

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Охрана труда и окружающей среды»

Утверждено на заседании кафедры
«Охрана труда и окружающей среды»
«_26_» __01__ 2021 г., протокол №__6__

Заведующий кафедрой



В.М. Панарин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по самостоятельной работе студентов
по дисциплине (модулю)**

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ
основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки
20.03.01 Техносферная безопасность

с направленностью (профилем)
Инженерная защита окружающей среды

Форма обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 200301-01-21

Тула 2021 год

Разработчик(и) методических указаний

Рылеева Е.М., доцент, к.т.н., доцент
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

Тема 2. Оценка состояния атмосферы

План

- 2.1. Оценка состояния атмосферы
- 2.2. Физико-химические процессы в атмосфере
- 2.3. Строение атмосферы Земли
- 2.4. Физические свойства воздуха.

2.1. Оценка состояния атмосферы

Основные компоненты глобального экологического кризиса

Атмосфера имеет ряд присущих только ей особенностей по сравнению с другими компонентами биосферы — высокую подвижность, изменчивость составляющих ее компонентов, своеобразие физико-химических процессов. Состояние атмосферы определяет тепловой режим поверхности Земли.

Атмосфера (слой озона) защищает нашу планету от воздействия ультрафиолетового излучения Солнца.

Состав атмосферы находится в состоянии динамического равновесия, поддерживаемого в результате деятельности живых организмов, геохимических явлений и хозяйственной деятельности человека. Главными компонентами атмосферы являются азот (78 %), кислород (21 %) и аргон (0,9 %) — в приземном слое. Доля остальных компонентов несмотря на их очень важное значение не превышает 0,1 %.

Тропосферу и стратосферу обычно объединяют в нижние слои атмосферы, которые существенно отличаются по составу от верхних слоев (ионосферы). В нижних слоях сосредоточена основная масса атмосферы (50 % общей массы атмосферы приходится на нижний слой толщиной около 5 км, а масса слоя высотой 30 км составляет 99 % всей массы атмосферы).

Тропосфера — неравновесная химически активная система. Большинство газообразных примесей, выделяемых с поверхности Земли в тропосферу в результате геологических, биологических процессов и антропогенной деятельности, находится в восстановленной форме или в виде оксидов с низкой степенью окисления: H_2S , NO , NH_3 , CO , NO_2 , CH_4 , SO_2 и др. Анализ атмосферных осадков показывает, что возвращаемые на поверхность Земли примеси представлены в основном соединениями в высокой, чаще всего в высшей, степени окисления — H_2SO_4 , HNO_3 , нитраты, сульфаты, CO_2 , SO_3 и т. д. Таким образом, тропосфера играет на планете роль глобального окислительного резервуара.

Возросшая интенсивность хозяйственной деятельности человечества в XX в. проявилась в глобальном загрязнении Земли разнообразными отходами промышленного производства, сельского хозяйства, продуктами жизнедеятельности человека, что является грозным предвестником грядущего экологического кризиса планетарного масштаба. Его проявления наблюдаются в настоящее время в отдельных регионах планеты в изменении характеристик природной среды, и при неразумном осуществлении всей совокупной деятельности человеческого сообщества может привести к негативным последствиям глобального масштаба. **Наблюдаемые признаки подступающего глобального экологического кризиса в наибольшей мере реализуются в проявлении таких аномальных явлений, как кислотные дожди, парниковый эффект, так называемые озоновые дыры и загрязнение поверхности планеты супертоксичными продуктами, появляющимися исключительно в результате антропогенной деятельности.**

Кислотные осадки. Под *кислотными дождями* понимаются атмосферные осадки, значение водородного показателя которых ниже величин, отвечающих содержанию углекислоты в атмосфере, т. е. $\text{pH} < 5,5$. Появление аномалий данного типа

связывается, в первую очередь, с выносом в атмосферу значительных количеств оксидов серы и азота, различных галогенсодержащих соединений в результате антропогенной деятельности. Взаимодействие кислотных дождей с биосферой, сооружениями, техникой, культурными ценностями характеризуются для них губительными последствиями.

Парниковый эффект проявляется в повышении температуры нижних слоев атмосферы в результате нарастающего поглощения «парниковыми газами» (CO_2 , CH_4 , N_2O и др.) инфракрасного теплового излучения Земли. Последствия парникового эффекта могут привести к изменению климата, что сопровождается повышением частоты катастрофических природных явлений.

Значительную экологическую опасность представляет *загрязнение биосферы веществами, имеющими преимущественно антропогенную природу.*

Для выяснения причин появления данных проблем необходимо глубокое понимание комплекса физических, физико-химических и химических процессов, протекающих в тропосфере и стратосфере, следует также учитывать солнечно-земные связи, процессы дегазации Земли, потоки техногенных и эндогенных газов, попадающих в атмосферу, и многие другие факторы.

Говоря о процессах, протекающих при взаимодействии различных компонентов атмосферы как антропогенного, так и естественного происхождения, необходимо выделить те ее составляющие, которые отличны от ее естественной газовой основы, т. е. те вещества, которые объединяются понятием загрязнения.

К вредным выбросам, загрязняющим атмосферу и являющимся источником различных процессов, протекающих в ее объеме, и оказывающим влияние на климат, тепловой режим и экологическую обстановку как в региональном, так и планетарном масштабах, относятся атмосферная пыль, газы и пары.

2.1.1. Физико-химические процессы в атмосфере

Физико-химические процессы, происходящие в биосфере Земли рассматриваются различными науками: биология, химия, физика, метеорология, климатология, и др.

Земля состоит из трех основных оболочек:

- твердой (литосфера);
- жидкой (гидросфера);
- газообразной (атмосфера).

Аэрология - (от греч. “aeros” - воздух, “logos”- учение) наука о физических и химических процессах и явлениях в атмосфере Земли, а также их взаимодействиях с земной поверхностью и космическим пространством.

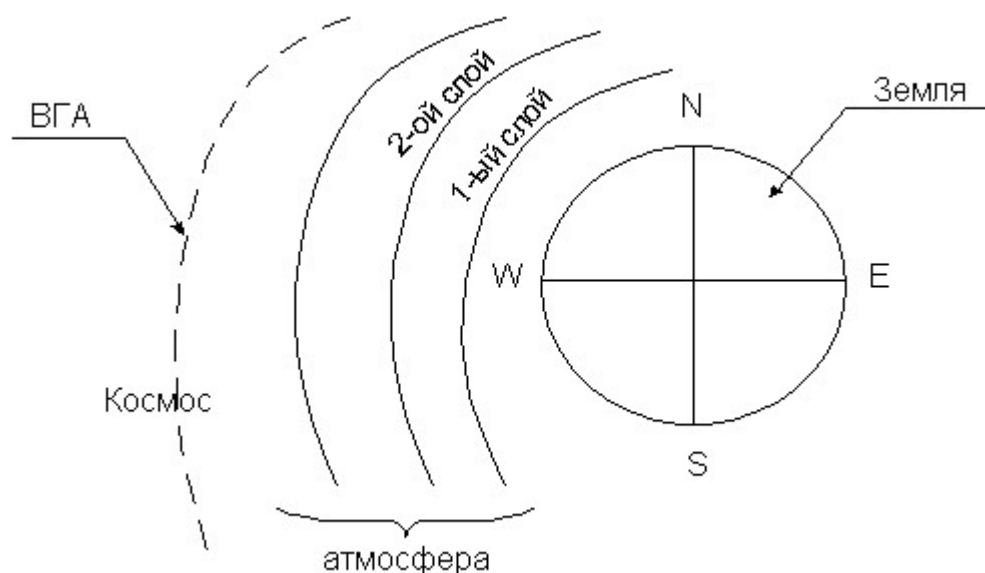
Аэрология является одним из разделов метеорологии.

Предметом аэрологии является совокупность моделей физических и химических процессов и явлений в газообразной оболочке Земли и на поверхности ее контакта с поверхностью Земли и космическим пространством. Приземный слой атмосферы является средой обитания человека, и, в целом, эту часть атмосферы можно считать средой обитания основных видов живых организмов, которые, так или иначе, обеспечивают жизнь.

2.1.2. Строение атмосферы Земли

Атмосфера - (от греч. “atmos” - пар, “sphaira” - шар) это газообразная оболочка Земли, вращающаяся вместе с ней.

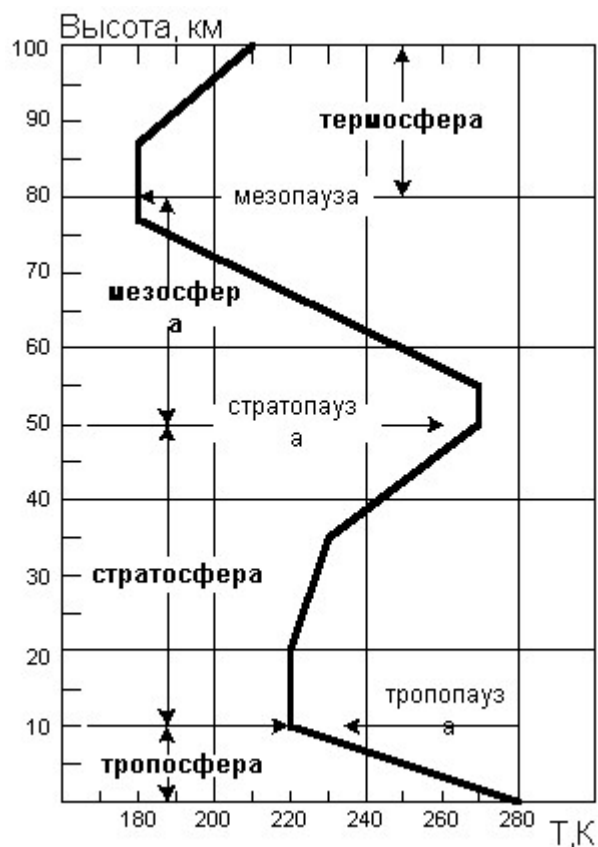
Масса атмосферы равна $5,15 \cdot 10^{15}$ т.



Атмосфера Земли имеет слоистое строение. Существует несколько моделей слоистого строения атмосферы Земли, в зависимости от принятого классификационного признака.

В зависимости от вертикального распределения температуры воздуха в атмосфере подразделяют на :

- 1) тропосферу; 2) стратосферу; 3) мезосферу; 4) термосферу; 5) экзосферу



Граница между слоями всегда размыта. Границу между слоями выделяют особо и называют ...пауза (название нижележащего слоя перед "пауза")

Тропосфера - нижний слой атмосферы толщиной 8 - 10 км в полярных широтах, 10 - 12 км в умеренных широтах , 16 -18 км в тропических широтах. Для тропосферы характерным является линейное уменьшение температуры воздуха с высотой.

Стратосфера - слой атмосферы, лежащий над тропосферой. Он характеризуется

возрастанием температуры воздуха с высотой от -80°C до 0°C . Стратосфера характеризуется малой турбулентностью, малым содержанием водяного пара, повышением содержания озона (по сравнению с ниже и вышележащими слоями).

Мезосфера - слой, лежащий над стратосферой, толщиной от 50 км до 80-85 км. Характеризуется понижением температуры от 0°C до -90°C .

Термосфера - слой атмосферы, лежащий над мезосферой, от 80 до 90 км, температура в котором растет до высот 200 - 300 км достигая значения порядка 1500°C , оставаясь далее постоянной.

Экзосфера - это внешний слой атмосферы, начинающийся с нескольких сотен километров, из которого быстро движущиеся атомы водорода могут вылетать в космическое пространство.

2.1.3. Физические свойства воздуха.

Воздух представляет собой смесь газов и водяного пара. Следовательно, физические свойства характеризуются теми же самыми параметрами, что и его составляющие. В особую подгруппу выделяются тепловлажностные параметры.

Состав воздуха в приземном слое атмосферы

Состав воздуха обычно оценивают объемным содержанием газовых компонент. Состав чистого воздуха приведен в таблице.

| Газ | Химическая формула | Относительная молекулярная масса | Состав сухого воздуха $C_{об},\%$ | Состав сухого воздуха по международным стандартам $C_{об},\%$ |
|----------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---|
| Азот | N_2 | 28,016 | $78,084 \pm 0,004$ | 78,09 |
| Кислород | O_2 | 32,000 | $20,946 \pm 0,002$ | 20,95 |
| Аргон | Ar | 39,944 | $0,934 \pm 0,001$ | 0,93 |
| Углекислый газ | CO_2 | 44,010 | $0,030 \pm 0,003$ | 0,03 |
| Неон | Ne | 20,183 | $(1,821 \pm 0,004)10^{-3}$ | $1,8 \cdot 10^{-3}$ |
| Гелий | He | 4,003 | $(5,239 \pm 0,05)10^{-4}$ | $5,24 \cdot 10^{-4}$ |
| Криптон | Kr | 83,700 | $(1,14 \pm 0,1)10^{-4}$ | 10^{-4} |
| Ксенон | Xe | 131,300 | $(8,7 \pm 0,1)10^{-6}$ | $8 \cdot 10^{-6}$ |
| Водород | H_2 | 2,016 | $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ | $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ |
| Озон | O_3 | 48,000 | $\sim 10^{-6}$ | $\sim 10^{-6}$ |

Газообразные примеси аэрозоли могут обладать токсичными свойствами. Содержание токсичных примесей нормируется, т.е. устанавливается их предельное содержание в воздухе. Такое содержание называется предельно допустимая концентрация.

Предельно допустимая концентрация вредной примеси в воздухе - это такое ее содержание, при котором ежедневное воздействие на организм человека в течении всей его жизни не вызывает заболеваний или патологических отклонений, обнаруживаемых современными методами исследования.

Концентрация токсичных примесей и ПДК имеют размерность массовой концентрации, $[\text{мг}/\text{м}^3]$.

Тема 3. Особенности атмосферных процессов

План

- 3.1. Особенности атмосферных процессов как объектов изучения
- 3.2. Метрологические величины и атмосферные явления
- 3.3. Градиент метеорологических величин
- 3.4. Понятия о барических системах
- 3.5. Влажность воздуха и фазовые переходы
- 3.6. Классификация источников промышленных выбросов в атмосферу

1. Особенности атмосферных процессов как объектов изучения

Очевидно, что аэрология является научной основой для защиты атмосферы от техногенных воздействий, превышающих обычный уровень.

Состояние атмосферы, обусловленное теми или иными факторами, может снижать опасность воздействия загрязнителей в воздухе либо учитывать риск поражения человека теми или иными пылегазовыми компонентами.

Особенности атмосферных процессов можно классифицировать:

1) Особенность заключается в том, что свойства атмосферы неоднородны и изменчивы в пространстве и времени. Атмосфера одновременно взаимодействует с космическим пространством, Солнцем и земной поверхностью. Потоки солнечной энергии различны в различных географических широтах и создают неравномерность нагреванию воздуха, что приводит к тепломассообменным процессам в атмосфере.

2) В воздухе содержится большое количество водяного пара. При определенных условиях водяной пар конденсируется, образуя туманы и облака, которые являются источниками атмосферных явлений (осадков, гроз и т.п.). Процессы изменения агрегатного состояния воды в атмосфере существенно изменяют ее энергетический ресурс.

3) Атмосферные процессы развиваются одновременно над всей территорией Земного шара, что требует соответствующей организации наблюдений. Для этого образованы сети метеостанций.

4) Линейные масштабы атмосферных процессов изменяются от 10^{-7} м (размер ядер конденсации) до размеров, соизмеримых с радиусом Земли.

2. Метрологические величины и атмосферные явления

Атмосфера находится в непрерывном движении, вращается вместе с Землей относительно ее оси и вокруг Солнца, при этом происходят периодические движения атмосферы относительно земной поверхности. Все виды взаимодействия атмосферы приводят к изменению состояния ее частей. Для количественной характеристики атмосферы используют понятие «метеорологическая величина».

Метеорологическая величина - величина, характеризующая свойства, которые качественно являются общими для любых физических объектов атмосферы, но количественно отражают индивидуальность атмосферы как физического объекта.

В качестве основных метеовеличин используют следующие физические величины: давление, плотность, влажность воздуха, скорость ветра, количество, высота и толщина облаков, интенсивность осадков.

Наряду с основными метеовеличинами используют ряд вспомогательных: водность туманов и облаков, потоки лучистой энергии и др.

Разделение на основные и вспомогательные метеовеличины условно и зависит от решаемой задачи.

Понятие метеовеличина тесно связано с понятием атмосферного явления.

Атмосферное явление - физический процесс, сопровождающийся резким качественным изменением состояния атмосферы.

Примером служат бури, грозы, полярное сияние и т.п. В свою очередь, понятия “метеовеличины” и “атмосферное явление” определяет понятие “погода”.

Физическое состояние атмосферы в определенный промежуток времени, характеризующее совокупностью метеорологических величин, называется *погодой*. При этом можно говорить о погоде в конкретной точке пространства и о погоде на той или иной территории.

3. Градиент метеорологических величин

Распределение метеовеличин в пространстве представляет собой поле, которое в зависимости от вида рассматриваемых величин может быть векторным или скалярным. В декартовой системе координат поле скалярной величины f определяется как:

$$f = f(x, y, z, t); \quad (1)$$

$$f = f(x, y, z). \quad (2)$$

Выражение (2) бывает справедливо в течение непродолжительного интервала времени.

