



Геоэкологические проблемы атмосферы

Атмосфера поддерживает жизнь, но
загрязнение меняет климат, здоровье и
экосистемы.



Почему атмосфера стала одной из главных геоэкологических проблем

Во второй половине XX — начале XXI века антропогенные выбросы резко выросли из-за индустриализации, роста транспорта и энергопотребления. Концентрация CO_2 превысила 420 ppm при доиндустриальных ~280 ppm. Перенос загрязнений связывает страны общими рисками.



Состав атмосферы и её уязвимость



Основные газы

Азот составляет около 78%, кислород — примерно 21%, аргон — около 0,93%, углекислый газ — около 0,04%. Важна не доля, а то, как следовые вещества запускают экологические реакции.



Роль малых примесей

Небольшие концентрации оксидов азота и серы, метана и приземного озона, а также твердых частиц и аэрозолей определяют значимые риски. Их рост ухудшает прозрачность воздуха и влияет на самочувствие людей.



Прозрачность и радиация

Изменения состава атмосферы отражаются на прохождении солнечного света: увеличивается рассеяние и поглощение. Следом меняются условия для химических процессов, а значит — и формирование вторичных загрязнителей.



Химическая «реакционность»

В атмосфере идут цепочки фотохимических превращений и взаимодействия загрязнителей. Даже небольшие изменения концентраций смещают баланс реакций, что отражается на образовании озона и аэрозолей.



Почему загрязнение «расползается»

Постоянное перемешивание воздушных масс помогает переносить вещества далеко от источника. В результате местные выбросы способны проявляться региональными эффектами и требуют оценки на больших территориях.



Основные источники загрязнения атмосферы

Энергетика и промышленность

Тепловые электростанции, металлургия и цементное производство выбрасывают диоксид серы, оксиды азота и твердые частицы. Особенно заметны выбросы при работе на угле и мазуте, а также при неполном контроле пылегазовых потоков.

