

ЛАБОРАТОРНАЯ

РАБОТА

№ 1

Экологическое загрязнение атмосферы

История вопроса

До *XIX* века загрязнение атмосферы не было экологической проблемой, т.к. единственным источником загрязнения было употребление огня, а его последствия были незначительны.

Но за последние сто лет развитие промышленности "одарило" нас такими производственными процессами, последствия которых вначале человек еще не мог себе представить. Возникли города-миллионеры, рост которых остановить нельзя. Все это результат великих изобретений и завоеваний человека.

Проблема загрязнения атмосферы распространена по всему земному шару, но наиболее масштабна она в районах большого сосредоточения крупных городов и промышленных районов.

К примеру по выбросу углерода в атмосферу лидируют США (1220 млн т), Россия (800 млн т) и Китай (600 млн т)

Проблема загрязнения атмосферного воздуха - одна из серьезнейших глобальных проблем, с которыми столкнулось человечество. Опасность загрязнения атмосферы - не только в том, что в чистый воздух попадают вредные вещества, губительные для живых организмов, но и в вызываемом загрязнением изменении климата Земли.

Под загрязнением понимается процесс привнесения в воздух или образование в нем физических агентов, химических веществ или организмов, неблагоприятно воздействующих на среду жизни или наносящих урон материальным ценностям.



Причины загрязнения атмосферного воздуха Земли

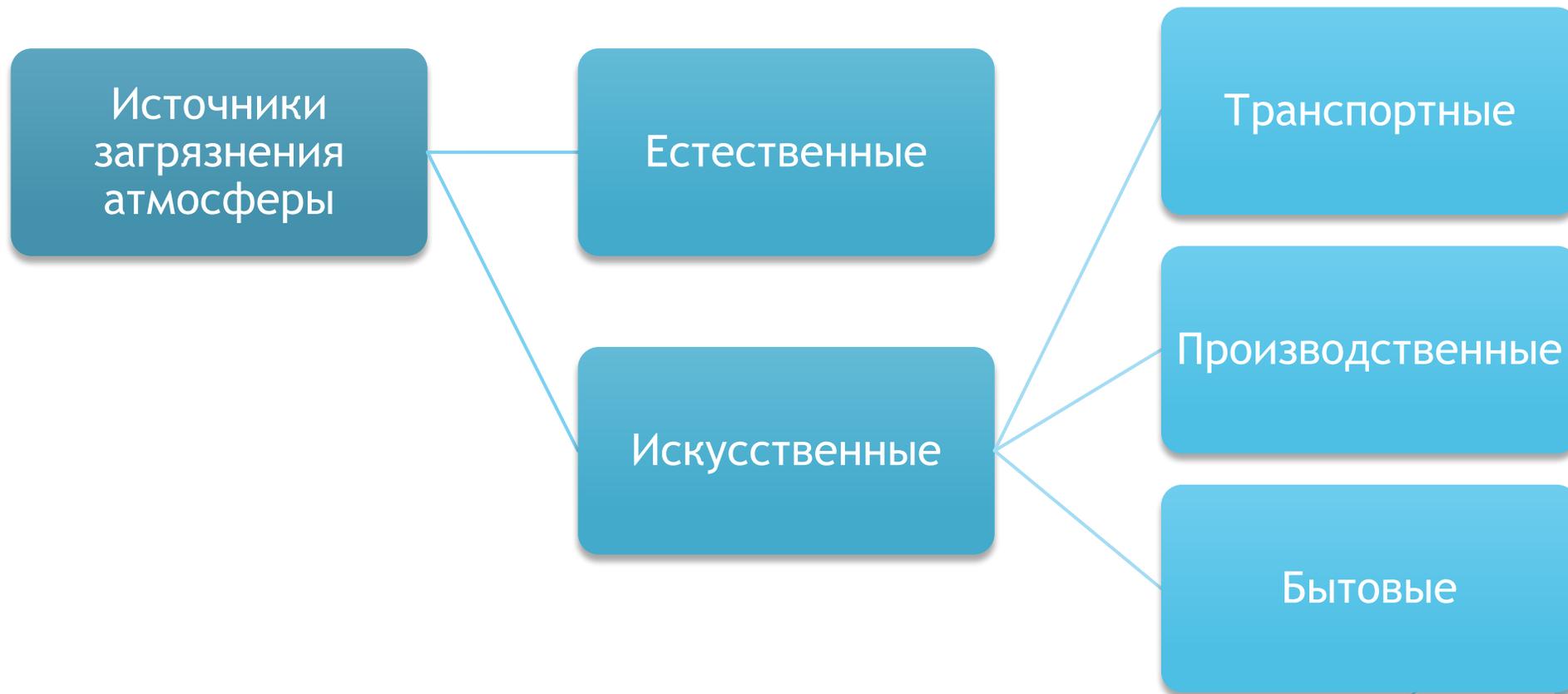
Основной причиной загрязнения воздуха является попадание в него нехарактерных физических, химических и биологических веществ, а также изменение их естественной концентрации.

Это происходит в результате как природных процессов, так вследствие деятельности человека. Причем именно человек играет большую роль в загрязнении атмосферы. Причиной большей части химических и физических загрязнений является сжигание углеводородного топлива при производстве электрической энергии и при работе двигателей транспортных средств.

Один из наиболее токсичных газов, поступающих в атмосферу в результате человеческой деятельности - озон. Ядовит и свинец, содержащийся в выхлопных газах автомобилей. Среди других опасных загрязнителей - угарный газ, оксиды азота и серы, а также мелкая пыль.



Основные источники загрязнения атмосферного воздуха планеты



Основные источники загрязнения атмосферного воздуха планеты

Так как факторы загрязнения атмосферы могут быть связаны как с естественными природными процессами, так и с деятельностью человека, то все источники загрязнения принято делить на **естественные** и **искусственные** (антропогенные).

К **естественным** относят природные загрязнители минерального, растительного или микробиологического происхождения, поступающие в атмосферу в результате вулканических извержений вулканов, лесных пожаров. Кроме того, естественными загрязнителями воздуха являются пыль, образующаяся в результате разрушения горных пород, пыльца растений, выделения животных и т.п.

Искусственные (антропогенные) факторы загрязнения атмосферы делятся на *транспортные* — образующиеся при работе автомобилей, поездов, воздушного, морского и речного транспорта; *производственные* - выбросы, происходящие в результате технологических процессов; *бытовые* - образующиеся при сжигании топлива для отопления и приготовления пищи, а также при переработке бытовых отходов.

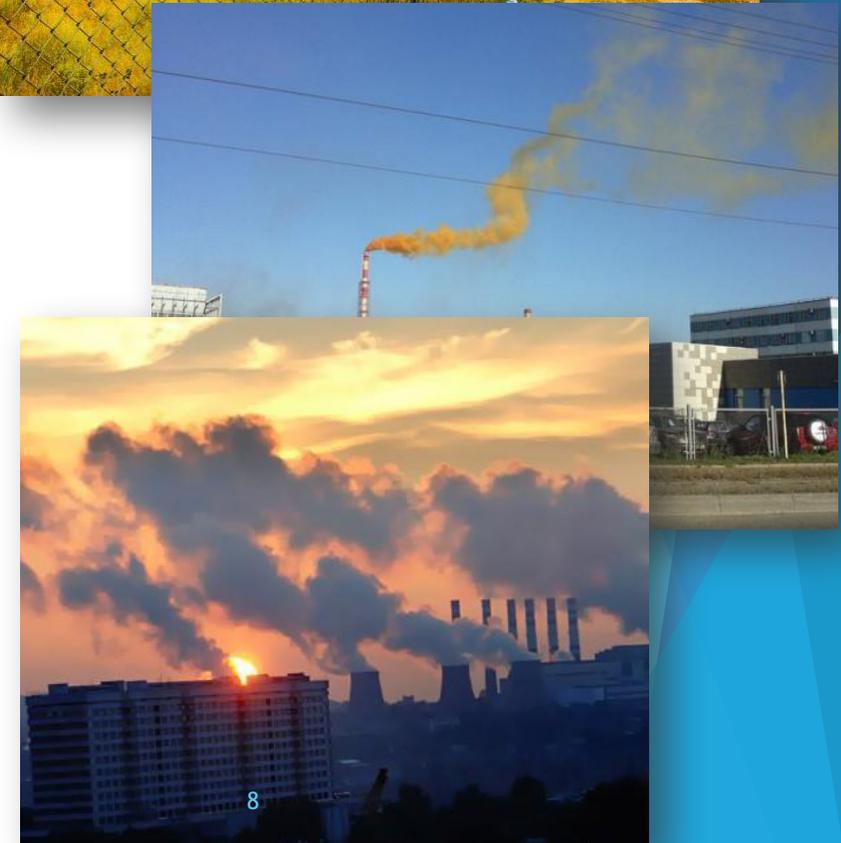
Основные виды загрязнений атмосферного воздуха Земли

В качестве основы для классификации загрязнений атмосферы берутся различные свойства: происхождение загрязнений, их природа, типы и виды источников.

