,f,g,p} = NV_{v,g} \times S_f \times VKT_{v,g} \times EF_{v,f,g,p},$$

где

$E_{v,f,g,p}$ = суммарный объем выбросов (тонн/год) загрязняющего вещества p транспортным средством типа v , вида топлива f и возраста g ;

$NV_{v,g}$ = количество транспортных средств типа v и возраста g на дорогах;

S_f = доля транспортных средств на дорогах для каждого вида топлива f ;

$VKT_{v,g}$ = среднегодовой пробег транспортных средств типа v и возраста g ; и

$EF_{v,f,g,p}$ = средний по парку фактор выбросов (г/км) загрязняющего вещества p для транспортных средств типа v , вида топлива f и возраста g .

с высоким разрешением дорожной сети, населения, уровня урбанизации и точек коммерческого интереса, описанные в разделе 3.1, были использованы для моделирования транспортных потоков в Бишкекском воздушном бассейне путем разработки расчетов транспортных потоков как функций от комбинации параметров. Например, предполагалось, что большегрузный транспорт использует основные дороги, ведущие к различным промышленным предприятиям города и обратно, а частный автотранспорт движется в основном к представляющим интерес местам (офисным комплексам, торговым площадям, больницам и т. д.) и обратно. Что касается временного распределения транспортных потоков, то в моделировании использовались утренние и дневные часы пик с использованием офисных комплексов, промышленных предприятий и различных учреждений в качестве индикаторов того, куда движется транспорт (например, на работу / в школу и обратно), а также моделировалось увеличение интенсивности движения на основных дорогах, соединяющих Бишкек с аэропортом, в период прилета и вылета рейсов.

В целом, транспортные потоки были распределены в пространственном и временном плане по 310 км основных дорог, 250 км второстепенных, 4500 км третьестепенных и 1860 км прочих дорог в пределах определенного воздушного бассейна (рисунок 12).

3.4.3. ТЭЦ

Основными данными о деятельности ТЭЦ в Бишкеке, необходимыми для расчета объемов выбросов, являются данные об установленной мощности, рабочей мощности, годовом расходе топлива и параметрах дымовой трубы. Кроме того, в исследовании оценивались выбросы $PM_{2.5}$ от склада каменного угля, расположенного за пределами станции. Сканирование территории ТЭЦ, а также посещение объекта позволили установить, что каменный уголь хранится за пределами станции на открытом складе (рис. 13). Объем выбросов от открытого склада угля на ТЭЦ зависит от площади склада – точная площадь была определена с помощью Google Earth.

ТЭЦ в Бишкеке насчитывает 24 энергоблока, построенных в 1961 году, а в 2017 году на станции была проведена модернизация. В настоящее время в работе находятся 13 энергоблоков, общая установленная мощность которых составляет 910 МВт. Ежегодно станция потребляет около 1 млн т местного каменного угля и около 650 000 т каменного угля из Казахстана. Данные о потреблении угля были подтверждены МПРЭТН. Информация о работе очистного оборудования на ТЭЦ, например, об эффективности ЭФ, отсутствует, поэтому в исследовании использовалась информация, полученная в ходе встреч с персоналом ТЭЦ и подтверждающая работу ЭФ. В исследовании предполагается, что эффективность работы ЭФ и рукавных фильтров составляет около 98 про-

центров, с учетом недавней частичной модернизации ТЭЦ в 2017 году и информации, полученной от персонала ТЭЦ. Работа и эффективность ЭФ оказывают большое влияние на объем выбросов ТЭЦ, поэтому данные о работе и эффективности ЭФ является важной информацией, которую предлагается сделать общедоступной и проверять с помощью независимых периодических аудитов эффективности ЭФ.

3.4.4. Промышленные объекты

Помимо ТЭЦ, в анализе учитывались и другие промышленные объекты (рисунок 14). Как уже отмечалось в Разделе 3.3, объем промышленных выбросов оценивался в основном по таблицам энергетического баланса и информации Национального статистического комитета. Промышленные объекты также имеют большое значение при моделировании транспортных потоков, так как функции транспортных потоков предполагают движение большегрузных автомобилей в основном к промышленным объектам и от них, а также движение некоторого количества частных автомобилей (например, для работы и коммерческой деятельности).

3.4.5. Мусорный полигон

Основными параметрами для расчета объема выбросов с мусорных полигонов являются состав отходов и площадь мусорного полигона, на которой происходит возгорание. Принимая во внимание ограниченность имеющихся данных о мусорном полигоне, при моделировании влияния мусорного полигона на концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке необходимо было сделать определенные допущения. Эти допущения были основаны на результатах международных исследований, снимках Google Earth и посещении объекта.

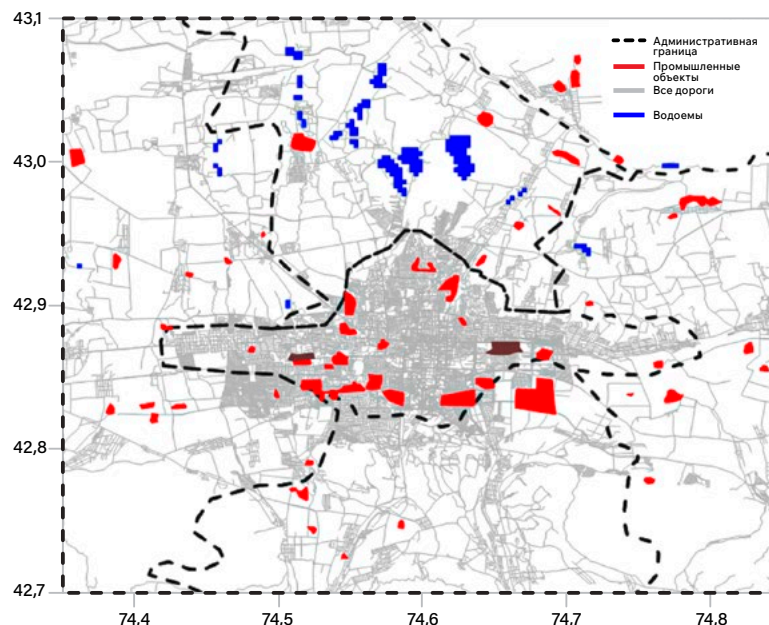
Рисунок 13: ТЭЦ в Бишкеке^а



Источник: Google Earth.

Примечание: а. Черная область на рисунке – это каменный уголь, хранящийся за пределами электростанции.

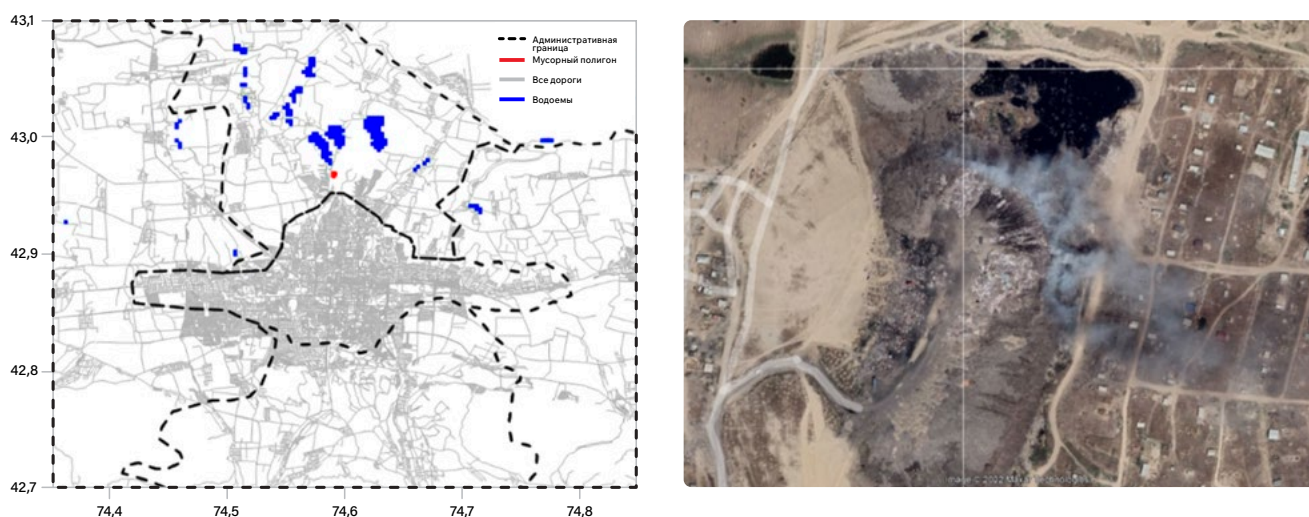
Рисунок 14: Расположение промышленных объектов в воздушном бассейне Бишкека^а



Источник: карта, специально подготовленная для данной публикации.

Примечание: а. на этой карте также показана ТЭЦ (темно-красная область на карте).

Рисунок 15: Мусорный полигон в Бишкеке: расположение (слева) и спутниковое изображение (справа)



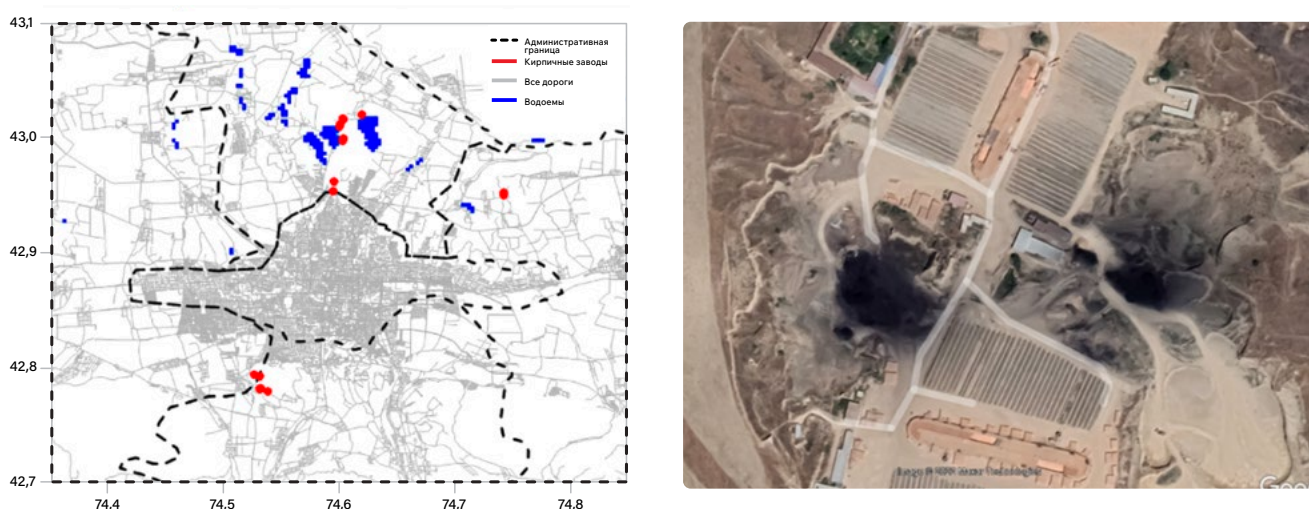
Источник: карта, специально подготовленная для данной публикации (слева), Google Earth (справа).

3.4.6. Кирпичные заводы

Включение кирпичных заводов в кадастр выбросов является одной из уникальных особенностей данного исследования по сравнению с существующими. Выбросы при производстве кирпича образуются в результате использования топлива на заводе и сушки кирпича под открытым небом. В рассматриваемом воздушном бассейне расположено 16 кирпичных заводов, в

основном за пределами города Бишкек (рисунок 16). Определить масштабы производства кирпича помогли снимки Google Earth и посещение одного из заводов. Было подсчитано, что в среднем кирпичные заводы производят около 20 000 кирпичей в день, и для оценки объема выбросов был применен соответствующий ФВ для кирпичного производства такого масштаба.

Рисунок 16: Расположение кирпичных заводов (слева) и спутниковое изображение (справа)



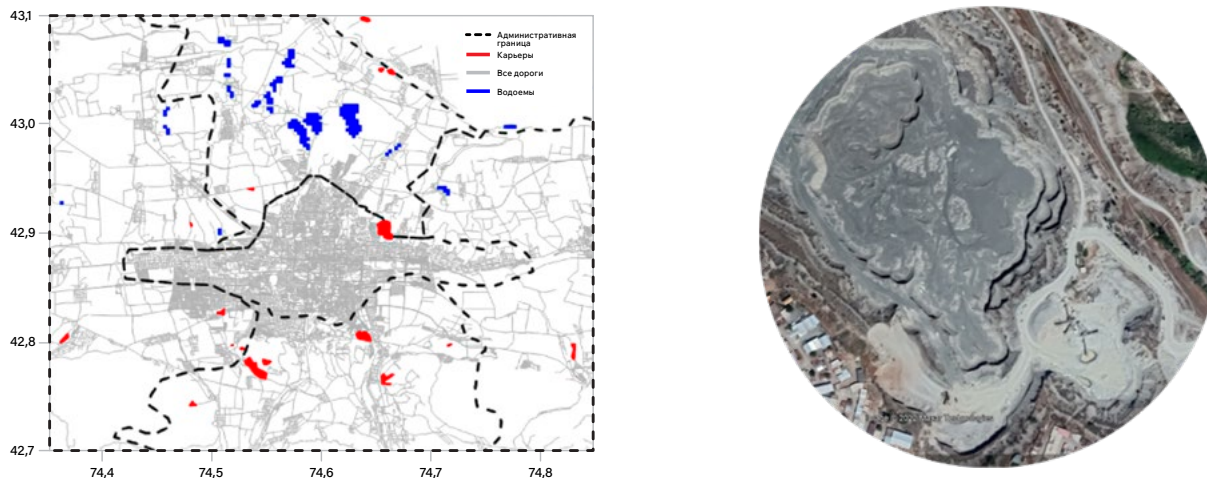
Источник: Источник: карта, специально подготовленная для данной публикации (слева), Google Earth (справа).

3.4.7. Карьеры

Карьеры стали еще одним источником выбросов, в отношении которого впервые была проведена оценка для Бишкека. Общая площадь выявленных карьеров в рассматриваемом воздушном бассейне составила 7,5 км², причем большинство карьеров располагается за пределами города (рисунок 17). Выбросы от карьеров обусловлены работой дробильного оборудова-

ния, использующего ископаемые виды топлива (например, преимущественно дизельное топливо), и открытой карьерной площадкой. Для определения производственных процессов на карьерах использовались снимки Google Earth. Для оценки объема выбросов из этого источника использовались глобальные базы данных и ФВ, характерные для карьеров.

Рисунок 17: Расположение карьеров (слева) и спутниковое изображение (справа)



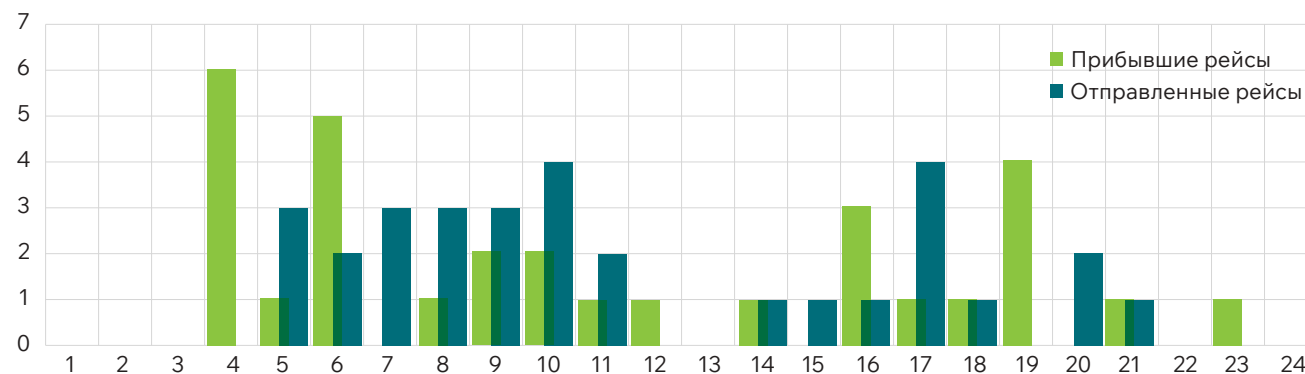
Источник: Источник: карта, специально подготовленная для данной публикации (слева), Google Earth (справа).

3.4.8. Международный аэропорт «Манас»

Международный аэропорт «Манас» стал еще одним источником выбросов, впервые включенным в кадастр выбросов для Бишкека. На основе

информации о посадках и взлетах для оценки объема выбросов от работы аэропорта были применены стандартные ФВ, используемые для

Рисунок 18: Посадки и взлеты в час в международном аэропорту «Манас»



Источник: FlightStats.

посадок, взлетов, пассажирских и грузовых перевозок. Точное количество посадок и взлетов в час было получено из базы данных коммерческих рейсов FlightStats²¹ (рисунок 18). Данные о посадках и взлетах были также включены в функции транспортных потоков для моделирования увеличения интенсивности движения на основных дорогах, соединяющих город Бишкек и аэропорт, в период посадок и взлетов.

3.5. Анализ других источников загрязнения PM_{2,5}

Загрязнение PM_{2,5} может также возникать в результате естественных пылевых явлений и переноса пыли, а также в результате других видов деятельности на уровне города, таких как строительство и ресуспензия дорожной пыли. В данном исследовании под городской пылью понимается ресуспензия дорожной пыли и пыль от строительных работ, происходящих в пределах рассматриваемого воздушного бассейна, представленного на рисунке 10. С другой стороны, пограничная или переносимая ветром пыль представляет собой пыль, поступающую из-за пределов рассматриваемого воздушного бассейна (за пределами красной сетки, изображенной на рисунке 10) в результате природных пылевых явлений, деградации пастбищ и лесов вокруг Бишкека, переноса PM_{2,5} с непроизводительных и сельскохозяйственных земель и т. д.