Для характеристики пространственного распределения метеовеличин используют эквискалярные поверхности величины f в фиксированный момент времени.

$$f(x, y, z, t = t^*) = \text{const}, \quad (3)$$

где t^* - конкретное время

Кривые пересечения эквискалярных поверхностей с любой другой поверхностью (в частности с поверхностью уровня моря) называются *изолиниями* величины f . Важнейшей характеристикой изменения метеовеличины в пространстве является скорость этого изменения:

$$\frac{df}{dl} = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta f}{\Delta l} \quad (4)$$

Но любая скалярная метеовеличина в общем случае - стационарное поле, т.е. $f = f(x, y, z)$ является сложной функцией направления:

$$f = f[x(l), y(l), z(l)];$$

$$\frac{df}{dl} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{dx}{dl} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dl} + \frac{\partial f}{\partial z} \frac{dz}{dl} = \left(\frac{\partial f}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial f}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial f}{\partial z} \vec{k} \right) \left(\frac{d}{dl} (x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}) \right) = \text{grad} f \cdot \frac{d\vec{r}}{dl}$$

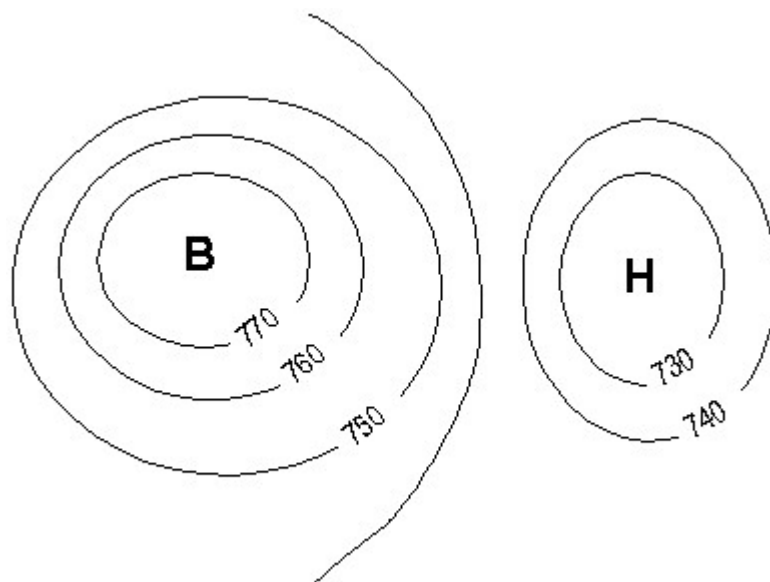
$$\frac{df}{dl} = \text{grad}_e f. \quad (5)$$

Градиент в каждой точке пространства указывает в сторону наибо́льшего возрастания поля метеовеличины.

4. Понятия о барических системах

Метеорологические величины, измеренные в различных географических районах, приводят к физическим условиям, соответствующим какому-то одному уровню геодезических отметок. В качестве такого уровня принято использовать уровень моря. Приведенные к уровню моря метеовеличины наносят на географические карты в виде дополнительных слоев, и получают приземные карты погоды. Если провести изобары на достаточно обширной территории, то окажется, что они имеют различные формы, в зависимости от которых различают следующие барические образования:

- 1) области низкого давления (Н), называемые циклонами;
- 2) области высокого давления (В), называемые антициклонами.



Под низким и высоким давлением понимают относительные значения давления воздуха по сравнению с соседними областями. Иногда барические образования называют *барическими системами*, которые могут быть в горизонтальном направлении до нескольких сотен, а иногда и тысяч километров.

5. Влажность воздуха и фазовые переходы

Водяной пар в атмосфере земной поверхности образуется в результате процессов испарения. Изменение количества водяного пара в атмосфере происходит за счет переноса воздушной массы загрязнителями. Вода по своим свойствам находится в фазовых состояниях. Переходы, обусловленные процессами испарения и конденсации, в энергетическом смысле составляют около 30 % энергии теплообменных процессов в атмосфере (максимальная концентрация водяного пара в воздухе 4 % по объему).

Перенос водного пара, как и любой газовой компоненты, происходит за счет атмосферной диффузии, но в отличие от других газов, составляющих атмосферу, водяной пар, при наблюдающихся в атмосфере температурах, может изменять свое агрегатного состояния.

Теоретически возможны три схемы фазового перехода:

водяной пар \leftrightarrow жидкость

лед \leftrightarrow водяной пар

жидкость \leftrightarrow лед

Все схемы газового перехода имеют место в атмосфере.

Туманы

Туман - совокупность взвешенных капель воды или льда, ухудшающих дальность видимости до 1 км.

При видимости в пределах от 1 до 10 км совокупность взвешенных частиц называется *дымкой*.

По интенсивности различают следующие виды туманов и дымок:

| Вид тумана или дымки | Дальность видимости |
|----------------------|---------------------|
| 1. сильный туман | менее 50 м |
| 2. умеренный туман | 50 м ... 500 м |
| 3. слабый туман | 500 м ... 1000 м |
| 4. сильная дымка | 1 км ... 2 км |

| | |
|--------------------|----------------|
| 5. умеренная дымка | 2 км ... 4 км |
| 6. слабая дымка | 4 км ... 10 км |

С физической точки зрения важнейшей характеристикой туманов является водность. Для характеристики водности используют два показателя:

- абсолютная;
- удельная.

Абсолютная водность тумана - это масса капель воды и кристаллов льда, содержащихся в единичном объеме воздуха.

Удельная водность тумана - масса капель воды и льда, содержащаяся в 1 кг воздуха.

В туманах вода находится в двух фазовых состояниях, а при отрицательных температурах может находиться в трех фазовых состояниях.

Влагосодержание воздуха, в котором находится туман определяют:

$$I_A = W + \delta^*, \text{ кг / м}^3, \quad (7)$$

где δ^* - абсолютная водность тумана

W - абсолютная влажность воздуха, в котором находится туман.

Очевидно, что в тумане W это абсолютная влажность воздуха, насыщенного парами, которая зависит от температуры.

$$W \approx W_{\text{нас}}(T).$$

Туман может образоваться при испарении с поверхности теплой воды в относительно холодный воздух.

Понижение температуры воздуха является одной из основных причин конденсации водяного пара, что приводит к наиболее интенсивным туманам.

В зависимости от вида процесса, приводящего к образованию тумана различают:

1. Радиационные тумана. Образуются в результате контакта охлажденной земной поверхности с воздухом.
2. Конвективные туманы. Образуются в теплой воздушной массе, перемещающейся в более холодные воздушные массы или в охлажденную зону поверхности.
4. Туманы восхождения (туманы склонов). Эти туманы образуются в результате подъема воздуха вдоль склонов, возвышенностей и гор, при этом происходит адиабатическое охлаждение воздуха, приводящее к образованию конденсатора.

Облака

Облака могут оказывать серьезное влияние на трансграничный перенос вредных веществ, которые могут выпадать в виде осадков (например кислотные дожди).

Облака - совокупность капель воды или кристаллов льда находится на некоторой высоте земной поверхности.

Облака возникают в результате конденсации водяного пара в атмосфере. В зависимости от горизонтальных размеров облаков, масштабов вертикального движения и других физических процессов образуются различные по внешнему и внутреннему строению облака:

- 1) кучевообразные облака (конвективные), образующиеся в результате термической конвекции и турбулентного обмена;
- 2) волнистые - образуются под влиянием волновых движений воздуха различной амплитуды и частоты.
- 3) слоистые облака - наиболее протяженные, происходит влияние температурной стратификации.

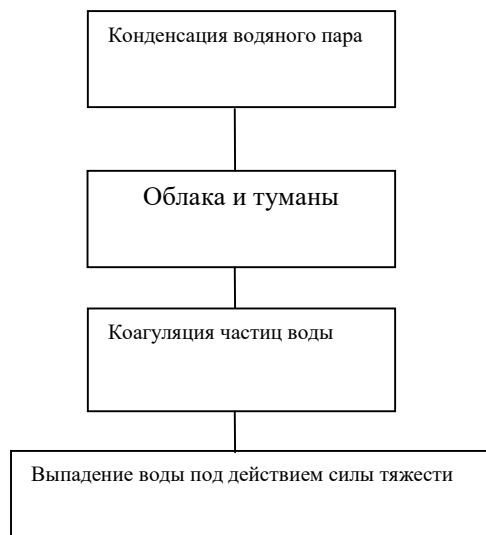
Осадки

Осадки являются наиболее важным атмосферным явлением, от которых зависит энерго- и массообмен. Осадки способны выводить газообразные примеси, которые

сорбируются каплями воды облака. При определенных физических условиях частицы воды попадают на земную поверхность в виде капель или кристаллов льда.

Интенсивность осадков является основной их количественной характеристикой. *Интенсивность осадков* - это количество выпадаемых осадков в единицу времени. Принято оценивать количество осадков в единицу длины.

Схема образования осадков имеет следующий вид:



Коагуляция - процесс укрупнения частиц путем их слипания.

6. Классификация источников промышленных выбросов в атмосферу

Источники промышленных выбросов могут быть двух типов: организованные (управляемые) и неорганизованные (неуправляемые).

Организованные источники представляют собой выбросы веществ через специальные устройства (трубы, дефлекторы, вытяжки и т.п.).

Неорганизованные источники выделяют загрязнение в атмосферу за счет контакта с атмосферой (запыление поверхности).

В зависимости от высоты H , м, различают 4 класса источников:

- 1) высокие $H \geq 50$ м;
- 2) средней высоты $H = 10$ м ... 50 м;
- 3) низкие $H = 2$ м ... 10 м;
- 4) приземные $H < 2$ м.

По внешнему виду источники промышленных выбросов бывают:

- 1) точечные - это трубы или любые другие, имеющие размер менее 20 % l_γ , при этом

$$l_\gamma = l \sin \gamma + b \cos \gamma. \quad (1)$$

- 2) линейные источники, для которых выброс осуществляется вдоль по установленной линии, длина которой более $0,2 l_\gamma$;

- 3) плоские (площадные) источники - поверхности, с которых происходит выделение загрязнителей.

Базовым нормативным документом, регламентирующим правило расчета, является ОНД - 86, ОНД - 90.

Тема 5 Прогнозная оценка глобального потепления

План

5.1. Климат и парниковый эффект

5.2. Аэрозольный эффект

5.3. Парниковые газы

1. Климат и парниковый эффект

Погода и климат интересуют всех. Если погода затрагивает лишь привычки и личные планы людей, то климат чрезвычайно важен для всей жизни человечества. Беды несет не только похолодание, потепление климата также обернется катастрофой.

Носителем климата является атмосфера, которая чрезвычайно уязвима для антропогенного влияния. Самые уязвимые к внешним воздействиям и наиболее изменчивые факторы климата - это прозрачность атмосферы и альbedo поверхности и атмосферы. Совокупность среднесуточных характеристик атмосферы, гидросферы и суши мы называем климатом. Основная климатическая характеристика - температура у поверхности Земли - изменилась за время эволюции биоты относительно мало: при современном среднем значении глобальной температуры 288 К (т. е. 15 °С) изменения с учетом ледниковых периодов не превышали 10—20°. Причины изменения климата следует разделить на земные и космические. К земным факторам относятся те, которые слагают радиационный баланс планеты, т. е. соотношение между теплом, которое планета усваивает от Солнца и сама отражает или излучает в мировое пространство. Эти так называемые радиационные факторы климата включают в себя отражающую способность (альbedo) верхних слоев атмосферы, облачного покрова, поверхности земли и океана, прозрачность и излучение атмосферы. Неравномерный нагрев суши и океана порождает воздушные и океанические течения, теплообмен между океаном, сушей и атмосферой. Все это называют циркуляционными факторами климата.

Космические факторы климата - это прежде всего светимость Солнца, параметры земной орбиты и влияние на них других небесных тел.

Основным источником тепла в тропосфере и в низкоширотных зонах является поверхность Земли. Тепловая энергия передается за счет конвекции, вызывающей образование облаков и осадков. Атмосфера передает энергию в космическое пространство в результате радиационного охлаждения. *Однако поскольку в стратосфере плотность водяных паров чрезвычайно низка, доминирующими процессами становятся нагревание в результате поглощения озоном ультрафиолетового излучения, с одной стороны, и охлаждение за счет инфракрасного излучения озона и диоксида углерода, с другой стороны.* В мезосфере, на высотах более 50 км, охлаждающий эффект CO₂

становится существенным. Следует отметить, если водяной пар присутствует главным образом в нижней части тропосферы, а озон - в стратосфере, то CO_2 распределен равномерно в каждом слое.

Расчеты указывают на следующее обстоятельство: при увеличении концентрации CO_2 в атмосфере вдвое температура поверхности возрастет на $3,6^\circ\text{C}$, и наоборот, она снизится на $3,8^\circ\text{C}$ при таком же уменьшении концентрации CO_2 .

Таким образом, поддерживается радиационное равновесие на земной поверхности. Вследствие этого проблема долгосрочного изменения климата (которое, как предполагается, зависит от влияния CO_2 на излучение Земли) будет зависеть от концентрации CO_2 в атмосфере, находящейся в равновесии с океанской водой и твердым CO_2 на дне океана.

Приведенные на рис. отклонения усредненной температуры в северном и южном полушариях и в целом на земном шаре за полтора столетия (измерения проводятся с 1850 г.) от среднего значения базового периода (1961 - 1990 гг.) указывают на тенденцию заметного потепления, что может быть связано с парниковым эффектом.

Сторонники другой точки зрения утверждают, что основной причиной климатических изменений являются изменения как самой солнечной радиации, так и прозрачности атмосферы.

Заметное уменьшение солнечной постоянной является причиной снижения температуры земной поверхности. Причиной уменьшения солнечной радиации может быть снижение прозрачности земной атмосферы, которое, в свою очередь, обусловлено присутствием в атмосфере частиц пыли.

2. Аэрозольный эффект

Кроме глобального потепления, нам угрожает еще и глобальное потемнение. К такому выводу пришли геофизики, подведя итоги проводившихся полвека измерений дневной освещенности в разных частях земного шара. Английский ученый Дж. Стэнхилл, работающий в Израиле, обнаружил, что за последние 50 лет освещенность этого региона днем упала на 22 %. Просмотрев данные из других стран, он нашел, что за это время в США стало темнее на 10 %, в некоторых районах бывшего СССР - почти на 30 %, на Британских островах освещенность упала на 16 %.

Этот вывод подтверждают и австралийские специалисты. Явление, видимо, связано с загрязнением атмосферы. Мельчайшие частицы сажи из выхлопных труб автомобилей и заводских вентиляционных систем (дымоходов) экранируют часть солнечного света и усиливают отражающую способность облаков и атмосферы в целом.

Пока простым глазом этот эффект не замечен, но он, несомненно, повлияет

на многие аспекты жизни на Земле - от климата до работы солнечных электростанций и даже фотосинтеза растений.

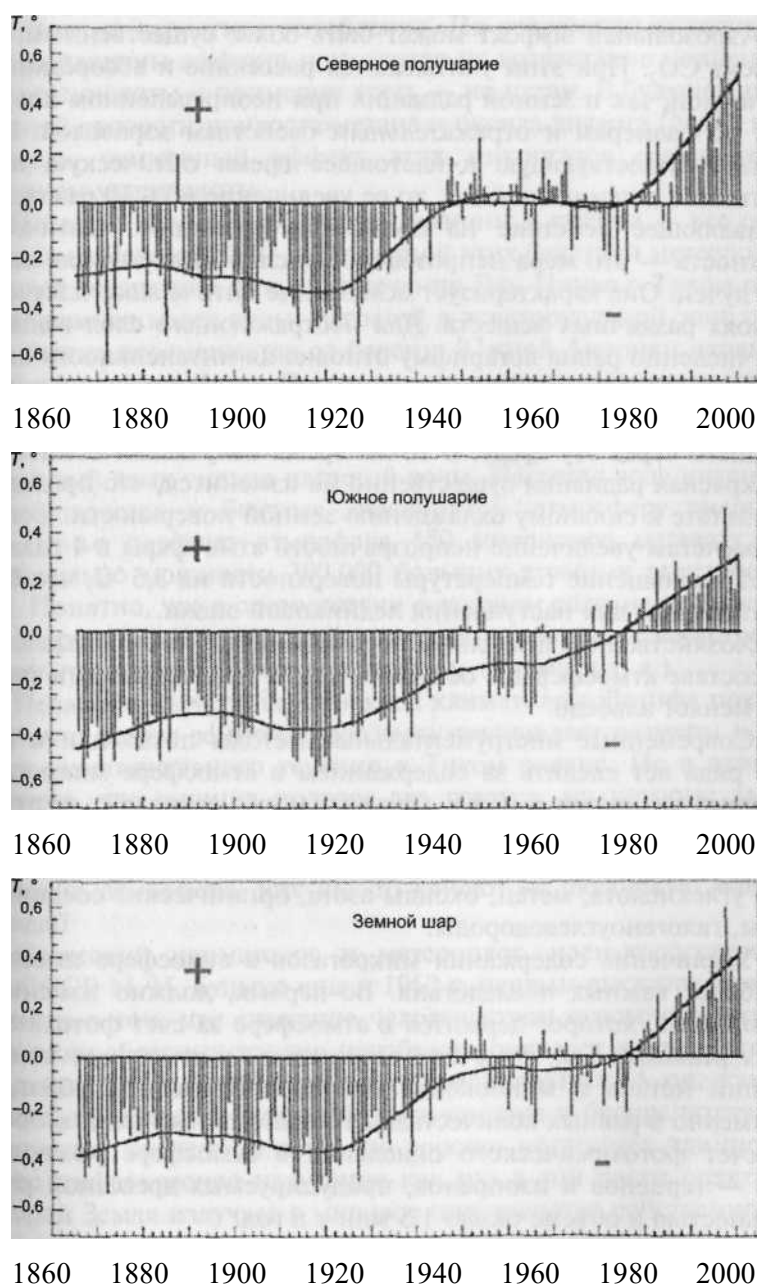


Рис. Общее представление о глобальном потеплении за период с 1856 по 2001 г. (аномалии вычислены как отклонения от среднего значения базового периода: 1961-1990 гг.)