Природа загрязнений может быть **физической**. К таким загрязнениям относятся твердые частицы (пыль), радиоактивное излучение и изотопы, различные виды электромагнитных волн, громкие звуки и низкочастотные колебания, а также выбросы тепла.

К **химическим** загрязнениям относят попадание в атмосферу газов и аэрозолей. Среди основных видов загрязнений атмосферы подобного рода - выбросы оксида углерода, оксидов азота, диоксида серы, углеводородов, альдегидов, тяжёлых металлов, аммиака, радиоактивных изотопов.

Биологическое загрязнение имеет, в основном, микробную природу. Это, прежде всего, споры бактерий и грибов, вирусы, а также продукты жизнедеятельности живых организмов.

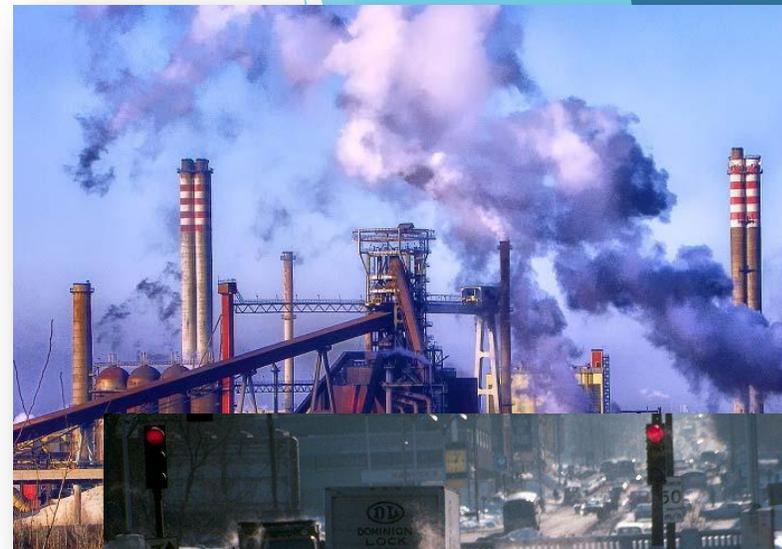


Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха Земли

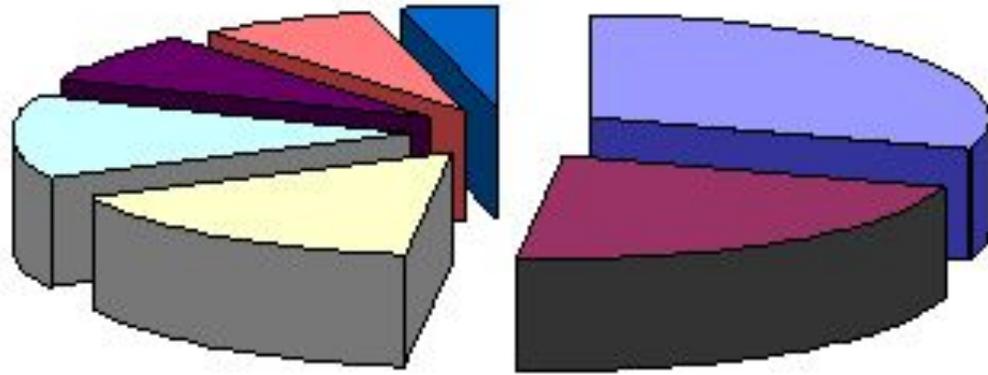
В процессе человеческой деятельности происходит загрязнение атмосферы выбросами различными газами, аэрозолями и твёрдыми частицами. Кроме того, человечество интенсивно «засоряет» атмосферу электромагнитным и радиационным излучением, тепловыми выбросами и так далее.

Именно на долю антропогенного загрязнения атмосферного воздуха приходится **основная доля вредных выбросов**. Кроме того, они более опасны, чем загрязнения природного происхождения.

Основные антропогенные источники загрязнения атмосферы: предприятия химической промышленности, где при технологических процессах может выделяться озон, опасный для живых организмов; тепловые электростанции, выделяющие диоксид углерода - «главный» парниковый газ, а также ядовитые оксиды азота и другие вещества; автомобильный транспорт, загрязняющий атмосферу угарным газом, свинцом, оксидами азота, летучими органическими веществами и сажей; холодильное оборудование и аэрозольные баллоны, содержащие фреоны - химические соединения, способствующие разрушению стратосферного озона и глобальному потеплению.



Источники загрязнения атмосферы



- Теплоэнергетика
- Автотранспорт
- Черная металлургия
- Производство строительных материалов
- Цветная металлургия
- Нефтепереработка
- Химическая промышленность

Группы загрязнителей атмосферы

- ▶ С учетом токсичности и потенциальной опасности загрязнителей, их распространенности и источников эмиссии они были разделены условно на несколько групп :
 - ▶ 1) основные (критериальные) загрязнители атмосферы – оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, углеводороды, твердые частицы и фотохимические оксиданты;
 - ▶ 2) полициклические ароматические углеводороды (ПАУ);
 - ▶ 3) следы элементов (в основном металлы);
 - ▶ 4) постоянные газы (диоксид углерода, фторхлорметаны и др.);
 - ▶ 5) пестициды;
 - ▶ 6) абразивные твердые частицы (кварц, асбест и др.);
 - ▶ 7) разнообразные загрязнители, оказывающие многостороннее действие на организм, озон, полихлорированные бифенилы (ПХБ), сульфаты, нитраты, альдегиды, кетоны и др.
- ▶ По агрегатному состоянию выбросы вредных веществ в атмосферу классифицируются на:
 - ▶ газообразные (диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, углеводороды и др.);
 - ▶ жидкие (кислоты, щелочи, растворы солей и др.);
 - ▶ твердые (канцерогенные вещества, свинец и его соединения, органическая и неорганическая пыль, сажа, смолистые вещества и прочие).

Концентрации загрязнителей атмосферы

Токсичные примеси	Источники эмиссии	Концентрация в городах мг/м ³	Концентрация в сельских районах мг/м ³
Оксид углерода	Автомобильные выхлопы	5,0	0,1
Диоксид серы	Сжигание нефти	0,2	0,002
Оксид азота	Горение (окисление)	0,2	0,002
Диоксид азота	Горение (окисление)	0,1	0,001
Озон	Атмосферные фотохимические реакции	0,3	0,01
Метан	Природный газ. Процессы гниения.	3,0	1,4
Этилен	Автомобильные выхлопы	0,05	0,001
Ацетилен	Автомобильные выхлопы	0,07	0,001
Пероксиацетилнитрат (ПАН)	Атмосферное фотоокисление олефинов	0,03	0,001
Олефины (С ₃ —С ₆)	Автомобильные выхлопы	0,02	0,001
Сумма углеводородов (кроме метана)	Автомобильные выхлопы	2,0	0,001
Аммиак	Гниение	0,010	0,005
Сероводород	Гниение	0,004	0,010
Формальдегид	Неполное сгорание	0,05	0,001

Загрязнение атмосферы автотранспортом

Автомобили на сегодняшний день в России- главная причина загрязнения воздуха в городах. Сейчас в мире их насчитывается более полумиллиарда. Выбросы от автомобилей в городах особенно опасны тем, что загрязняют воздух в основном на уровне 60- 90 см от поверхности Земли и особенно на участках автотрасс, где стоят светофоры.