3.5.1. Городская пыль

Городская пыль состоит из двух основных компонентов – ресуспензии дорожной пыли и пыли от строительных работ. Ресуспензия дорожной пыли обусловлена объемом отложений на дорогах, составом автотранспорта на дорогах (представленным в виде средней массы автопарка) и пройденным автотранспортом километражем. Данные по автопарку и пройденному километражу были получены из Национального статистического комитета Кыргызской Республики и

из мэрии города (количество и тип автомобилей, зарегистрированных в Бишкеке).

Аналогичным образом, расчет для строительной пыли производится в зависимости от площади застраиваемой территории и коэффициента ожидаемой пылевой эрозии. Данные о площади застройки были получены из мэрии Бишкека.

В настоящем исследовании использовался стандартный метод расчета для городской пыли, принятый Агентством по защите окружающей среды США US EPA в протоколе US-AP42²². Расчет для ресуспензии пыли по протоколу US-AP42 является стандартным методом расчета для ресуспензии городской пыли, применяемым в институтах и научных учреждениях по всему миру. Кроме того, выбросы городской пыли не охватываются при моделировании в том случае, если в рамках сетки идет дождь или выпадает некоторое количество осадков, поэтому вклад городской пыли в концентрацию PM_{2,5} оценивается динамически с учетом метеорологических условий.

3.5.2. Переносимая ветром пыль

На концентрацию PM_{2,5} во всем мире влияют природные пылевые явления и перенос пыли с непроизводительных сельскохозяйственных угодий, деградированных земель и некоторых объектов коммерческой деятельности, таких как карьеры или отвалы, которые приводят к образованию пыли, переносимой ветром. Данные глобальных моделей показывают, что переносимая ветром пыль является важным фактором, влияющим на концентрацию PM_{2,5} в регионе Центральной Азии. Согласно оценкам базы данных ГБЗ-ОИЗВ, 44 процента концентрации PM_{2,5} в Центральной Азии обусловлены переносимой ветром пылью²³. Таким образом, без учета вклада переносимой ветром пыли в концентрацию PM_{2,5} любой анализ качества воздуха будет неполным. Традиционные рамочные модели не выходят за пределы границ воздушного бассейна, и все, что поступает из-за пределов рассматриваемого воздушного бас-

²¹ <https://www.flightstats.com>.

²² <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch13>.

²³ Университет Вашингтона в Сент-Луисе. Группа анализа состава атмосферы: Глобальная база данных ГБЗ-ОИЗВ. https://costofairpollution.shinyapps.io/gbd_map_global_source_shinyapp/.

сейна, в основном игнорируется. Поэтому при создании модели переноса химических веществ необходимо принимать во внимание условия на границах (т. е., перенос пыли из-за пределов рассматриваемого воздушного бассейна), чтобы учесть вклад источников за пределами этого воздушного бассейна.

Условия на границах для моделирования Бишкека были взяты из глобальной модели MOZART/WACCM²⁴, которая является одной из моделей и препроцессоров, входящих в систему моделирования CAMx, используемую в данном исследовании (Раздел 3.6). Учитывая отсутствие каких-либо крупных объектов деятельности за пределами рассматриваемого воздушного бассейна (выявленных в результате геосканирования и учтенных в слое землепользования при моделировании) и хорошо задокументированную повторяемость пылевых явлений в регионе, предполагается, что переносимая ветром пыль обуславливает большую часть активности на границах.

В анализе для Бишкека использованы расчеты глобальной модели MOZART/WACCM, в которой ветровая пыль рассчитывается с учетом двух основных факторов – наличия засушливых и пыльных земель и скорости ветра выше определенного порога, необходимого для подъема, уноса и переноса пыли. Таким образом, эта модель динамически рассчитывает для каждой сетки рассматриваемого воздушного бассейна нагрузку PM_{2.5}, обусловленную переносимой ветром пылью. Модель MOZART/WACCM – это устоявшаяся модель, широко применяемая во всем мире, в том числе в таких районах, как Сахара, Гоби и Ближний Восток.

3.6. Подход к моделированию

При моделировании загрязнения воздуха для имитации рассеивания загрязнения в воздушном бассейне используются метеорологические данные и данные о выбросах. Авторы настоящего исследования, используя подходы к расчету выбросов, представленные в разделе 3.4, создали пространственно-временную динамическую карту выбросов для рассматриваемого воздушного

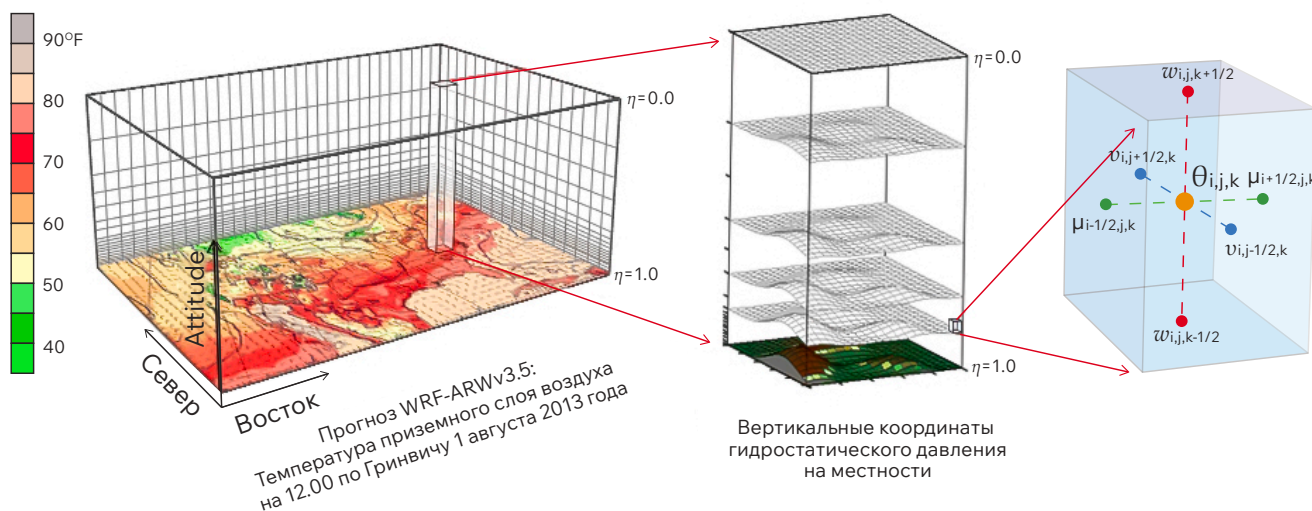
бассейна. Затем данные о выбросах были увязаны с пространственно-временным динамическим слоем метеорологических данных, что позволило провести моделирование с высоким разрешением с почасовым шагом. В данном исследовании применялась программа CAMx, которая использует метеорологические данные из модели WRF.

Существует несколько моделей переноса химических веществ разной степени сложности, позволяющих собирать и обрабатывать данные о выбросах и получать конечный результат в виде данных о концентрации. К их числу относятся простые рамочные модели, физико-химических модели средней степени сложности, использующие методы Лагранжа и Гаусса, а также эйлеровские модели, способных анализировать выбросы в трехмерном пространстве при максимально возможном учете адвекции и химических превращений. CAMx – это современная эйлерова система моделирования с открытым исходным кодом, позволяющая не только оценивать суммарные концентрации, но и распределять их по источникам загрязнения и регионам в региональном и городском масштабах, а также по различным временным шкалам, в силу чего она была признана наиболее подходящей для решения поставленных задач. Система моделирования CAMx применялась в США в ходе ряда исследований на федеральном уровне и на уровне штатов; она используется также во многих исследовательских приложениях по всему миру.

WRF – это современная среднemasштабная модель для числовых расчетов, широко используемая для исследования атмосферы. Она применяется рядом национальных метеорологических центров по всему миру. С помощью модели WRF для данного исследования были подготовлены трехмерные метеорологические данные. Метеорологические данные доступны с пространственным разрешением 0,01° и временным разрешением 1 час. Трехмерное метеорологическое моделирование, проведенное с помощью WRF, позволяет учесть влияние рельефа на метеорологические параметры и обеспечивает реалистическую имитацию соответствующих метеорологических условий при моделировании загрязнения воздуха (рисунок 19).

²⁴ <https://www2.acom.ucar.edu/gcm/waccm>.

Рисунок 19: Трехмерное метеорологическое моделирование с использованием модели WRF



Источник: модель WRF.

Модель CAMx – это современная фотохимическая модель для моделирования рассеивания загрязняющих веществ в воздухе в различных масштабах: от микроуровня (район) до макроуровня (континент). CAMx поддерживается рядом учреждений, включая Агентство по охране окружающей среды США. Система моделирования CAMx имеет сложную модульную архитектуру, в которой применяются данные других систем моделирования (например, WRF), а также предварительно обрабо-

танные данные, предоставляемые пользователем. К числу основных компонентов CAMx относятся входные данные для расчетов выбросов (например, данные об энергопотреблении и коэффициентах выбросов), слои ГИС и метеорологические данные, которые затем обрабатываются программой CAMx, позволяя в результате получить смоделированные данные о концентрации загрязняющих веществ и вкладе источников загрязнения по отраслям в эту концентрацию (рисунок 20).

Рисунок 20: Структурная схема системы моделирования CAMx



Источник: модель CAMx.

Как отмечалось выше, источником метеорологических исходных данных для САМх послужила модель WRF. Что касается данных о выбросах, то в САМх они обрабатываются двумя основными способами:

- Сеточные выбросы в каждой трехмерной ячейке рассматриваемого воздушного бассейна
- Точечные выбросы, для которых определяются координаты и изменяющаяся во времени функция выброса для каждой свечи выброса.

Жилые, коммерческие, передвижные, промышленные, малые промышленные и природные источники выбросов считаются сеточными, и их особенностью является изменяющаяся по размерам и по времени интенсивность выбросов. На интенсивность выбросов влияют дополнительные слои, учитываемые в САМх в рамках данного исследования, такие как распределение населения, плотность застройки, дорожно-транспортная сеть, растительный покров и т. д., – их описание приводится в разделе 3.1.

Крупные стационарные источники выбросов, такие как, например, ТЭЦ, моделировались как точечные выбросы. В отличие от сеточных выбросов, точечные выбросы связаны с конкретным местом, но интенсивность выбросов все равно изменяется во времени. Высота подъема шлейфа выброса из точечных источников определяется программой САМх и зависит от таких специфических параметров свечи выброса, как высота, диаметр, скорость и температура выходящих газов. Эти параметры в сочетании с метеорологическими условиями окружающей среды определяют интенсивность выбросов по времени для каждого точечного источника.

Кроме того, САМх имеет встроенный модуль распределения источников твердых частиц (ТЧ), позволяющий определить источники загрязнения ТЧ. Для определения источников первичных выбросов ТЧ и вторичного образования ТЧ в атмосфере в программе САМх используется несколько групп индикаторов. Учет вторичного образования ТЧ позволяет САМх моделировать реальный химический состав атмосферы и обеспечивает надежный анализ распределения источников загрязнения, представляющий собой важный ин-

струмент принятия решений по управлению качеством воздуха.

В ходе данного исследования были созданы карты выбросов для каждого из источников загрязнения, описанных в разделе 3.4, и, таким образом, модель позволяет, «включая и выключая» те или иные источники, проанализировать их влияние на загрязнение воздуха в Бишкеке. Кроме того, включение различных источников выбросов в качестве различных слоев в систему моделирования позволяет оценивать сценарии «что, если» – то, как меры по снижению выбросов из конкретного источника могут повлиять на качество воздуха в целом.

3.7. Процесс консультаций

Для первого этапа моделирования был собран значительный объем открытых данных, предоставленных государственными учреждениями, партнерами по работе в области развития, гражданским обществом и глобальными базами данных. Широкий круг заинтересованных сторон в Бишкеке был затем ознакомлен с подходом, применявшимся в данном исследовании, а также с предварительными результатами моделирования.

21 сентября 2022 года МПРЭТН пригласило основные учреждения, занимающиеся вопросами управления качеством воздуха, на презентацию предварительных результатов исследования. Помимо различных подразделений МПРЭТН, на презентации присутствовали и представили свои отзывы другие учреждения, такие как Кыргызгидромет, Министерство транспорта, Национальный статистический комитет, а также различные департаменты мэрии Бишкека.

22 и 23 сентября 2022 года результаты предварительного исследования были представлены гражданскому обществу, научным кругам и основным партнерам по работе в области развития, занимающимся вопросами качества воздуха. На этих встречах также проводился сбор мнений участников.

После консультаций с заинтересованными сторонами группа участников исследования посетила объекты, которые представляют интерес или по которым имелись ограниченные данные. Группа

побывала на кирпичном заводе, свалке, территории вокруг ТЭЦ и провела наблюдения за источниками природной и придорожной пыли за пределами города Бишкек. По результатам консультаций с заинтересованными сторонами и посещения объектов в сентябре 2022 года в учреждения были направлены дополнительные запросы на получение данных. После получения запрошенных дополнительных данных был проведен второй тур моделирования.

Затем обновленные результаты исследования были вновь представлены широкому кругу заинтересованных сторон, после чего исследование

было доработано. По логистическим соображениям 1 декабря 2022 года в МПРЭТН были проведены две отдельные встречи: одна – с организациями гражданского общества, научными кругами и партнерами по работе в области развития, другая – с государственными учреждениями. Декабрьские консультации привлекли еще более широкий круг заинтересованных сторон – например, на них присутствовали представители Министерства здравоохранения и Агентства по безопасности дорожного движения. Прозвучавшие на этих встречах мнения были использованы для дальнейшего уточнения и доработки моделирования – результаты этой работы представлены в разделах ниже.

4. Анализ источников выбросов PM_{2,5}: результаты

За основу для анализа источников выбросов PM_{2,5} взят кадастр выбросов, приведенный в отчете ПРООН/ЮНЕП²⁵. Кадастр выбросов, приводимый в отчете ПРООН/ЮНЕП, служит в данном исследовании исходной базой для анализа выбросов. Имеющийся кадастр выбросов был доработан в настоящем исследовании, для чего:

- добавлены не рассматривавшиеся ранее источники выбросов, такие как строительство, карьеры, кирпичные заводы и международный аэропорт Манас;
- проведено картирование источников выбросов с указанием их местоположения, размеров и географических особенностей – для этой работы были использованы новейшие спутниковые снимки; а также
- создана пространственно - временная дина-

мическая карта выбросов в Бишкеке с пространственным разрешением 0,01° (~1 км²), пригодная для моделирования переноса химических веществ.

Полученные оценки выбросов представлены в Таблице 2. На долю транспорта в Бишкеке приходится почти треть всех годовых выбросов PM_{2,5}. Вторым по величине источником выбросов в течение года (в основном в зимние месяцы) является жилой сектор – 26 процентов общего годового объема выбросов PM_{2,5}. Двумя другими основными источниками выбросов в Бишкеке являются городская пыль (от строительных работ и ресуспензии пыли с дорог) и промышленные предприятия: на их долю приходится, соответственно, 20 процентов и 17 процентов совокупного годового объема выбросов PM_{2,5}.

Таблица 2: Оценки величины выбросов PM_{2,5} в Бишкеке, 2018 год

Источник выбросов	Описание	Выбросы PM _{2,5} , т/год
Транспорт	Весь дорожный транспорт и выбросы от аэропорта	1737,6
Отопление жилых домов	Выбросы от отопления жилых домов и приготовления пищи	1424,0
Городская пыльца	Выбросы от строительных работ и ресуспензия дорожной пыли	1157,8
ТЭЦ и котельные	Выбросы ТЭЦ и котельных	751,7
Промышленность	Выбросы других промышленных предприятий, за исключением ТЭЦ, карьеров и кирпичных заводов, а также дизель-генераторов на коммерческих объектах	249,2
Открытое сжигание мусора	Выбросы от свалок	168,3
Всего		5488,6

Источник: : расчеты, специально выполненные для данной публикации.

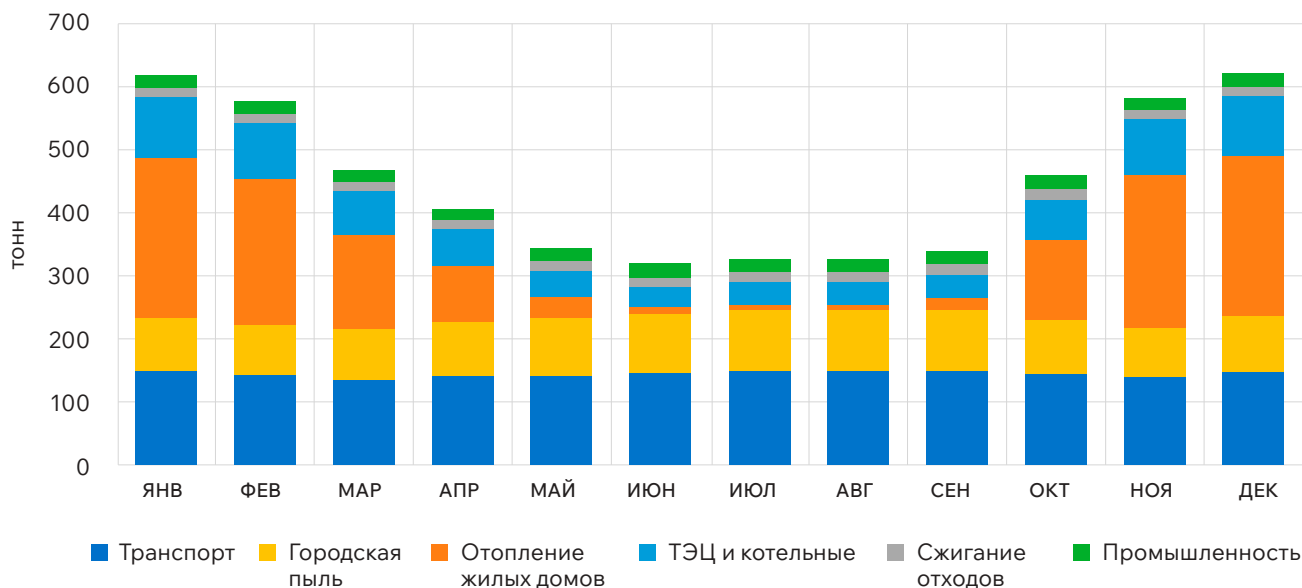
Примечание: а. Переносимая ветром пыль является прямым источником концентрации PM_{2,5} и поэтому не рассматривается как источник выбросов. Переносимая ветром пыль учитывается в моделировании как нагрузки PM_{2,5} для сетки каждого воздушного бассейна, рассчитанные на основе глобальной модели MOZART/WACCM.

