

Качество воздуха в г. Термез, Узбекистан

Оценка основных источников выбросов и рекомендации по
улучшению мониторинга и управления качеством воздуха



© 2025 Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде

Оригинальная версия на английском языке: Air Quality in Termez, Uzbekistan: Assessment of Key Emission Sources and Recommendations for Enhancing Air Quality Monitoring and Management.

ISBN: 978-92-807-4249-7
Job number: ROE/2731/TA
DOI: <http://doi.org/10.59117/20.500.11822/48984>

Несмотря на то, что были предприняты разумные усилия для обеспечения фактической достоверности содержания данной публикации и надлежащих ссылок, ЮНЕП не несет ответственность за точность или полноту содержания и не несет ответственности за любые убытки и ущерб, которые могут быть вызваны прямо или косвенно использованием содержания данной публикации или доверием к нему, включая ее перевод на другие языки, помимо английского. В случае несоответствий преимущественную силу будет иметь версия на английском языке.

Перевод текста: Зайтуна Насырова

Настоящая публикация может быть воспроизведена полностью или частично и в любой форме в образовательных или некоммерческих целях без специального разрешения правообладателя при условии ссылки на первоисточник. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде будет признательна за предоставление экземпляра любого издания, в котором данная публикация использовалась в качестве источника. Данная публикация не может быть использована для перепродажи или в других коммерческих целях без предварительного письменного разрешения Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде. Заявку на получение такого разрешения с указанием цели и тиража издания следует направлять по адресу: unep-communication-director@un.org.

Примечания

Употребляемые обозначения и изложение материала в настоящей публикации не подразумевают выражения какого бы то ни было мнения со стороны Секретариата Организации Объединенных Наций относительно правового статуса какой-либо страны, территории, города или района, или их властей, или относительно определения их границ. Упоминание коммерческой компании или продукта в настоящем документе не означает его одобрения Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде или авторами.

Не допускается использование информации из настоящего документа в рекламных целях. Названия и символы товарных знаков используются в редакционных целях без намерения нарушить законы о товарных знаках или авторском праве.

Содержание и взгляды, выраженные в настоящей публикации, не обязательно отражают точку зрения Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде. Мы сожалеем о любых ошибках или упущениях, которые могли быть допущены непреднамеренно.

© Карты, фотографии и иллюстрации, как указано.

Предлагаемая цитата:

Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (2025 г.) *Качество воздуха в г. Термез, Узбекистан: Оценка основных источников выбросов и рекомендации по улучшению мониторинга и управления качеством воздуха*. Ташкент. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/48984>

Производство: Ташкент

URL: <https://www.unep.org/resources/report/air-quality-termez-uzbekistan-assessment-key-emission-sources-and-recommendations>

Дизайн обложки: Нигина Содикова

Совместно с:



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



МИНИСТЕРСТВО ЭКОЛОГИИ,
ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Качество воздуха в г. Термез, Узбекистан

**Оценка основных источников выбросов и рекомендации по
улучшению мониторинга и управления качеством воздуха**

Октябрь 2025 г.

Благодарности

Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде выражает признательность следующим лицам за их вклад в данное исследование:

Авторы: Катя Ловен, *руководитель Отдела качества воздуха и энергетики Финского метеорологического института (ведущий автор и координатор)*
Майя Пелтола, *эксперт по качеству воздуха Финского метеорологического института*
Элли Сухонен, *научный сотрудник Финского метеорологического института*
Ану-Майя Сундстрем, *старший научный сотрудник Финского метеорологического института*
Кахрамон Захидов, *местный консультант*
Анвар Шабанов, *местный консультант*

Координаторы от ЮНЕП:

Екатерина Перфильева, *региональный консультант по качеству воздуха в Центральной Азии, ЮНЕП (ведущий координатор)*
Томас Маркес, *региональный программный координатор по вопросам химикатов и загрязнения, ЮНЕП*

Координаторы от Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан:

Бобур Махмудов, *Департамент международного сотрудничества и рейтингов*
Махмуд Хайдаров, *Департамент международного сотрудничества и рейтингов*
Гульнара Хожабекова, *Департамент охраны атмосферного воздуха*
Азиза Шарофова, *Департамент охраны атмосферного воздуха*
Бахром Эсенов, *Департамент охраны атмосферного воздуха*

Рецензенты: Зикрилла Алимов, *Green University (Узбекистан)*
Сара Басарт, *Всемирная метеорологическая организация*
Ольга Корнюхова, *Ассоциация практикующих экологов (Казахстан)*
Наталья Сирина-Лебуан, *Citera*
Джей Тернер, *Вашингтонский университет в Сент-Луисе (США)*
Меерим Шамудинова, *независимый консультант по качеству воздуха*
Жюль Юго, *Азиатский банк развития*

Дизайн: Нигина Содикова

Партнеры и спонсоры

Отчет подготовлен в сотрудничестве с Министерством экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан. Авторы выражают глубокую признательность Счету развития ООН и Европейской комиссии за финансовую поддержку в подготовке данного отчета.

Поставщики спутниковых данных

Авторы выражают благодарность Центру спутниковых исследований состава атмосферы EUMETSAT за предоставление данных наблюдений со спутника IASI по мониторингу содержания аммиака в атмосфере. Авторы также выражают благодарность Copernicus, Европейскому космическому агентству и Национальному управлению по авиации и исследованию космического пространства (NASA) за предоставление данных наблюдений со спутников Sentinel 5P TROPOMI и MODIS.

Список сокращений

ВВП	Валовый внутренний продукт
ВМО	Всемирная метеорологическая организация
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ЕС	Европейский союз
ЕЭК ООН	Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций
ИКВ	Индекс качества воздуха
КТЗВБР	Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния
ЛОС	летучие органические соединения
ОК/КК	обеспечение качества/контроль качества
ООН	Организация Объединенных Наций
ПДК	предельно допустимая концентрация
ППБ	песчаные и пыльные бури
РУ	Республика Узбекистан
Узгидромет	Агентство гидрометеорологической службы при Министерстве экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан
ЮНЕП	Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде
ЮНИСЕФ	Детский фонд Организации Объединенных Наций
ФМИ	Финский метеорологический институт
AAI	Коэффициент поглощающего аэрозоля
AOD	Оптическая глубина аэрозоля
CO	Оксид углерода
EEA	Европейское агентство по окружающей среде
EMEP	Европейская программа мониторинга и оценки
EUMETSAT	Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников
GAW	Глобальная служба атмосферы
IASI	Инфракрасный интерферометр для зондирования атмосферы
IHME	Институт показателей измерения и оценки здоровья
INSPIRE	Инфраструктура для пространственной информации в Европейском сообществе
MAIAC	Многоракурсная атмосферная коррекция космических снимков
MODIS	Спектрорадиометр среднего разрешения
NASA	Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США
NH ₃	аммиак
NO	оксид азота
NO ₂	диоксид азота
NO _x	оксиды азота
O ₃	озон
PM ₁	твердые частицы (диаметром менее 1,0 мкм)
PM _{2.5}	твердые частицы (диаметром менее 2.5 мкм)
PM ₁₀	твердые частицы (диаметром менее 10 мкм)
SO ₂	Диоксид серы
TROPOMI	Прибор для мониторинга тропосферы Европейского космического агентства
TSP	Взвешенные частицы в целом. В данном отчете определение TSP охватывает твердые частицы диаметром до 18 мкм на основе диапазона измерений используемого анализатора PM
US EPA	Агентство по охране окружающей среды Соединенных Штатов Америки

Содержание

Благодарности	i
Список сокращений	ii
Список рисунков	v
Список таблиц	viii
Предисловия	ix
Резюме	xv
Техническое резюме	xix
Резюме для лиц, принимающих решения	xxi
Часть I. Оценка загрязнения воздуха в Термезе	1
Глава 1. Введение	3
Об этом исследовании	3
Влияние загрязнителей воздуха на здоровье	5
Основные виды загрязнители и их источники	8
Глобальные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха	11
Гендерные аспекты, дети и неравенство в контексте загрязнения воздуха	12
Глава 2. Основные источники загрязнения воздуха в Термезе	14
Загрязнение воздуха в Термезе	14
Основные источники выбросов в Термезе	17
Глава 3. Рекомендации по улучшению управления качеством воздуха в Термезе	20
Действующее законодательство и политика в области качества воздуха в Узбекистане	20
Рекомендации по улучшению качества воздуха в Термезе	24
Часть II. Научная основа	41
Глава 4. Город Термез	42
Городской и экологический профиль Термеза	42
Метеорологический профиль Термеза	45

Глава 5.	Анализ данных мониторинга качества воздуха в Термезе и Узбекистане	48
	Автоматическая станция мониторинга качества воздуха в Термезе	50
	Твердые частицы (PM ₁₀ , PM _{2.5} и PM ₁)	51
	Оксид углерода (CO)	62
	Диоксид азота (NO ₂)	62
	Диоксид серы (SO ₂)	65
	Озон (O ₃)	67
	Аммиак (NH ₃)	67
	Суточные циклы следовых газов	70
	«Розы загрязнения» для следовых газов	70
	Корреляции между концентрациями загрязняющих веществ и метеорологическими переменными	72
	Индекс качества воздуха (ИКВ)	75
Глава 6.	Спутниковые наблюдения	79
	Диоксид азота (NO ₂)	81
	Диоксид серы (SO ₂)	82
	Аэрозоли	85
	Аммиак (NH ₃)	89
Глава 7.	Местный кадастр выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в Термезе	91
	Общие объемы выбросов основных загрязняющих веществ в атмосферу	92
	Источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу	92
	Управление отходами в Термезе	96
	Замечание о кадастре выбросов загрязняющих веществ в атмосферу	97
	Список использованной литературы	99

Список рисунков

Рисунок 1.	Иллюстрация (ориентировочных) диапазонов размеров твердых частиц из разных источников	9
Рисунок 2.	Упрощенный процесс управления качеством воздуха и ответственные организации	27
Рисунок 3.	Расположение города Термез	44
Рисунок 4.	Расположение автоматической станции мониторинга качества воздуха Узгидромета	45
Рисунок 5.	Среднемесячные температуры в Термезе, рассчитанные на основе данных за 2023–2024 гг.	46
Рисунок 6.	Среднемесячная относительная влажность воздуха в Термезе в 2023–2024 гг.	46
Рисунок 7.	Месячные осадки в Термезе в 2023 и 2024 гг.	46
Рисунок 8.	Роза ветров показывает частоту различных скоростей ветра в разных секторах направления скорости в 2023 и 2024 гг.	47
Рисунок 9.	Розы ветров показывают частоту подсчетов по направлению ветра (%) для четырех сезонов в Термезе	47
Рисунок 10.	Новая сеть, состоящая из 23 автоматических станций мониторинга качества воздуха в Узбекистане	49
Рисунок 11.	Среднечасовые концентрации $PM_{2.5}$ (мкг/м ³) за период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе	53
Рисунок 12.	Среднесуточные концентрации $PM_{2.5}$ (мкг/м ³) за период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные в Термезе	53
Рисунок 13.	Усиковая диаграмма, показывающая сгруппированные по месяцам данные о концентрации $PM_{2.5}$	54
Рисунок 14.	Среднечасовые данные о концентрации $PM_{2.5}$, измеренные на станции Узгидромета в Термезе за 2024 г., представленные в соотношении с ИКВ ЕС	54
Рисунок 15.	Среднемесячные данные о среднечасовой концентрации $PM_{2.5}$ (мкг/м ³), измеренные на станции Узгидромета в Термезе в 2024 г., в соотношении с диапазонами $PM_{2.5}$ ИКВ ЕС	54
Рисунок 16.	Среднечасовые концентрации PM_{10} (мкг/м ³) за период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе	55
Рисунок 17.	Среднесуточные концентрации PM_{10} (мкг/м ³) за период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе	55
Рисунок 18.	Усиковая диаграмма, показывающая сгруппированные данные о концентрации PM_{10} по месяцам	55
Рисунок 19.	Среднечасовые концентрации PM_{10} (мкг/м ³), измеренные на станции Узгидромета в Термезе за 2024 г., представленные в соотношении с ИКВ ЕС	56
Рисунок 20.	Среднемесячные данные о среднечасовой концентрации PM_{10} (мкг/м ³), измеренные на станции Узгидромета в Термезе в 2024 г., в сравнении с диапазонами PM_{10} ИКВ ЕС	56

Рисунок 21.	Суточные колебания TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5} и PM ₁ , рассчитанные для разных сезонов	57
Рисунок 22.	Временной ряд доли каждого диапазона размеров (< 1, 1–2.5, 2.5–10 и >10–18 мкм) твердых частиц в общей массе с марта 2024 г. по декабрь 2024 г. с почасовым разрешением	59
Рисунок 23.	Розы загрязнения для PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀ и TSP, измеренные на станции Узгидромета в Термезе	59
Рисунок 24.	Среднечасовая масса твердых частиц при заданных скоростях ветра для каждого диапазона размеров (< 1, 1-2.5, 2.5-10 и 10-18 мкм)	61
Рисунок 25.	Среднечасовая массовая доля в каждом диапазоне размеров (< 1, 1-2.5, 2.5-10 и 10-18 мкм) твердых частиц при заданных скоростях ветра	61
Рисунок 26.	Среднечасовые и среднесуточные концентрации CO (мкг/м ³) в период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе	63
Рисунок 27.	Сгруппированная по месяцам «усиковая диаграмма», основанная на среднесуточных данных, показывающая сезонные колебания концентрации CO в период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе	63
Рисунок 28.	Среднечасовые и суточные концентрации NO ₂ (мкг/м ³) в период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе	64
Рисунок 29.	Среднечасовые и среднесуточные концентрации SO ₂ (мкг/м ³) в период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на пункте Узгидромета в Термезе	65
Рисунок 30.	Пример набора данных с дрейфующего анализатора SO ₂ из Финляндии, который был проверен путем редактирования данных на основе регулярных многоточечных калибровок	66
Рисунок 31.	Среднечасовые и среднесуточные концентрации O ₃ (мкг/м ³) в мае 2023 г. – мае 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе	68
Рисунок 32.	Сгруппированная по месяцам «усиковая диаграмма», показывающая сезонные закономерности в среднесуточных концентрациях O ₃	68
Рисунок 33.	Среднечасовые и среднесуточные концентрации NH ₃ (мкг/м ³) в период с мая 2023 г. по май 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе	69
Рисунок 34.	Суточные колебания концентраций всех газов, рассчитанные для разных сезонов	71
Рисунок 35.	Графики загрязнения CO, O ₃ , NH ₃ , NO ₂ , NO и NO _x , измеренные на станции Узгидромета в Термезе	72
Рисунок 36.	Матрица корреляции суточных значений концентрации и метеорологических переменных в январе – декабре 2024 г.	73
Рисунок 37.	Диаграмма рассеяния концентраций PM ₁ и PM _{2.5} , измеренных на станции Узгидромета в Термезе	74

Рисунок 38.	Визуализация индекса качества воздуха EC	76
Рисунок 39.	Схематическое изображение пассивных спутниковых измерений и преобразования данных измерений излучения в атмосферные переменные	80
Рисунок 40.	Интерпретация данных пассивных спутниковых измерений	80
Рисунок 41.	Среднегодовые значения тропосферного NO ₂ в Узбекистане за 2019 г. и 2024 г., полученные с помощью прибора TROPOMI	83
Рисунок 42.	Значения тропосферного NO ₂ в районах Термеза и Сурхандарьинской области по данным прибора TROPOMI в 2019 г. и 2024 г.	83
Рисунок 43.	Среднемесячные значения концентрации NO ₂ в районе Термеза, полученные по данным спутниковых наблюдений TROPOMI/Sentinel 5p	83
Рисунок 44.	Среднегодовые значения концентрации (плотности столба) SO ₂ в 2019 и 2024 гг., полученные по результатам наблюдений Sentinel 5p/TROPOMI	84
Рисунок 45.	Временной ряд SO ₂ , полученный из TROPOMI над районом Бойсуна с августа 2024 г. по конец мая 2025 г. и карта сезонных средних значений за сентябрь-октябрь-ноябрь 2024 г.	84
Рисунок 46.	Среднегодовые значения AOD (на длине волны 550 нм) по данным MODIS MAIAC над Узбекистаном за 2019 г. и 2024 г.	86
Рисунок 47.	Среднемесячное значение AOD из набора данных MODIS MAIAC с января 2003 г. по декабрь 2024 г. и линейная тенденция	86
Рисунок 48.	Пример пылевого эпизода, произошедшего в районе Термеза 28 июня 2024 г.	87
Рисунок 49.	Пыльный эпизод, затронувший район Термеза 28 июня 2024 г.	88
Рисунок 50.	Снимок MODIS Terra RGB от 9 апреля 2025 г., сделанный примерно в 10:30 по местному времени, и 12-часовые обратные траектории, заканчивающиеся в Термезе на трех разных высотах (500, 1500 и 3000м над уровнем земли)	88
Рисунок 51.	Среднегодовые концентрации NH ₃ над Узбекистаном и районом Термеза в 2024 г., полученные с помощью приборов IASI на борту спутников Metop-B и -C	90
Рисунок 52.	Расположение Сурхандарьинской области на административной карте Узбекистана	92
Рисунок 53.	Расположение источников промышленных выбросов и теплиц в Термезе	93
Рисунок 54.	Расположение основных источников выбросов в Термезском районе: аэропорт Термеза, асфальтобетонный завод и кирпичный завод	94
Рисунок 55.	Расположение полигона вблизи города Термез и новый полигон, расположенный к северо-востоку от г.Термез	96

Список таблиц

Таблица 1.	Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха	12
Таблица 2.	Предельные значения качества воздуха в Европейском союзе, нормативные значения ВОЗ и стандарты качества воздуха (первичные) для охраны здоровья в США и национальные стандарты качества воздуха в Узбекистане для отдельных загрязняющих веществ	25
Таблица 3.	Приборы для мониторинга качества воздуха на станции мониторинга Узгидромет в Термезе	51
Таблица 4.	Среднегодовые значения PM_{10} , $PM_{2.5}$ и PM_1 в Термезе в 2024 году	53
Таблица 5.	Уровни индекса качества воздуха ЕС	76
Таблица 6.	Индекс качества воздуха ЕС и рекомендации по охране здоровья для каждого диапазона индекса	78
Таблица 7.	Данные спутниковых наблюдений, использованные в данном отчете	81
Таблица 8.	Годовые выбросы (тыс. тонн) основных загрязняющих веществ в атмосферу от промышленных предприятий (стационарных источников) Сурхандарьинской области, города Термез и Термезского района в 2019-2023 гг.	93
Таблица 9.	Годовые выбросы (тыс. тонн) основных загрязняющих веществ в атмосферу от транспорта (автомобильного и железнодорожного) в Сурхандарьинской области, городе Термезе и Термезском районе в 2019-2023 гг.	94
Таблица 10.	Основные виды топлива, используемые в различных отраслях промышленности в районе Термеза	95

Предисловия



Сельскохозяйственное поле рядом с Термезом

© ФМИ



Правительство Узбекистана признает, что качество воздуха играет жизненно важную роль в охране здоровья населения, обеспечении экологической устойчивости и поддержке экономического развития. Улучшение качества воздуха имеет решающее значение для достижения наших национальных приоритетов, изложенных в Стратегии Узбекистана до 2030 года.

Результаты, представленные в данном отчете о качестве воздуха в городе Термез, знаменуют собой значительный шаг вперед в понимании экологических проблем, с которыми сталкивается этот стратегически важный регион Узбекистана. Расположенный в южной части нашей страны, Термез подвержен воздействию как природных явлений, таких как песчаные и пыльные бури, так и антропогенных источников загрязнения, включая выбросы от систем отопления, транспорта и сельского хозяйства.

Эта работа стала возможной благодаря тесному международному сотрудничеству, в частности с Программой ООН по окружающей среде и Финским метеорологическим институтом, чья техническая поддержка сыграла важную роль в подготовке данного отчета. Выражаю признательность всем экспертам за ваш ценный вклад в подготовку этого отчета.

В связи с продолжающимся совершенствованием системы управления охраной окружающей среды в Узбекистане мы стремимся расширять сети мониторинга качества воздуха, укреплять политику сокращения выбросов и интегрировать управление рисками, связанными с песчаными и пыльными бурями, в процессы регионального планирования. Мы также стремимся обеспечить доступность и прозрачность информации о качестве воздуха, предоставляя гражданам и заинтересованным сторонам возможность участвовать в защите воздуха, которым мы дышим.

Министерство экологии, охраны окружающей среды и изменения климата готово к сотрудничеству с национальными и международными партнерами для воплощения результатов настоящего отчета в конкретные действия на местах. Действуя сообща, мы сможем обеспечить более чистый и здоровый мир и выполнить наши международные обязательства в рамках Целей в области устойчивого развития.

Азиз Абдурахимов

Министр экологии, охраны окружающей среды
и изменения климата Республики Узбекистан



Настоящий отчет является важной вехой: это первая подробная оценка качества воздуха в городе Термез. В нем показано, что концентрация мелких твердых частиц в городе в течение всего года превышает все международные и национальные нормы, установленные с учетом требований здравоохранения. Основными причинами этого являются естественные явления, такие как пыльные бури и песчаные бури, но виновата и деятельность человека. Этот отчет является отличной отправной точкой для укрепления научной базы для принятия мер и разработки эффективной политики.

Загрязнение воздуха является одной из наиболее актуальных проблем в области охраны окружающей среды и общественного здравоохранения в Узбекистане. Воздействие некачественного воздуха ежегодно приводит к десяткам тысяч преждевременных смертей. Источники загрязнения воздуха, от отопления домов зимой до пыльных бурь весной и летом, являются сложными, но все более понятными.

Недавние инвестиции Узбекистана в инфраструктуру мониторинга, в частности, в мониторинговую станцию в Термезе, демонстрируют твердую приверженность страны делу улучшения качества воздуха.

Готовящаяся к принятию в Узбекистане Национальная стратегия по защите атмосферного воздуха до 2035 года станет важной вехой в экологической политике страны и, возможно, образцом для всего региона. По мере того, как страна движется к приведению своих норм в соответствие с руководящими принципами ВОЗ по качеству воздуха и продолжает укреплять свою правовую и институциональную базу, она может заложить основу для нового поколения мер по обеспечению чистоты воздуха, основанных на фактических данных и принципе справедливости.

ЮНЕП рада поддержать Узбекистан в этих усилиях, которые имеют решающее значение для охраны здоровья, повышения устойчивости к изменению климата и достижения устойчивого развития.

Право на чистую и здоровую окружающую среду признано Генеральной Ассамблеей ООН универсальным правом человека. Чистый воздух является важной частью реализации этого права и подчеркивает важность защиты окружающей среды для всех людей. Я высоко оцениваю лидерство Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата в этом важном вопросе и выражаю искреннюю благодарность многочисленным национальным экспертам за их неоценимый вклад, а также Финскому метеорологическому институту за активную поддержку и сотрудничество в подготовке этого отчета.

Арнольд Крайльхубер

Региональный директор
Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде



Сельскохозяйственное поле недалеко от Термеза

© ФМИ



Загрязнение атмосферного воздуха и изменение климата являются одними из самых серьезных угроз для окружающей среды и здоровья, с которыми сталкивается человечество сегодня. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, загрязнение воздуха ежегодно приводит к почти семи миллионам преждевременных смертей, что делает его глобальной угрозой для здоровья, не знающей границ, уровней доходов и географии.

Связь между качеством воздуха и изменением климата становится все более очевидной. Повышение температуры, вызванное выбросами парниковых газов, усиливает периоды сильной жары, продлевает засухи и увеличивает частоту лесных пожаров. Эти явления усугубляют проблемы с качеством воздуха, особенно в таких регионах, как Центральная Азия, где засушливые ландшафты крайне уязвимы к ветровой эрозии, песчаным и пыльным бурям.

Финский метеорологический институт остается приверженным развитию международного сотрудничества в области изменения климата, атмосферных наук и управления качеством воздуха. Наше партнерство с Узбекистаном и другими странами Центральной Азии отражает общую цель: наращивание потенциала, поддержка принятия решений на основе данных и содействие устойчивому развитию в соответствии с глобальными целями.

Настоящий отчет о качестве воздуха в Термезе (Узбекистан) является важным шагом в решении этих проблем в Сурхандарьинской области. В нем представлена комплексная оценка качества воздуха, определены основные факторы, влияющие на него, и предложены практические рекомендации по усилению мониторинга и управления. Отчет отражает эффективность сотрудничества между национальными и международными экспертами в решении сложных экологических проблем.

В то время как усилия по сокращению выбросов и улучшению качества воздуха продолжаются, крайне важно также инвестировать в развитие систем прогнозирования, систем раннего оповещения и механизмов обмена знаниями. Только благодаря устойчивому научно-обоснованному сотрудничеству мы сможем эффективно решать взаимосвязанные проблемы загрязнения воздуха, изменения климата, песчаных и пыльных бурь.

Я хотел бы поблагодарить Министерство экологии, охраны окружающей среды и изменения климата, ЮНЕП и всех других участников исследования за их преданность делу, особенно местные органы власти и заинтересованные стороны в Узбекистане, благодаря которым эта работа стала возможной. Я уверен, что выводы этого отчета будут способствовать разработке научно-обоснованной политики и более здоровому и устойчивому будущему Термеза и его жителей.

Петтери Таалас

Генеральный директор
Финский метеорологический институт



Окрестности Термеза. В воздухе наблюдается большое количество пыли

© ФМИ

Резюме

В отчете представлен первый всеобъемлющий научный анализ качества воздуха в Термезе, который будет использован в разработке политики на основе фактических данных и управлении качеством воздуха. Отчет основан на подробном анализе почасовых данных мониторинга, полученных с автоматической станции контроля качества воздуха, расположенной в центральной части Термеза (за период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г.), метеорологических наблюдений, спутниковых данных и местных кадастров выбросов. Целью данного отчета, разработанного ЮНЕП и ФМИ по заказу Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Узбекистана и в сотрудничестве с местными консультантами, является выявление источников загрязнения и определение приоритетных мер по улучшению качества воздуха и охране здоровья населения в Термезе.

Данный отчет представляет собой прочную научно-техническую основу для усиления мер на местном и национальном уровнях. Результаты анализа подтверждают, что загрязнение воздуха твердыми частицами в Термезе вызвано как природными, так и антропогенными факторами, подчеркивая явные возможности для принятия целенаправленных мер, основанных на фактических данных. Реализация рекомендуемых мер может значительно снизить уровень загрязнения воздуха и его негативное воздействие на общественное здоровье. Для достижения долгосрочного и устойчивого улучшения качества воздуха необходимо обеспечить высокое качество данных, повысить точность инвентаризации выбросов, а также тиражировать и масштабировать эффективные меры по всему Узбекистану.

Концентрации твердых частиц (PM) в Термезе превышают все международные и национальные нормы здравоохранения в течение всего года. Среднегодовые концентрации в 2024 году достигли 187 мкг/м³ для PM₁₀ и 55 мкг/м³ для PM_{2.5}, что значительно превышает рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, включая пороговые значения временного целевого показателя 1 (70 мкг/м³ для PM₁₀ и 35 мкг/м³ для PM_{2.5}), а также национальные значения предельно допустимой разовой концентрации (ПДК) для среднегодовых концентраций PM₁₀ (50 мкг/м³) и PM_{2.5} (35 мкг/м³). Качество воздуха в Термезе является одним из самых проблемных в Узбекистане: в течение всех сезонов наблюдается стабильно повышенный уровень твердых частиц. Хотя концентрации таких газов, как NO₂, SO₂, CO и O₃, остаются низкими, опасения по поводу качества данных и проблем с калибровкой ограничивают их надежность для количественного анализа. Данные по твердым частицам считались достоверными и легли в научную основу выводов отчета.

Плохое качество воздуха имеет серьезные последствия для здоровья и экономики. Хотя оценки воздействия на здоровье населения в Термезе пока отсутствуют, в совместном отчете Всемирного банка и Института измерения показателей и оценки здоровья (IHME) (2016 год) о стоимости загрязнения воздуха указано, что общие потери благосостояния в Узбекистане, связанные с выбросами PM_{2.5}, составили в размере 4,4 процента (около 6,7 млрд долларов США) ВВП в 2013 году. Согласно более новым выводам исследования Всемирного банка «Оценка качества воздуха в Ташкенте» (2024 год), потери благосостояния только в Ташкенте оценивались в 488 млн долларов США в год (около 0,5 процента ВВП в 2023 году). Таким образом, минимизация воздействия высоких концентраций PM на

человека должна стать приоритетной задачей. Размер частиц в воздухе является решающим фактором, определяющим степень вредного воздействия на здоровье. Более мелкие частицы представляют больший риск, поскольку могут глубоко проникать в легкие, а некоторые могут попасть даже в кровоток. Воздействие $PM_{2.5}$ представляет собой наиболее серьезный фактор риска для здоровья, связанный с загрязнением воздуха, и тесно связанный с сердечно-сосудистыми и респираторными заболеваниями, раком и преждевременной смертностью.

Загрязнение воздуха в Термезе не затрагивает все группы населения в равной степени.

Женщины подвергаются повышенному риску: глобальные исследования показывают связь между загрязнением воздуха и неблагоприятными репродуктивными и сердечно-сосудистыми исходами, включая выкидыши, снижение фертильности и повышенная подверженность раку молочной железы и болезням сердца. Согласно данным национального Многоиндикаторного кластерного обследования ЮНИСЕФ за 2021–2022 годы, почти половина домохозяйств в Узбекистане по-прежнему полагаются на загрязняющие виды топлива для отопления и приготовления пищи, что подвергает женщин непропорционально высокому риску, поскольку они часто являются основными распорядителями энергией в домохозяйстве. Дети и пожилые люди остаются особенно уязвимыми к воздействию загрязнения воздуха на здоровье. Поэтому в отчет включены меры по борьбе с загрязнением воздуха в Термезе, учитывающие гендерные аспекты и социально инклюзивные меры.

Песчаные и пыльные бури (ППБ) являются основным источником загрязнения атмосферного воздуха твердыми частицами в Термезе. Сильные ветры, особенно с юго-запада в летние месяцы, поднимают огромные количества пыли, что приводит к повышению концентраций PM_{10} и $PM_{2.5}$. Данные показывают явное увеличение доли частиц большего размера (PM_{10} и TSP) с повышением скорости ветра, подтверждая влияние вторичного подъема пыли под действием ветра. Близость города к засушливым ландшафтам увеличивает поступление осадочных отложений, а региональные или трансграничные явления ППБ еще больше усиливают их воздействие и ухудшают качество воздуха.

Системы раннего оповещения, информирование о рисках и рекомендации по охране здоровья населения крайне необходимы для борьбы с эпизодами ППБ. Термез и Узбекистан в целом выиграют от расширенного регионального сотрудничества с соседними областями и странами в области обмена данными, прогнозирования и совместных мер реагирования. Эти усилия должны дополняться с устойчивым управлением земельными ресурсами, лесовосстановлением и мерами по стабилизации земель с целью сокращения первичных источников пыли повышения устойчивости экосистем.

Местные бытовые отопительные и другие процессы сжигания значительно ухудшают качество воздуха в Термезе в зимний период. В холодные месяцы наблюдаются высокие концентрации $PM_{2.5}$ и PM_{10} , что совпадает с низкими температурами и безветренной погодой. Эти пики сопровождаются повышенными уровнями индикаторов продуктов горения, таких как CO и NO, что указывает на выбросы от местного отопления. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что для отопления в зимний период используется не

только природный газ, но и другие виды топлива, однако для разработки и определения эффективных мер по смягчению последствий необходимы более подробные данные о типах топлива.

Решение проблемы выбросов от отопления является одним из приоритетных направлений для снижения загрязнения воздуха в Термезе. Стратегии сокращения выбросов должны начинаться с выявления и постепенного отказа от использования загрязняющих видов топлива для отопления в зимний период. Несмотря на доступность природного газа, вероятно, что все еще используются уголь, нефтепродукты, отходы или биомасса. Для сокращения пиковых зимних выбросов необходимо перейти на более чистые виды топлива и технологии, повысить энергоэффективность в домохозяйствах и повысить осведомленность населения и правоприменение.

Дорожное движение также способствует повышению уровня твердых частиц в атмосфере как за счет выбросов выхлопных газов, так и за счет вторичного поднятия дорожной пыли. Несмотря на то, что природный газ является основным видом топлива для транспортных средств в Термезе и Узбекистане в целом, дорожное движение все еще способствует загрязнению воздуха $PM_{2.5}$ и PM_{10} за счет выбросов, не связанных с выхлопными газами, таких как вторичное образование дорожной пыли. Уровни диоксида азота (NO_2), вероятно, связаны с дорожным движением, хотя станция мониторинга расположена в парке, расположенном далеко от основных магистралей, и ограниченное качество данных по NO_2 не позволяет делать однозначные выводы. Концентрации NO_2 обычно являются наиболее высокими вблизи оживленных дорог и в центре города. Целенаправленные меры по снижению уровня пыли, выбрасываемой транспортом, и поощрению более экологических вариантов передвижения с низким уровнем выбросов имеют решающее значение для улучшения качества городского воздуха в Термезе.

Транспорт, производство энергии и промышленность остаются ключевыми секторами, требующими целенаправленного контроля выбросов. Даже при использовании природного газа в качестве топлива для транспортных средств, вторично поднятая пыль все еще является одним из основных источников твердых частиц. Важнейшее значение имеют такие действия, как продвижение более чистых транспортных средств с низким уровнем выбросов, обеспечение соблюдения стандартов выбросов транспортных средств, расширение инфраструктуры для электромобилей и реализация регулярных мер по пылеподавлению в городе. В сфере энергетики и промышленности приоритетными мерами являются переход на более чистые виды топлива и технологии, строгое соблюдение предельных значений выбросов, а также совершенствование систем выдачи экологических разрешений, мониторинга и инспекций.

Выбросы аммиака (NH_3) в Термезе весьма высоки и могут быть существенным источником вторичных частиц $PM_{2.5}$. Концентрации аммиака в Термезе высоки как по данным наземных, так и спутниковых измерений, что указывает на существенные и широко распространенные в пространстве выбросы. Вероятными источниками являются сельскохозяйственная деятельность, включая интенсивное применение удобрений и

животноводство. Проведение специальной кампании по отбору проб для анализа химического состава $PM_{2.5}$ (анионов и катионов) позволит получить ценную информацию о вкладе аммиака в образование вторичных частиц в районе Термеза. Очень важно улучшение управления выбросами аммиака посредством политических и технических мер. Необходимо провести дополнительные исследования для выявления конкретных источников выбросов NH_3 в Термезе и его окрестностях и количественной оценки их вклада. Возможные варианты смягчения последствий включают оптимизацию методов использования удобрений и навоза, продвижение методов ведения сельского хозяйства с низким уровнем выбросов. Реализация этих мер непосредственно снизит вторичное образование $PM_{2.5}$ и обеспечит существенные преимущества для общественного здравоохранения.

Мониторинг качества воздуха на автоматической станции мониторинга в Термезе ограничен проблемами качества данных и относительно коротким периодом эксплуатации.

Хотя данные по твердым частицам считаются надежными, на данные по газообразным загрязнителям (SO_2 , NO_2 , O_3) влияют дрейф сигнала приборов и недостаточная калибровка, что приводит к высокой неопределенности измерений и делает части набора данных непригодными для использования. Период мониторинга в 20 месяцев также ограничивает возможность оценки долгосрочных тенденций. Существует острая необходимость в укреплении процедур обеспечения и контроля качества, обеспечении регулярного технического обслуживания и многоточечной калибровки приборов, а также в наращивании технического потенциала для проверки и управления данными. Развитие национального опыта в области обеспечения и контроля качества мониторинга качества воздуха должно стать приоритетной задачей перед дальнейшим расширением сети мониторинга.

Данных о наличии крупных промышленных источников загрязнения в самом Термезе не имеется, хотя региональное воздействие очевидно. В городе не было выявлено крупных стационарных источников. Однако спутниковые наблюдения указывают на сигналы сильного выброса SO_2 от Байсунского газоперерабатывающего завода, расположенного примерно в 100 км к северу. Небольшие промышленные и строительные предприятия, такие как предприятия по обработке грунта, обработке материалов и обслуживанию дорог, могут способствовать локальным выбросам твердых частиц, особенно в сухую и ветреную погоду. Кроме того, использование отработанных нефтепродуктов для отопления теплиц в холодное время года, вероятно, увеличивает местную нагрузку на загрязнение воздуха.

Необходимо провести дополнительные исследования и количественно оценить вклад каждого источника загрязнения. Эффективная работа по определению вклада источников должна включать как минимум годовую кампанию мониторинга, включающую систематический сбор образцов твердых частиц, подробный анализ химического состава и параллельный мониторинг основных газообразных загрязняющих веществ с последующим моделированием рецепторов. Это позволит городу определить относительную долю выбросов от транспорта, отопления, сельского хозяйства, пылевых источников и других секторов, что является критически важной информацией для определения приоритетов мер контроля и эффективного распределения ресурсов, а также для количественной оценки влияния природных источников на концентрацию твердых частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$.

Техническое резюме

В настоящем отчете представлен научный анализ качества воздуха в городе Термезе (Узбекистан). Отчет предназначен для экспертов по качеству воздуха, ученых, изучающих атмосферу и технических специалистов, работающих в области мониторинга качества воздуха, анализа выбросов и охраны окружающей среды. Цель оценки заключалась в анализе концентраций загрязняющих веществ в окружающей среде, выявлении основных источников выбросов и предоставлении научно-обоснованных, разумных и актуальных рекомендаций для разработки местных и национальных мер по управлению качеством воздуха.

Источники данных и охват, использованные в отчете:

- Данные мониторинга (на месте) с автоматической многокомпонентной станции контроля качества воздуха Узгидромета в Термезе (охватывающие период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г.), включая почасовые концентрации PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 , TSP, NO_2 , NO, NO_x , SO_2 , O_3 , CO и NH_3 , а также метеорологические параметры (температура, скорость и направление ветра и относительная влажность).
- Спутниковые наблюдения, в том числе:
 - Sentinel-5P TROPOMI (NO_2 , SO_2 , Коэффициент поглощающих аэрозолей (AAI)),
 - MODIS (оптическая глубина аэрозоля – AOD),
 - Спутник IASI (NH_3) от Центра спутниковых измерений состава атмосферы EUMETSAT (Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников).
- Местный кадастр выбросов, составленный местными экспертами, содержащий пространственные и секторальные данные о выбросах от промышленных источников, транспорта, систем отопления (в т.ч. в сельском хозяйстве) как в г. Термез, так и в Сурхандарьинской области.

Аналитическая часть, представленная в данном отчете, включает:

- Анализ временных рядов концентраций загрязняющих веществ и суточной/сезонной изменчивости.
- «Розы загрязнения» и графики ветровых условий для определения преобладающих направлений и моделей выбросов.
- Расчет массовой доли частиц по размеру и соотношению со скоростью ветра.
- Матрицы корреляции между загрязняющими веществами и метеорологическими переменными.
- Пространственные и временные тенденции для NO_2 , SO_2 , AOD и NH_3 , полученные со спутников.
- Пространственное картирование источников выбросов и инфраструктуры с использованием Google Earth Pro и данных локального кадастра, составленных на основе запросов к Национальному комитету по статистике.

Хотя в отчете представлен подробный обзор состояния загрязнения воздуха в Термезе, следует отметить ряд ограничений. Во-первых, временные рамки основного набора данных

(данные мониторинга качества воздуха на месте) – 20 месяцев – не позволяют выявить долгосрочные тенденции в качестве воздуха. Поэтому анализ сосредоточен на отслеживании сезонных изменений и эпизодических случаев загрязнения. Во-вторых, хотя данные по твердым частицам, полученные на станции Узгидромета, достаточно высокого качества и составляют основу выводов отчета, некоторые данные по газообразным загрязнителям (в частности, SO_2 , NO_2 и O_3) были искажены дрейфом показаний приборов и недостаточной калибровкой. Эти проблемы привели к получению явно подозрительных или нереалистичных значений за некоторые периоды времени, поэтому среднегодовые значения концентрации для этих параметров не были представлены. Их использование в анализе ограничено качественными или иллюстративными целями, и к любым выводам, сделанным на их основе, следует относиться с осторожностью.

Выбор типов данных был обусловлен как научной значимостью, так и осуществимостью. Приоритет был отдан твердым частицам из-за постоянного превышения международных санитарных норм и их общепризнанным воздействием на здоровье. Эти загрязняющие вещества были проанализированы с точки зрения почасовых, суточных и сезонных тенденций, суточных профилей и метеорологической чувствительности. В корреляционный анализ были включены индикаторы сгорания, такие как CO и NO, для выявления выбросов, связанных с отоплением в зимний период, которые, как было установлено, совпадают с низкими температурами и застойными условиями. К сожалению, данные измерений SO_2 пришлось исключить из корреляционного анализа из-за явных проблем с качеством данных. Анализ NH_3 проводился как по данным наземного мониторинга, так и по данным спутниковых измерений, поскольку его уровень в регионе стабильно высок, что свидетельствует о значительном влиянии сельского хозяйства. Спутниковые данные, использованные для дополнения данных наземных наблюдений, позволили выявить региональные закономерности и подтвердить наличие трансграничных очагов загрязнения и запыления, в частности, в результате пыльных явлений и промышленных источников за пределами непосредственной территории города.

Для пользователей данного отчета отдельные разделы предоставляют четкие отправные точки в зависимости от аналитических потребностей. Раздел 5 содержит основной анализ наземных данных о загрязняющих веществах и метеорологических данных. На Рисунках 11–37 представлены временные ряды, массовые доли по размеру и метеорологические корреляции. В разделе 6 представлены результаты дистанционного зондирования, включая распределение тропосферных газов и показатели аэрозолей на 2019–2024 годы. В разделе 7 обобщены данные местного кадастра выбросов и представлены пространственные наложения ключевых источников, общие объемы выбросов и виды топлива, используемые в различных секторах. В случае ограничений качества данных они отмечены в соответствующих разделах.

Исследователям и политическим консультантам рекомендуется сосредоточить внимание в первую очередь на результатах исследований, касающихся твердых частиц (PM) и аммиака (NH_3), которые наилучшим образом подтверждаются имеющимися данными.

Резюме для лиц, принимающих решения

Данный обзор призван предоставить краткую, основанную на фактах информацию лицам, принимающим решения в области качества воздуха в Термезе и Сурхандарьинской области, включая представителей городских и областных органов власти, а также местных сотрудников Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан и его подведомственных организаций. Обзор основан на научном анализе, представленном в полной версии отчета, и призван преобразовать технические выводы в практические, выполнимые рекомендации для реализации на местном и региональном уровнях. Хотя основное внимание в данном резюме уделяется местным мерам, в нем также освещаются стимулирующие действия на национальном уровне, необходимые для обеспечения устойчивого улучшения качества воздуха.

Термез сталкивается с постоянно высоким уровнем загрязнения воздуха, причем концентрации твердых частиц (PM_{10} и $PM_{2.5}$) превышают международные нормативные значения в течение всего года. Географическое положение города, окруженного засушливой местностью и подверженного частым песчаным и пыльным бурям (ППБ), дополнительно увеличивает концентрацию частиц. В холодные месяцы выбросы от отопления жилых помещений, местного транспорта и других источников сжигания значительно способствуют загрязнению воздуха мелкими твердыми частицами. Данные спутниковых наблюдений и наземных измерений подтверждают повышенный уровень аммиака (NH_3), вероятно связанный с сельскохозяйственной деятельностью.

Местные меры должны уделять первоочередное внимание сокращению выбросов и регулированию воздействия. В Термезе природные источники, в частности песчаные и пыльные бури (ППБ), способствуют очень высоким пиковым значениям концентрации твердых частиц (PM). Необходимы дополнительные исследования для количественной оценки относительного вклада антропогенных и природных источников, чтобы лучше определить пространство для эффективных политических мер. В то же время, для сокращения выбросов и защиты здоровья населения необходимы как меры по смягчению последствий, так и меры по адаптации.

Гендерное равенство и социальная инклюзивность должны быть интегрированы во все меры по обеспечению качества воздуха. Все меры должны включать показатели и цели, дезагрегированные по полу. Субсидии на экологически чистые решения для отопления должны быть ориентированы в первую очередь на домохозяйства, возглавляемые женщинами, и домохозяйства с низким доходом. Меры по обеспечению транспорта и мобильности должны быть адаптированы к характеру передвижения женщин. Женщин также следует активно интегрировать в инициативы по сокращению выбросов и созданию экологических рабочих мест. Кампании по информированию о рисках и повышению осведомленности общественности должны быть специально ориентированы на беременных женщин, лиц, осуществляющих уход, и школьное сообщество для усиления защиты в периоды высокого уровня загрязнения и эпизодов ППБ.

Основные меры, рекомендуемые для улучшения управления качеством воздуха в Термезе:

1. **Четко определить и формализовать правовые роли и обязанности уполномоченных органов и организаций в управлении качеством воздуха на городском и региональном уровне.** Разработать конкретные нормативные или подзаконные акты, возлагающие на местные органы власти ответственность за планирование качества воздуха, контроль выбросов, выдачу разрешений и надзор за промышленной деятельностью, а также распространение общественной информации. Включить положения о корректирующих мерах в случаях несоблюдения требований, таких как открытое сжигание и нарушение норм выбросов, а также стимулы для поощрения внедрения более чистых технологий и методов.
2. **Разработать специальный план по управлению качеством воздуха в Термезе.** Местным органам власти совместно с Министерством экологии, охраны окружающей среды и изменения климата рекомендуется принять среднесрочный (на 5–10 лет) план, в котором приоритет будет отдан практическим мерам по сокращению выбросов в конкретных секторах и который согласуется с национальными рамками, включая готовящуюся Национальную стратегию по охране атмосферного воздуха до 2035 года. Широкое и инклюзивное участие заинтересованных сторон имеет решающее значение для обеспечения местной ответственности, общественной поддержки и эффективной реализации плана.
 - a. **Улучшить и регулярно обновлять кадастр выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на уровне города.** Важно разработать и поддерживать всеобъемлющий, актуальный кадастр выбросов для Термеза, охватывающий все приоритетные загрязняющие вещества ($PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_x , SO_2 , NH_3) и ключевые секторы (включая промышленность и производство энергии, тепличное хозяйство, транспорт (автомобильный и железнодорожный), сельское хозяйство, а также сжигание и отопление жилых помещений). Кадастр должен быть основан на стандартизированных, сопоставимых на международном уровне данных и включать самые последние данные о деятельности в каждом секторе для обеспечения надежности и соответствия политике.
 - b. **Сократить выбросы от отопления и потребления энергии в домохозяйствах.** Местным органам власти следует разработать целенаправленный план сокращения выбросов для сектора отопления, охватывающий как потребление энергии домохозяйствами, так и отопление сельскохозяйственных теплиц. Приоритетные меры должны быть направлены на продвижение экологически чистых и доступных альтернативных видов топлива, модернизацию технологий отопления, обеспечение соблюдения запретов на открытое сжигание отходов и биомассы, и обеспечение доступности для малообеспеченных слоев населения.
 - c. **Сократить выбросы от городского транспорта и промышленных предприятий.** Городской план по сокращению выбросов от транспорта должен быть направлен на транспортные средства с высоким уровнем выбросов, содействовать более экологичной мобильности и уделять приоритетное внимание инвестициям в инфраструктуру общественного и немоторизованного транспорта. Необходимо ускорить развитие сетей зарядки электромобилей для их более широкого внедрения. Промышленным предприятиям Сурхандарьинской области следует применять наилучшие доступные технологии (НДТ), соблюдать требования разрешений на выбросы, а также усилить мониторинг и отчетность по выбросам.