Надо отметить, что особенно много канцерогенных веществ выделяется во время разгона, то есть во время работы двигателя на высоких оборотах.



Влияние выхлопных газов автомобилей на здоровье человека

Вещество	Заболевание человека
Угарный газ	Образует с гемоглобином крови прочное соединение – карбоксигемоглобин, что препятствует поступлению кислорода в кровь, вызывая кислородное голодание и, как следствие, психические заболевания
Оксиды серы и азота	Являются мутагенами, образуют кислотные дожди, смог, вызывают поражения кожи, отёк лёгких и другие заболевания дыхательных путей
Кадмий	Нарушает углеводный обмен в организме, поражает костную и половую системы. Онкологические заболевания
Свинец	Вызывает нарушения ЦНС у грудных детей. Поражает органы зрения и слуха, у взрослых провоцирует онкологические заболевания, импотенцию, болезни кровеносной системы и хронические заболевания дыхательной системы
Бензаперин	Онкологические заболевания

Смог

Смог (от английских слов smoke - дым и fog - туман). Термин введен Г. Антуаном в 1905 г.

Условия возникновения смога

- ▶ Наличие в атмосфере высокой концентрации оксидов азота, углеводородов и других загрязнителей
- ▶ Безветрие и высокое давление в приземном слое воздуха (антициклон)
- ▶ Мощная температурная инверсия

Виды смога

- ❖ **Ледяной смог** (аляскинского типа) характерен для высоких широт в зимнее время
- ❖ **Влажный смог** (лондонского типа) характерен для умеренных широт с влажным морским климатом, чаще наблюдается в осенне-зимний период при влажности воздуха около 100% и температуре около нуля
- ❖ **Сухой или фотохимический смог** (лос-анджелесского типа) представляет собой многокомпонентную смесь газов и аэрозольных частиц первичного и вторичного происхождения.

Методы и способы защиты атмосферного слоя Земли

Решение проблемы загрязнения воздуха требует согласованных действий на самых разных уровнях. На уровне правительств и международных организаций принимаются различные документы, обязывающие участников экономической деятельности сокращать вредные выбросы. К таким документам относятся Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой, Рамочная Конвенция ООН по изменению климата, экологическое законодательство государств. Одним из распространенных способов контроля парниковых выбросов (прежде всего - диоксида углерода), стали **углеродные квоты**, предполагающие, что каждый участник экономической деятельности (промышленное предприятие, транспортная компания) выкупает для себя право произвести выбросы в строго определенном объеме, превышение которого приведет к суровым штрафным санкциям.

На уровне конкретных источников вредных выбросов должны предприниматься меры по предотвращению или хотя бы снижению загрязнения воздуха. К таким мерам относится очистка воздуха от пыли, аэрозолей и газов. Наиболее действенные методы здесь - это инерционное («циклоны») или механическое (фильтрация) пылеулавливание, адсорбция газообразных загрязнений, дожигание продуктов сгорания.



Глобальные последствия загрязнения атмосферы Земли

В результате загрязнения атмосферы продуктами сгорания ископаемых видов топлива в атмосферу ежегодно поступает около 20 млрд. тонн углекислого газа, который относится к парниковым газам. Накопление парниковых газов **препятствует нормальному теплообмену** между Землей и космосом, сдерживает тепло, накапливаемое в результате хозяйственной деятельности и природных процессов.

Дальнейшее накопление углекислого газа в верхних слоях атмосферы приведет к **таянию ледников и подъему уровня Мирового океана**. Смещение климатических зон вызовет катастрофические наводнения, засухи и пыльные бури. Ухудшится здоровье населения, расширится ареал паразитов, переносчиков опасных инфекций.

Другое глобальное последствие загрязнения атмосферы, с которым человечество уже столкнулось - **разрушение озонового слоя**. Стратосферный озон, который поглощает жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца, разрушается из-за промышленных выбросов, содержащий хлор и бром, а также из-за фреонов, широко применяющихся в различных отраслях промышленности и быту.



Влияние загрязнения атмосферы на жизнь планеты

Вредные выбросы, поступающие в атмосферный воздух, являются фактором, воздействующим на самые разные процессы и объекты. И всё-таки, по понятным причинам, наибольшее значение имеют **исследования влияния загрязнения атмосферы на человека и на климат нашей планеты.**

Влияние загрязнения атмосферы на человека не ограничивается исключительно прямым воздействием содержащихся в воздухе примесей на работу организма. Хотя, безусловно, это крайне важный аспект. Так, присутствие во вдыхаемом воздухе оксида углерода (угарного газа) препятствует поступлению кислорода в кровь, что приводит к смерти человека. Соли тяжелых металлов, присутствующие в выхлопных газах автомобилей крайне токсичны, как и озон, являющийся побочным продуктом химической промышленности. Мелкодисперсная пыль, частички сажи, образующиеся при сгорании дизельного топлива, обладают канцерогенным действием.



Влияние загрязнения атмосферы на жизнь планеты

Кроме того, вредное воздействие загрязнений может проявляться и не напрямую. Скажем, фреоны, абсолютно безопасные для человека при вдыхании, попадая в верхние слои атмосферы, разлагаются и разрушают озоновый слой, защищающий человека (и всё живое вместе с ним) от жёсткого ультрафиолета.

Влияние загрязнения атмосферы на климат, также, в конечном счете, отрицательно воздействует на здоровье человека, так как приводит к сокращению площадей, пригодных для ведения сельского хозяйства (а это - голод), ведет к расширению ареала переносчиков опасных заболеваний, кроме того, простое повышение температуры воздуха может стать причиной учащения сердечнососудистых заболеваний.



Борьба с загрязнением атмосферы

В последнее время проблема загрязнения атмосферы, как и многие другие экологические проблемы, обострилась. Содержание вредных для здоровья веществ в воздухе крупнейших городов мира и в воздухе многих промышленных районов возрастает, вместе с этим возрастают и риски для здоровья.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), загрязненный воздух представляет собой одну из основных причин роста онкологических заболеваний. В марте 2019 года ВОЗ обнародовала данные, в соответствии с которыми семь миллионов преждевременных смертей в 2018 году стали результатом воздействия загрязненного воздуха, что составляет одну восьмую от всех смертей по всему миру. И эти значения более чем в два раза превышают предыдущие. В Китае, где загрязнение атмосферы находится на шокирующе высоком уровне, даже продовольственные культуры страдают от низкого качества воздуха.

Источников загрязнения воздуха много, но немалую роль играет транспорт, особенно в больших городах. Поэтому во многих странах появляются инициативы, направленные на поддержание более экологичных видов транспорта. Но что еще можно сделать для борьбы с загрязнением атмосферы?

Многие дизайнеры и инженеры считают, что **современные технологии** могут стать очень полезными для улучшения качества воздуха.



Рекламные щиты, очищающие воздух

Ученые из Университета техники и технологии (UTEC) в Перу занимаются разработкой и созданием рекламных щитов, которые способны бороться с загрязнением воздуха. Прототип такого рекламного щита был установлен в одной из самых загрязненных частей столицы Перу в Лиме в 2013 году. Щит работает благодаря основным термодинамическим законам, загрязненный воздух пропускается через воду, которая активно собирает в себе загрязняющие вещества (например, бактерии, пыль и т.д.), после чего очищенный воздух выпускается наружу. По утверждению создателей устройства, один рекламный щит может выполнить работу 1200 деревьев, очищая ежедневно в городских условиях 100000 м³ воздуха.