²⁵ UNDP and UNEP. 2022. Air Quality in Bishkek: Assessment of Emission Sources and Roadmap for Supporting Air Quality Management. Bishkek and Nairobi. <https://www.undp.org/kyrgyzstan/publications/air-quality-bishkek-assessment-emission-sources-and-roadmap-supporting-air-quality-management>.

Уровень выбросов в течение года не является постоянным – например, выбросы от отопления жилых домов происходят только в зимние месяцы. Поэтому важно проанализировать распределение источников выбросов по времени. На рисунке 21 показано, что, хотя в годовом исчислении выбросы транспортного сектора являются наибольшими, в зимние месяцы преобладают выбросы

жилого сектора. Аналогичным образом, выбросы городской пыли в летние месяцы выше, чем в зимние, что связано с активизацией строительной деятельности и повышенной ресуспензией дорожной пыли. Доля промышленных выбросов в общем объеме выбросов в разные месяцы года относительно постоянна.

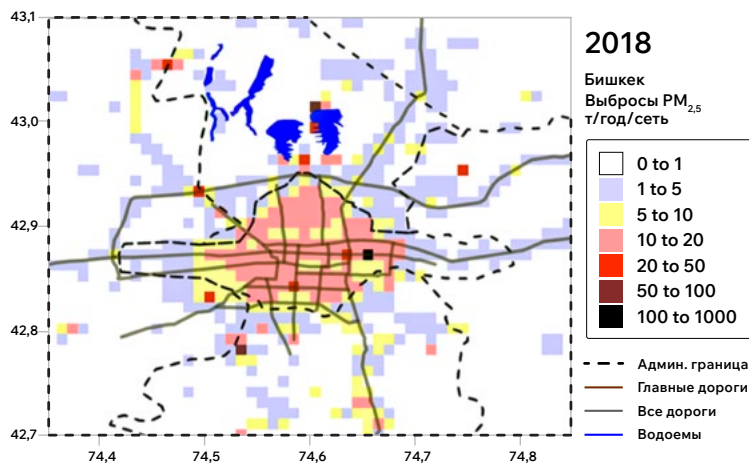
Рисунок 21: Ежемесячные колебания объемов выбросов PM_{2.5} в Бишкеке, по отраслям



Источник: Источник: расчеты, специально выполненные для данной публикации.

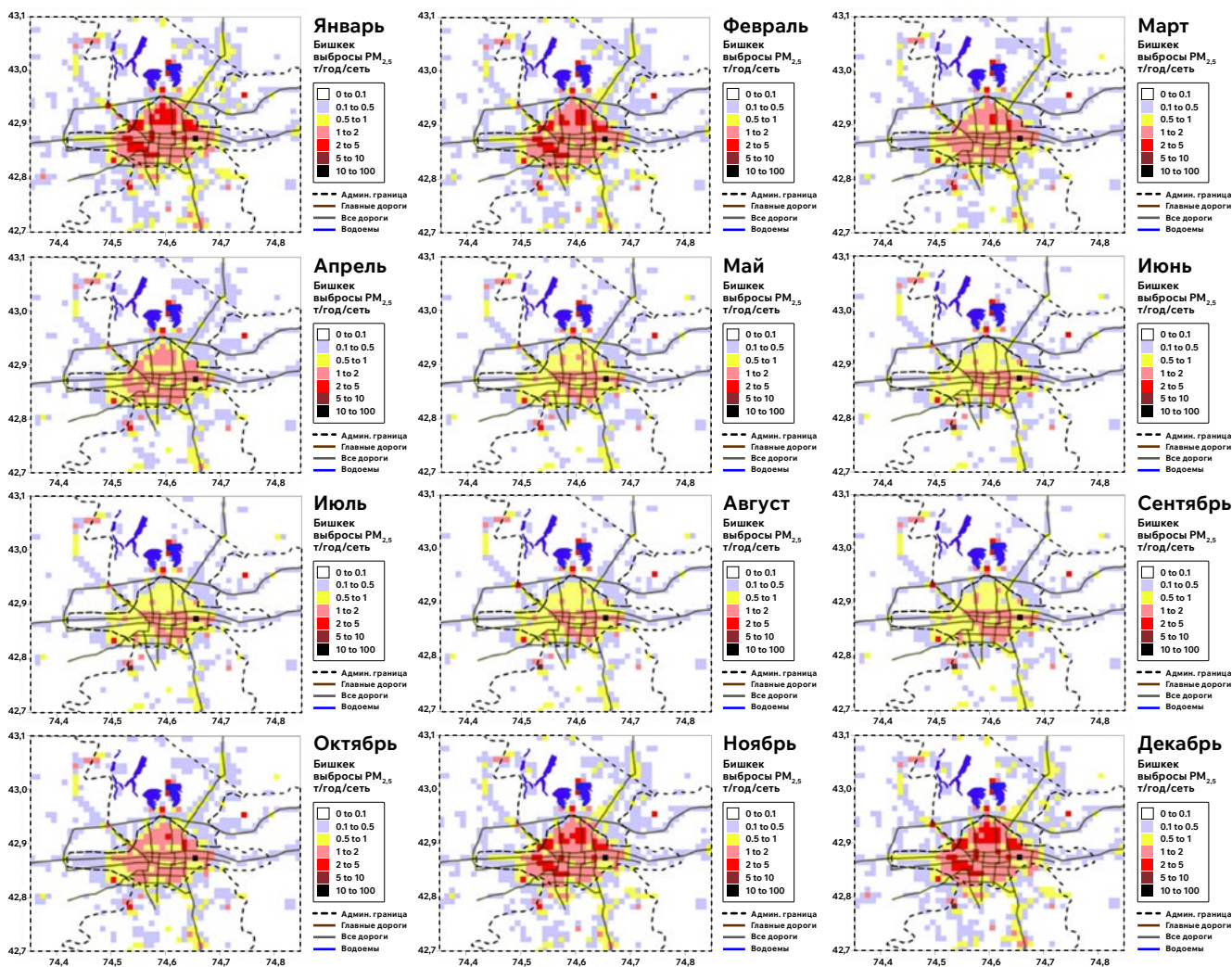
В данном исследовании, помимо распределения выбросов PM_{2.5} в Бишкеке по времени, было проведено картирование выбросов из различных источников с разрешением примерно 1 км². За исходный год при картировании выбросов был взят последний год перед пандемией COVID-19, за который имелись данные, – это позволило избежать искажения пространственного распределения выбросов под воздействием пандемии, прежде всего, выбросов от транспорта в период действия режима самоизоляции. На рисунке 22 показано пространственное распределение выбросов PM_{2.5} в Бишкеке за 2018 год в целом, а на рисунке 23 представлены карты помесячных выбросов.

Рисунок 22: Карта выбросов PM_{2.5} в Бишкеке, 2018 год



Источник: : расчеты, специально выполненные для данной публикации.

Рисунок 23: Карта выбросов $PM_{2.5}$ в Бишкеке, 2018 год, по месяцам



Источник: расчеты, специально выполненные для данной публикации.

Как и ожидалось, самым крупным источником выбросов $PM_{2.5}$ в Бишкеке является ТЭЦ (черная сетка на рис. 22). К числу других крупных единичных источников выбросов $PM_{2.5}$ относятся некоторые карьеры и кирпичные заводы. В целом, большая часть выбросов в воздушном бассейне

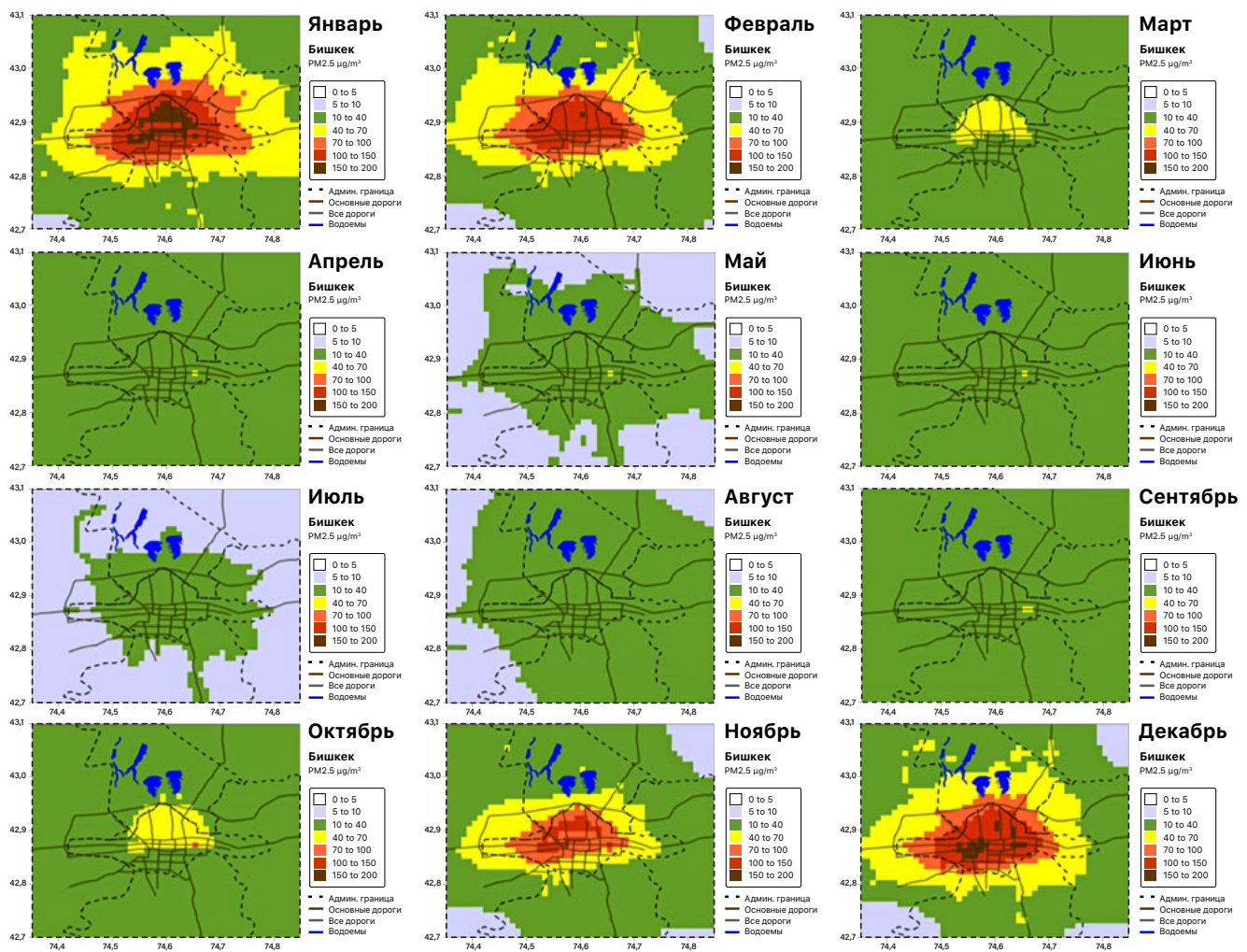
Бишкека происходит в пределах городской черты, вдоль основных дорог и в жилых районах, особенно на севере города, где расположено большее количество ИЖД, использующих для отопления уголь.

5. Анализ моделирования PM_{2,5}

Линейной зависимости между выбросами PM_{2,5} и концентрацией PM_{2,5} не существует. На преобразование выбросов в концентрацию влияет ряд факторов, к числу которых относятся местоположение источника выбросов, особенности источника (высота выброса, температура и скорость газов и т. д.), метеорологические условия и рельеф местности. Поэтому, чтобы определить, как выбросы преобразуются в концентрацию, необходимо про-

вести моделирование с учетом всех этих факторов. В данной главе описаны результаты проведенного в рамках данного исследования моделирования переноса химических веществ с использованием системы CAMx в сочетании с метеорологическими данными WRF. Информация о рассеивании концентраций PM_{2,5} в воздушном бассейне Бишкека и вкладе источников загрязнения в концентрацию PM_{2,5} представлена в последующих разделах.

Рисунок 24: Модель среднемесячного рассеивания PM_{2,5} в Бишкеке, по месяцам



Источник: Источник: расчеты, специально выполненные для данной публикации.

5.1. Рассеивание PM_{2.5}

Пространственно-временная динамическая карта выбросов была соединена с пространственно-временным динамическим слоем метеорологических данных, что позволило провести моделирование с высоким разрешением в почасовом масштабе. В данном исследовании применялась программа CAMx, которая использует метеорологические данные из модели WRF. Подход к моделированию описан в разделе 3.6.

На рисунке 24 показано среднемесячное рассеивание PM_{2.5} по воздушному бассейну Бишкека в 2020–2021 годах. Средняя концентрация PM_{2.5} была смоделирована, и данные о ней имеются для каждой сетки воздушного бассейна (разрешение около 1 км²).

Моделирование рассеивания PM_{2.5} в воздушном бассейне Бишкека показывает, что пик концентрации PM_{2.5} приходится на зимние месяцы, что соответствует данным, полученным от сетей мониторинга качества воздуха. Кроме того, в большинстве районов города в зимний период концентрация PM_{2.5} значительно превышает международные стандарты. В некоторые месяцы, например, в январе и декабре, среднемесячная концентрация PM_{2.5} на значительных территориях Бишкека превышает 150 мкг/м³ (темно-красные области на рис. 24); этот показатель более чем в 10 раз превышает, например, среднесуточные нормативы ВОЗ (15 мкг/м³).

Помимо этого, моделирование рассеивания загрязнений полезно для выявления очагов загрязнения в пределах территории города. Результаты моделирования, представленные на рисунке 24, показывают, что среднемесячная концентрация PM_{2.5} наиболее высока в северной части Бишкека и в некоторых районах на западе и востоке города. Эти районы застроены в основном ИЖД, используемыми для отопления, главным образом, уголь.

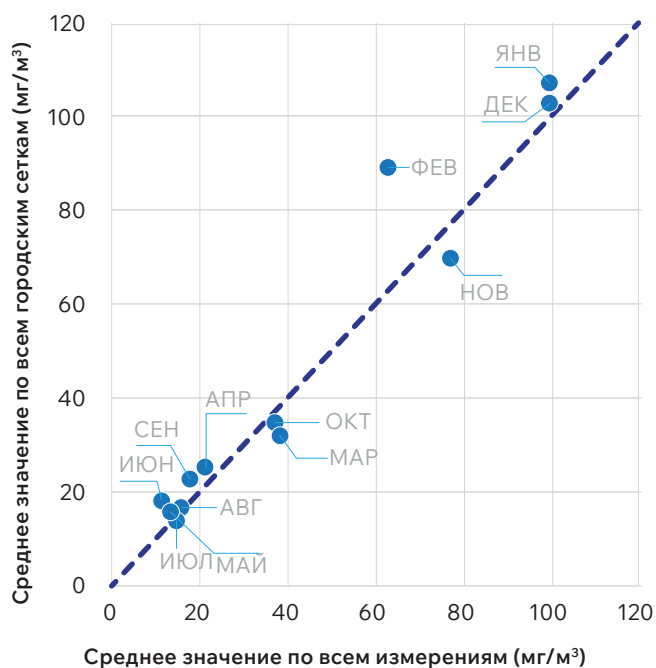
Результаты моделирования, представленные на рисунке 24, показывают также, что концентрация PM_{2.5} в городской черте Бишкека превышает среднегодовой норматив, установленный ВОЗ (5 мкг/м³) в течение всего года, даже в летний период. Поэтому для того, чтобы привести среднего-

довой показатель концентрации PM_{2.5} в Бишкеке в соответствии с нормативами ВОЗ, необходимо осуществлять меры по сокращению выбросов и смягчению последствий выбросов в отношении различных источников загрязнения, снижая тем самым концентрацию PM_{2.5} в каждый месяц года.

5.2. Сопоставление с данными мониторинга качества воздуха

Общепринятой практикой моделирования является сравнение смоделированных показателей концентрации загрязняющих веществ с фактическими, полученными в ходе мониторинга качества воздуха. Результаты моделирования показали хорошее соответствие ($R^2 = 0,94$) с данными мониторинга, и это дает основания утверждать, что данные моделирования, проведенного в данном исследовании, близко соответствуют уровням концентрации PM_{2.5} и динамике их изменения, зафиксированным в Бишкеке в 2020–2021 годах (рисунок 25).

Рисунок 25: Концентрация PM_{2.5} в Бишкеке: моделирование и данные наблюдений



Источник: расчеты, специально выполненные для данной публикации.