- d. Сократить выбросы в сельском хозяйстве.** Город Термез и прилегающие районы должны выявить и количественно оценить основные источники выбросов аммиака (NH_3), которые, вероятно, связаны с сельскохозяйственными практиками, и принять целенаправленные меры по их сокращению, такие как оптимизированное использование удобрений и навоза. Продвижение устойчивых методов землепользования, минимизирующих пылеобразование и ветровую эрозию, в тесном сотрудничестве с фермерами и сельскохозяйственными кооперативами, также принесет существенные выгоды. Кроме того, постепенный отказ от открытого сжигания сельскохозяйственных отходов, проведение информационных кампаний и внедрение альтернативных методов управления биомассой и органическими отходами дополнительно укрепят усилия по обеспечению чистого воздуха на местном уровне.

3. Совершенствовать системы мониторинга и прогнозирования качества воздуха.

- a. Усилить мониторинг качества воздуха и обеспечить прозрачность данных.** Высококачественные данные о качестве воздуха в режиме реального времени имеют основополагающее значение для принятия решений, основанных на фактических данных. Необходимо институционализировать и внедрить строгие протоколы контроля и обеспечения качества в повседневную работу станции автоматического мониторинга в Термезе, включая регулярную многоточечную калибровку, стандартизированное техническое обслуживание, и процедуры проверки данных для обеспечения надежности данных мониторинга и их пригодности для использования в политике. Постоянное наращивание потенциала и практическое обучение технического персонала имеют решающее значение для поддержания и повышения качества данных. Данные о качестве воздуха в режиме реального времени и исторические данные должны быть общедоступны общественности на открытых платформах в соответствии с Конвенцией ЕЭК ООН о доступе к информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды (Орхусской конвенцией).
- b. Провести исследование распределения источников загрязнения и оценку воздействия на здоровье.** Необходимо начать всеобъемлющую кампанию по исследованию распределения местных источников для количественной оценки вклада в наблюдаемые уровни твердых частиц источников как природного, так и антропогенного происхождения, таких как пылевые выбросы, отопление жилых помещений и сжигание других бытовых отходов, транспортного движения, сельскохозяйственной деятельности. Результаты обеспечат научную основу для разработки целенаправленных мер по сокращению выбросов. Параллельно с этим необходимо проводить оценку воздействия загрязнения воздуха на здоровье населения и обоснование приоритетности мер вмешательства на основе фактических данных.
- c. Укрепить потенциал использования и совершенствования существующих систем раннего оповещения и прогнозирования песчаных и пыльных бурь,** включая все ключевые компоненты цикла управления рисками стихийных бедствий: знания о рисках; обнаружение, мониторинг, анализ и прогнозирование; распространение и передача предупреждений; а также потенциал в области готовности и реагирования. Необходимо сосредоточить усилия на улучшении интеграции данных, институциональной координации и местного технического потенциала для обеспечения своевременного, точного и доступного раннего оповещения о песчаных и пыльных бурях как для органов власти, так и для населения.

4. Информировать граждан о способах снижения воздействия вредных веществ в периоды ухудшения качества воздуха. В связи с постоянно высокими концентрациями PM_{10} и $PM_{2.5}$ в Термезе в течение всего года, важно, чтобы граждане были информированы о практических мерах самозащиты от воздействия вредных веществ.

а. Распространять информацию о качестве воздуха и предупреждения в режиме реального времени. Информация о качестве воздуха в режиме реального времени должна регулярно публиковаться в доступных и понятных форматах (например, на веб-сайтах, в мобильных приложениях и с помощью SMS-оповещений). Индекс качества воздуха, обновляемый в режиме, близком к реальному времени, представленный в простом цветовом формате «светофора», является эффективным инструментом для информирования населения о текущем состоянии качества воздуха и связанных с ним рисках для здоровья.

б. Предоставлять четкие рекомендации по мерам защиты. Информация о качестве воздуха должна сопровождаться рекомендациями, основанными на медицинских аспектах, которые разъясняют текущий уровень качества воздуха (например, «нездоровый») и рекомендуют соответствующие меры защиты. Например, в условиях очень плохого или крайне плохого качества воздуха следует сообщать такие рекомендации, как «сократите или избегайте физической активности на открытом воздухе». В рекомендациях следует четко проводить различие между рекомендациями для населения в целом и для уязвимых групп (таких как дети, пожилые люди и люди с респираторными или сердечно-сосудистыми заболеваниями).

Подчеркнуть важность поддержания хорошего качества воздуха в помещениях. При высокой концентрации PM_{10} и $PM_{2.5}$ в атмосфере воздействие загрязняющих веществ, люди могут снизить их воздействие, оставаясь в помещении. Для обеспечения здоровой среды в помещениях следует принимать такие меры, как устранение источников загрязнения, обеспечение достаточной, но контролируемой вентиляции и использование воздухоочистителей или систем фильтрации с соответствующими стандартами эффективности.

д. Повысить осведомленность населения о качестве воздуха и о значении индивидуальных мер. Планировать и проводить комплексные образовательные и информационно-просветительские кампании, ориентированные на различные аудитории, начиная со школьников, для повышения осведомленности о загрязнении воздуха, его влиянии на здоровье и способах минимизации воздействия. Также крайне важно наращивание потенциала и обучение местных сотрудников Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата, метеорологов и специалистов по чрезвычайным ситуациям. Тесная межотраслевая координация и сотрудничество с научными кругами, НПО и средствами массовой информации повысят эффективность таких мер. Взаимодействие с сообществами и укрепление институционального потенциала будут способствовать изменению поведения и долгосрочному участию общественности в инициативах по охране чистого воздуха.

Это резюме не является исчерпывающим, но в нем освещены наиболее актуальные возможности улучшения качества воздуха в Термезе. Достижение долгосрочного прогресса потребует сильной политической воли, тесного взаимодействия между национальными и местными органами власти и постоянных инвестиций в чистый воздух как общественное благо и неотъемлемое право.

Часть I.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В ТЕРМЕЗЕ

Неконтролируемое сжигание бытовых и сельскохозяйственных отходов приводит к выбросам в атмосферу. Фотография сделана недалеко от Термеза

© ФМИ

В настоящем отчете представлен подробный анализ качества воздуха в г. Термез, расположенном в южной части Сурхандарьинской области Узбекистана. Это первое в своем роде исследование качества воздуха на уровне города Термез, в котором объединены данные из нескольких научных источников для более глубокого понимания уровней загрязнения, его источников, воздействия на здоровье и возможностей для принятия мер на местном, национальном и региональном уровнях.

Исследование было проведено в ответ на растущую обеспокоенность по поводу загрязнения воздуха в Узбекистане, где качество окружающего воздуха формируется под сложным сочетанием антропогенных и природных факторов. В Термезе, городе на границе с Афганистаном, расположенном в засушливой пустынной местности, особенно сильно ощущается влияние сезонных песчаных и пыльных бурь. Эти природные явления в сочетании с местными выбросами от отопления, транспорта, сельского хозяйства и мелкой промышленности способствуют постоянно высокому уровню содержания твердых частиц ($PM_{2.5}$ и PM_{10}), которые представляют серьезную угрозу для здоровья и благополучия населения.

Настоящий отчет состоит из двух взаимодополняющих частей:

- **Часть I предназначена для лиц, принимающих решения, специалистов по планированию и широкой общественности.** В ней доступным языком изложены основные выводы анализа качества воздуха, с акцентом на присутствующие загрязняющие вещества, их источники и меры по снижению их воздействия. В отчете представлен обзор рисков для здоровья, приоритетных загрязняющих веществ и международных стандартов качества воздуха, а также целевые рекомендации по улучшению качества воздуха в Термезе и других регионах с аналогичными условиями.
- **Часть II содержит научную информацию и предназначена для технических экспертов, специалистов по охране окружающей среды и исследователей.** В ней подробно описаны данные, использованные при оценке, включая данные станций мониторинга, спутниковые данные, метеорологические тенденции и данные инвентаризации выбросов. В ней также объясняются примененные аналитические методы, ограничения данных и сезонные закономерности, что позволяет проводить репликацию, проверять и более глубоко анализировать меры политического характера.

Читателям рекомендуется начать с Части I, чтобы получить общее представление о результатах исследования и их последствиях, а затем обратиться к Части II для получения технической информации, интерпретации данных или научного обоснования. В совокупности обе части направлены на поддержку управления качеством воздуха в Термезе на основе фактических данных, одновременно закладывая основу для более широких политических мер на национальном уровне.

Данное исследование было проведено по заказу Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) по просьбе Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан при технической поддержке Финского метеорологического института (ФМИ) и финансовой поддержке Европейской комиссии и Счета развития Организации Объединенных Наций в рамках проекта «Природные решения для восстановления после COVID-19 и повышения устойчивости к загрязнению городского воздуха на Западных Балканах и в Центральной Азии», реализуемого ЮНЕП в партнерстве с Программой ООН по населенным пунктам (ООН-Хабитат) в 2022-2025 годах.

1 Введение

В данной главе излагаются цель, объем и контекст исследования, представлены основные загрязнители воздуха и их воздействие на здоровье, а также объясняется актуальность рекомендаций ВОЗ по качеству воздуха для Узбекистана. В главе также обращается внимание на экологические и социальные аспекты загрязнения воздуха, включая гендерные вопросы и проблемы неравенства, и подчеркивается необходимость инклюзивных и устойчивых решений.

1.1 Об этом исследовании

Узбекистан, расположенный в Центральной Азии, сталкивается с серьезными проблемами в области управления качеством воздуха из-за сочетания таких факторов, как промышленная деятельность, производство энергии, выбросы от бытовых и транспортных источников, а также природных факторов, таких как сухая и засушливая среда, благоприятствующая образованию пыли, особенно при сильных ветрах, песчаных и пыльных бурях (ППБ), вызванных опустыниванием и местными климатическими условиями, переносом загрязнений на большие расстояния и трансграничным загрязнением. В стране наблюдаются различные уровни загрязнения воздуха в разных регионах, на которые влияют местные и региональные источники выбросов, рельеф местности и метеорологические условия.

В частности, в городе Термезе, расположенном в Сурхандарьинской области на юге Узбекистана, сезонные пыльные бури оказывают сильное влияние на качество воздуха, значительно увеличивая концентрацию твердых частиц (PM_{10} и $PM_{2.5}$) в атмосферном воздухе, снижая видимость, нанося ущерб сельскохозяйственным культурам и инфраструктуре и повышая риски для здоровья.

Термез, южный город с населением 207 300 человек (Национальный комитет по статистике, 2025 г.), расположенный на границе с Афганистаном, недалеко от реки Амударья, сталкивается с особыми проблемами качества воздуха, обусловленными его



Вид на реку Амударью и границу с Афганистаном в Термезском районе
© ЮНЕП

географическим положением, климатом и экономической деятельностью. Сухой рельеф региона представляет собой сочетание скалистых гор и песчаных или каменистых пустынь. Из-за сухого и засушливого климата с минимальным количеством осадков пыль и песок в воздухе по-прежнему представляют собой серьезную проблему для качества воздуха. В Термезе нет крупных промышленных предприятий, но есть некоторые небольшие предприятия, включая строительные, кирпичные заводы, теплицы и другие сельскохозяйственные предприятия, а также транспортные компании и мелкие производственные предприятия расположены в его окрестностях. На качество воздуха в Термезе также влияют производство энергии и выбросы бытовых отходов.

В целом, качество воздуха в Узбекистане, включая Термез, является многогранной проблемой, обусловленной как природными, так и антропогенными факторами. Выявление основных источников выбросов и понимание их воздействия имеют решающее значение для разработки эффективных стратегий по смягчению их последствий с целью охраны здоровья населения и окружающей среды.

Узбекистан в настоящее время активно модернизирует национальную систему мониторинга качества воздуха, создавая в крупных городах новые автоматические станции мониторинга качества воздуха, контролирующие различные загрязняющие вещества, на основе международных стандартизированных методов (Zamin Foundation, 2025 г.). С 2023 года в г. Термез действует одна автоматическая станция мониторинга качества воздуха, которая находится в ведении регионального центра Государственного агентства гидрометеорологической службы (Узгидромет) в районе Термеза. Данные этой станции стали одним из основных источников данных для данного исследования по оценке качества воздуха, подкрепленного данными о качестве воздуха, полученными со спутников, и данными местного кадастра выбросов в этом районе.

В настоящем отчете основное внимание уделяется представлению научных данных о качестве воздуха в Термезе на основе анализа имеющихся данных мониторинга качества воздуха в городе. Анализ данных включает данные автоматической станции мониторинга качества воздуха Узгидромета, спутниковые данные и местные кадастры выбросов.

Целью данного исследования качества воздуха был анализ текущих данных мониторинга качества воздуха в Термезе, выявление основных источников загрязнения в районе города Термез и предоставление рекомендаций по усилению мониторинга и управления качеством воздуха.

1.2 Влияние загрязнителей воздуха на здоровье

Загрязнение воздуха является серьезной экологической проблемой, затрагивающей здоровье всех людей как в развитых, так и в развивающихся странах. Согласно последним оценкам ВОЗ, загрязнение воздуха ежегодно уносит жизни примерно 7 миллионов человек, что делает его одним из самых серьезных экологических рисков для здоровья. Снижая уровень загрязнения воздуха, страны могут уменьшить бремя таких заболеваний, как инсульт, сердечно-сосудистые заболевания, рак легких, неблагоприятные неврологические и врожденные аномалии, а также хронические и острые респираторные заболевания, включая астму.

По данным ВОЗ, загрязнение воздуха в Узбекистане ежегодно приводит к примерно 38 000 преждевременных смертей (на основе данных о численности населения за 2021 г.), что составляет 18 процентов всех смертей от инсульта и ишемической болезни сердца (WHO, 2025a) и приводит к потерям ВВП в 2013 году в размере 6,7 млн. долларов США (4,4 процента) (World Bank and IHME, 2016). Более свежие данные показывают, что ущерб здоровью, связанный с $PM_{2.5}$, только в Ташкенте обходится примерно в 488 млн долларов США в год, что эквивалентно примерно 0,7 процента национального ВВП (World Bank, 2024).

Воздействие мелкодисперсных частиц ($PM_{2.5}$) является наиболее серьезным риском для здоровья из всех загрязнителей воздуха. Существует тесная корреляция между загрязнением воздуха и здоровьем: чем ниже уровень загрязнения воздуха, тем лучше будет состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем населения как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. Воздействие мелких твердых частиц диаметром 2.5 микрометра или менее ($PM_{2.5}$), вызывающих сердечно-сосудистые, респираторные и онкологические заболевания, является основной причиной такого уровня смертности. Важно отметить, что дети более чувствительны к негативному воздействию загрязнения воздуха на здоровье, чем взрослые. На детей приходится примерно 10 процентов смертей и 33 процента лет жизни с поправкой на инвалидность в Узбекистане. По оценкам IHME, смертность среди детей от загрязнения воздуха превышает смертность от респираторных заболеваний, рака и инсультов вместе взятых.

В обновлении Глобальных рекомендаций ВОЗ по качеству воздуха за 2021 год представлена оценка воздействия загрязнения воздуха на здоровье и определены пороговые значения уровней загрязнения, вредных для здоровья (WHO, 2021).

По данным Национального комитета РУ по статистике (2025с), в период с 2017 по 2020 год произошло более 635 200 смертей, из которых примерно 75 процентов были вызваны сердечно-сосудистыми заболеваниями (60 процентов), онкологическими (10

процентов) и хроническими респираторными заболеваниями (5 процентов). Показатели смертности в других странах Центральной Азии находятся на аналогичном уровне (Aringazina et al., 2018). Эти данные могут свидетельствовать о потенциальном воздействии концентраций $PM_{2.5}$ в окружающей среде на здоровье населения в регионе, наряду с другими факторами.

Поэтому рекомендуется проводить исследования воздействия на здоровье, в которых данные мониторинга качества воздуха сочетаются со статистикой здравоохранения и данными о смертности в Узбекистане. Политика и инвестиции, направленные на поддержку более экологически чистого транспорта и производства энергии (включая переход от ископаемых видов топлива к возобновляемым источникам энергии), сокращение выбросов, связанных с отоплением жилых помещений, и улучшение управления промышленными и муниципальными отходами, помогают уменьшить основные источники загрязнения атмосферного воздуха. Возможности отдельных лиц контролировать загрязнение воздуха крайне ограничены, поэтому необходимы действия со стороны политиков местного, национального и регионального уровней, работающих в секторах транспорта, энергетики, управления отходами, городского планирования и сельского хозяйства. (WHO, 2021)



Желтые газовые трубы распространены в городских и пригородных районах Термеза
© ЮНЕП

ВОЗ (2024) привела несколько примеров успешных мер по снижению загрязнения воздуха в различных секторах. Ниже приведены некоторые из них:

Промышленность

Чистые технологии, сокращающие выбросы промышленных дымовых труб.



Энергетика

Обеспечение доступа к недорогим экологически чистым энергетическим решениям для всех пользователей, в частности для домохозяйств, офисов и других зданий. Повышение энергоэффективности способствует сокращению потребления энергии.



Транспорт

Переход на экологически чистые способы производства энергии и содействие устойчивой мобильности, включая приоритетное развитие скоростного городского транспорта, междугородних железнодорожных грузовых и пассажирских перевозок, и использование более экологичных большегрузных дизельных транспортных средств. Поощрение использования транспортных средств и топлива с низким уровнем выбросов, в том числе топлива с пониженным содержанием серы. Развитие сетей пешеходных и велосипедных дорожек в городах.



Производство электроэнергии

Более широкое использование видов топлива с низким уровнем выбросов и возобновляемых источников энергии, не требующих сжигания топлива (таких как солнечная, ветровая или гидроэнергия); комбинированное производство тепла и электроэнергии; а также распределенное производство энергии (например, мини-сети и системы солнечных батарей на крышах зданий).



Городское планирование

Вопросы качества воздуха должны учитываться при планировании и принятии решений в сфере городского и земельного планирования. Например, новые жилые районы, школы, детские сады и больницы должны располагаться на безопасном расстоянии от основных дорог и других зон повышенной загрязненности для обеспечения благоприятной окружающей среды. Основное внимание при планировании должно быть уделено сохранению хорошего качества воздуха там, где оно уже есть, и его улучшению в районах с низким уровнем загрязнения. Не менее важно избегать создания новых проблем с качеством воздуха в результате неадекватного планирования, например, проектирования «уличных каньонов», ограничивающих рассеивание загрязняющих веществ, увеличения транспортных заторов и связанных с ними выбросов, или размещения новых жилых многоквартирных домов слишком близко к промышленным объектам или дорогам с интенсивным движением.



Управление бытовыми и сельскохозяйственными отходами

Эффективное управление отходами имеет решающее значение для защиты качества воздуха. Это включает в себя сокращение объемов отходов, сортировку вторсырья, повторное использование материалов и совершенствование систем переработки и утилизации. Биологические методы обработки, такие как анаэробное сбраживание, могут превратить органические отходы в биогаз и сократить выбросы. Следует продвигать недорогие альтернативы открытому сжиганию твердых отходов. Если сжигание необходимо, оно должно осуществляться с использованием надлежащих технологий сжигания и строгим контролем выбросов в специальных мусоросжигательных заводах. Неконтролируемое сжигание отходов на свалках или в домохозяйствах приводит к серьезным проблемам с качеством воздуха, выбрасывая в атмосферу множество вредных загрязняющих веществ, в том числе канцерогенные полициклические ароматические углеводороды.



1.3 Основные виды загрязнители и их источники

ВОЗ определяет загрязнение воздуха как «загрязнение воздуха в помещениях или на открытом воздухе любыми химическими, физическими или биологическими веществами, которые изменяют естественные характеристики атмосферы». Бытовые устройства сжигания, автотранспортные средства и промышленные предприятия являются распространенными антропогенными источниками загрязнения воздуха. К загрязняющим веществам, представляющим серьезную опасность для здоровья людей, относятся твердые частицы, окись углерода, озон, диоксид азота и диоксид серы. Загрязнение воздуха на открытом воздухе и в помещениях вызывает респираторные и другие заболевания и является важным источником заболеваемости и смертности» (WHO, 2025).

Кроме того, летучие органические соединения (ЛОС), полициклические ароматические углеводороды (в частности, бенз(а)пирен) и тяжелые металлы также вредны для здоровья человека, и, например, в законодательстве ЕС о качестве воздуха для них установлены предельно допустимые концентрации в окружающем воздухе (EU, 2024).

В следующих разделах описывается воздействие этих основных видов загрязнителей на здоровье на основе данных ВОЗ (2021).

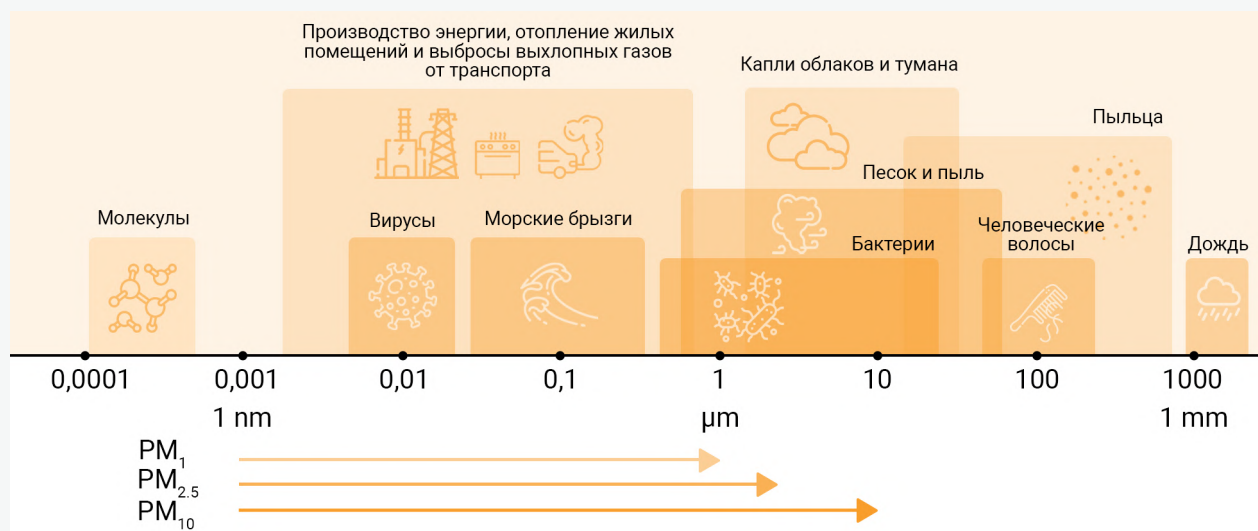
Твердые частицы (PM_{10} и $PM_{2.5}$)

Воздействие твердых частиц (PM) представляет собой наиболее серьезную угрозу для здоровья из всех загрязнителей воздуха. Основными компонентами твердых частиц в окружающем воздухе являются сульфаты, нитраты, аммиак, хлорид натрия, технический углерод, элементарный и органический углерод, минеральная пыль и вода. Твердые частицы представляют собой сложную смесь твердых и жидких частиц, состоящую из органических и неорганических веществ, таких как тяжелые металлы и полициклические ароматические углеводороды, взвешенные в воздухе. (ВОЗ, 2025a)

Размер и химический состав твердых частиц зависят от их источника, поэтому анализ химического состава твердых частиц помогает отследить их источник (распределение источников). Влияние твердых частиц на здоровье зависит от их размера. Частицы диаметром 10 микрон или менее ($\leq PM_{10}$) могут проникать и оседать глубоко в легких, а еще более вредными для здоровья являются частицы диаметром 2.5 микрон или менее ($\leq PM_{2.5}$). $PM_{2.5}$ могут проникать через легочный барьер и попадать в кровоток. Хроническое воздействие твердых частиц способствует развитию сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний, а также рака легких и многих других проблем со здоровьем. Иллюстрация диапазонов размеров твердых частиц из разных источников представлена на Рисунке 1. (ВОЗ, 2025a)

Пороговое значение концентрации твердых частиц, ниже которого не наблюдается вредного воздействия на здоровье, не установлено. Влияние твердых частиц на здоровье проявляется при уровнях воздействия, которым в настоящее время подвергается большинство городского и сельского населения как в развитых, так и в развивающихся странах. Как кратковременное, так и долгосрочное воздействие твердых частиц может оказывать негативное влияние на здоровье. Воздействие твердых частиц на здоровье проявляется после их вдыхания. Существует тесная количественная связь между воздействием высоких концентраций мелких твердых частиц (PM_{10} и $PM_{2.5}$) и повышенной смертностью и заболеваемостью, как при ежедневном воздействии, так и в течение более длительного времени. И наоборот, при снижении концентрации мелких и мелкодисперсных твердых частиц смертность от

Рисунок 1. Иллюстрация (ориентировочных) диапазонов размеров твердых частиц из разных источников.



Источник: ФМИ.

соответствующих заболеваний также снизится, если все остальные факторы останутся неизменными. Это позволяет политикам прогнозировать потенциальное улучшение здоровья населения, которое можно ожидать в случае снижения загрязнения воздуха твердыми частицами (WHO, 2024; 2025a).

Песчаные и пыльные бури (ППБ) представляют собой растущую глобальную угрозу для здоровья человека (Aghababaeian et al., 2021; Li et al., 2025). Известно, что твердые частицы ППБ вызывают сердечно-сосудистые, респираторные и цереброваскулярные заболевания. К долгосрочным последствиям ППБ также относятся проблемы с беременностью, родами, а также нарушения когнитивных функций у детей. Кроме того, ППБ связаны с распространением инфекционных заболеваний, поскольку они могут переносить патогенные микроорганизмы на большие расстояния и способствовать более глубокому проникновению бактерий в легкие (Papatheodorou and Achilleos, 2025). Несмотря на наличие многочисленных доказательств вредного воздействия ППБ на здоровье, все еще необходимы дополнительные исследования для понимания путей воздействия, специфичные для региона и источника, и последствий для здоровья, влияния размера частиц и химического состава, а также наиболее эффективных способов снижения воздействия (Li et al., 2025).

Для восполнения пробелов в знаниях о влиянии песчаных и пыльных бурь на здоровье в Центральной Азии мы призываем к созданию глобальной сети сотрудничества и проведению международных исследований в области здравоохранения. Глобальная сеть сотрудничества может быть направлена на объединение международных междисциплинарных исследователей, методологий, технологий и ресурсов для разработки исследовательских протоколов, изучающих методы определения и оценки воздействия песчаных и пыльных бурь, ориентированных на здоровье, а также эпидемиологические модели и другие факторы. В этом случае исследования можно будет проводить последовательно в разных регионах мира с различными моделями воздействия песчаных и пыльных бурь.

Диоксид азота (NO₂)

Кратковременное воздействие диоксида азота (NO₂) может привести к неблагоприятным последствиям для здоровья, особенно у чувствительных групп населения, тогда как длительное воздействие может привести к более серьезным последствиям (например, снижению функции легких). Как и озон (O₃), диоксид азота в первую очередь воздействует на дыхательную систему. Диоксид азота тесно коррелирует с другими загрязнителями, такими как твердые частицы (WHO, 2021). Оксиды азота (NO, NO₂) также являются основным источником аэрозолей нитратов, которые часто составляют значительную часть PM_{2.5}. Основными источниками антропогенных выбросов NO₂ являются процессы горения (в частности, отопление, производство электроэнергии, двигатели транспортных средств и судов).

Диоксид серы (SO₂)

Диоксид серы (SO₂) – это бесцветный газ с резким запахом. Он образуется при сжигании содержащих серу ископаемых видов топлива (угля и нефти) и при плавке серосодержащих руд. Основным антропогенным источником SO₂ является сжигание содержащих серу ископаемых видов топлива для отопления жилых помещений, производства электроэнергии и работы автомобилей. SO₂ может поражать дыхательную систему и функции легких, а также вызывать раздражение глаз. Воспаление дыхательных путей вызывает кашель, выделение слизи, обострение астмы и хронического бронхита, а также повышает риск инфекций дыхательных путей. Диоксид серы может образовывать вторичные сульфатные частицы, таким образом, он является предшественником PM_{2.5}. Когда SO₂ соединяется с водой, он образует серную кислоту – основной компонент кислотных дождей, которые могут привести к обезлесению.

Озон (O₃)

Приземный озон, который не следует путать со стратосферным озоном (озоновым слоем в верхних слоях атмосферы), образуется в результате фотохимической реакции под воздействием солнечного света и таких загрязняющих веществ-прекурсоров, как оксиды азота (NO_x) из выхлопных газов автомобилей и промышленных выбросов, а также летучих органических соединений (ЛОС), выделяемых транспортными средствами, растворителями и промышленностью (WHO, 2024). В результате наибольший уровень загрязнения озоном наблюдается в периоды солнечной погоды (WHO, 2025a). Озон также является одним из основных компонентов фотохимического смога. Озон является реактивным окислителем, который может вступать в реакцию с широким спектром клеточных компонентов и биологических материалов и может поражать ткани дыхательных путей и легких. Чрезмерное содержание озона в воздухе может оказать существенное влияние на здоровье человека и растительность. Он может вызвать проблемы с дыханием, спровоцировать астму, снизить функцию легких и вызвать заболевания легких (ВОЗ, 2025a). Концентрацию озона следует измерять в сельской местности, на городских территориях или на промышленных станциях. Транспортные станции не являются оптимальным местом для измерения концентрации озона, поскольку озон потребляется в реакции со свежими выбросами оксида азота, образуя диоксид азота. Выбросы оксидов азота приводят к снижению концентрации озона вблизи крупных автомагистралей, но затем его образование происходит дальше по направлению ветра.

Оксид углерода (CO)

В высоких концентрациях оксид углерода (угарный газ) крайне ядовит, ограничивая поступление кислорода к тканям и подавляя клеточное дыхание. Отравление угарным газом может вызвать затруднение дыхания, упадок сил, головокружение и другие симптомы,

похожие на грипп (WHO, 2025a). Воздействие высоких концентраций угарного газа может быть смертельно опасным (WHO, 2025a). Он также оказывает неблагоприятное влияние, в частности, на массу тела при рождении и когнитивное развитие детей. Рекомендуется измерять концентрацию угарного газа в городских условиях, на дорогах и промышленных объектах. Однако концентрации угарного газа обычно значительно ниже предельно допустимых значений качества воздуха. Угарный газ может служить индикатором неполного или нечистого сгорания топлива. (WHO, 2024)

Аммиак (NH_3)

Аммиак играет важную роль в различных экологических проблемах, включая закисление, нитрификацию и эвтрофикацию. Он также выступает в качестве предшественника вторичных твердых частиц, тем самым способствуя связанным с ними последствиям для здоровья. Химические свойства аммиака в атмосфере означают, что он вступает в реакцию с другими химическими веществами с образованием частиц, которые могут быть удалены из атмосферы дождем, или с образованием других соединений аммиака, которые могут переноситься на большие расстояния. В результате выбросы аммиака могут оказывать воздействие на очень локальном уровне, а также способствовать последствиям переноса загрязняющих веществ на большие расстояния. Сельское хозяйство часто является основным источником выбросов аммиака (в ЕС на сельскохозяйственный сектор приходится около 93 процента выбросов NH_3), которые происходят из-за использования азотных удобрений и животноводства (EEA, 2025). В городских условиях источником аммиака могут быть выбросы от транспорта. Хотя вклад транспорта в выбросы NH_3 ограничен по сравнению с другими секторами, такими как сельское хозяйство, его влияние на качество воздуха, особенно в городах, может быть значительным (EEA, 2024).

1.4 Глобальные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха

С момента последнего обновления Глобальных рекомендаций ВОЗ по качеству воздуха в 2005 году значительно расширились научные знания о влиянии загрязнения воздуха на здоровье человека. В сентябре 2021 года ВОЗ опубликовала обновленные Глобальные рекомендации по качеству воздуха (WHO, 2021). В Таблице 1 приведены обновленные рекомендации по концентрациям $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 и CO .

В дополнение к нормативным значениям Глобальные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха предусматривают промежуточные целевые показатели для концентраций PM_{10} и $\text{PM}_{2.5}$, направленные на содействие постепенному переходу от высоких к более низким концентрациям, чтобы направлять страны с высоким уровнем загрязнения к постепенному достижению более чистого воздуха. Достижение этих промежуточных целевых показателей позволит значительно снизить риски острого и хронического воздействия загрязнения воздуха на здоровье. Однако, по мнению ВОЗ, конечной целью должно быть достижение окончательных нормативных значений.

Глобальные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха служат важным ориентиром для Узбекистана, который стремится модернизировать свои системы управления качеством воздуха и привести их в соответствие с международными стандартами в области здравоохранения. Эти рекомендации служат основой для установления национальных стандартов качества воздуха и предоставляют научно-обоснованные рекомендации для оценки рисков для здоровья, связанных с загрязнением.

Таблица 1. Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха (WHO, 2021)

Загрязнитель	Время усреднения	Промежуточная цель				Нормативное значение качества воздуха
		1	2	3	4	
PM _{2.5} (мкг/м ³)	Годовой	35	25	15	10	5
	Суточный ^a	75	50	37.5	25	15
PM ₁₀ (мкг/м ³)	Годовой	70	50	30	20	15
	Суточный ^a	150	100	75	50	45
O ₃ (мкг/м ³)	Пиковый сезон ^b	100	70	-	-	60
	8-часов ^a	160	120	-	-	100
NO ₂ (мкг/м ³)	Годовой	40	30	20	-	10
	Суточный ^a	120	50	-	-	25
	1-час					200
SO ₂ (мкг/м ³)	Суточный ^a	125	50	-	-	40
	10-минут					500
CO (мкг/м ³)	Суточный ^a	7	-	-	-	4
	8-часов					10
	1-час					35
	15-минут					100

a 99-й процентиль среднесуточных (средних за 24 часа) концентраций в течение года. (т. е. 3–4 дня превышения в год)

b Среднее значение максимальной средней 8-часовой концентрации O₃ за шесть последовательных месяцев с наивысшей скользящей средней концентрацией O₃ за шесть месяцев.

В последние годы Узбекистан предпринял значительные шаги по обновлению своих стандартов PM_{2.5} и PM₁₀ и расширению инфраструктуры мониторинга, все больше признавая необходимость сокращения разрыва между национальными предельными значениями и рекомендациями ВОЗ. В связи с разработкой Национальной стратегии по охране атмосферного воздуха на период до 2035 года, рекомендации ВОЗ и промежуточные целевые показатели служат важным ориентиром для установления амбициозных, но достижимых целей в области качества воздуха, направленных на защиту здоровья населения и разработки политики сокращения выбросов во всех секторах.

1.5 Гендерные аспекты, дети и неравенство в контексте загрязнения воздуха

Преыдушие исследования показали, что воздействие загрязнения воздуха и связанные с этим риски для здоровья зависят от социально-экономических факторов, таких как пол, социальный класс и этническая принадлежность. Женщины и дети могут быть особенно уязвимы к загрязнению воздуха из-за традиционных гендерных ролей, более

низкой заработной платы, материнских обязанностей и культурных норм. Основным источником загрязнения воздуха внутри помещений является приготовление пищи, отопление и освещение с использованием твердого топлива (например, древесины, отходов растениеводства, древесного и каменного угля) и керосина, используемых в открытых каминах, лампах и неэффективных печах. Ограниченные объемы в помещениях приводят к гораздо более высоким концентрациям загрязняющих веществ и, следовательно, проводя больше времени в помещении, женщины и дети подвергаются более длительным и высоким дозам загрязнения. Недавние исследования также показывают, что воздействие мелких частиц и выхлопов дизельных двигателей на женщин связано с повышенным риском сердечно-сосудистых заболеваний, рака молочной железы и неблагоприятных последствий для фертильности (Clean Air Fund, 2025).

Согласно отчету Всемирного банка (2019), женщины в Узбекистане непосредственно подвержены рискам для здоровья и окружающей среды, связанным с энергопотреблением, и уязвимы перед ними. Несмотря на то, что в целом у них есть доступ к энергии, они часто испытывают трудности с оплатой коммунальных услуг и основных потребностей и могут не иметь информации об энергоэффективности и доступных вариантах. Национальная отчетность по Цели устойчивого развития 8 (Достойная работа и экономический рост) подтверждает сохраняющиеся гендерные разрывы в сфере занятости и охвате социальной защитой, что усугубляет ограниченные возможности женщин по адаптации (Национальный комитет по статистике, 2025). Многие женщины занимаются домашней работой, включая приготовление пищи и уход за детьми, что вынуждает их проводить дома больше времени, чем мужчины, используя грязное топливо и тем самым подвергая себя большему загрязнению воздуха внутри и снаружи помещений. Данные национального обследования домохозяйств подтверждают сохранение таких рисков: по данным Многоиндикаторного кластерного обследования ЮНИСЕФ (2022), почти половина домохозяйств по-прежнему использует загрязняющие окружающую среду виды топлива и неэффективные печи для приготовления пищи и отопления, тем самым подвергая женщин и детей высокому уровню загрязнения воздуха в помещениях.

Загрязнение воздуха является одним из основных рисков для здоровья детей, являясь причиной почти 10 процентов случаев смерти детей в возрасте до пяти лет. Загрязнение воздуха в жилых помещениях, связанное с приготовлением пищи, и загрязнение наружного воздуха в совокупности являются причиной более 50 процентов острых инфекций нижних дыхательных путей у детей в возрасте до пяти лет в странах с низким и средним уровнем дохода. Воздействие загрязнения воздуха влияет на нервно-психическое развитие детей, что может привести к снижению когнитивного, умственного и моторного развития, а также вызвать рак или детскую астму (WHO, 2018). В Узбекистане дети составляют более трети населения, что делает эту проблему одной из основных проблем общественного здравоохранения (UNICEF, 2022).

Принятие решений и участие в общественной жизни также определяют уязвимость и устойчивость. Женщины по-прежнему недостаточно представлены в органах государственного управления: по состоянию на 2024 год женщины занимали лишь 34,6 процента мест в национальном парламенте (UN Women, 2024). Поэтому при планировании мер по улучшению качества воздуха как на национальном, так и городском уровнях следует обязательно предусматривать участие женщин, чтобы политика и меры соответствовали их потребностям и опыту.

Источники загрязнения

Основные источники загрязнения воздуха в Термезе

В этой главе представлены основные выводы о загрязнении воздуха в Термезе и обобщены основные источники выбросов, влияющие на качество воздуха. Приведенная здесь информация основана на комплексном анализе наземных измерений качества воздуха, спутниковых наблюдений, метеорологических данных и составленного на местном уровне кадастра выбросов. Подробный технический анализ, включая методы интерпретации данных, сезонные тенденции и сопутствующие данные, представлен в Части II настоящего отчета.

Хотя в этой главе не приводится полный аналитический материал, в ней изложены наиболее важные выводы для лиц, принимающих решения, и заинтересованных сторон. Цель главы – представить четкий и доступный обзор проблем загрязнения, с которыми сталкивается Термез, на основе научных данных, но в удобном для неспециалистов формате.

2.1 Загрязнение воздуха в Термезе

Качество воздуха в городе Термезе является серьезной проблемой для окружающей среды и здоровья населения. Среди загрязняющих веществ, подлежащих мониторингу, наиболее серьезную проблему представляют твердые частицы, особенно $PM_{2.5}$ и PM_{10} . Концентрации $PM_{2.5}$ и PM_{10} в Термезе постоянно превышают международно-признанные санитарные нормы, установленные ВОЗ, ЕС и Агентством по охране окружающей среды США. Эти превышения наблюдаются во все сезоны, что свидетельствует о хронической тенденции, требующей принятия срочных и целенаправленных мер по управлению качеством воздуха.



Засушливые ландшафты вокруг Термеза крайне уязвимы к ветровой эрозии, песчаным и пыльным бурям
© ФМИ

В результате научного анализа данных мониторинга и выбросов, собранных в период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., было сделано несколько ключевых выводов:

- **Твердые частицы являются основным загрязнителем**, влияющим на качество воздуха в Термезе, причем их концентрация часто достигает уровней, представляющих серьезную угрозу для здоровья, особенно для уязвимых групп населения, таких как дети, пожилые люди и люди с респираторными заболеваниями. Уровни твердых частиц превышают все международные и национальные нормы в течение всего года.
- **Стихийные песчаные и пыльные бури являются одним из основных источников** загрязнения воздуха твердыми частицами. Засушливая, пустынная среда вокруг Термеза в сочетании с частыми сильными ветрами приводит к подъему и переносу большого количества пыли в течение года.
- Локальные источники загрязняющих веществ еще больше ухудшают качество воздуха в зимний период. В холодные месяцы наблюдается резкое увеличение концентраций $PM_{2.5}$ и PM_{10} , особенно в периоды слабого ветра и низких температур. Эти пики загрязнения тесно связаны с локальными выбросами от отопления жилых помещений и других видов деятельности, связанных со сжиганием топлива, о чем свидетельствует повышенный уровень окиси углерода (CO) в те же периоды. Данные свидетельствуют

о том, что некоторые домохозяйства могут использовать для отопления загрязняющие окружающую среду виды топлива, такие как уголь, древесина или отходы.

- **Концентрации аммиака (NH_3) заметно высоки.** Будучи типичным ключевым предшественником вторичных $\text{PM}_{2.5}$, аммиак может в значительной степени способствовать образованию мелких твердых частиц. Рекомендуется провести анализ химического состава анионов и катионов $\text{PM}_{2.5}$ в Термезе для оценки влияния выбросов аммиака на концентрацию $\text{PM}_{2.5}$, измеряемую станцией контроля качества воздуха в Термезе. Повышенные уровни NH_3 , обнаруженные на станции мониторинга, а также по данным спутниковых измерений, указывают на сельское хозяйство как на основной источник - в частности, на использование удобрений, животноводство и сжигание сельскохозяйственных отходов. Возможно, источником аммиака в городской среде могут быть выбросы от транспорта (EEA, 2024)
- **Сложности с качеством данных мониторинга по-прежнему остаются.** Хотя данные по твердым частицам, использованные в данной оценке, считаются надежными, измерения нескольких газообразных загрязняющих веществ были подвержены влиянию дрейфа прибора и недостаточной калибровки. Эти проблемы подчеркивают необходимость усиления процедур обеспечения и контроля качества, включая регулярное техническое обслуживание, проверку данных и повышение квалификации местного технического персонала.



Пыль на листьях городского дерева в Термезе
© ЮНЕП



Пыль на улицах в Термезе
© ЮНЕП

2.2 Основные источники выбросов в Термезе

Выявление основных источников выбросов в Термезе основано на анализе нескольких источников данных, в том числе непрерывных измерений, проводимых автоматической станцией мониторинга качества воздуха Узгидромета (за период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г.), данных спутникового дистанционного зондирования и детального локального кадастра выбросов, составленного национальными экспертами. В совокупности эти источники дают полную картину основных факторов загрязнения воздуха в городе и прилегающих районах.

Основным источником данных для данной оценки послужила станция Узгидромета в Термезе, которая в настоящее время является единственной современной автоматической многокомпонентной станцией мониторинга качества воздуха в регионе. Хотя исследование не включает в себя мониторинг и моделирование распределения источников выбросов, анализ наземных данных в сочетании со спутниковыми и кадастровыми данными позволяет четко определить следующие основные категории выбросов:

Природная пыль, песчаные и пыльные бури (ППБ)



Взвешенные в воздухе твердые частицы природного происхождения являются одним из наиболее значительных источников загрязнения в Термезе, особенно в диапазоне размеров PM_{10} и общего количества взвешенных твердых частиц (TSP). Сухая, пустынная среда города делает его особенно уязвимым к пыльным явлениям, поскольку сильные ветры поднимают песок и пыль в воздух над городом и его окрестностями. Это приводит к повышению концентрации PM_{10} и эпизодам плохого или нездорового качества воздуха. Сильные ветры, особенно с юго-запада, вызывают локальный и региональный перенос пыли, в том числе из трансграничных районов, что приводит к повышению TSP, PM_{10} и $PM_{2.5}$. Данные наглядно показывают рост уровней PM_{10} и TSP с увеличением скорости ветра, что подтверждает сильное влияние пыльных явлений на качество воздуха.

Выбросы от дорожного транспорта и вторично-взвешенная пыль



Автомобильный транспорт способствует загрязнению воздуха двумя основными способами: через выбросы выхлопных газов (в частности, PM_{10} , $PM_{2.5}$, летучие органические соединения (ЛОС), окись углерода (CO), оксид азота (NO) и диоксид азота (NO_2), износ тормозов и шин, а также вторичное поднятие пыли (PM_{10} и $PM_{2.5}$) с асфальтированных и грунтовых дорог. Хотя многие транспортные средства в Термезе работают на сжатом природном газе, что снижает прямые выбросы выхлопных газов кроме NO_2 , пыль, поднимаемая движущимися автомобилями, остается значительным источником твердых частиц, особенно в районах с интенсивным дорожным движением и недостаточным обслуживанием дорог.

Промышленная и строительная деятельность



Хотя в Термезе нет крупных промышленных предприятий, в городе и его окрестностях активно действуют небольшие промышленные предприятия, производящие кирпич и асфальт, а также стройки. Эти источники могут выбрасывать в атмосферу как крупные, так и мелкие частицы, особенно в сухую ветреную погоду. Кроме того, спутниковые данные показывают очень сильный сигнал диоксида серы (SO_2) от Бойсунского газоперерабатывающего завода, расположенного примерно в 100 км к северу от Термеза, что указывает на потенциальное региональное влияние. Локальные виды деятельности, связанные с обработкой почвы или пылью со строительной площадки, также могут увеличить концентрацию твердых частиц в воздухе.

Отопление жилых помещений и бытовое сжигание топлива



В холодные месяцы выбросы от отопления жилых помещений играют важную роль в ухудшении качества воздуха. Эти выбросы, в основном $PM_{2.5}$ и PM_{10} , тесно связаны с окисью углерода (CO) и оксидом азота (NO), которые свидетельствуют о неполном сгорании топлива. Данные мониторинга качества воздуха показывают, что в холодные зимние месяцы для отопления используются такие виды топлива, как уголь, древесина и даже отходы (о чем свидетельствуют высокие концентрации PM_{10} и CO, достигающие пика в холодных и безветренных погодных условиях, что указывает на локальные выбросы от нечистого сжигания, вероятно, из бытовых источников). Из-за проблем с качеством данных мониторинга о концентрации SO_2 не удалось использовать эти данные для корреляционного анализа и более точного определения видов топлива, используемого для отопления и обуславливающим высокие концентрации $PM_{2.5}$ в зимний период. Наибольшие пики загрязнения зимой совпадают с периодами слабого ветра и низких температур, которые задерживают загрязняющие вещества у поверхности земли и усиливают их воздействие. Наиболее высокие концентрации, измеренные в безветренную погоду или условиях слабого ветра, указывают на сильное влияние локальных источников выбросов.