Аэрозольный эффект может быть более существенным, чем эффект CO_2 . При этом учитываются рассеяние и абсорбция как солнечной, так и земной радиации при неопределенном количестве по размерам и отражательным свойствам аэрозолей. Если считать существующую в настоящее время оптическую плотность слоя пыли равной 0,1, то ее увеличение в 2—10 раз окажет подавляющее действие на солнечную радиацию. *Оптическая плотность - это мера непрозрачности слоя вещества для световых лучей. Она характеризует ослабление оптического излучения в слоях различных веществ. Для неотражающего слоя вещества она численно равна логарифму отношения*

интенсивности света, падающего на поглощающую среду, к интенсивности света, прошедшего через эту среду. В то же время излучаемая Землей инфракрасная радиация существенно не изменится, что приведет в результате к сильному охлаждению земной поверхности. *Согласно расчетам увеличение непрозрачности атмосферы в 4 раза вызовет уменьшение температуры поверхности на 3,5 °C, что будет достаточным для наступления ледниковой эпохи.*

Хозяйственная деятельность цивилизации давно сказывается на составе атмосферы и оставляет следы на поверхности планеты, меняет альбедо.

Современные инструментальные методы позволили в течение ряда лет следить за содержанием в атмосфере микрогазов, которые находятся в ней в концентрации нескольких частей на миллион (ppm) и даже нескольких частей на миллиард (ppb). Это углекислота, метан, оксиды азота, органические соединения серы, галогеноуглеводороды.

Увеличение содержания микрогазов в атмосфере имеет два наиболее важных последствия. Во-первых, должно измениться равновесие, которое держится в атмосфере за счет фотохимических реакций. Так, отмечено возрастание в атмосфере концентраций метана и монооксида углерода. Последний образуется примерно в равных количествах как техногенный газ и вторично за счет фотохимического окисления в атмосфере углеводородов — терпенов и изопренов, продуцируемых древесной растительностью в объеме около 1,5 млн т в год.

Во-вторых, такие микрогазы, как углекислота, метан, закись азота, относятся к так называемым парниковым газам, удерживающим отраженное инфракрасное излучение. Парниковый эффект может существенно повлиять на климат Земли, известны прогнозы на вероятное потепление. *По современным расчетам, более половины эффекта приходится на возрастание концентрации углекислоты и примерно треть — на метан.*

В будущем из-за высокой скорости прироста метана и оксида диазота (N_2O), надо полагать, суммарный эффект этих микрогазов сравняется с влиянием углекислоты.

Пожары, наводнения, засухи, ураганы и смерчи - все обрушилось на Землю в 1997 г. Причиной этих бедствий метеорологи считают возвратное движение течения Эль-Ниньо в Тихом океане. Огромная масса воды, нагретой в экваториальной зоне океана, обычно перемещается от берегов Южной Америки вдоль экватора в сторону Азии. Время от времени она поворачивает обратно и течет от Азии к Америке. Эль-Ниньо в плане - это вытянутый язык сильно нагретой воды. Нагретая вода интенсивнее испаряется и быстрее «накачивает» атмосферу энергией. Эль-Ниньо передает атмосфере

450 миллионов мегаватт, что равносильно мощности 300 000 больших атомных электростанций. Понятно, что в соответствии с законом сохранения энергии эта энергия не исчезает, а реализуется в различных катастрофических проявлениях (смерчи, ураганы, цунами и т. д.).

Недавние расчеты германского климатолога Латифа показывают, что нагрев земной атмосферы увеличивает размеры и действие экваториального течения в Тихом океане. Не в этом ли причина, что лишние полтора-два градуса, на которые за последние годы по причине усиливающегося парникового эффекта нагрелась атмосфера, уже как-то влияют на океанскую машину погоды?

Советский климатолог и метеоролог, член-корреспондент АН СССР М. И. Будыко еще в 1962 г. первым высказал предположение о том, что сжигание человечеством огромного количества разнообразных топлив неизбежно приведет к тому, что содержание CO_2 в атмосфере будет увеличиваться. А он, как известно, прозрачен в видимой части спектра и беспрепятственно пропускает солнечные лучи, но хорошо поглощает длинноволновое инфракрасное излучение как раз в той части спектра, в которой Земля излучает в мировое пространство собственное тепло, что приводит к эффекту, который наблюдается в застекленных парниках.

В 1987 г. был издан доклад Международной комиссии, возглавлявшейся премьер-министром Норвегии Г. Х. Брундтланд, в котором сказано, что «трудно представить себе проблему с более глобальными последствиями для человеческого общества и естественной окружающей среды, чем парниковый эффект». В мае 1988 г. Международное совещание по парниковому эффекту в Оттаве обратилось к правительствам всех стран с призывом сократить к 2000 г. количество сжигаемых топлив хотя бы на 20 % и тем самым замедлить процесс потепления.

В докладе комиссии Г. Х. Брундтланд высказывается опасение, что парниковый эффект может вызвать подъем уровня Мирового океана от 25 до 140 см, в результате чего «будут затоплены низкорасположенные города и сельскохозяйственные районы». Эти опасения были вызваны предположением, что при повышении температуры воздуха растают материковые льды Антарктиды и Гренландии. Однако такое предположение нельзя считать обоснованным. *Дело в том, что углекислый газ не только поглощает излучение Земли, он еще увеличивает излучательную способность атмосферы.* А это, наоборот, должно способствовать выхолаживанию. Правда, кроме углекислого газа, в воздухе растет концентрация и других газов, которые могут вызвать парниковый эффект - метана, оксидов азота.

Вместе с углекислым газом при сгорании топлива выбрасывается огромное количество аэрозолей — летучей золы, сажи. Топливо всегда содержит серу, поэтому атмосфера впитывает сернистый газ, который превращается в аэрозоли серной кислоты и сульфата аммония. Аэрозоли из труб котельных, электростанций, заводов влияют на климат так же, как и вулканы, т. е. в сторону похолодания, уравнивая тем самым эффект парниковых газов. Однако пока антропогенные аэрозоли имеются в атмосфере в небольшом количестве по сравнению с природными, и вследствие этого их пагубное влияние сказывается только в региональном масштабе. *Сажевые аэрозольные частицы действуют и в противоположном направлении: осаждаясь на арктических льдах, они снижают альбедо полярных шапок, способствуют таянию льдов.*

Следовательно, потепление, связанное с парниковым эффектом, не будет сопровождаться значительным таянием льдов и не грозит резким повышением уровня Мирового океана. Вместе с тем необходимо учитывать другие возможные катастрофические последствия парникового эффекта, как это проявляется в случае экваториального течения Эль-Ниньо.

Глобальное потепление также влияет на скорость вращения планеты. По расчетам бельгийского астронома О. де Вирона, к концу XXI в. из-за потепления сутки станут на 0,00011 секунд длиннее, чем сейчас. Де Вирон и его коллеги из Королевской обсерватории в Брюсселе исходят из того, что ежегодно количество углекислого газа в атмосфере увеличивается на один процент. *С изменением плотности воздуха (т.к. повышается температура в связи с атмосферы в связи с поглощением инфракрасного излучения) способность атмосферное давление становится меньше, а значит, суша и океан немного приподнимаются. Это не приметное перемещение масс замедляет движение Земли.* Кроме того, меняется роза ветров, и все чаще ветер дует в восточном направлении, как и при Эль-Ниньо.

Представленный в данном разделе материал подтверждает точку зрения большинства исследователей, возлагающих ответственность за глобальное потепление климата на возросшую антропогенную деятельность. Одновременно с этим преобладающее в настоящее время мнение связывает человеческую деятельность не только с ростом температуры воздуха, но и с частотой и интенсивностью проявления многих климатических феноменов, таких как ураганы «Рита» и «Катрин», цепь сменяющих друг друга тайфунов и торнадо, обрушившихся на побережье Северной Америки.

Осознание человечеством нарастающей угрозы катастрофического глобального потепления привело к тому, что решение проблемы радикального уменьшения выбросов

парниковых газов стало первоочередной задачей мирового сообщества. Первым реальным действием, направленным на ее решение, является подписанный 121 страной в декабре 1997 г. Киотский протокол. В нем ставится цель сократить развитыми в промышленном отношении странами к 2008—2012 гг. суммарные выбросы диоксида углерода на 5,2 % по сравнению с выбросами 1990 г. Договор ратифицировали до 2005 г. 120 стран, включая все европейские страны, Японию, Индию и Китай, ответственных за выбросы в атмосферу примерно 44 % углекислоты. *По условию, Протокол вступает в действие лишь после его ратификации странами, на долю которых приходится суммарно не менее 55 % производимого в мире углекислого газа.* Доля России составляет 17 % мировых выбросов, и поэтому ее позиция оказалась решающей в судьбе Киотского протокола. После ряда лет ожесточенных дискуссий общественность России и ее государственные органы высказались в пользу его ратификации, которая произошла в феврале 2005 г. С 16 февраля 2005 г. Киотский протокол вступил в действие. Этот акт мирового сообщества подтверждает целесообразность и необходимость совместных усилий, направленных на предотвращение возможных проявлений глобальных катастрофических последствий человеческой деятельности.

3. Парниковые газы

Парниковые газы — водяной пар, углекислый газ, метан, фтор- и хлорсодержащие углеводороды, монооксид азота (N_2O) - прозрачны для солнечного света, но не пропускают и поглощают тепловое инфракрасное излучение земной поверхности. Парниковое «одеяло» из газов создает на Земле условия, пригодные для органической жизни. При отсутствии в атмосфере парниковых газов средняя температура земной поверхности упала бы до минус 19^0C , и Земля была бы окутана слоем льда.

Вынос в атмосферу углекислого газа, метана и монооксида азота антропогенного происхождения усиливают природный парниковый эффект. Выбросы в атмосферу диоксида углерода создают около 60 % дополнительного парникового эффекта, метана - примерно 20 %, 6-7 % приходится на монооксид азота и на другие соединения углерода - еще 14 %.

Учитывая наибольший вклад в создание парникового эффекта углекислого газа и метана, рассмотрим более подробно их поведение и превращения в атмосфере.

Диоксид углерода. Ежегодно сжигаются миллиарды тонн топлива, из-за чего в атмосферу поступает все больше углекислого газа (рис.).

С 1800 г. до начала XXI в. концентрация диоксида углерода (CO_2) в атмосфере увеличилось с 280 до 360 ррт.(частиц на миллион).

Это важнейший показатель для биосферы, так как CO_2 , во-первых - парниковый газ, который вместе с водяным паром, метаном, оксидами азота определяет парниковый эффект, а следовательно, и климат, и, во-вторых, он - основная пища растений.

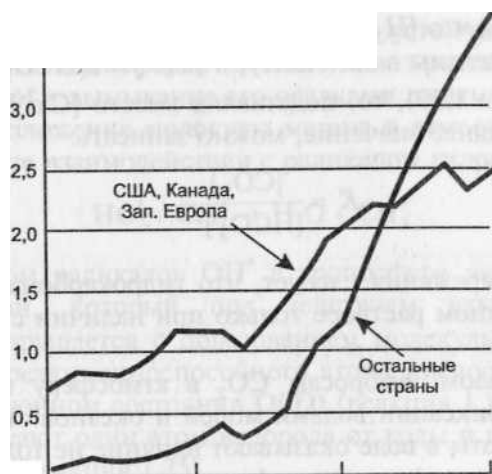


Рис. Выброс CO_2 в атмосферу (млрд т)

Атмосферный диоксид находится в состоянии постоянного обмена с водами морей и океанов, почвами и живыми организмами, в результате чего создается постоянный кругооборот его в природе.

При подсчете баланса углекислоты обычно учитывают, с одной стороны, поглощающую способность океана и способность растений ассимилировать CO_2 , с другой - углекислоту, выделяемую при сжигании топлив, что соответствует 5 млн. т в год.

В зависимости от величины pH воды углекислота встречается в ней в свободном состоянии в виде диоксида углерода CO_2 или в связанном в виде гидрокарбоната HCO_3^- и карбонат CO_3^{2-} -ионов, которые связаны между собой так называемым углекислотным равновесием [7].

$$K = [\text{CO}_2] / [\text{HCO}_3^-]^3$$

Из этого выражения следует, что гидрокарбонат-ионы присутствуют в водном растворе только при наличии свободной углекислоты.

Таким образом, выбросам CO_2 в атмосферу противостоят процессы его фиксации водами морей и океанов. На растворимость углекислоты в воде оказывают влияние не только концентрации CO_2 в атмосфере, но и формы нахождения последней в воде в соответствии с углекислотным равновесием и pH воды.

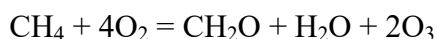
Другим стоком углекислоты из атмосферы является фотосинтез растений. Биота забирала из атмосферы в процессе фотосинтеза не только весь углерод, выделенный ею же в атмосферу в процессах дыхания и разложения — около 100 млрд. т в год, - но и

около половины углерода, содержащегося в антропогенных выбросах, а в последние годы - около $\frac{2}{3}$.

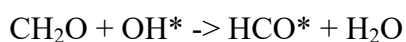
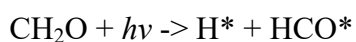
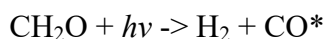
Попавший в атмосферу CO_2 остается в ней в среднем 2—4 года.

Метан. Метан (CH_4) — газ явно биогенный, хотя человечество в своей хозяйственной деятельности косвенно поставляет его в атмосферу: идет разложение органического мусора, органики вод очистных сооружений, выделения при добыче полезных ископаемых (углей), и т. д. Увеличение поголовья скота, масштабов выращивания риса, общее повышение температуры болот - все, что ведет к усилению микробной деятельности, способствует образованию и повышению концентрации метана в атмосфере. Максимум содержания метана расположен над высокими и умеренными широтами северного полушария. Концентрация метана возрастает примерно на 1,2 % в год. Его содержание в атмосфере за истекшие два столетия повысилось примерно в двое и оценивалось к началу XXI в. величиной 4000—5000 млн. т. По своей способности усиливать парниковый эффект метан в 20 раз превосходит углекислый газ.

Молекула метана химически довольно устойчива и ее нелегко вывести из атмосферы. Метан мало растворим в воде ($30 \text{ см}^3/\text{л}$ воды), и вымывание его осадками из атмосферы не наблюдается. Разложение молекулы метана в атмосфере происходит в результате цепочки последовательных реакций с участием радикала гидроксила (*источником радикалов OH^* в тропосфере является тропосферный озон, который под действием ультрафиолета с $\lambda < 310 \text{ нм}$ разрушается с образованием молекулы кислорода и чрезвычайно реакционноспособного атома кислорода в возбужденном электронном, атомы кислорода отрывают один атом водорода от воды и получается два радикала OH^**), образующихся в результате реакций формальдегида, озона, оксида углерода.



В результате последовательной цепи превращений из одной Молекулы метана образуется по одной молекуле формальдегида (CH_2O) и воды и две молекулы озона. Молекулы формальдегида, образующиеся в ходе вышеприведенных реакций окисления метана, обладают значительной химической активностью и в условиях атмосферы испытывают следующие превращения:



Реакции с формальдегидом являются родоначальниками дальнейших циклов превращений.

Продуктами этой цепи превращений формальдегида являются - молекулы озона, радикала OH^* , воды и углекислого газа.

Схема химического стока метана в атмосфере:

Баланс по O_3 : $[0,25 \cdot 2(2) + 0,25(3) + 1,0(5) + 2(1) = 3,75]$;

Баланс по H_2O : $[1,0(1) + 0,25(3) + 0,5(4) = 1,75]$;

Баланс по OH^* : $[0,25 \cdot 2(2) = 0,5]$;

Баланс по CO_2 : $[1,0(5) = 1]$.

В итоге вместо одной исчезнувшей в атмосфере молекулы CH_4 возникают 3,75 молекулы озона, 1,75 молекулы воды, 0,5 радикала OH^* и 1 молекула углекислого газа.

Таким образом, в основе вывода метана из тропосферы лежит механизм химических превращений метана. Другие стоки метана из тропосферы имеют меньшее значение, и их вклад не превышает 10 % от общего стока метана.