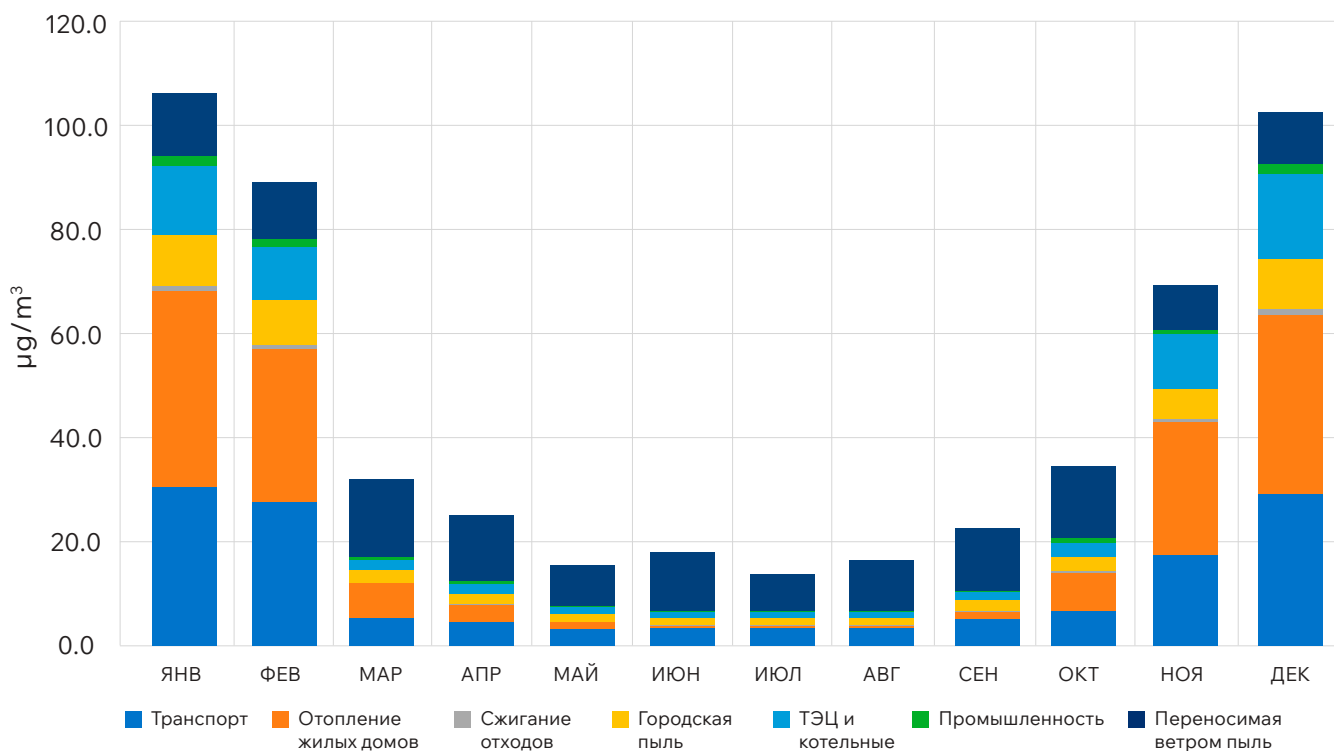
На рисунке 25 показано, что смоделированные показатели концентрации хорошо соответствуют всем данным мониторинга, полученным в рамках данного исследования, а также отражают сезонную динамику загрязнения PM_{2,5} в Бишкеке. Смоделированные среднемесячные значения близко совпадают со среднемесячными показателями концентрации, полученными в результате мониторинга. Более серьезное расхождение между смоделированным показателем среднемесячной концентрации и средним значением, полученным сетями мониторинга, наблюдается только в феврале, тогда как во все остальные месяцы смоделированные и наблю-

даемые показатели концентрации в основном совпадают.

5.3. Вклад источников загрязнения в концентрацию PM_{2,5}

Проведенное в данном исследовании моделирование позволило определить вклад источников загрязнения в концентрацию PM_{2,5} (рис. 26). Как отмечалось в Главе 4, интенсивность работы источников выбросов в течение года непостоянна, и поэтому следует ожидать, что вклад источников загрязнения в концентрацию PM_{2,5} в разные месяцы и сезоны также будет различаться.

Рисунок 26: Смоделированный вклад источников загрязнения в концентрацию PM_{2,5} в Бишкеке, по месяцам, мкг/м³



Источник: расчеты, специально выполненные для данной публикации.

Наибольший вклад в концентрацию PM_{2,5} в зимний период вносит отопление жилых домов – в некоторые зимние месяцы (например, в январе и ноябре) он достигает почти 40 процентов. С

другой стороны, летом, когда концентрация PM_{2,5} в целом ниже, чем зимой, наибольший вклад в концентрацию PM_{2,5} вносит переносимая ветром пыль²⁶. Вклад транспорта в концентрацию PM_{2,5}

²⁶ Переносимая ветром пыль – это частицы, переносимые ветром в Бишкек из соседних районов, например, с сельскохозяйственных угодий и открытых пространств.

колеблется от 17 процентов весной до 30 процентов зимой. Транспорт является вторым по значимости фактором, влияющим на концентрацию $PM_{2.5}$ во все сезоны: зимой он стоит на втором месте после отопления жилых домов, а летом – на втором месте после переносимой ветром пыли.

Совокупный вклад ТЭЦ и котельных в концентрацию $PM_{2.5}$ достигает максимума в зимний период из-за увеличения нагрузки на ТЭЦ и эксплуатации котельных. По результатам моделирования, максимальный совокупный вклад ТЭЦ и котель-

ных в концентрацию $PM_{2.5}$ оценивается в 15 процентов.

Вклад городской пыли, образующейся в результате строительных работ, и взвешенных частиц дорожной пыли в концентрацию $PM_{2.5}$ в течение года достаточно постоянен и колеблется в пределах от 7 до 10 процентов. Вклад промышленных предприятий, за исключением ТЭЦ, и открытого сжигания отходов относительно постоянен в течение года – согласно оценкам, он составляет, соответственно, 2 процента и 1 процент.

6. Влияние мер по сокращению выбросов на концентрацию $PM_{2,5}$ в Бишкеке

С помощью системы моделирования, подробно описанной в разделе 3.6, был проведен сценарный анализ определенных мер по сокращению выбросов, то есть оценка снижения концентрации $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе городской зоны Бишкека в результате реализации различных мер политики и мероприятий. В ходе данного исследования основное внимание уделялось $PM_{2,5}$, поскольку это самый главный загрязнитель воздуха в Бишкеке, оказывающий заметно большее воздействие на здоровье человека, чем другие загрязнители. Кроме того, в исследовании также был оценен потенциал снижения выбросов CO_2 от реализации каждой из смоделированных мер по сокращению выбросов.

6.1. Подход к оценке влияния мер по сокращению выбросов

После создания карт выбросов в разбивке по квадратам сети и наложения на них слоев ГИС для территории Бишкека для оценки влияния мер по сокращению выбросов на концентрацию $PM_{2,5}$ был выполнен ряд дополнительных этапов анализа:

- **Рассмотрение отдельных источников или отраслей – источников выбросов.** В распоряжении лиц, ответственных за разработку мер политики, есть широкий спектр потенциальных решений для улучшения качества атмосферного воздуха. Наиболее распространенный подход – сокращение выбросов из определенного источника или в определенной отрасли – источнике выбросов; именно такой подход был рассмотрен в рамках настоящего исследования. Однако возможны и другие подходы. Например, качество атмосферного воздуха в центре города можно улучшить и без изменения уровня выбросов – за счет увеличения высоты дымоходов или вывода промышленных источников из центра города. Для целей настоящего исследования мы рассматриваем только те меры политики и мероприятия, которые обеспечивают сокращение выбросов, исходя из предположения, что именно они будут наиболее широко применяться для улучшения качества атмосферного воздуха в городе. Однако в будущих исследованиях могут быть рассмотрены и другие подходы, например использование схем организации дорожного движения, которые позволяют не сократить интенсивность дорожного движения, а переместить участок интенсивного движения и, тем самым, место выбросов.
- **Определение параметров той или иной политики или меры.** Все виды политики или меры должны сопровождаться количественными данными об их влиянии на выбросы. Например, политика, направленная на улучшение теплоизоляции жилых домов, должна сопровождаться информацией о соответствующем сокращении потребления топлива для отопления жилых домов и, таким образом, о сокращении выбросов. Кроме того, необходимо учитывать пространственное распределение и изменение значений во времени. В упомянутом примере необходимо будет определить количество домов с улучшенной теплоизоляцией, вид используемого для отопления топлива, а также рассмотреть показатели этой программы за несколько лет. Все это нужно для того, чтобы определить динамику выбросов во времени и в привязке к территории по сравнению с «базовым сценарием». Кроме того, необходимо учитывать сезонные изменения выбросов, поскольку эти данные требуются в качестве исходных для моделирования концентраций загрязняющих веществ. Также

важно понять побочные последствия в виде «эффекта домино». К примеру, политика, стимулирующая перевод жилых домов с угольного отопления на электрическое, приведет к сокращению выбросов в жилом секторе, но при этом повысится спрос на электроэнергию, который может быть удовлетворен за счет увеличения использования возобновляемых источников энергии или увеличения нагрузки на ТЭЦ, – очевидно, что и результаты будут совершенно разные.

- **Определение влияния на концентрацию веществ в окружающей среде.** Уточненные карты выбросов можно использовать в качестве исходных данных для модели, чтобы получить уточненные карты концентраций. Затем их можно сравнить с картами концентраций из «базового сценария», чтобы продемонстрировать снижение концентрации $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе городской зоны Бишкека. Влияние мер политики и мероприятий на среднегодовую концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке – это основной показатель, который использовался для первоначального определения приоритетных мер политики и мероприятий, а на следующем этапе можно провести анализ затрат и выгод и оценить способы реализации.

В настоящем исследовании различные меры политики и мероприятия рассматриваются по отдельности. Это связано с двумя соображениями. Во-первых, цель настоящего исследования состоит в том, чтобы определить те меры политики и мероприятия, которые являются наиболее эффективными с точки зрения снижения концентрации $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе городской зоны Бишкека. В этом состоит лишь первый этап процесса выработки стратегии – помимо него также потребуется оценка сопутствующих затрат, практических аспектов реализации, сопутствующих выгод и потерь, наличия политической готовности и т. д.

Во-вторых, эффекты от разных мер политики и мероприятий нельзя просто взять и сложить. Иными словами, улучшение качества воздуха в результате реализации двух или нескольких мер политики и мероприятий не всегда является суммой отдельно взятых улучшений, поскольку меры могут на-

чать приносить «убывающую отдачу» или частично дублироваться. Таким образом, эффективность мер политики и мероприятий, рассматриваемых по отдельности, можно продемонстрировать в настоящем исследовании, а вот для оценки их сочетания потребуется более подробный анализ после того, как лица, ответственные за разработку политики, укажут те меры политики и мероприятия, которые они хотели бы включить в стратегию управления качеством воздуха.

6.2. Короткий перечень отобранных мер политики и мероприятий

Спектр мер политики и мероприятий, которые можно было бы рассматривать, весьма широк, поэтому было решено составить короткий перечень мер в разбивке по отраслям – основным источникам выбросов. Идея состояла в том, чтобы выбрать ряд мер политики и мероприятий, реализация которых приводит к различным результатам в разных отраслях, а также к различным результатам в рамках одной отрасли в зависимости от масштаба целей политики. Описание мер политики и мероприятий, включенных в данный короткий перечень, приводится в следующих разделах.

6.2.1. Производство электроэнергии и тепла — переход на другие виды топлива, модернизация и использование возобновляемых источников энергии

Бишкекская ТЭЦ – крупный источник выбросов, и вопрос о переводе ТЭЦ на газ является предметом активного обсуждения, поэтому целесообразно включить эту меру в короткий перечень.

Котельные также выбрасывают относительно большой объем загрязняющих веществ и, в отличие от ТЭЦ, размещены по всему городу, а выбросы от них происходят гораздо ближе к приземному уровню. В связи с этим будет полезно включить их в короткий перечень. Выбранный вид политики – перевод с угля на газ; именно эта политика реализуется мэрией города Бишкек.

Помимо вариантов с переходом на иной вид топлива, было бы полезно оценить потенциальные последствия сокращения выбросов одновременно и от ТЭЦ, и от котельных в случае расширения

использования возобновляемых источников для выработки электроэнергии в рамках курса на решение климатических проблем. При этом предполагается, что в связи с ростом производства электричества с использованием возобновляемых источников на него была бы переведена часть жилых домов, которые сейчас отапливаются от котельных.

6.2.2. Сжигание топлива в жилом секторе – теплоизоляция, переход на другие виды топлива, электрическое отопление, использование тепловых насосов

Выбросы от использования топлива в жилом секторе являются крупнейшим источником загрязнения частицами $PM_{2.5}$ в Бишкеке, поэтому в короткий перечень включены несколько видов политики и мер в этой сфере. В системе моделирования используется допущение о том, что ИЖД, не подключенные к сетям централизованного теплоснабжения (главным образом, в северной и западной частях города), отапливаются углем, что влияет на распределение улучшений качества воздуха в результате реализации политики и мер в жилом секторе.

Теплоизоляция домов. Известно, что в Бишкеке есть большое количество ИЖД, теплоизоляция которых может быть значительно улучшена, поэтому в короткий перечень включены консервативный и оптимистичный сценарии повышения ЭЭ в домохозяйствах, использующих уголь для отопления.

Переход на другие виды топлива. Наиболее очевидный вариант перехода на другой вид топлива – это переход с угля на газ, однако есть и другие варианты, которые включены в короткий перечень мер. Внедрение тепловых насосов, возможно, выглядит относительно дорогим решением, однако его реализация обеспечивает значительное сокращение выбросов в жилом секторе при лишь небольшом увеличении потребности в электроэнергии. Ситуация с переходом с угля на электрическое отопление аналогична, с той разницей, что рост потребности в электроэнергии будет выше, чем в сценарии с тепловыми насосами. По каждому из этих трех вариантов в короткий перечень

включены консервативный и оптимистичный сценарии.

6.2.3. Автомобильный транспорт – организация дорожного движения, пылеподавление и ограничение выбросов

Выбросы от автотранспорта вносят большой вклад в концентрацию $PM_{2.5}$ в центре города. Есть много видов политики и мер, которые можно реализовать в секторе автомобильного транспорта, и цель сценариев сокращения выбросов – показать влияние различных видов политики, чтобы помочь оценить их относительные выгоды. При этом потребуются дополнительная работа по конкретизации политики, рассмотрению практических аспектов ее реализации и т. д.

Организация дорожного движения и снижение его интенсивности. Совершенствование планирования дорожного движения и схем его организации может обеспечить сокращение потребности в поездках. Предполагается, что это приведет к совокупному сокращению выбросов от автомобильного транспорта на 10 процентов. Такая простая мера была специально выбрана, чтобы показать, какой результат можно получить путем реализации более подробно проработанных мер политики и мероприятий.

Пылеподавление на автодорогах. Взвесь дорожной пыли – это весьма существенный источник, и существуют способы борьбы с этой проблемой, не связанные со снижением объема дорожного движения. Однако, в целом, существенно уменьшить уровень взвеси пыли в воздухе довольно сложно, поэтому предполагается, что соответствующая политика приведет к сокращению выбросов от этого источника только на 10 процентов.

Ограничение выбросов от легковых автомобилей. Парк легковых автомобилей в Бишкеке относительно старый, и, соответственно, автомобили оборудованы устаревшими системами снижения токсичности выбросов. Кроме того, как известно, широко распространена практика незаконного демонтажа катализаторов. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть политику, направленную на снижение выбросов от легковых

автомобилей за счет применения более эффективных систем снижения токсичности выбросов. Включены консервативный и оптимистичный сценарии, предусматривающие переоборудование старых автомобилей под современные экологические стандарты. Есть много способов реализации такой политики (нормативно-правовое регулирование и правоприменительная практика, стимулы и субсидии и т. д.), но они не рассматриваются в настоящем исследовании. Для планирования фактической реализации потребуется дополнительная проработка этих вариантов.

Ограничение выбросов от маршрутных такси («маршруток»). В связи с распространенностью такого вида транспорта как «маршрутки» представляется целесообразным рассмотреть меры по снижению выбросов от него. Кроме того, реализовать такие меры может быть проще, чем в случае с легковыми автомобилями, поскольку в условия выдачи лицензии на осуществление деятельности владельцев «маршруток», которых меньше, чем владельцев легковых автомобилей, можно включить установку системы снижения токсичности выбросов. Предполагается, что значительная часть «маршруток», не оборудованных системами снижения токсичности выбросов, может быть переоборудована под современные стандарты.

Ограничение выбросов от автобусов. Аналогично ограничению выбросов от «маршруток», за исключением допущения о том, что под современные стандарты можно переоборудовать все автобусы.

Транспортные средства малой грузоподъемности (ТСМГ) и большегрузные транспортные средства (БТС). Как и в случае с ограничением выбросов от легковых автомобилей рассматриваются консервативный и оптимистичный сценарии переоборудования старых ТСМГ и БТС под современные стандарты.

6.2.4. Мусор – сокращение сжигания мусора

С какой-либо степенью точности определить вклад открытого сжигания мусора в концентрацию $PM_{2.5}$ в центре города затруднительно из-за отсутствия подробных данных. В короткий пере-

чень включены два сценария. Первый предполагает введение эффективных ограничений на открытое сжигание мусора, которые приведут к сокращению сжигания на 50 процентов. Второй предполагает полное искоренение открытого сжигания мусора и ликвидацию пожара на мусорном полигоне. Возможно, второй вариант вряд ли осуществим на практике, но его анализ показывает, каким может быть потенциальное влияние запрета на неконтролируемое открытое сжигание мусора.

6.2.5. Озеленение – борьба с пылью из области

Пыль, принесенная из-за пределов городской черты, оказывает существенное влияние на концентрацию $PM_{2.5}$ в центре города, особенно в летние месяцы. Противодействовать этому природному источнику, как правило, очень сложно, но существуют природоохранные и озеленительные программы, предусматривающие, к примеру, посадку растительности, которые помогают частично предотвратить образование взвеси пыли и ее перенос в город. В короткий перечень включены консервативный и оптимистичный сценарии мер борьбы.

6.3. Результаты моделирования мер по сокращению выбросов

В таблице 3 показано снижение среднегодовой концентрации $PM_{2.5}$ в процентах в городской зоне Бишкека в результате полномасштабной реализации каждой отдельно взятой политики или меры. Следует обратить внимание на то, что для полного завершения реализации большинства мер требуется более одного года, однако цель моделирования мер по сокращению выбросов состояла в том, чтобы продемонстрировать относительное влияние различных мер политики и мероприятий, независимо от сроков реализации. Для каждой политики и меры приводится краткое описание с указанием отдельных исходных допущений, которые принимались при определении изменения концентрации $PM_{2.5}$. Чтобы подчеркнуть масштабы положительного влияния используется цветовая шкала: наибольшие значения положительного влияния обозначены зеленым цветом, а наимень-

шие – красным (обращаем внимание, что такие значения влияния на уровень концентрации $PM_{2.5}$ являются все же положительными, хотя и не такими большими по сравнению с влиянием других рассмотренных мер политики и мероприятий).