Методы ведения сельского хозяйства и выбросы



Данные мониторинга качества воздуха и спутниковые данные свидетельствуют о том, что сельское хозяйство может быть значительным источником загрязнения воздуха в районе Термеза. Повышенные концентрации аммиака (NH_3), наблюдаемые как на наземной станции мониторинга, так и по спутниковым данным, скорее всего, связаны с сельскохозяйственной деятельностью, такой как использование азотных удобрений, животноводство, отопление теплиц и открытое сжигание растительных остатков. В городской среде транспорт также может способствовать выбросам аммиака. Аммиак часто играет ключевую роль в образовании вторичных частиц $PM_{2.5}$ в результате химических реакций в атмосфере, что делает эту проблему критически важной для управления качеством воздуха. Для лучшего понимания роли аммиака в уровнях $PM_{2.5}$ в Термезе необходимо провести анализ химического состава (анионов и катионов) $PM_{2.5}$. Кроме того, сельскохозяйственная деятельность может способствовать загрязнению пылью, особенно во время подготовки почвы и уборки урожая. Сельскохозяйственная деятельность также может быть значительным источником выбросов пыли, что может оказывать существенное влияние на качество воздуха на местном уровне. Влияние выбросов от сельскохозяйственной деятельности на качество воздуха следует изучить более подробно.



Улицы Термеза

© Министерство экологии, охраны окружающей среды и изменения климата

В настоящем отчете не приводятся точные процентные доли каждого источника загрязнения. Для получения достоверных данных необходимо провести детальное исследование распределения химических источников загрязнения, включая долгосрочный отбор проб взвешенных частиц, расширенный лабораторный анализ и моделирование (например, используя положительную матричную факторизацию). Такие исследования требуют значительных ресурсов, поэтому выходят за рамки настоящей оценки. Однако текущий анализ, основанный на данных наземного мониторинга, спутниковых снимков, метеорологических данных и экспертного кадастра выбросов, позволяет нам выявить и описать основные факторы, способствующие загрязнению воздуха в Термезе. Этих качественных результатов достаточно для принятия немедленных политических и плановых решений, а также для создания основы для будущих, более детальных исследований по распределению источников загрязнения.

В совокупности эти источники выбросов создают сложный и меняющийся в зависимости от сезона профиль загрязнения воздуха в Термезе. Хотя некоторые источники, такие как природная пыль, невозможно полностью устранить, другие могут быть значительно сокращены за счет целенаправленной местной политики и совершенствования практических методов. Постоянный мониторинг, наряду с улучшением отчетности о выбросах и будущими исследованиями по распределению источников загрязнения, будет иметь решающее значение для поддержки эффективных стратегий управления качеством воздуха и охраны общественного здоровья в регионе.

3 Рекомендации

Рекомендации по улучшению управления качеством воздуха в Термезе

В этой главе изложены основные рекомендации по улучшению управления качеством воздуха в Термезе, основанные на комплексной оценке источников загрязнения воздуха и пробелов в политике. В начале главы рассматривается текущая законодательная и политическая ситуация в Узбекистане, с акцентом на национальные рамки и их значимость для реализации на местном уровне. Далее в главе представлены целевые меры по улучшению управления качеством воздуха, мониторинга, сокращения выбросов в отдельных секторах и повышения устойчивости к песчаным и пыльным бурям в Термезе, основанные на передовом международном опыте, адаптированном к местным условиям.

3.1 Действующее законодательство и политика в области качества воздуха в Узбекистане

В Узбекистане управление качеством воздуха в настоящее время регулируется сочетанием основополагающих законов об охране окружающей среды, указов президента и отраслевых стратегий. Министерство экологии, охраны окружающей среды и изменения климата является центральным органом, ответственным за реализацию политики и нормативных актов в области качества воздуха, в том числе на региональном и местном уровнях. Однако по состоянию на май 2025 г. в Узбекистане еще не разработана комплексная национальная стратегия в области качества воздуха. Несмотря на то, что работа по завершению разработки Национальной стратегии охраны атмосферного воздуха до 2035 г. на конец 2025 г. продолжается, этот пробел означает, что ее реализация в настоящее время опирается на сочетание национальных правовых инструментов и специальных мер. На местном уровне город Ташкент остается единственным муниципалитетом, в котором утвержден и скоординирован комплекс мер по улучшению качества воздуха в городе (Указ

Президента № 338 от 2024 г.). Тем не менее, ожидается, что многие из мер, изложенных в национальных программных документах, особенно те, которые касаются транспорта, энергетики и промышленных выбросов, будут воспроизведены в других городах, в том числе в Термезе.

Правовая основа охраны качества воздуха заложена в Законе № 353-I «Об охране атмосферного воздуха», принятом в 1996 г. Этот закон устанавливает комплексную правовую основу для сохранения состава атмосферного воздуха, снижения вредного воздействия на него и регламентирует обязанности государственных органов, предприятий и граждан. Он устанавливает требования к соблюдению нормативов выбросов как стационарными, так и передвижными источниками и наделяет органы власти полномочиями пресекать деятельность, нарушающую установленные нормы. Предприятия обязаны контролировать выбросы, внедрять экологически чистые технологии и возмещать ущерб, нанесенный окружающей среде, а гражданам предоставляется право доступа к информации о качестве воздуха и ожидается соблюдение правил охраны атмосферного воздуха. В законе также подчеркивается роль участия общественности и неправительственных организаций в обеспечении охраны атмосферного воздуха.

Их дополняют Закон «Об охране окружающей природы» (1992 г.) и Закон «Об экологическом контроле» (2013 г.), которые устанавливают основополагающие принципы управления охраной окружающей среды, в том числе касающиеся качества воздуха. Ряд указов президента и постановлений правительства дополнительно закрепляют эти принципы юридически обязательными мерами. Среди них Указ Президента № 5863 (2019 г.), утверждающий Концепцию охраны окружающей среды Узбекистана до 2030 г., которая служит долгосрочной дорожной картой для защиты природных ресурсов, воздуха, воды, земли, биоразнообразия от антропогенного воздействия. Эта Концепция поощряет использование экологически безопасных материалов и технологий, поддерживает экологическое просвещение и информирование общественности, а также предоставляет стимулы для сокращения и переработки отходов. Ключевые меры по улучшению качества воздуха включают сокращение выбросов во всех секторах, увеличение использования возобновляемых источников энергии, повышение энергоэффективности зданий и продвижение экологически чистых видов топлива в быту. Особое внимание уделяется транспортному сектору, где принимаются меры по переходу на сжатый природный газ, электрическую тягу и расширению инфраструктуры общественного и немоторизованного транспорта.

Для поддержки этих целей был введен ряд нормативных ограничений. С 2020 года запрещено вводить в эксплуатацию объекты, использующие моторное топливо ниже стандарта Евро-4. С 2022 года запрещен импорт топлива ниже стандарта Евро-3, а с 2023 года – топлива ниже стандарта Евро-4. Также ограничен импорт транспортных средств, не соответствующих стандартам выбросов Евро-4. В настоящее время Узбекистан готовится к принятию стандартов Евро-6 и пересмотру национальных норм в отношении твердого топлива. Требования по контролю загрязнения от стационарных источников предусматривают использование систем пылегазоулавливания с эффективностью не менее 99,5 процента для новых источников и 95 процентов для существующих. Реформы в области управления дорожным движением, включая выделенные полосы для автобусов и велосипедов, улучшение оптимизации транспортных потоков и обеспечение безопасности пешеходов, также являются частью более широкой стратегии сокращения выбросов.

Дальнейшие меры были приняты в соответствии с Указом Президента № 16 (2025 г.), положившим начало Государственной программе по реализации Стратегии «Узбекистан-2030» в Год охраны окружающей среды и зеленой экономики. В отношении качества воздуха этот указ запрещает строительство объектов с высоким уровнем загрязнения (таких как цементные и асбестовые заводы, птицефабрики и металлургические предприятия) в городских центрах, включая Ташкент, Нукус и областные центры. Документом предписывается поэтапный отказ от бензина АИ-80 к 2026 году, запрещается использование мазута для производства энергии и предусматривается перенос существующих загрязняющих предприятий за пределы городов, если они не оснащены высокоэффективными системами пыле- и газоочистки.

Эти законодательные и политические инструменты обеспечивают прочную основу для развивающейся системы управления качеством воздуха в Узбекистане. Хотя нынешний подход остается несколько фрагментированным, ожидается, что готовящаяся Национальная стратегия по охране атмосферного воздуха на период до 2035 г. обеспечит большую согласованность и стратегическое направление. Поскольку национальная политика все больше определяет реализацию на субнациональном уровне, ожидается, что многие из тех же мер, которые в настоящее время применяются по всей стране, будут воспроизведены и в других городах, таких как Термез, что будет способствовать улучшению качества воздуха и здоровья населения по всей стране.

Национальная политика по смягчению последствий песчаных и пыльных бурь

Одна из наиболее серьезных экологических проблем Узбекистана, связанная с качеством воздуха, – песчаные и пыльные бури (ППБ) – решается в рамках Национальной программы по борьбе с пыльными бурями и смягчению их негативных последствий в РУ на 2024 – 2030 гг. (Указ Президента № 338 от 2024 г.). Эта комплексная многоотраслевая стратегия, которая отражает растущую актуальность решения проблемы твердых частиц в воздухе, особенно PM_{2.5} и PM₁₀. ППБ являются одним из основных природных факторов, способствующих загрязнению воздуха на большей части территории страны, но их воздействие особенно сильно ощущается в южных регионах, таких как Сурхандарьинская область и г. Термез, где засушливые условия, деградация ландшафтов и близость к трансграничным источникам пыли усугубляют воздействие. По этой причине данная программа особенно важна для Термеза, поскольку она напрямую способствует как немедленному улучшению качества воздуха, так и долгосрочной экологической устойчивости в регионе.

В Стратегии изложены решительные меры по укреплению потенциала в области мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о ППБ. Она включает (в соответствии с Указом Президента № 81 от 2023 г.) запланированную установку 347 мини-станций мониторинга качества воздуха по всей стране (включая три новые мини-станции в городе Термезе и 19 в Сурхандарьинской области) и модернизацию метеорологических сетей. Ожидается, что дистанционное зондирование с помощью спутникового отслеживания ППБ и разработка региональных платформ обмена данными значительно повысят потенциал прогнозирования и содействие расширению сотрудничества с соседними странами Центральной Азии и международными партнерами. Эти усовершенствованные системы будут иметь решающее значение для Термеза и прилегающих районов, где часто наблюдается повышенная концентрация пыли и плохая видимость из-за ППБ.

Параллельно с этим программа направлена на устранение коренных причин ППБ путем содействия устойчивому землепользованию и экологическому восстановлению. Меры включают масштабные мероприятия по лесоразведению, создание зеленых буферных зон и восстановление деградированных земель, особенно в районах, подверженных ППБ, таких как Приаралье, Сурхандарьинская область и предгорные зоны. В стратегию также включены инновационные методы стабилизации земель, включая использование мульчирующих материалов, гидрогелей и засухоустойчивых видов растительности. Кроме того, поощряется развитие систем агролесоводства и выращивание кормовых культур в пустынях для сокращения эрозии почв и содействия устойчивости к изменению климата и повышению уровня жизни. Программа направлена на устранение антропогенных источников пыли путем введения обязательного использования технологий подавления пыли на строительных площадках и интеграции инфраструктуры мойки транспортных средств в процессы городского планирования.

Укрепление институционального потенциала и вовлечение общественности являются основными составляющими программы. Правовые реформы и инициативы по наращиванию потенциала призваны расширить возможности национальных и региональных органов власти по более эффективной реализации мер в области борьбы с ППБ. Кампании по повышению осведомленности общественности будут играть ключевую роль в мобилизации поддержки со стороны сообществ и улучшении информирования о рисках. В стратегии также уделяется приоритетное внимание региональному и международному взаимодействию путем создания межгосударственных рабочих групп, содействия разработки трансграничных стратегий по смягчению последствий ППБ и развития партнерских отношений с развитыми странами в целях технического сотрудничества. Научные и образовательные учреждения должны быть приведены в соответствие с мировыми стандартами для обеспечения устойчивого потенциала в области исследований и инноваций.

В целом, программа по борьбе с пыльными бурями представляет собой перспективную, научно-обоснованную политическую ответную меру на одну из наиболее актуальных проблем Узбекистана, связанных с качеством воздуха. Объединяя вопросы охраны окружающей среды, общественного здравоохранения, регионального сотрудничества и устойчивого землепользования, она закладывает основу для устойчивого и более чистого будущего, особенно в уязвимых регионах, таких как Термез, где последствия песчаных и пыльных бурь являются одними из самых острых в стране.

Национальные стандарты качества воздуха

Действующее национальное законодательство и нормативные акты Узбекистана в области мониторинга качества воздуха основываются на ручном отборе проб, проводимом три раза в сутки в течение 20 минут, что определяет предельно допустимые уровни концентрации загрязняющих веществ (Узгидромет, 2025). Этот регламент основан на методах мониторинга советских времен, которые устарели и не соответствуют требованиям современного мониторинга качества воздуха (например, временной охват отбора проб явно недостаточен). В этом регламенте для каждого загрязняющего вещества устанавливается максимально допустимое значение по результатам одного наблюдения, и концентрации в двадцатиминутных пробах сравниваются с этим значением. Другой предельно допустимый уровень концентрации устанавливается для среднесуточного значения, которое рассчитывается на основе 20-минутного ручного

отбора проб, проводимого три раза в день. Национальные предельные значения (предельно допустимые концентрации) выражаются в мг/м³, тогда как ЕС, Агентство по охране окружающей среды США и ВОЗ определяют свои предельные значения качества воздуха в мкг/м³. В 2024 году Узбекистан обновил свои национальные предельные значения для твердых частиц (PM₁₀ и PM_{2.5}), введя пересмотренные среднегодовые и среднесуточные нормы.

В **Таблице 2** обобщены основные международные стандарты качества воздуха; в том числе нормативы Европейского Союза и ВОЗ, и первичные стандарты Агентства по охране окружающей среды США по качеству воздуха для охраны здоровья, а также национальные стандарты Узбекистана. Они представлены в тех же единицах, что нормативы качества воздуха ЕС, ВОЗ и Агентства по охране окружающей среды США.

Учитывая возросшую доступность данных о качестве воздуха с автоматических референтных станций во всех регионах Узбекистана, стране настоятельно рекомендуется реформировать ее национальные стандарты качества воздуха, регулирующие мониторинг основных загрязняющих веществ, чтобы они основывались на современных технологиях измерения качества воздуха и новейших знаниях о воздействии загрязняющих веществ на здоровье человека (ВОЗ), а не на устаревших системах ручного отбора проб.

3.2 Рекомендации по улучшению качества воздуха в Термезе

Ниже изложены комплекс предлагаемых мер по совершенствованию политики управления качеством воздуха в Термезе, основанные на анализе данных о загрязнении воздуха и передовом международном опыте. Хотя некоторые меры имеют значение и для политики на национальном уровне, данный отчет не ставит своей целью представить комплексную национальную дорожную карту по улучшению качества воздуха в Узбекистане, поскольку такая работа уже проводилась в других исследованиях (например, World Bank, 2024). Представленные ниже меры особенно актуальны в контексте анализа загрязнения воздуха, проведенного в Термезе, и предназначены для лиц, формирующих политику в Термезе (включая местное отделение Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата и городскую администрацию), а также для руководителей, ответственных за качество воздуха на национальном уровне.

Важно иметь в виду, что в Термезе, где песчаные и пыльные бури, в основном антропогенного происхождения, являются одним из основных факторов загрязнения воздуха, общий уровень загрязнения, вероятно, останется высоким, даже если все антропогенные источники будут устранены. Это подчеркивает необходимость не только сокращения выбросов, но и принятия целенаправленных мер по мониторингу очагов ППБ и реализации мер по адаптации, особенно тех, которые направлены на активное снижение воздействия на человека во время пыльных явлений. Для лучшего понимания фоновых концентраций необходимо создать станцию мониторинга качества воздуха в сельской местности, вдали от города и крупных промышленных предприятий. Это позволит сравнивать качество воздуха в Термезе с фоновым уровнем в сельской местности, где влияние антропогенных источников минимально. Примерами фоновых станций в сельской местности являются станция Глобальной службы атмосферы ВМО (GAW) и станции мониторинга ЕМЕР. Программа ЕМЕР фокусируется на региональном качестве воздуха и способствует оценке трансграничного загрязнения (WMO, 2025; ЕМЕР, 2025a; ЕМЕР, 2025b).

Таблица 2. Предельные значения качества воздуха в Европейском союзе, нормативные значения ВОЗ и стандарты качества воздуха (первичные) для охраны здоровья в США и национальные стандарты качества воздуха в Узбекистане для отдельных загрязняющих веществ

		ЕС	Примечания	ВОЗ	Примечания	US EPA	Примечания	Узбекистан
Загрязняющее вещество	Периоды усреднения	Предельно допустимая концентрация мкг/м ³	Не должно превышать более чем	Нормативное значение мкг/м ³	Не должно превышать более чем	Первичный стандарт (для охраны здоровья)	Не должно превышать более чем *Средний показатель за три года	Предельно допустимая концентрация мкг/м ³
SO ₂	Почасовой	350	24 раза/год	500	время усреднения 10 мин.	75 частей на миллиард (~200 мкг/м ³)	*99-й процентиль от дневного максимума в 1 час ³	500 ¹
	Суточный	125	3 раза/год	40	99-й процентиль ²	-	-	50
NO ₂	Почасовой	200	18 раз/год	200	99-й процентиль ²	100 частей на миллиард (~200 мкг/м ³)	*98-й процентиль от дневного максимума в 1 час ³	85 ¹
	Суточный	-	-	25	99-й процентиль ²	-	-	40
	Годовой	40	-	10	-	53 частей на миллиард (~100 мкг/м ³)	средний показатель за 3 года	40
PM ₁₀	Почасовой	-	-	-	-	-	-	500
	Суточный	50	35 раз/год	45	99-й процентиль ²	150 мкг/м ³	1 раз/год ³	300
	Годовой	40	-	15	-	-	-	50
PM _{2.5}	Почасовой	-	-	-	-	-	-	-
	Суточный	-	-	15 ²	99-й процентиль ²	35 мкг/м ³	*98-й процентиль ³	60
	Годовой	25	-	5	-	9 мкг/м ³	средний показатель за 3 года ³	35
CO	Почасовой	-	-	30 000	99-й процентиль ²	35 частей на миллиард (~40000 мкг/м ³)	1 раз/год	5000 ¹
	Средний показатель за восемь часов	10 000	-	10 000	99-й процентиль ²	9 частей на миллиард (~10000 мкг/м ³)	-	-
	Суточный	-	-	4 000 ²	99-й процентиль ²	-	-	3000
	Годовой	-	-	-	-	-	-	3000
O ₃	Почасовой	-	-	-	-	-	-	160
	Средний показатель за восемь часов ⁴	120	25 раз/год ³	100 60 ⁵	*99-й процентиль	70 частей на миллиард (~137 мкг/м ³)	4-я по величине годовая максимальная 8-часовая концентрация ³	-
	Суточный	-	-	-	-	-	-	100
	Годовой	-	-	-	-	-	-	30

- 1 Максимальное единичное значение (ПДК_{мк}), в местном законодательстве в мг/м³, изменено на мкг/м³ для сопоставимости с другими значениями в таблице
- 2 99-й процентиль (т.е. 3–4 дня превышения в году)
- 3 средний показатель за 3 года
- 4 скользящее среднее значение за 8 часов
- 5 Среднее значение максимальной среднесуточной концентрации за 8 часов за шесть последовательных месяцев с наивысшим средним значением концентрации O₃ за шесть месяцев.

Качество воздуха можно улучшить путем снижения выбросов, ухудшающих качество воздуха, ограничивая распространение загрязняющих веществ в воздухе и минимизируя воздействия на человека посредством ряда целевых мер. Для этого в Узбекистане должна быть разработана долгосрочная национальная программа по борьбе с загрязнением воздуха, определяющая приоритетные направления и ключевые меры по сокращению выбросов и улучшению качества воздуха на 10-летний период планирования.

Необходимы также целевые планы действий на местном уровне. Например, в ЕС при превышении предельно допустимых значений качества воздуха в зоне или агломерации, местные или региональные органы власти обязаны разработать план по улучшению качества воздуха, где определены меры по скорейшему возвращению уровней в пределы допустимых норм. Эти планы представляются на рассмотрение Европейской комиссии, и государства-члены могут подвергаться штрафным санкциям за несоблюдение обязательств по сокращению выбросов. Рамочная программа ЕС по качеству воздуха также обязывает города принимать чрезвычайные меры в случае внезапных случаев загрязнения воздуха. Например, в столичном регионе Хельсинки действует совместный план действий по улучшению качества воздуха, включающий протоколы управления дорожным движением для таких случаев (Helsinki Region Environmental Services, 2023), а такие города, как Париж и Лион, уже внедрили аналогичные меры по регулированию дорожного движения. В Термезе местные планы действий могут включать, например, рекомендации органов здравоохранения для школ и детских садов о необходимости держать детей в помещениях в периоды высокой концентрации твердых частиц, когда качество воздуха на улице неудовлетворительное или вредное для здоровья. Важно обеспечить, чтобы качество воздуха в помещениях школ оставалось достаточно чистым (контроль источников загрязнения, вентиляция, фильтрация и использование очистителей воздуха) (US EPA, 2025).

Эти усилия должны быть вписаны в более широкий системный подход к управлению качеством воздуха, который включает долгосрочное планирование, непрерывный мониторинг, укрепление институционального потенциала, вовлечение общественности и целенаправленные межотраслевые действия. В ЕС Директива о национальных обязательствах по сокращению выбросов (NEC) (2016/2284/EU) требует от государств-членов разработку национальной программы по контролю за загрязнением воздуха (NAPCR) для достижения юридически обязательных целевых показателей по таким загрязняющим веществам, как SO_2 , NO_2 , ЛОС, РМ и NH_3 . Например, в NAPCR Финляндии описывается состояние национального контроля за загрязнением воздуха и подробно излагаются меры, необходимые для выполнения обязательств по сокращению выбросов к 2030 году (Ministry of the Environment, 2019; 2023). Планы по очистке воздуха на уровне городов дополняют эти усилия, преобразуя национальные стратегии в местные действия, определяя конкретные меры по сокращению выбросов загрязняющих веществ в воздух и улучшению их реализации.

Процесс управления качеством воздуха по своей сути является многоуровневым и итеративным (**Рисунок 2**). Он включает в себя разработку нормативно-правовой базы, установление стандартов качества воздуха, мониторинг и оценку качества воздуха и его воздействия, планирование и реализацию мер по сокращению выбросов, выдачу разрешений, обеспечение соблюдения требований и мониторинг соответствия. Ни одна из этих мер в отдельности не является достаточной для улучшения качества воздуха — они взаимосвязаны и должны эффективно координироваться. В основе этого процесса лежат точный, прозрачный и доступный мониторинг и оценка качества воздуха.

Рисунок 2. Упрощенный процесс управления качеством воздуха и ответственные организации



Источник: ФМИ.

Сотрудничество между заинтересованными сторонами, в том числе лицами, принимающими политические решения, органами власти, экспертными организациями, представителями промышленности, НПО, СМИ и гражданами, имеет важное значение на национальном, региональном и местном уровнях. В случаях трансграничного загрязнения региональное и международное сотрудничество также имеет решающее значение. Необходима четкая структура руководства: один уполномоченный орган должен быть наделен законом полномочиями по координации и контролю над процессом управления качеством воздуха на национальном уровне. Этот процесс также должен быть основан на долгосрочных целях и поддержан сильным институциональным потенциалом и приверженностью достижению этих целей.

Для обеспечения эффективности и легитимности мер по улучшению качества воздуха важно определить национальные приоритетные направления и соответствующим образом согласовать усилия по планированию. Меры должны разрабатываться на основе тщательного анализа затрат и выгод, чтобы гарантировать оптимальное использование финансовых



Сельскохозяйственное поле вблизи Термеза
© ФМИ

ресурсов. Большинство мер по сокращению выбросов требуют значительных инвестиций и бюджетных ассигнований со стороны национальных или муниципальных органов власти. При планировании и реализации необходимо применять подход, учитывающий гендерные аспекты и права детей, чтобы обеспечить справедливые и инклюзивные решения. Необходимо постоянно отслеживать эффективность принятых мер для оценки прогресса и внедрить адаптивное управление.

Наконец, меры, направленные на улучшение качества воздуха, часто одновременно способствуют смягчению последствий изменения климата. Например, внедрение автомобилей с низким уровнем выбросов, экологически чистых видов топлива, экологического устойчивого транспорта и источников энергии с низким уровнем выбросов приносит пользу как качеству воздуха, так и климату. Поэтому политика в области качества воздуха должна быть тесно согласована с более широкими программами и стратегиями в области климата и охраны окружающей среды для максимального синергетического эффекта и сопутствующих выгод.

На основании вышеизложенных принципов и анализа, проведенного в рамках данного исследования, ниже представлен набор рекомендаций по улучшению качества воздуха в Термезе:

Укрепить политику в области качества воздуха на местном уровне

Для улучшения качества воздуха в Термезе необходимо разработать специальный план управления качеством воздуха на уровне города, учитывающий конкретные источники загрязнения, характер воздействия на население и контекст городского развития. Хотя национальные рамочные программы, такие как готовящаяся Национальная стратегия по охране атмосферного воздуха до 2035 г., определяют общее направление управления качеством воздуха, планы на городском уровне имеют решающее значение для преобразования национальных целей в действия, соответствующие местным условиям. В Европейском союзе города обязаны принимать такие планы, когда уровень загрязнения превышает предельно допустимые значения, и они служат ключевым механизмом для локализации более широких стратегий по улучшению качества воздуха и сокращению выбросов.

План г. Термез должен быть структурирован как среднесрочная стратегия (например, на 5–10 лет) и приоритет в нем следует отдавать практическим, основанным на фактических данных мерам по сокращению выбросов и воздействия на местном уровне. План должен быть разработан и возглавляться местными органами власти, а его реализация должна осуществляться совместно Министерством экологии, охраны окружающей среды и изменения климата, Министерством здравоохранения, Министерством транспорта и Министерством сельского хозяйства, а также городской администрацией. Интеграция с национальными отраслевыми стратегиями в таких областях, как энергетика, транспорт, отходы и сельское хозяйство, имеет важное значение для обеспечения согласованности политики, доступа к ресурсам, а также последовательного мониторинга и обеспечения исполнения. Широкое участие заинтересованных сторон, включая граждан, научные круги и загрязняющие сектора, крайне важно для обеспечения приверженности, прозрачности и подотчетности.

Рекомендация 1.1 Разработать план по улучшению качества воздуха в г. Термез в соответствии с национальными стратегиями.

Приоритетные меры:

- **Разработать план по улучшению качества воздуха в г. Термез** - механизм целевого сокращения выбросов с мерами, учитывающими источники выбросов в городе, городскую планировку, а также потребности уязвимых людей и людей с инвалидностью (с учетом того, как загрязнение воздуха может по-разному влиять на женщин, мужчин и детей, пожилых людей, более чувствительные группы населения, страдающие определенными заболеваниями).
- **Согласовать план с национальными рамочными программами и секторальными стратегиями**, включая готовящуюся Национальную стратегию по охране атмосферного воздуха до 2035 г., для обеспечения согласованности и взаимодополняемости.

- **Распределить обязанности по реализации** между Министерством экологии, охраны окружающей среды и изменения климата и администрацией города Термез, четко определив роли, бюджеты и механизмы координации.
- **Принять среднесрочный горизонт планирования** (например, 5–10 лет), чтобы обеспечить достаточное время для планирования, составления бюджета, реализации и оценки мер. Определить контрольные точки: например, каждые 2–3 года отслеживать и проверять эффективность и воздействие реализованных мер по сокращению выбросов, а также возможность корректировки/направления запланированных мер при необходимости.
- **Обеспечить местную причастность и участие заинтересованных сторон** путем привлечения соответствующих городских органов, гражданского общества (включая женские и молодежные организации), общественности, научных кругов и ключевых секторов, генерирующих выбросы, к процессу планирования и реализации. Активно содействовать гендерному балансу в консультациях и работе органов принятия решений, а также создавать безопасные пространства для женщин, лиц, осуществляющих уход, и маргинализированных групп, чтобы они могли высказывать свои точки зрения и приоритеты.

Усовершенствовать систему мониторинга и оценки качества воздуха

В настоящем отчете определяются и предлагаются меры по совершенствованию существующих инструментов, аналитических методов и наборов данных. Приведенные ниже рекомендации требуют дальнейшего обсуждения и доработки с уделением особого внимания текущему уровню местного технического потенциала. Рекомендуется осуществлять эти мероприятия в соответствии с передовой международной практикой. Ниже приведены определенные приоритетные меры в области развития.

Рекомендация 2.1: Укрепить систему обеспечения и контроля качества (ОК/КК) автоматической сети мониторинга качества воздуха

Достоверные данные о качестве воздуха формируют основу эффективного управления качеством воздуха, повышения осведомленности общественности и разработки научно-обоснованной политики. Для автоматических станций мониторинга качества воздуха требуются надежные и последовательные процедуры обеспечения и контроля качества (ОК/КК), гарантирующие соответствие получаемых данных установленным требованиям к качеству, а также сохранение погрешности измерений в приемлемых пределах. Эти процедуры должны включать в себя проведение регулярных многоточечных калибровок (не реже одного раза в квартал), обеспечение прослеживаемости измерений и применение стандартных операционных процедур для технического обслуживания, калибровки и проверки данных. Необходимо разработать подробное руководство, которое будет служить ориентиром как для полевых работ, так и для этапов обработки данных.

Для достижения этой цели необходимо укрепить и расширить технический потенциал персонала мониторинга как на местном, так и на национальном уровнях. Эти усилия актуальны не только для Термеза, но и для всей национальной сети мониторинга качества воздуха в Узбекистане. Укрепление систем обеспечения и контроля качества по всей стране повысит сопоставимость и прозрачность данных о качестве воздуха, укрепит доверие общественности и поддержит согласование с международными стандартами и системами отчетности.

Приоритетные меры:

- **Повысить квалификацию сотрудников Узгидромета** путем внедрения структурированного обучения технических специалистов, ответственных за эксплуатацию, техническое обслуживание, калибровку и проверку данных автоматических станций мониторинга качества воздуха, включая ежедневные, ежеквартальные и ежегодные процедуры.
- **Внедрить стандартизированные протоколы обеспечения и контроля качества для эксплуатации и технического обслуживания станций мониторинга качества воздуха** в соответствии с международными техническими стандартами, включая использование стандартных операционных процедур, регулярную многоточечную калибровку и обеспечение прослеживаемости результатов измерений.
- **Разработать и применять национальное руководство по обеспечению и контролю качества и критерии** обеспечения качества данных мониторинга качества

воздуха, а также цели по качеству данных, в которых излагаются процедуры технической работы на местах и проверки данных, обеспечивая согласованность данных между станциями и по времени.

- **Усовершенствовать процессы проверки данных и повысить доступность данных для общественности**, обеспечив регулярную публикацию проверенных данных о качестве воздуха (включая исторические наборы данных) и их доступность для научных исследований, планирования политики и информирования общественности.

Рекомендация 2.2: Укрепить систему распространения данных мониторинга качества воздуха

Своевременный и прозрачный доступ к данным о качестве воздуха необходим для принятия обоснованных решений, проведения научных исследований и повышения осведомленности общественности. Создание надежной системы сбора, управления и распространения данных является важнейшим шагом на пути к укреплению общественного доверия и повышению эффективности управления качеством воздуха, а также к реализации Конвенции о доступе к информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды (Орхусской конвенции), к которой Узбекистан присоединился в 2025 году.

Данные о качестве воздуха в режиме реального времени должны регулярно публиковаться на открытой онлайн-платформе, созданной по образцу передовой международной практики, например, Финского метеорологического института (2025b, 2025c). Кроме того, весь спектр данных мониторинга, включая исторические данные, должен быть доступен для свободного пользования и скачивания в стандартизированных форматах. В настоящее время, национальная платформа мониторинга качества воздуха (monitoring.meteo.uz) отображает только текущие концентрации основных загрязняющих веществ по стране, но не предоставляет исторические данные в стандартизированном формате, доступном для скачивания.

Обеспечение наличия и доступности информации о качестве воздуха требует их представления в ясном, понятном и гармонизированном форматах. Это обеспечивает не только доступ общественности и политиков, но и способствует работе ученых и аналитиков. Более того, публичное раскрытие данных часто способствует улучшению качества данных, поскольку прозрачность повышает ожидания относительно точности, полноты и согласованности.

В соответствии с передовой международной практикой, такой как Директива INSPIRE Европейского союза (Directive 2007/2/EC), создание структурированной инфраструктуры пространственных данных может способствовать межотраслевому использованию экологической информации. Для Узбекистана улучшение доступа общественности к данным о качестве воздуха также будет способствовать разработке кадастров выбросов и более глубокой оценке и моделированию качества

воздуха. Кроме того, такие действия обеспечат соблюдение принципов доступа к экологической информации в соответствии с Орхусской конвенцией.

Приоритетные меры:

- **Создать централизованную систему сбора и распространения данных**, позволяющую публиковать и загружать данные о качестве воздуха в режиме реального времени и за прошлые периоды через открытый онлайн-портал.
- **Обеспечить полную доступность для общественности** как данных мониторинга о качестве воздуха в режиме реального времени, так и исторических данных в стандартизированных, гармонизированных и загружаемых электронных форматах, используя стандартизированные и гармонизированные форматы данных. Рассмотреть возможность предоставления доступа к этим данным также для людей с ограниченными возможностями, в соответствии со стандартами универсальной доступности.
- **Представлять данные в ясном, понятном и удобном для пользователей формате**, например с использованием индекса качества воздуха, который легко понять, чтобы облегчить его использование широкой общественностью, лицами, принимающими решения, и научным сообществом.
- **Внедрить стандарты и практики, соответствующие международным стандартам**, таким как Директива INSPIRE EC (2007/2/EC), для содействия оперативной совместимости и межотраслевому использованию пространственных данных об окружающей среде.
- **Поощрять повышение качества посредством прозрачности**, сделав публикацию данных стандартной практикой, что усилит применение процессов обеспечения и контроля качества.

Рекомендация 2.3: Проводить регулярную оценку качества воздуха на уровне города, уделяя особое внимание распределению источников загрязнения

Понимание вклада конкретных источников выбросов в концентрацию загрязняющих веществ в окружающей среде имеет важное значение для разработки эффективной и целенаправленной политики в области качества воздуха. Хотя кадастры выбросов позволяют количественно оценить загрязняющие вещества в их источнике, они не отражают непосредственно уровни концентрации в атмосферном воздухе, которым подвергается население, в связи с влиянием химического состава атмосферы, метеорологических условий и процессов рассеивания загрязняющих веществ, а также рельефа местности. Исследования по распределению источников загрязнения помогут восполнить этот пробел, определяя и количественно оценивая долю загрязнения, приходящуюся на различные источники в атмосферном воздухе. Это позволяет политикам определять приоритетные меры, которые принесут наибольшую пользу для здоровья и окружающей среды.

Хотя определение источников загрязнения является технически сложной и ресурсоемкой задачей, часто требующей как минимум одного года постоянного

отбора проб и детального химического анализа собранных образцов, это вложение оправдывает себя. Помимо возможности различать антропогенные и природные источники (такие как песчаные и пыльные бури), оно обеспечивает более прочную политическую основу для принятия целенаправленных мер. По мере того, как в Термезе продолжается расширение возможностей по мониторингу качества воздуха, проведение регулярной оценки тенденций загрязнения будет становиться все более осуществимым и ценным.

Исследования воздействия на здоровье имеют не меньшее значение для понимания прямых последствий загрязнения воздуха для населения. Установление связи между данными о качестве воздуха и последствиями для здоровья, такими как респираторные и сердечно-сосудистые заболевания, позволяет принимать более обоснованные политические решения и поможет уделять приоритетное внимание защите уязвимых групп населения.

Приоритетные меры:

- **Запланировать и провести исследование распределения источников загрязнения** в Термезе с целью выявления и количественной оценки вклада основных источников загрязнения в выбросы $PM_{2.5}$, PM_{10} и других загрязняющих веществ. Для распределения источников загрязнения необходимо провести как минимум годовую кампанию по отбору проб $PM_{2.5}$ с помощью фильтров, в ходе которой будет отобрано не менее 120 суточных (24-часовых) проб $PM_{2.5}$, то есть каждые три дня. После этого необходимо проанализировать химический состав фильтров (включая анионы, катионы, металлы, элементарный/органический углерод, полициклические ароматические углеводороды и другие соответствующие компоненты). На основе проанализированных данных, полученных с автоматической станции контроля качества воздуха необходимо провести моделирование методом факторизации положительно определенных матриц для определения основных факторов, влияющих на наблюдаемые концентрации $PM_{2.5}$.
- **Развивать потенциал национальных учреждений и лабораторий** для проведения химического анализа компонентов твердых частиц, поддерживая будущие усилия по исследованию распределения источников загрязнения внутри страны.
- **Интегрировать результаты исследований по распределению источников загрязнения** в планирование и определение приоритетов в области качества воздуха на городском и национальном уровне, направляя ресурсы на наиболее эффективные меры.
- **Проводить регулярную оценку качества воздуха на городском уровне** ежегодно или раз в два года с использованием проверенных данных с автоматических станций мониторинга для оценки соблюдения предельных значений, выявления основных проблем, отслеживания тенденций загрязнения и оценки эффективности принятых мер по снижению воздействия.

Разработать отраслевые стратегии сокращения выбросов в Термезе

Для сокращения выбросов из ключевых источников, выявленных в ходе оценки качества воздуха в Термезе, необходимы отраслевые меры. Представленные ниже рекомендации сгруппированы по отраслям и соответствуют передовой национальной и международной практике. Эти целевые меры должны быть учтены как в плане управления качеством воздуха на уровне г. Термез, так и в соответствующих национальных стратегиях.

Рекомендация 3.1: Уделить приоритетное внимание сокращению выбросов от отопления и сжигания топлива в жилых помещениях

Согласно оценке качества воздуха в г. Термез и выявлению основных источников загрязнения, отопление жилых помещений является одним из основных антропогенных источников выбросов, способствующих повышению концентрации $PM_{2.5}$, особенно в холодное время года. Внедрение более экологичных решений в области отопления может значительно снизить уровень загрязнения в густонаселенных районах. Усилия должны быть сосредоточены на повышении энергоэффективности, продвижении доступных экологически чистых альтернатив и регулировании практик, связанных с высоким уровнем выбросов, таких как открытое сжигание отходов. Эти меры актуальны на национальном уровне, но их реализация может быть дополнительно усилена на местном уровне.

Приоритетные меры:

- **Разработать местный план сокращения выбросов** в секторе отопления жилых помещений на основе оценки видов топлива, используемых в настоящее время для отопления жилых помещений.
- **Содействовать внедрению чистых и эффективных систем отопления**, таких как централизованное теплоснабжение, электрификация и улучшение теплоизоляции, уделяя особое внимание обеспечению их доступности для уязвимых групп населения.
- **Поощрять использование экологически чистых видов топлива и современных технологий отопления** в домашних хозяйствах путем введения стимулов и программ поддержки. Предоставлять целевые субсидии домохозяйствам, возглавляемым женщинами, для улучшения реализации с учетом гендерных аспектов.
- **Регулировать и обеспечить соблюдение запрета на открытое сжигание бытовых отходов и биомассы**, подкрепляя это кампаниями по информированию общественности и механизмами принуждения.

Рекомендация 3.2: Управлять выбросами в сельском хозяйстве (в частности аммиака и пыли)

Сельскохозяйственная деятельность в окрестностях Термеза, вероятно, вносит значительный вклад в выбросы аммиака (NH_3), который часто является основным предшественником вторичного образования $PM_{2.5}$. Спутниковые и полевые

данные подтверждают повышенные уровни аммиака, связанные с использованием удобрений и животноводством в окрестностях Термеза. Необходимы дополнительные исследования для выявления и количественной оценки конкретных источников выбросов, с большей вероятностью связанных с применением удобрений и управлением навоза. Решение проблемы этих выбросов может привести к значительному улучшению качества воздуха и способствовать устойчивому развитию сельского хозяйства.

Приоритетные меры:

- **Разработать местный план по сокращению выбросов** для сельскохозяйственного сектора в Термезе и его окрестностях.
- **Сократить выбросы аммиака** путем совершенствования методов внесения удобрений, оптимизации их количества и улучшения методов утилизации навоза.
- **Поощрять устойчивые методы землепользования**, снижающие пылеобразование и предотвращающие ветровую эрозию.
- **Поддерживать дальнейшие исследования и проверки на местах** для более точного выявления и количественной оценки основных источников выбросов в сельском хозяйстве с использованием подходов как дистанционного зондирования, так и мониторинга на местах.

Рекомендация 3.3: Улучшить качество городского воздуха через сокращение выбросов от транспорта и промышленности

Дорожный транспорт является одним из основных источников выбросов $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 и CO, а также вторичного подъема пыли в городских районах, особенно вблизи оживленных транспортных магистралей. Выбросы от транспорта являются одним из основных факторов, влияющих на качество воздуха в центрах городов и вблизи оживленных дорог, поскольку загрязняющие воздух вещества выбрасываются на высоте дыхания человека. Промышленные и энергетические объекты также вносят значительный вклад в общий объем выбросов и поэтому требуют надежных механизмов регулирования, выдачи разрешений и принуждения.

Приоритетные меры в области транспорта:

- **Разработать местный план по сокращению выбросов** в транспортном секторе.
- **Улучшить и расширить инфраструктуру общественного транспорта** с целью снижения зависимости от частных автомобилей. Обеспечить безопасных маршрутов для пешеходов и велосипедистов, в том числе для женщин и детей; уделить приоритетное внимание использованию экологически чистых автобусов на маршрутах, связанным с уходом за детьми и оказанием медицинской помощи.
- **Поэтапно отказаться от транспортных средств с высоким уровнем выбросов**, особенно старых дизельных моделей и несоответствующих требованиям импорта, посредством схем утилизации транспортных средств или программ ограничения доступа.

- **Развивать электронную мобильность** путем поддержки развития местной инфраструктуры зарядных станций в Термезе и внедрения мер стимулирования их внедрения.

Приоритетные меры в сфере промышленности и энергетики:

- **Внедрить стандарты выбросов и условий выдачи разрешений** для промышленных предприятий в Сурхандарьинской области на основе наилучших доступных технологий (НДТ) и международных стандартов.
- **Содействовать использованию более чистых видов топлива и повышению энергоэффективности** во всех секторах промышленности, обеспечивая соответствие национальным обязательствам по борьбе с изменением климата и целям энергетического перехода.
- **Усовершенствовать систему отопления теплиц** в зимний период путем поощрения использования более чистых и эффективных видов топлива или решений в области возобновляемой энергии.

Песчаные и пыльные бури (ППБ) являются одним из основных природных факторов, способствующих повышению концентрации $PM_{2.5}$ и PM_{10} в южных районах Узбекистана, включая Термез и его окрестности. Хотя эти явления часто носят региональный или трансграничный характер, их воздействие на здоровье человека и качество воздуха на локальном уровне остается значительным. Важно отметить, что меры по обеспечению готовности и реагированию как на местном, так и на национальном уровне играют решающую роль в смягчении их негативных последствий. Для эффективного управления ППБ необходимы скоординированные действия на всех уровнях государственного управления в Узбекистане.

Международные рекомендации могут поддержать национальные усилия по выявлению и реагированию на эпизоды ППБ. Например, в ЕС процедуры определения вклада природных пылевых явлений в превышение норм качества воздуха изложены в рабочем документе Совета ЕС 6771/11 (2011). В соответствии с законодательством ЕС, если государство-член может доказать, что превышение предельно допустимых значений качества воздуха было вызвано естественными источниками, такими как пыльные бури, оно освобождается от реализации необходимых корректирующих мер по сокращению антропогенных выбросов. Для PM_{10} , для которых установлены предельные значения как для среднесуточных, так и для среднегодовых значений, это означает, что государства-члены могут исследовать дни превышения предельных значений с помощью комбинации аналитических инструментов. К ним относятся траектории движения воздушных масс, метеорологические карты, спутниковые данные, результаты прогнозов, моделируемые ветровые режимы и измерения концентрации твердых частиц на фоновых станциях. После подтверждения явлений ППБ можно оценить их вклад в общую измеренную концентрацию твердых частиц. Однако важно отличать действительно естественные пылевые явления от антропогенных источников, таких как изменение землепользования или вторичное поднятие дорожной пыли, которые не считаются естественными в соответствии с законодательством ЕС и, следовательно, не подпадают под исключение.

Дополнительную поддержку можно получить через «Инструментарий по песчаным и пыльным бурям» (ППБ), разработанный в рамках Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН). Этот инструментарий предоставляет набор инструментов, методических материалов и технических ресурсов, помогающих странам выявлять районы источников ППБ, проводить оценки рисков, разрабатывать планы смягчения последствий и обеспечения готовности к ним, а также реализовывать стратегии реагирования. Он также поддерживает усилия по мониторингу, прогнозированию и раннему предупреждению о ППБ. Объединяя научные данные, политические инструменты и практические рекомендации, «Инструментарий ППБ» предлагает Узбекистану эффективную основу для укрепления потенциала управления рисками ППБ и приведения ее в соответствие с передовой международной практикой. Дополнительные рекомендации по смягчению последствий ППБ на национальном и региональном уровнях также представлены в недавнем отчете о моделировании атмосферных факторов ППБ в Узбекистане (Akhramhanov et al, 2024).

Приоритетные меры:

- **Укрепить местный институциональный потенциал систем мониторинга и раннего оповещения о ППБ.** Налаживать связи с национальными и международными инструментами и платформами прогнозирования для обеспечения раннего оповещения жителей посредством SMS-оповещений, местных СМИ и общественных сетей. Обеспечить адаптацию оповещений для уязвимых групп, включая беременных женщин, лиц, осуществляющих уход, и школы, а также отслеживать охват с помощью показателей, разбитых по полу и возрасту. Развивать и поддерживать местный институциональный потенциал для смягчения последствий ППБ путем проведения обучения сотрудников природоохранных служб городского и районного уровня. Обеспечить гендерный баланс в участии в обучении и включить модули по гендерно-чувствительному информированию о рисках. Расширить региональное и международное сотрудничество в области мониторинга, прогнозирования и обмена данными о ППБ в Центральной Азии и соседнем Афганистане.
- **Содействовать сотрудничеству между государственными органами, научно-исследовательскими институтами и научным сообществом** в целях совершенствования моделей прогнозирования, включая анализ траекторий на основе спутниковых данных.
- **Включить меры по снижению рисков, связанных с ППБ, в местное планирование и стратегии развития.** Интегрировать меры по повышению устойчивости к ППБ в планы городского развития, землепользования и планирование инфраструктуры в Термезе, включая требования по подавлению пыли на строительных площадках, асфальтированию дорог в районах с высокой запыленностью и созданию моек для транспортных средств. Обеспечить систематическое применение гендерно-чувствительных оценок состояния здоровья и безопасности при планировании инфраструктуры и обязательное участие женских организаций и общественных групп в общественных консультациях.
- **Расширить возможности местных сообществ и фермеров путем продвижения устойчивых методов землепользования.** Стимулировать развитие агролесоводства, устойчивого выпаса скота и климатоустойчивых методов земледелия в сельских местностях Термезского района. Сотрудничать с фермерами и местными кооперативами для восстановления деградированных земель, сокращения ветровой эрозии, укрепления средств к существованию посредством экологически безопасных возможностей получения дохода. Обеспечить активное участие женщин-фермеров и сельских женских организаций в планировании, принятии решений и распределении выгод от инициатив по восстановлению земель.