Поедающий смог, самоочищающийся бетон

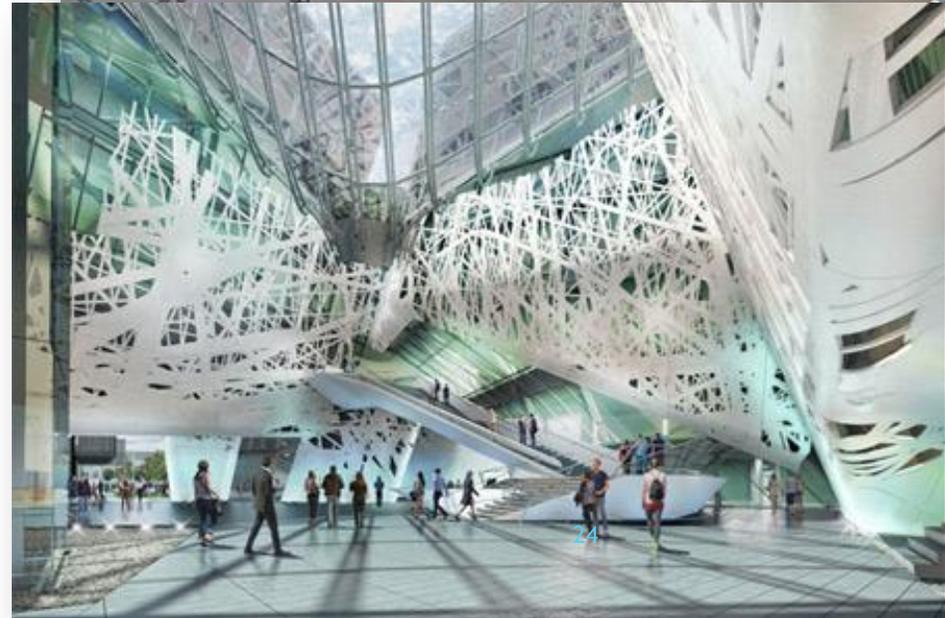
Технология, основанная на способности диоксида титана при воздействии на него света разрушать углеродные связи в молекулах, была разработана итальянским химиком Луиджи Кассаром (Luigi Cassar). Недавно ученый был удостоен международного признания и получил европейскую премию изобретателя за создание инновационного цемента, который нейтрализует загрязняющие вещества, делает их менее вредными и улучшает качество воздуха вокруг. После нейтрализации вредных веществ они просто смываются дождевой водой.

Кассар со своей командой долгое время экспериментировал с составом добавки к бетону и, в конце концов, смог получить оптимальную формулу, которая он называет «фотокатализатором». Предлагаемый им бетон выглядит более красивым и чистым, и остается намного светлее, чем обычный бетон. Впервые данная технология была применена в 1996 году при постройке Юбилейной церкви под руководством архитектора Ричарда Мейера в Риме.



Здания, очищающие воздух

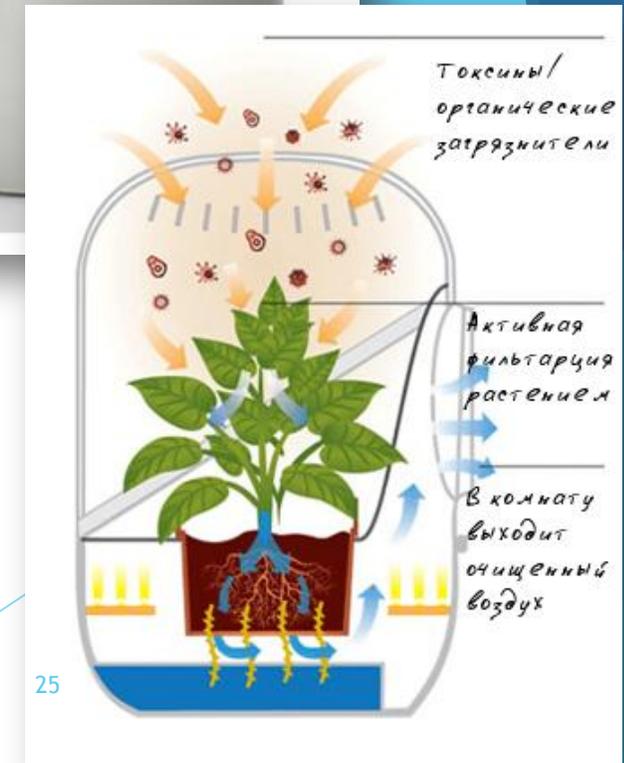
Вероятно, технологии очистки воздуха будущего уйдут далеко от фотокаталитических покрытий на зданиях. На конкурс дизайна небоскребов Evolo были представлены несколько концепций борьбы с загрязнением воздуха, включая концепцию Алексея Умарова из России «Гипер-Фильтр». В ней, для очищения воздуха в больших городах от выбросов CO_2 и других вредных газов и обеспечения поступления в атмосферу кислорода, используется структура, которая располагается между небоскребами, рядом с оживленными транспортными магистралями и заводами. Структура состоит из множества трубок, улавливающих загрязнения, которые затем могут использоваться в химической промышленности.



Комнатные растения

Практически все знают, что комнатные растения способны улучшать качество воздуха в помещении. Поэтому выращивать дома всевозможные растения может быть не только эстетически приятно, но и полезно. Тех людей, которые специально выращивают растения для очищения воздуха, может заинтересовать новый гаджет от Lab Store, которые усиливает способности растений бороться с загрязнениями. Устройство называется Andrea Air, благодаря вентилятору оно пропускает воздух через листву растения, его корневую систему, воду и почву и выпускает воздух обратно в комнату. Таким образом, это устройство является своего рода «живым» фильтром, который задерживает вредные летучие органические соединения и токсины благодаря растению, находящемуся в ней.

Проведенные RTP Labs исследования свидетельствуют о большей эффективности такого устройства по сравнению с традиционным расположением комнатного растения в горшках. При выращивании растения в Andrea Air оно в 10 раз быстрее очищает воздух и в 3,6 раза более эффективно удаляет формальдегид из воздуха. По сравнению с фильтрами HEPA и углеродными фильтрами, устройство Andrea Air в 44 раза эффективнее удаляет формальдегид (поскольку сами по себе растения более эффективны, чем эти фильтры).



Экономическая оценка ущерба от загрязнения окружающей природной среды

Экономическая оценка ущерба от загрязнения окружающей природной среды складывается из:

- I. **Дополнительных затрат общества в связи с изменениями в окружающей природной среде;**
- II. **Затрат на возвращение окружающей природной среды в прежнее состояние;**
- III. **Дополнительных затрат будущего общества в связи с безвозвратным изъятием части дефицитных ресурсов.**

СТРУКТУРА РАСХОДОВ ВЫЗЫВАЕМЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ



Ущерб от загрязнения атмосферы

Под ущербом от загрязнения атмосферы понимается сочетанный ущерб влияющий на состояние окружающей среды и проявляющийся на снижении показателей экономики регионов, в повышении заболеваемости населения, негативных воздействиях на загрязнение водных объектов и почв вследствие выпадения атмосферных осадков, снижением урожайности сельскохозяйственных культур, снижением биопродуктивности природных комплексов, преждевременным износом основных фондов и покрытий, влекущих за собой затраты на их ремонт, очистку территорий, потери от снижения рекреационного потенциала территорий и мест отдыха, других потерь связанных с негативными материальными, социальными и экологическими процессами.

Расчет ущерба от загрязнения атмосферного воздуха

Экономическая оценка ущерба от загрязнения атмосферного воздуха рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{атм}}(t) = y_t Q_f \sum_{i=1}^n A_i m_{it}$$

y_t - денежная оценка единицы выбросов монозагрязнителя (руб./усл.т)

Q - коэффициент позволяющий учесть опасность загрязнения атмосферного воздуха над различными типами территорий.

f - поправка учитывающая характер рассеяния загрязняющего вещества в атмосфере (для твердых $f=3$, для газообразных - $f=1$).