При интерпретации результатов важно иметь в виду, что указанные значения снижения концентрации $PM_{2.5}$ представляют собой снижение среднегодовой концентрации во всей городской зоне Бишкека. Определенные меры политики и мероприятия могут оказать в одном районе

Бишкека более сильное влияния, чем в другом. Например, из-за того, что уголь для отопления жилых домов используется преимущественно в северной и западной частях города, переход на более экологичные варианты отопления окажет в этих районах более сильное влияние, чем в среднем по городу. Аналогичным образом, некоторые меры могут оказывать более выраженное влияние в определенное время года. Например, наибольшее влияние меры по внедрению более экологически чистых способов отопления жилых домов окажут в зимние месяцы.

Таблица 3: Влияние реализации отдельных мер политики и мероприятий на концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке

Направление деятельности	Мера	Описание	Снижение годовой концентрации $PM_{2.5}$ (%)
Эксплуатация ТЭЦ и котельных	Перевод ТЭЦ с угля на газ	Предполагается, что выработка энергии останется на прежнем уровне, но вместо угольных установок, как сейчас, на ТЭЦ будут применяться современные газовые турбины	8.8
	Перевод котельных с угля на газ	Предполагается, что выработка энергии останется на прежнем уровне, но вместо угольных котлов, как сейчас, все котельные будут оборудованы современными газовыми котлами	2.0
	Увеличение использования энергии из возобновляемых источников	Предполагается, что благодаря внедрению возобновляемых источников энергии выбросы от ТЭЦ и котельных сократятся на 30%	3.9
Отопление жилых домов	Теплоизоляция домов – консервативный сценарий	Предполагается, что благодаря мерам по повышению ЭЭ в 20% домов, где используется уголь, потребности в отоплении снизятся на 33%	1.8
	Теплоизоляция домов – оптимистичный сценарий	Предполагается, что благодаря мерам по повышению ЭЭ в 40% домов, где используется уголь, потребности в отоплении снизятся на 33%	3.3
	Перевод отопления жилых домов с угля на газ – консервативный сценарий	Предполагается, что 20% домов, где используется уголь, будет переведено с угля на современные газовые системы отопления	5.8
	Перевод отопления жилых домов с угля на газ – оптимистичный сценарий	Предполагается, что 40% домов, где используется уголь, будет переведено с угля на современные газовые системы отопления	11.7

Направление деятельности	Мера	Описание	Снижение годовой концентрации PM _{2,5} (%)
Отопление жилых домов	Тепловые насосы в жилых домах – консервативный сценарий	Предполагается, что 20% домов, где используется уголь, перейдут на использование тепловых насосов, что приведет к увеличению выбросов от ТЭЦ (3%)	5.4
	Тепловые насосы в жилых домах – оптимистичный сценарий	Предполагается, что 40% домов, где используется уголь, перейдут на использование тепловых насосов, что приведет к увеличению выбросов от ТЭЦ (6%)	13.0
	Расширенное внедрение электрического отопления в жилых домах – консервативный сценарий	Предполагается, что 20% домов, где используется уголь, перейдут на отопление с помощью электрических котлов, что приведет к увеличению выбросов от ТЭЦ (10%)	4.7
	Расширенное внедрение электрического отопления в жилых домах – оптимистичный сценарий	Предполагается, что 40% домов, где используется уголь, перейдут на отопление с помощью электрических котлов, что приведет к увеличению выбросов от ТЭЦ (20%)	9.3
	Полный переход на экологически чистое отопление	Полная замена угольного отопления на системы отопления с нулевым уровнем выбросов	29.0
Транспорт	Управление дорожным движением	Совокупное сокращение выбросов от транспорта в городе на 10%	2.7
	Пылеподавление на автодорогах	Сокращение выбросов пыли в черте города на 10%	0.8
	Ограничение выбросов от легковых автомобилей – консервативный сценарий	Переоборудование 20% автомобилей с бензиновым двигателем, изготовленных до введения экологических стандартов Евро и не оборудованных катализаторами, под Евро-5, а также 20% автомобилей с дизельным двигателем, изготовленных до введения экологических стандартов Евро и не оборудованных катализаторами, под Евро-5	3.1
	Ограничение выбросов от легковых автомобилей – оптимистичный сценарий	Переоборудование 40% автомобилей с бензиновым двигателем, изготовленных до введения экологических стандартов Евро и не оборудованных катализаторами, под Евро-5, а также 40% автомобилей с дизельным двигателем, изготовленных до введения экологических стандартов Евро и не оборудованных катализаторами, под Евро-5	6.0

Направление деятельности	Мера	Описание	Снижение годовой концентрации PM _{2,5} (%)
Транспорт	Ограничение выбросов от «маршруток»	Переоборудование 40% дизельных ТСМГ, изготовленных до введения экологических стандартов Евро и не оборудованных ДСФ или катализатором, под Евро-VI	1.2
	Ограничение выбросов от автобусов	Переоборудование всех автобусов под Евро-VI	0.2
	Ограничение выбросов от ТСМГ и БТС	Переоборудование 40% дизельных ТСМГ, изготовленных до введения экологических стандартов Евро и не оборудованных ДСФ, и 40% БТС под Евро-VI	3.1
	Совокупность всех мер в сфере транспорта	Совокупное влияние всех смоделированных мер в сфере транспорта (оптимистичные сценарии)	13.0
	Полный переход на эксплуатацию транспортных средств с нулевым уровнем выбросов	Полный переход на эксплуатацию транспортных средств с нулевым уровнем выбросов, затрагивающий весь парк транспортных средств	27.0
Сжигание мусора	Ограничение открытого сжигания мусора	Предполагается, что объемы открытого сжигания мусора сократятся на 50%	0.6
	Искоренение открытого сжигания мусора, в том числе на свалках	Предполагается достижение нулевого уровня выбросов от сжигания на свалках и открытого сжигания мусора	1.0
Озеленение ^b	Природные ограничители образования пыли – консервативный сценарий	Предполагается, что выбросы пыли в области сократятся на 5%	1.2
	Природные ограничители образования пыли – оптимистичный сценарий	Предполагается, что выбросы пыли в области сократятся на 10%	2.1

Источник: расчеты, специально выполненные для данной публикации.

Примечание: ДСФ = дизельный сажевый фильтр; а. Для мероприятий по отоплению жилых домов, предусматривающих переход на использование электроэнергии для отопления (например, тепловые насосы и отопление с помощью электрических радиаторов), был смоделирован дополнительный спрос на электроэнергию от существующей ТЭЦ. Выбросы от ТЭЦ зависят от вида топлива, используемого для выработки электроэнергии; б. Мероприятия по озеленению используются в качестве природных ограничителей образования пыли и в первую очередь воздействуют на пыль, переносимую ветром.

6.4. Меры по сокращению выбросов: краткий обзор

Ниже приводятся выводы по каждому из сценариев сокращения выбросов в результате применения мер политики и мероприятий, включенных в короткий перечень. В качестве показателя для первоначального

определения приоритетных мер политики и мероприятий в настоящем исследовании использовалась оценка их влияния на среднегодовую концентрацию PM_{2,5} в Бишкеке. Как видно из таблицы 3,

наибольший вклад в снижение концентрации $PM_{2.5}$ дает полная замена угольного отопления в ИЖД на системы отопления с нулевым уровнем выбросов. Поэтому данный сценарий рассматривается как приоритетный сценарий с высокой степенью воздействия. Однако, учитывая то значительное снижение концентрации $PM_{2.5}$, которого необходимо добиться для приведения концентрации $PM_{2.5}$ к нормативам ВОЗ, очевидно, что ни одна политика в отдельности не может обеспечить требуемое снижение. Более того, не существует ни одной отрасли – источника выбросов, сосредоточившись на которой, можно было бы обеспечить необходимое сокращение выбросов $PM_{2.5}$. Можно было бы предложить стратегию улучшения качества воздуха в Бишкеке, которая предусматривала бы реализацию наиболее эффективных или простых мер в одной конкретной отрасли – источнике выбросов, однако очевидно, что необходима такая стратегия, которая будет обеспечивать существенное сокращение выбросов в целом ряде отраслей – источниках выбросов. Поэтому успешная стратегия улучшения качества воздуха в Бишкеке должна быть «комплексной» по своему охвату.

6.4.1. Производство электроэнергии и тепла — переход на другие виды топлива, модернизация и использование возобновляемых источников энергии

В настоящем исследовании рассматривается влияние ТЭЦ на городскую зону Бишкека в целом. Результаты моделирования (таблица 3) показывают, что меры по сокращению выбросов от ТЭЦ оказывают ощутимое влияние на концентрацию $PM_{2.5}$ в городе. Перевод оставшихся угольных котельных на другой вид топлива также оказал бы положительное влияние на качество воздуха в Бишкеке.

Поскольку для приведения среднегодовой концентрации $PM_{2.5}$, которая сейчас составляет около 51 мкг/м^3 , к среднегодовому уровню, хотя бы примерно приближенному к рекомендованным ВОЗ 5 мкг/м^3 , необходимо весьма значительное снижение концентрации $PM_{2.5}$, представляется вероятным, что потребуются реализация мер по ограничению выбросов как на ТЭЦ, так и на котельных. Кроме того, ограничить выбросы из этих

источников не так сложно по сравнению с некоторыми другими источниками, поскольку технологии ограничения выбросов уже существуют, а количество самих отдельных источников невелико. Вместе с тем, необходимо учитывать, что представленная здесь как пример мера – переход на газ – имеет политические аспекты.

6.4.2. Сжигание топлива в жилом секторе – теплоизоляция, переход на другие виды топлива, электрическое отопление, использование тепловых насосов

Теплоизоляция домов. Улучшение теплоизоляции домов обычно является одной из наиболее приоритетных мер в большинстве городов. Она приводит и к улучшению качества воздуха, и к сокращению выбросов ПГ. Однако в настоящем исследовании было установлено, что влияние этой меры относительно небольшое по сравнению с другими потенциальными решениями. Отчасти это связано с тем, что, в отличие от многих других городов мира, здесь еще не были исчерпаны и могут быть использованы те возможности повышения ЭЭ, которые дают максимальную отдачу. Улучшение теплоизоляции домов – это пример политики, которую можно легко реализовать в дополнение к таким потенциальным решениям, как переход на другой вид топлива.

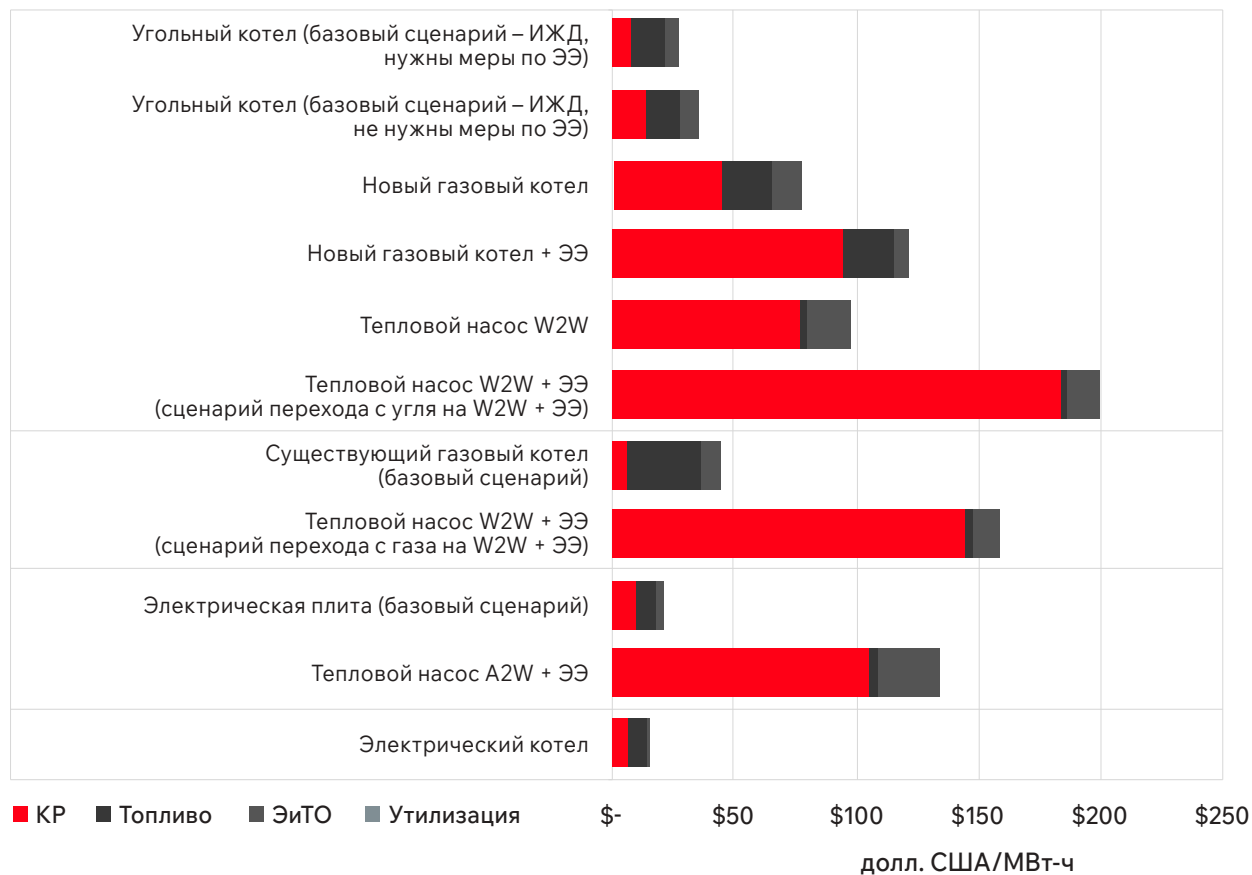
Переход на другие виды топлива. Вполне ожидаемо, меры политики, предусматривающие переход на другой вид топлива в жилом секторе, относятся к мерам с наиболее сильным влиянием, поскольку выбросы в жилом секторе вносят очень большой вклад в концентрацию $PM_{2.5}$ в «базовом сценарии». Разница между различными вариантами перехода на другой вид топлива, которые были рассмотрены в настоящем исследовании, относительно невелика, и у каждого из них есть свои преимущества и недостатки с точки зрения стоимости, простоты реализации и т. д. Однако важно иметь в виду, что представленные здесь меры политики имеют масштабный характер. Например, обеспечить переход 40 процентов домохозяйств, использующих для отопления уголь, на другой вид топлива, будет весьма серьезной задачей.

Вставка 3: Стоимость вариантов отопления, которыми можно было бы заменить использование угля в индивидуальных жилых домах в Бишкеке

В рамках проводимой сейчас Всемирным банком оценки «Исследование вариантов отопления в Бишкеке» была рассчитана нормированная стоимость отопления (НСО), как финансовая, так и экономическая, для различных вариантов отопления. Затем было проведено ранжирование альтернативных вариантов замены угольного отопления в ИЖЛ с учетом таких факторов, как приемлемость эксплуатационных расходов (ЭР), доступность технологии отопления, которой можно заменить уголь, сокращение выбросов CO₂ на один вложенный доллар США, а также снижение выбросов PM_{2.5} на один вложенный доллар США.

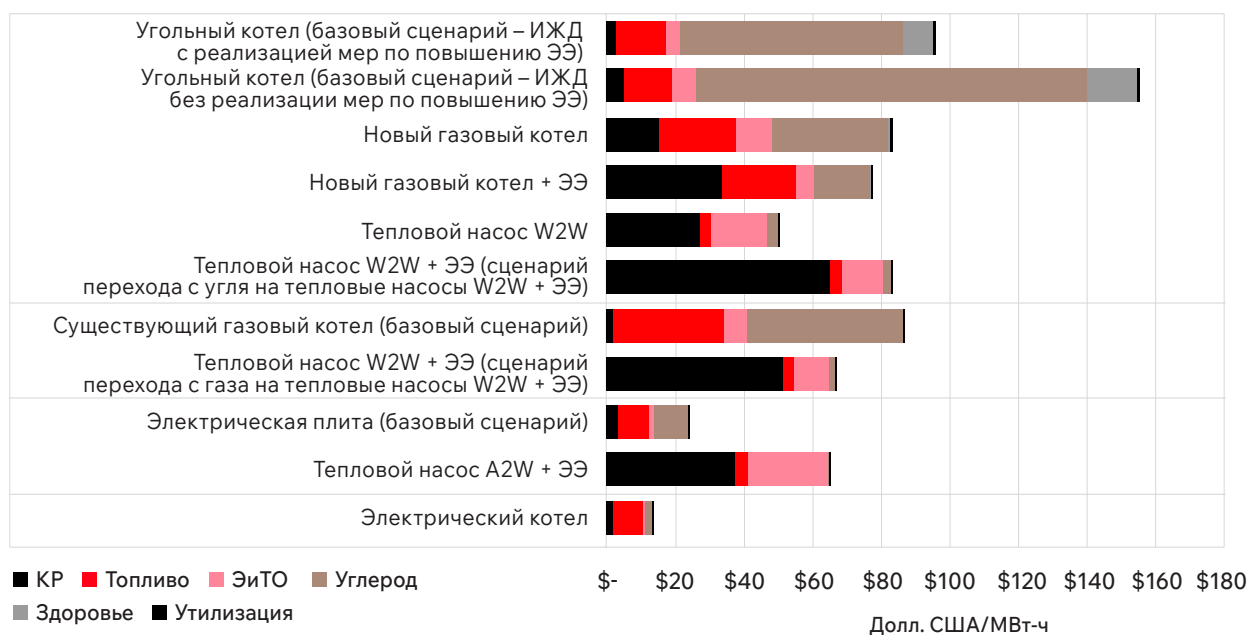
Расчет финансовой НСО для всех вариантов отопления в ИЖД показывает, что конкурировать с использованием угля для отопления, как это предусмотрено базовым сценарием, могут только электрические котлы. Такой результат во многом объясняется тем, что эти альтернативные варианты отопления связаны с высокими начальными капитальными расходами (КР), которые превышают существенную экономию затрат на топливо от некоторых из этих альтернативных вариантов. При этом самыми выгодными решениями в плане КЗ являются электрические и газовые котлы, а в плане ежемесячных затрат на топливо – тепловые насосы, как водо-водяные (W2W), так и воздушно-водяные (A2W) (рисунок 27).