Тема 6 Кислотные осадки

План

- 6.1. Химические превращения кислых газов в атмосфере
- 6.2. Пути поступления кислых оксидов в атмосферу
- 6.3. Механизмы образования кислотных дождей
- 6.4. Влияние кислотных дождей на природные объекты, здания, памятники и технику
- 6.5. Фотохимический смог

При сжигании любого ископаемого топлива в составе выделяющихся газов всегда обнаруживаются оксиды серы и азота, количество которых в газах определяется составом топлива. Еще в 1950 г. теплостанции только США выбрасывали в воздух около 5,4 млн т диоксида серы, а сейчас эта цифра многократно увеличилась и составляет свыше 20 млн т. Эти миллионы тонн кислых оксидов, выбрасываемые в атмосферу, превращают выпадающие дожди и другие осадки в слабый раствор кислот (рис. 1)

Сама по себе дождевая вода, образующаяся при конденсации водяного пара, должна бы иметь нейтральную реакцию, т. е. ее pH должен быть равен 7. Однако в воздухе присутствует диоксид углерода (CO_2), который, растворяясь в водных каплях, образует слабую угольную кислоту H_2CO_3 . Поэтому условия равновесия углекислого газа с влагой атмосферы определяют значение pH дождевой воды, которое составляет 5,6 для концентрации CO_2 в чистом воздухе около 300 ррт (350 частей на миллион) и является естественным показателем чистой воды. Впервые на кислую реакцию дождевой воды обратил внимание в 1684 г. английский ученый Р. Бойль.

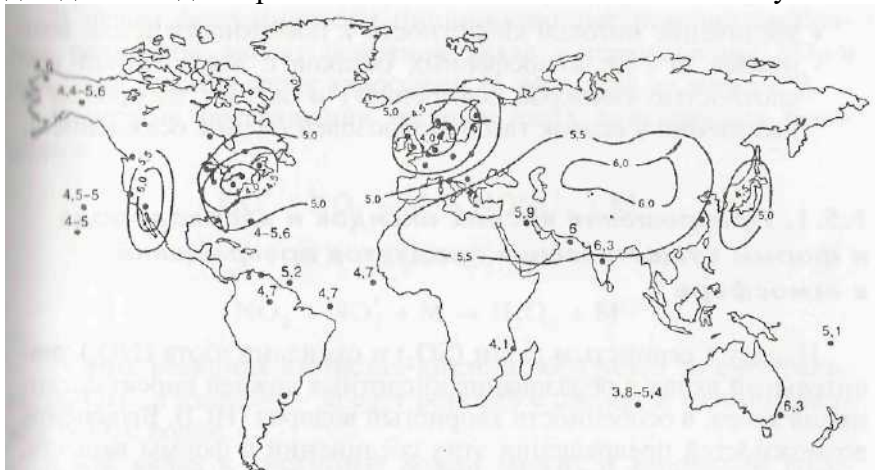


Рис. 1. Кислотность осадков (в единицах pH) на земном шаре [8]

Если pH выпадающих осадков меньше 5, то осадки считаются кислыми. Они характерны для районов земного шара с высокой концентрацией промышленности (Европа, Северная Америка, Япония, Китай). Веществами, определяющими кислотные свойства осадков, являются серная, азотная, муравьиная и уксусная кислоты.

10 апреля 1974 г. в шотландском городке Питлохри выпал дождь с pH 2,4: это уже была не вода, а что-то вроде столового уксуса.

Антропогенная деятельность является причиной выпадения кислотных дождей из-за того, что:

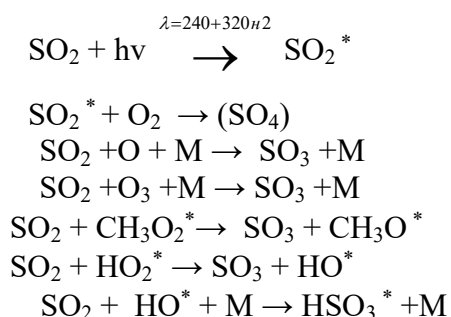
- большие загрязнения атмосферы продуктами сгорания топлива, отходами промышленного производства, применение химикатов, автотранспорт определяют большие потоки первичных кислых примесей, которые могут вносить существенный вклад в кислотность атмосферы;
- среднее времясуществования загрязнений зависит от: стабильности атмосферы, частоты выпадения осадков, присутствия индивидуальных компонентов атмосферы и т. д.;
- большинство загрязнений остается в пределах нижней части тропосферы и относительно равномерно распределено внутри перемешивающегося слоя;
- увеличение потоков кислотности к поверхности земли возникает за счет атмосферных осадков с повышенной кислотностью («мокрое осаждение») и за счет адсорбции и выпадения в осадок газов и аэрозолей («сухое осаждение»).

1. Превращения кислых оксидов и хлороводорода и формы существования продуктов превращений в атмосфере

Наряду с сернистым газом (SO_2) и оксидами азота (NO_x) значительный вклад в образование кислотных дождей вносят соединения хлора, в особенности хлористый водород (HCl). Выяснение возможностей превращения этих соединений в формы веществ, стабильно существующих в условиях атмосферы и аккумулирующихся в областях с повышенным влажностью и концентрацией аэрозолей, а затем выпадающих в виде осадков на земную поверхность, является важной задачей, решение которой позволит минимизировать урон, наносимый биосфере.

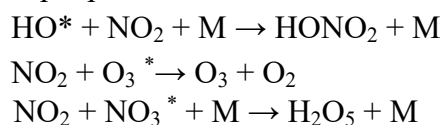
Вместе с тем определение и анализ возможных превращений первичных загрязнений SO_2 , NO_x , HCl — очень сложная физико-химическая задача. Здесь в первую очередь необходимо отметить, что тип осадка (сернокислый, азотнокислый, солянокислый, смешанный и т. п.) определяется преобладающим в атмосфере загрязнением, а также возможностью вторичных превращений под действием других примесей, солнечного света и др.

Например, процесс превращения диоксида серы в сульфат в атмосфере протекает различными путями через образование таких продуктов окисления, как SO_2 , H_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4HSO_4 и т. д.:



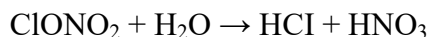
В целом фотохимически инициированные реакции свободных радикалов вносят основной вклад в превращение SO_2 в сульфат в нижних слоях атмосферы (в формулах со знаком *).

Основные превращения оксидов азота описываются реакциями:



В этих реакциях азотистая кислота образуется за счет радикалов OH^* , а азотная — за счет реакций с озоном и взаимодействия N_2O_5 с водой.

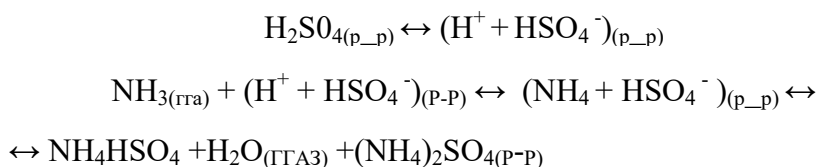
Свой вклад в кислотные дожди вносит и хлористый водород. Хлористый водород подвергается превращениям, в результате которых образуется устойчивый нитрат хлора (ClONO_2). Гидролиз этого соединения приводит к появлению двух сильных кислот:



что имеет прямое отношение к появлению кислотных дождей. Имеется большое количество химических соединений, которые вводятся в тропосферу и находятся в ней в виде аэрозолей. И них сильные кислоты могут существовать в газообразном состоянии (HNO_3 , HCl), в форме водных капель (H_2SO_4), а также в адсорбированном виде на поверхности твердых частиц.

Дальнейшая судьба этих кислот связана с их участием в следующих процессах.

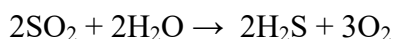
Один из них — процесс нейтрализации серной кислоты аммиаком, находящимся в свободном состоянии:



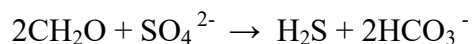
Таким образом, в результате взаимодействия газообразного аммиака с растворенной в дождевых каплях серной кислотой образуются бисульфат (NH_4HSO_4) и сульфат $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ аммония.

2. Пути поступления кислых оксидов в атмосферу

Естественными поставщиками диоксида серы (SO_2) в атмосферу служат вулканы, а также процессы сжигания угля и других серосодержащих топлив, окисления сероводорода (H_2S) при разложении органики. Суммарное количество SO_2 , ежегодно поступающее в атмосферу из естественных источников, составляет в среднем 10—12 млн т. Присутствующий в вулканических газах; сероводород образуется в паровой фазе при высоких температурах вулканической деятельности из диоксида серы:



Образование сероводорода, меркаптанов (серосодержащих аналогов спиртов общей формулы RSH , где R — углеводородный радикал) может происходить в анаэробных условиях (отсутствие кислорода), когда отдельные виды микроорганизмов восстанавливают сульфат-ионы, входящие в состав донных отложений, в реакциях брожения, например:



Сероводород в газовой фазе плохо реагирует с молекулярным кислородом и не подвергается фотолизу, но легко окисляется атомарным кислородом.

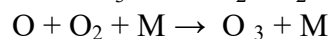
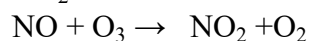
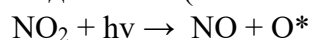
Концентрация SO_2 в воздухе в значительной мере определяется характером местности, плотностью населения и уровнем урбанизации. В чистом воздухе сельской местности содержание SO_2 может достигать нескольких десятков мкг/м^3 , в воздухе над океаном оно составляет 0—4 мкг/м^3 , а в воздухе промышленных центров концентрации диоксида серы могут быть в 100 и даже 500 раз выше.

Большое количество сернистого газа (SO_2) образуется при работе теплоэлектростанций, котельных и других предприятий, использующих в качестве топлива уголь и мазут. Предприятия нефтепереработки и газовой промышленности в

технологических процессах переработки сырья выбрасывают в тропосферу миллионы тонн сероводорода, меркаптанов, сероуглерода (CS_2) и других серосодержащих веществ.

Основным природным источником поступления оксидов азота в атмосферу является деятельность живых организмов в почве, грозе. Оксиды азота антропогенного происхождения образуются в основном в результате сгорания топлива по высокотемпературным реакциям взаимодействия атмосферных азота и кислорода. (Фотоокисление кислородом часто протекает с помощью молекул веществ-сенситизаторов, передающих энергию поглощенного ими фотона молекуле кислорода или другого вещества и тем самым переводящих ее из основного невозбужденного состояния в активное возбужденное состояние. Сенситизаторами являются молекулы веществ, высокочувствительные к действию оптических фотонов (квантов света), которые, поглощая квант световой энергии, переходят в возбужденное состояние. Фотоны или кванты обладают энергией $E=h\nu$, где h — постоянная Планка, ν — частота световой волны. При взаимодействии с молекулами вещества может поглощаться целый квант. При этом молекула, поглотившая фотон, возбуждается — ее электронная оболочка переходит в более высокое энергетическое состояние).

Концентрации оксидов азота (NO и NO_2) в атмосфере регулируются реакциями:



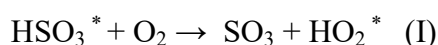
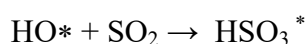
и зависит от характера подстилающей земной поверхности. Так, над океанами содержание NO_x не превышает 300 ppt (1 ppt = 1 часть на триллион), а над континентами оно на один — два порядка выше.

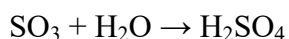
Наибольший вклад в образование оксидов азота вносит антропогенная деятельность, когда при сжигании топлива они образуются в результате высокотемпературных реакций между азотом и кислородом воздуха либо за счет азота, входящего в состав горючего вещества. Образующийся NO_x в первом случае называется «термическим», и его выход в значительной степени определяется температурой. Концентрация оксидов азота, образующихся за счет окисления азотсодержащих соединений, входящих в состав топлива, определяется только первичным содержанием азота в топливе и практически не зависит от температуры горения. Выделяемый в атмосферу в последнем случае NO_x называется «топливным».

Органические кислоты, входящие в состав кислых осадков, образуются в атмосфере при окислении непредельных органических соединений (изопренов, терпенов), выделяемых растительностью. Механизм образования органических кислот (муравьиной, уксусной) включает окисление органических соединений озоном, радикалами OH^* , атомарным кислородом и представляет сложный многостадийный процесс, окончательно не выясненный.

3. Механизмы образования кислотных дождей

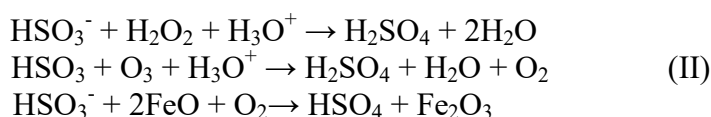
Скорость окисления SO_2 кислородом воздуха при обычных температурах атмосферы очень мала, поэтому образование серной кислоты из диоксида серы инициируют радикалы гидроксила, концентрация которых в атмосфере достаточно велика: $5 \cdot 10^5$ — $1 \cdot 10^6$ частиц в 1 см^3 . Набор реакций, отвечающий образованию H_2SO_4 в газовой фазе (механизм I), представлен следующими превращениями:





Молекулы серной кислоты, появляющиеся по этому механизму в газовой фазе, в дальнейшем абсорбируются водяными каплями с образованием слабокислого раствора, который выпадает в виде кислотного дождя либо нейтрализуется аммиаком или другими основными веществами и выпадает на поверхность Земли в виде соответствующих солей.

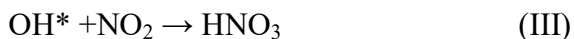
Другой механизм получения серной кислоты в атмосфере (механизм II) связан с окислением SO_2 , абсорбированного облачными каплями и находящегося в форме ионов сернистой кислоты SO_3^{2-} и HSO_3^- . Окислителем являются пероксид водорода и озон. Некоторые исследователи считают, что в присутствии озона диоксид серы окисляется при наличии оксидов некоторых металлов (алюминия, кальция, железа). Они полагают, что этот тип окисления связан с присутствием катализатора (ионы металлов) и достигает высокого уровня только в загрязненном воздухе. Возможные реакции механизма II:



Заслуживают внимания процессы адсорбции SO_2 на атмосферных частицах с последующим превращением в сульфат. Превращение в сульфат протекает быстро на щелочной пыли и не идет на нейтральной или кислой пыли, если вещество не проявляет каталитических свойств за счет присутствия в ней аэрозолей солей металлов. Особую роль играет влажность, увеличение которой способствует большей степени превращения в сульфат. Возможен и следующий механизм, включающий фотохимическое воздействие на различные загрязняющие вещества (главным образом на NO_2 и углеводороды) с образованием радикалов или атомов, способных окислять диоксид серы (SO_2). В любом случае прямым продуктом окисления является серный ангидрид (SO_3), который затем превращается в H_2SO_4 .

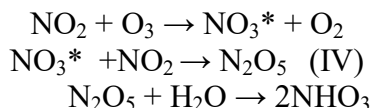
Рассмотренные механизмы окисления и пути вывода SO_2 исходят из продолжительности пребывания его в атмосфере (2—4 дня), и при этом полагается равноценность вклада каждого механизма в итоговый результат образования кислотных дождей.

Основные количества азотной кислоты в атмосфере образуются в результате взаимодействия радикала гидроксила с диоксидом азота (механизм III):



Реализация этого взаимодействия осуществляется в условиях светового дня, что обусловлено нахождением OH^* в атмосфере только в дневное время. Эта особенность отражена в названии рассмотренного процесса — «дневной» механизм образования азотной кислоты (HNO_3).

Альтернативным этому является «ночной» механизм получения азотной кислоты (механизм IV). В его основе лежит взаимодействие диоксида азота (NO_2) с озоном с образованием радикала NO_3^*



Появляющийся в данной схеме радикал NO_3^* весьма неустойчив и быстро разлагается под действием солнечной радиации, вследствие чего механизм (IV) в дневное время не работает.

Образующиеся в атмосфере кислоты входят в состав туманов, облачных и дождевых капель. Приведем значения pH и концентраций некоторых примесей в этих природных образованиях в табл. 1.

Таблица 1. Значения рН и концентраций некоторых примесей

| Природные образования | рН | [Na ⁺]мкМ (микромоль) | [Cl ⁻]мкМ (микромоль) |
|-----------------------|---------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Туман | 2,9-4,9 | 320-500 | 480-730 |
| Облака | 4,4 | 120 | 150 |
| Дождевая вода | 4,7 | 19,8 | 21,7 |

Такое распределение можно объяснить следующим образом. Концентрация примесей у поверхности Земли наибольшая, и поэтому в туманах наибольшая концентрация примесей и кислот. На высоте нескольких километров, где существуют облачные капли, концентрация примесей в атмосфере значительно меньше, чем у поверхности. При образовании дождя происходит разбавление облачных капель, и поэтому концентрация примесей и кислот еще сильнее снижается. Таким образом, для сельского хозяйства и огородов наиболее пагубны туманы, так как они обычно холодные и содержат больше вредных примесей, чем дождевая вода.

Образовавшиеся кислоты выводятся из атмосферы дождями примерно через 7 суток.

4. Влияние кислотных дождей на природные объекты, здания, памятники и технику

Кислотные дожди наносят существенный урон объектам биосферы. Это касается в равной степени водных объектов, состояния почв, растительного и животного мира (рис.2).

Влияние на водные объекты. Вода любого пресноводного водоема чаще всего имеет щелочную реакцию — (рН от 6,5 до 8,0), так как всегда содержит катионы щелочных и щелочноземельных металлов. Они вымываются водными потоками из почвы к подстилающим горным породам, а также образуются при разложении органических остатков. Этот состав воды благоприятен для жизнедеятельности всех обитателей рек и озер от бактерий и водорослей до рыб.