- **Повышать осведомленность населения и готовность сообществ.** Проводить целевые информационно-просветительские кампании в школах, медицинских центрах и на общественных форумах, рассказывая о рисках для здоровья, связанных с ППБ, и об эффективных мерах защиты (например, о необходимости оставаться дома во время штормов, носить маски, и герметизировать дома). Разрабатывать информационные материалы и сообщения, адаптированные для женщин, беременных женщин, лиц, осуществляющих уход, и неформальных работников, а также предоставлять практические средства защиты (такие как маски) через школы, родильные дома и общественные организации. Сотрудничать с местными организациями гражданского общества, СМИ и органами здравоохранения для обеспечения максимального охвата и воздействия.

Рекомендации, изложенные в этой главе, основаны на результатах исследований и анализа, проведенных в Термезе. Хотя они имеют большое значение для решения конкретных проблем качества воздуха, выявленных на местном уровне, они не претендуют на исчерпывающую полноту. Вместо этого эти рекомендации призваны послужить руководством для других городских районов Узбекистана для их адаптации местным источникам загрязнения, характеру воздействия и институциональному контексту. Поскольку города различаются по основным источникам выбросов, уровню воздействия на население и управленческому потенциалу, для достижения устойчивых и измеримых улучшений качества воздуха и здоровья населения необходимы индивидуальные, основанные на фактических данных стратегии.

В перспективе, для укрепления политики в области улучшения качества воздуха в городах Узбекистана решающее значение имеют несколько более широких приоритетных направлений. Вопросы качества воздуха нужно систематически интегрировать в стратегии городского планирования, образования и общественного здравоохранения. В соответствии с резолюцией 76/300 (2022) Генеральной Ассамблеи ООН о праве человека на чистую, здоровую и устойчивую окружающую среду, чистый воздух должен быть признан одним из основных прав человека, подкрепленный конкретными политическими обязательствами, мерами нормативного регулирования и достаточными ресурсами. Укрепление институциональной координации и прозрачности данных — как на национальном, так и на региональном уровне — имеет решающее значение, особенно для решения трансграничных и межотраслевых проблем, таких как песчаные и пыльные бури. Инвестиции должны быть направлены на исследования, современную инфраструктуру мониторинга, техническое обучение, более чистые технологии и постоянное вовлечение общественности. Также крайне важно установить четкие национальные цели на следующее десятилетие, обновить и обеспечить соблюдение законодательства в области качества воздуха, а также институционализировать регулярные оценки воздействия на здоровье и исследования распределения источников загрязнения. Только благодаря скоординированным, надлежаще финансируемым и инклюзивным подходам Узбекистан может добиться устойчивого прогресса на пути к созданию более чистой, здоровой и устойчивой городской среды.



Часть II.

НАУЧНАЯ ОСНОВА

Парк Дустлик в центре Термеза. Озеленение в Термезе возможно при достаточном поливе
© ЮНЕП

4 Город Термез

4.1 Городской и экологический профиль Термеза

Термез — исторический город на юге Узбекистана, административный центр Сурхандарьинской области (**Рисунок 3**). По состоянию на 2025 год, население города составляет 207 300 человек (Национальный комитет по статистике, 2025а). Город расположен на западном берегу реки Амударья, недалеко от границы с Афганистаном, примерно в 700 км к юго-западу от Ташкента. К северу от Термеза ландшафт плавно переходит в горные районы Гиссарского и Бабатагского хребтов, которые образуют естественные барьеры между Узбекистаном и Таджикистаном.



Термез. Мавзолей Аль-Хаким ат-Тирмизи
© Игорь Соловьёв, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0

Термез является главными южными воротами Узбекистана. Расположенный в 12 км к востоку от города мост «Хайратан» (также известный как «Мост дружбы») пересекает реку Амударья, предоставляя пешеходные, автомобильные и железнодорожные полосы движения. Он служит как единственный пограничный контрольно-пропускной пункт между Узбекистаном и Афганистаном. Ежедневно по мосту в обоих направлениях проезжают люди, легковые и грузовые автомобили, а также грузовые поезда.

Речной порт Термеза расположен в юго-восточной части города. Термез также является одним из ключевых железнодорожных узлов на юге Узбекистана. Международная грузовая железнодорожная линия до афганского города Мазари-Шариф начинается в Термезе и простирается до международного аэропорта Мазари-Шариф, расположенного примерно в 8 км к западу от самого города. Расстояние между Термезом и Мазари-Шарифом составляет примерно 80 км по автомобильной или железной дороге.



Комплекс Хаким-ат-Термизи в Термезе
© Lechhansl, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0

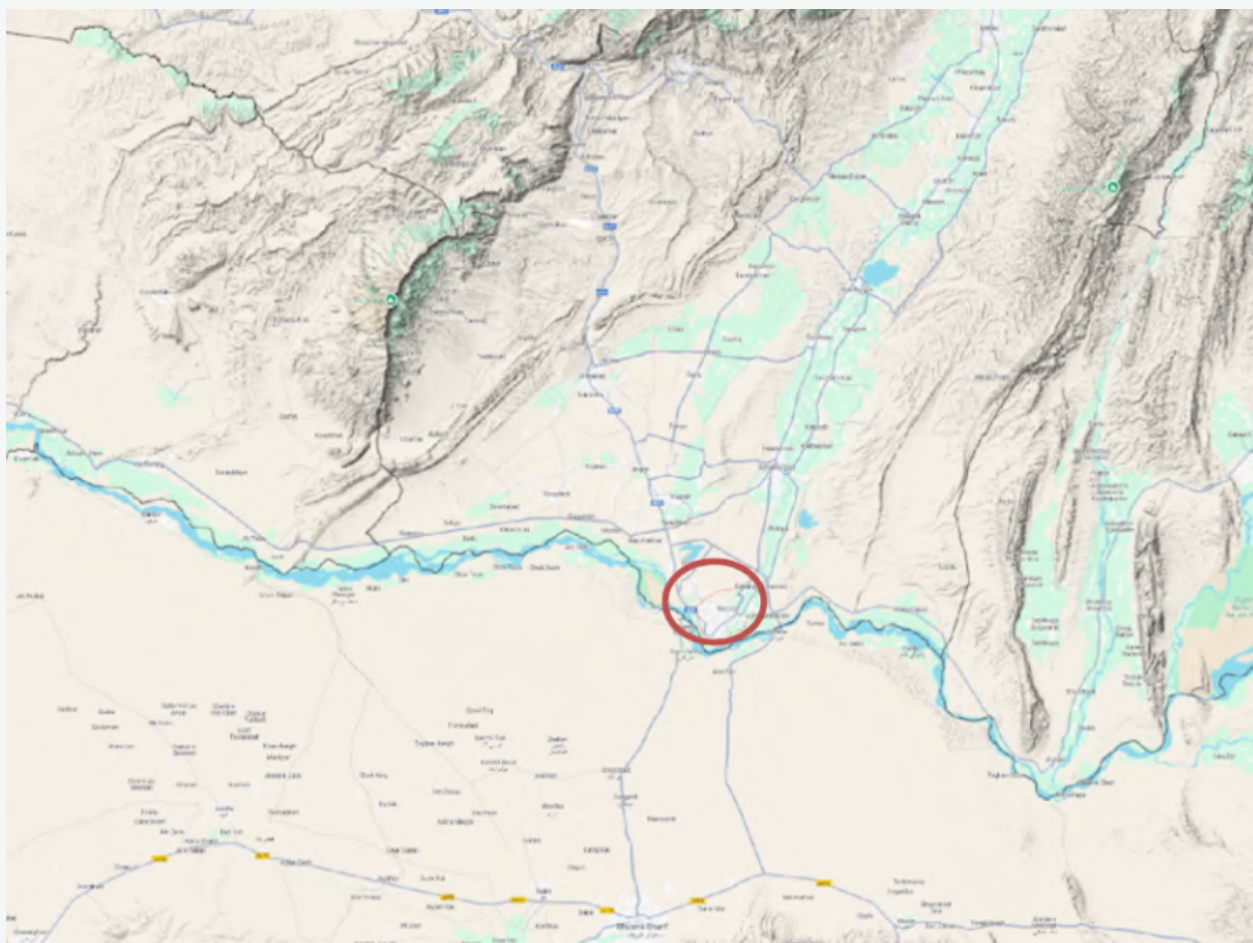
Термезский район полностью окружает город Термез, на территории которого расположен международный аэропорт «Термез». Из аэропорта регулярно совершаются рейсы в Ташкент, ряд крупных городов Узбекистана, а также в города соседних стран. Общественный транспорт города представлен автобусами, в основном марки «ISUZU», работающими на природном газе. Большинство частных автомобилей тоже работают на природном газе. Транспортная инфраструктура включает в себя малые транспортные предприятия, станции техобслуживания автотранспортных средств, автозаправочные станции и газозаправочные станции, а также станции зарядки электромобилей.

Вопросы охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов и борьбы с изменением климата в Сурхандарьинской области курирует местное Управление экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Сурхандарьинской области (подразделение Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата). По состоянию на 2023 г. в ведении управления

Промышленные предприятия в области в основном представлены мелкими горнодобывающими и металлургическими компаниями, предприятиями по добыче, переработке и транспортировке нефти и газа, а также предприятиями по производству строительных материалов. В области практически нет крупных энергетических объектов, за исключением подстанций и линий электропередачи. Однако в Термезском районе планируется строительство тепловой электростанции мощностью 1600 МВт, работающей по технологии комбинированного цикла на природном газе, ввод в эксплуатацию которой ожидается к 2028 г.

Отопление теплиц и другие виды сельскохозяйственной деятельности оказывают влияние на качество воздуха в Термезе. Мониторинг выбросов загрязняющих веществ из источников выбросов предприятий I категории (высокий экологический риск) осуществляется специализированной аналитической лабораторией Управления экологии, охраны окружающей среды и изменения климата. В настоящее время в Сурхандарьинской области реализуется программа по модернизации или замене существующего оборудования для очистки пыли и газов, в рамках которой к 2025 г. планируется заменить более 40 единиц оборудования.

Рисунок 3. Расположение города Термез (отмечено красным кружком)



Источник: Google Maps (terrain layer images), 2025

4.2 Метеорологический профиль Термеза

В Термезе пустынный климат, характеризующийся жарким летом и мягкой зимой. Город считается одним из самых жарких в Узбекистане, где температура в летние месяцы часто превышает 40°C.

Метеорологические данные с часовым разрешением были получены с метеорологической станции Термез (37°16'40.1" с.ш. 67°18'59.0" в.д.), эксплуатируемой Узгидрометом на 2023–2024 гг. Метеорологическая станция наблюдений расположена недалеко от аэропорта города Термез (**Рисунок 4**).

Летние месяцы в Термезе сухие и жаркие, с очень низкой влажностью и без осадков. Зимние месяцы явно холоднее, температура опускается ниже 10°C, и тогда требуется отопление. На **Рисунке 5** представлена среднемесячная температура в Термезе на основе данных почасовых измерений, а на **Рисунке 6** — среднемесячная влажность. Температура имеет четкий сезонный цикл: самые теплые месяцы — с июня по август, самые холодные — декабрь, январь и февраль. Самая высокая среднемесячная температура может подниматься выше 30°C в летние месяцы, а самая низкая — опускаться ниже 10°C в зимние месяцы.

На **Рисунке 7** представлены данные о месячном количестве осадков на станции измерения «Термез». Это засушливый район, где общее количество осадков в 2024 г. составило всего 134 мм. В летние месяцы с июня по август в 2024 г. осадков не наблюдалось. Наибольшее количество осадков – 33 мм – было зафиксировано в феврале.

Розы ветров за весь год представлены на **Рисунке 8**, а за каждый сезон отдельно — на **Рисунке 9**. За исключением лета, преобладают юго-западные и северо-восточные ветры, а летом - западные ветры. Наибольшие скорости ветра наблюдались при западно-юго-западном направлении.

Рисунок 4. Расположение автоматической станции мониторинга качества воздуха Узгидромета (зеленая точка) в Термезе



Источник: Google Maps

Рисунок 5. Среднемесячные температуры в Термезе, рассчитанные на основе данных за 2023–2024 гг.

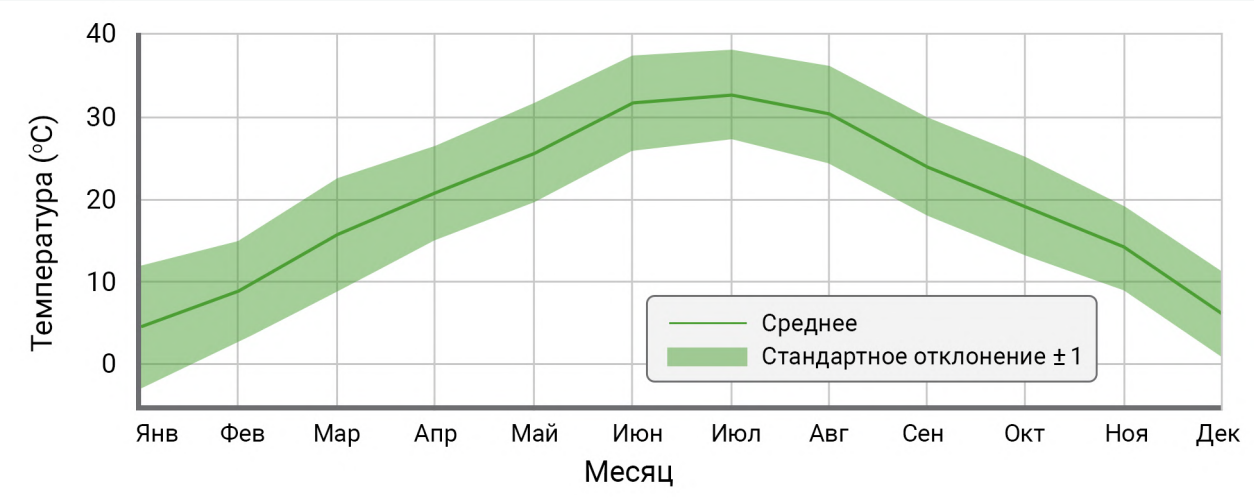


Рисунок 6. Среднемесячная относительная влажность воздуха в Термезе в 2023–2024 гг.

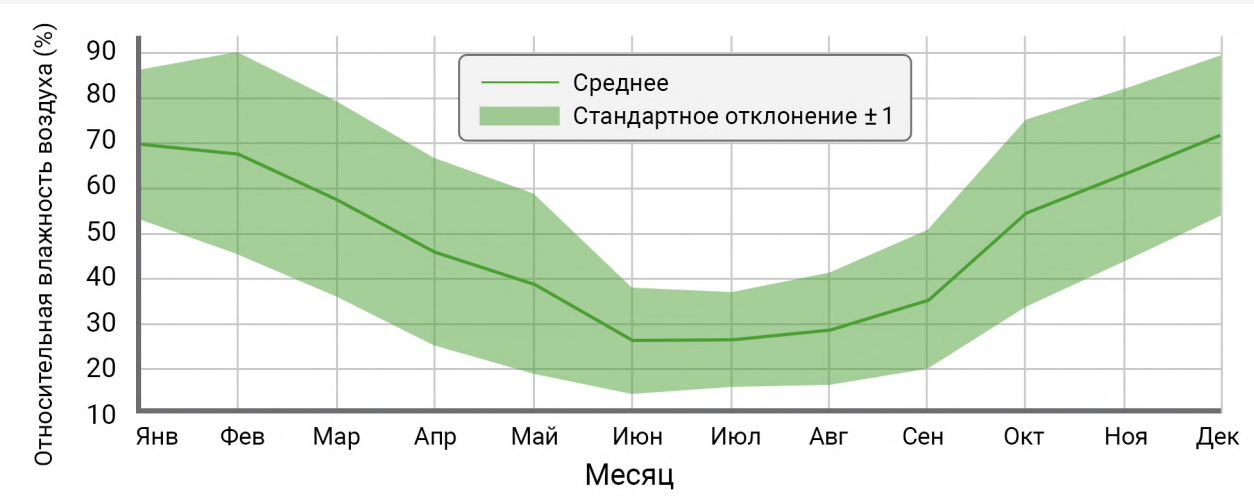


Рисунок 7. Месячные осадки в Термезе в 2023 и 2024 гг.

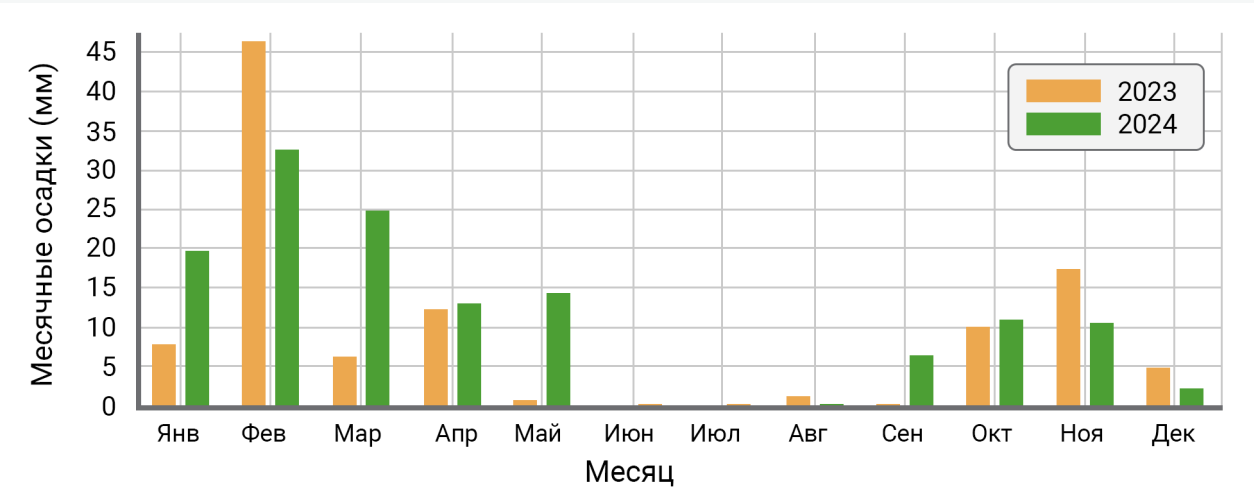


Рисунок 8. Роза ветров показывает частоту различных скоростей ветра в разных секторах направления скорости в 2023 и 2024 гг.

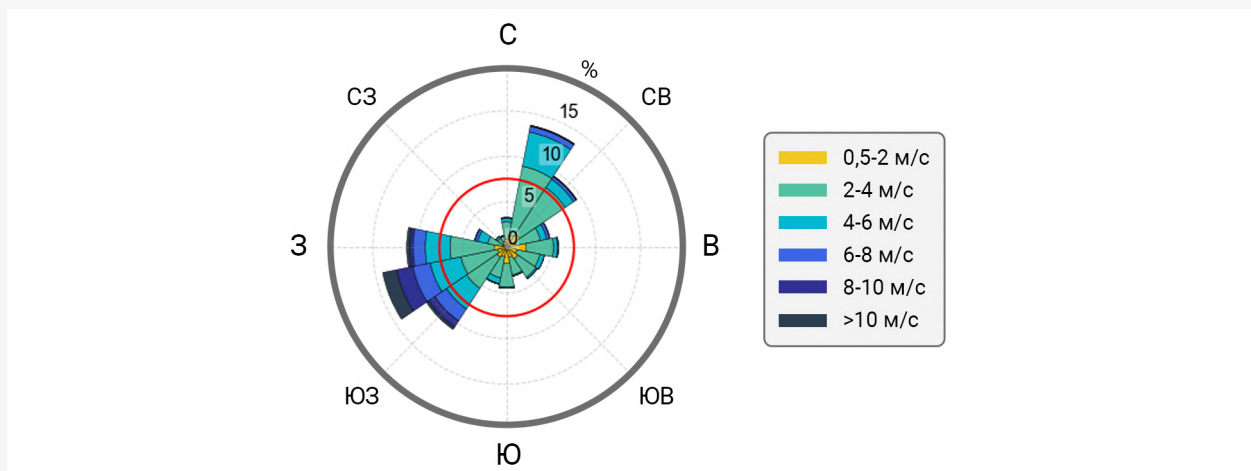
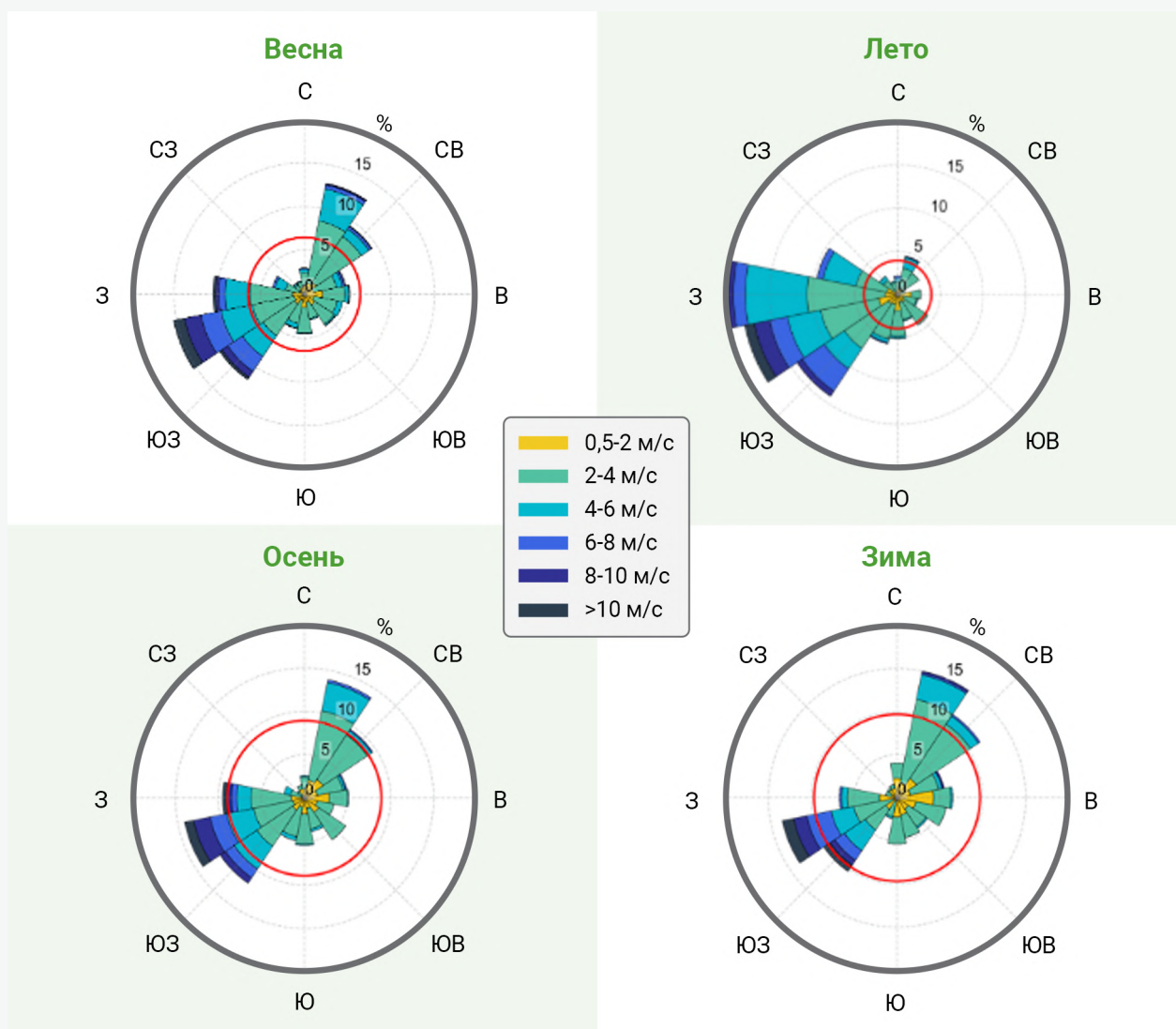


Рисунок 9. Розы ветров показывают частоту подсчетов по направлению ветра (%) для четырех сезонов в Термезе. Красные кружки обозначают долю штилевых ветров (< 0,5 м/с) в 2023 и 2024 гг



5 Анализ

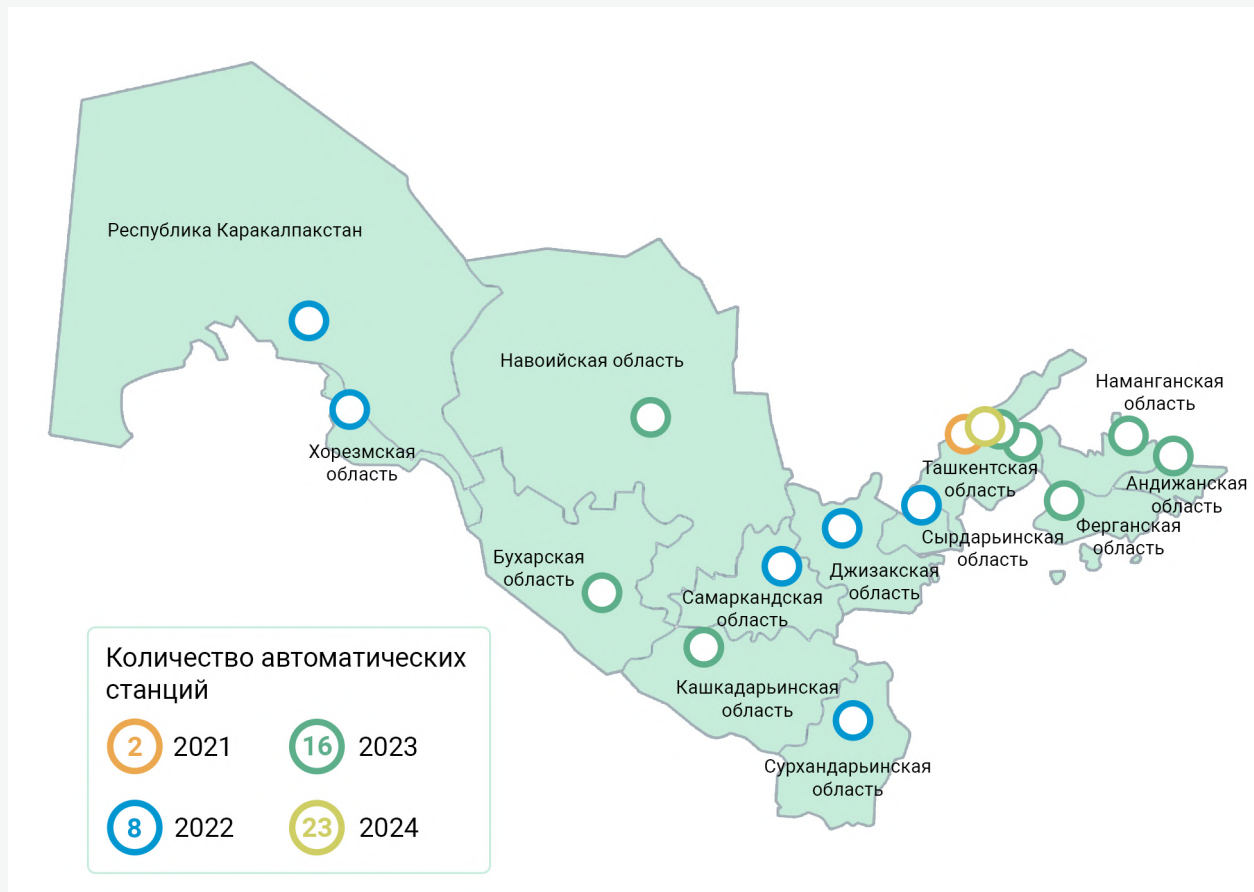
Анализ данных мониторинга качества воздуха в Термезе и Узбекистане

По состоянию на май 2025 г. данные мониторинга качества воздуха в районе Термеза оставались ограниченными. В данном исследовании в основном использовались данные недавно установленной автоматической станции мониторинга качества воздуха, которая служила основным источником информации. Набор данных, предоставленный для данного исследования, охватывал период в 20 месяцев, с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., и включал данные о почасовых концентрациях основных загрязняющих веществ в воздухе.

Измерения PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO , NO_2 , NO_x , SO_2 , O_3 , CO и NH_3 были доступны с мая 2023 г., тогда как PM_{10} и общее количество взвешенных частиц (TSP) были доступны только с марта 2024 г. В данном исследовании были использованы данные только до конца 2024 г. Автоматическая станция в Термезе оснащена признанными в мире стандартизированными анализаторами мониторинга. Данная оценка качества воздуха основывается главным образом на анализе данных станции качества воздуха Узгидромета, поскольку это единственный набор доступных данных автоматического мониторинга качества воздуха для Термеза. Кроме того, данные спутникового мониторинга качества воздуха также использовались в качестве дополнительных данных для анализа качества воздуха и определения основных источников выбросов. Станция Узгидромета в Термезе является одной из 23 автоматических станций мониторинга качества воздуха, которые были созданы с 2021 по конец 2024 г. в Узбекистане при поддержке Zamin Foundation (**Рисунок 10**).

Основные выводы анализа данных измерений обобщены здесь и подробно описаны в разделах 5.1–5.10. Основные наблюдения и выводы, сделанные на основе анализа, следующие:

Рисунок 10. Новая сеть, состоящая из 23 автоматических станций мониторинга качества воздуха в Узбекистане, установленные при поддержке Zamin Foundation. Станция в городе Термезе является единственной станцией в Сурхандарьинской области.



Источник: Zamin Foundation (2025)

- **Твердые частицы являются основным загрязняющим веществом, влияющим на качество воздуха и здоровье людей в районе Термеза.**
- **Концентрации твердых частиц (PM_{10} и $PM_{2.5}$) чрезвычайно высоки и превышают все международные предельные значения и нормативы (ЕС, Агентство по охране окружающей среды США, ВОЗ), включая четыре промежуточных целевых значения ВОЗ и национальные нормы для PM_{10} и $PM_{2.5}$.**
- **Песчаные и пыльные бури (ППБ) увеличивают концентрацию твердых частиц всех размеров в течение всего года.** Бури особенно сильно увеличивают общую массу и долю более крупных частиц (PM_{10} и TSP). Более высокие концентрации PM_{10} и TSP наблюдались при высокой скорости ветра, особенно когда ветер дул с юго-запада. Некоторые ППБ являются трансграничными явлениями, некоторые — региональными, происходящими из разных частей Узбекистана. Наблюдается также локальное запыление как из природных, так и из антропогенных источников, таких как дорожное движение, транспортные средства, поднимающие пыль в воздух, строительные работы и сельскохозяйственная деятельность. Сухая и пустынная среда вокруг Термеза создает отличные условия для запыления.

- Зимой, особенно в условиях штиля, когда скорость ветра и температура низкие, концентрации и доли более мелких частиц (PM_{10} и $PM_{2.5}$) увеличиваются, вероятно, из-за процессов горения (выбросы от транспорта, отопление жилых помещений и сжигание).
- Концентрации окиси углерода (CO) и диоксида азота (NO_2) не были высокими и значительно ниже национальных и международных предельных значений. Однако данные по NO_2 , по-видимому, были не совсем качественными, что увеличило неопределенность.
- Данные по диоксиду серы (SO_2) явно сильно колебались в течение всего периода мониторинга, что не позволило использовать эти данные для оценки качества воздуха. Регулярная и документированная калибровка анализаторов позволила бы проверить и скорректировать данные. Однако для такой корректировки и проверки не было доступных документированных данных калибровки.
- Данные по озону (O_3) за 2023 и 2024 гг. слишком скудны, чтобы их можно было полностью сопоставить с большинством предельных и нормативных значений. Предельно допустимая концентрация озона в Узбекистане очень низкая, намного ниже нормативных и предельных значений ВОЗ и ЕС. Измеренная концентрация озона превышает национальный предельно допустимый уровень концентрации, но, скорее всего, соответствует нормативным значениям ВОЗ и целевым значениям ЕС.
- Концентрации аммиака (NH_3), зафиксированные на станции контроля качества воздуха в Термезе, были высокими. По сравнению с показателями в Европейском союзе, концентрации в Термезе соответствовали самым высоким показателям NH_3 , зафиксированным на территории ЕС. Карты спутниковых данных также показали, что вблизи Термеза находятся мощные источники выбросов аммиака. Выбросы аммиака, скорее всего, связаны с сельскохозяйственной деятельностью. Аммиак является предшественником вторичных неорганических аэрозолей ($PM_{2.5}$) и часто контролируется для оценки воздействия и связи выбросов аммиака с концентрациями твердых частиц. Однако необходимо провести дополнительные исследования, чтобы лучше понять источники и влияние NH_3 на концентрации $PM_{2.5}$ в Термезе. Рекомендуется организовать кампанию по отбору проб $PM_{2.5}$ продолжительностью один год на станции контроля качества воздуха в Термезе для анализа химического состава $PM_{2.5}$, включая анионы и катионы. Это поможет лучше понять влияние выбросов NH_3 на качество воздуха в Термезе.

5.1 Автоматическая станция мониторинга качества воздуха в Термезе

Автоматическая станция мониторинга качества воздуха Узгидромета расположена в центре города, рядом с большим парком (координаты: 37°16'40.1"с.ш. 67°18'59.0"в.д.). Благодаря своему расположению, примерно в 30 м от ближайшей дороги, станция классифицируется как городская фоновая станция на основе критериев классификации станций мониторинга качества воздуха, принятых в ЕС).

Первичные данные, использованные в данном исследовании, состоят из ежечасных измерений концентрации в атмосфере CO, NO_x , NO, NO_2 , SO_2 , O_3 , NH_3 , общего количества взвешенных частиц (TSP), PM_{10} , $PM_{2.5}$ и $PM_{10-2.5}$. Станция мониторинга качества воздуха Узгидромета была введена в эксплуатацию в 2023 году при поддержке Zamin Foundation. Она оснащена приборами, соответствующими международным техническим стандартам для эталонных методов (ЕС, Агентство по охране окружающей среды США), как подробно описано в **Таблице 3**. Техническое обслуживание и эксплуатация станции осуществляется Узгидрометом.

Таблица 3. Приборы для мониторинга качества воздуха на станции мониторинга Узгидромета в Термезе

Компонент	Метод	Прибор
CO	Поглощение инфракрасного излучения	Horiba, APMA-370I
NO/NO ₂ /NO _x	Хемилюминесцентный	Horiba, APNA-370
SO ₂	Импульсная флуоресценция	Horiba, APSA - 370
O ₃	Поглощение ультрафиолетовых лучей	Horiba APOA -370
NH ₃	Хемилюминесцентный + преобразователь	Horiba APNA-370/CU-2
PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁ , TSP (до 18 мкм)	Оптическое рассеяние света	Horiba, APDA 372



Автоматическая станция мониторинга качества воздуха Узгидромета в Термезе
© ЮНЕП

5.2 Твердые частицы (PM₁₀, PM_{2.5} и PM₁)

Годовые концентрации твердых частиц (TSP, PM₁₀, PM_{2.5} и PM₁) в 2024 году в Термезе представлены в **Таблице 4**. Среднегодовые значения очень высокие и превышают все национальные, международные предельные и нормативные значения (ЕС, Агентства по охране окружающей среды США), а также нормативные значения ВОЗ и четыре

промежуточных целевых значения ВОЗ: для среднегодового значения PM_{2.5} (35, 25, 15 и 10 мкг/м³) и для PM₁₀ (70, 50, 30 и 20 мкг/м³).

Новые предельные значения для твердых частиц в Узбекистане: среднегодовая концентрация PM_{2.5} составляет 35 мкг/м³, а PM₁₀ — 50 мкг/м³. Медианные значения концентрации твердых частиц представлены в той же таблице. Медианные значения явно ниже, чем средние значения, что указывает на то, что на среднее значение, скорее всего, влияют высокие пиковые значения, которые можно увидеть в ежедневных данных.

На **Рисунках 11–12 и 16–17** показаны временные ряды концентраций PM_{2.5} и PM₁₀ с часовым и суточным разрешением. Рисунки показывают, что, несмотря на значительные суточные и часовые колебания, концентрации PM_{2.5} и PM₁₀ остаются постоянно высокими и редко опускаются ниже международных норм.

На **Рисунках 13 и 18** показаны сезонные закономерности в концентрациях PM_{2.5} и PM₁₀. Диаграммы типа «ящик с усами» («усиковые диаграммы») показывают среднесуточные данные, сгруппированные по месяцам. Границы «ящика» показывают диапазон центральных 50 процентов данных, а линия внутри «ящика» указывает на месячное медианное значение. Вертикальные линии показывают границы остальных данных, находящихся за пределами центральных 50 процентов.

«Усиковые диаграммы» показывают, что месячные медианные значения PM_{2.5} ниже летом и выше зимой. Диапазон концентраций наиболее широк для данных за ноябрь, декабрь и январь. Концентрации PM₁₀ показывают самые низкие медианные значения в феврале, марте и апреле, но четкой разницы между медианными значениями летом и зимой не наблюдается. Кроме того, диапазон данных для каждого месяца схож.

Данные о почасовой концентрации твердых частиц (PM_{2.5} и PM₁₀) также представлены в отношении с индексом качества воздуха ЕС (Европейское агентство по окружающей среде, 2025 г.) на **Рисунках 14–15 и 19–20** (для более подробной информации см. главу 5.11). Индексы используются для демонстрации уровня качества воздуха на основе почасовых концентраций и среднемесячных значений индекса качества воздуха. Новый ИКВ ЕС (обновленный в августе 2025 г.) использует данные о почасовых концентрациях в качестве входных данных для всех загрязняющих веществ, в том числе для PM₁₀ и PM_{2.5}. Согласно диапазонам ИКВ ЕС для PM_{2.5}, качество воздуха в Термезе крайне редко было «хорошим» (0,05 процента от общего набора данных, что соответствует менее 5 часам), «удовлетворительным» — 10 процентов, «умеренным» — 57 процентов, «плохим» — 19,5 процента, «очень плохим» — 7,5 процента и «крайне плохим» — 6 процентов всех часов в 2025 году (**Рисунок 11**).

На основании среднемесячных концентраций PM_{2.5} показатели ИКВ ЕС в январе и феврале, а также в период с августа по декабрь были оценены как «плохие». В остальные месяцы среднемесячные показатели соответствовали категории «умеренный» ИКВ (**Рисунок 15**).

Что касается PM₁₀, то почасовые концентрации также редко были «хорошими» (0,5 процента от общего почасового набора данных, что составляет примерно 40 часов). ИКВ был «удовлетворительным» в 10 процентов случаев, а наиболее распространенной категорией была «умеренный» (47 процентов). На категорию «плохой» приходилось 22 процента, «очень плохой» — 8,5 процента и «крайне плохой» — 12 процентов. Сравнение с диапазонами ИКВ ЕС показывает, что среднемесячные значения за январь, май, июнь, август и сентябрь относятся к диапазону «очень плохой» ИКВ, а за другие месяцы — к диапазону «плохой» (**Рисунок 20**).

Таблица 4. Среднегодовые значения PM_{10} , $PM_{2.5}$ и PM_1 в Термезе в 2024 г.

Загрязняющее вещество	Среднегодовое значение за 2024 г.	Годовой медианный показатель за 2024 г.	% охвата данных	Годовые рекомендации (нормы) ВОЗ	Годовое предельное значение ЕС	Агентство по охране окр. среды США	Узбекистан
PM_{10}	187 мкг/м ³	106 мкг/м ³	91%	15 мкг/м ^{3**}	40 мкг/м ³	NA	50 мкг/м ³
$PM_{2.5}$	55 мкг/м ³	36 мкг/м ³	91%	5 мкг/м ^{3*}	25 мкг/м ³	9 мкг/м ³	35 мкг/м ³
PM_1	23 мкг/м ³	14 мкг/м ³	76%	NA	NA	NA	NA
TSP	325 мкг/м ³	167 мкг/м ³	76%	NA	NA	NA	NA

NA = Нет данных

* ВОЗ установила 4 промежуточных целевых показателя среднегодового значения $PM_{2.5}$: 35, 25, 15 и 10 мкг/м³

** ВОЗ установила 4 промежуточных целевых показателя среднегодового значения PM_{10} : 70, 50, 30 и 20 мкг/м³

Рисунок 11. Среднечасовые концентрации $PM_{2.5}$ (мкг/м³) за период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе. На этом графике показаны только концентрации ниже 500 мкг/м³

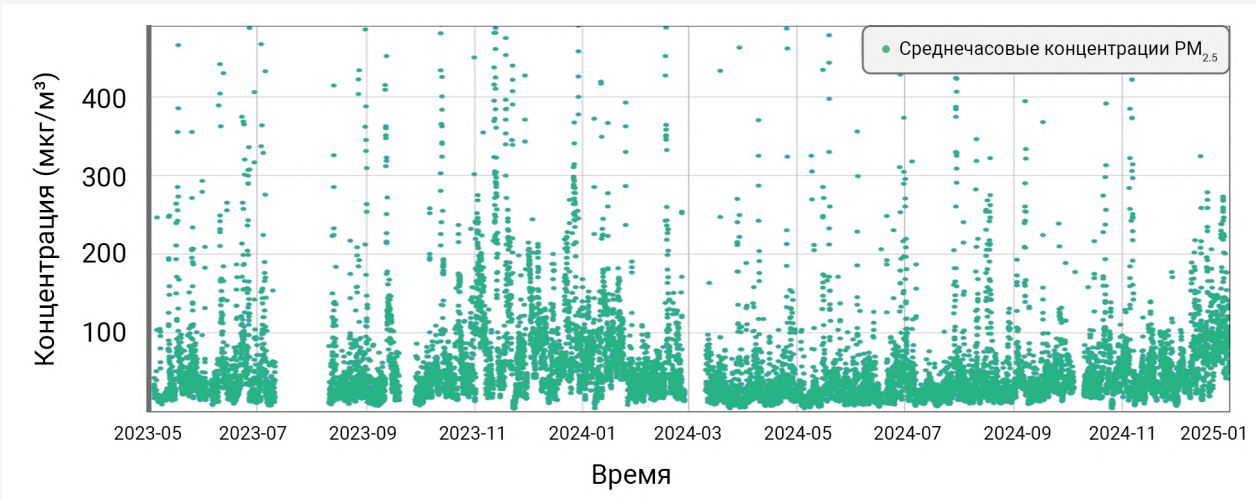


Рисунок 12. Среднесуточные концентрации $PM_{2.5}$ (мкг/м³) за период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные в Термезе. Среднесуточное предельное значение для $PM_{2.5}$ в Узбекистане составляет 60 мкг/м³, а 24-часовой стандарт качества воздуха Агентства по охране окружающей среды США для $PM_{2.5}$ составляет 35 мкг/м³ (пунктирные линии)

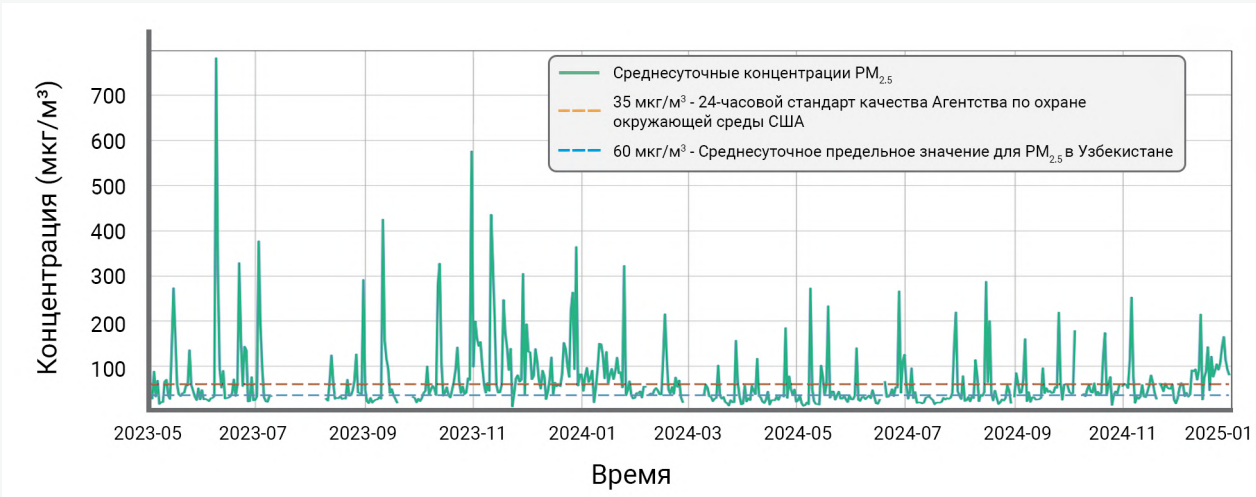


Рисунок 13. Усыиковая диаграмма, показывающая сгруппированные по месяцам данные о концентрации PM_{2.5}. Для этой диаграммы использовались среднесуточные данные о концентрации PM_{2.5}, измеренные на станции Узгидромета в Термезе в период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г. (см. Рисунок 12)

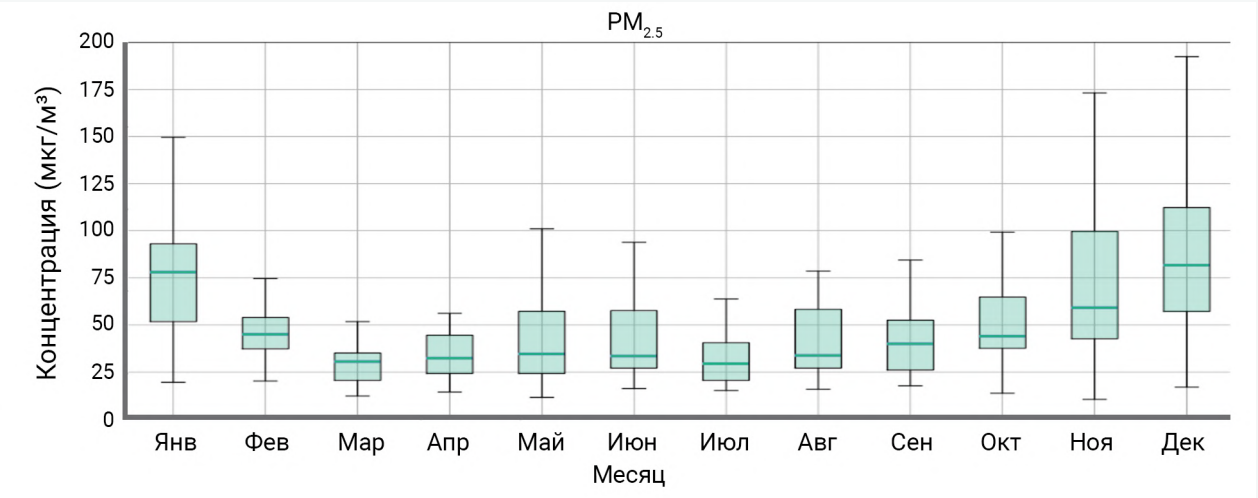


Рисунок 14. Среднечасовые данные о концентрации PM_{2.5}, измеренные на станции Узгидромета в Термезе за 2024 г. (Рисунок 12), представленные в соотношении с ИКВ ЕС. На графике показаны только концентрации ниже 500 мкг/м³