A_i - коэффициент приведения примесей загрязняющих веществ I-го типа к монозагрязнителю (усл.т)

m_{it} - объем выброса загрязнителя i -го типа (т/год)

Безразмерный коэффициент относительной опасности загрязнения Q атмосферного воздуха над территориями различного типа

Тип территории по опасности загрязнения	Значение
Курорты, санатории, заказники	10
Пригородные зоны отдыха, садовые и дачные участки	8
Население мест с плотностью n чел/га	$0,1 \cdot n$
Население с плотностью более 300 чел/га	8
Территории промышленных предприятий включая защитные зоны	4
Леса	
1-я группа	0,2
2-я группа	0,1
3-я группа	0,025
Пашни южных зон (южнее 50° сев. широты)	0,25
Пашни Центрально-черноземной зоны	0,15
Прочие районы	0,1
Сады и виноградники	0,5
Пастбища и сенокосы	0,05

Коэффициенты A_i для некоторых веществ, выбрасываемых в атмосферу

Вещество	A_i (усл.т/т)
Оксид углерода	1
Сернистый ангидрид	22
Сероводород	54,8
Серная кислота	49
Оксиды азота в пересчете на NO_2 (по массе)	41,1
Аммиак	10,4
Летучие низкомолекулярные углеводороды (ЛНУ)	3.16
Ацетон	5.55
3,4 – бензоперен	$12,6 \times 10^5$
Цианистый водород	282
Хлор молекулярный	89,4
Оксиды алюминия	33.8
Сажа без примесей	41.5
Древесная пыль	19,6

Пример расчета

Требуется определить экономическую оценку ущерба от загрязнения атмосферы при следующих заданных условиях: .

В регионе существуют территории где:

- **5%** населенные пункты с плотностью более 3300чел/га;
- **10%** промышленные предприятия;
- **20%** пригородные дачные участки;
- **30%** леса 1-й категории;
- **20%** пашни центрально-черноземной зоны;
- **15%** пастбища и сенокосы.

Объем выброса ЗВ за год в тоннах:

- оксид углерода	120 000
- сероводород	54 000
- оксиды азота	18 000
- ЛНУ	86 000
- оксиды алюминия	42 000

Для ЗВ атмосферы $f = 1$

Стоимость условной тонны $y = 20$ руб./ усл.т

Пример расчета

Объем годового выброса в виде монозагрязнителя

$$\sum_{i=1}^5 A_i m_i = (120\,000 \times 1 + 54\,000 \times 54,8 + 18\,000 \times 41,1 + 86\,000 \times 3,16 + 42\,000 \times 33,8) = 5\,510\,000,36 \text{ усл. т}$$

$$Q = (5\% \times 8 + 10\% \times 4 + 20\% \times 8 + 30\% \times 0,2 + 20\% \times 15 + 15\% \times 0,05) / 100\% = 5,47$$

$$Z_{\text{атм}}(t) = 20 \text{ руб/усл.т} \times 5,47 \times 1 \times 5\,510\,000,36 \text{ усл.тонн} = 602\,794\,039,38 \text{ руб.}$$

Таким образом ущерб от загрязнения над регионом с заданными условиями составил **602,8 млн.рублей**

ОЦЕНКА УРОВНЯ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

Рассеивание в атмосфере выбросов промышленных предприятий

Аэродисперсные системы, газы, пары, образующиеся в технологическом процессе предприятия в виде отходов содержат компоненты, способные оказывать негативное воздействие на живые организмы в определенных концентрациях.

При существующих технологиях производства и способах очистки выбросов уменьшение концентраций опасных загрязнений в окружающей среде обеспечивается путем рассеивания загрязненных газов через высокие трубы на больших расстояниях от источников выброса.

В качестве критерия качества атмосферного воздуха устанавливается предельно допустимая концентрация (ПДК) – максимальная концентрация примесей в атмосферном воздухе, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного влияния, включая отдаленные последствия.

Процесс рассеивания выбросов

На процесс рассеивания выбросов оказывают влияние:

- ▶ состояние атмосферы;
- ▶ расположение предприятий;
- ▶ характер местности;
- ▶ химические и физические свойства выбрасываемых веществ;
- ▶ высота источника выбросов;
- ▶ диаметр устья источника и др.

ИСТОЧНИКИ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Стационарные

Подвижные

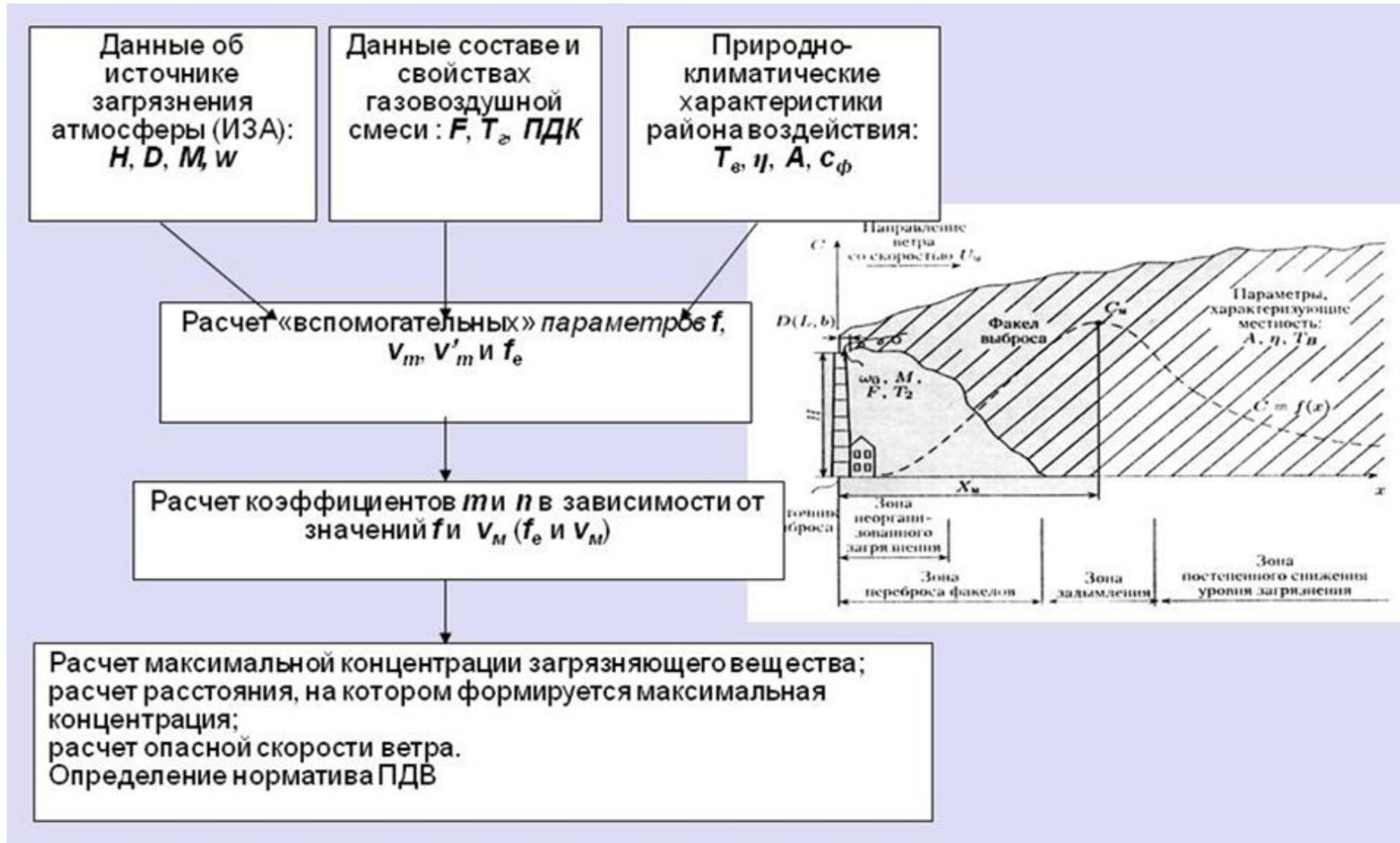
Точечный источник загрязнения выбрасывает загрязняющие атмосферу вещества из установленного отверстия (дымовые трубы, вентиляционные шахты).