При систематическом выпадении кислых осадков вода первое время сохраняет слабощелочную реакцию благодаря своим естественным буферным свойствам. Однако постепенно пресноводные водоемы начинают понемногу подкисляться, что сразу же сказывается на условиях обитания всех населяющих эти воды биологических объектов — растениях, бактериях, водорослях, рыбах, земноводных и т. п. Так, при значениях рН от 6 до 5,5 быстро сокращается численность и видовое разнообразие живых существ, при снижении рН до 4,5 происходит массовая гибель рыбы и теряется способность их к размножению.

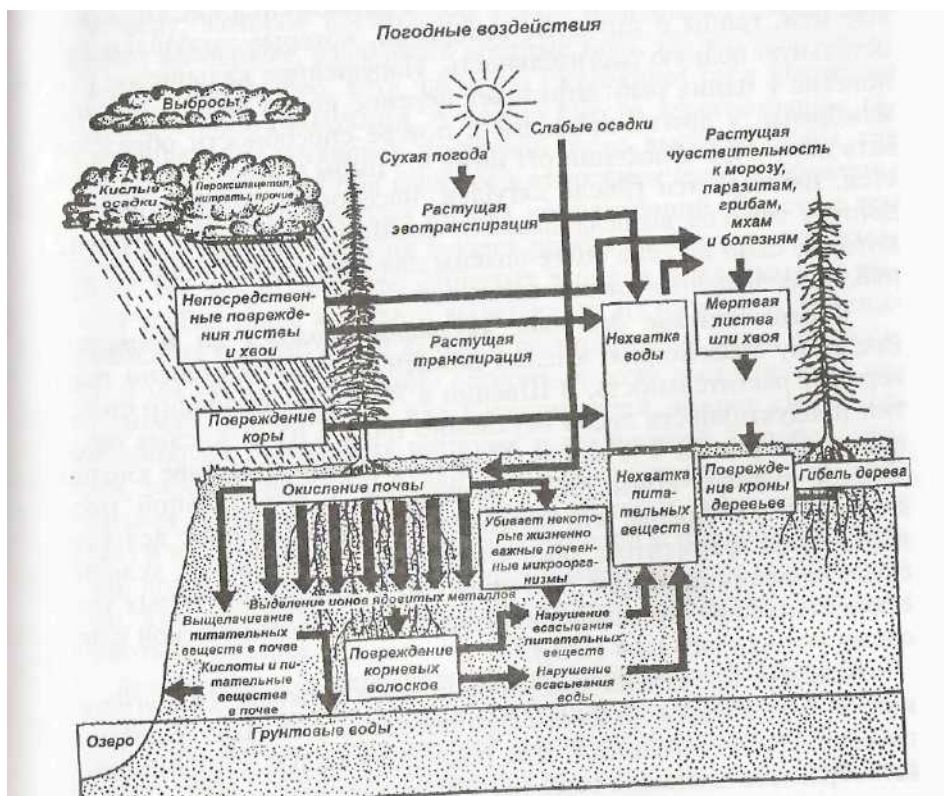


Рис. 2. Вредное воздействие кислотных осадков на почву и растительность [9]

При этих же значениях pH бурно развиваются кислотолюбивые мхи, грибы и нитчатые водоросли, которые заглушают всю остальную водную растительность. Нарушенное кальциевое равновесие у одних рыб затрудняет перенос ионов через жаберные мембраны, у других приводит к потере способности образовывать икру. При снижении pH ниже 4,5 рыбы в озере уже не остается, наблюдается гибель лягушек, насекомых. Из силикатов и донных осадков выщелачиваются алюминий и другие металлы, которые сами по себе более опасны для окружающей биоты, чем наблюдающаяся высокая кислотность.

Физиологическое действие кислотных дождей на растения. Вредному воздействию кислых дождей в сильной степени подвержена растительность. В Швеции в 70-х годах прошлого столетия продуктивность лесов неуклонно падала из-за кислых осадков (примерно на 1 % в год). Присутствующие в составе кислых дождей сульфит-ионы (SO_3^-) разрушают в значительной мере клеточные мембраны, что вызывает сбои и нарушение деятельности ряда ферментов, обеспечивающих нормальные условия существования растений. Это приводит к отмиранию целых участков листьев из-за нарушения механизма фотохимической фиксации углекислого газа (CO_2).

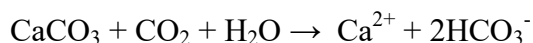
Действие кислотных дождей ярче всего проявляется в угнетении и уменьшении видового разнообразия у низших растений по сравнению с высшими. Для последних малые концентрации газообразного диоксида серы (до 100 ppt) являются питательным элементом и одновременно предохраняют от грибковых заболеваний.

Кислотные дожди и почва. Негативное влияние кислотных дождей ощущают не только пресные воды и растения, но и почвы. В них при повышении кислотности ускоряется вымывание питательных веществ, гибнут полезные микроорганизмы, в том числе азотфиксирующие: среднее число клубеньков на корнях Лобовых при уменьшении pH почвенного раствора с 6,0 до 3,2 снижается почти втрое. Особенно сильное отрицательное влияние понижения pH почв наблюдается вблизи крупных

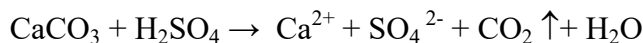
промышленных центров, которое проявляется в усыхании и гибели деревьев и травяного покрова на большой территории.

Уменьшения ущерба, наносимого кислотными дождями, можно добиться лишь снижением кислых газовых выбросов в атмосферу, которое достигается двумя основными способами. Можно, во-первых, улавливать вредные газы, но это дело сложное и дорогостоящее, хотя частично окупающее себя выпуском дополнительной продукции. А можно вместо дорогостоящих газосулавливающих установок построить очень высокие трубы, где вредные кислые газы при выбросе в атмосферу будут разбавлены чистым воздухом до весьма низких концентраций. Вместе с тем постройка высоких труб не решает проблемы отравления атмосферы, так как количество ядовитых веществ, удаляемых из высокой трубы, такое же, как и вылетающих из низкой, и они осаждаются на гораздо более дальнем расстоянии от места выброса. При этом страдают соседние регионы и даже государства. Кислые дожди, выпадающие над Скандинавией, имеют свою предысторию на Британских островах и в Северной Европе. Циклоны, зарождающиеся в Атлантике и проходящие над промышленными центрами Англии, Рурской области, вбирают в себя десятки и сотни тысяч тонн кислых оксидов и проливаются кислотными дождями над гористой Скандинавией. Из этого становится ясно, что строительство сверхвысоких труб не решает проблемы кислотных осадков.

Воздействие кислотных дождей на строения и технику. Осадки, формирующиеся в дождевых облаках и находящиеся в контакте с атмосферой, содержащей значительное количество углекислого газа, обладают слабокислой реакцией и разрушающе действуют на строения с известковой кладкой:

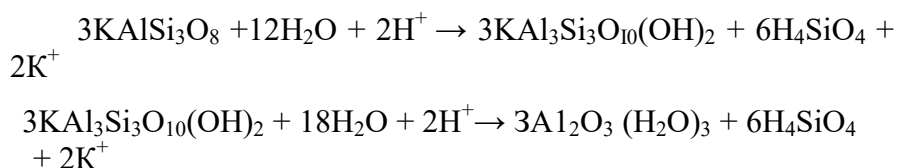


Этот эффект значительно усиливается при подкислении влаги дождевых облаков кислыми газами антропогенного происхождения при абсорбции водяными парами. Сернокислотные осадки необратимо разрушают строения на основе известняка:

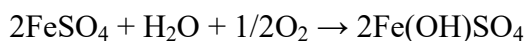


Наиболее ярко и наглядно это иллюстрируется состоянием таких исторических памятников и сооружений, как Акрополь в Афинах, Колизей в Риме, Кельнский собор и др., которые разрушаются под действием кислотных дождей.

Подобное разрушающее действие атмосферных осадков с низкими значениями pH сказывается на прочностных свойствах бетона, стекол, сложных силикатов, из которых выщелачивается алюминий, входящий в состав решетки алюмосиликатного каркаса:



Еще более разрушительное воздействие оказывают кислотные дожди на изделия и механизмы из металла. Жидкая пленка на поверхности металла, содержащая кислоты, является средой, в которой осуществляются процессы коррозии металла. Так, на поверхности изделий из железа при взаимодействии с влагой, содержащей серную кислоту, образуется корка гигроскопичного сульфата закисного железа (FeSO_4), которая на воздухе окисляется до ржавчины:



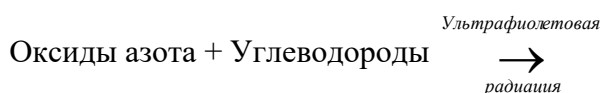
Памятники, выполненные из бронзы, покрываются так называемой патиной, представляющей собой пористую корку из карбонатов, сульфатов, иногда из хлоридов, пропитанную водой и адсорбирующую кислые газы. Образующаяся кислота продолжает

свою разрушительную работу и разъедает металл, переводя его в раствор в виде ионов. Следствием этого является нарушение целостности изделия.

Разрушающее действие кислотных дождей проявляется и в ухудшении свойств многих органических материалов — кожи, бумаги, резины, тканей, ряда пластических масс. Изделия из этих Веществ становятся хрупкими, теряют свою эластичность, форму.

5. Фотохимический смог

Смог (англ. smog от smoke — дым и fog — туман) — пелена дыма, тумана и пыли, содержащая смесь таких высокотоксичных веществ, как монооксид углерода (СО), оксиды азота (NO_x), озон, полиядерные ароматические углеводороды (ПАУ), пероксиацетилнитрат (ПАН) и др. Это явление возникает в воздухе, загрязненном дымом, газовыми отходами производства, автомобильными выхлопными газами, которые под действием ультрафиолетовой солнечной радиации взаимодействуют друг с другом. Так, при реакции оксидов азота с не полностью сгоревшими углеводородами из автомобильных выхлопов получаются озон и пероксиацетилнитрат, крайне токсичные вещества, вызывающие слезоотделение и затруднение дыхания у человека, останавливающие фотосинтез у растений:



→ Пероксиацетилнитрат (ПАН) + Озон (O_3).

Как видно из приведенного материала, особую роль в образовании фотохимического смога играют оксиды азота, которые дают начало цепи превращений в компоненты смога и являются своеобразным «спусковым крючком» этого процесса. Вследствие важности выяснения причин и условий образования фотохимического смога необходимо подробно рассмотреть физико-химические свойства основных его компонентов — NO_x , СО, ПАУ — и источники их появления в атмосфере, основным из которых является двигатель внутреннего сгорания (ДВС).

Тема 8 Методы очистки промышленных выбросов.

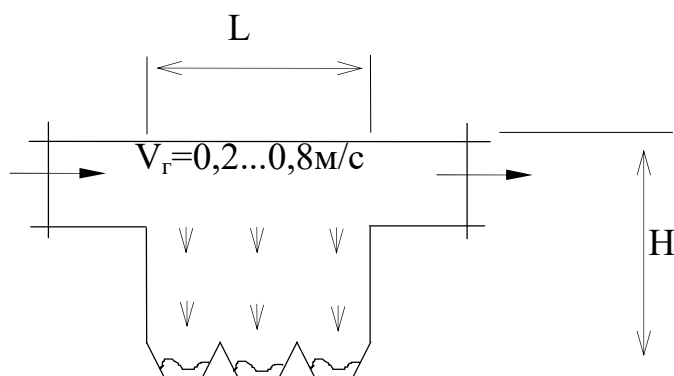
План

- 8.1. Сухая очистка газовых выбросов от твердых фракций.
- 8.2. Электрическая очистка газов. Электрические фильтры.
- 8.3. Пылеуловители мокрого типа.
- 8.4. Методы очистки выбросов в атмосферу от газообразных загрязнителей.
- 8.4.1. Абсорбция
- 8.4.2. Адсорбция
- 8.4.3. Конденсация.
- 8.4.4. Очистка газов дожиганием.

8.1. Сухая очистка газовых выбросов от твердых фракций.

По принципу действия аппараты сухой очистки можно разделить на следующие группы: пылеосадительные камеры, инерционные пылеуловители, циклоны.

1.1. Пылеосадительные камеры, принцип действия основан на использовании гравитационных сил.



В пылеосадительных камерах происходит гравитационное осаждение частиц пыли со скоростью витания $V_{\text{п}}$ ($V_{\text{п.з.}}$ - скорость витания заданных размеров пылинок)

$$L = HV_{\text{Г}} / V_{\text{п.з.}}, \text{ м.}$$

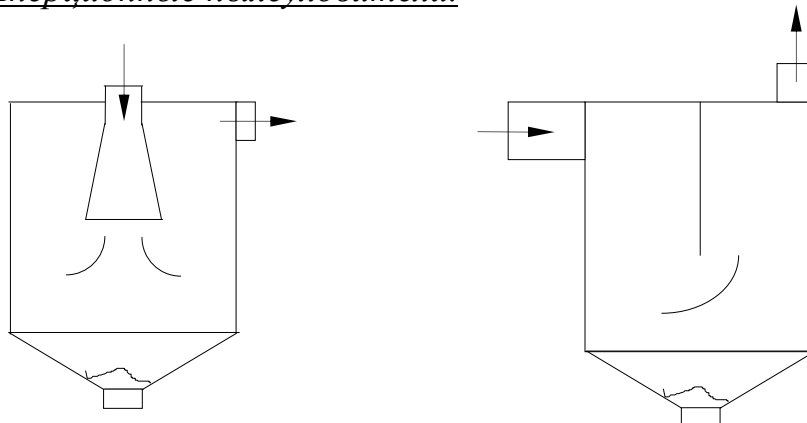
Эффективность такой камеры зависит от плотности твердых фракций и объема газа приходящегося на 1 м^2 пола камеры.

Недостатки: малая или нулевая эффективность улавливания высокодисперсной пыли ($D=5 \text{ мкм}$ $E=0$), большие габариты камеры.

Преимущества: малое гидравлическое сопротивление, простота конструкции, возможность удаления частиц крупной фракции, обладающей наибольшей абразивной способностью.

Пылеуловительные камеры целесообразно использовать в качестве первой ступени очистки.

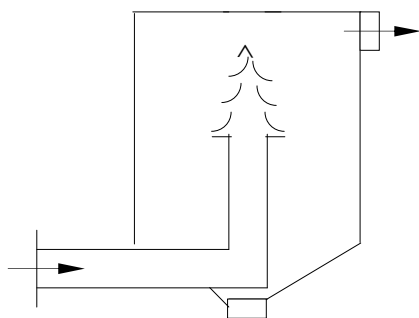
1.2. Инерционные пылеуловители.



Инерционные пылеуловители - меньшие по размеру камеры, в которых направление потока меняется и уменьшается скорость за счет размещения в камере одной или нескольких перегородок.

При перемене направления движения, частицы стремятся сохранить направление движения, η ($D=25\ldots30$ мкм)=65...85 %

1.3. Жалюзийный пылеуловитель.

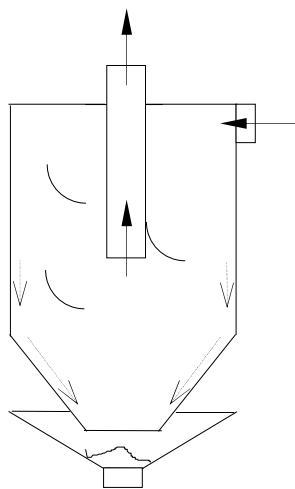


Принцип действия Ж.П. основан на резком повороте ($\sim 150^\circ$) воздушного потока, проходящего через лопасти жалюзи. При ударе твердые фракции направляются вниз. Ж.П. имеют небольшие габариты, малое гидравлическое сопротивление.

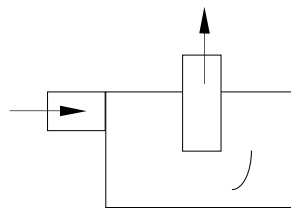
Недостатки: повышенный износ пластин, возможно налипание, отложение частиц на лопастях при низких температурах газов.

Используются, как правило, для очистки от частиц крупностью до 25...30 мкм.

1.4. Центробежные пылеуловители (циклоны).



ЛИОТ



ЦН-33

Принцип действия Ц.П. основан на возникновении и использовании центробежных сил при вращении газового потока, который движется по внешней спирали с увеличением скорости и за счет центробежных сил твердые фракции стекают в бункер, а воздух по внутренней спирали поднимается вверх и выбрасывается.

Ц.П. применяются для очистки газов, имеют небольшие габариты, просты и надежны в эксплуатации, имеют небольшое гидравлическое сопротивление, могут надежно эксплуатироваться при абразивных средах (с защитой - футеровкой внутренних поверхностей) и высоких температурах. При выборе конструкции и параметров эксплуатации следует руководствоваться следующими факторами: фракционным составом примесей, их удельным весом, скоростью газового потока, влажностью частиц, гидравлическим сопротивлением аппарата.

| | |
|------------------------------|---------------------|
| Эффективность улавливания, % | 25 мкм ~ 80...85 % |
| | 2,5 мкм ~ 65...67 % |
| | 0,5 мкм ~ 10 % |

1.5. Фильтрация.