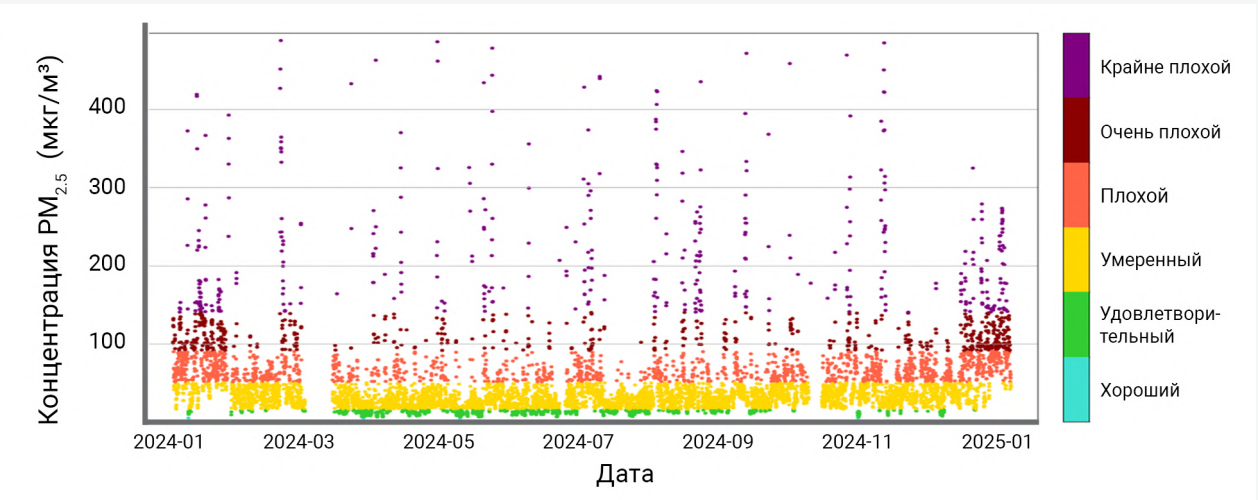


Рисунок 15. Среднемесячные данные о среднечасовой концентрации PM_{2.5} (мкг/м³), измеренные на станции Узгидромета в Термезе в 2024 г., в соотношении с диапазонами PM_{2.5} ИКВ ЕС

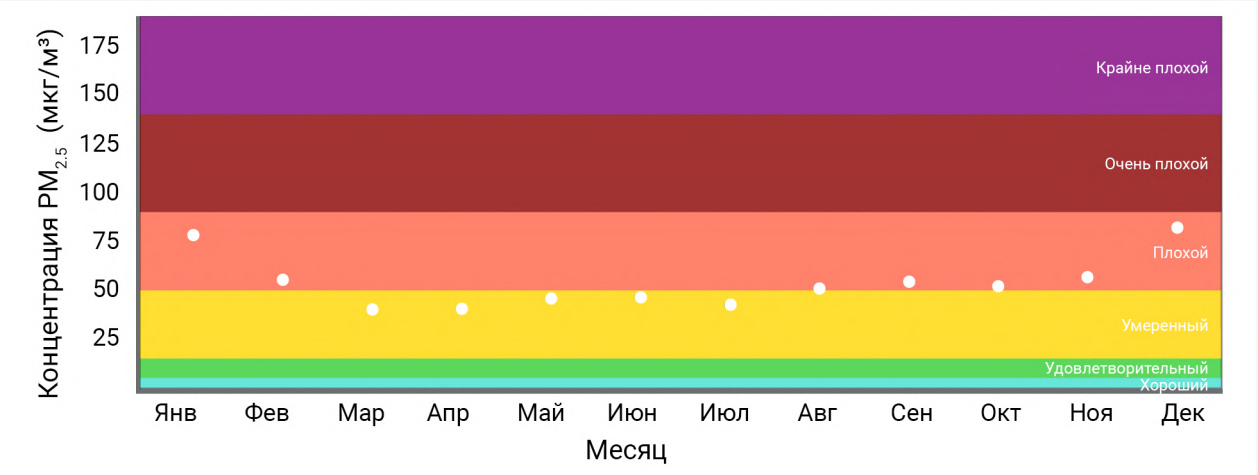


Рисунок 16. Среднечасовые концентрации PM_{10} ($\text{мкг}/\text{м}^3$) за период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе. На графике показаны только концентрации ниже $5\,000\text{ мкг}/\text{м}^3$

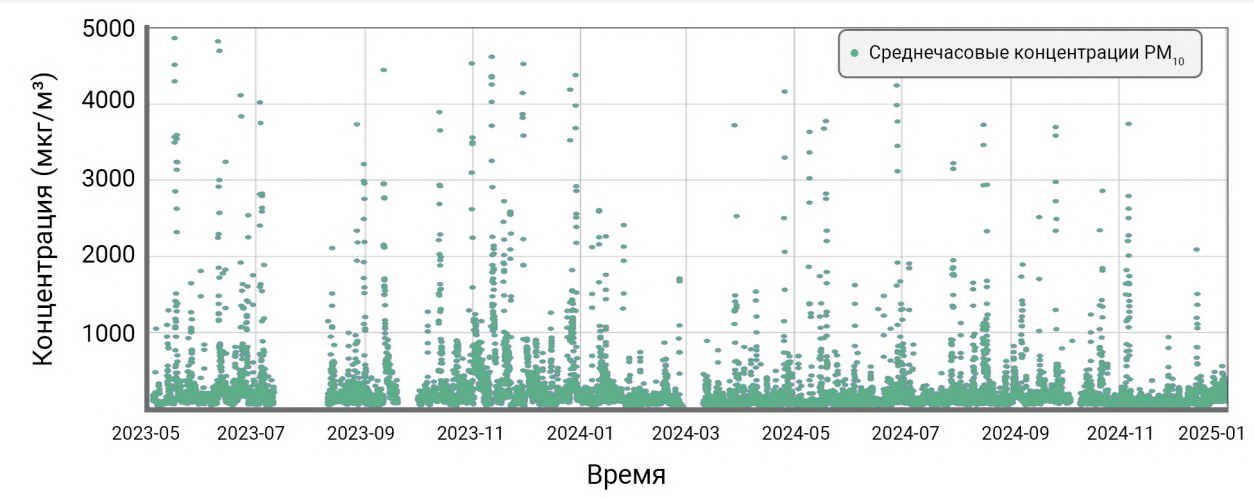


Рисунок 17. Среднесуточные концентрации PM_{10} ($\text{мкг}/\text{м}^3$) за период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе. ПДК для среднесуточной концентрации PM_{10} , предельные значения Агентства по охране окружающей среды США и ЕС представлены пунктирными линиями

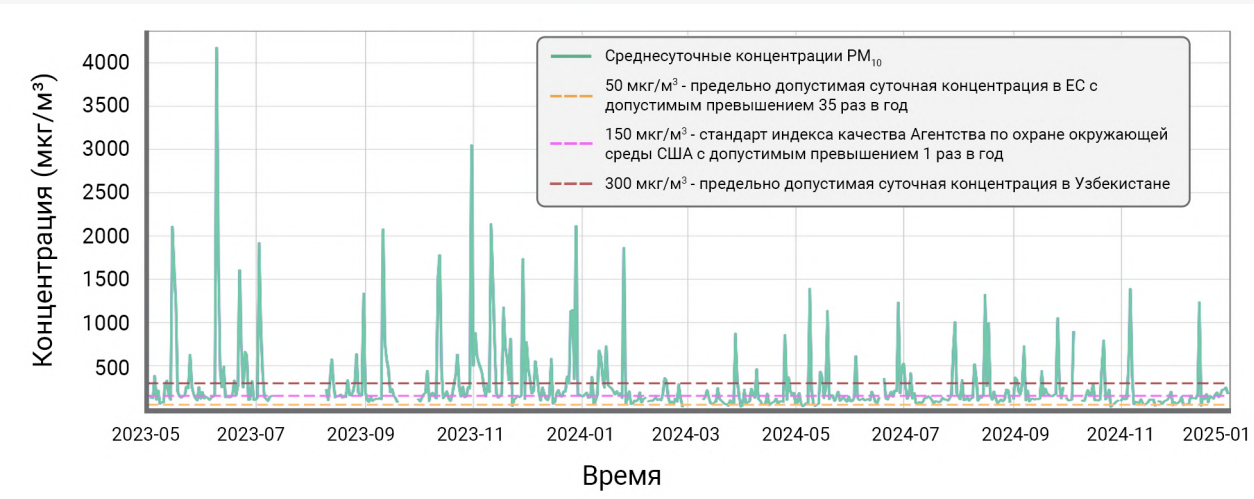


Рисунок 18. Усиковая диаграмма, показывающая сгруппированные данные о концентрации PM_{10} по месяцам. Данные, использованные для построения этой диаграммы, представляли собой среднесуточные значения концентрации PM_{10} , измеренное на станции Узгидромета в Термезе за период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г. (Рисунок 17)

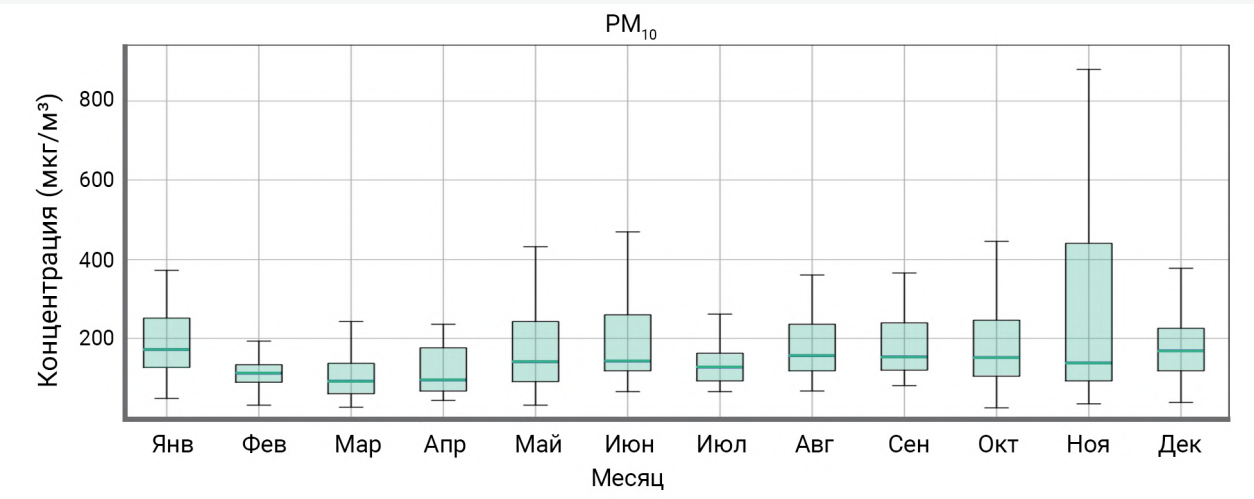


Рисунок 19. Среднечасовые концентрации PM_{10} ($мкг/м^3$), измеренные на станции Узгидромета в Термезе за 2024 г., представленные в соотношении с ИКВ ЕС. На графике показаны только концентрации ниже 5 000 $мкг/м^3$

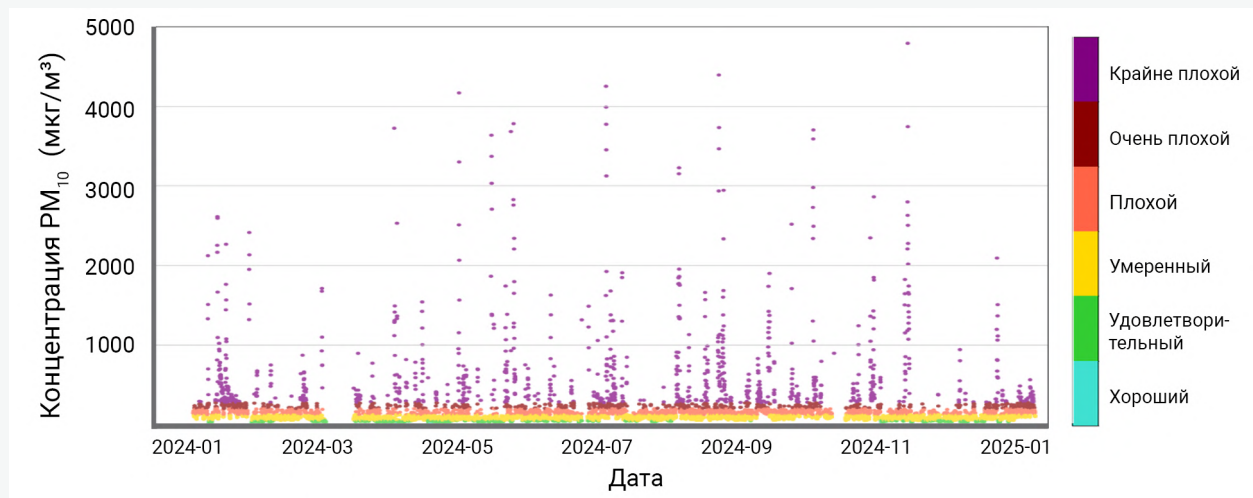
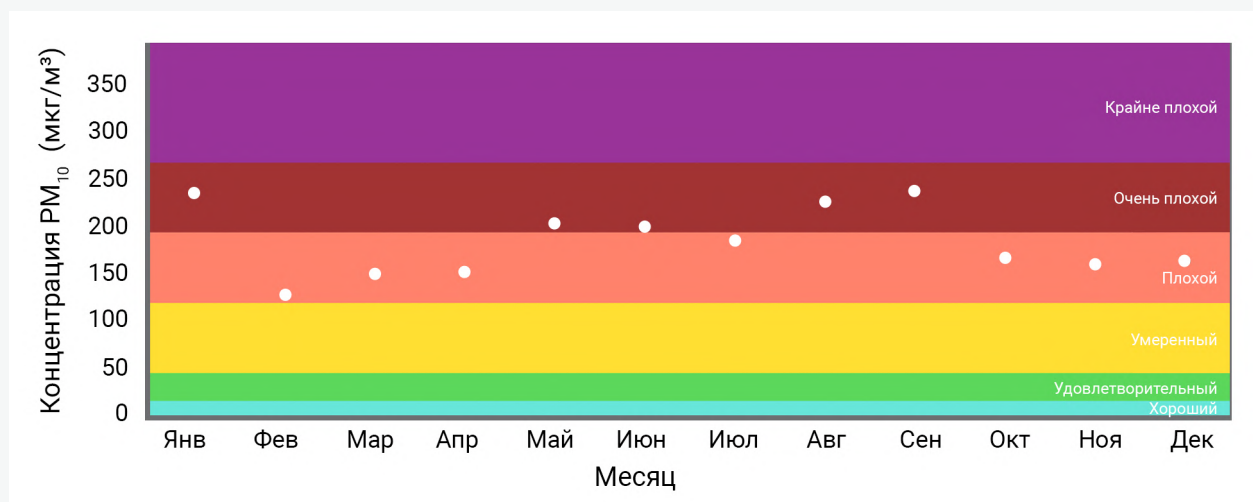


Рисунок 20. Среднемесячные данные о среднечасовой концентрации PM_{10} ($мкг/м^3$), измеренные на станции Узгидромета в Термезе в 2024 г., в сравнении с диапазонами PM_{10} ИКВ ЕС.



Как правило, индекс качества воздуха рассчитывается для многих различных загрязняющих веществ ($PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 и O_3), измеряемых на станции мониторинга. Индекс соответствует наихудшему уровню среди любого из пяти загрязняющих веществ. В данном случае индекс рассчитывается отдельно для $PM_{2.5}$ и PM_{10} , чтобы продемонстрировать различия в результатах индекса по этим двум фракциям частиц. Согласно пороговым значениям ИКВ ЕС, PM_{10} , по-видимому, является наиболее важным фактором, определяющим индекс в Термезе. Данные почасового мониторинга показывают, что PM_{10} категорий «плохой», «очень плохой» и «экстремально плохой» составляют 42,5 процента, а $PM_{2.5}$ — 32,7 процента.

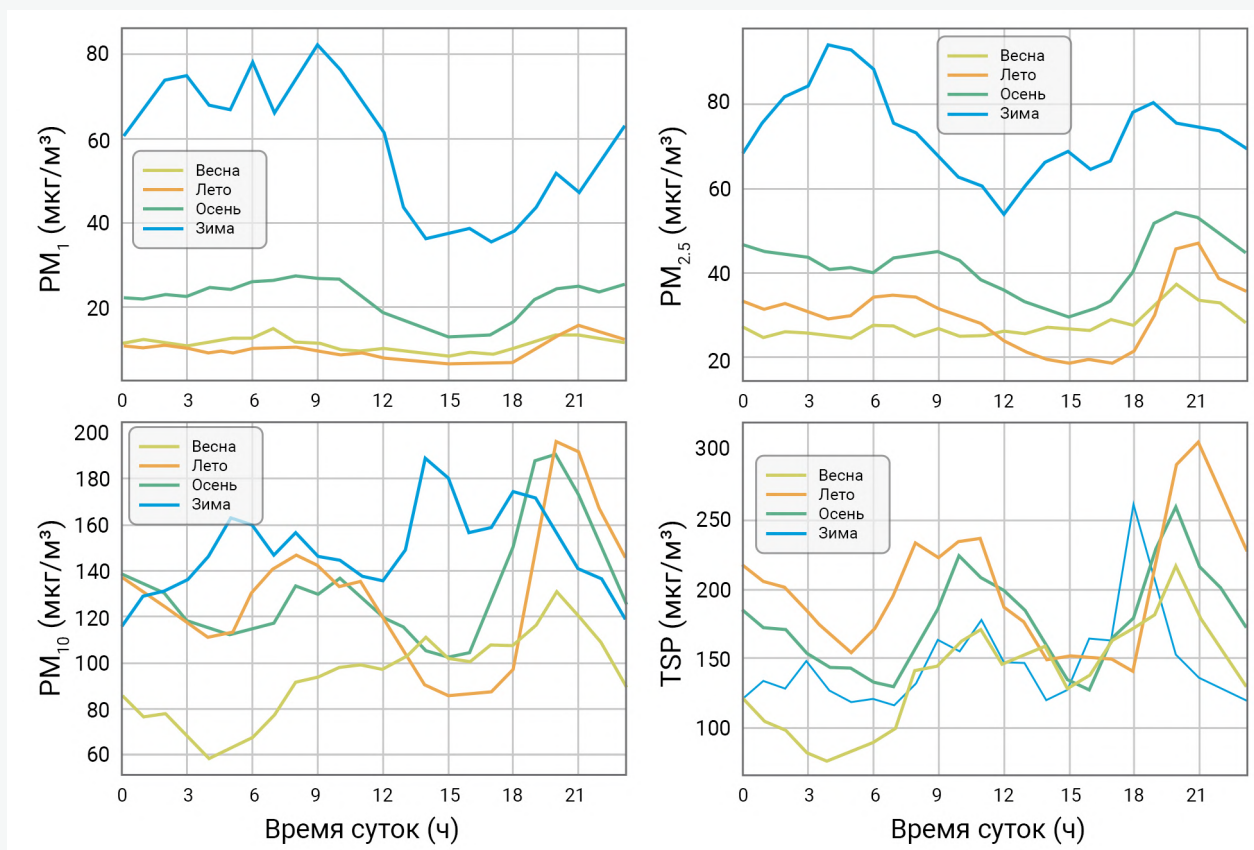
Важно отметить, что индексы качества воздуха, используемые в разных странах и регионах, имеют разные классификации и пороговые значения, поэтому эти индексы невозможно напрямую сравнивать друг с другом.

На **Рисунке 21** представлены суточные колебания концентрации твердых частиц различного размера в разные сезоны года. Сравнение этих колебаний для фракций твердых частиц различного размера может дать представление о потенциальных источниках, влияющих на концентрацию твердых частиц.

Наибольшие концентрации PM_{10} наблюдаются зимой. Данные как за зимний, так и за осенний период имеют четкие суточные колебания: наибольшие концентрации наблюдаются ночью, а наименьшие — днем. Одним из объяснений этого явления являются колебания высоты слоя перемешивания. Днем слой перемешивания достигает максимальной высоты, что означает, что выбросы у поверхности земли разбавляются в большем объеме, чем ночью. Другой вероятной причиной более высоких ночных и зимних концентраций является увеличение выбросов от отопления, когда температура наружного воздуха низкая. Основные источники PM_{10} связаны с процессами сжигания, деятельностью человека, такой как сжигание топлива, и промышленными процессами. Весной и летом PM_{10} имеет очень небольшие суточные колебания по сравнению с зимой и осенью, хотя данных по PM_{10} за весенний период было ограничено.

Для $PM_{2.5}$ медианные концентрации снова достигают максимума зимой, причем суточный цикл напоминает цикл PM_{10} , что указывает на схожие источники. Также $PM_{2.5}$ имеет четкие суточные циклы также весной и летом, причем самые низкие концентрации наблюдаются во второй половине дня.

Рисунок 21. Суточные колебания TSP, PM_{10} , $PM_{2.5}$ и PM_{10} , рассчитанные для разных сезонов. Каждая линия представляет медианную концентрацию загрязняющего вещества в определенный час сезона, обозначенного цветом линии.



Для частиц большего размера (PM_{10} и TSP) суточные колебания и сезонные различия более выражены. Это указывает на то, что их источники несколько отличаются от источников частиц размером менее 2.5 мкм. PM_{10} имеет схожие суточные циклы весной и осенью, причем самые низкие концентрации наблюдаются днем, а самые высокие – вечером, около 8 часов вечера. Зимой концентрации PM_{10} в среднем выше, чем летом, но в обоих сезонах нет четких суточных циклов. Эти сезонные и суточные закономерности, вероятно, связаны с местными метеорологическими условиями, такими как высота пограничного слоя. Для TSP суточные колебания во всех сезонах в некоторой степени схожи, с пиками до полудня и вечером. Из-за гравитационного оседания срок жизни частиц размером более 10 мкм короткий, и суточный цикл TSP может отражать время, когда пыль чаще всего поднимается в воздух под действием ветра.

На **Рисунке 22** показано, как массовые доли частиц твердых частиц различных размеров меняются в течение года. Одной из наиболее примечательных особенностей на этом рисунке является увеличение массовой доли PM_1 с менее чем 10 процентов в июне-октябре до почти 80 процентов в декабре. Это показывает, что наиболее важные источники твердых частиц варьируются в зависимости от сезона. Концентрации PM_1 в зимний период явно указывают на связь с выбросами, связанными с отоплением (сжиганием) в зимнее время. В то время как крупные частицы, вероятно, образующиеся в результате песчаных и пыльных бурь, более важны в сухие и ветреные летние месяцы, локальные выбросы, вероятно, связанные с отоплением, становятся важными зимой.

Поскольку полученные на данный момент результаты показывают разные источники для разных диапазонов размеров твердых частиц, а песчаные и пыльные бури являются известной проблемой в районе Термеза, далее мы проанализировали «розы загрязнения» для разных диапазонов размеров твердых частиц. «Розы загрязнения» объединяют измерения загрязняющих веществ с направлением ветра, полученным от метеорологических наблюдений, и указывают направления, из которых поступают самые высокие измеренные концентрации твердых частиц разных размеров. В этом анализе были использованы данные метеорологических наблюдений, измеренные на станции мониторинга качества воздуха.

Рисунок 23 подтверждает ранее сделанный вывод о том, что мелкие (PM_1) и крупные частицы происходят из разных источников. Наиболее высокие концентрации твердых частиц наблюдаются при безветренной погоде или при ветре с северо-востока.

Как для PM_{10} , так и для TSP наибольшие концентрации наблюдаются при ветре с юго-запада. При этом также зарегистрированы наибольшие скорости ветра, и эти высокие концентрации, вероятно, связаны с песчаными и пыльными бурями.

В случае $PM_{2.5}$ роза загрязнения демонстрирует сходство с розами загрязнения PM_1 , PM_{10} и TSP, что указывает на то, что источниками $PM_{2.5}$ являются, вероятно, как локальные источники, так и песчаные и пыльные бури.

Чтобы лучше понять, как скорость ветра влияет на песчаные и пыльные бури, на **Рисунке 24** показана зависимость массы частиц в разных диапазонах размеров от скорости ветра. Из этого рисунка видно, что начиная со скорости ветра от 5 м/с наблюдаемая масса частиц увеличивается в зависимости от скорости ветра. В то время как при скорости ветра ниже 5 м/с средняя масса твердых частиц в разных диапазонах размеров составляет менее 100 мкг/м³, при скорости ветра выше 10 м/с средние массовые концентрации на порядок выше. В то же время изменяется соотношение между различными классами размеров. В то время как при скорости ветра ниже 5 м/с масса частиц размером 2.5-10

Рисунок 22. Временной ряд доли каждого диапазона размеров (< 1, 1–2.5, 2.5–10 и >10–18 мкм) твердых частиц в общей массе с марта 2024 г. по декабрь 2024 г. с почасовым разрешением.

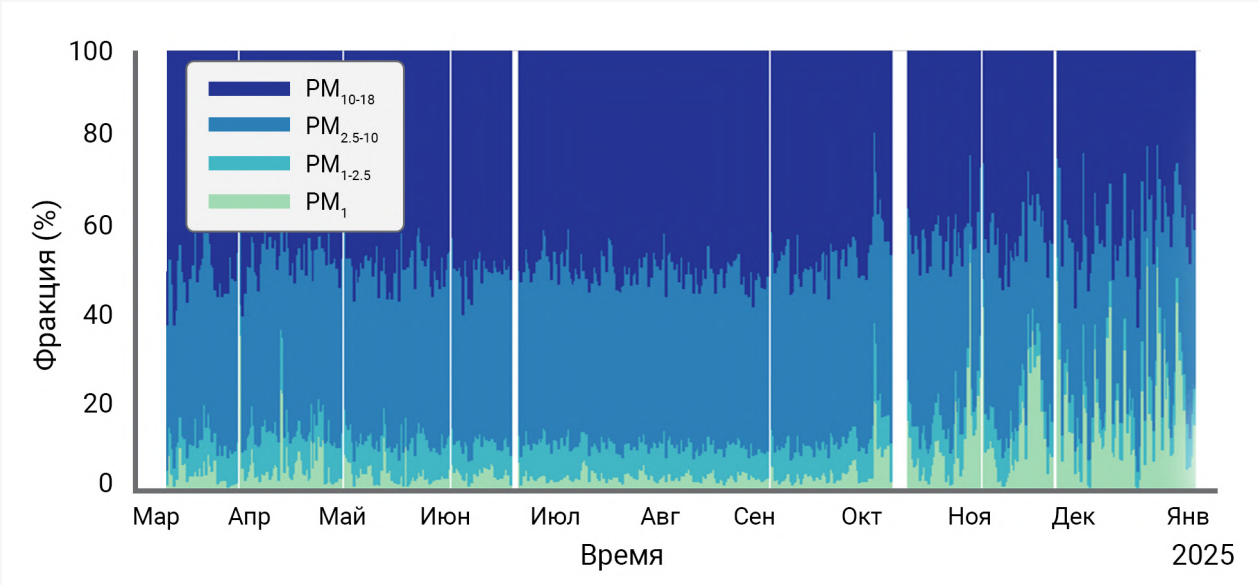
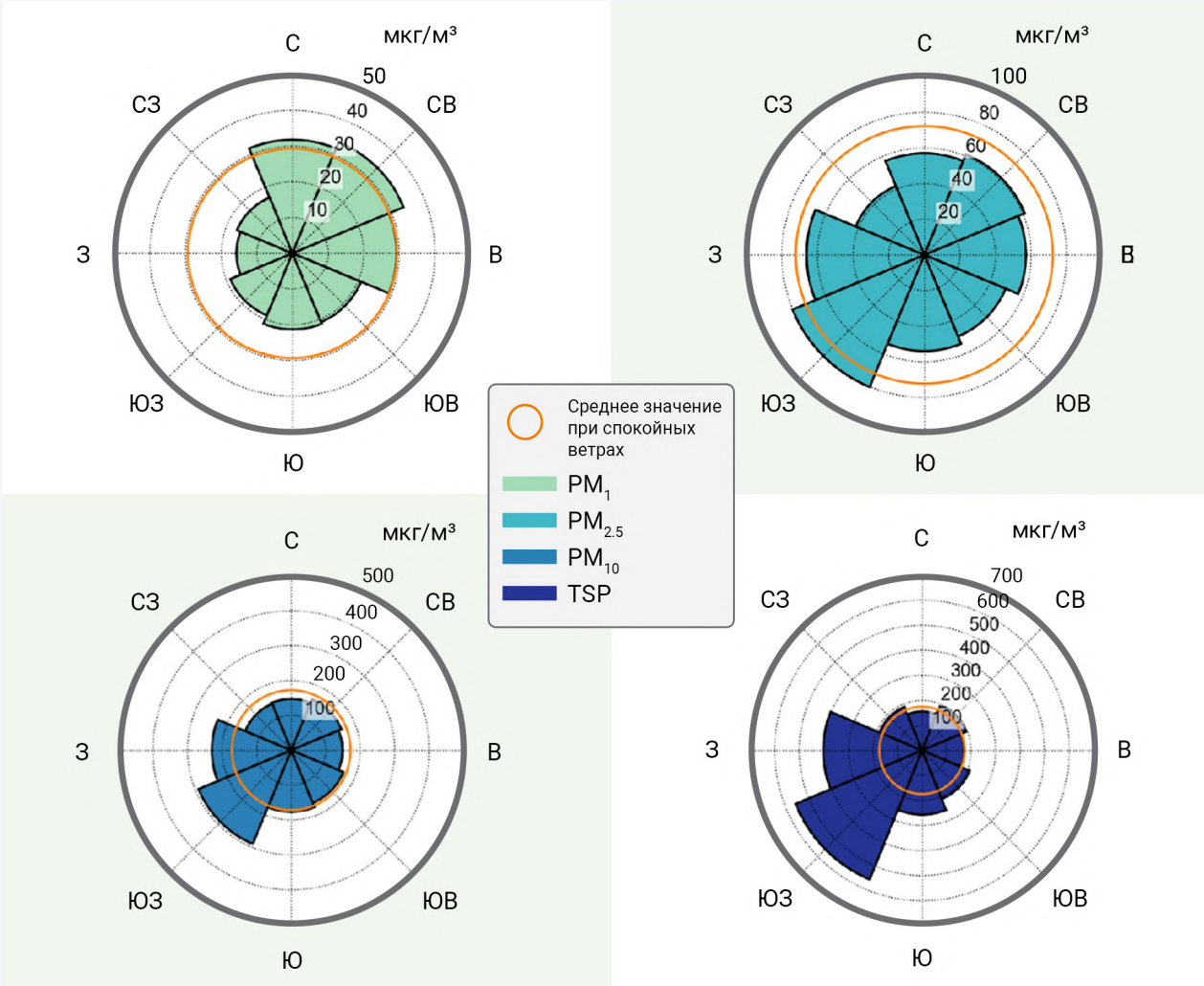


Рисунок 23. Розы загрязнения для PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ и TSP, измеренные на станции Узгидромета в Термезе. Данные по PM_{2.5} и PM₁₀ были доступны с 11 мая 2023 г. по 31 декабря 2024 г.; по PM₁ и TSP – с 10 марта 2024 г. по 31 декабря 2024 г.





Городская теплица в Термезе
© ЮНЕП

мкм в среднем выше, чем масса частиц размером >10 мкм, при более высоких скоростях ветра более крупные частицы преобладают по массе.

Эта закономерность также отражена на **Рисунке 25**, где представлены те же данные, что и на **Рисунке 24**, но в виде доли от общей массы. На **Рисунке 25** также видно, что, хотя массовая доля частиц размером >10 мкм увеличивается в зависимости от скорости ветра, для PM_1 эффект противоположный. Это ожидаемо, поскольку при высокой скорости ветра он может переносить и поднимать более крупные частицы. Если предположить, что выбросы PM_1 локальны, высокая скорость ветра приведет к их хорошему разбавлению.



Термез окружает засушливая местность
© ФМИ

Рисунок 24. Среднечасовая масса твердых частиц при заданных скоростях ветра для каждого диапазона размеров (< 1, 1-2.5, 2.5-10 и 10-18 мкм)

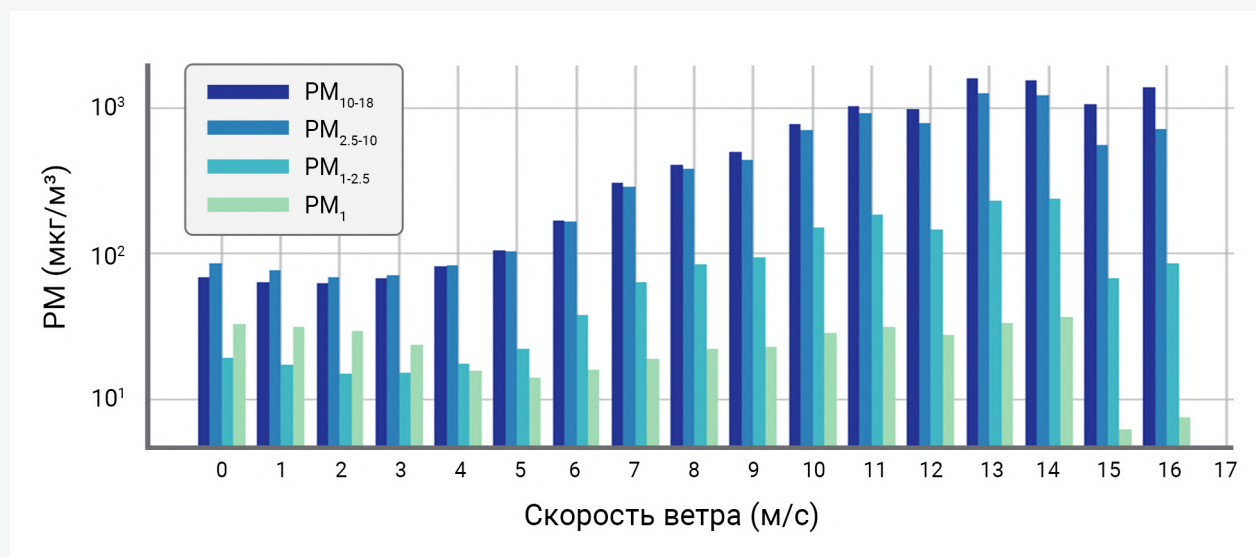
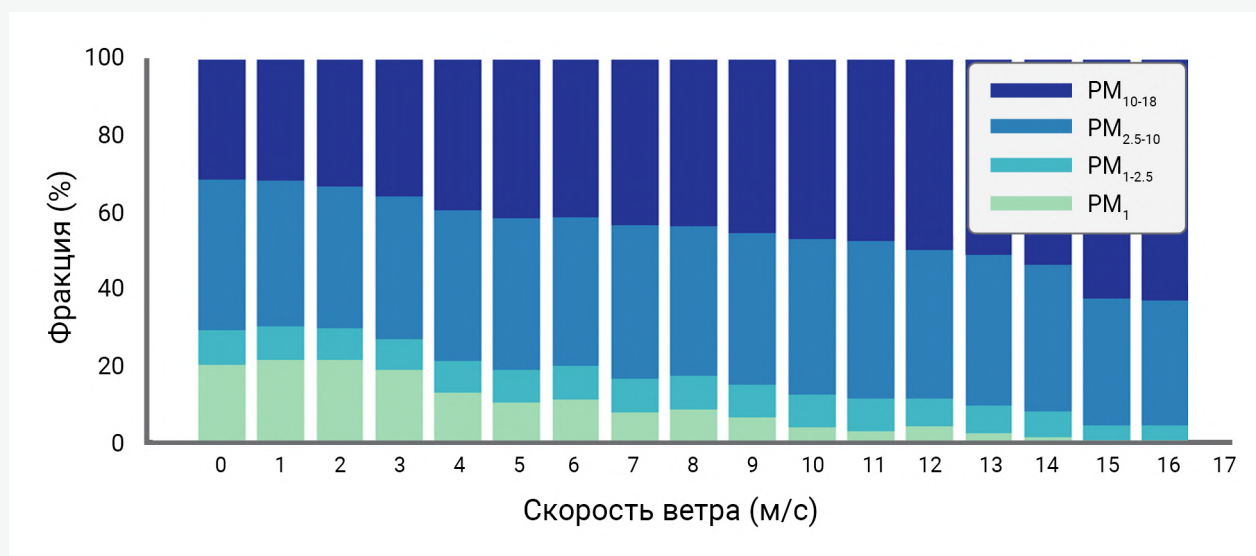


Рисунок 25. Среднечасовая массовая доля в каждом диапазоне размеров (< 1, 1-2.5, 2.5-10 и 10-18 мкм) твердых частиц при заданных скоростях ветра



Хотя этот анализ показывает, что песчаные и пыльные бури вызывают очень высокие концентрации твердых частиц, а скорость ветра является одним из факторов, объясняющих эти явления, скорость ветра превышала 5 м/с только примерно в 20 процентов случаев, а концентрации частиц чаще были опасно высокими. Например, если посмотреть на данные по PM₁₀, то они превышали 50 мкг/м³ (суточное предельное значение в ЕС для PM₁₀) в 96 процентов случаев, но в это время скорость ветра превышала 5 м/с только в 13 процентов случаев. Если мы повысим этот предел до 500 мкг/м³, концентрации частиц выше этого предела наблюдаются примерно в 7 процентов случаев, и в течение 48 процентов этого времени скорость ветра была выше 5 м/с. Таким образом, перенос пыли на большие расстояния может объяснить лишь небольшую часть высоких масс твердых частиц, наблюдаемых в Термезе. Однако пыль может подниматься локально

даже при более низких скоростях ветра, а это означает, что, хотя сами по себе явления ППБ, вероятно, объясняют лишь небольшую часть высоких концентраций твердых частиц, переносимая пыль остается гораздо более частой проблемой.

5.3 Окись углерода (CO)

Концентрации окиси углерода, измеренные на станции Узгидромета, представлены на **Рисунке 26**: почасовые концентрации показаны вверху, среднесуточные – внизу, а на **Рисунке 27** представлена группированная «усиковая диаграмма» по месяцам. Рекомендуемое ВОЗ предельное значение суточной концентрации CO составляет 4 000 мкг/м³, и в 2024 г. оно не превышалось. Более высокие суточные концентрации в летние месяцы (особенно в июне-июле) могут быть связаны с выбросами от сжигания биомассы/лесных пожаров, которые также могут переноситься из других стран. Срок жизни CO довольно длительный, поэтому он может переноситься на большие расстояния. Повышенные суточные концентрации в зимний период, скорее всего, связаны с локальными источниками сжигания или горения.

5.4 Диоксид азота (NO₂)

Концентрации диоксида азота (NO₂) в городских районах, как правило, обусловлены главным образом выбросами от транспортных средств. Промышленная деятельность и производство энергии сопровождаются высокими выбросами NO₂, образующимися в результате процессов сгорания. Однако, когда выбросы выбрасываются через высокие дымовые трубы, их влияние на концентрации в приземном слое незначительно. Станция контроля качества воздуха в Термезе расположена в парке, примерно в 30 м от ближайшей дороги с умеренно интенсивным движением (хотя она и не является главной). Таким образом, концентрации NO₂, измеренные на станции, представляют собой городские фоновые концентрации, а не самые высокие концентрации, наблюдаемые в районах с наиболее интенсивным дорожным движением.

Среднегодовая концентрация NO₂ в 2024 году, измеренная на станции в Термезе, составила 7,4 мкг/м³. Однако данные, по-видимому, имеют высокую степень неопределенности из-за проблем с качеством, и фактическая среднегодовая концентрация, вероятно, выше. На **Рисунке 28** показаны среднечасовые и среднесуточные значения NO₂. Кроме того, месячные значения NO и NO₂ демонстрируют явный рост поздней осенью. «Усиковые диаграммы» суточных колебаний не представлены, чтобы избежать ошибочной интерпретации потенциально неточных данных.

На графиках, охватывающих период с ноября 2023 г. по март 2024 г., качество данных выглядит подозрительным из-за резкого падения уровня концентрации NO₂ с ноября 2023 г. по март 2024 г., который значительно ниже данных, зарегистрированных после этого. То же самое относится к данным с июля 2024 г. и далее. Вероятно, это ошибочные данные, поскольку они не согласуются с другими данными мониторинга. Обычно такие данные можно проверить с помощью записей калибровки приборов, но для станции в Термезе документация по калибровке отсутствовала. Как правило, непроверенные подозрительные данные исключаются из анализа. Если эта часть набора данных будет удалена, охват данных был бы слишком низким для расчета среднегодового значения за 2024 г. Таким образом, рекомендуется не полагаться на этот набор данных при принятии решений, а вместо этого сосредоточиться на улучшении процессов калибровки и технического обслуживания на станции для обеспечения приемлемого качества данных в будущем. Важно убедиться, чтобы процессы обеспечения и контроля качества (калибровка и техническое обслуживание) проводились регулярно и надлежащим образом документировались.

Рисунок 26. Среднечасовые (вверху) и среднесуточные (внизу) концентрации CO (мкг/м³) в период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе. Рекомендации ВОЗ по среднесуточным концентрациям CO, а также среднечасовые и среднесуточные ПДК CO в Узбекистане (пунктирные линии)

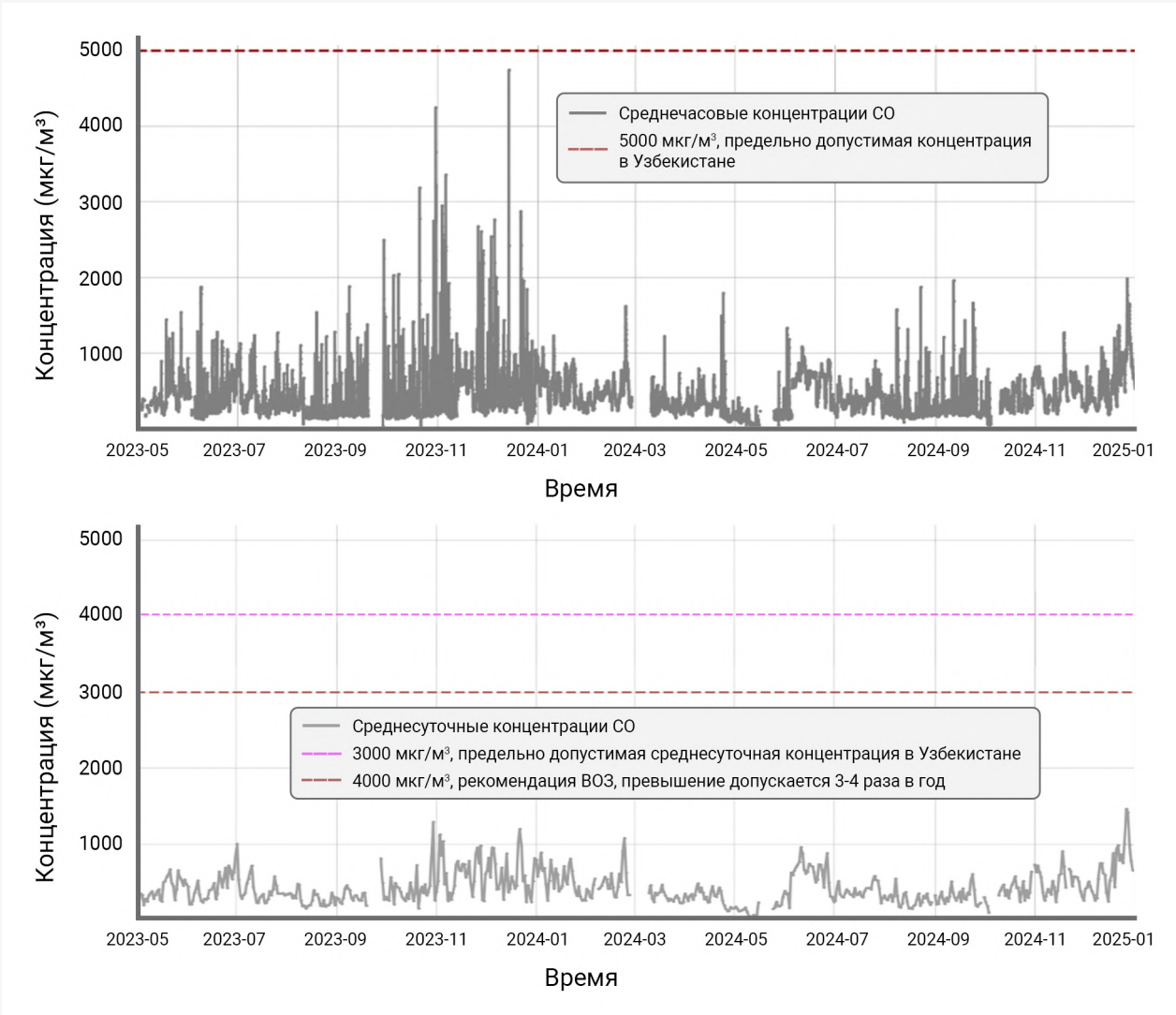


Рисунок 27. Сгруппированная по месяцам «усиковая диаграмма», основанная на среднесуточных данных, показывающая сезонные колебания концентрации CO в период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе.