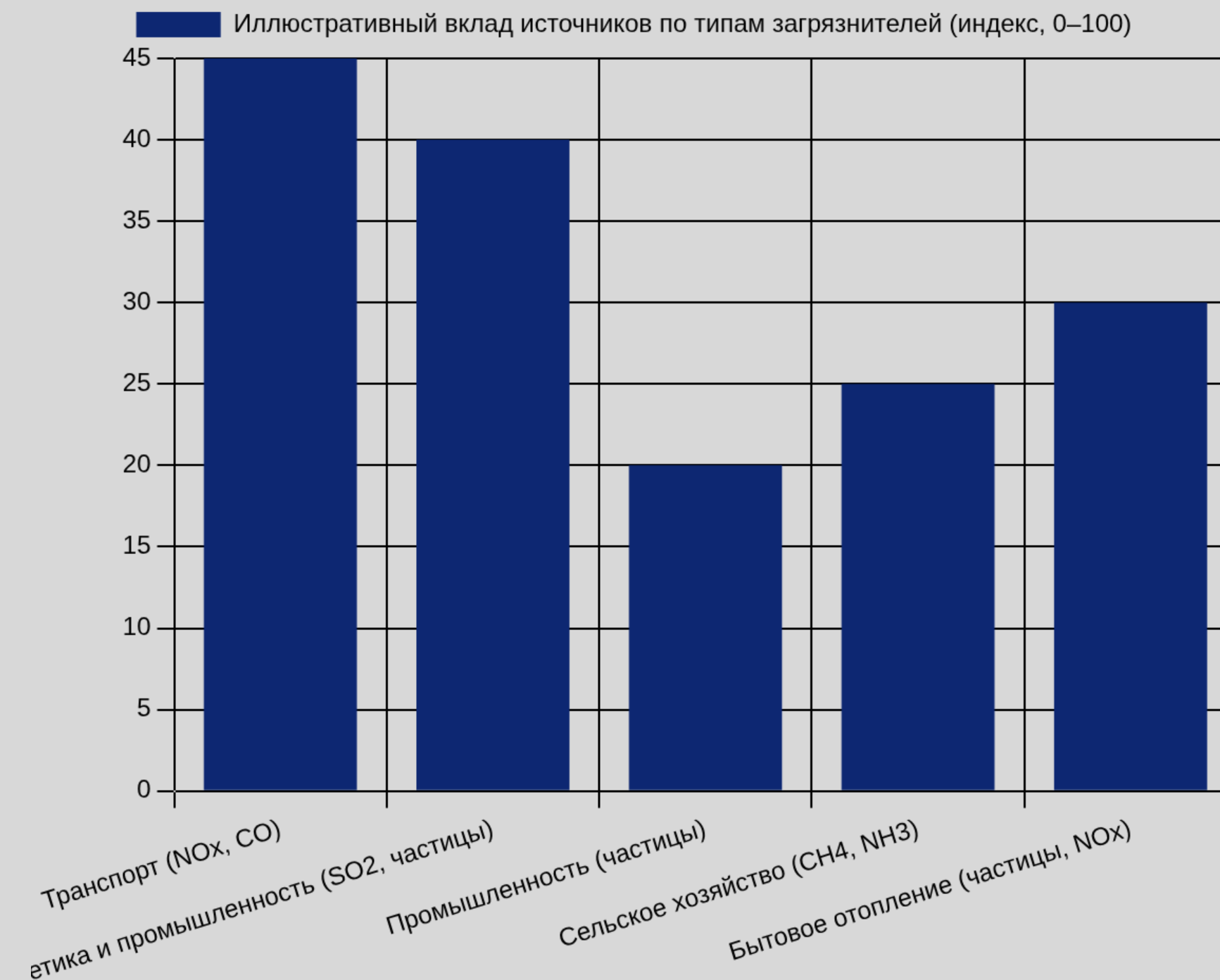
Транспорт, быт и сельское хозяйство

В городах автотранспорт становится главным источником оксидов азота, угарного газа и сажи. Бытовое отопление усиливает локальные загрязнения, а сельское хозяйство связано с метаном и аммиаком; при этом предприятия дают комплекс газов и пыли.

Вклад основных источников в загрязнение воздуха

У разных категорий различаются «наборы» веществ: одни сильнее нагружают NO_x, другие — SO₂ и пылевую фракцию.

Вывод: загрязнение неодинаково по составу и масштабам воздействия, поэтому меры должны подстраиваться под конкретные источники.



Учебная визуализация: индексы (0–100) без привязки к конкретному городу; точные доли зависят от региона и года.

Как загрязнения распространяются в атмосфере

1 Атмосферная циркуляция переносит примеси на сотни и тысячи километров, поэтому эффекты ощущаются не только «рядом с трубой», но и в соседних районах и странах. Это важно при планировании мер.

2 Температурные инверсии мешают вертикальному перемешиванию: загрязнения дольше остаются у поверхности. При этом воздух в городе прогревается неодинаково, и высота «рассеивания» уменьшается.

3 Слабый ветер, высокая влажность и плотная застройка усиливают накопление аэрозолей и газов. В таких условиях даже умеренные выбросы приводят к росту концентраций и более длительным периодам неблагоприятного воздуха.

4 Зимой часто складываются худшие условия для рассеивания примесей, а летом возрастает фотохимическая активность. Это повышает вероятность вторичного загрязнения, включая образование приземного озона и новых частиц.

Как формируется смог

Ключевая логика смолообразования: выбросы → накопление → фотохимия → вторичные загрязнители → ухудшение качества воздуха



Парниковый эффект и изменение климата

1

Естественный парниковый эффект обеспечивает тепловой баланс: CO_2 , CH_4 , N_2O и водяной пар задерживают часть теплового излучения. Без него средняя температура поверхности была бы существенно ниже.

2

Усиление эффекта связано с ростом концентраций парниковых газов при сжигании ископаемого топлива, вырубке лесов и сельскохозяйственной деятельности. Эти источники изменяют состав атмосферы быстрее естественных процессов.