Линейный источник загрязнения выбрасывает загрязняющие атмосферу вещества по установленной линии (оконные проемы, ряды дефлекторов, топливные эстакады)

Площадной источник загрязнения выбрасывает загрязняющие атмосферу вещества с установленной поверхности (резервуарные парки, открытые поверхности испарения, площадки хранения и пересыпки сыпучих материалов и т.д.).

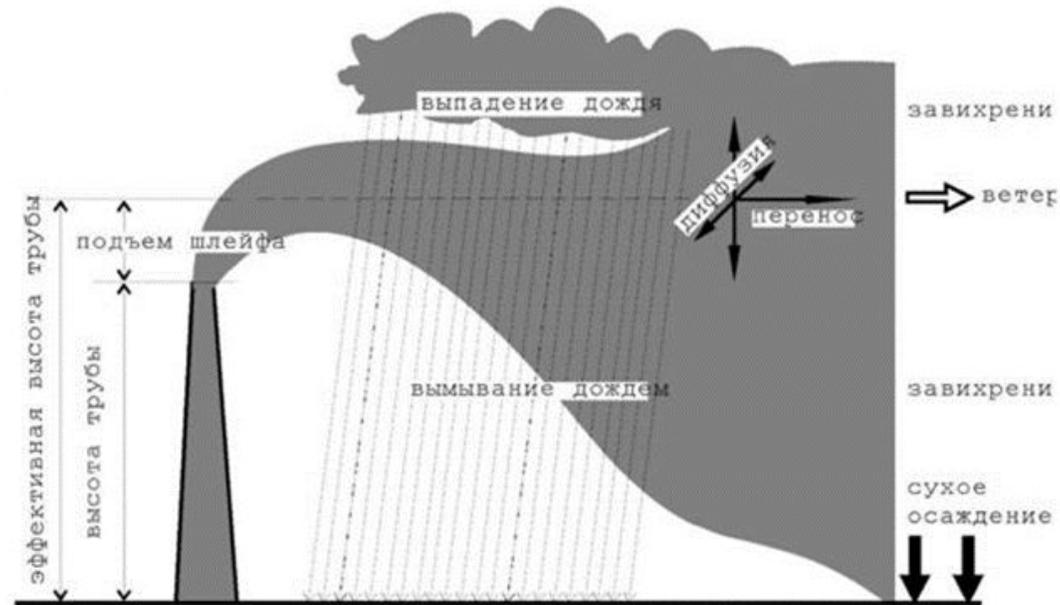
Моделирование загрязнения атмосферы

Общая схема расчетов



Поведение потока, выбрасываемого в атмосферу

Выбросы проникают в атмосферу с определенной скоростью и температурой, которые обычно отличаются от соответствующих характеристик окружающей среды.



Движение выбросов имеет вертикальную составляющую, обусловленную начальной вертикальной скоростью потока и разницей температур, до тех пор, пока не исчезнет воздействие этих факторов. Этот вертикальный подъем выбросов называют *подъемом шлейфа*. Он приводит к изменению эффективной высоты H точки выброса.

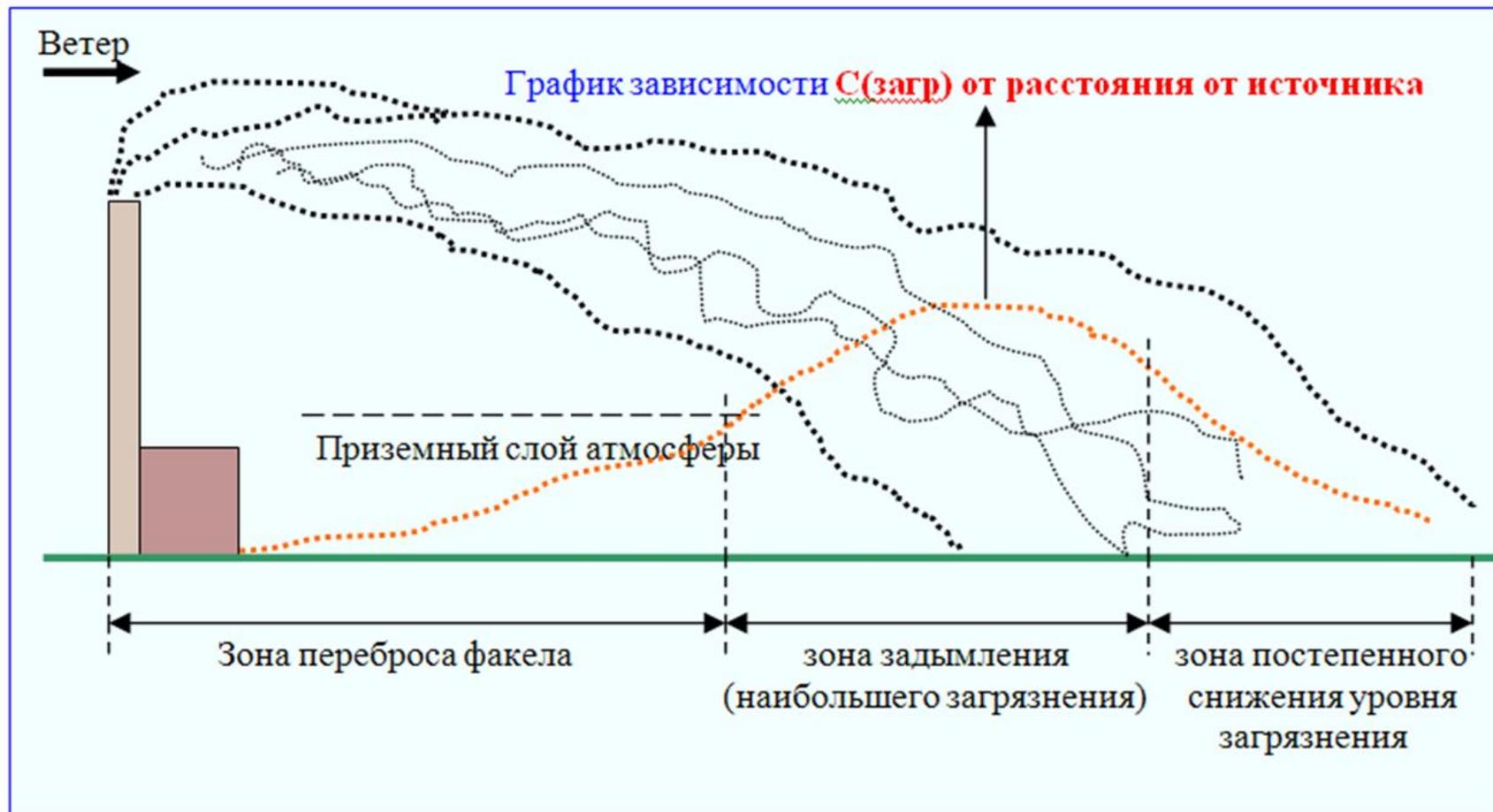
На путь распространения выброса воздействуют также изменения потоков вблизи препятствий (здания, сооружения).