Рисунок 27: Финансовая НСО для ИЖД в Бишкеке



Расчеты экономической НСО для ИЖД, напротив, показывают выгодность всех вариантов по сравнению с использованием угольных котлов по базовому сценарию. При этом варианты с использованием газа все так же сопряжены с повышенными расходами на топливо, а варианты с тепловыми насосами – с более высокими КР, однако более высокая стоимость данных вариантов в этой части в сравнении с использованием угля для отопления компенсируется экономией от снижения выбросов углерода и воздействия $PM_{2.5}$ на здоровье человека. Электрические плиты – единственная технология из базового сценария, у которой нет экономически оправданной альтернативы, поскольку потенциально достижимое снижение выбросов не компенсирует более высокие КР, связанные с использованием альтернативных вариантов. Аналогичным образом, новые электрические котлы – более выгодное решение по сравнению с любым базовым сценарием, и их можно использовать, чтобы заменить уголь или газ (рисунок 28).

Рисунок 28: Экономическая НСО для ИЖД в Бишкеке



Источник: Всемирный банк.

На основе результатов финансового и экономического анализа НСО, а также оценок приемлемости ЭР (топливо, эксплуатация и техническое обслуживание) для домохозяйств, доступности предлагаемой технологии, экономии от снижения выбросов CO_2 и $PM_{2.5}$ было выполнено ранжирование вариантов отопления, альтернативных базовому сценарию использования угля для отопления ИЖД (рисунок 29). Лучшее решение, которым можно было бы заменить уголь для отопления ИЖД, – это электрические котлы, на втором месте – тепловые насосы типа A2W. За этими решениями следуют варианты с новыми газовыми котлами и тепловыми насосами W2W, а затем все остальные варианты, предусматривающие меры повышения ЭЭ, которые уступают в оценке из-за более высоких КР. Вместе с тем, следует отметить, что более высоко оцененные варианты обеспечат реализацию всего потенциала экономии, только если здания соответствуют базовым требованиям к энергоэффективности, чего нельзя сказать про все ИЖД.

Рисунок 29: Ранжирование вариантов отопления, которыми можно было бы заменить использование угля в ИЖД в Бишкеке

	Финансовая НСО	Экономическая НСО	Приемлемость ЭР для домохозяйств	Доступность услуги/технологии	Потенциальная экономия от сокращения выбросов CO ₂	Потенциальная экономия от сокращения выбросов PM _{2,5}	Общая оценка
Новый газовый котел	Долл. США/м ²	Долл. США/м ²	Долл. США/м ²	Описание	тонн CO ₂ /год/1000 долл. США	г PM _{2,5} /м ² /долл. США	Все оценки имеют равные веса
Новый газовый котел + ЭЭ	\$4.15	\$(7.20)	\$3.23	Зона обслуживания Газпрома	3.69	0.20	3
Тепловой насос «вода-вода»	\$20.96	\$(0.33)	55.51		0.82	0.04	7
Тепловой насос W2W + ЭЭ	\$6.23	5(10.47)	\$2.07	Ограничено геотермальным потенциалом	2.98	0.12	4
Тепловой насос A2W + ЭЭ	\$22.77	\$(5.21)	\$2.18		0.91	0.04	6
Электрический котел	\$5.10	\$(11.86)	\$2.18	Везде	3.07	0.12	2
Electric Boiler	\$1.75	\$(10.75)	53.06		10.01	0.41	1

Источник: Всемирный банк.

6.4.3. Автомобильный транспорт – организация дорожного движения, пылеподавление и ограничение выбросов

Выбросы PM_{2,5} от транспорта, включая ресуспензию дорожной пыли, аналогичны выбросам PM_{2,5} в жилом секторе, однако влияние мер политики в этом секторе оказывается меньшим, чем в жилом секторе. Отчасти это объясняется подходом к анализу и представлению данных. Для разных видов транспортных средств – легковых автомобилей, «маршруток», автобусов, ТСМГ и БТС – рассматривались отдельные меры политики. Если рассматривать их в совокупности, то есть взять сценарий сокращения выбросов от всех автотранспортных средств, то результирующее воздействие будет сопоставимо с влиянием наиболее действенных мер политики в жилом секторе. Однако с учетом того, что автотранспортные средства разных видов находятся в собственности у разных категорий владельцев, целесообразно рассматривать меры политики по ограни-

чению выбросов в этом секторе по отдельности.

Организация дорожного движения и снижение его интенсивности. Понимание воздействия этой меры политики дает возможность рассмотреть в более широком контексте другие меры политики по сокращению выбросов. Современные технологии ограничения выбросов, применяемые в автотранспортных средствах, настолько эффективны, что для того, чтобы добиться эффекта, аналогичного эффекту от таких технологий, потребуется весьма существенное снижение интенсивности дорожного движения. Именно поэтому в других странах в целях обеспечения низкого уровня выбросов в расчете на один километр внедряются меры политики, которые направлены в первую очередь на обеспечение того, чтобы новые транспортные средства, появляющиеся на дорогах, соответствовали самым современным экологическим стандартам, а существующие автомобили соответствовали как минимум тем стандартам, которые существовали на момент их изготовления. И только после введения и обе-

спечения соблюдения этих мер власти обычно начинают рассматривать возможность ограничения интенсивности движения транспорта в городах путем взимания платы за проезд по самым загруженным улицам или создания зон с низким уровнем выбросов. Такие меры политики нужны для дополнительного сокращения выбросов, когда большая часть парка уже состоит из автомобилей с современными системами ограничения выбросов, и потенциал сокращения выбросов в этом плане уже исчерпан.

Пылеподавление на автодорогах. Этот источник выбросов является значительным, однако предполагается, что в результате реализации соответствующей политики выбросы снизятся лишь на 10 процентов, поскольку бороться с этой проблемой трудно. В связи с этим общее влияние на концентрацию $PM_{2.5}$ относительно невелико.

Ограничение выбросов от легковых автомобилей. Влияние этих мер довольно велико не только потому, что автомобильный транспорт – это один из серьезных источников выбросов $PM_{2.5}$, но и потому, что переоборудование автомобиля, изготовленного до введения стандартов Евро, на стандарт Евро-5, приводит к очень существенному снижению объема выбросов в расчете на один километр. Включение той или иной политики, направленной на сокращение выбросов от автомобилей, в общегородскую стратегию улучшения качества воздуха представляется целесообразным.

Ограничение выбросов от «маршруток» и автобусов. Меньшее воздействие, по сравнению с легковыми автомобилями, связано с разницей в количестве транспортных средств и, соответственно, в пробеге. Однако добиться приведения этих транспортных средств в соответствие с более высокими экологическими стандартами, вероятнее всего, будет относительно легко, поэтому для целей стратегии улучшения качества воздуха представляется целесообразным рассмотреть меры политики по ограничению выбросов от общественного транспорта.

ТСМГ и БТС. По степени воздействия политика ограничения выбросов от ТСМГ и БТС находится между аналогичными мерами в отношении легковых автомобилей и «маршруток»/автобусов,

поэтому эта мера представляется эффективным способом существенного воздействия на концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке. В связи с этим включение той или иной политики, направленной на сокращение выбросов от ТСМГ и БТС, в комплексную стратегию улучшения качества воздуха также было бы оправдано.

6.4.4. Мусор – сокращение сжигания мусора

Выбросы от открытого сжигания мусора относительно невелики по сравнению с большинством других источников выбросов. В связи с этим даже в случае снижения этих выбросов до нуля влияние на концентрацию $PM_{2.5}$ будет небольшим в сравнении с эффектом от других мер политики. Кроме того, добиться реализации подобной меры политики будет особенно сложно.

6.4.5. Озеленение – борьба с пылью из области

Влияние этих сценариев на концентрацию $PM_{2.5}$ незначительно, но этот вариант заслуживает дополнительного рассмотрения. В качестве следующего шага можно собрать информацию, показывающую, насколько практична посадка растительности и другие методы борьбы с пылью в районах, расположенных с наветренной стороны от города, чтобы обеспечить сокращение объемов переноса в город природной пыли на 5–10 процентов. Необходим дополнительный анализ происхождения переносимой ветром пыли, которая попадает в Бишкек. Пыль может переноситься из близлежащих районов, например, с деградированных земель и сельскохозяйственных полей, из карьеров или котлованов, однако, поскольку мелкие частицы могут разноситься на сотни километров, для эффективного определения источников переносимой ветром пыли, попадающей в Бишкек, в целях принятия национальных и транснациональных мер могут потребоваться дополнительные исследования.

6.4.6. Позитивное и негативное влияние на объем выбросов CO_2

Почти все смоделированные меры по сокращению выбросов $PM_{2.5}$ обеспечивают сопутствующие вы-

годы в виде сокращения выбросов CO₂ (см. более подробную информацию в Приложении 1). Примечательным исключением являются меры, предусматривающие переход с угольного отопления на отопление с использованием электрических радиаторов. Электрические обогреватели и радиаторы – не самые эффективные электрические отопительные приборы, которые могут потреблять много энергии, особенно в сравнении с более эффективными вариантами электрического отопления, например, тепловыми насосами. Поскольку переход на электрические обогреватели и/или радиаторы приведет к росту потребления электроэнергии, вырабатываемой Бишкекской ТЭЦ, работающей на угле, реализация этой меры окажет небольшое негативное воздействие на объем выбросов CO₂. Также следует отметить, что данное небольшое негативное воздействие на объем выбросов CO₂ в случае реализации этой меры обусловлено использованием угля на Бишкекской ТЭЦ. Если ТЭЦ будет переведена на менее углеродоемкое топливо, то ожидается, что даже переход на электрические обогреватели принесет сопутствующие выгоды в виде сокращения выбросов CO₂.

Если рассматривать смоделированные меры по сокращению выбросов PM_{2,5} по отдельности, то

наибольшие сопутствующие выгоды в виде сокращения выбросов CO₂ приносит полный переход на эксплуатацию транспортных средств с нулевым уровнем выбросов в Бишкеке. На втором месте по величине сопутствующих выгод в виде сокращения выбросов CO₂ – перевод Бишкекской ТЭЦ, работающей на угле, на газ. Из всех смоделированных мер, представленных в настоящем исследовании, на третьем месте по величине сопутствующих выгод в виде сокращения выбросов CO₂ находится совокупность всех мер в области транспорта, за исключением крайнего варианта, предполагающего полный переход на эксплуатацию транспортных средств с нулевым уровнем выбросов.

В целом, анализ воздействия мер по сокращению выбросов PM_{2,5} на выбросы CO₂ показывает, что загрязнение частицами PM_{2,5} и выбросы CO₂ в основном происходят от разных источников, и для их сокращения, соответственно, требуются разные приоритетные меры. В связи с этим при разработке мер политики в области качества воздуха важно не только добиваться максимальной синергии с мерами политики в области изменения климата, но и учитывать возможные негативные последствия и бороться с ними.

7. Обзор системы управления качеством воздуха (СУКВ) в Кыргызской Республике

7.1. Введение

Как отмечено в разделе 6, моделирование сценариев сокращения выбросов показывает, что для существенного улучшения качества воздуха в Бишкеке необходим сбалансированный подход, предусматривающий реализацию мер в нескольких секторах. Следовательно, важное значение с точки зрения обеспечения эффективности и результативности реализации мер по сокращению выбросов имеет укрепление общей СУКВ на национальном и местном уровнях. В связи с этим одновременно с технической работой были также проведены обзор и оценка общей СУКВ в Кыргызской Республике в целом и, в частности, в Бишкеке.

Для полноты в настоящем отчете приводятся основные выводы по итогам обзора СУКВ в качестве основы для обсуждений с заинтересованными сторонами, особенно с соответствующими министерствами и государственными ведомствами, по вопросам укрепления общей СУКВ, включая разработку Генерального плана улучшения качества воздуха.

7.2. Выводы по итогам оценки существующей СУКВ в Кыргызской Республике

Были рассмотрены существующие функции и обязанности различных государственных структур, имеющих непосредственное отношение к управлению качеством воздуха, а также соответствующие связи между ними. Особое внимание было уделено анализу деятельности МПРЭТН, поскольку именно это ведомство отвечает за большинство

соответствующих мероприятий, что отражено на рисунке 30, однако в ходе обзора также были рассмотрены функции и обязанности Министерства здравоохранения, Министерства чрезвычайных ситуаций, Министерства энергетики, Министерства транспорта, а также обязанности на субнациональном уровне.

Для выявления недостатков и областей для улучшения текущий объем и организационная структура существующих функций по управлению КВ были сопоставлены с идеальной моделью. Из наиболее существенного можно отметить следующее:

- Существенного улучшения требуют технические инструменты, обеспечивающие оценку КВ, например, для инвентаризации выбросов, мониторинга окружающей среды, моделирования рассеивания и исследования воздействия на здоровье человека.
- Необходимо существенно улучшить процесс планирования стратегии, основываясь на фактических данных. Для определения потенциального влияния различных мер политики и мероприятий в рамках исследования была проведена количественная оценка выбросов при различных сценариях.
- Необходимо актуализировать некоторые стандарты КВ и методы измерения, используемые для количественной оценки выбросов.
- Необходимо усовершенствовать структуру управления КВ в целом путем создания межведомственного комитета высокого уровня, который будет обеспечивать эффективную координацию и контроль деятельности по управлению КВ во всех министерствах.

²⁷ World Bank. 2023. The Air Quality Management System in the Kyrgyz Republic: A Review of Institutional Arrangements, forthcoming.

Рисунок 30: Функции и обязанности МПРЭТН в области управления КВ.



Таблица 4: Основные учреждения, помимо МПРЭТН, отвечающие за управление качеством воздуха

Учреждение	Функции, связанные с управлением качеством воздуха
Министерство здравоохранения	Отвечает за разработку стандартов качества воздуха
Агентство «Кыргызгидромет» при Министерстве чрезвычайных ситуаций	Отвечает за мониторинг качества воздуха, развитие технического потенциала для анализа качества воздуха, моделирования и прогнозирования качества воздуха.
Министерство энергетики	Отвечает за разработку политики и нормативных актов, касающихся энергетики, в том числе сферы производства тепловой и электрической энергии.
Министерство транспорта и коммуникаций	Отвечает за разработку политики и нормативных актов, касающихся транспортной отрасли, выработку технических стандартов и проведение проверок автотранспортных средств.
Мэрия города Бишкек	Отвечает за управление различными видами деятельности на местном уровне, такими как: городское планирование и развитие, управление котельными и теплосетями в Бишкеке, управление дорожным движением в Бишкеке, общественный транспорт, инспекция малых предприятий, управление отходами, озеленение.

Source: Original elaboration for this publication.

Затем были определены приоритетные мероприятия по совершенствованию существующей СУКВ с точки зрения укрепления технического потенциала, разработки мер политики, управления ими и их координации. Данные вопросы рассматрива-

ются в следующем разделе. Этот раздел может служить планом действий на переходный период в целях привлечения внешних инвестиций или финансирования, а также для определения направлений расходования уже имеющихся средств.

7.3. Рекомендуемые мероприятия и дальнейшие шаги

В ходе анализа СУКВ был определен ряд мер и действий, которые представлены в таблице 4. Первоочередные действия в основном связаны с укреплением потенциала и техническим обучением. Помимо перечисления рекомендуемых действий и мер, также даются оценки относительно

важности мероприятий, предполагаемого срока реализации и объема требуемых ресурсов, что должно помочь определить те действия, которые являются приоритетными и которые следует включить в Генеральный план улучшения качества воздуха в Бишкеке.

Таблица 5: Рекомендуемые приоритетные мероприятия по укреплению существующей СУКВ

ТРЕБУЕТСЯ БЕЗОТЛАГАТЕЛЬНО	
Реформы политики	
<p>Формирование Межведомственного координационного комитета по качеству воздуха</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Критически важно ▪ Требуется безотлагательно, но реализация может занять до 6 месяцев ▪ Необходимость в надзоре на высоком уровне ▪ На техническом уровне может работать под руководством заместителя премьер-министра или другого высокопоставленного представителя правительства Кыргызской Республики с полномочиями в области управления качеством воздуха. ▪ Внешние ресурсы не требуются.
<p>Определение задач, обязанностей и структур на государственном уровне для обеспечения эффективного функционирования СУКВ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Критически важно. Предварительным условием является создание Межведомственного координационного комитета по качеству воздуха (как указано выше). ▪ Требуется безотлагательно, но реализация может занять более 12 месяцев ▪ Эта работа должна осуществляться под руководством координационного комитета (см. выше) ▪ Внешние ресурсы не требуются.
СРОЧНЫЕ мероприятия, которые следует включить в Генеральный план улучшения качества воздуха	
Реформы политики	
<p>Создание группы по разработке политики в области качества воздуха (разработка целевых показателей, определение мер политики и мероприятий, планирование улучшения качества воздуха и отслеживание прогресса)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Срочно – необходимо начать работу сразу после завершения разработки Генерального плана улучшения качества воздуха или еще раньше. ▪ Критически важно. Это один из основополагающих компонентов СУКВ, который должен быть создан. ▪ Процесс обучения и создания может занять несколько месяцев. ▪ Средний объем инвестиций.
<p>Разработка стандартов и целевых показателей качества воздуха</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Срочно – необходимо начать работу сразу после завершения разработки Генерального плана улучшения качества воздуха или еще раньше. ▪ Критически важно. Это один из основополагающих компонентов СУКВ, который должен быть создан. ▪ Процесс обучения может быть завершен в течение менее чем одного месяца. ▪ Незначительные инвестиции.