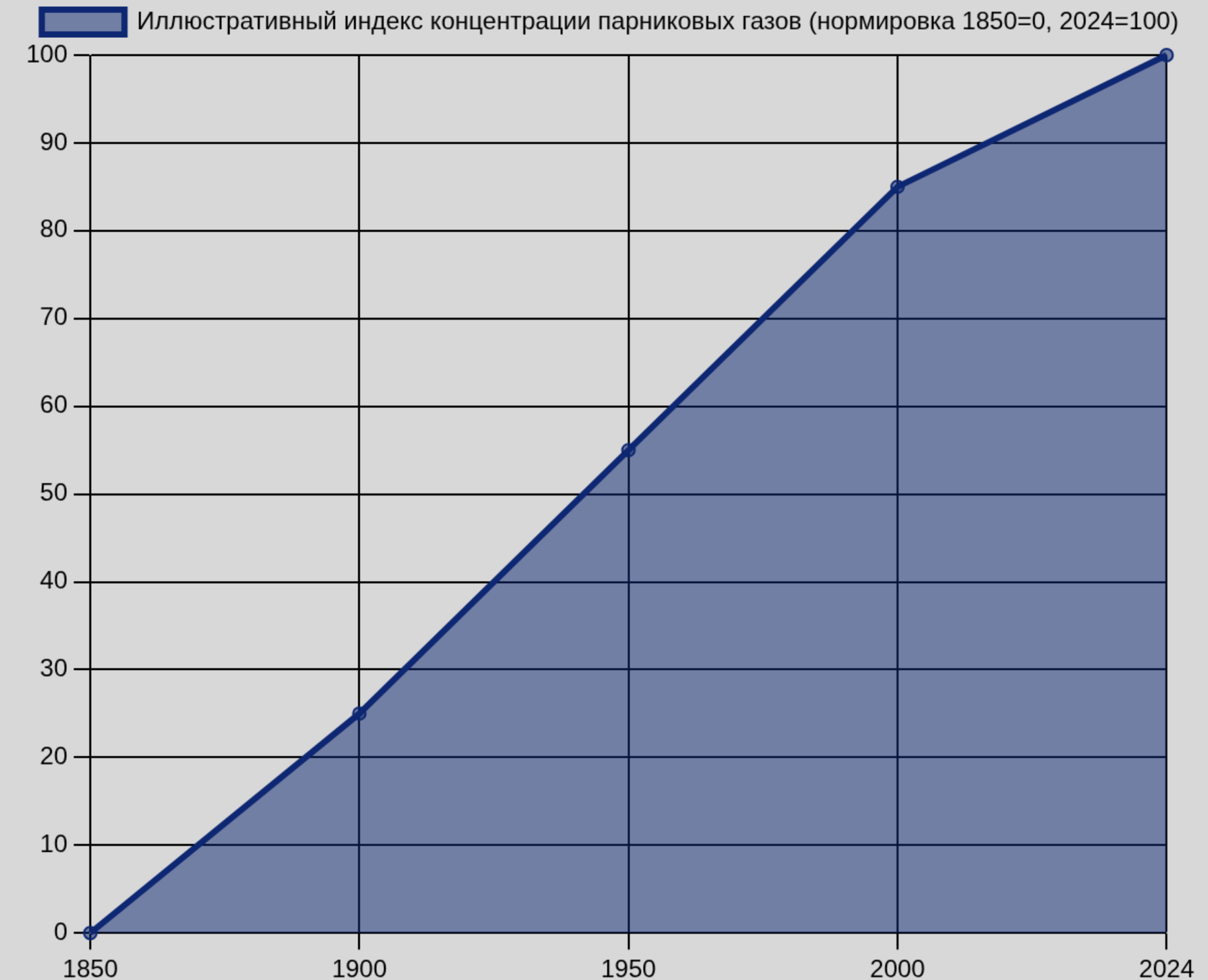
3

Последствия проявляются повышением средней температуры, учащением волн жары, засух и сильных ливней, а также таянием ледников. Дополнительно меняются условия циркуляции атмосферы и распределение осадков.

Рост концентрации парниковых газов

На графике заметно, что скорость роста усиливается после середины XX века на фоне индустриального расширения и массового использования нефти, газа и угля.

Тренд показывает связь между хозяйственной деятельностью человека и изменением состава атмосферы, что влияет на климатическую систему.



Учебная иллюстрация: индекс (1850=0, 2024=100) для демонстрации характера динамики; точные значения зависят от выбранного ряда и газов.