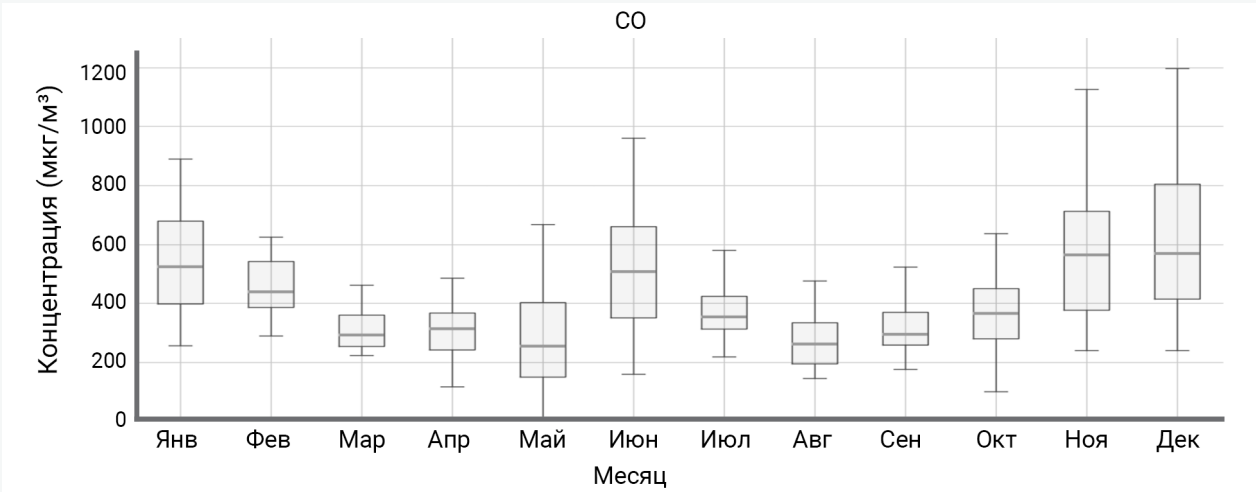
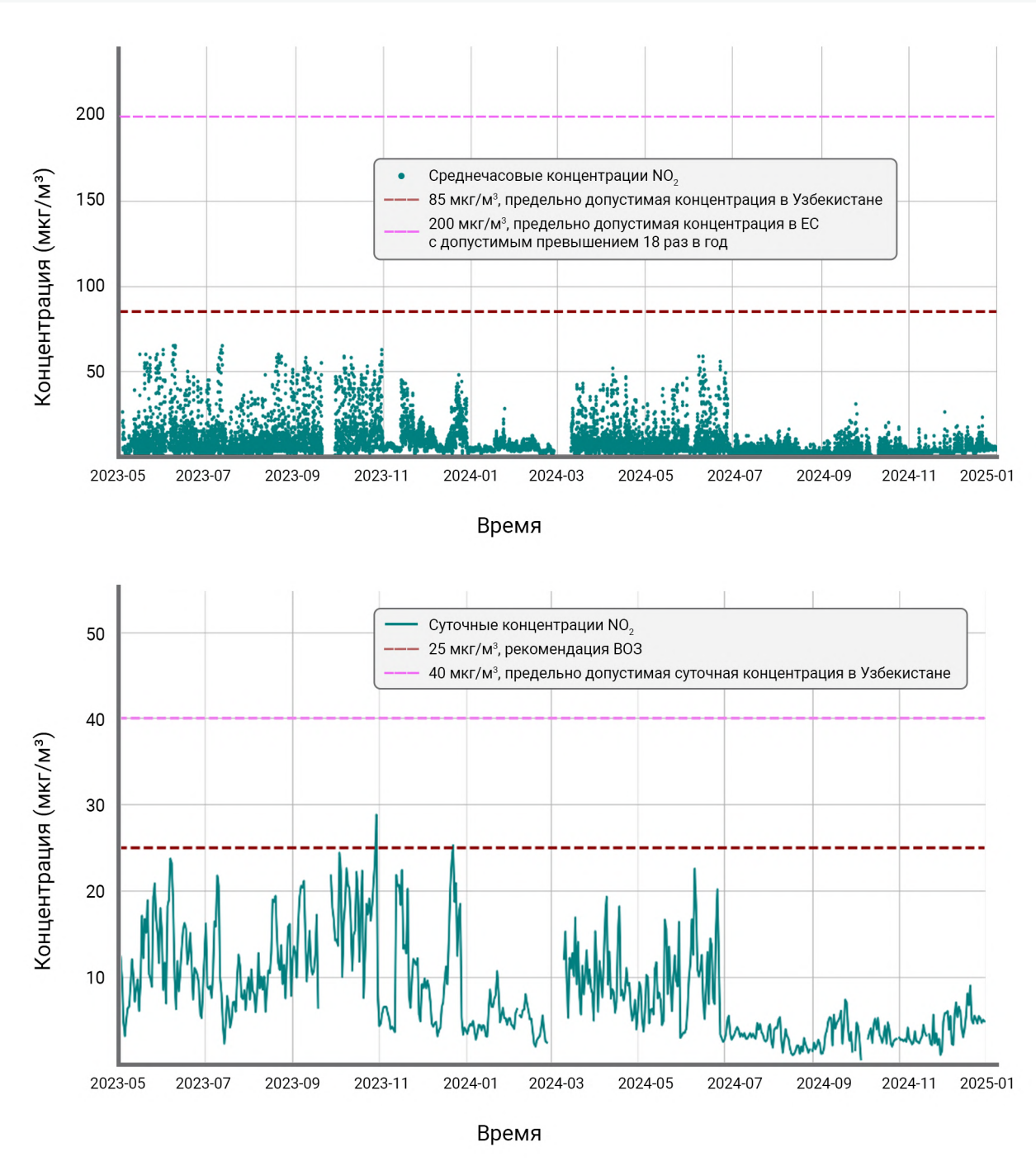


Рисунок 28. Среднечасовые (вверху) и суточные (внизу) концентрации NO₂ (мкг/м³) в период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе. Рекомендуемые ВОЗ значения среднесуточной концентрации NO₂, а также среднечасовые и среднесуточные ПДК в Узбекистане (пунктирные линии).

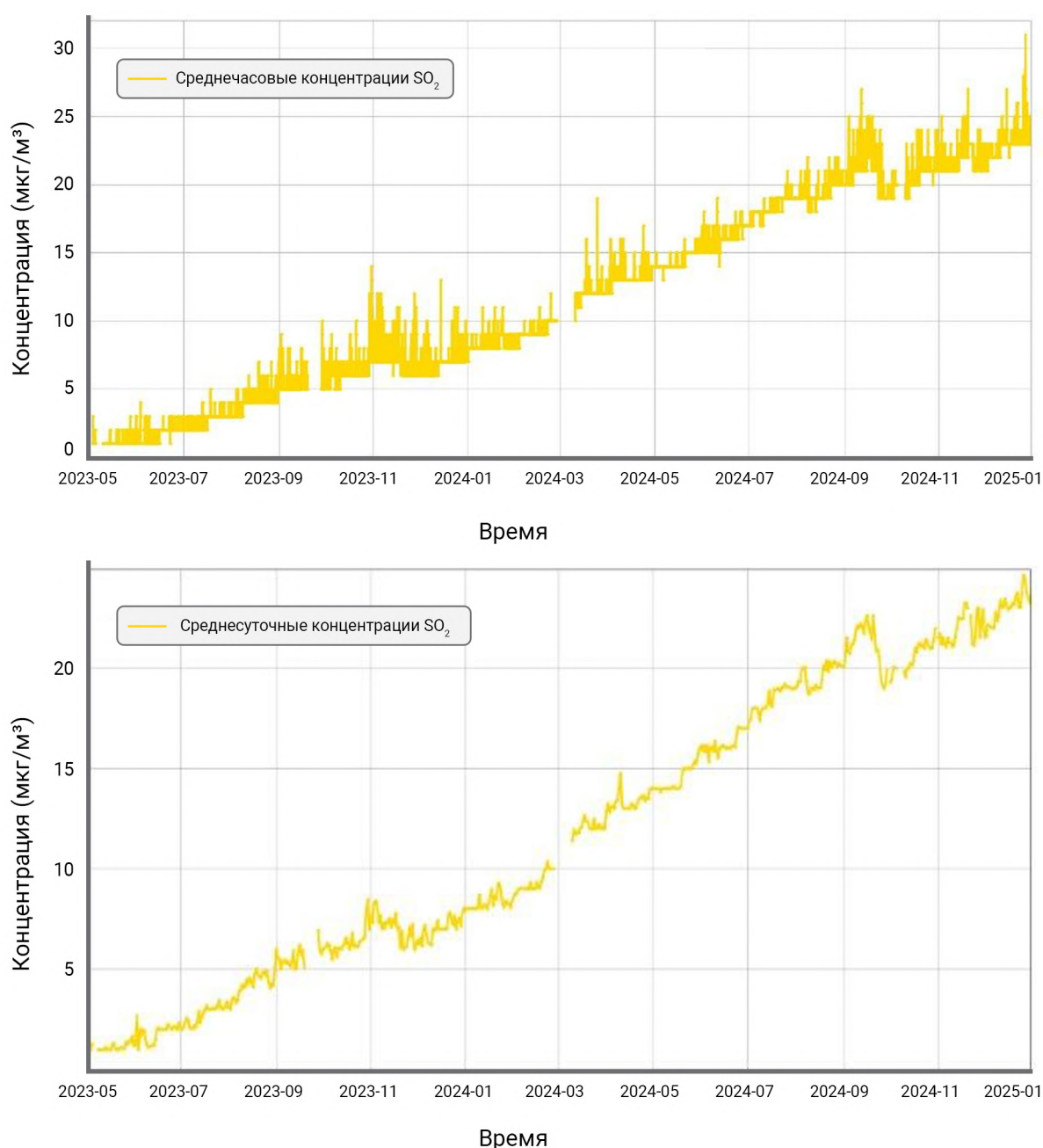


5.5 Диоксид серы (SO₂)

Данные о концентрации диоксида серы (SO₂), представленные на **Рисунке 29**, показывают, что показания анализатора значительно дрейфовали вверх с самого начала измерений в мае 2023 г. Данные о концентрации не должны увеличиваться линейно, как это, по-видимому, происходило на протяжении всего периода мониторинга до декабря 2024 г.

На **Рисунке 30**, представлен пример из Финляндии, иллюстрирующий набор данных анализатора SO₂ с аналогичным дрейфом.

Рисунок 29. Среднечасовые (вверху) и среднесуточные (внизу) концентрации SO₂ (мкг/м³) в период с мая 2023 г. по декабрь 2024 г., измеренные на пункте Узгидромета в Термезе

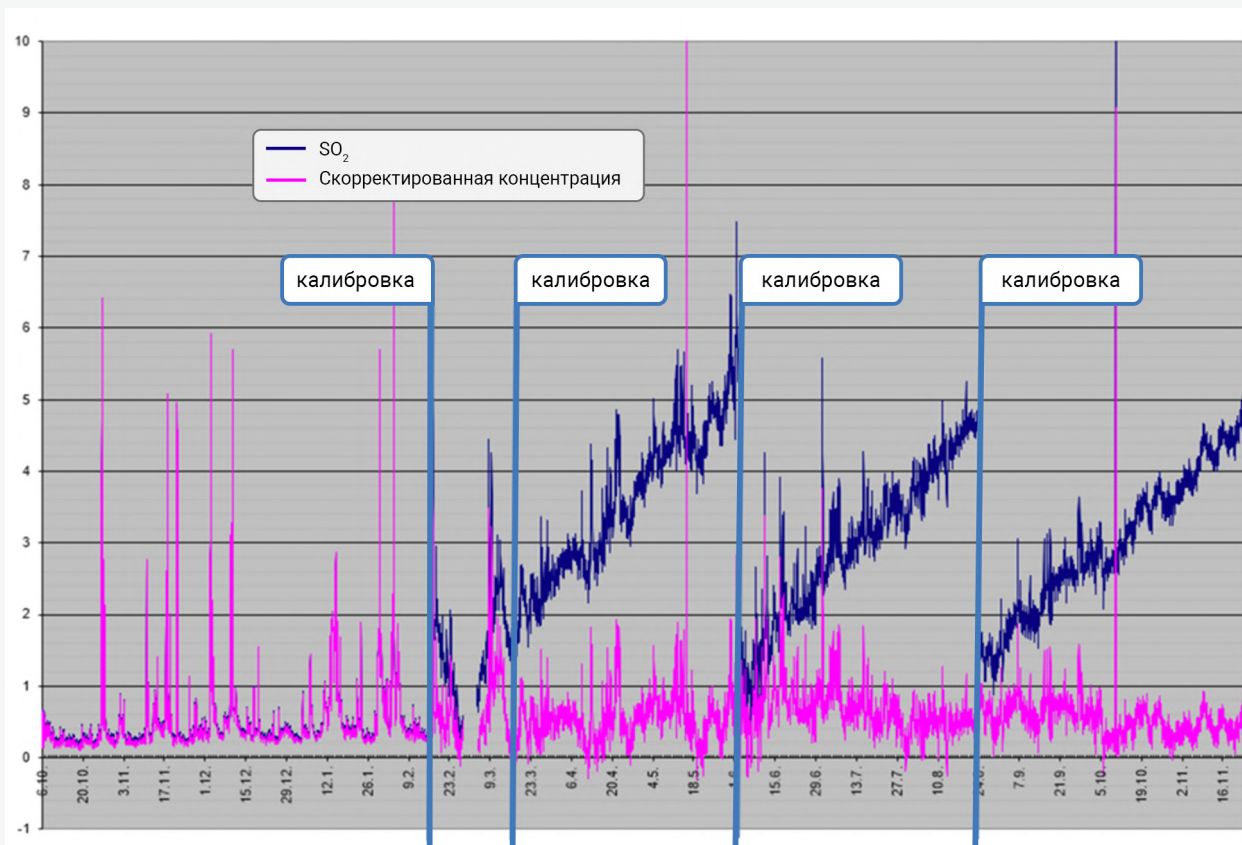


На **Рисунке 30** первая часть данных (розовая линия) выглядит корректной. Затем, после 9 февраля, анализатор был заменен, и новый анализатор (темно-синяя линия) начал значительно дрейфовать. Однако прибор калибровался в соответствии со стандартным графиком калибровки каждые три месяца, и данные сильно дрейфующего анализатора SO₂ (темно-синяя линия) были впоследствии отредактированы/скорректированы в соответствии с данными калибровки. Скорректированные данные показаны на рисунке розовым цветом. Это пример того, как может вести себя анализатор SO₂, и без регулярной калибровки точно скорректировать данные непросто.

Использование данных с дрейфом для анализа приведет к ошибочным значениям, что приведет к нереалистично высоким и неточным средним концентрациям. Аналогичным образом, данные мониторинга SO₂ в Термезе, характеризующиеся сильным дрейфом (**Рисунок 29**), не могут быть использованы для анализа, поскольку они нереалистичны и приведут к ошибочным выводам. Однако, если имеются задокументированные данные о многоточечных калибровках от станции, данные могут быть соответствующим образом скорректированы.

Регулярная калибровка прибора для измерения SO₂ на станции в Термезе крайне важна, поскольку он, по-видимому, склонен к дрейфу. Прибор требует постоянного контроля и незамедлительной многоточечной калибровки при обнаружении дрейфа.

Рисунок 30. Пример набора данных с дрейфующего анализатора SO₂ из Финляндии (темно-синий цвет), который был проверен путем редактирования данных на основе регулярных многоточечных калибровок. Скорректированные данные показаны розовым цветом.



5.6 Озон (O_3)

Наблюдения за озоном (O_3) были доступны за период с мая 2023 г. по май 2024 г. На **Рисунке 31** представлены среднечасовые и среднесуточные концентрации, а на **Рисунке 32** – сгруппированная по месяцам «усиковая диаграмма» суточных данных. Сгруппированная по месяцам диаграмма показывает, что концентрации увеличиваются к лету, достигают максимума в летний период, а затем снижаются к осени. Средняя концентрация за этот период составила 22 мкг/м^3 . Из-за низкого годового охвата данных (семь месяцев данных за 2023 г. и пять месяцев за 2024 г.) данные не сопоставимы с целевыми значениями озона, определенными ЕС. Национальное предельно допустимое значение концентрации озона составляет $0,03 \text{ мг/м}^3$ (среднегодовое), которое, по-видимому, превышает в весенние и летние месяцы.

Нормативные и целевые значения ВОЗ и ЕС превышают национальные предельно допустимые концентрации озона в Узбекистане. Таким образом, концентрация озона, вероятно, будет соответствовать целевым значениям ЕС и нормативным значениям ВОЗ. Нормативные значения ВОЗ составляют 60 мкг/м^3 (среднее значение максимальной суточной восьмичасовой средней концентрации за шестимесячный период) и 100 мкг/м^3 (средняя восьмичасовая концентрация).

5.7 Аммиак (NH_3)

Наблюдения за аммиаком были доступны за период с мая 2023 г. по май 2024 г. Концентрация за этот период составила 18 мкг/м^3 . Концентрации аммиака были на очень высоком уровне, что указывает на наличие мощных источников, таких как сельскохозяйственная деятельность, интенсивное использование удобрений или животноводство. Наблюдаемые здесь значения аммиака близки к значениям, полученным Lovarelli et al. (2021) в загрязненных сельских районах Ломбардии (Италия) и находятся в том же диапазоне, что и самые высокие измеренные уровни аммиака в мире (Lan et al., 2024). Кроме того, критические уровни аммиака, предлагаемые для защиты растительности, варьируются от среднегодового значения 1 мкг/м^3 для чувствительных растений до 3 мкг/м^3 для более толерантных растений (Cape et al., 2009), что означает, что концентрации, измеренные в Термезе, постоянно превышают эти пороговые значения.

На **Рисунке 33** представлены среднечасовые и среднесуточные концентрации NH_3 (мкг/м^3) за период с мая 2023 г. по май 2024 г., а также сгруппированная по месяцам «усиковая диаграмма», показывающая сезонные закономерности в среднесуточных концентрациях NH_3 . Сгруппированные по месяцам данные показывают, что весной (особенно в марте) и осенью (октябрь-ноябрь) наблюдаются высокие медианные значения и широкий диапазон концентраций аммиака.

Рисунок 31. Среднечасовые (вверху) и среднесуточные (внизу) концентрации O₃ (мкг/м³) в мае 2023 г. – мае 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе

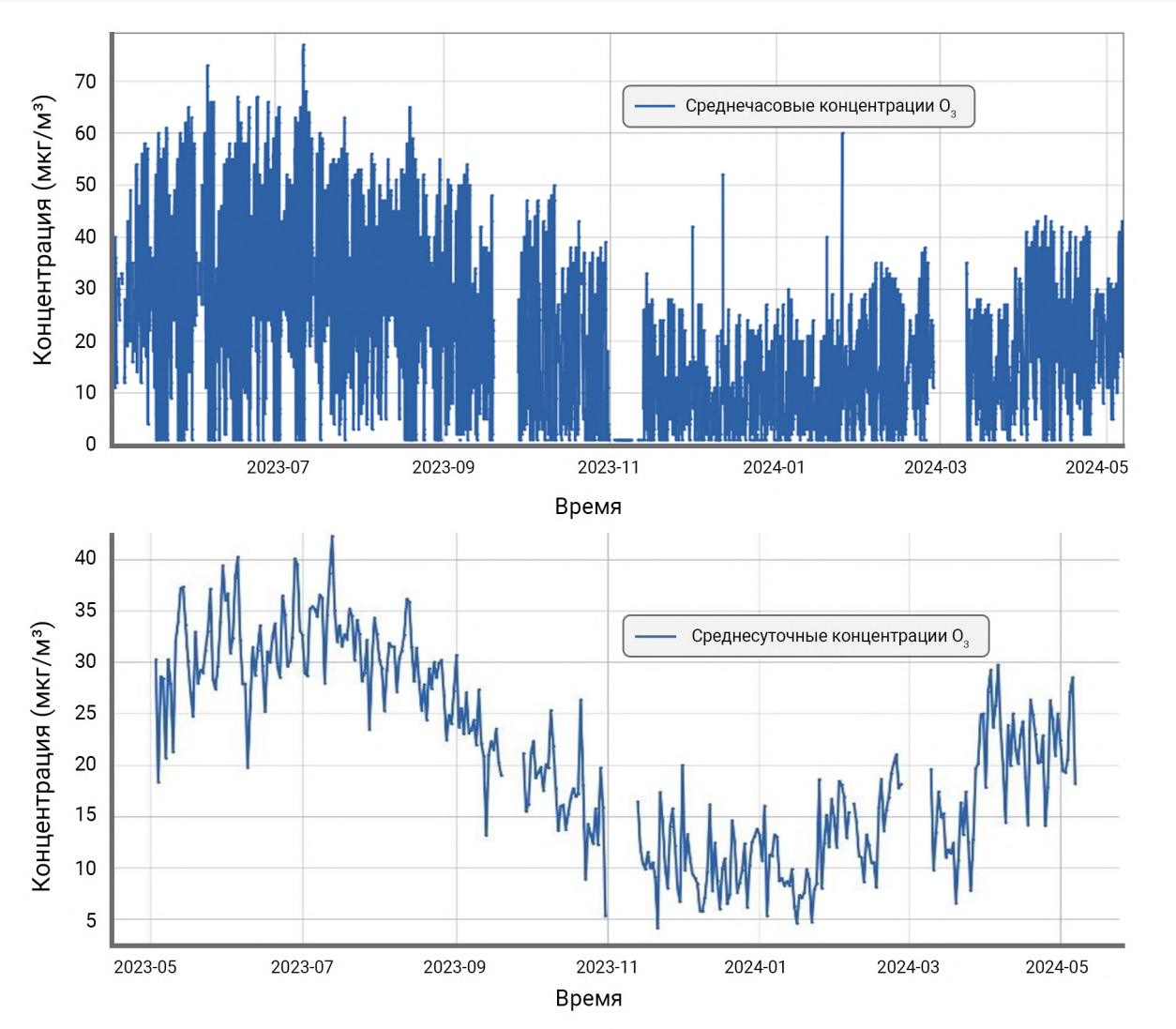


Рисунок 32. Сгруппированная по месяцам «усиковая диаграмма», показывающая сезонные закономерности в среднесуточных концентрациях O₃

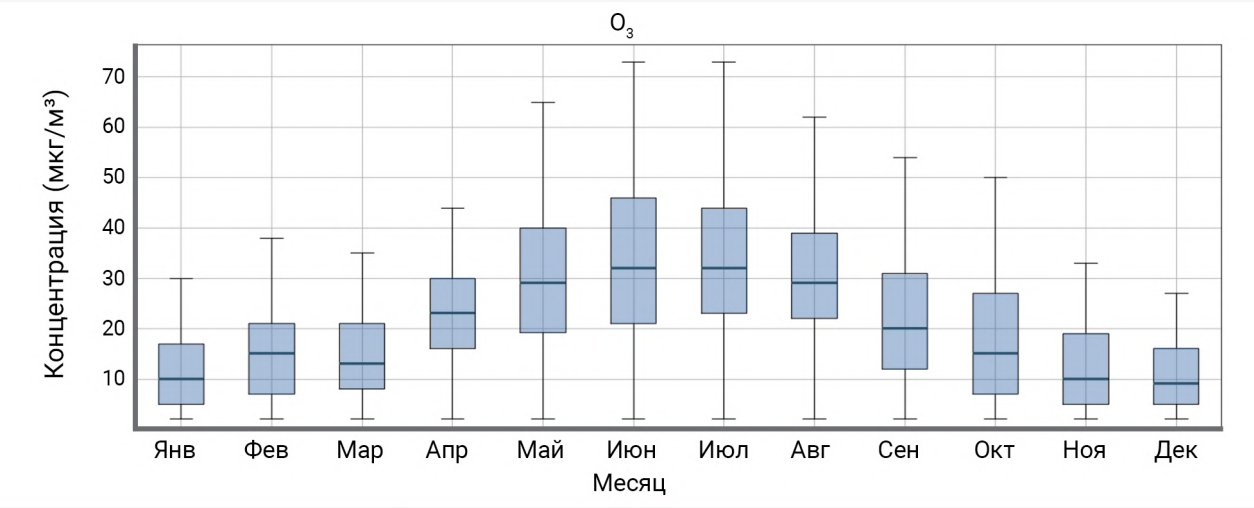
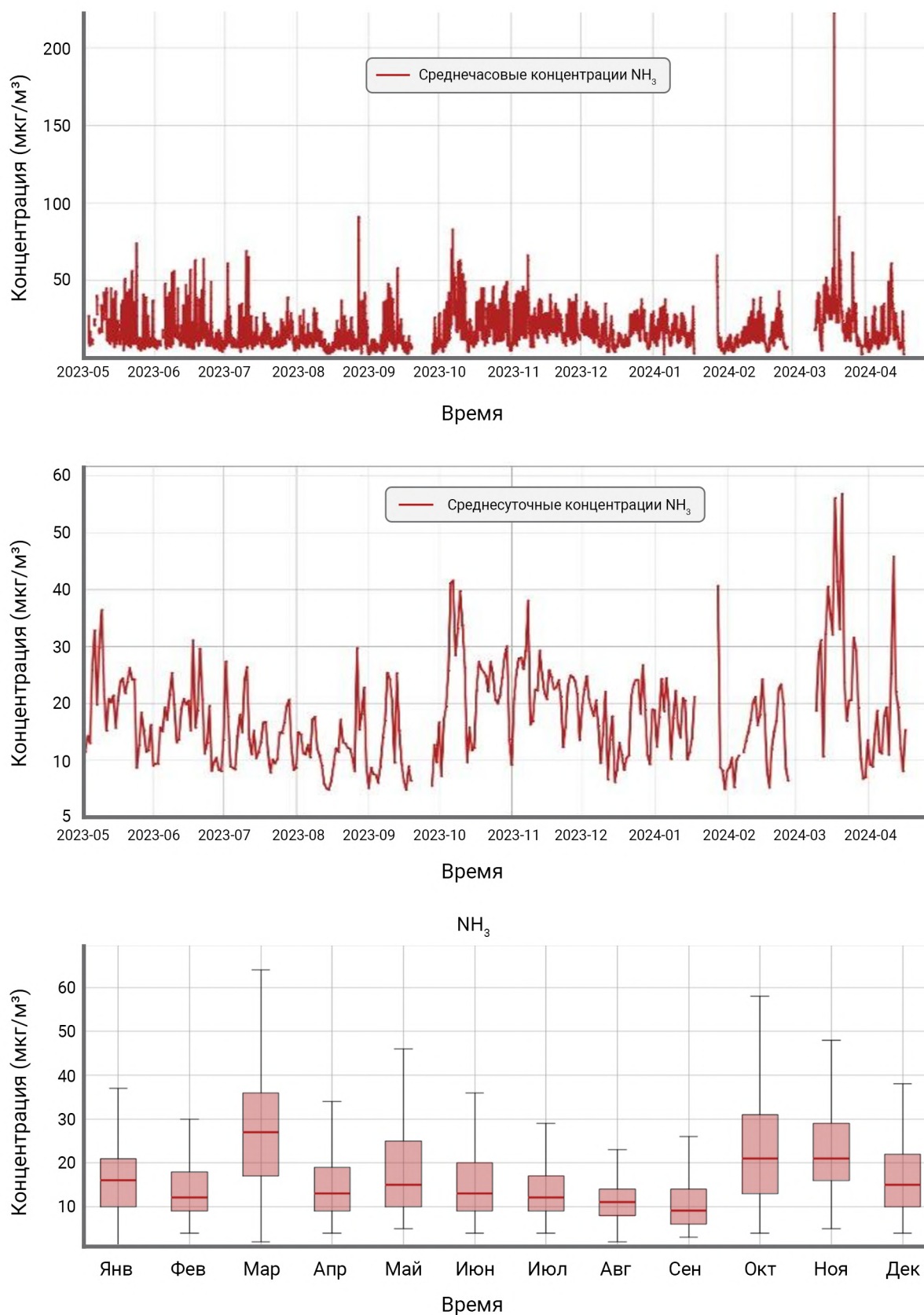


Рисунок 33. Среднечасовые (вверху) и среднесуточные (в середине) концентрации NH_3 (мкг/м³) в период с мая 2023 г. по май 2024 г., измеренные на станции Узгидромета в Термезе. Сгруппированная по месяцам «усиковая диаграмма» (внизу) показывает сезонные изменения среднесуточных концентраций NH_3 .



5.8 Суточные циклы следовых газов

На **Рисунке 34** показаны суточные циклы всех следовых газов (CO , O_3 , NH_3 , NO_2 , NO и NO_x), представленных в данном анализе. Суточные циклы рассчитывались отдельно для каждого сезона. Для оксида углерода самые высокие значения наблюдаются в зимние ночи. Аналогичная суточная тенденция наблюдается в зимний период для PM_{10} (**Рисунок 21**). Это, вероятно, объясняется локальными выбросами от отопления, которые увеличиваются при низких температурах и задерживаются в меньшем объеме ночью и зимой, когда слой смешения относительно неглубокий.

Озон достигает максимальной концентрации летом, и в течение всех сезонов имеет четкий суточный цикл с дневным пиком. Это типично для озона и вполне ожидаемо, поскольку он образуется в результате фотохимических реакций.

В случае диоксида азота в большинство сезонов наблюдается суточный цикл с наибольшим пиком концентрации вечером и вторичным пиком утром. В городских районах концентрации NO_2 в основном обусловлены выбросами от транспортных средств, поскольку они выбрасываются на высоте дыхания, и в данных измерений можно увидеть часы пиковой загруженности дорог (утром и вечером). Выбросы NO_2 от транспортных средств содержат в основном оксид азота (NO), который преобразуется в NO_2 в результате химических реакций с участием озона. NO_2 образуется в реакциях между O_3 и NO и разрушается под воздействием света, а это означает, что когда его уровень начинает повышаться, озон уменьшается, но около полудня, когда солнечный свет более интенсивен, разрушение NO_2 до NO и озона происходит быстрее, чем образование NO_2 из NO и O_3 . Концентрации оксида азота (NO) обычно наиболее высоки вблизи источников выбросов (процессы горения). Поскольку озон как потребляется, так и образуется в процессе химического превращения NO в NO_2 , тенденции концентраций NO_2 и O_3 зеркально отражают друг друга. Когда NO_2 достигает пиковых значений, концентрации O_3 низкие, и наоборот. Проблемы с качеством данных мониторинга NO_2 , вероятно, также влияют на суточные циклы. Поэтому данные о суточных циклах NO_2 следует использовать с осторожностью.

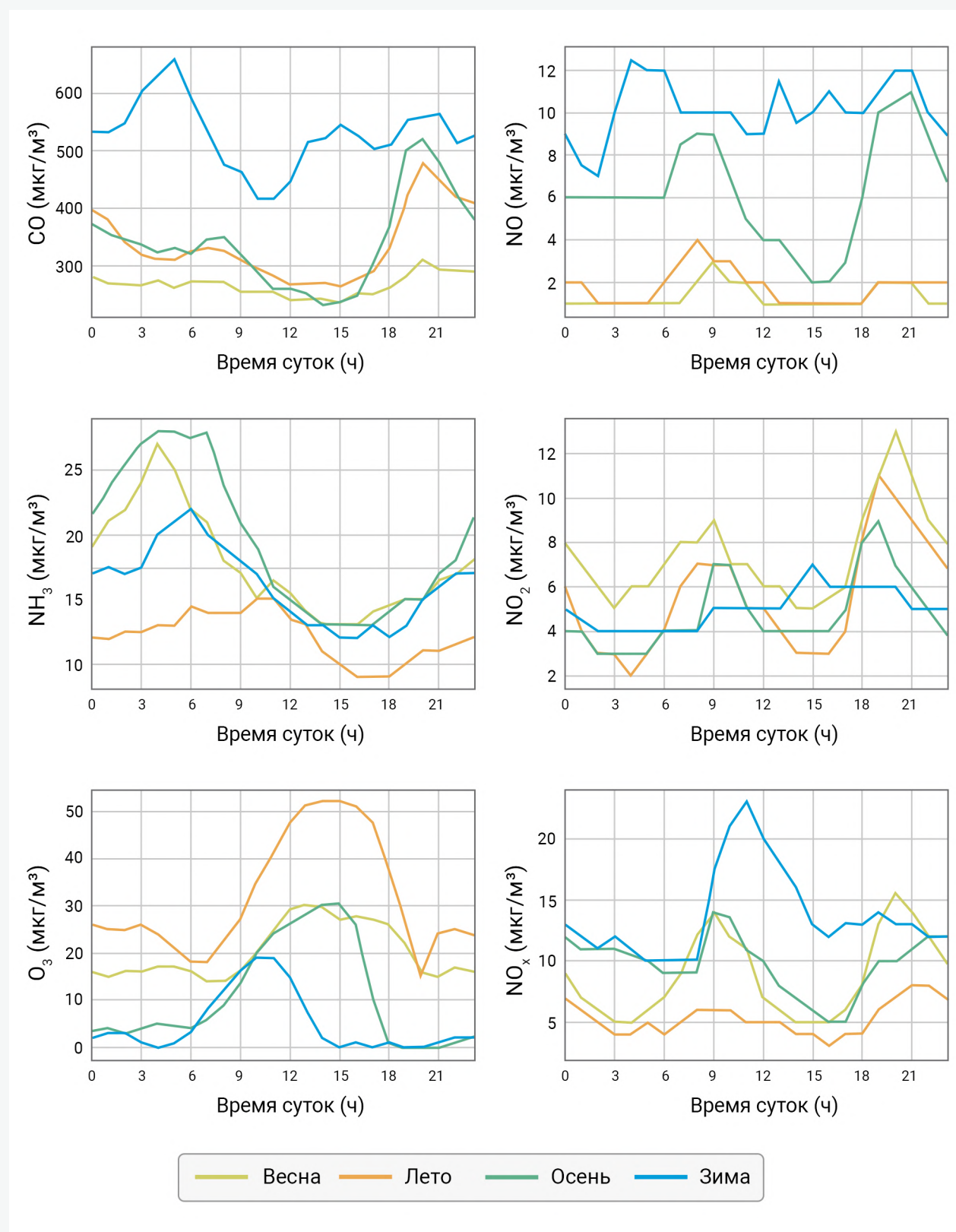
Суточные циклы аммиака (NH_3) схожи во все сезоны: самые высокие концентрации наблюдаются ночью, а самые низкие — ближе к вечеру. Летом концентрации ниже, а суточный цикл слабее, чем в другие сезоны. Опять же, эти закономерности, вероятно, связаны с динамикой слоя перемешивания, поскольку выбросы с поверхности земли задерживаются в ночное время, когда высота слоя перемешивания низкая.

5.9 «Розы загрязнения» для следовых газов

«Розы загрязнения» (средние концентрации загрязняющих веществ по секторам направления ветра) могут предоставить информацию о местоположении источников загрязнения относительно пункта мониторинга. На **Рисунке 35** показаны «розы загрязнения» газообразных загрязняющих веществ CO , O_3 , NH_3 , NO_2 , NO и NO_x на автоматической станции мониторинга Узгидромета в Термезе.

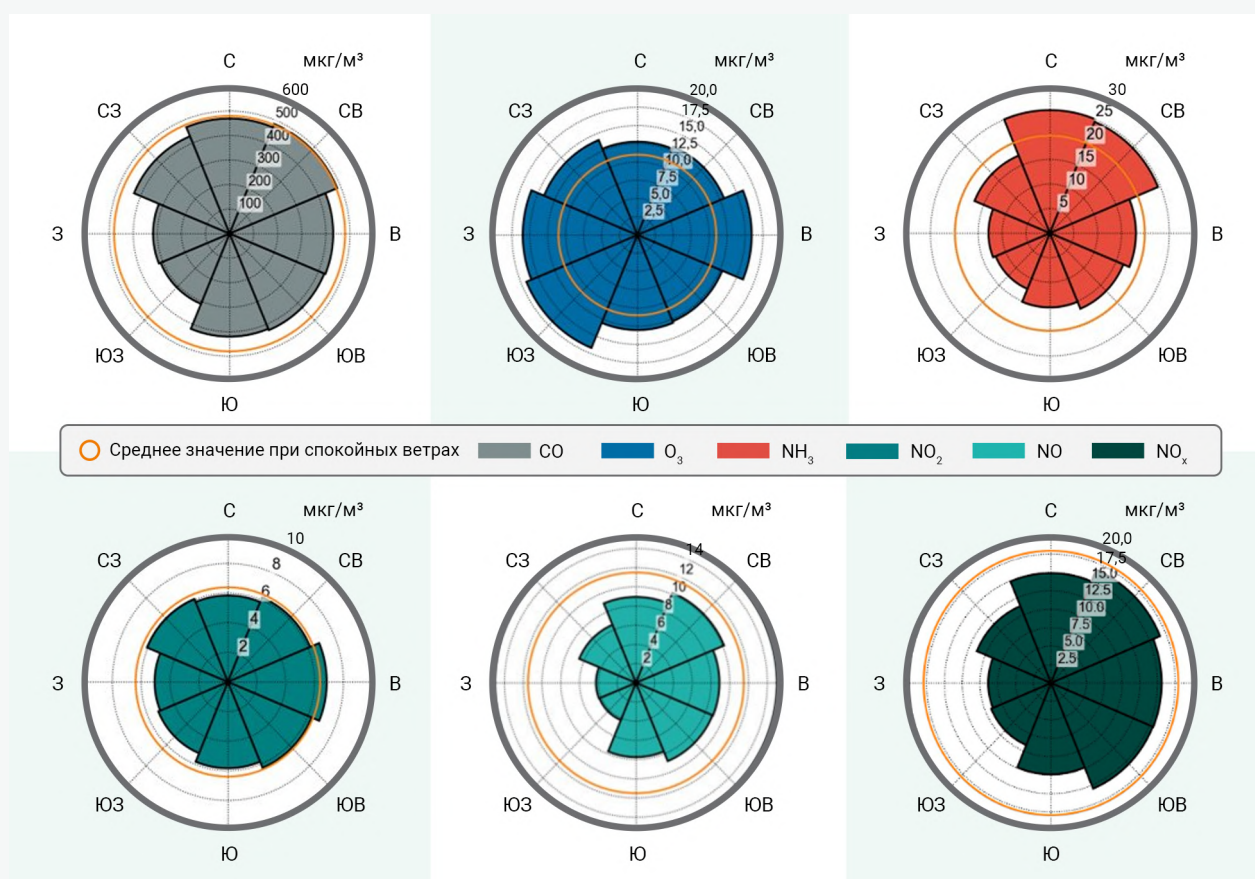
Основными источниками CO , NO_x , NO и NO_2 , вероятно, являются локальные источники, поскольку концентрации, наблюдаемые на безветренной погоде, в среднем выше, чем концентрации, наблюдаемые при любом конкретном направлении ветра. Аналогично PM_{10} , концентрации CO , NO и NO_2 также немного выше, когда ветер дует с северо-запада, по сравнению с юго-западными ветрами. Это указывает на то, что PM_{10} , CO , NO и NO_2 , вероятно, имеют схожие источники происхождения.

Рисунок 34. Суточные колебания концентраций всех газов, рассчитанные для разных сезонов. Каждая линия представляет медианную концентрацию загрязняющего вещества в определенный час, при этом разные сезоны показаны разными цветами.



Концентрация аммиака также увеличивается при северном или северо-восточном ветре. Наиболее вероятным объяснением этого является сельскохозяйственная деятельность, которая, безусловно, является крупнейшим источником выбросов аммиака в мире. Известно также, что аммиак приводит к образованию твердых частиц, вторичных неорганических аэрозолей, а также других химических веществ, таких как серная кислота (образующаяся из диоксида серы) и азотная кислота (образующаяся из оксидов азота); таким образом, он может быть одним из источников PM_{10} при этом направлении ветра.

Рисунок 35. Графики загрязнения CO , O_3 , NH_3 , NO_2 , NO и NO_x , измеренные на станции Узгидромета в Термезе



5.10 Корреляции между концентрациями загрязняющих веществ и метеорологическими переменными

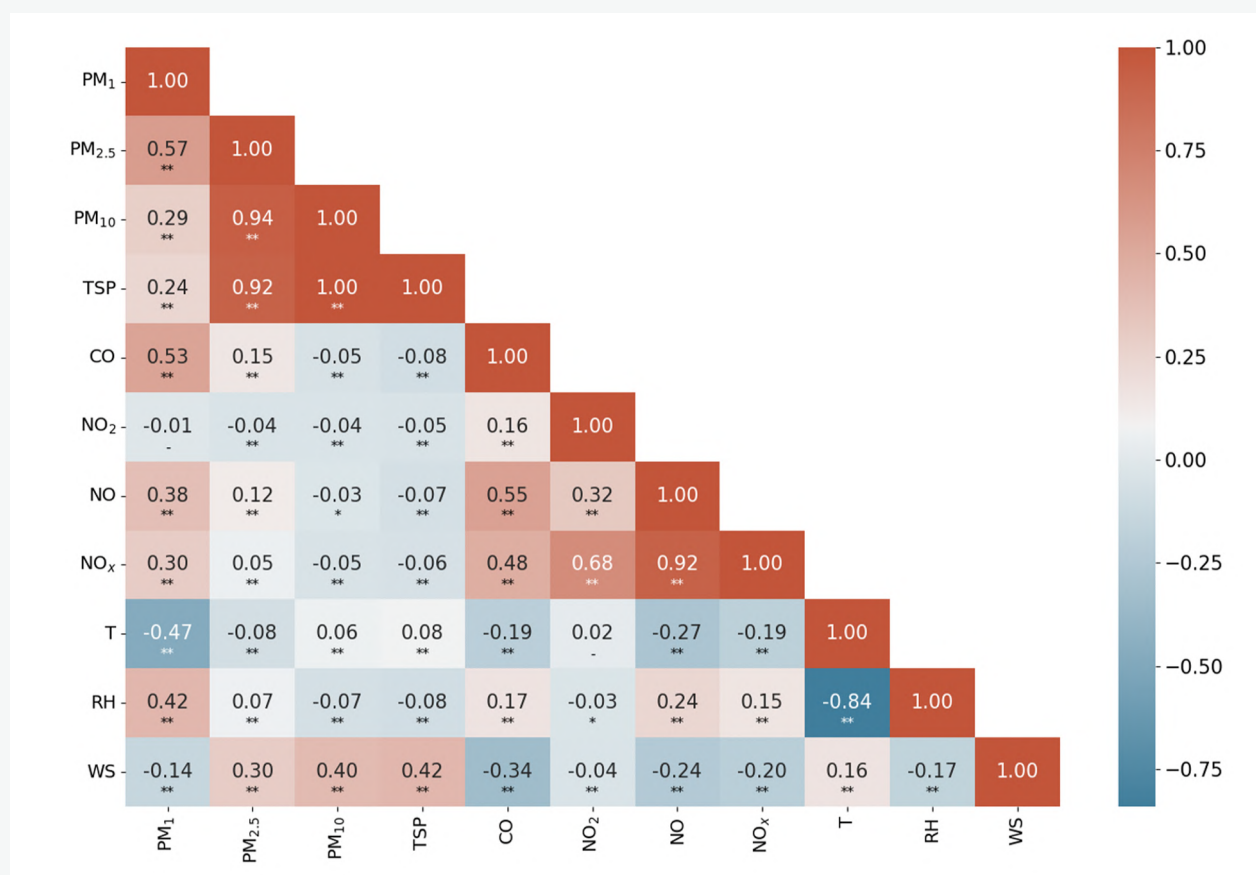
Коэффициент корреляции Пирсона (r) измеряет силу и направление линейной зависимости между двумя переменными. Матрица кросс-корреляции показывает коэффициенты корреляции для всех переменных в наборе данных. На **Рисунке 36** показана матрица кросс-корреляции для переменных загрязняющих веществ и метеорологических переменных. Корреляции рассчитаны на основе исходных данных с часовым разрешением. Интенсивность цвета указывает на силу и направление коэффициента корреляции Пирсона, причем красные оттенки обозначают положительную корреляцию, а синие — отрицательную. В данном отчете коэффициенты корреляции с абсолютным значением 0,7 или выше считаются

показателями сильной корреляции. Абсолютные значения от 0,5 до 0,7 интерпретируются как умеренная или хорошая корреляция, а значения ниже 0,5 указывают на более слабую или индикативную взаимосвязь. Статистическая значимость коэффициента корреляции Пирсона была проверена путем расчета р-значений. Низкое р-значение (менее 0,05) указывает на статистическую значимость корреляции.

Например, PM_{10} и $PM_{2.5}$ демонстрируют сильную положительную корреляцию ($r = 0,94$), что указывает на общие источники или механизмы образования. И наоборот, температура сильно отрицательно коррелирует с относительной влажностью ($r = -0,84$), что представляет собой типичную обратную зависимость в метеорологии. Концентрации твердых частиц демонстрируют слабую или умеренную корреляцию с температурой и скоростью ветра, что отражает сложное взаимодействие между рассеиванием, трансформацией и локальными выбросами.

Была обнаружена сильная положительная корреляция ($r = 0,92-0,94$) между PM_{10} , $PM_{2.5}$ и TSP. PM_{10} демонстрирует умеренную до хорошей корреляцию с CO ($r = 0,53$) и $PM_{2.5}$ ($r = 0,57$), индикативную корреляцию с NO ($r = 0,38$) и антикорреляцию с температурой ($r = -0,47$)

Рисунок 36. Матрица корреляции суточных значений концентрации и метеорологических переменных в январе – декабре 2024 г.*



* Двойные звездочки (**) означают, что корреляция имеет р-значение $\leq 0,01$, одна звездочка (*) означает р-значения $\leq 0,05$. Одиночная линия (-) означает р-значения $> 0,05$, что означает, что корреляция не является статистически значимой. WS = скорость ветра, T = температура и RH = относительная влажность. SO_2 , NH_3 и O_3 не включены в анализ из-за отсутствия наблюдений или низкого качества данных за рассматриваемый период.

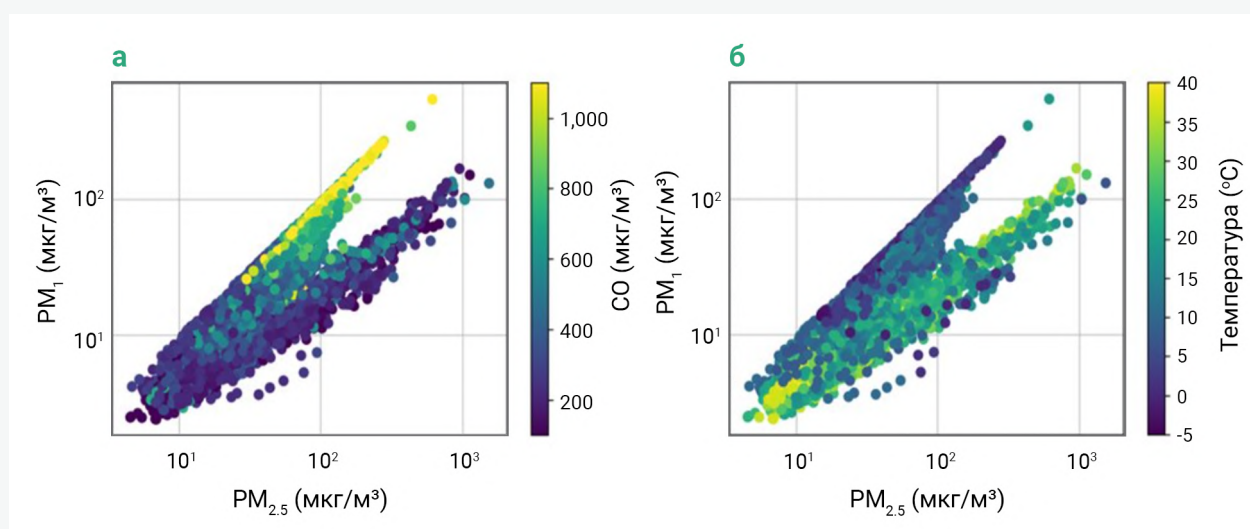
и скоростью ветра ($r = -0,14$). Это указывает на то, что концентрации PM_{10} выше при наличии локальных источников, связанных с горением (выбросы CO, NO, PM_{10}), и при низкой температуре.