Метод фильтрации является эффективным и применяется для улавливания частиц мелких фракций, когда пылесадительные камеры и центробежные пылеуловители неэффективны. Принцип действия

фильтрующих устройств основан на задержании мелких частиц материалом фильтра (пористого, волокнистого, насыпного и т.п.). При этом следует учитывать, что эффективность и сопротивление фильтра изменяются во времени.

Поровые каналы фильтрующей поверхности заполняются со стороны входа запыленного газа аэрозолем и через некоторое время со стороны входа образуется “вторичная” пористая структура, участвующая в процессе улавливания пыли из газов. Таким образом фильтрующей средой становится не только сама перегородка, но и образующийся пылевой слой на перегородке. Пылевой слой имеет поры соизмеримые с размером пылинок, поэтому осевший слой улавливает пылинки, т.е. отсеивает их почти полностью и они не доходят до фильтрующей перегородки и не проникают в нее, а оседают снаружи слоя, увеличивая толщину слоя пыли на фильтрующей перегородке.

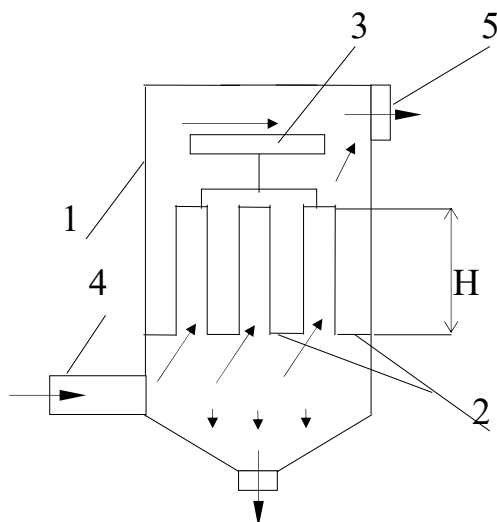
Наличие слоя пыли на перегородке увеличивает эффективность очистки, но с другой стороны - увеличивается (резко) гидравлическое сопротивление фильтра, что снижает производительность системы очистки ($\text{м}^3/\text{сек}$).

В связи с этим возникает необходимость регенерации фильтровальных перегородок, что представляет определенную трудность (конструктивную, технологическую, долговечность и т.д.).

Регенерация фильтровальных поверхностей определяется такими факторами, как адгезия (прилипание частиц к фильтровальной поверхности) и аутогезия (слипание частиц пыли в слое). Суммарное действие этих сил удерживает слой пыли на перегородке даже при отключении фильтра от газовой нагрузки перед регенерацией.

Прочность пылевого слоя сильно возрастает при увеличении f .

Рукавные фильтры.



1. Корпус рукавного фильтра
 2. Матерчатые рукава
 3. Механизм встряхивания
 - 4, 5. Входной и выходной патрубки.
- $\varnothing = 130 \dots 300 \text{ мм}; H = 2 \dots 10 \text{ м.}$

Эффективность очистки.

| | | | | | |
|--------------------------------------|------|------|------|----|-----|
| $\varnothing_{\text{п}}, \text{ мм}$ | 50 | 25 | 5 | 1 | 0,5 |
| $\eta, \%$ | 99,9 | 99,9 | 99,8 | 99 | 98 |

Способы регенерации:

- обратная продувка;
- механическое встряхивание;
- импульсная регенерация
- обратная продувка + встряхивание + рыхление.

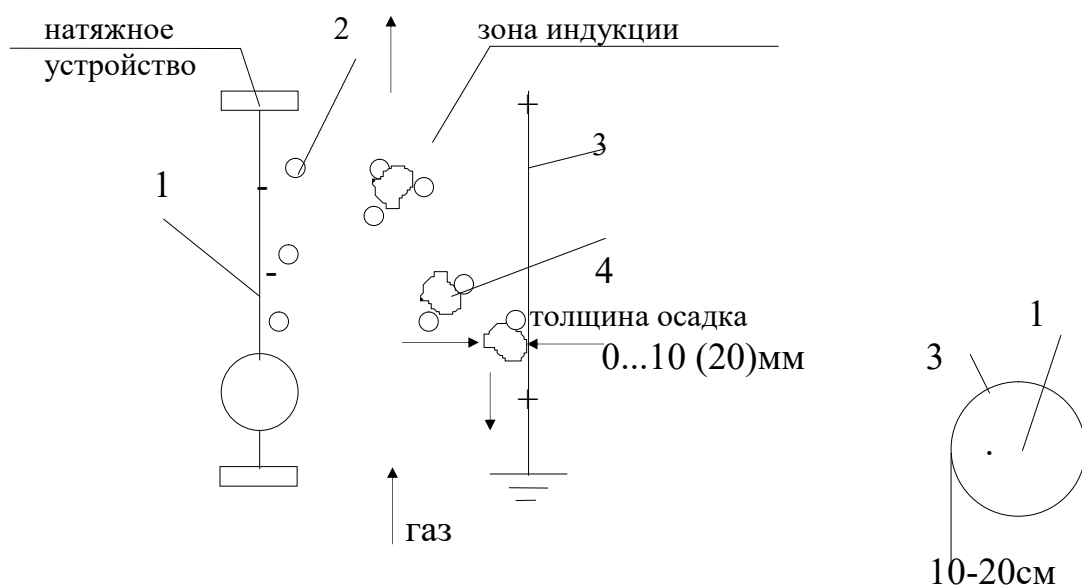
Фильтровальные ткани: выбор ткани определяется t , фракцией, f , агрессивностью среды, составом газов.

Лавсановые ткани, хлопчатобумажные, акриловые (синтетические волокна)

Недостатки Р.Ф.: быстрый износ материала рукавов (при выходе из строя одного или части рукавов η резко снижается); высокое гидравлическое сопротивление и в связи с этим высокие энергетические затраты; снижение надежности при разрыве ткани, ограничения по влажности и температуре.

8.2. Электрическая очистка газов. Электрические фильтры.

Принцип действия Э.Ф. основан на воздействии на частички пыли статического электрического поля высокой напряженности.



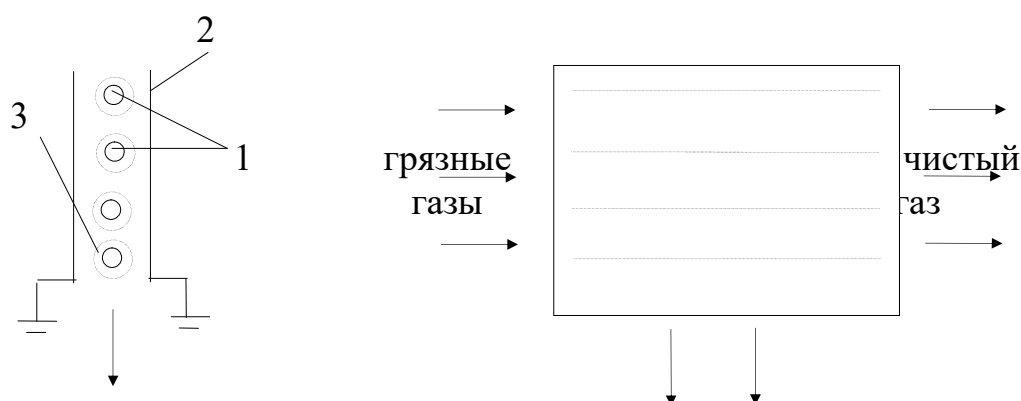
1. Коронирующий электрод: $V=30\ldots 100$ кВ, $\varnothing=2\ldots 3$ мм
2. Электрон (-)
3. Осадительный электрод
4. Осаждаемая частица

Вокруг отрицательного заряженного электрода 1 образуется электрическое поле, и газ (запыленный) ионизируется, вследствие чего отрицательно заряжаются частицы пыли, которые перемещаются к стенкам фильтра.

Основные процессы электрической фильтрации: зарядка взвешенных частиц, охлаждение заряженных частиц в электрическом поле и удаление осажденного материала.

Наиболее эффективный способ заряда - коронный разряд постоянного тока.

Корона - метод высоковольтным электродом (тонкая проволока) и заземленным пассивным электродом (в виде трубы или пластины).



ПЫЛЬ
с пластин в бункер

ПЫЛЬ

- 1 - высоковольтная проволока
- 2 - осадительные пластины
- 3 - коронный разряд.

Эффективность электрических фильтров - 99,9% , улавливаются частицы высокодисперсной пыли при ее больших концентрациях (до 50 т/м^3)

Гидравлическое сопротивление - 100-150 Па

Очистка осадительных электродов - отстукиванием (вибрационная) или гидросмывом.

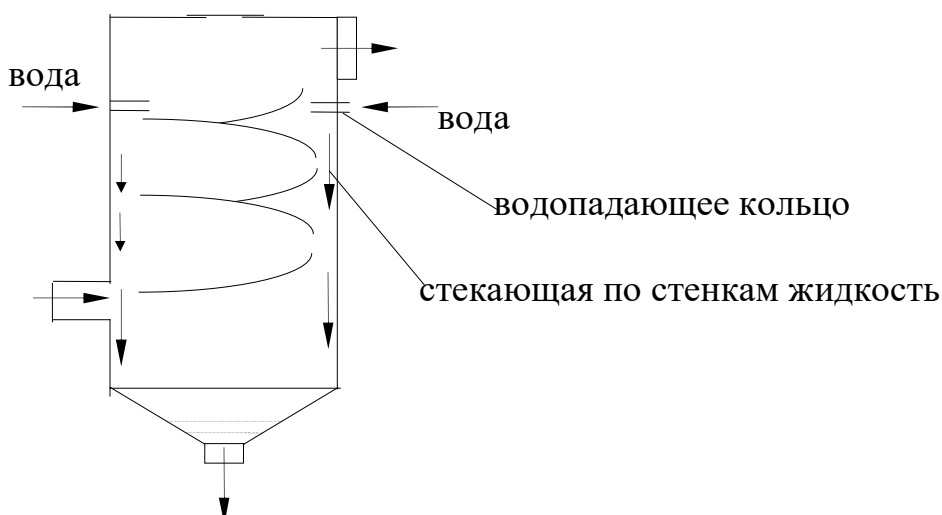
Различают сухие и мокрые электрические фильтры, которые применяют для улавливания жидких частиц в воздухе (очистка тумана).

Применение Э.Ф.: производство строительных материалов (гипс, цемент, древесина), металлургия, ТЭЦ, нефтепереработка, производство стекла.

Основное применение - золоудаление ~ 60-70 %

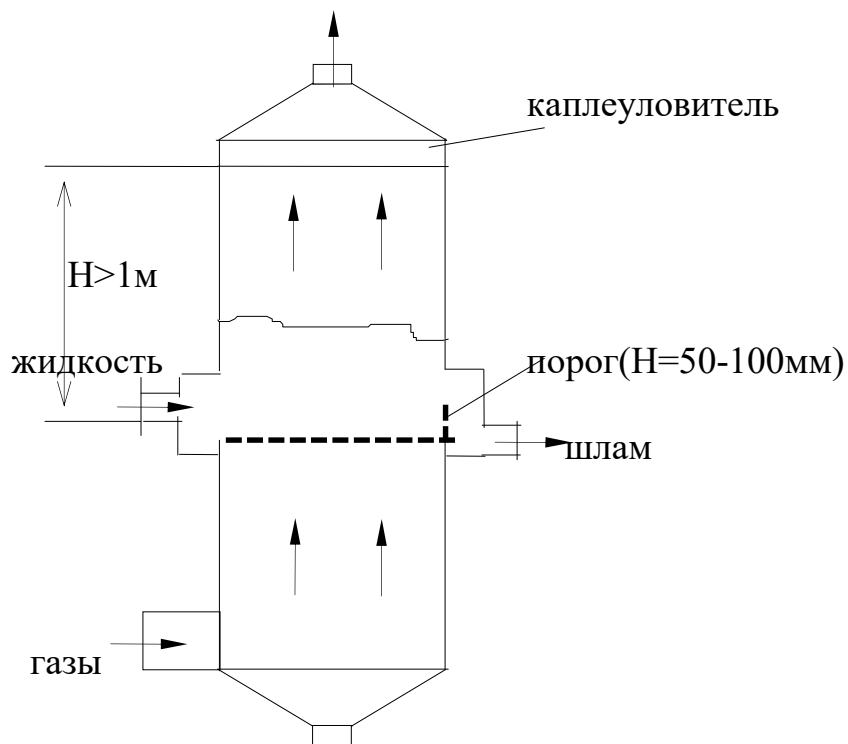
8.3.Пылеуловители мокрого типа.

Процесс очистки газов от пыли осуществляется жидкостью, которая захватывает взвешенные частицы и уносит их из аппарата в виде шлама, при этом происходит абсорбция (поглощение газов водой) и охлаждение газов. Поэтому М.П. могут применяться для очистки газов от пыли, а также от газообразных составляющих (которые хорошо растворимы - HCl , NH_3 , HF ...), а также в качестве теплообменных аппаратов.

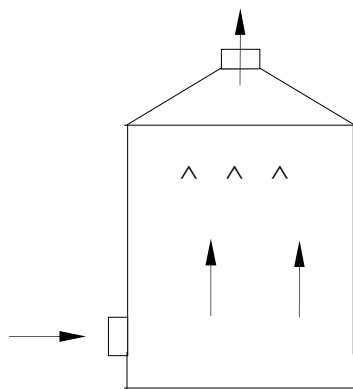


Шлам

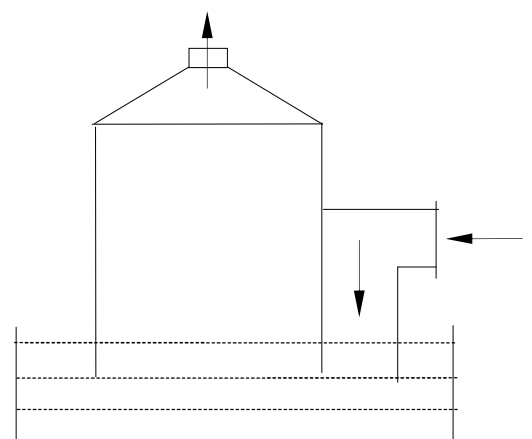
Циклон с водяной пленкой (конструкция ЛиОТ)



Пенный пылеуловитель

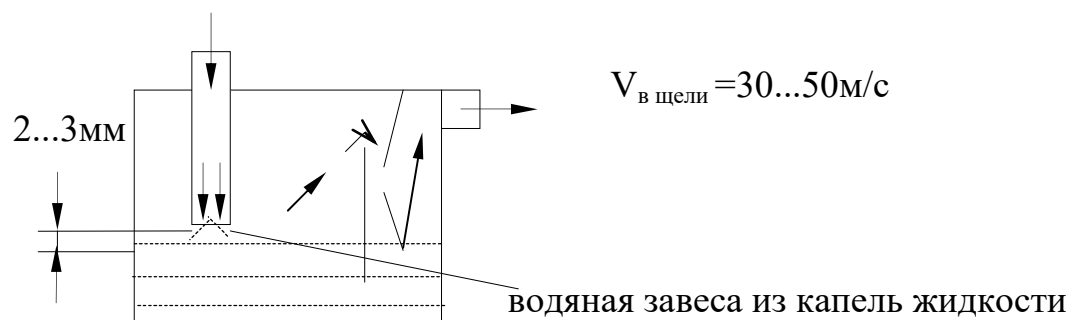


Полый форсуночный скруббер

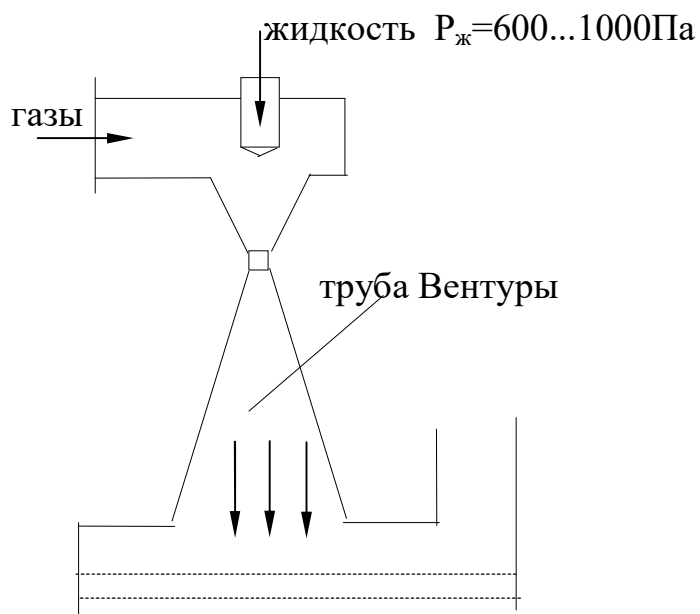


Барботажный аппарат

Мокрый пылеуловитель ударно-инерционного действия(ротоклон)



Скруббер Дойля



Электронный скруббер Вентуры.