Кислотные осадки и их последствия

- 1** Кислотные осадки возникают, когда в атмосфере диоксид серы и оксиды азота превращаются в серную и азотную кислоты. Затем соединения попадают в дождь, снег, туман и сухие осадки.
- 2** Подкисление затрагивает почвы и водоемы: вымываются элементы вроде кальция и магния, нарушается химический баланс. В результате растения хуже переносят стресс, а лесные экосистемы становятся менее устойчивыми.
- 3** Кислотность ускоряет коррозию металлов и разрушает материалы на основе карбонатов. Особенно заметны эффекты на зданиях, мостах и памятниках из известняка, мрамора и подобных пород.
- 4** Цепочка последствий затрагивает и среду обитания человека: ухудшается состояние растительности, снижается качество водных экосистем, а ремонт инфраструктуры требует дополнительных затрат. Поэтому профилактика выбросов жизненно важна.

Сравнение ключевых атмосферных загрязнителей

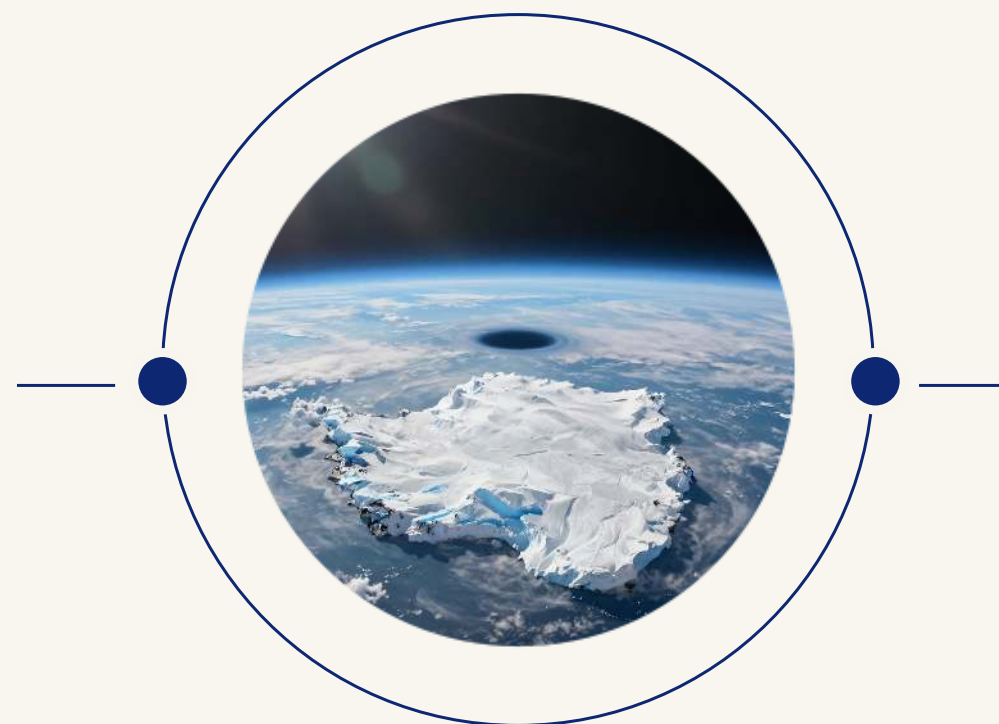
Таблица сопоставляет вещества по источникам, «времени жизни» в атмосфере и ключевым эффектам. Сравнение показывает, что одни примеси остаются преимущественно локальными, а другие успевают распространиться на большие территории.

Самыми критичными для городской среды по сочетанию воздействия и характерного происхождения обычно называют PM2.5 и приземный озон: они формируются как из первичных выбросов, так и в результате фотохимии, поэтому часто присутствуют в повседневных экспозициях.

Вещество	Основные источники	Время в атмосфере	Главные эффекты
PM2.5	Транспорт, ТЭС, пожары, пыль	Дни	Воспаления дыхательных путей, ухудшение видимости
NO2	Транспорт, энергетика	Дни	Раздражение дыхательных путей, вклад в смог
SO2	Сжигание сернистого топлива	Дни	Кислотные реакции, кислотные осадки
CO	Неполное сгорание топлива	Дни-недели	Снижение доставки кислорода крови
O3 (приземн.)	Вторичное образование	Часы–дни	Раздражение, рост риска астмы

Озоновый слой и защита от ультрафиолета

Стратосферный озоновый слой поглощает большую часть жесткого ультрафиолета UV-B и снижает риск ожогов, мутаций и повреждения ДНК. Ослабление защиты опасно для экосистем и медицины.