Другие переменные твердых частиц не имеют сильной корреляции с CO, что указывает на то, что источники, скорее всего, связаны с крупными частицами — в данном случае с пылью. Если бы набор данных был ограничен только случаями, когда TSP был ниже 50 мкг/м^3 (здесь не показано), $PM_{2.5}$ демонстрировал бы корреляции, аналогичные PM_{10} , что указывает на то, что за пределами явлений ППБ локальные источники, связанные со сжиганием, были значительными источниками не только PM_{10} , но и $PM_{2.5}$. Кроме того, PM_{10} имеет показательную или умеренную корреляцию ($r = 0,40$) со скоростью ветра, что означает, что ее концентрация увеличивается при сильном ветре. Это говорит о том, что наибольшая концентрация пыли наблюдается во время ППБ или при вторичном поднятии пыли ветром.

На **Рисунке 37** показана зависимость между концентрациями $PM_{2.5}$ и PM_{10} , окрашенными в цвет окиси углерода (левая панель), и температурой (правая панель). На этом рисунке видно, что при низких температурах и высоких концентрациях CO присутствует больше мелких частиц (PM_{10}). Это, вероятно, связано с выбросами от отопления в зимний период и согласуется с предыдущими результатами, представленными в настоящем отчете. При более высоких температурах более крупные частицы становятся более важными. Это может быть связано с пыльными бурями, но теплые условия также чаще бывают сухими, а сухие условия способствуют вторичному подъему пыли с поверхности земли.

Диаграммы иллюстрируют сильную положительную корреляцию между PM_{10} и $PM_{2.5}$, как и ожидалось, ввиду их общих источников и перекрывающихся фракций размеров. На графике а) повышенные концентрации CO (отмечены более теплыми цветами) в целом связаны с более высокими уровнями PM_{10} , что указывает на влияние общего источника, такого как сжигание. Также следует отметить, что при высоких уровнях CO концентрации PM_{10} и $PM_{2.5}$ схожи, что указывает на то, что большая часть $PM_{2.5}$ состоит из частиц размером менее 1 мкм .

Рисунок 37. Диаграмма рассеяния концентраций PM_{10} и $PM_{2.5}$, измеренных на станции Узгидромета в Термезе, окрашенная в зависимости от а) концентрации CO б) температуры



5.11 Индекс качества воздуха (ИКВ)

Сегодня подавляющая часть мониторинга качества воздуха осуществляется с помощью автоматических анализаторов, предоставляющих данные в режиме реального времени. Это позволяет практически мгновенно сообщать об измеренных концентрациях населению и другим пользователям. Открытый доступ к информации в режиме реального времени является одной из ключевых задач современного мониторинга загрязнения воздуха и служит основой для соблюдения экологических норм в соответствии с Конвенцией о доступе к информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды (Орхусская конвенция). Такая информация должна быть представлена в удобном для понимания формате, например, с использованием индекса качества воздуха (ИКВ).

ИКВ — это инструмент коммуникации, который преобразует сложные измерения загрязнения воздуха в простой и понятный формат. Преобразуя концентрации основных загрязняющих веществ (таких как $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 , CO и O_3) в единый числовой и цветовой код, ИКВ предоставляет общественности и лицам, принимающим решения, четкую картину о текущем состоянии качества воздуха и связанных с ним рисках для здоровья. Однако индекс качества воздуха не является инструментом проверки соблюдения стандартов качества воздуха и не может использоваться для этой цели (ЕЕА, 2025).

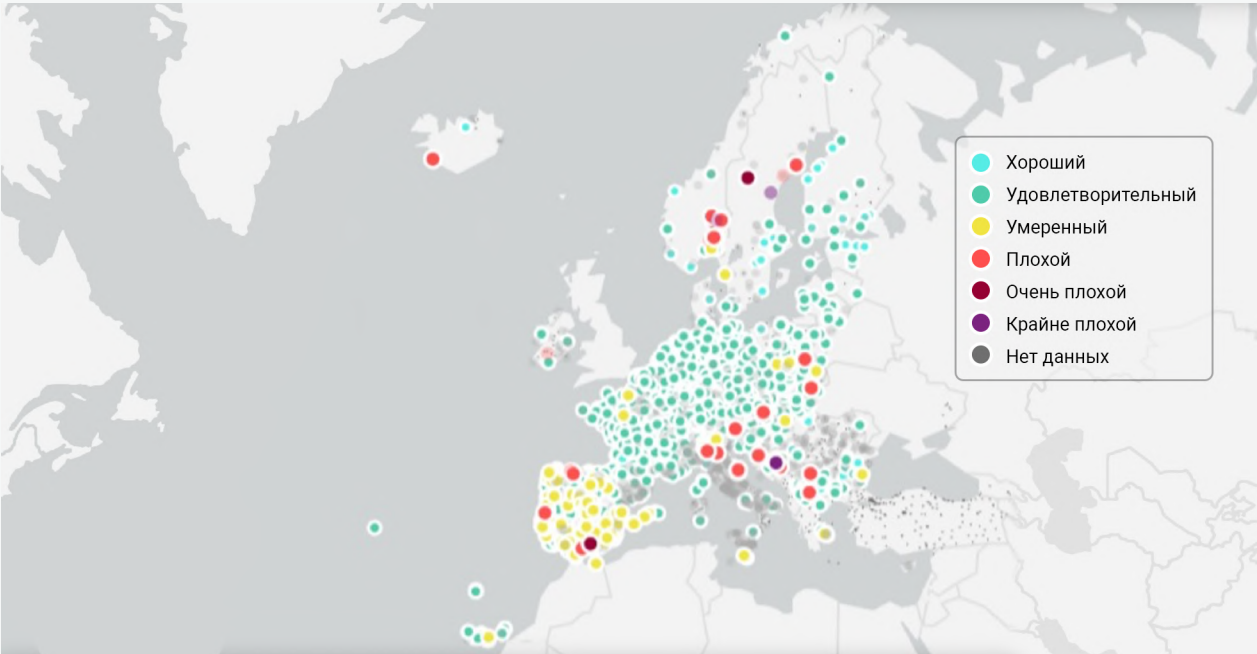
ИКВ предлагает практичный способ передачи сложных научных данных в форме, понятной каждому. Преобразуя технические измерения в простые категории, характеризующие чистоту или загрязненность воздуха, ИКВ делает информацию о качестве воздуха доступной для неспециалистов. Такая ясность способствует повышению осведомленности общественности, связывая уровни загрязнения с конкретными сообщениями о здоровье, напоминая людям, что качество воздуха — это не абстрактный вопрос, а вопрос, напрямую влияющий на повседневную жизнь и благополучие.

Для уязвимых групп населения, таких как дети, пожилые люди и лица с заболеваниями дыхательных путей, ИКВ предоставляет ценные рекомендации по корректировке активности на открытом воздухе и снижению воздействия в периоды высокого уровня загрязнения. В то же время он служит инструментом поддержки принятия решений для государственных органов, школ и медицинских учреждений, помогая им планировать меры реагирования, такие как издание рекомендаций, изменение транспортных потоков или ограничение мероприятий на открытом воздухе. Помимо практического применения, регулярная публикация данных ИКВ повышает прозрачность и подотчетность в сфере экологического управления, способствуя росту доверия общественности к системам мониторинга воздуха. В нескольких странах и регионах существуют общедоступные онлайн-платформы, на которых в режиме реального времени отображаются данные ИКВ, например, Европейский индекс качества воздуха (ЕЕА), портал качества воздуха Финляндии (FMI, 2025b) и американская система AirNow (US EPA), каждая из которых применяет несколько отличающиеся методологии индекса и пороговые значения.

Методология индекса качества воздуха ЕС

Индекс качества воздуха ЕС (ИКВ ЕС) был обновлен в августе 2025 г. Методика расчета нового индекса описана ниже. ИКВ ЕС основан на измеренных концентрациях до пяти основных загрязняющих веществ: твердых частиц (PM_{10}), мелких твердых частиц ($PM_{2.5}$), диоксида азота (NO_2), озона (O_3) и диоксида серы (SO_2). Он отражает потенциальное

Рисунок 38. Визуализация индекса качества воздуха ЕС



Источник: ЕЕА, 2025

воздействие качества воздуха на здоровье, определяемое по загрязняющему веществу с наибольшей концентрацией по отношению к его пороговым значениям, установленным с учетом воздействия на здоровье.

Индекс рассчитывается ежечасно на основе данных о качестве воздуха, официально предоставляемых странами-членами Европейского агентства по окружающей среде в режиме реального времени. На карте круги и точки обозначают местоположение станций мониторинга, а цвета отражают категорию качества воздуха в данный час на каждой станции в соответствии с цветовой кодировкой, представленной в **Таблице 5**.

Таблица 5. Уровни индекса качества воздуха ЕС

Загрязняющее вещество	Уровень индекса (на основе концентрации загрязняющих веществ в мкг/м³)					
	Хороший	Удовлетворительный	Умеренный	Плохой	Очень плохой	Крайне плохой
PM _{2.5}	0-5	6-15	16-50	51-90	91-140	>140
PM ₁₀	0-15	16-45	46-120	121-195	196-270	>270
O ₃	0-60	61-100	101-120	121-160	161-180	>180
NO ₂	0-10	11-25	26-60	61-100	101-150	>150
SO ₂	0-20	21-40	41-125	126-190	191-275	>275

Источник: ЕЕА, 2025

В законодательстве Европейского Союза определены стандарты качества воздуха как для краткосрочных (почасовых или суточных), так и для долгосрочных (годовых) концентраций. Индекс качества воздуха ЕС отражает краткосрочную почасовую ситуацию с качеством воздуха и не отражает долгосрочные условия, которые могут существенно отличаться. Конечное значение индекса для каждой станции соответствует наихудшему уровню среди пяти загрязняющих веществ, как определено в таблице ниже.

Для определения уровня ИКВ используются почасовые концентрации всех пяти загрязняющих веществ ($PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , O_3 и SO_2). Диапазоны ИКВ, определяющие пороговые значения категорий, связаны с воздействием на здоровье, в частности, с риском смертности при кратковременном воздействии.

Первые две категории («хороший» и «удовлетворительный») основаны на обновленных Рекомендациях ВОЗ по качеству воздуха (WHO, 2021) как для долгосрочного, так и для краткосрочного воздействия. Для SO_2 , для которого не установлено долгосрочное нормативное значение, вместо него применялось годовое предельное значение, указанное в пересмотренной Директиве ЕС о качестве окружающего воздуха (EU 2024/2881).

Наиболее высокие уровни загрязнения («умеренный», «плохой», «очень плохой» и «крайне плохой») были впервые установлены для $PM_{2.5}$ с использованием в качестве ориентира промежуточных целевых показателей ВОЗ, а затем и для остальных загрязняющих веществ путем оценки рисков для здоровья, эквивалентных рискам для $PM_{2.5}$.



Встреча с представителями Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата, Узгидромета, ЮНЕП и ФМИ в Термезе, май 2025 г.
© ЮНЕП

Категория «очень плохой» для O₃ была скорректирована для соответствия пороговому значению информации ЕС с целью содействия более четкой коммуникации с общественностью, в то время как оставшиеся диапазоны загрязняющих веществ были округлены для соответствия уровням оповещения и информации ЕС (ЕЕА, 2025).

Рекомендации по охране здоровья

Диапазоны индекса дополняются сообщениями, касающимися вопросов здоровья, которые содержат рекомендации как для населения в целом, так и для уязвимых групп населения. К последним относятся взрослые и дети с респираторными заболеваниями, а также взрослые с сердечными заболеваниями. Рекомендации по охране здоровья представлены в **Таблице 6**.

Таблица 6. Индекс качества воздуха ЕС и рекомендации по охране здоровья для каждого диапазона индекса

Индекс КВ	Население в целом	Группы населения, чувствительные к загрязнению воздуха
Хороший	Качество воздуха хорошее. Наслаждайтесь своими привычными занятиями на свежем воздухе.	Качество воздуха хорошее. Наслаждайтесь своими привычными занятиями на свежем воздухе.
Удовлетворительный	Наслаждайтесь своими привычными занятиями на свежем воздухе.	Наслаждайтесь своими привычными занятиями на свежем воздухе.
Умеренный	Наслаждайтесь своими привычными занятиями на свежем воздухе.	Если у вас появились симптомы, подумайте о сокращении интенсивной активности на открытом воздухе.
Плохой	Если у вас появились такие симптомы, как боль в глазах, кашель или боль в горле, подумайте о сокращении интенсивной активности на открытом воздухе.	Подумайте о сокращении физической активности, особенно на открытом воздухе, особенно если у вас появились симптомы.
Очень плохой	Если у вас появились такие симптомы, как боль в глазах, кашель или боль в горле, подумайте о сокращении интенсивной активности на открытом воздухе.	Сократите физическую активность, особенно на открытом воздухе, особенно если у вас появились симптомы.
Крайне плохой	Сократите физическую активность на открытом воздухе.	Избегайте физической активности на открытом воздухе.

Источник: ЕЕА, 2025

6

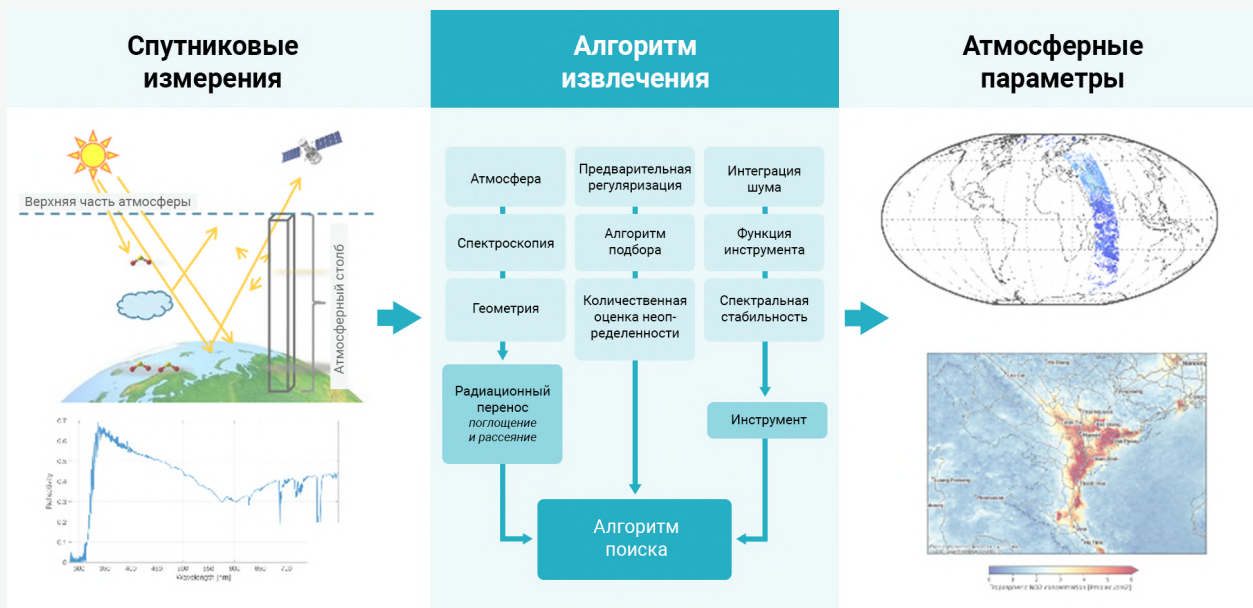
СПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Спутники обеспечивают глобальные наблюдения за различными атмосферными газами и аэрозолями, что делает их ценным дополнительным источником данных для оценки качества воздуха. Они особенно полезны в регионах с редкими или отсутствующими наземными сетями наблюдений, поскольку позволяют создавать долгосрочные ряды данных и одновременно наблюдать за несколькими параметрами. Это особенно полезно в случае Термеза, где пока не существует долгосрочных рядов данных о качестве воздуха, а измерительная сеть до недавнего времени была очень разреженной.

Пассивные спутниковые измерения всегда являются косвенными, то есть не измеряют непосредственно концентрации или содержание различных атмосферных газов или аэрозолей. Пассивные спутниковые приборы измеряют отраженное солнечное излучение или испускаемое тепловое излучение в выбранных диапазонах длин волн (**Рисунок 39, первая панель**). Из этих измерений излучения можно извлечь информацию о различных атмосферных газах и аэрозолях с помощью различных математических методов и компьютерных алгоритмов, которые называются алгоритмами извлечения. Измеренное излучение используется в качестве входных данных для алгоритма извлечения (**Рисунок 39, средняя панель**), который преобразует излучение в желаемые спутниковые переменные (**Рисунок 39, правая панель**).

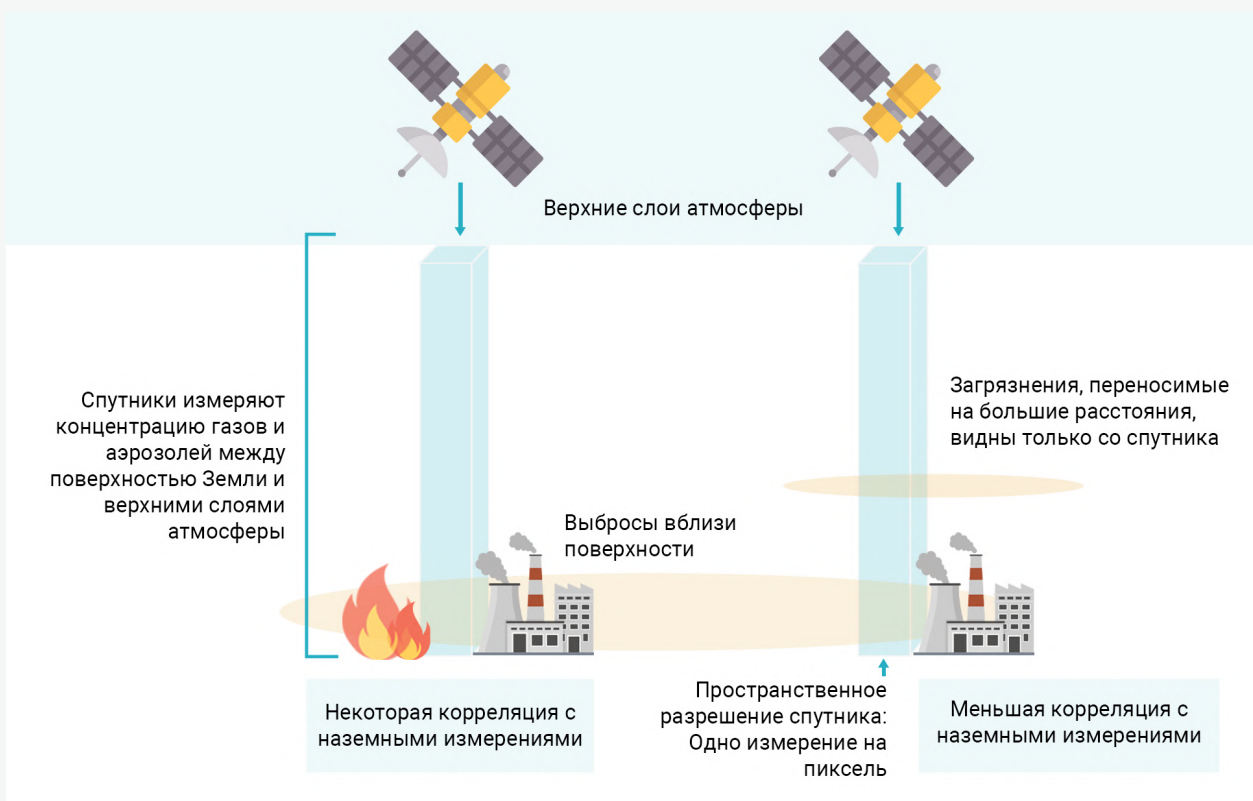
Интерпретация данных спутниковых наблюдений имеет решающее значение при их использовании для оценки качества воздуха. Спутниковые приборы измеряют атмосферные параметры как интегральные концентрации — как для всего атмосферного столба, так и для отдельных слоев, таких как тропосфера. Другими словами, они фиксируют концентрации от поверхности Земли до верхних слоев атмосферы. Это одна из основных причин, по которой спутниковые данные не могут быть напрямую сопоставлены с наземными измерениями, которые являются главной основой мониторинга качества воздуха (**Рисунок 40**). Однако, поскольку основные источники загрязняющих веществ в воздухе, такие как антропогенные выбросы, расположены вблизи поверхности, спутниковые наблюдения все еще могут надежно фиксировать пространственные закономерности в распределении очагов выбросов. Это особенно верно при усреднении данных за более длительные периоды времени, что помогает снизить краткосрочную изменчивость и шум наблюдений.

Рисунок 39. Схематическое изображение пассивных спутниковых измерений и преобразования данных измерений излучения в атмосферные переменные



Источник: ФМИ

Рисунок 40. Интерпретация данных пассивных спутниковых измерений



Источник: ФМИ

Слева показаны выбросы, близкие к поверхности, и в этом случае можно ожидать некоторую корреляцию между данными наземных и спутниковых наблюдений. Справа показаны выбросы, близкие к поверхности, и перенос загрязняющих веществ в верхних слоях атмосферы, и в этом случае можно ожидать меньшую корреляцию между данными наземных и спутниковых наблюдений.

Важно отметить, что каждое спутниковое измерение обычно представляет собой среднее значение по относительно большой площади (несколько квадратных километров), в зависимости от пространственного разрешения прибора. В результате, спутники имеют ограниченные возможности обнаружения небольших или локальных источников загрязнения. Кроме того, точные спутниковые измерения атмосферных переменных, как правило, возможны только в условиях отсутствия облачности.

В **Таблице 7** перечислены данные спутниковых наблюдений, использованные в данном отчете. Все данные наблюдений получены со спутников, находящихся на полярной орбите, что означает, что каждый спутник предоставляет данные примерно один раз в сутки примерно в одно и то же местное время.

Таблица 7. Данные спутниковых наблюдений, использованные в данном отчете

Спутниковый прибор (спутник-носитель)	Параметр	(Местное) время наблюдения	Поставщик данных	Версия данных
TROPOMI (Sentinel 5p)	NO ₂ , SO ₂ , AAI	~13:30	Copernicus, ESA	L3 from S5P-PAL
MODIS (Aqua,Terra)	RGB-изображения, AOD	~10:30 (Terra), ~13:30 (Aqua)	NASA	Data Portal AOD: MCD19A2
IASI (Metop B & C)	NH ₃	~9:30 (дневное), ~21:30 (ночное)	EUMETSAT AC SAF (via Aeris)	Version 6.1 ANNI v3.1

6.1 Диоксид азота (NO₂)

Спутники обеспечивают наблюдение за диоксидом азота (NO₂) в тропосферном столбе, отражая концентрацию NO₂ от поверхности Земли до тропопаузы. NO₂ в основном образуется в результате процессов сгорания, включая двигатели транспортных средств, электростанции, работающие на ископаемом топливе, и сжигание биомассы, например, лесные пожары. В результате, повышенные уровни NO₂ обычно наблюдаются спутниками вблизи густонаселенных районов, включая города и промышленные регионы. Поскольку NO₂ имеет относительно короткий период жизни в атмосфере, он не переносится на большие расстояния. Это делает его полезным трассером для выявления локальных очагов антропогенной деятельности и выбросов. Спутниковые единицы NO₂ указываются в молекулах/см². В глобальном масштабе типичные значения NO₂ по спутниковым данным варьируются от примерно 0,1×10¹⁵ молекул/см² до примерно 10 ×10¹⁵ молекул/см², но концентрации могут быть (намного) выше. «Фоновые» значения обычно составляют около 0,5 ×10¹⁵ молекул/см² или менее.

На **Рисунке 41** показаны спутниковые данные о концентрации NO₂ над Узбекистаном. Повышенные значения NO₂ наблюдаются над городами, промышленными зонами и транспортными коридорами (например, основными магистралями). Наиболее высокие

значения NO₂ ($> 5 \times 10^{15}$ молекул/см²) наблюдаются над Ташкентом. Сравнивая данные за 2019 и 2024 гг., можно сделать вывод, что за последние пять лет значительных изменений концентраций NO₂ над Узбекистаном не наблюдалось. В масштабах страны Термез не является значительным очагом NO₂, хотя значения в этом районе несколько повышены ($\sim 1,5 \times 10^{15}$ молекул/см², **Рисунок 42**).

На **Рисунке 43** представлен временной ряд среднемесячных концентраций NO₂ над районом Термеза, а также линейный тренд, рассчитанный на основе данных за период с января 2019 г. по декабрь 2024 г. Измерения, полученные с помощью спутников, показывают сезонную закономерность: максимальные пиковые концентрации обычно наблюдаются в ноябре, а минимальные — весной, примерно в марте. Хотя наземные наблюдения NO₂ в Термезе имеют ограниченный временной охват, имеющиеся данные свидетельствуют о том, что основные характеристики согласуются с данными спутниковых наблюдений. В дополнение к этой сезонной изменчивости, временной ряд также указывает на небольшую тенденцию к повышению уровней NO₂ в Термезе в течение шестилетнего периода.

6.2 Диоксид серы (SO₂)

Спутниковые наблюдения очень чувствительны к вулканическим выбросам диоксида серы (SO₂), но имеют ограниченную чувствительность к обнаружению антропогенных источников SO₂. Как правило, антропогенные источники выбросов, которые можно идентифицировать по спутниковым данным, включают крупномасштабные виды деятельности, такие как добыча нефти и газа, угольные электростанции и крупные промышленные объекты, в том числе металлургические заводы.

Из-за спектральных длин волн, используемых для обнаружения SO₂, ежедневные спутниковые наблюдения часто подвержены влиянию шума. Следовательно, данные обычно усредняются за более длительные периоды времени для улучшения качества сигнала и более точного определения постоянных источников выбросов. Также важно отфильтровывать вулканические шлейфы SO₂, которые могут переноситься на больших высотах на большие расстояния и перекрывать антропогенные сигналы. Спутниковые наблюдения SO₂ отражают общую концентрацию в столбе атмосферы и обычно выражаются в единицах Добсона (ЕД). Для антропогенных выбросов среднегодовые значения SO₂ обычно составляют около 0,2 ЕД или выше. Наблюдения около 0,1 ЕД в некоторых случаях могут отражать реальные выбросы, но они также могут попадать в пределы уровня шума спутниковых данных и поэтому должны интерпретироваться с осторожностью.

На **Рисунке 44** показаны среднегодовые значения SO₂ над Узбекистаном за 2019 и 2024 гг. Согласно этим наблюдениям, общие уровни SO₂ в большинстве районов Узбекистана низкие, однако по спутниковым данным можно выделить некоторые горячие точки с повышенной концентрацией SO₂. В 2019 году наибольшие значения ($>0,5$ ЕД) наблюдались над Алмалыкским горнометаллургическим комбинатом, расположенным примерно в 70 км к югу от Ташкента. Другой горячей точкой является Мубарекский газоперерабатывающий завод, расположенный примерно в 100 км к юго-востоку от Бухары. По данным спутниковых наблюдений, в 2019 году над территориями Термеза и Сурхандарьинской области не было выявлено крупных источников выбросов SO₂. Однако следует отметить, что в этом районе все еще могут существовать незначительные выбросы SO₂, которые не фиксируются спутниковыми наблюдениями.

В 2024 г. пространственное распределение выбросов SO₂ выглядит несколько иначе. Над Мубарекком значения SO₂ снизились по сравнению с наблюдениями 2019 г., в то время

Рисунок 41. Среднегодовые значения тропосферного NO_2 в Узбекистане за 2019 г. (слева) и 2024 г. (справа), полученные с помощью прибора TROPOMI

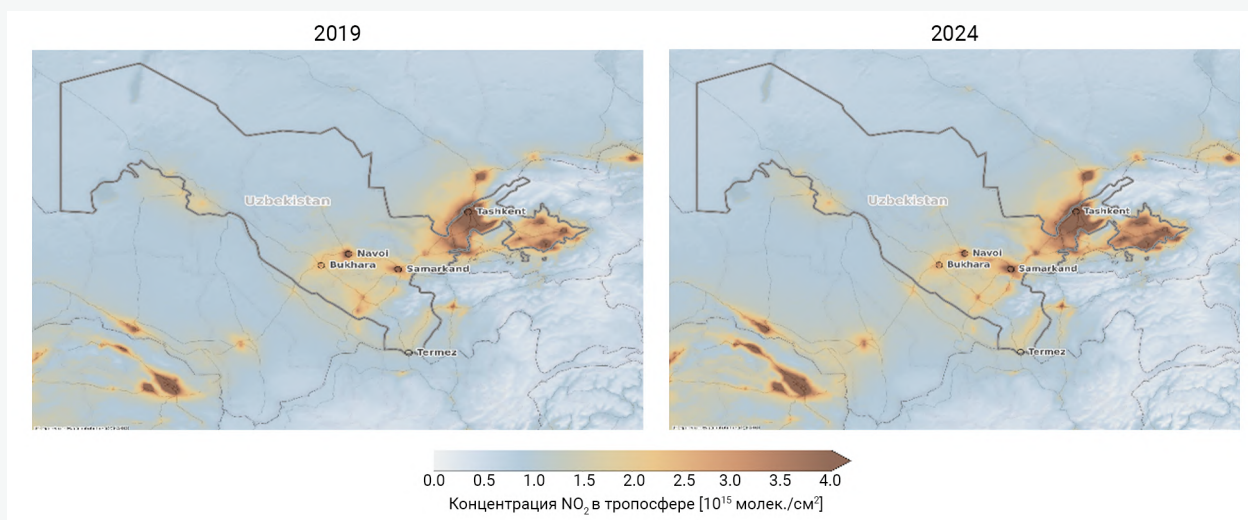


Рисунок 42. Значения тропосферного NO_2 в районах Термеза и Сурхандарьинской области по данным прибора TROPOMI в 2019 г. (слева) и 2024 г. (справа). Примечание: цветовая шкала отличается от Рисунка 41

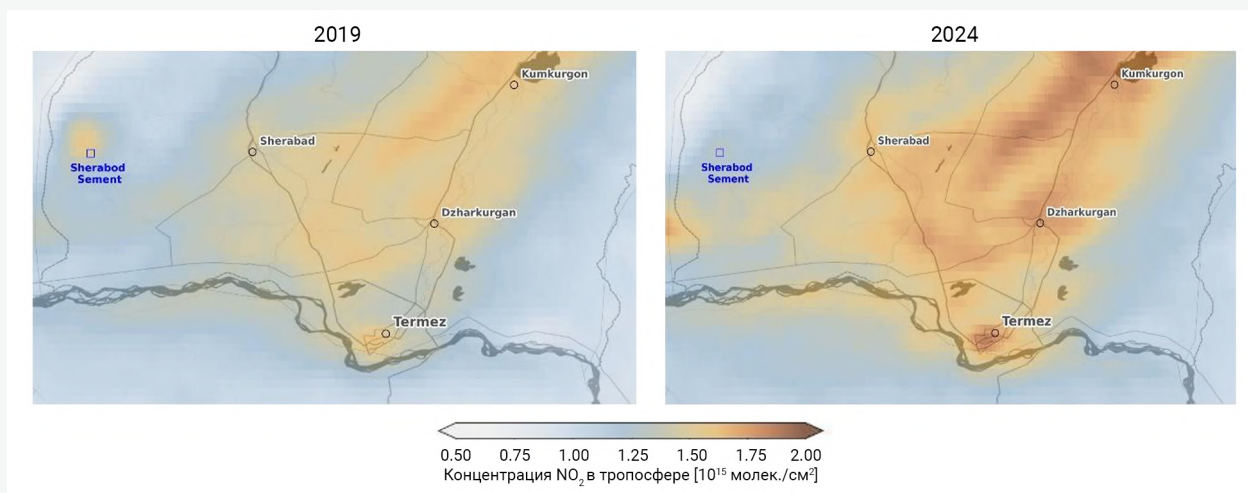


Рисунок 43. Среднемесячные значения концентрации NO_2 в районе Термеза, полученные по данным спутниковых наблюдений TROPOMI/Sentinel 5p. Точки представляют среднемесячные значения, а заштрихованные данные — стандартное отклонение (от пространственного усреднения). Красная пунктирная линия представляет линейную тенденцию.



как в Сурхандарьинской области, к югу от Бойсуна, примерно в 140 км к северу от Термеза, появился новый источник выбросов (**Рисунок 45**). Более тщательный анализ спутниковых наблюдений показывает, что повышенные значения SO₂ в этом районе периодически наблюдались примерно с сентября 2024 г. (**Рисунок 45**). Среднее значение за трехмесячный период с сентября по ноябрь четко показывает местоположение очага выбросов, которая также видна на **Рисунок 45**. Временной ряд спутниковых данных SO₂ над этим районом показывает, что явно было несколько более крупных эпизодов выбросов SO₂, например, в конце ноября 2024 г. и в апреле-мае 2025 г.. Эти эпизоды в спутниковых данных, скорее всего, связаны с утечками газа с газового месторождения Бойсун М-25, о которых также сообщалось в местных и международных СМИ (Xabar, 2025; Upstream, 2025).

Рисунок 44. Среднегодовые значения концентрации (плотности столба) SO₂ в 2019 (слева) и 2024 гг. (справа), полученные по результатам наблюдений Sentinel 5p/TROPOMI

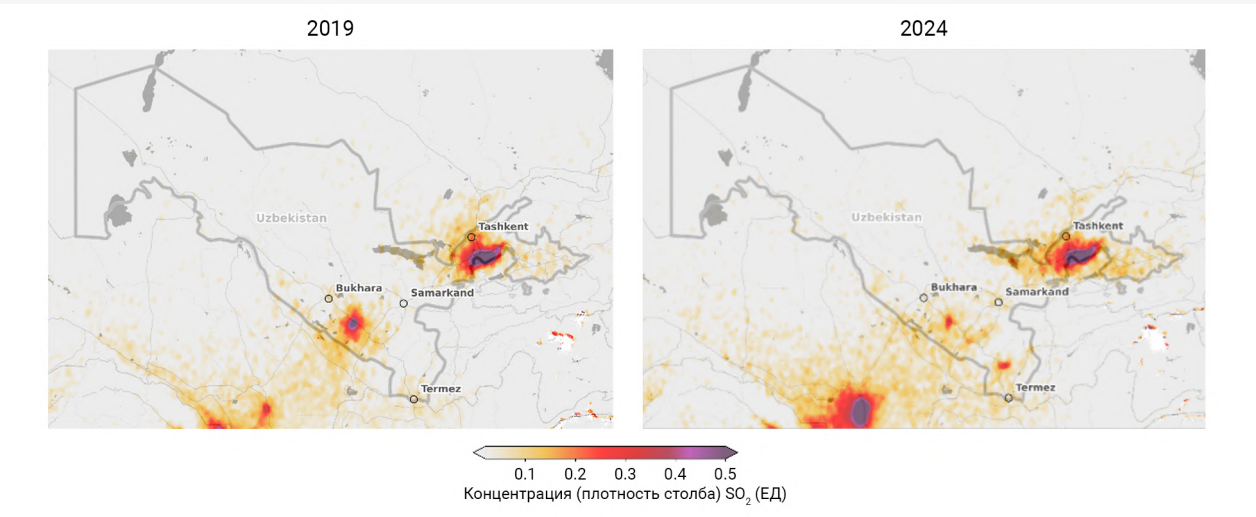
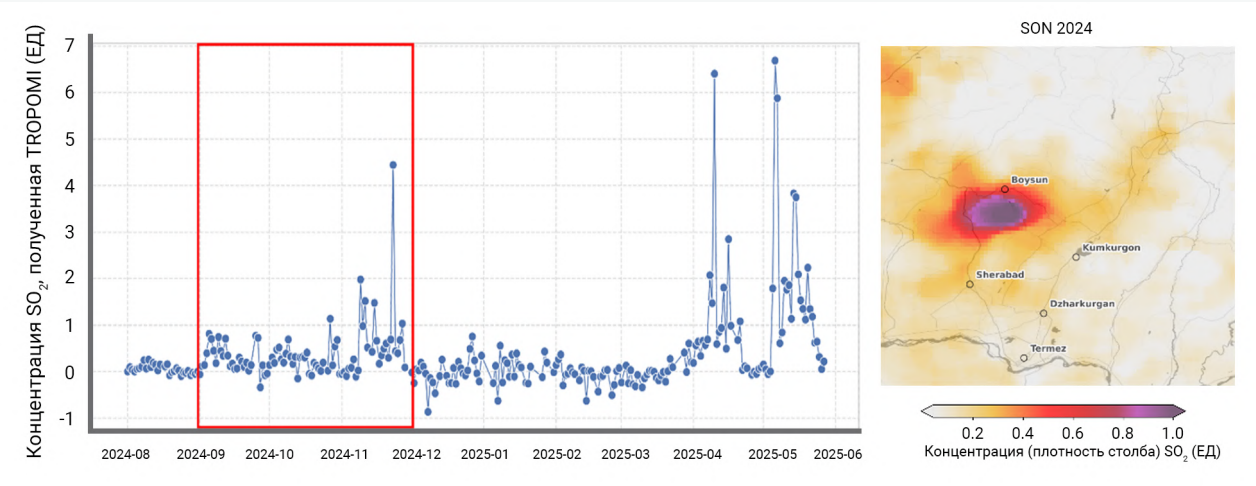


Рисунок 45. Временной ряд SO₂, полученный из TROPOMI над районом Бойсуна с августа 2024 г. по конец мая 2025 г. (слева) и карта сезонных средних значений за сентябрь-октябрь-ноябрь (красная область) 2024 г. (справа)



6.3 Аэрозоли

Параметр оптической глубины аэрозоля (AOD), определяемый по данным спутниковых измерений, описывает аэрозольное ослабление в атмосферном столбе (от поверхности до верхних слоев атмосферы) и связан с количеством аэрозолей в воздухе. Несмотря на то, что определение AOD сильно отличается от определения концентрации твердых частиц, эти две величины, как правило, в определенной степени коррелируют, поскольку каждая из них чувствительна к содержанию аэрозолей. Однако, поскольку на AOD могут влиять высокие слои аэрозолей, переносимые на большие расстояния, при этом потенциально не учитывая мелкомасштабные колебания вблизи поверхности, нередко случаи несоответствия между наземными измерениями и пиковыми значениями AOD. Следует отметить, что AOD очень чувствительна к облачности, и поэтому наблюдения невозможны при наличии облаков. Наблюдения над снегом также невозможны. Однако, несмотря на ряд пропущенных наблюдений в суточном масштабе, усреднение за более длительный период времени делает AOD, измеряемую по данным спутниковых измерений, полезным параметром для оценки пространственного распределения аэрозолей и источников выбросов, особенно в более крупных пространственных масштабах.

AOD — это безразмерная величина, обычно, измеряемая спутниковыми приборами на длине волны 550 нм. Числовые значения AOD, обычно, варьируются от 0,05 до 1,0, но в некоторых крайних случаях могут превышать 2,0. Стандартных категорий или пороговых значений для «высокой» или «низкой» AOD не существует, но можно приблизительно считать, что AOD низкая, когда она ниже 0,1, повышенная, когда она больше 0,2, и очень высокая, когда она больше 1,0. Глобальное среднее значение AOD составляет около 0,15.

В настоящее время спутниковые наблюдения AOD доступны с нескольких приборов. В данном отчете карты AOD представляют собой средние значения, полученные с двух приборов MODIS, установленных на спутниках Terra и Aqua NASA. Оба спутника проводят наблюдения над определенной областью один раз в сутки: Terra — до полудня, примерно в 10:30 по местному времени, а Aqua — во второй половине дня, примерно в 13:30 по местному времени. В данном анализе карты AOD получены на основе среднесуточных значений, полученных с помощью комбинированных наблюдений Terra и Aqua с использованием данных MODIS MAIAC coll. 6.0.

На **Рисунке 46** показаны среднегодовые значения AOD над Узбекистаном за 2019 и 2024 гг. Среднее пространственное распределение AOD показывает, что самые высокие средние значения не совпадают напрямую с районами антропогенных выбросов, что указывает на то, что, скорее всего, основным фактором, определяющим пространственную структуру AOD, является пыль. В крупнейших городах, таких как Ташкент, среднегодовые значения AOD несколько повышены, но самые высокие средние значения наблюдаются, например, вблизи Аральского моря или к юго-востоку от Термеза.

Благодаря длительной истории эксплуатации приборов MODIS с начала 2000-х годов, стало возможным получить более чем 20-летний временной ряд AOD над районом Термеза. На **Рисунке 47** представлены среднемесячные значения AOD и соответствующая линейная тенденция с января 2003 г. по декабрь 2024 г. В среднем данные демонстрируют сезонный цикл, при этом самые высокие значения AOD обычно приходятся на период с марта по август, что совпадает с циклом наземных измерений, особенно для PM_{10} (**Рисунок 17**). Однако, как показано на **Рисунке 47**, очевидна существенная изменчивость среднемесячных значений от года к году, вероятно, вызванная пыльными явлениями. Линейная тенденция за весь период измерений является слегка положительной. Среднегодовые значения AOD (на длине волны 550 нм) в Термезе колеблются на уровне около 0,2.

Рисунок 46. Среднегодовые значения AOD (на длине волны 550 нм) по данным MODIS MAIAC над Узбекистаном за 2019 г. (слева) и 2024 г. (справа)

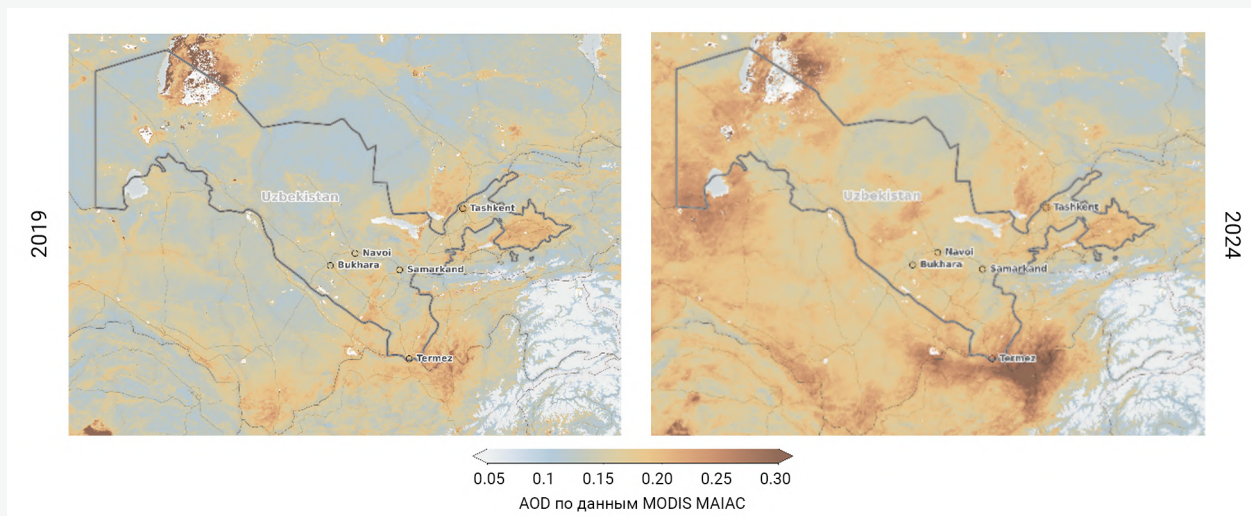
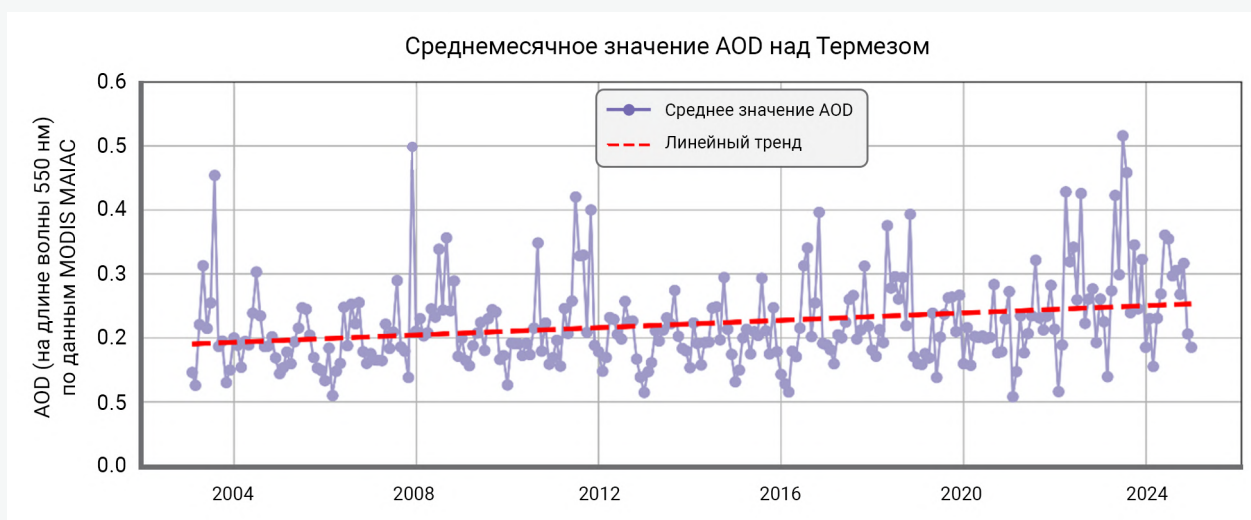
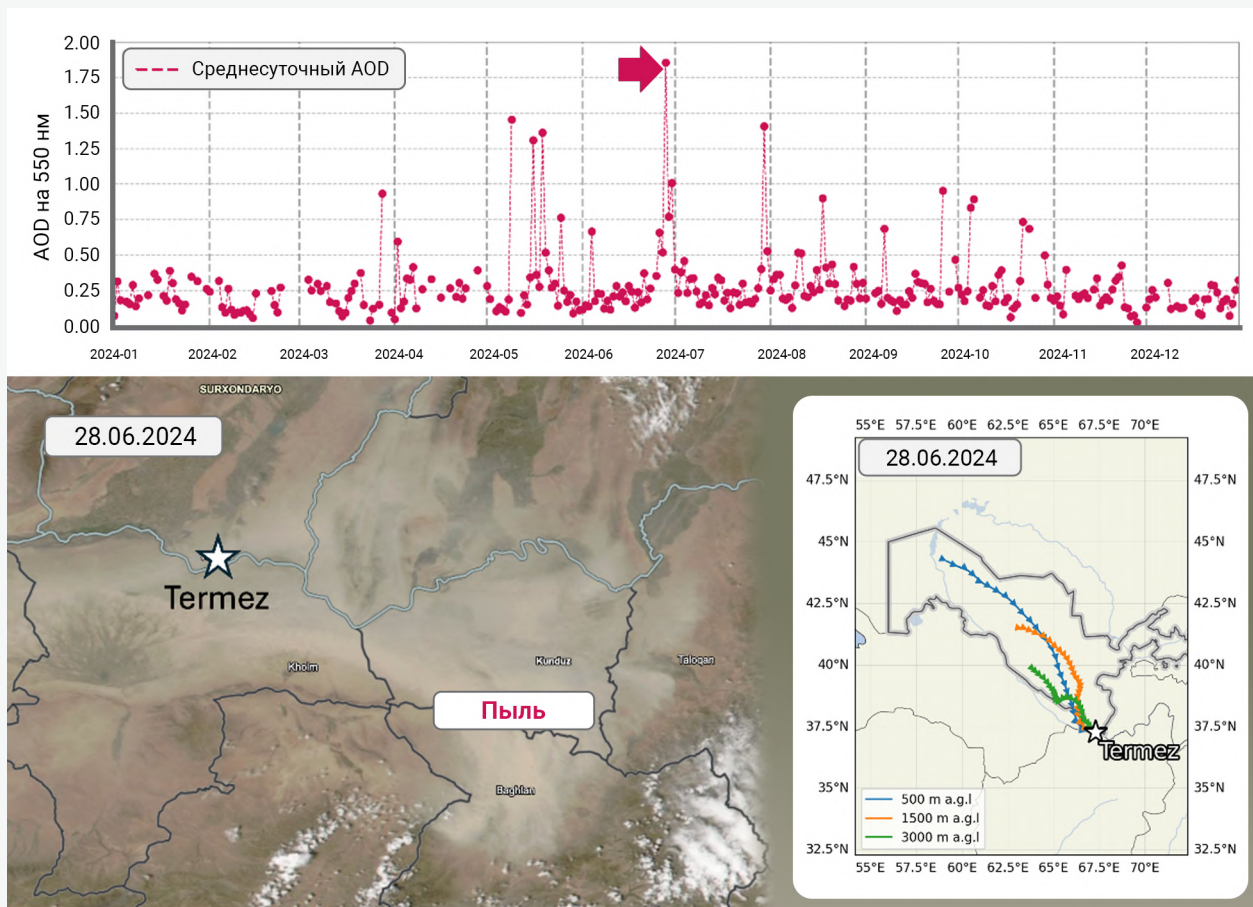


Рисунок 47. Среднемесячное значение AOD (фиолетовые точки) из набора данных MODIS MAIAC с января 2003 г. по декабрь 2024 г. и линейная тенденция (красная пунктирная линия)



Спутники являются отличным инструментом для мониторинга крупномасштабных пылевых выбросов, являющихся основной причиной экстремальных случаев загрязнения воздуха в Термезе. На **Рисунке 48** показан суточный временной ряд AOD за 2024 г. над Термезом, где видны множественные пики со значениями AOD, превышающими 1,0. Более подробно проанализирован пример случая 28 июня 2024 г. (отмечен стрелкой на **Рисунке 48**). Анализ данных наблюдений PM_{10} , доступных в Термезе, показывает, что среднесуточная концентрация PM_{10} в этот день составила 1 230 мкг/м³ (**Рисунок 17**), что указывает на экстремальное явление. В этот день пылевой шлейф отчетливо виден на полноцветном RGB-изображении MODIS. 12-часовые обратные траектории, рассчитанные с помощью модели HYSPLIT (Rolph et al., 2017), указывают на то, что пылевой шлейф возник в северо-западной части Узбекистана, в районе Аральского моря.