Загрязнение через высокие трубы

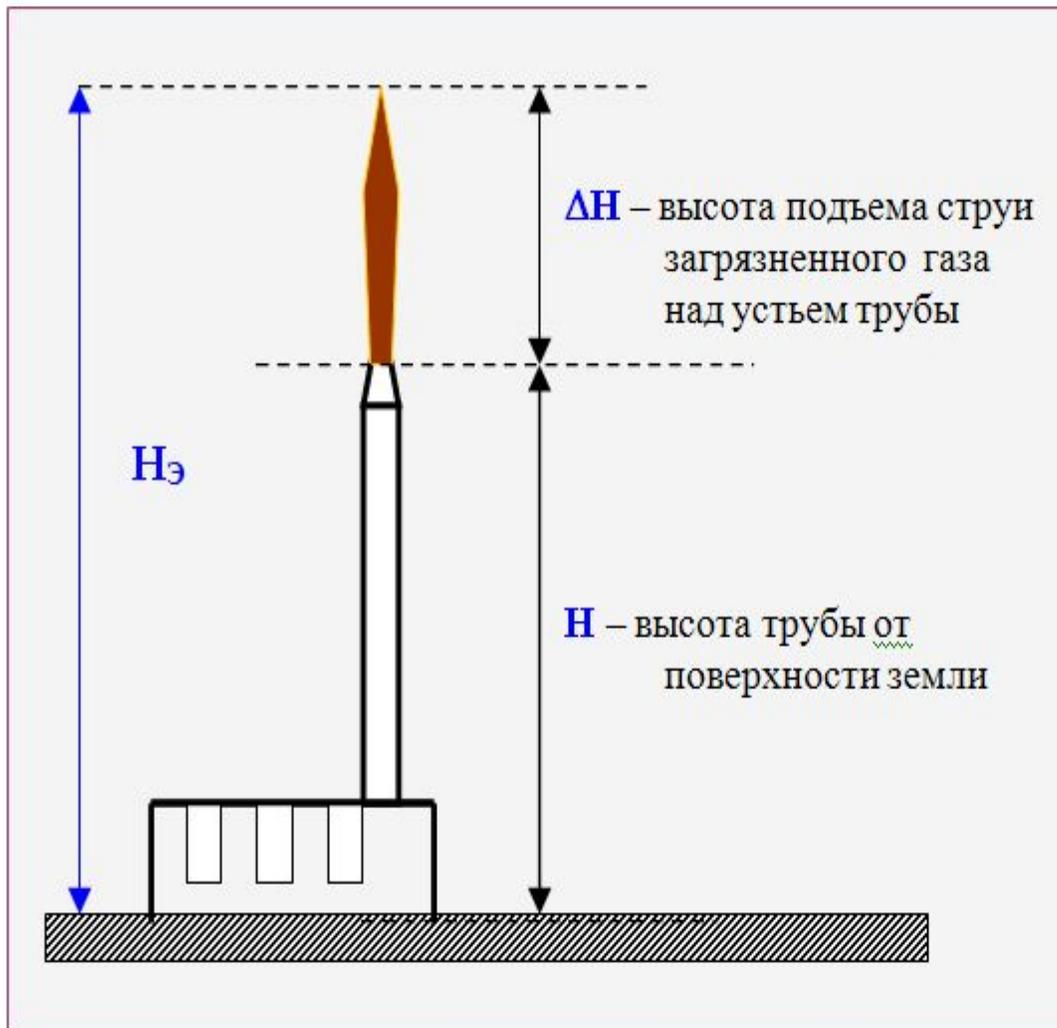
Загрязнение окружающей среды при рассеивании выбросов предприятий через высокие трубы зависит от высоты трубы, скорости выбрасываемого газового потока, расстояния от источника выброса, наличия нескольких близко расположенных источников выбросов, метеорологических условий и др.

С увеличением высоты трубы и скорости выбрасываемого газового потока эффективность рассеивания загрязнений увеличивается, т.е. рассеивание выбросов происходит в большем объеме атмосферного воздуха, над большей площадью поверхности земли.

Схема рассеивания и распределения концентраций вредных веществ в приземном слое атмосферы под факелом высокого и мощного источника выбросов



Эффективная высота выбросов



Выбросы рекомендуется делать на эффективной высоте $H_э$

Для повышения скорости истечения газов из устья трубы применяют факельный способ выброса, который предусматривает наличие на конце трубы специального устройства (*конфузора с направляющими насадками*). Эти устройства позволяют увеличить дальность выходящей струи газа.

Расчет эффективной высоты выброса

$$H_{\text{э}} = H + \Delta H$$

$$\Delta H = 1,24 \frac{w_0 \Delta T D^3}{u^3 T_{\text{в}}}$$

w_0 – скорость выхода газовой смеси, м/с

ΔT – разность между температурой выбрасываемой смеси и температурой окружающего воздуха, °С

D – диаметр устья трубы, м

u – скорость ветра, м/с

$T_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, °С

Расчет максимального значения приземной концентрации загрязняющего вещества

$$C_M = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}$$

C_M – максимальное значение приземной концентрации вредного вещества при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем (мг/м^3);

A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (см. табл. 1);

M – масса вредного в-ва, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени (г/с);

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе (для аэрозолей $F = 1$, твердых частиц $F = 3$)

m, n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (в случае ровной местности $\eta = 1$);

H – высота источника выброса над уровнем земли (м);

V_1 – расход газовой смеси ($\text{м}^3/\text{с}$);

ΔT – разность между температурой выбрасываемой смеси и температурой окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Расход газовой смеси (м³/с)

$$V_1 = \frac{\pi D^2 w_0}{4}$$

D – диаметр устья трубы, м

w_0 – скорость выхода газовой смеси, м/с

$$\Delta T = T_{\Gamma} - T_{\text{В}}$$

T_{Γ} – температура газовой смеси, °С

$T_{\text{В}}$ – температура окружающего воздуха, °С

Значение коэффициента А

Таблица 1

Территория РФ	А
Бурятская АССР и Читинская область	250
Европейская территория РФ, расположенная южнее 50° с. ш., районы Нижнего Поволжья, Кавказа, Дальний Восток и Сибирь	200
Европейская территория РФ и Урал, расположенные от 50 до 52°с.ш.	180
Европейская территория РФ и Урал, расположенные севернее 52°с.ш.	160
Московская, Тульская, Рязанская, Владимирская, Калужская, Ивановская области	140

Расчет параметров f и v_M

$$f = 1000 \frac{w_0^2 D}{H^2 \Delta T}$$

$$v_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}}$$

$$v_{M1} = 1,3 \frac{w_0 D}{H}$$

$$f_e = 800 (v_{M1})^3$$

Расчет коэффициента m

При $f \geq 100$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}$$

При $f < 100$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}$$

При $f_e < f < 100$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f_e} + 0,34\sqrt[3]{f_e}}$$

Расчет коэффициента n

При $v_M \geq 2$

$$n = 1$$

При $0,5 \leq v_M < 2$

$$n = 0,532v_M^2 - 2,1v_M + 3,13$$

При $v_M < 0,5$

$$n = 4,4v_M$$

Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в атмосфере

ПДК — это критерий качества атмосферного воздуха, который отражает предельно допустимое максимальное содержание вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе и при котором отсутствует вредное воздействие на здоровье человека.

ПДК загрязняющих веществ по Гигиеническим нормативам ГН 2.1.6.3492-17

Таблица 2

Вещество	Формула	ПДК (мг/м ³)
Диоксид серы	SO ₂	0,5
Диоксид азота	NO ₂	0,2
Зола		0,3

Определение степени опасности загрязнения

Для каждого загрязняющего вещества i

$$C_{mi} + C_{\phi} < \text{ПДК}_i$$

C_{mi} – максимальное значение приземной концентрации вещества i (мг/м³)

ПДК_i – предельно допустимая концентрация вещества i (мг/м³)

$$C_{\phi} = 0,1 \times \text{ПДК} \text{ мг/м}^3$$

Пример расчета

Исходные данные

Параметр	Обозначение	Единица измер.	Значение
Высота дымовых труб	H	м	35
Диаметр устья трубы	D	м	1,4
Скорость выхода газовой смеси	w_0	м/с	7
Скорость ветра	u	м/с	5
Температура газовой смеси	T_r	°C	125
Температура окружающего воздуха	T_b	°C	25
Выброс диоксида серы	M_{SO_2}	мг/с	12
Выброс золы	M_z	мг/с	2,6
Выброс диоксида азота	M_{NO_2}	мг/с	0,2
Местоположение источника выброса	A	Томская обл.	