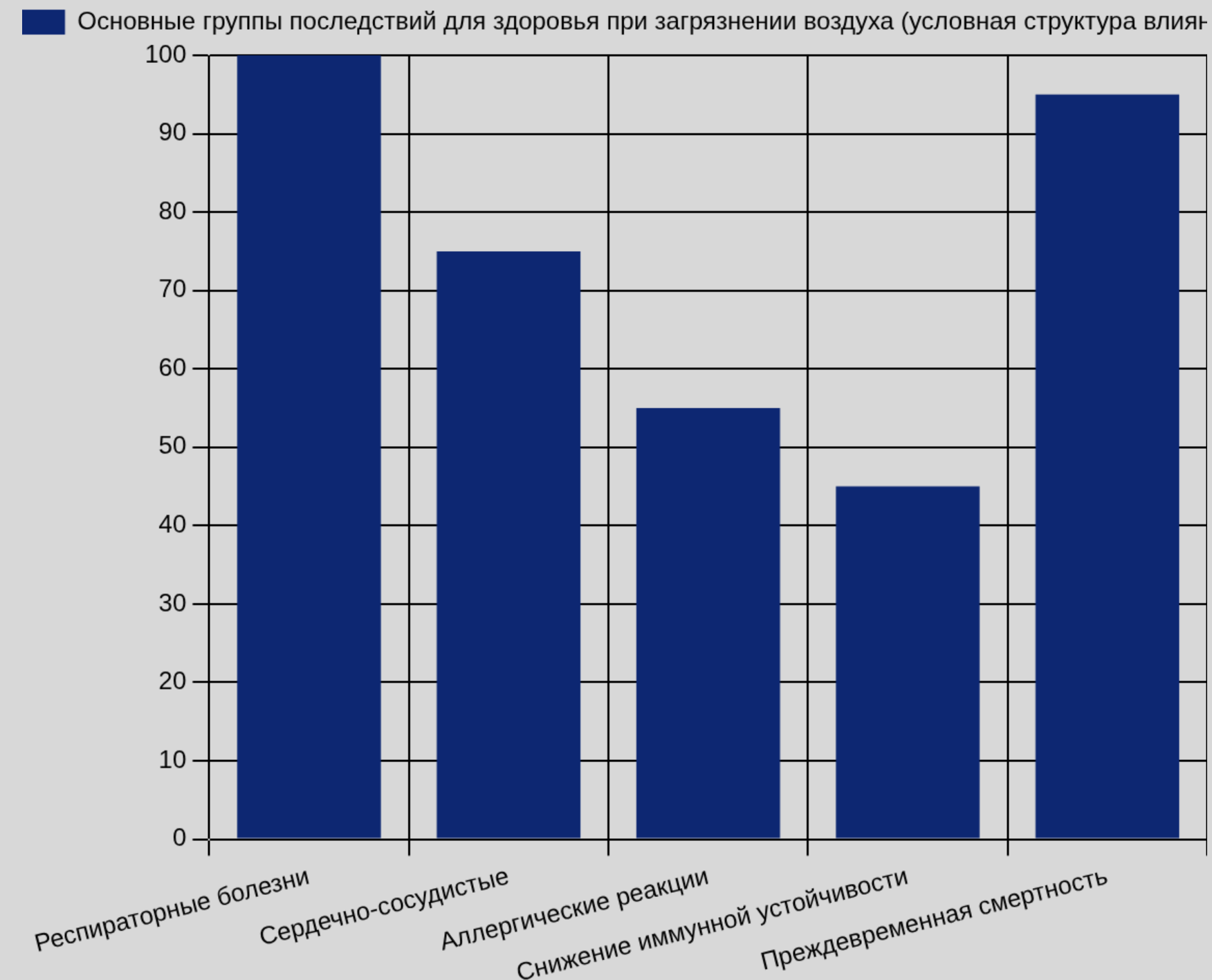


Разрушение озона связано с фреонами и галогенсодержащими соединениями: под действием солнечного света высвобождаются активные хлор и бром. Открытая в 1980-х «озоновая дыра» над Антарктидой стала причиной международных ограничений, включая Монреальский протокол 1987 года.