Мероприятия	
Развитие сети и платформы данных для мониторинга качества атмосферного воздуха	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Срочно – работа уже начата ▪ Критически важно. Это один из основополагающих компонентов СУКВ, и безотлагательный сбор достоверных данных – приоритетная задача. ▪ Эта работа может осуществляться под руководством «Кыргызгидромет» (работа уже начата) ▪ Процесс обучения и осуществления инвестиций в оборудование для мониторинга уже начался. Обучение, вероятнее всего, займет несколько месяцев. ▪ Относительно крупные инвестиции.
Техническое содействие	
Создание группы специалистов по качеству воздуха и инвентаризации выбросов в атмосферу и платформ данных	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Срочно – консультанты Всемирного банка уже провели определенную работу, но основная работа по повышению потенциала должна начаться после завершения разработки Генерального плана улучшения качества воздуха (или еще раньше) ▪ Критически важно, поскольку это один из основополагающих компонентов СУКВ, и безотлагательный сбор достоверных данных – приоритетная задача. ▪ Обучение и процесс создания лучше всего организовать в рамках нескольких ежегодных циклов. ▪ Средний объем инвестиций, с использованием результатов работы, уже проделанной ПРООН/ЮНЕП и Всемирным банком.
Разработка коммуникационной стратегии по качеству воздуха	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Срочно – определенная работа уже проведена, но разработка Генерального плана улучшения качества воздуха дает возможность сформулировать комплексную коммуникационную стратегию по качеству воздуха. ▪ Средний приоритет – крайне полезный компонент СУКВ и необходимый в случае принятия экстренных мер ▪ Подготовка стратегии должна пройти быстро, равно как и последующее внедрение, которое займет 1–2 месяца или дольше. ▪ Относительно небольшие инвестиции.
СРЕДНЕСРОЧНЫЕ мероприятия, которые следует включить в Генеральный план улучшения качества воздуха, при этом объем требуемых инвестиций должен быть определен в инвестиционном плане	
Реформы политики	
Разработка законодательства и развитие потенциала по измерению параметров источников: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Группа специалистов по промышленности и жилому сектору ▪ Группа специалистов по автомобильному транспорту 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Среднесрочная задача – необходимо начать работу в течение 12 месяцев после завершения разработки Генерального плана улучшения качества воздуха или раньше. ▪ Высокий приоритет ▪ Предложение по актуализации законодательства можно подготовить быстро, но реализация может занять длительное время. Оборудование может быть поставлено относительно быстро, а последующее обучение можно провести за несколько месяцев. ▪ Относительно крупные инвестиции.

Техническое содействие	
Развитие потенциала мэрии Бишкека по управлению качеством воздуха	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Среднесрочная задача – необходимо начать работу в течение 12 месяцев после завершения разработки Генерального плана улучшения качества воздуха или раньше. ▪ Средний приоритет – крайне полезный компонент для эффективного управления качеством воздуха в Бишкеке ▪ Эта работа может осуществляться под руководством мэрии Бишкека ▪ Обучение, посвященное разработке плана улучшения качества воздуха, может занять больше времени, возможно, несколько месяцев. ▪ Относительно небольшие инвестиции.
Развитие потенциала по моделированию рассеивания/переноса выбросов	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Среднесрочная задача – необходимо начать работу в течение 12 месяцев после завершения разработки Генерального плана улучшения качества воздуха или раньше. ▪ Высокий приоритет ▪ Потребуется обучение на протяжении нескольких месяцев ▪ Средний объем инвестиций.

Источник: анализ, специально проведенный для данной публикации.

Основным ведомством, отвечающим за общую СУКВ в Кыргызской Республике, является МПРЭТН. Однако, помимо МПРЭТН, существуют различные учреждения, отвечающие за реализацию смоделированных мер по сокращению выбросов. В таблице 5 предлагается определить основные учреждения, которые могли бы участвовать в реализации смоделированных мер по сокращению выбросов, и подчеркивается необходимость в межведомственной координации управления качеством воздуха.

Помимо институциональных заинтересованных сторон, отвечающих за реализацию мер по сокращению выбросов, к осуществлению таких мер можно было бы привлечь различные субъекты

частного сектора. Например, правительства обычно привлекают коммерческие банки к финансированию мероприятий по повышению энергоэффективности и внедрению экологически чистых способов отопления жилых домов. Другие субъекты частного сектора, такие как компании по сбыту и монтажу тепловых насосов и газораспределительные компании, также могут способствовать реализации мер по сокращению выбросов. Сектор гражданского общества можно было бы привлечь к разъяснению общественной необходимости мер по сокращению выбросов для улучшения качества воздуха и к распространению информации о доступном финансировании таких мер.

Таблица 6: Основные учреждения, ответственные за реализацию мер по сокращению выбросов

Направление деятельности	Мера	Актуальность с точки зрения управления качеством воздуха	Основное ответственное учреждение
Эксплуатация ТЭЦ и котельных	Перевод Бишкекской ТЭЦ на иное топливо	Перевод Бишкекской ТЭЦ с угля на более чистые виды топлива относится к числу смоделированных мер по сокращению выбросов, которые вносят важный вклад в снижение среднегодовой концентрации $PM_{2,5}$ в городе. Кроме того, перевод ТЭЦ с угля на другой вид топлива – это одна из приоритетных мер по снижению выбросов CO_2 .	ОАО «Электрические станции» (собственник ТЭЦ) Национальная энергетическая холдинговая компания Министерство энергетики

Направление деятельности	Мера	Актуальность с точки зрения управления качеством воздуха	Основное ответственное учреждение
Эксплуатация ТЭЦ и котельных	Перевод оставшихся угольных котельных на газ	Перевод оставшихся угольных котельных позволит снизить концентрацию $PM_{2,5}$ во время года с самым высоким уровнем загрязнения, т. е. в отопительный сезон.	Мэрия города Бишкек Бишкектеплосеть Бишкектеплоэнерго
Отопление жилых домов	Теплоизоляция домов	Теплоизоляция домов – это базовая, основная мера по сокращению выбросов как загрязняющих атмосферу веществ, так и CO_2 в жилом секторе. Теплоизоляция домов также позволяет максимально реализовать потенциал сокращения выбросов от внедрения более чистых способов отопления.	Мэрия города Бишкек Министерство энергетики
	Переход на экологически чистые способы отопления жилых домов	Переход на экологически чистые способы отопления жилых домов, в частности, на системы отопления с нулевым уровнем выбросов, например, тепловые насосы, – приоритетная мера по снижению концентрации $PM_{2,5}$ в Бишкеке.	Мэрия города Бишкек Министерство энергетики
Транспорт	Управление дорожным движением	Сокращение выбросов от транспорта в городе будет способствовать снижению уровня загрязнения частицами $PM_{2,5}$ на протяжении всего года.	Мэрия города Бишкек Министерство внутренних дел Министерство транспорта и коммуникаций
Транспорт	Пылеподавление на автодорогах	Пылеподавление на дорогах может обеспечиваться либо за счет снижения интенсивности движения, либо за счет снижения количества пыли на дорогах.	Мэрия города Бишкек
Транспорт	Ограничение выбросов от автотранспорта	Ограничение выбросов от легковых автомобилей – это основная мера в области транспорта по сокращению выбросов как $PM_{2,5}$, так и CO_2 в Бишкеке.	Мэрия города Бишкек Министерство транспорта и коммуникаций
	Ограничение выбросов от «маршруток»	«Маршрутки» являются одним из основных видов общественного транспорта в Бишкеке, поэтому ограничение выбросов от них приведет к снижению концентрации $PM_{2,5}$.	Мэрия города Бишкек

Таблица 6

Направление деятельности	Мера	Актуальность с точки зрения управления качеством воздуха	Основное ответственное учреждение
Транспорт	Ограничение выбросов от автобусов	Ограничение выбросов от автобусов, которые являются частью системы общественного транспорта Бишкека, это базовая мера по сокращению выбросов в целях управления качеством воздуха.	Мэрия города Бишкек
Сжигание мусора	Ограничение открытого сжигания мусора	Открытое сжигание мусора не является одним из основных источников загрязнения воздуха, однако ограничение выбросов от этого источника – это базовая мера по сокращению выбросов в целях управления качеством воздуха.	Мэрия города Бишкек
Озеленение	Природные ограничители образования пыли	Мероприятия по озеленению оказывают не прямое, а косвенное влияние на снижение выбросов как PM _{2,5} , так и CO ₂ .	Мэрия города Бишкек

Источник: анализ, специально проведенный для данной публикации.

8. Выводы и дальнейшие действия

Пик концентрации $PM_{2.5}$ в Бишкеке приходится на зимние месяцы, а уровень концентрации значительно превышает допускаемую международными стандартами качества воздуха – например, среднесуточная концентрация $PM_{2.5}$ в Бишкеке на протяжении большей части зимы более чем в 10 раз превышает рекомендованный Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) среднесуточный уровень 15 мкг/м^3 . В дополнение к неблагоприятным погодным условиям, таким как слабые ветра и низкая высота смешивания выбросов с атмосферным воздухом, которые ограничивают, особенно зимой, рассеивание загрязнителей воздуха в Бишкеке, загрязнению воздуха в значительной мере способствуют и антропогенные факторы.

В данном исследовании собраны все имеющиеся данные и информация по основным источникам выбросов $PM_{2.5}$ в воздушном бассейне Бишкека и составлена карта этих источников с пространственным разрешением около 1 км^2 и временным разрешением 1 час. Площадь картографируемой территории составила 1800 км^2 и включала город Бишкек и прилегающие к нему районы, где расположены источники выбросов, способные влиять на качество воздуха в городе. Эта динамическая карта выбросов в сочетании с трехмерными метеорологическими данными, полученными с помощью модели WRF, была использована при моделировании химического переноса посредством моделирующей системы CAMx для имитации рассеивания загрязнения $PM_{2.5}$ в воздушном бассейне и определения вклада основных источников выбросов в концентрацию $PM_{2.5}$ ²⁸.

В зимний период основным источником концентрации $PM_{2.5}$ в Бишкеке является отопление углем жилого сектора: в некоторые зимние месяцы на

него приходится почти 40 процентов концентрации $PM_{2.5}$ в городе. Выбросы вследствие бытового потребления угля происходят на низкой высоте; их увеличению способствуют плохое качество угля и низкая эффективность работающих на нем отопительных приборов.

Еще одним важным фактором, влияющим на концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке, является транспорт, который представляет собой второй по значимости источник выбросов $PM_{2.5}$ в течение всего года: его вклад в концентрацию $PM_{2.5}$ колеблется от 17 процентов весной до 30 процентов зимой. Весной, летом и осенью основное влияние на концентрацию $PM_{2.5}$ оказывает пыль, которую ветер приносит из окрестностей Бишкека. Вклад переносимой ветром пыли в концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке достигает максимума – около 60 процентов – в сухие летние месяцы. Учитывая наличие документально подтвержденных случаев природных пылевых бурь в Центральной Азии и выявленный в ходе глобальных исследований значительный вклад переносимой ветром пыли в концентрацию $PM_{2.5}$ в регионе, необходимо провести дополнительный анализ, который позволил бы выявить источники ветровой пыли в регионе, и обсудить возможные меры, в том числе на транснациональном уровне, по ограничению воздействия переносимой ветром пыли на уровень загрязнения $PM_{2.5}$.

Еще одним источником загрязнения $PM_{2.5}$ в Бишкеке является электро- и теплоэнергетика – находящиеся в городе ТЭЦ и котельные. Вклад электро- и теплоэнергетики в концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке особенно высок в зимний период в связи с усилением потребности в отоплении. Согласно расчетам, вклад производства электрической и тепловой энергии в концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке выше всего в зимние месяцы – он составляет

²⁸ Как указывалось выше, выбросы (вещества, выбрасываемые непосредственно из различных источников загрязнения) не определяют напрямую уровень концентрации (загрязнения, с которым имеет дело население). Поэтому источник очень большого объема выбросов может влиять на концентрацию меньше, чем источник выбросов меньшего объема, но имеющих менее благоприятные характеристики рассеивания (например, низкую высоту выброса).

до 15 процентов. Городская пыль от строительных работ и ресуспензия дорожной пыли вносят относительно постоянный вклад в концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке – около 10 процентов в течение всего года. Вклад других источников загрязнения, таких как промышленные предприятия и сжигание отходов, в концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке составляет соответственно около 2 процентов и 1 процента.

Моделирование рассеивания загрязняющих веществ $PM_{2.5}$ в воздушном бассейне Бишкека позволило выявить некоторые «горячие точки» загрязнения в городе. По некоторым оценкам, наиболее высокие уровни концентрации $PM_{2.5}$ в зимние месяцы наблюдаются в основном на севере, а также в некоторых западных и восточных частях города. Именно здесь находится большинство ИЖД, не имеющих централизованного теплоснабжения и использующих для отопления уголь. Из-за малой высоты выбросов и низкой скорости ветра самым сильным загрязнение воздуха в зимний период остается в районах с наибольшими показателями бытового потребления угля.

В целом сравнение смоделированных уровней концентрации $PM_{2.5}$ с наблюдаемыми уровнями концентрации $PM_{2.5}$, зафиксированными как автоматическими станциями мониторинга качества воздуха, так и сетями датчиков, показывает хорошую согласованность смоделированных и наблюдаемых данных. Смоделированные уровни концентрации отражают как сезонные, так и территориальные колебания в уровнях загрязнения воздуха в Бишкеке, зафиксированные различными сетями мониторинга качества воздуха. Это дает уверенность в надежности проведенного моделирования и, следовательно, в достоверности полученных результатов.

Цель сценариев снижения выбросов, рассмотренных в данном исследовании, состоит в определении потенциального воздействия широкого спектра мер политики и мероприятий на концентрацию $PM_{2.5}$ в окружающей среде в городской зоне Бишкека. Полученные результаты дают весьма информативную первоначальную оценку степени возможного снижения концентрации $PM_{2.5}$, контекстуальную информацию об относительном воздействии различных видов мер по сокращению выбросов и относительной важности мер по

сокращению выбросов, применяемых к различным источникам выбросов. Определив основные источники выбросов и сравнив эффективность различных мер по сокращению выбросов, исследование задает направление дальнейшей работы, касающейся политики в различных областях.

Моделирование воздействия применяемых в различных секторах отдельных мер политики и мероприятий на концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке показало, что ни одна отдельно взятая мера политики или мероприятие или сокращение выбросов в одном отдельно взятом секторе не могут обеспечить улучшение качества воздуха в той мере, в какой это необходимо для выполнения рекомендаций ВОЗ. Поэтому для существенного улучшения качества воздуха в Бишкеке требуется сбалансированный подход к этой работе, предусматривающий осуществление мер политики и мероприятий в различных секторах.

Вместе с тем анализ сценариев сокращения выбросов показывает, что заметнее всего улучшить качество воздуха в Бишкеке можно, заменив более чистыми альтернативами уголь, используемый для отопления индивидуальных домов и в котельных. Наибольшее воздействие на годовую концентрацию $PM_{2.5}$ может оказать такая мера по сокращению выбросов, как переоборудование 40 процентов домов, отапливаемых в настоящее время углем, под отопление с помощью тепловых насосов. Мера в транспортной отрасли, способная оказать наибольшее влияние на концентрацию $PM_{2.5}$ в Бишкеке, заключается в увеличении количества новых автомобилей (стандарта Евро-5 и выше) и замещении ими старых автомобилей, изготовленных до введения экологических стандартов Евро.

Хотя отдельные меры политики и мероприятия оказывают лишь незначительное положительное влияние на уровни концентрации $PM_{2.5}$ в Бишкеке, это не означает, что данными мерами можно пренебречь. Например, политику и меры по ужесточению контроля за выбросами в промышленности и на общественном транспорте осуществлять проще, чем политику и меры в отношении жилого сектора, и поэтому первые являются эффективной составляющей любой стратегии управления качеством воздуха. С другой стороны, выгоды от

политики и мер по озеленению и ограничению открытого сжигания отходов обеспечивают множество преимуществ, помимо улучшения качества воздуха.

Все смоделированные меры, за исключением перехода на отопление с использованием электрических котлов/радиаторов, обеспечивают сопутствующие выгоды в виде сокращения выбросов CO₂. Электрические радиаторы менее эффективны, чем тепловые насосы, и поэтому потребляют больше электроэнергии, которая в настоящее время производится за счет сжигания угля на Бишкекской ТЭЦ. Если источник топлива на ТЭЦ будет заменен на менее углеродоемкое топливо, то ожидается, что и эта мера принесет сопутствующие выгоды в виде сокращения выбросов CO₂.

Результаты данного исследования заложили техническую основу для пересмотра/разработки комплексного плана улучшения качества воздуха в Бишкеке. В ходе исследования были проанализированы тенденции изменения качества воздуха и метеорологических условий, создана пространственно-временная динамическая карта выбросов, смоделирован вклад различных источников загрязнения в концентрацию PM_{2,5} в Бишкеке. Таким образом, в рамках данного исследования проведена важная аналитическая работа по подготовке плана обеспечения надлежащего качества воздуха.

Недостаток данных (см. таблицу 1) ограничивает уровень детализации для некоторых источников выбросов. Существует возможность дальнейшего уточнения этих данных за счет дополнительных усилий и некоторых целевых инвестиций в сбор данных как на уровне источников выбросов, так и на уровне концентрации в окружающей среде. Такой анализ следует проводить на регулярной основе для обеспечения динамичного формирования политики. Поэтому сбор более детальных данных по основным источникам выбросов и их последующий анализ – это важные задачи для совершенствования управления качеством воздуха в Бишкеке. Несмотря на ограниченность данных, модели, применявшиеся в ходе данного исследования, и наблюдаемые концентрации PM_{2,5} демонстрируют хорошее соответствие, что свидетельствует о возможности принять результаты

исследования за надежную техническую основу при разработке плана в области качества воздуха в Бишкеке.