Пример расчета

Расчет эффективной высоты выброса

$$\Delta H = \frac{1,24 \times 7 \times 100 \times 1,4^3}{5^3 \times 25} = 1,27 \text{ м}$$

$$H_g = 35 + 1,27 = 36,27 \text{ м}$$

Расчет максимального значения приземной концентрации SO_2

$A = 200$ для Томской области

$F = 1$ для газообразных веществ

$\eta = 1$ для ровной поверхности

$\Delta T = 125 - 100 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

$$f = 1000 \frac{7^2 \times 1,4}{35^2 \times 100} = 0,56$$

$$v_{M1} = 1,3 \frac{7 \times 1,4}{35} = 0,364$$

$$V_1 = \frac{3,14 \times 1,4^2 \times 7}{4} = 10,8 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$v_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{10,8 \times 100}{35}} = 2,015$$

$$f_e = 800(0,364)^3 = 38,58$$

Пример расчета

При $f < 100$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,56} + 0,34\sqrt[3]{0,56}} = 0,98$$

При $v_m > 2$ $n = 1$

Для SO_2 $C_m = \frac{200 \times 12 \times 1 \times 0,98 \times 1 \times 1}{35^2 \times \sqrt[3]{10,8 \times 100}} = 0,19 \text{ мг/м}^3$

$$0,19 + 0,05 = 0,195 < 0,5 \text{ мг/м}^3$$

Вывод: значение максимально возможной концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе в районе источников их выброса при неблагоприятных метеорологических условиях ниже ПДК, следовательно, дополнительных мероприятий по сокращению выбросов не требуется.

Для NO_2 и золы расчет проводится аналогично, для золы $F=3$

**РАСЧЕТ РАССТОЯНИЙ ОТ
ИСТОЧНИКА ВЫБРОСОВ
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ
ВЕЩЕСТВ**

Расчет расстояния x_M

x_M – расстояние от источника выбросов, на котором без учета скорости ветра приземная концентрация загрязняющих веществ достигает максимального значения

$$x_M = \frac{5 - F}{4} dH$$

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе (для аэрозолей $F = 1$, твердых частиц $F = 3$)

d – безразмерный коэффициент

H – высота трубы, м

Расчет коэффициента d

При $f < 100$; $v_M < 0,5$

$$d = 2,48(1 + 0,28\sqrt[3]{f_e})$$

При $f < 100$; $0,5 \leq v_M < 2$

$$d = 4,95v_M(1 + 0,28\sqrt[3]{f})$$

При $f < 100$; $v_M \geq 2$

$$d = 7\sqrt{v_M}(1 + 0,28\sqrt[3]{f})$$

Расчет коэффициента d

При $f \geq 100$; $v_{M1} < 0,5$

$$d = 5,7$$

При $f \geq 100$; $0,5 \leq v_{M1} < 2$

$$d = 11,4v_{M1}$$

При $f \geq 100$; $v_{M1} \geq 2$

$$d = 16\sqrt{v_{M1}}$$

Расчет опасной скорости

u_M – значение опасной скорости на уровне 10 м от земли, при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации вредных веществ (м/с)

При $f < 100$; $v_M < 0,5$

$$u_M = 0,5$$

При $f < 100$; $0,5 \leq v_M < 2$

$$u_M = v_M$$

При $f < 100$; $v_M \geq 2$

$$u_M = v_M(1 + 0,12\sqrt{f})$$

При $f \geq 100$; $v_{M1} \leq 0,5$

$$u_M = 0,5$$

При $f \geq 100$; $0,5 < v_{M1} \leq 2$

$$u_M = v_{M1}$$

При $f < 100$; $v_{M1} > 2$

$$u_M = 2,2v_{M1}$$

Расчет расстояния $x_{ми}$

$x_{ми}$ — расстояние от источника выбросов, на котором при скорости ветра u и неблагоприятных метеорологических условиях приземная концентрация вредных веществ **ДОСТИГАЕТ** максимального значения (м)

$$x_{ми} = p \times x_{м}$$

p — безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения $u/u_{м}$

$x_{м}$ — расстояние от источника выбросов, на котором без учета скорости ветра приземная концентрация загрязняющих веществ достигает максимального значения (м)

Расчет коэффициента p

При $u/u_M \leq 0,25$

$$p = 3$$

При $0,25 < u/u_M \leq 1$

$$p = 8,3 \left(1 - \frac{u}{u_M}\right)^5 + 1$$

При $u/u_M > 1$

$$p = 0,32 \frac{u}{u_M} + 0,68$$

Расчет концентрации $C_{ми}$

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества $C_{ми}$ (мг/м³) при неблагоприятных метеорологических условиях и скорости ветра u (м/с), отличающейся от опасной скорости ветра u_M (м/с)

$$C_{ми} = r \times C_M$$

r – безразмерная величина, определяемая в зависимости от отношения u/u_M

C_M – максимальное значение приземной концентрации вредного вещества при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем (мг/м³)

Расчет коэффициента r

При $u/u_M \leq 1$

$$r = 0,67 \frac{u}{u_M} + 1,67 \left(\frac{u}{u_M} \right)^2 - 1,34 \left(\frac{u}{u_M} \right)^3$$

При $u/u_M > 1$

$$r = \frac{3 \frac{u}{u_M}}{2 \left(\frac{u}{u_M} \right)^2 - \frac{u}{u_M} + 2}$$

Расчет приземной концентрации вредных веществ на расстоянии x

C_x – приземная концентрация вредных веществ в атмосфере по оси факела выброса при опасной скорости ветра u_M на расстоянии x от источника выброса (мг/м³)

$$C_x = s \times C_M$$

s – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения x/x_M и коэффициента F

C_M – максимальное значение приземной концентрации вредного вещества при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем (мг/м³)

Расчет коэффициента s

При $x/x_M \leq 1$

$$s = 3 \left(\frac{x}{x_M} \right)^4 - 8 \left(\frac{x}{x_M} \right)^3 + 6 \left(\frac{x}{x_M} \right)^2$$

При $1 < x/x_M \leq 8$

$$s = \frac{1,13}{0,13 \left(\frac{x}{x_M} \right)^2 + 1}$$

При $x/x_M > 8, F \leq 1,5$

$$s = \frac{\frac{x}{x_M}}{3,58 \left(\frac{x}{x_M} \right)^2 + 2,47 \frac{x}{x_M} + 120}$$

При $x/x_M > 8, F > 1,5$

$$s = \frac{1}{0,1 \left(\frac{x}{x_M} \right)^2 + 2,47 \frac{x}{x_M} - 17,8}$$

Расчет средней концентрации

\bar{c}_M – средняя концентрация в устье источника (г/м³)

При $f < 100$

$$\bar{c}_M = \frac{C_M H^2}{AFm\eta} \sqrt[3]{\frac{\Delta T}{V_1^2}}$$

При $f \geq 100$

$$\bar{c}_M = \frac{C_M H^{4/3}}{AFD\eta}$$

Расчет предельно допустимых выбросов (ПДВ)

ПДВ устанавливается для каждого источника загрязнения атмосферы таким образом, чтобы выбросы вредных веществ в атмосфере не создавали приземную концентрацию, превышающую их ПДК.

ПДВ_{*i*} определяется для каждого *i*-го вещества отдельно

$$\text{ПДВ}_i = \frac{(\text{ПДК}_i - C_{\phi i}) H_3}{A F n \eta} \sqrt[3]{V_1 \Delta T}$$

ПДК_{*i*} – предельно допустимая концентрация *i*-го вещества (мг/м³)

C_{φ*i*} – фоновая концентрация *i*-го вещества (мг/м³)

A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (см. табл. 1);

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе (для аэрозолей F = 1, твердых частиц F = 3)

n – коэффициент, учитывающий условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (в случае ровной местности η=1);

H₃ – эффективная высота выброса (м);

V₁ – расход газовой смеси (м³/с);

ΔT – разность между температурой выбрасываемой смеси и температурой окружающего воздуха, °C.

Отчет о ЛР

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованием и формой, представленными в файле «Форма отчета о ЛР-1»