Воздействие загрязненного воздуха на здоровье человека

Помимо отдельных заболеваний, длительная экспозиция ухудшает восстановление организма и усиливает хроническое течение болезней у людей с уже имеющимися диагнозами.

Загрязнение воздуха действует комплексно: чаще всего страдают дыхательная и сердечно-сосудистая системы, а общий риск формируется суммарным эффектом нескольких загрязнителей.



ВОЗ; структура последствий приведена как обзорный ориентир (числа на диаграмме — условные для визуализации, без претензии на точные доли).

Городская среда как зона максимального риска



Плотность и «постоянные» источники

В городах усиливается нагрузка на атмосферу из-за высокой плотности населения, трафика, промзон и застройки. Люди получают более длительную экспозицию, потому что выбросы происходят почти ежедневно и локально.



«Острова тепла» и перегрев

Поглощение тепла городскими поверхностями меняет температуру воздуха и локальные циркуляции. В результате ухудшается обмен воздушных масс, и примеси дольше удерживаются в приземном слое, повышая риски для здоровья.



Магистралы и пики NO₂

На дорогах с интенсивным движением часто фиксируют повышенные концентрации NO₂, сажи и мелких частиц, особенно в утренние и вечерние часы пик. Это усиливает нагрузку на жителей вдоль транспортных коридоров.



Плохое проветривание дворов

Узкие улицы, высотные дома и закрытые дворы уменьшают рассеивание примесей. Из-за этого концентрации могут «задерживаться» на уровне дыхательных зон, а не уходить из района за считанные часы.

Мониторинг атмосферных рисков

Как система измерений и прогнозов превращает данные о выбросах в предупреждения для населения



Международные и национальные меры по защите атмосферы

1

На международном уровне ключевую роль играют Киотский протокол и Парижское соглашение: они задают обязательства по сокращению выбросов парниковых газов и ограничению роста глобальной температуры.

2

В стране применяются стандарты топлива и нормативы выбросов для предприятий и транспорта, развитие газоочистки и модернизация теплоэнергетики. Отдельный акцент делают на энергоэффективности зданий и снижении потерь.

3

Регулирование качества воздуха строится на сочетании государственного контроля, технологических решений и программ перехода на более чистые источники. Существенны экологический надзор промышленности и расширение общественного транспорта.

Практические способы снижения выбросов

1

Эффект дают меры на источнике: газоочистные установки на ТЭЦ и заводах, переход на возобновляемую энергетику, электрификация транспорта и последовательное снижение использования угля в производстве энергии.

2

Для уменьшения бытовых и городских выбросов важны раздельный сбор отходов, сокращение открытого сжигания мусора, термомодернизация зданий и повышение энергоэффективности бытовых приборов. Это снижает и расход ресурсов.