Кроме того, оценка влияния отдельных мер политики и мероприятий в различных секторах на концентрацию PM_{2,5} создает основу для разработки плана действий, включающего комплекс мер политики и мероприятий по улучшению качества воздуха в Бишкеке. Следующими шагами по разработке плана улучшения качества воздуха в Бишкеке являются:

- Обсуждение соответствующих мер политики и мероприятий с заинтересованными сторонами;
- Согласование необходимости проведения дополнительных анализов и перечня мер политики и мероприятий, подлежащих дальнейшему анализу. Возможно проведение дополнительного исследования химического состава PM_{2,5} для оценки токсичности PM_{2,5} из различных источников загрязнения. Последующий анализ политики и мер может иметь целью оценку затрат/выгод от реализации мер по сокращению выбросов, распределение воздействия мер по борьбе с загрязнением воздуха на экономический рост и человеческий капитал, а также сценарный анализ комбинаций секторальных мер. Кроме того, анализ «снизу вверх» в ключевых сферах, имеющих непосредственное отношение к управлению качеством воздуха, позволит определить необходимость усиления отраслевой политики и потребности в инвестициях;
- Анализ механизмов реализации и потенциальных улучшений в системе управления качеством воздуха, включая законодательство, ресурсы и потенциал, а также «узкие места» в реализации согласованных мер политики и мероприятий; а также
- Оценка экономической эффективности согласованных мер политики и мероприятий по достижению установленных целевых показателей качества воздуха (например, среднегодовой концентрации PM_{2,5}).

Все описанные выше шаги помогут определить политику и меры, требующие реализации в приори-

тетном порядке. Необходимо разработать график реализации приоритетных мер политики и мероприятий, а также определить лиц, ответственных за их реализацию, финансирование, обеспечение исполнения и мониторинг. Эффективный мониторинг реализации мер политики и мероприятий позволит определить, есть ли необходимость в их переработке, разработке иных/дополнительных мер политики и мероприятий, изменении методов осуществления и/или привлечении дополнительного финансирования.

Такой процесс планирования улучшения качества воздуха отражает динамичный и сложный харак-

тер управления качеством воздуха и обеспечивает гибкость при решении проблем, возникающих в процессе осуществления мер политики и мероприятий, направленных на достижение целевых показателей качества воздуха. Динамическое планирование качества воздуха исходит из того, что существует множество разных способов достижения целевых показателей качества воздуха. Однако, если начать с комплексного плана действий, определяющего, как можно достичь целевых показателей качества воздуха и эффективно контролировать ход этой работы, это даст директивным органам возможность точнее выбирать пути к улучшению качества воздуха в Бишкеке.

Приложение 1. Сопутствующие выгоды от мер по сокращению выбросов PM_{2,5} в виде сокращения выбросов CO₂

Расчет выбросов CO₂

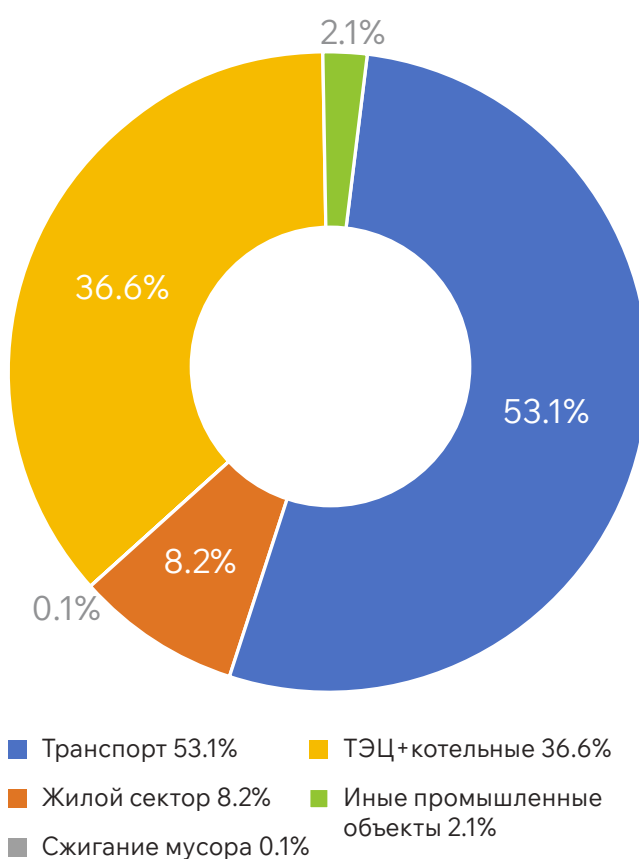
Для расчета базового уровня выбросов CO₂ в Бишкеке используются те же данные о деятельности, что и при расчете выбросов PM_{2,5} (см. раздел 3). Выбросы CO₂ напрямую зависят от содержания углерода в топливе, поэтому выбросы CO₂ в Бишкеке были рассчитаны на основе собранных данных о потреблении энергии и топлива.

Крупнейшим источником выбросов CO₂ в Бишкеке является транспорт, на который приходится более половины годового объема выбросов в городе. Бишкекская ТЭЦ и котельные – еще один существенный источник выбросов CO₂. На него приходится более трети годового объема выбросов. Сжигание угля в жилом секторе также представляет собой крупный источник выбросов CO₂, но не основной, в отличие от выбросов PM_{2,5}.

Влияние смоделированных мер по сокращению выбросов PM_{2,5} на выбросы CO₂

Как видно из рисунка А1, между основными источниками выбросов CO₂ и PM_{2,5} нет полного совпадения. Поэтому в ходе исследования было проведено анализ влияния смоделированных мер по сокращению выбросов PM_{2,5} на выбросы CO₂.

Рисунок А1: Вклад различных источников в выбросы CO₂ в Бишкеке



Источник: анализ, специально проведенный для данной публикации.

Таблица А1. Влияние смоделированных мер по сокращению выбросов PM_{2,5} на выбросы CO₂

Направление деятельности	Мера	Описание	Снижение годовой концентрации PM _{2,5} (%)	Сокращение выбросов CO ₂ (%)
Эксплуатация ТЭЦ и котельных	Перевод ТЭЦ с угля на газ	Предполагается, что выработка энергии останется на прежнем уровне, но вместо угольных установок, как сейчас, на ТЭЦ будут применяться современные газовые турбины	9.0	29.0
	Перевод котельных с угля на газ	Предполагается, что выработка энергии останется на прежнем уровне, но вместо угольных котлов, как сейчас, все котельные будут оборудованы современными газовыми котлами	2.0	1.0
	Увеличение использования энергии из возобновляемых источников	Предполагается, что благодаря внедрению возобновляемых источников энергии выбросы от ТЭЦ и котельных сократятся на 30%	4.0	11.0
Отопление жилых домов ^а	Теплоизоляция домов – консервативный сценарий	Предполагается, что благодаря мерам по повышению ЭЭ в 20% домов, где используется уголь, потребности в отоплении снизятся на 33%	2.0	0.5
	Теплоизоляция домов – оптимистичный сценарий	Предполагается, что благодаря мерам по повышению ЭЭ в 40% домов, где используется уголь, потребности в отоплении снизятся на 33%	3.0	1.0
	Перевод отопления жилых домов с угля на газ – консервативный сценарий	Предполагается, что 20% домов, где используется уголь, будет переведено с угля на современные газовые системы отопления	6.0	2.0
	Перевод отопления жилых домов с угля на газ – оптимистичный сценарий	Предполагается, что 40% домов, где используется уголь, будет переведено с угля на современные газовые системы отопления	12.0	3.0
	Тепловые насосы в жилых домах – консервативный сценарий	Предполагается, что 20% домов, где используется уголь, перейдут на использование тепловых насосов, что приведет к увеличению выбросов от ТЭЦ (3%)	5.0	0.5
	Тепловые насосы в жилых домах – оптимистичный сценарий	Предполагается, что 40% домов, где используется уголь, перейдут на использование тепловых насосов, что приведет к увеличению выбросов от ТЭЦ (6%)	13.0	1.0

Направление деятельности	Мера	Описание	Снижение годовой концентрации PM _{2,5} (%)	Сокращение выбросов CO ₂ (%)
Отопление жилых домов ^а	Расширенное внедрение электрического отопления в жилых домах – консервативный сценарий	Предполагается, что 20% домов, где используется уголь, перейдут на отопление с помощью электрических котлов, что приведет к увеличению выбросов от ТЭЦ (10%)	5.0	-2.0
	Расширенное внедрение электрического отопления в жилых домах – оптимистичный сценарий	Предполагается, что 40% домов, где используется уголь, перейдут на отопление с помощью электрических котлов, что приведет к увеличению выбросов от ТЭЦ (20%)	9.0	-4.0
	Полный переход на экологически чистое отопление	Полная замена угольного отопления на системы отопления с нулевым уровнем выбросов	29.0	8.0
Транспорт	Управление дорожным движением	Снижение совокупных выбросов от транспорта в городе на 10%	3.0	5.0
	Пылеподавление на автодорогах	Сокращение выбросов пыли в черте города на 10%	1.0	—
	Ограничение выбросов от легковых автомобилей – консервативный сценарий	Переоборудование 20% автомобилей с бензиновым двигателем, изготовленных до введения экологических стандартов Евро и не оборудованных катализаторами, под Евро-5, а также 20% автомобилей с дизельным двигателем, изготовленных до введения экологических стандартов Евро и не оборудованных катализаторами, под Евро-5	3.0	6.0
	Ограничение выбросов от легковых автомобилей – оптимистичный сценарий	Переоборудование 40% автомобилей с бензиновым двигателем, изготовленных до введения экологических стандартов Евро и не оборудованных катализаторами, под Евро-5, а также 40% автомобилей с дизельным двигателем, изготовленных до введения экологических стандартов Евро и не оборудованных катализаторами, под Евро-5	6.0	13.0
	Ограничение выбросов от «маршруток»	Переоборудование 40% дизельных ТСМГ, изготовленных до введения экологических стандартов Евро и не оборудованных ДСФ или катализатором, под Евро-VI	1.0	1.0
	Ограничение выбросов от автобусов	Переоборудование всех автобусов под Евро-VI	0.2	0.3

Направление деятельности	Мера	Описание	Снижение годовой концентрации PM _{2,5} (%)	Сокращение выбросов CO ₂ (%)
Транспорт	Ограничение выбросов от ТСМГ и БТС	Переоборудование 40% дизельных ТСМГ, изготовленных до введения экологических стандартов Евро и не оборудованных ДСФ, и 40% БТС под Евро-VI	3.0	4.0
	Совокупность всех мер	Совокупное влияние всех смоделированных мер в сфере транспорта (оптимистичные сценарии)	13.0	22.0
	Полный переход на эксплуатацию транспортных средств с нулевым уровнем выбросов	Полный переход на эксплуатацию транспортных средств с нулевым уровнем выбросов, затрагивающий весь парк транспортных средств	27.0	51.0
Сжигание мусора	Ограничение открытого сжигания мусора	Предполагается, что объемы открытого сжигания мусора сократятся на 50%	1.0	—
	Искоренение открытого сжигания мусора, в том числе на свалках	Предполагается достижение нулевого уровня выбросов от сжигания на свалках и открытого сжигания мусора	1.0	—
Озеленение ^b	Природные ограничители образования пыли – консервативный сценарий	Предполагается, что выбросы пыли в области сократятся на 5%	1.0	—
	Природные ограничители образования пыли – оптимистичный сценарий	Предполагается, что выбросы пыли в области сократятся на 10%	2.0	—

Источник: анализ, специально проведенный для данной публикации.

Примечание: а. Для мероприятий по отоплению жилых домов, предусматривающих переход на использование электроэнергии для отопления (например, тепловые насосы и отопление с помощью электрических радиаторов), был смоделирован дополнительный спрос на электроэнергию от существующей ТЭЦ. Выбросы от ТЭЦ зависят от вида топлива, используемого для выработки электроэнергии. б. Мероприятия по озеленению используются в качестве природных ограничителей образования пыли и в первую очередь воздействуют на пыль, переносимую ветром.

Почти все смоделированные меры по сокращению выбросов PM_{2,5} обеспечивают сопутствующие выгоды в виде сокращения выбросов CO₂. Примечательным исключением являются меры, предусматривающие переход с угольного отопления на отопление с использованием электрических радиаторов. Электрические обогреватели и радиаторы – не самые эффективные электрические отопительные приборы, которые

могут потреблять много энергии, особенно в сравнении с более эффективными вариантами электрического отопления, например, тепловыми насосами. Поскольку переход на электрические обогреватели и/или радиаторы приведет к росту потребления электроэнергии, вырабатываемой Бишкекской ТЭЦ, работающей на угле, реализация этой меры окажет небольшое негативное воздействие на объем выбросов CO₂.

Также следует отметить, что данное небольшое негативное воздействие на объем выбросов CO₂ в случае реализации этой меры обусловлено использованием угля на Бишкекской ТЭЦ. Если ТЭЦ будет переведена на менее углеродоемкое топливо, то ожидается, что даже переход на электрические обогреватели принесет сопутствующие выгоды в виде сокращения выбросов CO₂.

Если рассматривать смоделированные меры по сокращению выбросов PM_{2.5} по отдельности, то наибольшие сопутствующие выгоды в виде сокращения выбросов CO₂ приносит полный переход на эксплуатацию транспортных средств с нулевым уровнем выбросов в Бишкеке. На втором месте по величине сопутствующих выгод в виде сокращения выбросов CO₂ – перевод Бишкекской ТЭЦ, работающей на угле, на газ. Из всех смоделированных мер, представленных в

настоящем исследовании, на третьем месте по величине сопутствующих выгод в виде сокращения выбросов CO₂ находится совокупность всех мер в области транспорта, за исключением крайнего варианта, предполагающего полный переход на эксплуатацию транспортных средств с нулевым уровнем выбросов.

В целом, анализ воздействия мер по сокращению выбросов PM_{2.5} на выбросы CO₂ показывает, что загрязнение частицами PM_{2.5} и выбросы CO₂ в основном происходят от разных источников, и для их сокращения, соответственно, требуются разные приоритетные меры. В связи с этим при разработке мер политики в области качества воздуха важно не только добиваться максимальной синергии с мерами политики в области изменения климата, но и учитывать возможные негативные последствия и бороться с ними.

Приложение 2. Выбросы черной сажи

Черная сажа (ЧС) не только является одним из основных компонентов $PM_{2.5}$, но и относится к числу короткоживущих климатических загрязнителей (ККЗ). Она поглощает солнечное излучение, влияет на формирование облаков и меняет скорость таяния снежного и ледяного покрова. Таким образом, она может повлиять на состояние ледников в Кыргызской Республике. Однако степень влияния ЧС на таяние ледников точно не установлена, поскольку в исследованиях недостаточно учитывается влияние естественных загрязнений, например, почвенной пыли, а также из-за трудностей моделирования процессов, происходящих в горных райо-

нах.²⁹ Вместе с тем, согласно некоторым исследованиям, вклад ЧС в таяние ледников в Центральной Азии может составлять от 6³⁰ до 16³¹ процентов.

Расчет выбросов ЧС

Базовый уровень выбросов ЧС в Бишкеке был рассчитан на основе собранных данных о потреблении энергии и топлива, представленных в разделе 3. Основными источниками выбросов ЧС является топливо, используемое для заправки автомобильного транспорта, а также твердое топливо, используемое в промышленности и жилом секторе.

Таблица А 2: Оценки выбросов ЧС в Бишкеке, 2018 год

Источник выбросов	Описание	Выбросы ЧС, т/год
Транспорт	Весь дорожный транспорт и выбросы от аэропорта	850
Отопление жилых домов	Выбросы от отопления жилых домов и приготовления пищи	350
Промышленность	Выбросы других промышленных предприятий, включая ТЭЦ, карьеры и кирпичные заводы, а также дизель-генераторов на коммерческих объектах.	250
Всего		1,450

Источник: анализ, специально проведенный для данной публикации.

Влияние смоделированных мер по сокращению выбросов $PM_{2.5}$ на выбросы ЧС

Меры по сокращению выбросов $PM_{2.5}$, как правило, приводят и к сокращению выбросов ЧС, как одного из компонентов $PM_{2.5}$. Однако следует отметить, что, по оценкам, выбросы ЧС в Бишкеке составляют всего 0,03 процента от общемирового объема выбросов ЧС³². Соответственно, осаждение ЧС на ледниках

в Кыргызской Республике в целом зависит от глобальной циркуляции ЧС, и поэтому для замедления темпов таяния ледников в Кыргызской Республике, на которые потенциально влияет ЧС, необходимы дополнительные меры по сокращению выбросов ЧС как на региональном, так и на глобальном уровнях.

²⁹ Bond, T. C., et al. 2013. "Bounding the Role of Black Carbon in the Climate System: A Scientific Assessment." J. Geophys. Res. Atmos. 118 : 5380–5552. doi:10.1002/jgrd.50171.

³⁰ Schmale, J., M. Flanner, S. Kang, et al. 2017. "Modulation of Snow Reflectance and Snowmelt from Central Asian Glaciers by Anthropogenic Black Carbon." Sci Rep 7: 40501.

³¹ Zhang, Y., et al. 2020. "Effects of Black Carbon and Mineral Dust on Glacial Melting on the Muz Taw Glacier, Central Asia." Science of the Total Environment 740.

³² Меры по сокращению выбросов $PM_{2.5}$, как правило, приводят и к сокращению выбросов ЧС, как одного из компонентов $PM_{2.5}$. Однако следует отметить, что, по оценкам, выбросы ЧС в Бишкеке составляют всего 0,03 процента от общемирового объема выбросов ЧС. Соответственно, осаждение ЧС на ледниках в Кыргызской Республике в целом зависит от глобальной циркуляции ЧС, и поэтому для замедления темпов таяния ледников в Кыргызской Республике, на которые потенциально влияет ЧС, необходимы дополнительные меры по сокращению выбросов ЧС как на региональном, так и на глобальном уровнях.

Анализ качества
воздуха в Бишкеке:
распределение
источников $PM_{2.5}$ и
меры по сокращению
выбросов

Сентябрь 2023 года