В мокрых аппаратах используются следующие механизмы осаждения:

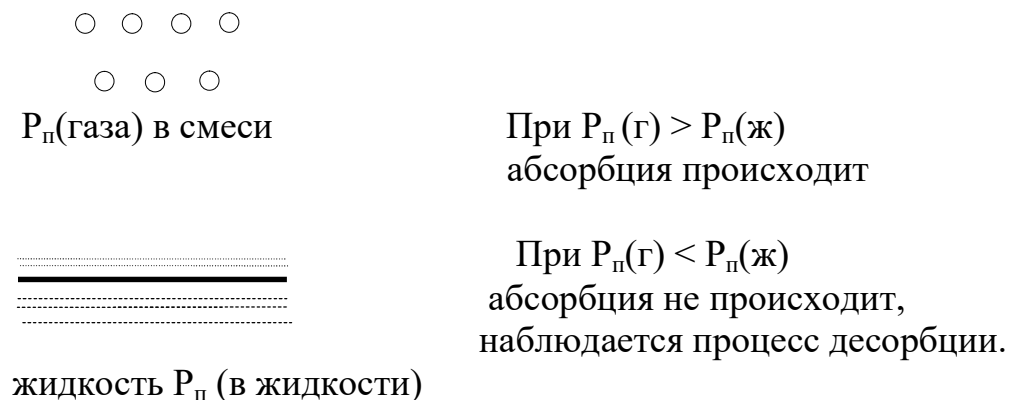
- гравитационное осаждение (седиментация) - при вертикальном движении частиц под действием силы тяжести (характерно для крупных частиц);
- инерционное осаждение, столкновение с препятствием и осаждение на нем;
- осаждение под действием центробежных сил;
- диффузия, при этом мелкие частицы, под воздействием молекул газа осаждаются на стенках или перегородках сосуда;
- электрическое осаждение (см.1.6.)

8. 4. Методы очистки выбросов в атмосферу от газообразных загрязнителей.

Основные методы удаления газообразных загрязнителей: абсорбция, адсорбция, конденсация, химическая обработка, сжигание горючих загрязнителей.

8.4.1.Абсорбция

Абсорбция - химический процесс включающий массоперенос между растворимым газообразным компонентом и жидким растворителем. Абсорбция осуществляется в аппарате для контактирования газа с жидкостью. Движущей силой абсорбции является разность между парциальными давлениями растворенного газа в газовой смеси и его равновесным давлением над пленкой жидкости контактирующей с газом.



Абсорбирующие системы разделяют на следующие:

1. Системы, в которых в качестве абсорбирующей жидкости используется вода;
2. Системы, в которых в качестве абсорбирующей жидкости используются малолетучие органические жидкости.

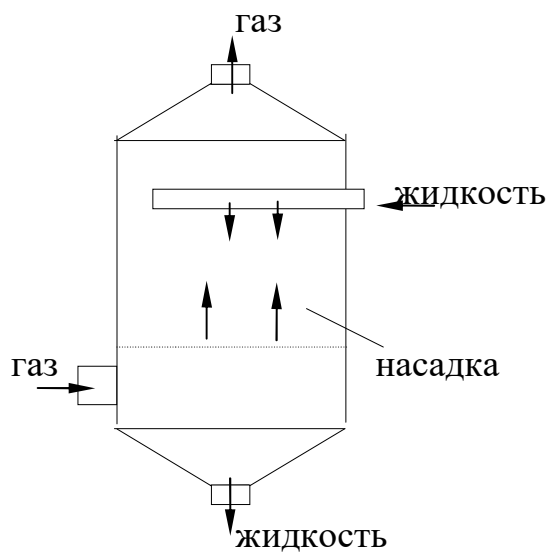
Критерием выбора абсорбирующей жидкости является способность жидкости поглощать абсорбируемый газ, т.е. он должен

растворяться жидкостью при той температуре, при которой происходит процесс в системе газ-жидкость.

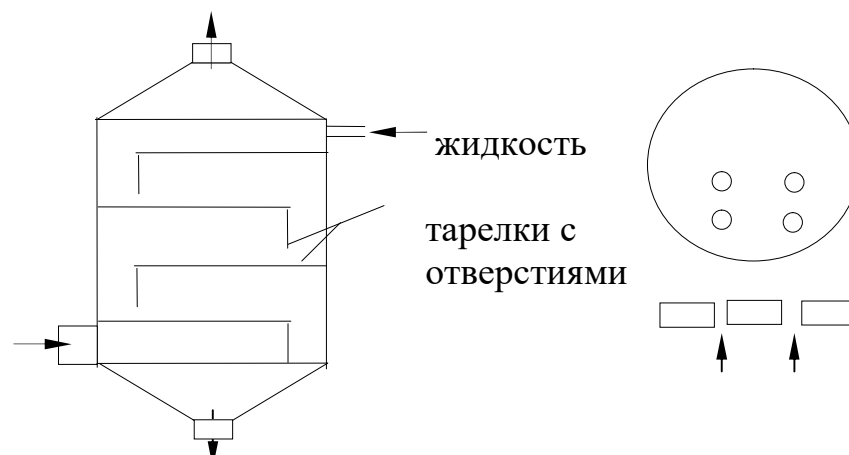
Вода обладает высокой или малой эффективностью при удалении кислых растворимых газов, таких как HCl , HF , SiF_4 , NH_3 , SO_2 , Cl , H_2S . Для увеличения эффективности при удалении определенных газов используют различные химические добавки.

На рисунке приведены конструкции аппаратов для абсорбции газов:

Абсорбция с насадкой.



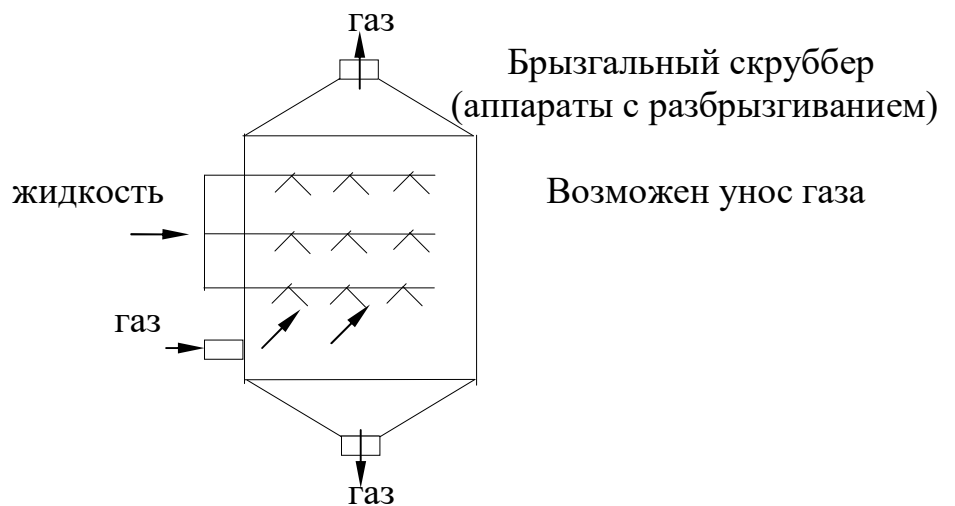
Противоточная насадочная колонна



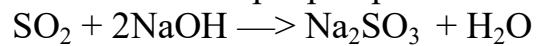
Тарельчатая колонна

Тарельчатая колонна: небольшая стоимость, но диапазон скоростей ограничен, возможно забивание твердыми частицами отверстий тарелок.

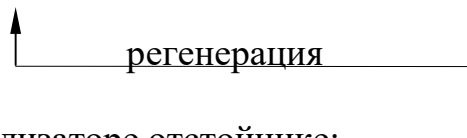
Насадки: седлообразные, кольца Рашига, кольца Лессиге обеспечивают высокую эффективность массопереноса.



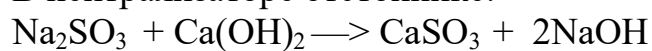
В системе абсорбера протекают следующие химические реакции:



гидроксид натрия



В нейтрализаторе отстойнике:



Получаемый, при обработке газа, продукт может быть регенерирован, или использоваться как конечный продукт.

Марганцевый метод: 1) $\text{MnO}_2 + \text{SO}_2 \longrightarrow \text{MnSO}_4$

↑
возврат в абсорбер

2) $\text{MnSO}_4 + 2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 \longrightarrow \text{MnO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

сульфат аммония, после сушки
перерабатывают на гипс.

8.4.2.Адсорбция

Адсорбция - явление, обусловленное силами притяжения, между атомами, молекулами и ионами в твердом состоянии притягивать и удерживать другие вещества - газы и жидкости.

Высокопористое, твердое вещество с развитой поверхностью, с большим количеством макро- и микропор - характеризуется высокой адсорбционной способностью.

Адсорбируемая молекула задерживается на твердой поверхности, этот процесс сопровождается выделением тепла, т.о. адсорбция - экзотермический процесс.

Десорбция - обратный процесс, для протекания которого необходимы затраты энергии.

Адсорбирующее твердое вещество называют адсорбентом или сорбентом, а адсорбируемый материал - адсорбатом или сорбатом.

Пример адсорбента - активированный уголь, является эффективным адсорбентом для органических соединений из влажных потоков.

Источники получения активированного угля:

- скорлупа кокосового ореха;
- фруктовые косточки;
- древесина;
- кокс;
- продукты нефтепереработки и пр.

Применение: очистка газов, воды, растворителей.

Например: уголь хорошо сорбирует CH_4 , CO_2 .

На $1 \text{ м}^3 \longrightarrow 10-20 \text{ м}^3$ газа.

Другие адсорбенты: оксиды алюминия, кремний содержащий адсорбенты.

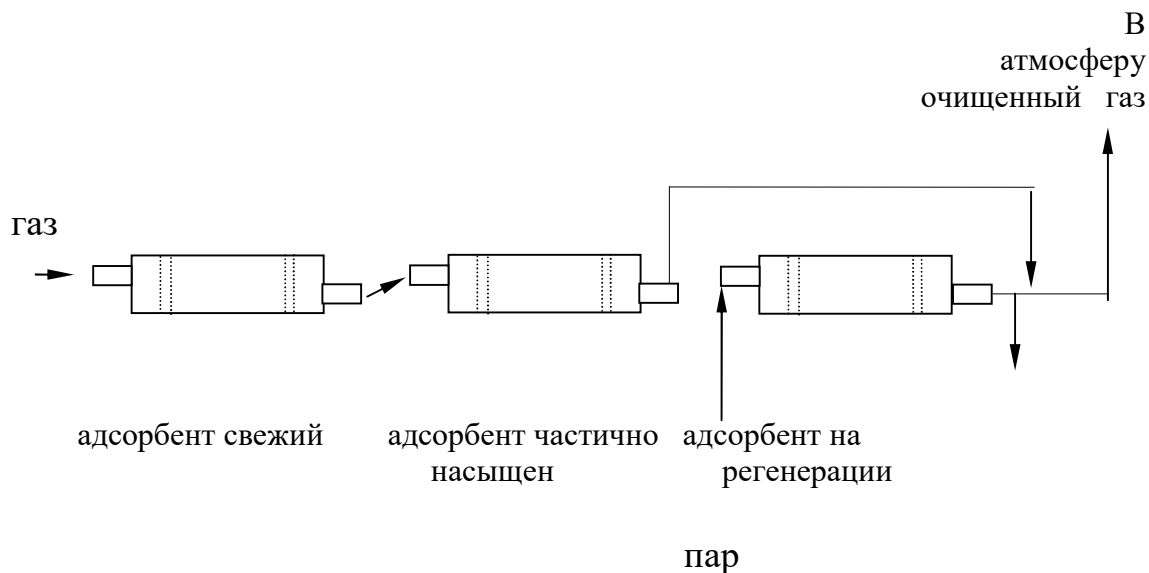


Рис. Схема процесса адсорбции.

Механизм адсорбции: физическая адсорбция (адсорбция Ван- дер-ваальса)

Химическая адсорбция с образованием химических связей;

Капиллярная адсорбция - проникновение молекул в полости.

Применение методов адсорбции позволяет снизить содержание З.В. до очень низких концентраций (следов) (миллионных долей).

Области применения - химическая промышленность, пищевая, лакокрасочные процессы).

Десорбция адсорбента может быть осуществлена нагреванием, обработка паром, продувкой инертным газом.

8.4.3.Конденсация.

Конденсация может быть применена для обработки систем, содержащих пары вещества при температурах, близких к точке росы, (т.е. возможно выпадение жидкой фазы из газообразной смеси), для чего успешно используются конденсаторы с водяным и воздушным охлаждением, при этом t смеси - нормальная температура.

Возможна очистка в несколько стадий 1 - при обычных температурах, 2 стадия - при низкотемпературном режиме.

Типы используемого оборудования:

1- конденсаторы с непосредственным контактом - охлаждающую жидкость распыляют в потоке газа - в разбрызгивающих колоннах (насадочные колонны, тарельчатые). Целесообразно использование охлаждающей жидкости в которой не растворяется конденсируемое вещество.

Проблема: регенерация (отделение от жидкости сконденсированного материала).

2. Поверхностные конденсаторы.

Трубчатый теплообменник-конденсатор. Конденсация жидкой фазы осуществляется на поверхности трубок конденсатора, по которым протекает охлаждающая жидкость или воздух. Сконцентрированная фаза стекает по поверхности трубок и удаляется из аппарата.

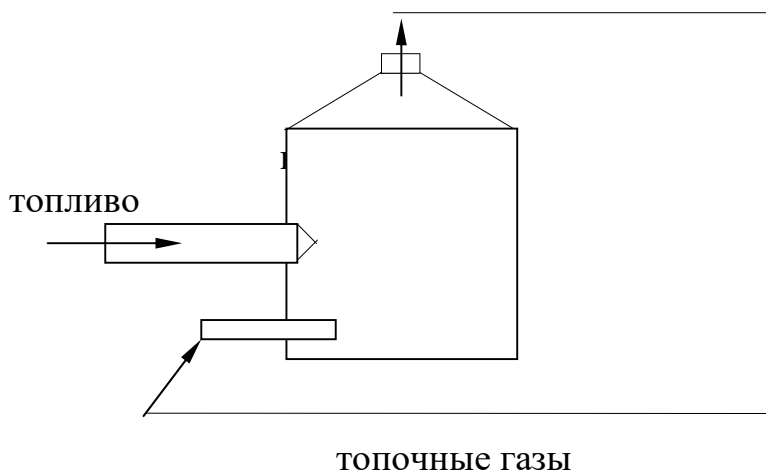
Целесообразно применение, когда основной компонент газового потока - пар с небольшим количеством неконденсируемых газов - как предварительная ступень очистки.

8.4.4.ОЧИСТКА ГАЗОВ ДОЖИГАНИЕМ.

Дожигание представляет собой метод очистки газов путем термического окисления углеводородных компонентов до CO_2 и H_2O .

Суть этого процесса состоит в возможности вовлечения в процесс горения основного продукта (газ в котле) топочных газов, а также строго обеспечивать расчетные температуру и концентрацию углеводородных компонентов в отводящих газах.

Способ дожигания обеспечивает, с одной стороны очистку топочных газов и уменьшение углеводородов в выбросах, с другой стороны, обеспечивает экономию за счет использования при горении не сгоревших углеводородов.



11

Нормирование качества сбрасываемых сточных вод

План

- 11.1. Влияние загрязнителей на качество водной среды
- 11.2. Условия сброса сточных вод в поверхностные водные объекты
- 11.3. Установление лимитов сброса загрязняющих веществ
- 11.4. Выбор нормируемых показателей
- 11.5. Методология расчета нормативов ПДС

11.6. Расчет норматива ПДС отдельного выпуска в водоток

11.7. Расчет норматива ПДС отдельного выпуска в водоем

- 11.8. Разработка, согласование и утверждение нормативов ПДС и лимитов сброса загрязняющих веществ
- 11.9. Система контроля сбросов загрязняющих веществ.

1. Влияние загрязнителей на качество водной среды

Одна из наиболее острых экологических проблем — состояние поверхностных вод, т.е. рек и озер. Проблема состояния поверхностных вод имеет два аспекта: количественный и качественный. И тот, и другой аспект составляют одно из важнейших условий существования живых существ, в том числе и особенно — человека. Хотя морские воды представляют собой объект, отличающийся от поверхностных вод, проблемы воздействия антропогенной деятельности на моря и последствия их во многом схожи с проблемами поверхностных вод.

Оценка качества поверхностных вод (прежде всего степени их загрязненности) относительно хорошо разработана и базируется весьма представительном пакете нормативных и директивных документов, использующих прямые гидрохимические и гидрологические методы и критерии оценки.

Оценка количественных аспектов водных ресурсов (в т.ч. их загрязнения) преследует двоякую цель. Во-первых, необходимо оценить возможности удовлетворения потребностей планируемой деятельности в водных ресурсах, а во-вторых, последствия возможного изъятия и части этих и загрязнения оставшихся ресурсов для других предприятий и жизнедеятельности населения.

Для таких оценок необходимо исходить из знания гидрологических особенностей и закономерностей режима водных объектов, являющихся источниками водоснабжения, а также существующие уровни водопотребления и объемов водных ресурсов, требуемых для реализации проекта. Последнее включает в себя также технологическую схему водопотребления (безвозвратное, оборотное, сезонное и т.д.) и является оценкой *прямого* воздействия планируемой деятельности на количество водных ресурсов.

Однако большое значение имеет также *косвенное* воздействие, сказывающееся в конечном счете на гидрологических характеристиках водных объектов. К косвенным воздействиям относятся нарушения русла рек (драгами, земснарядами и др.), изменение поверхности водосбора (распашка земель, вырубка лесов), подпруживание (подтопление) при строительстве или понижении уровня грунтовых вод и многое другое.