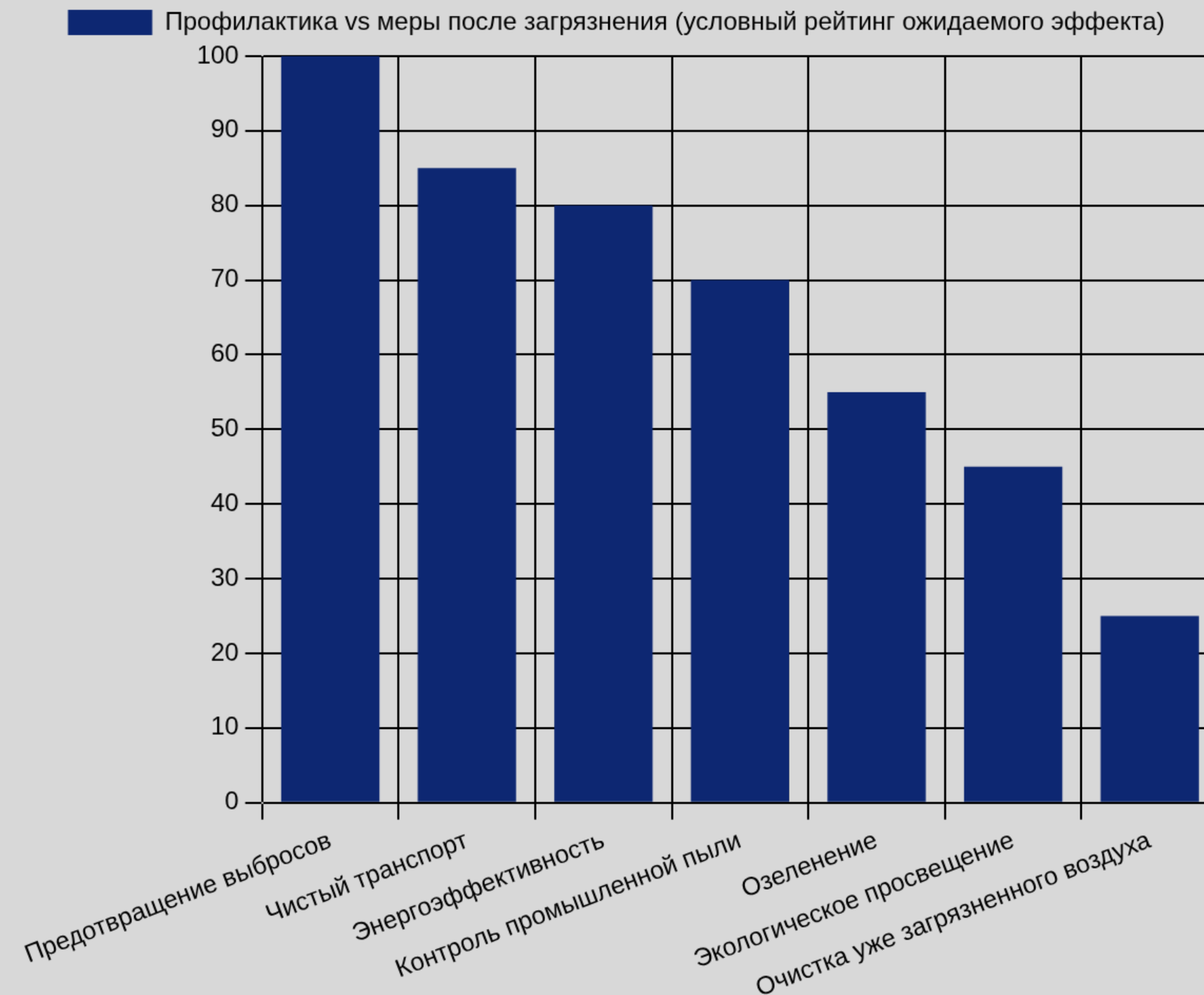
3

Озеленение помогает улучшать микроклимат: меньше пыли и перегрева в жару, благоприятнее условия для повседневной активности. На уровне семьи и школы — экономия электроэнергии и разумное использование транспорта.

Приоритеты профилактики загрязнения атмосферы

На практике профилактика наиболее эффективна, потому что снижает нагрузку на системы очистки и уменьшает число дней с повышенными концентрациями в течение года.

Суммарный результат для города часто формируется комбинацией энергетики и транспорта: чем меньше первичных выбросов, тем ниже фон и вероятность формирования вторичного загрязнения.



Обобщение подходов экологической политики; значения на диаграмме — условная шкала для ранжирования, а не измеренные показатели.

Показатели экологической оценки состояния атмосферы

Территория	PM2.5/PM10	NO2/O3	Индекс/дни превышений
Центр города	выше	высокие пики	больше дней
Промышленная зона	часто повышены	вариативно	нередко длительные
Жилой район	средние	умеренные	зависит от трафика
Фоновая территория	ниже	ниже	минимальные

В таблице показано, как по единому набору параметров можно сравнить разные части территории и выделить районы с более высокой и устойчивой экспозицией загрязнению.

Приоритет природоохранных мер обычно смещается в районы с длительными превышениями и высокой плотностью населения: именно там риск для здоровья и социальные затраты наибольшие.

Картирование по данным регулярного мониторинга качества воздуха (типовые показатели: PM2.5, PM10, NO2, O3, индексы и число дней превышений нормативов).

Атмосфера нуждается в системной защите

Геоэкологические проблемы атмосферы связывают климат, качество жизни, здоровье людей и устойчивость природных систем. Общие причины — энергетика, транспорт, промышленность и нерациональное природопользование, поэтому защита должна быть превентивной, опираться на мониторинг и международное сотрудничество.