Рисунок 48. Пример пылевого эпизода, произошедшего в районе Термеза 28 июня 2024 г.



На верхней панели показан среднесуточный временной ряд AOD для Термеза в 2024 г.; пик AOD 28 июня 2024 г. отмечен стрелкой. На левой нижней панели представлено цветное RGB-изображение с прибора MODIS, на котором отчетливо виден пылевой шлейф, а на правой панели показаны 12-часовые обратные траектории, заканчивающиеся в Термезе на трех разных высотах (500, 1500 и 3000 м над уровнем земли).

На **Рисунке 49** показаны карты AOD (левая панель) и индекса поглощающего аэрозоля (AAI) (правая панель) для того же эпизода 28 июня 2024 г. AAI можно получить, например, с помощью прибора TROPOMI, и он является хорошим индикатором эпизодов пылевых выбросов вместе с AOD. Положительные значения AAI ($>1,0$) указывают на присутствие поглощающих аэрозолей, таких как пыль, дым или вулканический пепел. Наблюдения AAI можно проводить также для облачных сцен, если аэрозоли находятся выше облаков или в густых аэрозольных шлейфах, где данные AAI часто отсутствуют, и, следовательно, AAI часто может дать лучшее представление о протяженности шлейфа, чем наблюдения только AOD. Однако, в отличие от AOD, значение индекса не является прямым измерением количества аэрозолей.

На **Рисунке 49** исключительно высокие значения AOD (>2) наблюдаются в районе Термеза 28 июня 2024 г., что указывает на экстремальное аэрозольное явление. Данные по AOD часто отсутствуют не только из-за облачности, но и из-за оптически плотных аэрозольных шлейфов. В данном случае отсутствующие данные по AOD сосредоточены вблизи центра предполагаемого шлейфа. В отличие от этого, AAI дает более четкое представление обо всей протяженности шлейфа. Эти наблюдения указывают на то, что в ядре шлейфа значения AOD могут превышать 2,0.

Рисунок 49. Пыльный эпизод, затронувший район Термеза 28 июня 2024 г. Значения AOD, полученные с помощью приборов MODIS (справа), и AAI, и полученные с помощью TROPOMI в более широком масштабе над Узбекистаном (слева)

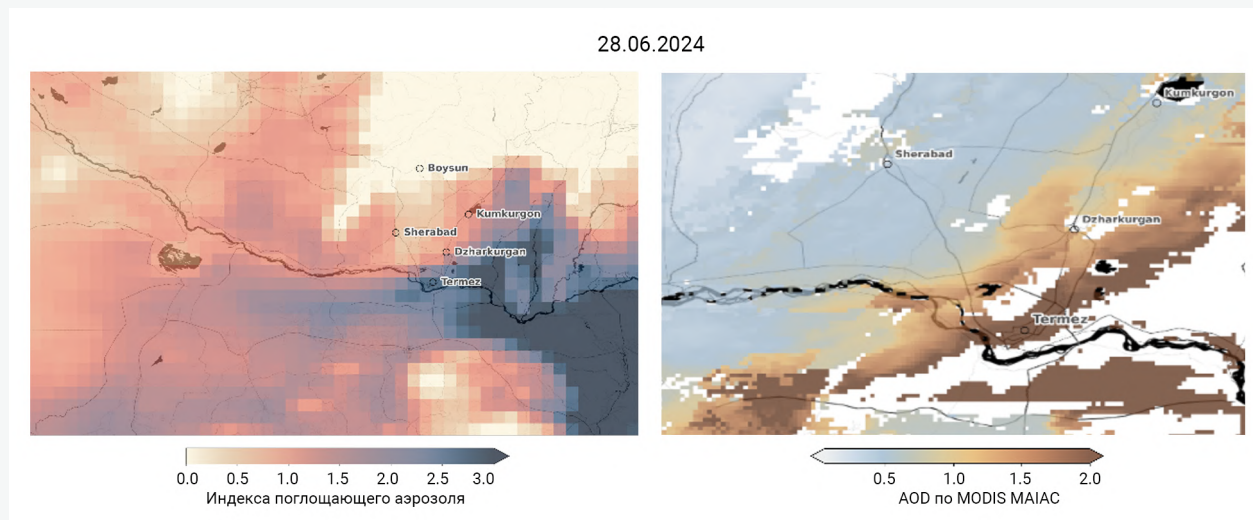
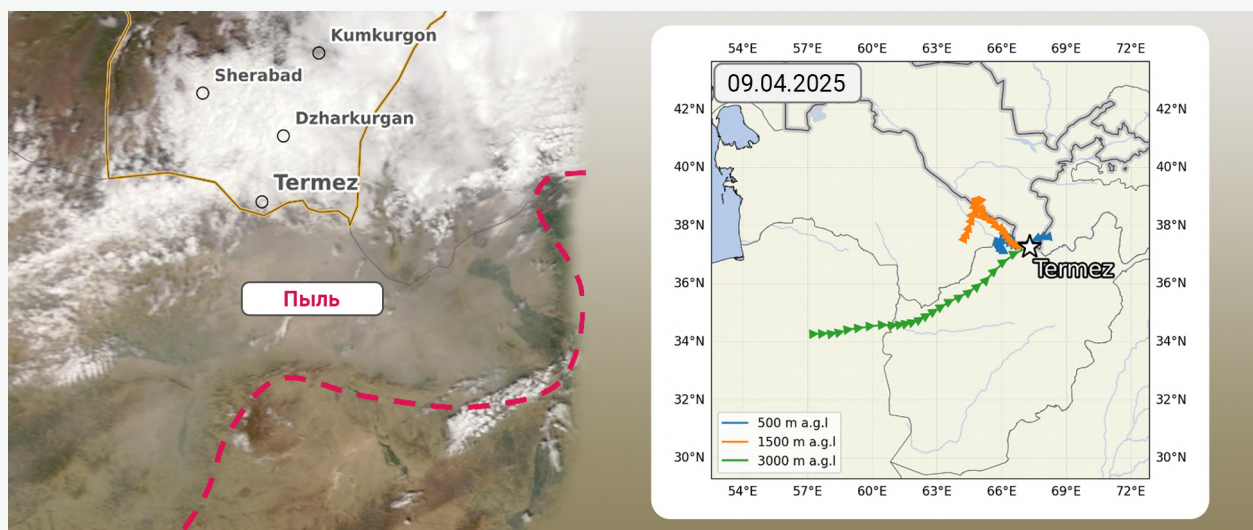


Рисунок 50. Снимок MODIS Terra RGB от 9 апреля 2025 г. (слева), сделанный примерно в 10:30 по местному времени, и 12-часовые обратные траектории, заканчивающиеся в Термезе на трех разных высотах (500, 1500 и 3000 м над уровнем земли).



Красная пунктирная линия обозначает приблизительную границу пылевого шлейфа, который также простирается ниже облаков в районе Термеза, значительно ухудшая качество воздуха в этом районе.

Другой пример пылевого эпизода, серьезно повлиявшего на качество воздуха в Термезе, произошел 9 апреля 2025 г. (**Рисунок 50**). Одной из основных проблем для спутниковых наблюдений в этом случае была обширная облачность над районом Термеза, которая помешала получению таких параметров, как AOD для этого дня. Кроме того, пылевой эпизод достиг своего пика в ранние утренние часы, задолго до времени пролета основных спутниковых приборов. Несмотря на эти ограничения, пылевой шлейф отчетливо виден к югу от Термеза на спутниковом снимке MODIS Terra RGB, сделанном около 10:30 по местному времени. Можно обоснованно предположить, что в это время пыль также присутствовала под слоем облаков у поверхности, что способствовало ухудшению качества воздуха в



Семинар по использованию спутниковых данных для мониторинга и оценки качества воздуха, проведенный ФМИ в Central Asia Green University в Ташкенте
© ЮНЕП, май 2025

Термезе. Эта интерпретация подтверждается местными новостными сообщениями (UPL, 2025). Обратные траектории указывают на источник пыли к юго-востоку от Термеза, куда она была перенесена юго-восточными ветрами из Афганистана.

6.4 Аммиак (NH_3)

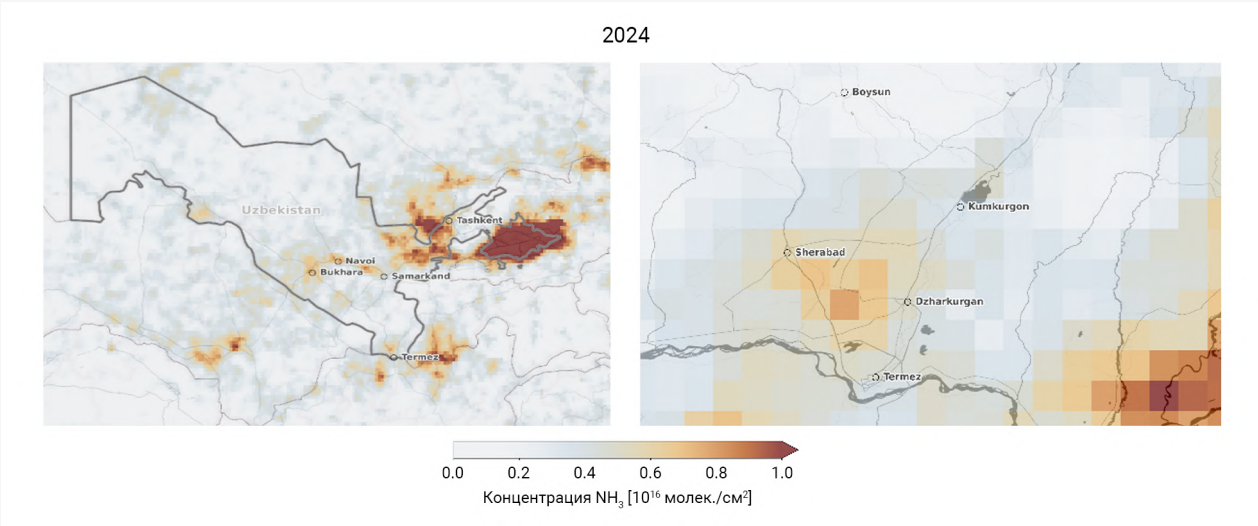
Сельское хозяйство, включая животноводство и использование удобрений, является крупнейшим в мире источником аммиака (NH_3) (например, Behera et al., 2013). Кроме того, промышленная деятельность, связанная с производством удобрений, также может вносить значительный вклад в выбросы NH_3 . Данные спутниковых наблюдений NH_3 , использованные в данном исследовании, получены с помощью прибора IASI, установленного на спутниках Metop-B и Metop-C, эксплуатируемых EUMETSAT. Прибор IASI работает в тепловом инфракрасном диапазоне, что позволяет проводить измерения NH_3 как во время дневных, так и ночных пролетов. Прибор предоставляет данные об общей концентрации NH_3 в столбе атмосферы, выраженной в молекулах на квадратный сантиметр (молекул/см²). В местах крупных источников выбросов NH_3 общие значения столба атмосферы обычно превышают $0,5 \times 10^{16}$ молекул/см². В данном отчете были учтены только дневные наблюдения IASI.

В Узбекистане среднегодовые концентрации NH_3 за 2024 г. выявили несколько районов с повышенными значениями. В частности, высокие выбросы наблюдаются в Навои, Фергане (примерно в 300 км к востоку от Ташкента) и Чирчике (примерно в 40 км к северо-востоку от Ташкента), что связано с предприятиями по производству удобрений. Большинство других регионов с повышенными уровнями NH_3 , вероятно, связаны с сельскохозяйственной деятельностью, включая Сурхандарьинскую долину, что соответствует 9-летнему анализу IASI, проведенному Ван Дамме и др. (2018). Как показано на **Рисунке 51**, самые высокие концентрации NH_3 в Сурхандарьинской долине наблюдаются к северу от Термеза.



Семинар по использованию спутниковых данных для мониторинга и оценки качества воздуха, проведенный ФМИ в Central Asia Green University в Ташкенте © ЮНЕП, май 2025

Рисунок 51. Среднегодовые концентрации NH₃ над Узбекистаном (слева) и районом Термеза (справа) в 2024 г., полученные с помощью приборов IASI на борту спутников Metop-B и -C



7 Кадастр

Местный кадастр выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в Термезе

Кадастр выбросов загрязняющих веществ в атмосферу является важнейшим инструментом для эффективного управления качеством воздуха. Он позволяет выявлять источники загрязнения, принимать обоснованные политические решения и обеспечивать точное моделирование качества воздуха. Кадастр выбросов служит основой для принятия целенаправленных мер регулирования, помогает отслеживать тенденции выбросов в отрезке времени и предоставляет официальные отчетные данные в соответствии с международными конвенциями, такими как Конвенция Европейской экономической комиссии ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (КТЗВБР).

Благодаря подробной информации о конкретных загрязняющих веществах и их источниках, кадастр выбросов позволяет органам власти разрабатывать, оценивать и определять приоритеты стратегий по сокращению выбросов, улучшения качества воздуха и здоровья населения. Он предоставляет всеобъемлющий обзор загрязняющих веществ и их источников, помогая выявлять наиболее значимые факторы, влияющие на загрязнение воздуха в конкретных районах. Данные из кадастра выбросов используются для разработки и внедрения планов управления качеством воздуха, включая нормативные акты, направленные на сокращение выбросов определенных загрязняющих веществ. Органы власти также могут использовать эти кадастры для оценки потенциального воздействия предлагаемых мер регулирования до их реализации.

Национальный комитет по статистике Узбекистана собирает, обрабатывает, обобщает, анализирует, распространяет и хранит актуальные статистические данные по экологической информации, а также по другим областям. Для данного отчета местные консультанты в сотрудничестве с Министерством экологии, охраны окружающей среды и изменения климата собрали данные кадастра выбросов по основным источникам выбросов в городе

Рисунок 52. Расположение Сурхандарьинской области на административной карте Узбекистана (слева). Термезский район отмечен красным цветом. Город Термез (справа).



Источники: Google Maps, TomTom (2025)

Термезе и его административном районе. Данные кадастра выбросов, представленные в данном отчете, основаны на официальной статистической информации.

Термезский район окружает город Термез в Сурхандарьинской области Узбекистана. Город Термез административно отделен от района (**Рисунок 52**).

7.1 Общие объемы выбросов основных загрязняющих веществ в атмосферу

Согласно имеющимся кадастрам выбросов, предоставленных Национальным комитетом по статистике и Министерством экологии, охраны окружающей среды и изменения климата, выбросы от автомобильного и железнодорожного транспорта, несомненно, составляют наибольшую долю от общего объема выбросов (более 95 процентов), а промышленные выбросы составляют менее 5 процентов от общего объема выбросов в атмосферу в районе города Термеза, Термезском районе и Сурхандарьинской области (**Таблицы 8 и 9**).

7.2 Источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

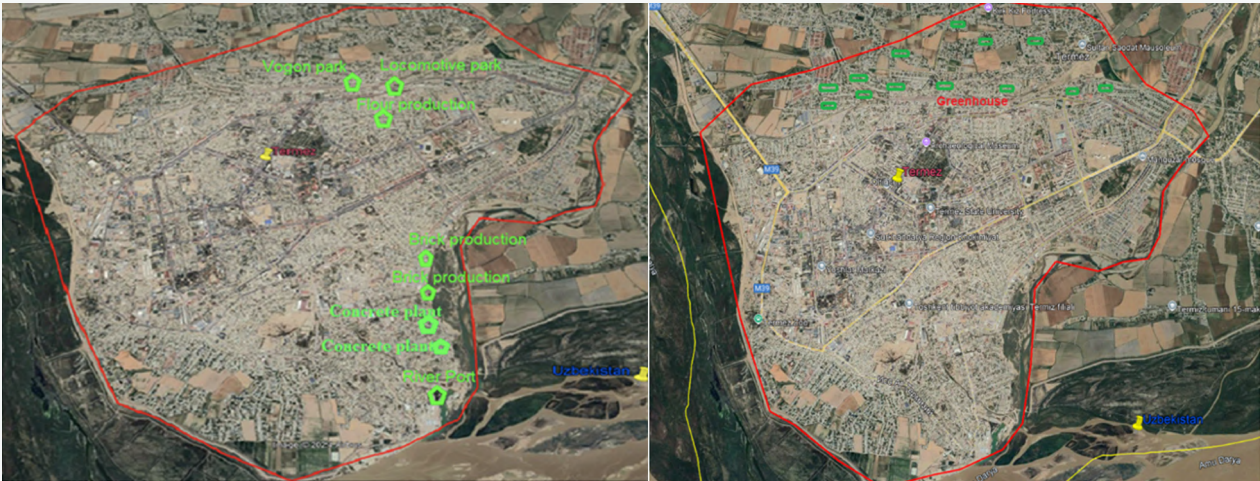
Согласно официальным статистическим данным, в 2023 г. общее количество промышленных источников, генерирующих выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в Сурхандарьинской области составило 242, в том числе 55 крупных и 187 малых предприятий. В городе Термезе количество предприятий, выбрасывающих в атмосферу загрязняющие вещества, составило 25, в том числе 11 крупных и 14 малых. Однако, как показывает локальный кадастр выбросов, на долю транспортного сектора, в частности автомобильного и железнодорожного транспорта, приходится значительно большая доля общих выбросов в атмосферу в районе Термеза, составляющая 90–95 процентов от общего объема выбросов (**Таблицы 9 и 10**). Расположение промышленных источников выбросов, теплиц и других крупных источников выбросов в Термезе и его ближайших окрестностях показано на **Рисунках 53 и 54**.

Таблица 8. Годовые выбросы (тыс. тонн) основных загрязняющих веществ в атмосферу от промышленных предприятий (стационарных источников) Сурхандарьинской области, города Термез и Термезского района в 2019-2023 гг.

	Загрязняющие вещества	Годы				
		2019	2020	2021	2022	2023
Сурхандарьинская область						
1	Оксись углерода (CO)	3,330	3,130	3,411	3,318	3,750
2	Диоксид азота (NO ₂)	0,739	0,639	0,723	0,688	0,261
3	Углеводороды (HC)	1,303	1,203	1,587	1,921	1,884
4	Диоксид серы (SO ₂)	0,185	0,185	0,208	0,222	0,061
5	Твердые частицы (PM)	1,114	1,114	0,966	0,938	1,189
6	Другие	0,360	0,180	0,195	0,194	0,215
Всего:		6,905	6,451	7,088	7,281	7,360
Город Термез						
1	Оксись углерода (CO)	0,021	0,011	0,012	0,010	0,009
2	Диоксид азота (NO ₂)	0,008	0,004	0,011	0,001	0,001
3	Углеводороды (HC)	0,370	0,370	0,368	0,340	0,009
4	Диоксид серы (SO ₂)	0,001	0,001	0,009	0,003	0,002
5	Твердые частицы (PM)	0,058	0,058	0,265	0,264	0,232
6	Другие	0,010	0,037	0,004	0,002	0,037
Всего:		0,468	0,481	0,669	0,620	0,290
Термезский район						
1	Оксись углерода (CO)	0,007	0,004	0,003	0,008	0,007
2	Диоксид азота (NO ₂)	0,001	-	-	0,001	0,001
3	Углеводороды (HC)	0,006	0,003	0,003	0,008	0,008
4	Диоксид серы (SO ₂)	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
5	Твердые частицы (PM)	0,190	0,175	0,170	0,197	0,197
6	Другие	0,034	0,17	0,013	0,033	0,035
Всего:		0,239	0,200	0,190	0,249	0,250

Источник: Национальный комитет по статистике РУ

Рисунок 53. Расположение источников промышленных выбросов и теплиц в Термезе



Источник: Google Maps

Таблица 9. Годовые выбросы (тыс. тонн) основных загрязняющих веществ в атмосферу от транспорта (автомобильного и железнодорожного) в Сурхандарьинской области, городе Термезе и Термезском районе в 2019-2023 гг.

	Загрязняющие вещества	Годы				
		2019	2020	2021	2022	2023
Сурхандарьинская область						
1	Оксись углерода (CO)	48,811	53,366	54,179	45,141	34,786
2	Диоксид азота (NO ₂)	8,740	9,340	10,183	8,102	2,721
3	Углеводороды (HC)	10,358	14,584	15,803	8,300	6,222
4	Диоксид серы (SO ₂)	1,140	0,445	0,270	0,010	0,126
5	Другие	4,810	2,235	1,733	0,547	2,183
Всего:		73,859	79,970	82,168	62,100	46,038
Город Термез						
1	Оксись углерода (CO)	2,9	2,8	2,6	3,0	3,1
2	Диоксид азота (NO ₂)	1,1	1,1	1,0	1,2	1,2
3	Углеводороды (HC)	2,60	2.5	2,1	2,64	2,64
4	Диоксид серы (SO ₂)	0,061	0,046	0,010	0,065	0,065
5	Другие	0,161	0,346	0,09	0,205	0,205
Всего:		6,8	6,1	5,8	6,7	6,8
Термезский район						
1	Оксись углерода (CO)	2,7	2,6	2,4	2,1	1,8
2	Диоксид азота (NO ₂)	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
3	Углеводороды (HC)	2.5	2,1	2,0	2,0	1,8
4	Диоксид серы (SO ₂)	0,046	0,010	0,010	0,010	0,010
5	Другие	0,346	0,09	0,10	0,08	0,19
Всего:		6,7	5,8	5,6	5,1	4,8

Источник: Национальный комитет по статистике РУ

Рисунок 54. Расположение основных источников выбросов в Термезском районе: аэропорт Термеза, асфальтобетонный завод и кирпичный завод



Источник: Google Maps

Таблица 10. Основные виды топлива, используемые в различных отраслях промышленности в районе Термеза

Вид деятельности	Используемая технология	Вид топлива, энергии
Отопление и горячее водоснабжение в зданиях социально-культурного назначения и многоэтажных жилых домах	Малые котлы для отопления и горячего водоснабжения	природный газ
Отопление и горячее водоснабжение в зданиях социально-культурного назначения и жилых домах (одноэтажных)	Двухконтурные котлы	природный газ
Производство кирпича	Секционные камеры сгорания	природный газ, уголь
Производство керамических изделий	Обжиговые печи	природный газ
Производство асфальта	Асфальтосмесительные установки	природный газ
Крупные тепличные хозяйства в Термезском районе	Электрические калориферы	электричество
Теплицы у домашних хозяйств	двухслойное покрытие теплицы пленкой; обогрев с использованием навоза; обогрев теплицы за счет естественного тепла скота; строительство полуподземной теплицы	навоз
Производство кондитерских изделий	электрические духовки	электричество
Производство хлеба и хлебобулочных изделий	электрические духовки	электричество
Приготовление уличной еды	кухонные котлы	электричество, природный газ
Приготовление пищи в многоэтажных жилых домах	кухонные газовые плиты	природный газ
Приготовление пищи в одноэтажных жилых домах	кухонные газовые плиты и котлы типа «Казан»	природный газ, дрова

Источник: Министерство экологии, охраны окружающей среды и изменения климата

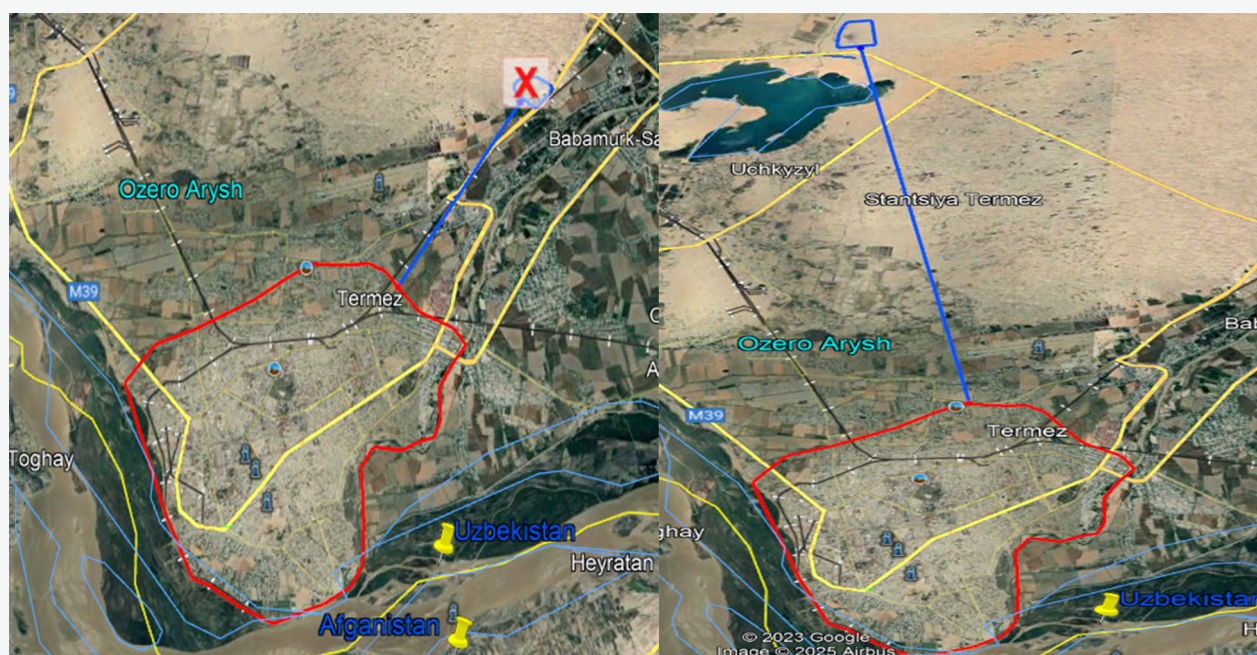
Источниками выбросов в Термезе также являются отопительные системы (котлы), используемые для отопления помещений и горячего водоснабжения жилых зданий. Как правило, это небольшие локальные котельные, обслуживающие многоквартирные дома, а также индивидуальные двухконтурные котлы, работающие на природном газе и установленные в новых жилых комплексах. Другие источники выбросов, а также широко используемые виды топлива и энергии, перечислены в **Таблице 10**.

7.3 Управление отходами в Термезе

Промышленные отходы, образующиеся на предприятиях и производственных объектах Термеза, собираются городскими службами санитарной очистки и вывозятся на специальные полигоны для промышленных и строительных отходов. Перед утилизацией отходы проходят предварительную сортировку для извлечения материалов, пригодных для вторичной переработки. Бытовые отходы также собираются городскими службами санитарной очистки и вывозятся на полигоны муниципальных отходов, расположенные в Термезском районе.

По данным местного Управления экологии, охраны окружающей среды и изменения климата, на городском полигоне не было крупных пожаров, хотя отдельные случаи возгораний имели место в летние месяцы. Полигон, ранее использовавшийся для захоронения бытовых отходов из Термеза, в настоящее время закрыт, и все отходы, образующиеся в городе, вывозятся на комплекс по переработке и захоронению отходов, расположенный в 13 км к северу от Термеза. Этот объект предназначен для сбора, переработки и утилизации неперерабатываемых муниципальных отходов и занимает площадь 55 га (**Рисунок 55**).

Рисунок 55. Расположение полигона вблизи города Термез и новый полигон, расположенный к северо-востоку от г.Термез



Источник: Google Earth

7.4 Замечание о кадастре выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

Кадастры выбросов и сценарии выбросов являются важнейшими инструментами для управления качеством воздуха как на национальном, так и на местном уровнях. Крайне важно, чтобы методологии и источники данных, используемые в кадастрах выбросов, были хорошо документированы и постоянно совершенствовались. Поэтому рекомендуется совершенствовать методы инвентаризации, документирования и прозрачности на национальном уровне для обеспечения соответствия международно-сопоставимым методам представления данных о выбросах в рамках Конвенции ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (ЕМЕР, ЕЕА, 2023).

Проверка или оценка неопределенностей в локальных кадастрах выбросов, представленных в этом разделе выше, является сложной задачей, поскольку отсутствует подробная документация по применяемым методологиям, таким как коэффициенты выбросов, данные о деятельности или процедуры расчета.

В Узбекистане распространенной практикой является объединение выбросов различных загрязняющих веществ (CO , NO_2 , CH_4 , SO_2 , PM и «прочих») в одну цифру, представляющую общие или «валовые» выбросы. Настоятельно рекомендуется составлять кадастры выбросов отдельно по каждому загрязняющему веществу и по каждому виду деятельности. Суммирование выбросов различных загрязняющих веществ ограничивает аналитическую ценность данных и затрудняет определение тенденций загрязнения. Лица принимающие решения, должны понимать, какие загрязняющие вещества преобладают и из каких источников они происходят. Единая валовая цифра не показывает, является ли основной проблемой твердые частицы от отопления, аммиак от сельского хозяйства или оксиды азота (NO_2) от транспорта, что делает невозможным разработку целенаправленных мер по смягчению последствий.

Также важно, чтобы кадастры выбросов были сопоставимыми на международном уровне и должным образом документированы. Международная отчетность, например в рамках КТЗВБР, ЕМЕР или соответствующих директив ЕС, требует представления данных по каждому загрязняющему веществу и по каждому сектору.

Кроме того, выбросы от бытовой и сельскохозяйственной деятельности должны систематически включаться как в национальные, так и в местные кадастры. Учитывая значимость $\text{PM}_{2.5}$ и PM_{10} , необходимо разработать надежные и сопоставимые методы расчета для точной характеристики местных антропогенных источников этих загрязняющих веществ. Кроме того, в кадастрах должны оцениваться и количественно определяться выбросы, переносимые на большие расстояния, и природные источники выбросов, обеспечивая всестороннее понимание всех факторов, способствующих загрязнению атмосферного воздуха.



Термез, дворец Кырк-кыз (Восточная анфилада)

© Kraftabbas, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0

Список использованной литературы

- Achilleos, S., Michanikou, A., Kouis, P., Papatheodorou, S.I., Panayiotou, A.G., Kinni, P., Mihalopoulos, N., Kalivitis, N., Kouvarakis, G., Galanakis, E. and Michailidi, E. (2023). *Improved indoor air quality during desert dust storms: the impact of the MEDEA exposure-reduction strategies*. *Science of the Total Environment*, 863, p. 160973.
- Agency for Hydrometeorological Services under the Ministry of Ecology, Environmental Protection and Climate Change of the Republic of Uzbekistan (UzHydromet) (2025). *Criteria of atmospheric air quality*. Available at: <https://monitoring.meteo.uz/en/menu/kriterii-kachestva-atmosfernogo-vozdusha> [Accessed 30 April 2025].
- Aghababaeian, H., Ostadtaghizadeh, A., Ardalan, A., Asgary, A., Akbary, M., Yekaninejad, M.S. and Stephens, C. (2021). *Global health impacts of dust storms: a systematic review*. *Environmental Health Insights*, 15, p. 11786302211018390.
- Akramkhanov, A., Haddad, M., Patlakas, P., Umarov, S., Nurbekov, A. and Yazici, E. (2024). *Sand and dust storms in Uzbekistan: atmospheric modelling for understanding impacts and mitigation*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), National and Kapodistrian University of Athens and FAO FOLUR IP Project.
- Aringazina, A., Kuandikov, T. and Arkhipov, V. (2018). *Burden of cardiovascular diseases in Central Asia*. *Central Asian Journal of Global Health*, 7 (1), p. 321. <https://doi.org/10.5195/cajgh.2018.321>
- Behera, S.N., Sharma, M., Aneja, V.P. and Balasubramanian, R. (2013). *Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies*. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, pp. 8092–8131. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2051-9>
- Cape, J.N., Sutton, M.A., Reis, S. and Baker, S.M. (eds) (2009). *Critical Levels for Ammonia*. In: Sutton, M.A., Reis, S. and Baker, S.M. (eds) *Atmospheric Ammonia*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9121-6_22
- Clean Air Fund (2025). The unequal impact of air pollution on women. Available at: <https://www.cleanairfund.org/news-item/impact-of-air-pollution-on-women> [Accessed 28 August 2025].
- Council of the European Union (2011). ST 6771 2011 INT: Commission staff working paper establishing guidelines for demonstration and subtraction of exceedances attributable to natural sources under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe. Available at: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST%206771%202011%20INIT/EN/pdf>. [Accessed 28 August 2025].
- Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. 16 of 30 January 2025 'On the State Programme for the Implementation of the Strategy "Uzbekistan – 2030" in the Year of Environmental Protection and the Green Economy'. Available at: <https://lex.uz/ru/docs/7369745> [Accessed 30 June 2025].
- Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. 5863 of 30 October 2019 'On Approval of the Concept of Environmental Protection of the Republic of Uzbekistan until 2030'. Available at: <https://lex.uz/docs/4574010?ONDATE=17.03.2021> [Accessed 30 June 2025].
- Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. 81 of 31 May 2023 'On Measures to Transform the Sphere of Ecology and Environmental Protection and Organize the Activities of the Authorized Body'. Available at: <https://lex.uz/ru/docs/6479185> [Accessed 30 June 2025].

European Environment Agency (EEA) (n.d.). *European Air Quality Index*. Available at: <https://airindex.eea.europa.eu/AQI/index.html>. [Accessed 15 September 2025].

European Environment Agency (EEA) (2024). *Emissions of air pollutants from transport in Europe*. Published 28 Oct 2024. Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/emissions-of-air-pollutants-from> [Accessed 24 August 2025].

European Environment Agency (EEA) (2025). *European Zero Pollution Dashboards: Ammonia emissions from agriculture and other sources (indicator)*. Interactive chart. Published 3 Mar 2025, modified 24 Apr 2025. Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/ammonia-emissions-from-agriculture-and-other-sources-indicator> [Accessed 5 July 2025].

European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) (2025a). *EMEP Monitoring Programme*. Available at: https://emep-ccc.nilu.no/monitoring-program?use_li=True [Accessed 24 August 2025].

European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) (2025b). *Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution: Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe*. Available at: <https://www.emep.int/> [Accessed 24 August 2025].

European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) and European Environment Agency (EEA) (2023). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023> [Accessed 15 September 2025].

European Union (2004). *Directive 2004/107/EC relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air*.

European Union (2007). *Directive 2007/2/EC establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)*.

European Union (2008). *Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe*.

European Union (2015). *Directive 2015/1480 of 28 August 2015 amending several annexes to Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council*.

European Union (2024). *Directive (European Union) 2024/2881 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2024 on ambient air quality and cleaner air for Europe*.

Finnish Meteorological Institute (FMI) (2025a). *Description of quality manual for air quality measurements of the Finnish Meteorological Institute*. Available at: https://expo.fmi.fi/ages/public/Ilmatieteen_laitoksen_ilmanlaatumittausten_laatujaarjestelmien_kuvaus.pdf [Accessed 30 April 2025].

Finnish Meteorological Institute (FMI) (2025b). *Air quality now* (webpage). Available at: <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/air-quality> [Accessed 30 April 2025].

Finnish Meteorological Institute (FMI) (2025c). *Open data – free download page*. Available at: <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/open-data> [Accessed 30 April 2025].

Helsinki Region Environmental Services (HSY) (2023). *HSY Air Quality Plans*. Updated 16 March 2023. Available at: <https://www.hsy.fi/en/air-quality-and-climate/air-protection-and-health/air-quality-plans/> [Accessed 30 April 2025].

- International Energy Agency (IEA) (2025). *Uzbekistan: Natural gas supply*. Available at: <https://www.iea.org/countries/uzbekistan/natural-gas> [Accessed 30 April 2025].
- Lan, Z., Lin, W. and Zhao, G. (2024). *Sources, variations and effects on air quality of atmospheric ammonia*. *Current Pollution Reports*, 10, pp. 40–53. <https://doi.org/10.1007/s40726-023-00291-6>
- Law of the Republic of Uzbekistan No. 353-I of 27 December 1996 'On Atmospheric Air Protection'. Available at: <https://lex.uz/docs/58400c> [Accessed 30 June 2025].
- Law of the Republic of Uzbekistan No. 754-XII of 9 December 1992 'On Environmental Protection'. Available at: <https://lex.uz/docs/7065> [Accessed 30 June 2025].
- Law of the Republic of Uzbekistan No. 3PY-363 of 27 December 2013 'On Ecological Control'. Available at: <https://lex.uz/ru/docs/2304949> [Accessed 30 June 2025].
- Li, T., Cohen, A.J., Krzyzanowski, M., Zhang, C., Gummy, S., Mudu, P., Pant, P., Liu, Q., Kan, H., Tong, S. and Chen, S. (2025). *Sand and dust storms: a growing global health threat calls for international health studies to support policy action*. *The Lancet Planetary Health*, 9 (1), pp. e34–e40.
- Lovarelli, D., Fugazza, D., Costantini, M., Conti, C., Diolaiuti, G. and Guarino, M. (2021). *Comparison of ammonia air concentration before and during the spread of COVID-19 in Lombardy (Italy) using ground-based and satellite data*. *Atmospheric Environment*, 259, p. 118534.
- Ministry of the Environment (Finland) (2019). *National Air Pollution Programme 2030*. Helsinki, Finland, 21 May 2019. URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-020-0> [Accessed 23 June 2025].
- Ministry of the Environment (Finland) (2023). *First update of the National Air Pollution Control Programme 2030*. Helsinki, Finland, 21 May 2023. URN: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-426-0> [Accessed 23 June 2025].
- National Statistics Committee of the Republic of Uzbekistan (2025a). *Demographics: Number of permanent population*. Available at: <https://www.stat.uz/ru/ofitsialnaya-statistika/demography> [Accessed 6 May 2025].
- National Statistics Committee of the Republic of Uzbekistan (2025b). *National reporting on Sustainable Development Goal 8 (Decent Work and Economic Growth)*. Available at: <https://nsdg.stat.uz/goal/11> [Accessed 28 August 2025].
- National Statistics Committee of the Republic of Uzbekistan (2025c). *Demographics: Number of deaths*. Available at: <https://stat.uz/ru/ofitsialnaya-statistika/demography> [Accessed 29 August 2025].
- Papatheodorou, S. and Achilleos, S. (2025). *Epidemiological insights into the health impacts of dust storms*. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 46, p. 100626. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2025.100626>
- Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan No. 338 of 24 September 2024 'On Priority Measures to Combat Dust Storms and Improve Air Quality'. Available at: <https://lex.uz/ru/docs/7112444> [Accessed 30 June 2025].
- Rolph, G.D., Stein, A.F. and Stunder, B.J.B. (2017). *Real-time Environmental Applications and Display System: READY*. *Environmental Modelling & Software*, 95, pp. 210–228.
- SIAT (Integrated System of Statistical Information of Uzbekistan) (2025). *Pollutants released into the atmosphere*. Available at: <https://siat.stat.uz/reports-filed/1569/map-data> [Accessed 15 September 2025].

The UK National Atmospheric Emission Inventory (NAEI) (2025). *Ammonia* (webpage). Available at: <https://naei.energysecurity.gov.uk/air-pollutants/ammonia> [Accessed 30 April 2025].

Touloumi, G., Katsouyanni, K., Zmirou, D., Schwartz, J., Spix, C., de Leon, A.P., Tobias, A., Quennel, P., Rabcsenko, D., Bacharova, L., Bisanti, L., Vonk, J.M. and Ponka, A. (1997). *Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: a combined analysis within the APHEA project*. *American Journal of Epidemiology*, 146 (2), pp. 177–185. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009249>

United Nations Children's Fund (UNICEF) (2022). *Multiple Indicator Cluster Survey (MICS) for Uzbekistan 2021–2022*. Available at: https://mics.unicef.org/sites/mics/files/Uzbekistan%202021-22%20MICS%20SFR_Russian%20%5B2023-02-23%5D.pdf [Accessed 28 August 2025].

United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) (n.d.) *Sand and Dust Storms Toolbox*. Available at: <https://www.unccd.int/land-and-life/sand-and-dust-storms/toolbox>. [Accessed 28 August 2025]

United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (n.d.). *Introduction: the Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-making and Access to Justice in Environmental Matters*. Available at: <https://unece.org/environment-policy/public-participation/aarhus-convention/introduction>. [Accessed 29 August 2025]

United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (n.d.). *The Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution: The Convention and its achievements*. Available at: <https://unece.org/environmental-policy/air/convention-and-its-achievements> [Accessed 29 August 2025]

United Nations General Assembly (2022). *The human right to a clean, healthy and sustainable environment: resolution adopted by the General Assembly, A/RES/76/300*. Available at: <https://docs.un.org/en/A/RES/76/300>. [Accessed 29 August 2025]

UN Women (2024). *Uzbekistan: Country data and profiles*. Available at: <https://data.unwomen.org/country/uzbekistan> [Accessed 28 August 2025].

United States Environmental Protection Agency (US EPA) (n.d.). *AirNow – Air Quality Data Portal*. Available at: <https://gispub.epa.gov/airnow/>. [Accessed 15 September 2025]

United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2025). *Improving indoor air quality* (webpage). Available at: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/improving-indoor-air-quality> [Accessed 24 August 2025].

UPL (2025). *A dust storm enveloped the entire Termez*. Published 9 April 2025. Available at: <https://upl.uz/eco/50732-news.html>. [Accessed 30 April 2025].

Upstream (2025). *Uzbekistan reports fourth blowout at troubled gas project*. Published 6 May 2025. Available at: <https://www.upstreamonline.com/safety/uzbekistan-reports-fourth-blowout-at-troubled-gas-project/2-1-1815492> [Accessed 1 October 2025].

Van Damme, M., Clarisse, L., Whitburn, S., Hadji-Lazaro, J., Hurtmans, D., Clerbaux, C. and Coheur, P.-F. (2018). *Global distributions, time series and error characterization of atmospheric ammonia (NH₃) from IASI satellite observations*. *Nature*, 564, pp. 99–103. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0747-1>

World Meteorological Organization (WMO) (2025). *GAW stations network and other measurements* (webpage). Available at: <https://community.wmo.int/en/activity-areas/gaw/research-infrastructure/gaw-stations> [Accessed 24 August 2025].

World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) (2016). *The cost of air pollution: strengthening the economic case for action*. Washington, DC: World Bank. Available at: <http://hdl.handle.net/10986/25013> [Accessed 30 April 2025].

World Bank (2019). *Energy vulnerability in female-headed households: findings from the "Listening to Citizens of Uzbekistan" survey*. Available at: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/768871580801924356/pdf/Energy-Vulnerability-in-Female-headed-Households-Findings-from-the-Listening-to-Citizens-of-Uzbekistan-Survey.pdf> [Accessed 30 April 2025].

World Bank (2024). *Air quality assessment for Tashkent and the roadmap for air quality management improvement in Uzbekistan*. Washington, DC: World Bank.

World Health Organization (WHO) (2018). *More than 90% of the world's children breathe toxic air every day*. News release. Available at: <https://www.who.int/news/item/29-10-2018-more-than-90-of-the-worlds-children-breathe-toxic-air-every-day> [Accessed 30 April 2025].

World Health Organization (WHO) (2021). *WHO Global Air Quality Guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228> [Accessed 30 April 2025].

World Health Organization (WHO) (2024). *Ambient (outdoor) air pollution* (fact sheet). Available at: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) [Accessed 30 April 2025].

World Health Organization (WHO) (2025a). *Air quality, energy and health: health impacts, types of pollutants*. Available at: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants> [Accessed 29 April 2025].

World Health Organization (WHO) (2025b). *Air pollution* (webpage). Available at: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 [Accessed 30 April 2025].

Xabar (2025). *Another hydrogen sulfide emission occurred at the M-25 oil field in Surkhandarya*. Published 5 May 2025. Available at: <https://www.xabar.uz/ru/mahalliy/boysundagi-m-25-koni-boyicha-rasmiy-malum> [Accessed 16 June 2025].

Zamin Foundation (2025). *Automation of atmospheric air pollution monitoring*. Available at: <https://zaminfoundation.ngo/en/project-info/a79936a1-bdd3-4126-bf69-89e2ecfe23ee> [Accessed 30 April 2025].

Особая благодарность партнерам ЮНЕП за оказание финансовой поддержки. На протяжении более 50 лет ЮНЕП является ведущей всемирной экологической организацией, мобилизующей действия на основе научных данных, улучшающим уровень осведомленности, опыт и объединяющим заинтересованные стороны.

Основная программа работы ЮНЕП осуществляется благодаря гибким взносам государств-членов и других партнеров в Фонд охраны окружающей среды и планетарные фонды ЮНЕП. Эти средства позволяют принимать гибкие инновационные решения в области изменения климата, утраты природной среды и биоразнообразия, загрязнения и образования отходов.

Поддержите ЮНЕП! Больше инвестиций в людей и планету!
www.unep.org/funding