Необходимо выявить и проанализировать все возможные виды воздействий и вызываемых ими последствий.

Наиболее распространенным и существенным фактором, обуславливающим дефицит водных ресурсов во многих регионах, является загрязнение водных источников, о котором обычно судят по данным режимных и других наблюдений службами мониторинга Росгидромета и других ведомств, контролирующими состояние водной среды.

Каждый водный объект обладает присущим ему природным гидрохимическим качеством, являющимся его исходным свойством, которое формируется под влиянием гидрологических и гидрохимических процессов, протекающих в каждом водоеме, а также интенсивности его внешнего загрязнения. Совокупное воздействие этих процессов способно как нейтрализовать вредные последствия попадания в водоемы антропогенных загрязнителей (*самоочищение* водоемов), так и привести к их стойкому ухудшению качества водных ресурсов (*загрязнение, засорение, истощение*).

Способность самоочищения каждого водного объекта, т.е. количество загрязняющих веществ, которое может быть "переработано" и нейтрализовано водоемом, зависит от разных факторов и подчиняется определенным закономерностям (поступающее количество воды, разбавляющей загрязненные стоки, её температура, изменение этих показателей по сезонам, качественный состав загрязняющих ингредиентов и др.).

Пожалуй, одним из главных факторов, определяющих возможные уровни загрязнения водоемов, помимо их природных свойств, является исходное гидрохимическое состояние, возникающее под влиянием антропогенной деятельности. Прогнозные оценки состояния загрязнения водоемов могут быть получены путем суммирования существующих уровней загрязнения и дополнительных количеств ЗВ, планируемых к поступлению от проектируемого объекта. При этом необходимо учитывать как прямые (непосредственный сброс в водоемы), так и косвенные (поверхностный сток, внутрипочвенный сток, аэрогенное загрязнение и т.д.) источники.

Основным критерием загрязнения воды также являются ПДК, среди которых различают санитарно-гигиенические (нормируют по влиянию на здоровье человека), и рыбохозяйственные, разработанные для защиты гидробионтов (живых существ водных объектов). Последние как правило строже, т.к. обитатели водоемов обычно более чувствительны к загрязнению, нежели человек.

Основные термины и определения

АССИМИЛИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ВОДНОГО ОБЪЕКТА - способность водного объекта принимать определенную массу веществ в единицу времени без нарушения норм качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования. ГОСТ 17.1.1.01-77.

ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ – сосредоточение природных вод на поверхности суши, либо в горных породах, имеющее характерные формы распространения и черты режима. Водный кодекс Российской Федерации.

ПОВЕРХНОСТНЫЙ ВОДОТОК – поверхностный водный объект с непрерывным движением вод. Водный кодекс Российской Федерации.

ПОВЕРХНОСТНЫЙ ВОДОЕМ - поверхностный водный объект, представляющий собой сосредоточение вод с замедленным водообменом в естественных или искусственных впадинах. Водный Кодекс Российской Федерации.

ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД - источник, вносящий в поверхностные или подземные воды загрязняющие воду вещества, микроорганизмы или тепло. ГОСТ 17.1.1.01-77.

КАЧЕСТВО ВОДЫ - характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования. ГОСТ 17.1.1.01-77.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВОД - проверка соответствия показателей качества вод установленным нормам и требованиям. ГОСТ 27065-86.

КОНТРОЛЬНЫЙ СТОР - поперечное сечение водного потока, в котором контролируется качество воды.

ЛИЦЕНЗИЯ НА ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ - специальное разрешение на пользование водными объектами или их частями на определенных условиях. Водный кодекс Российской Федерации.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ – загрязненная дождевая, талая, поливомоечная вода, стекающая с застроенных территорий населенных пунктов и производственных площадок, отводимая системой сооружений в водные объекты.

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ (ПДК) - концентрация вещества в воде, выше которой вода непригодна для одного или нескольких видов водопользования. ГОСТ 27065-86.

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЙ СБРОС - масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте. ГОСТ 17.1.1.01-77.

САМООЧИЩЕНИЕ ВОДЫ - совокупность природных процессов, направленных на восстановление экологического благополучия водных объектов. ГОСТ 27065 -86.

СТОЧНЫЕ ВОДЫ - вода, сбрасываемая в установленном порядке в водные объекты после ее использования или поступившая с загрязненной территории. Водный кодекс Российской Федерации.

ФОНОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ – значение показателей качества воды водоема или водотока до влияния на него источника загрязнения ГОСТ 17.1.3.07-82.

Сброс сточных вод - один из видов воздействий на водные объекты. Нормативы ПДС - разновидности норм состава сточных вод по ГОСТ 17.1.1.01-77.

Сброс веществ на уровне установленных нормативов ПДС является нормативом допустимого воздействия, не наносит вреда окружающей среде, обеспечивает экологическое благополучие водного объекта, безопасное использование водного объекта для соответствующих целей и определяется ассимилирующей способностью конкретного водного объекта.

Сброс загрязняющих веществ на уровне установленного лимита сброса загрязняющих веществ, превышающий величину ПДС, относится к негативному воздействию, не зависит от ассимилирующей способности водного объекта и устанавливается на период проведения водоохраных мероприятий, с целью достижения установленных нормативов ПДС.

Нормативы ПДС и при необходимости лимиты сброса загрязняющих веществ одновременно с условиями сброса сточных вод устанавливаются для каждого выпуска сточных вод действующих и реконструируемых предприятий-водопользователей в соответствии с областью применения настоящего документа.

Лимиты сброса загрязняющих веществ для проектируемых предприятий не устанавливаются.

Нормативы ПДС и лимиты сброса загрязняющих веществ устанавливаются для:

- свойств воды (физических, химических, физико-химических, биологических, органолептических);
- обобщенных показателей (водородный показатель, общая минерализация, окисляемость перманганатная, нефтепродукты (суммарно), фенольный индекс);
- химических соединений и ионов, существующих в водной среде, содержание которых может быть определено с применением соответствующих методов и методик выполнения измерений, соответствующих требованиям ГОСТ 8-563.

При разработке нормативов ПДС и лимитов сброса загрязняющих веществ используются нормативы качества воды, в том числе ПДК, установленные нормативными документами:

- «Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение» М. 1999 г. и дополнения к нему.
- ГН 2.1.5.689-98 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» и дополнения к ним,
- ГН 2.1.5.690-98 «Ориентировочно допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». И дополнения к ним,
- ГН 2.1.5 1315- 03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»
- СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы.

Нормативы ПДС устанавливаются исходя из условий недопустимости превышения нормативов качества воды водоприемника, в том числе предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ (ПДК) в контрольном створе или на участке водного объекта с учетом его целевого использования.

Для постоянных источников загрязнения нормативы ПДС устанавливаются:

- для действующих объектов на срок на 5 лет;
- для проектируемых объектов на полную их мощность на срок до 5 лет, начиная со срока их ввода в эксплуатацию;
- для строящихся и реконструируемых объектов - на полный объем введенных мощностей - до ввода очередной мощности.

Для периодических источников загрязнения нормативы ПДС устанавливаются на срок не более 3 лет.

При использовании ОДУ химических веществ в воде водных объектов хозяйственного-питьевого назначения нормативы ПДС, на эти вещества устанавливаются на срок не более 3 лет – до установления ПДК. При использовании рыбохозяйственных ОБУВ нормативы ПДС устанавливаются на срок не более 2 лет.

Нормативы ПДС пересматриваются в связи с изменением водохозяйственной обстановки, экологического и санитарно-эпидемического состояния водных объектов.

Пересмотру, в том числе досрочному, нормативы ПДС подлежат в случаях:

- изменения водохозяйственной обстановки,
- изменения гидрологических характеристик водного объекта,
- изменения вида и объема выпускаемой продукции, потребляемого сырья, технологии производства и связанного с этим изменения состава сточных вод,

- изменения объемов водоотведения, пересмотра норм водоотведения и связанных с этим изменений концентраций загрязняющих веществ в сточных водах;
- изменения нормативов качества воды как компонента окружающей среды, в том числе ПДК;
- получения новых данных о степени опасности веществ, содержащихся в сточных водах,
- разработки и внедрения методик выполнения измерений/ биотестирования, уточнения их метрологических характеристик, позволяющих выявить повышение экологической опасности сброса;
- внесения изменений в лицензию на водопользование;
- изменения иных параметров, используемых при расчете нормативов ПДС.

2. Условия сброса сточных вод в поверхностные водные объекты

Условия сброса сточных вод заключаются в определении местоположения выпуска, необходимости его обустройства (гидроизоляция, организация принудительного смещения), установлении режима сброса, в том числе обеспечения его равномерности, в выборе периодов сброса, а также включают в себя организацию контроля объемов водоотведения и качества сточных вод, наличие противоаварийного оборудования.

При установлении условий сброса сточных вод учитываются общие ограничения и требования:

• запрет сброса сточных вод в соответствии со ст. 144 Водного кодекса Российской Федерации и п. 4.1.2. СанПиН 2.1.5.980-00

- использование естественных понижений рельефа (ручьи, овраги, балки) в качестве коллекторов для сброса сточных вод без надлежащей гидроизоляции должно быть исключено в целях защиты подземных вод;
- в целях ликвидации или сокращения зон загрязнения, в особенности в условиях замедленного водообмена в водных объектах, используемых для сброса сточных вод, должно быть организовано принудительное смешение сточных вод с природными.
- сброс сточных вод должен осуществляться равномерно, не превышая установленного проектом коэффициента неравномерности ; для обеспечения указанного режима и предотвращения залповых сбросов в состав водоохранного комплекса должны входить резервные емкости, усреднители или другие сооружения для регулирования сброса; в необходимых случаях должны быть предусмотрены резервные аварийные емкости.

При сбросе сточных вод в поверхностные водные объекты, используемые в рыбохозяйственных целях или в водные объекты, используемые для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, нормативы качества вод следует соблюдать, начиная с контрольного створа, определяемого в каждом конкретном случае органом по охране, воспроизводству водных и биологических ресурсов или территориальными органами надзора России, но не далее 500 метров от места сброса сточных вод.

При сбросе в водные объекты вод после охлаждения агрегатов ТЭС, АЭС и других подобных объектов нормативы ПДС устанавливаются в виде допустимых приращений к концентрациям контролируемых веществ в воде водного объекта в месте водозабора при условии водопользования одним водным объектом. Величина приращения определяется технологически обоснованными потерями воды на испарение и другими технологическими факторами.

Место сброса городских сточных вод должно быть расположено ниже границы населенного пункта по течению водотока на расстоянии, исключающем влияние сгонно-нагонных явлений. Сброс сточных вод в границах населенного пункта допускается в исключительных случаях. Для сбросов сточных вод в границах населенного пункта нормативы ПДС устанавливаются, исходя из отнесения нормативных требований к составу и свойствам воды водных объектов к самим сточным водам.

3. Установление лимитов сброса загрязняющих веществ

Лимит сброса загрязняющих веществ - это масса вещества в сточных водах максимально допустимая к отведению с определенным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени, установленная на ограниченный срок (не более 3-х лет) в соответствии с планами поэтапного достижения норматива ПДС. Сроки действия и пересмотра лимита сброса загрязняющих веществ от каждого источника загрязнения определяются на основании анализа водохозяйственной обстановки, экологического и санитарно-эпидемиологического состояния водного объекта с учетом доли воздействия конкретного источника загрязнения на качество воды в контрольном пункте.

4. Выбор нормируемых показателей

Выбор нормируемых и контролируемых показателей проводится на основе анализа исходной информации.

- Выполняется сравнение концентраций веществ (величин показателей) в сточных водах с ПДК, региональными нормативами или естественными фоновыми значениями (для водоприемников, характеризующихся своеобразным природным составом, в частности - дренирующих болотные массивы; принимающих воды самоизливающихся источников минеральных, термальных вод; соленых озер и морских вод).

- В случае, если концентрация вещества (величина показателя) в сточной воде не превышает ПДК, региональный норматив или величину естественного фона, вещество (показатель) исключается из состава контролируемых.

- Прочие вещества/показатели включаются в список нормируемых.

При определении списка нормируемых веществ особое внимание уделяется синтетическим веществам-ксенобиотикам, которые:

- запрещены к производству, закупке, применению;
- не прошли регистрацию в установленном порядке или в регистрационных документах отсутствуют данные об их гигиенической и экологической опасности;
- являются суперэкоотоксикантами и иные особо опасными веществами: отнесены к 1 и 2 классам опасности по гигиеническим и рыбохозяйственным критериям; включены в списки международных конвенций и соглашений, к которым присоединилась Российская Федерация.

Перечень этих веществ формируется на основе исходной информации об использовании веществ на конкретном предприятии и анализе данных о качестве поступающей и сточной воды. Если установлено, что источником сброса таких веществ является конкретный водопользователь, вещества включаются в список нормируемых даже если их содержание в сточной воде не превышает наиболее жесткую ПДК из числа установленных или ПДК для них в России не разработана.

При сбросе сточных вод соленые/солончатые озера нормативы ПДС и лимиты сброса загрязняющих веществ не устанавливаются на сухой остаток и компоненты основного солевого состава (хлориды, сульфаты, калий, натрий, кальций, магний). Исключение могут составлять случаи, когда содержание указанных компонентов превышает естественное их содержание в водных объектах – водоприемниках.

В результате формируется перечень нормируемых вредных (загрязняющих) веществ, включающий в себя вещества/показатели, для которых одновременно характерно:

- содержание/величина в сточных водах выше величин, установленных нормативами качества воды по химическим показателям, в том числе ПДК;
- содержание/величина в сточных водах повышается в сравнении с забираемой водой;

- сброс приводит или может привести к загрязнению вод водного объекта.

Перечень контролируемых веществ и показателей включает в себя все нормируемые вещества / показатели, в т.ч. общие свойства вод в соответствии с лицензией на водопользование, а также другие вещества, если существует риск загрязнения ими при непредвиденных ситуациях (нарушения герметичности замкнутых систем, нарушения технологической дисциплины, в том числе на абонентах сетей водоотведения, аварии и т.п.). Наименования контролируемых веществ включаются в аналитическую программу плана-графика производственного контроля, но не включаются в списки ПДС/ лимитов сброса.

Данные по выбору нормируемых и контролируемых веществ/показателей должны быть представлены в пояснительной записке к проекту по разработке нормативов ПДС и лимитов сброса загрязняющих веществ в виде таблиц приведенных в приложении В.

Наряду с химическими методами контроля осуществляется контроль токсичности природных и сточных вод с использованием действующих методик биотестирования.

5. Методология расчета нормативов ПДС

В основу расчетов нормативов ПДС положены процессы разбавления и самоочищения сточных вод в водном объекте.

Кратность разбавления, исходя из уравнения баланса вещества определяется по выражению:

$$n = \frac{C_{cm} - C_p}{C_{max} - C_p} \quad (9.1)$$

где: C_{cm} – концентрация вещества в сточных водах;

C_{max} – концентрация вещества в загрязненной струе при разбавлении сточных вод;

C_p – концентрация в водном объекте до места сброса сточных вод.

Процесс разбавления сточных вод происходит в две стадии: начальное и основное разбавление. Общая кратность разбавления представляется в виде произведения $n = n_n \cdot n_o$. Начальное снижение концентрации загрязняющих веществ связано с эжекцией сточной жидкости в приточную струю водотока. Начальное разбавление рассчитывается обычно по методике Н. Н. Лапшева или по методике Майрановского Ф. Г. . Последняя позволяет учесть влияние различий плотности сточной воды и вод водных объектов, а также различий в скоростях обоих потоков.

- За пределами участка начального разбавления перемешивание осуществляется за счет диффузии примеси.

6 Расчет норматива ПДС отдельного выпуска в водоток

Норматив нормативов ПДС отдельного выпуска сточных вод есть произведение расхода сточных вод q ($\text{м}^3/\text{час}$) на допустимую концентрацию загрязняющего вещества $C_{пдс}$ ($\text{г}/\text{м}^3$):

$$\text{Норматив ПДС} = q \cdot C_{пдс} \quad (11.1)$$

В формуле (11-1) расчетной величиной является $C_{пдс}$, «q» принимается по данным водопользователя.

Расчетная формула для определения $C_{пдс}$:

а) для консервативных веществ

$$C_{пдс} = C_{\phi} + n \cdot (C_{пдк} - C_{\phi}), \quad (11.2)$$

б) для неконсервативных веществ

$$C_{пдс} = C_{\phi} + n \cdot (C_{пдк} \cdot e^{kt} - C_{\phi}). \quad (11.3)$$

Где:

$C_{пдк}$ — предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водотока, $\text{г}/\text{м}^3$;

$C_{\text{ф}}$ — фоновая концентрация загрязняющего вещества в водотоке выше выпуска сточных вод, г/м³;

k — коэффициент неконсервативности, 1/сут;

t — время добегания от места выпуска сточных вод до расчетного створа, сут.

n — кратность общего разбавления сточных вод в водотоке.

Кратность общего разбавления равна произведению кратности начального разбавления n_n на кратность основного разбавления n_o :

$$n = n_n \cdot n_o \quad (11.4)$$

Начальное разбавление рассчитывается в следующих случаях:

- для напорных сосредоточенных и рассеивающих выпусков при соотношении скоростей речной воды V_p и скорости сточных вод из выпуска $V_{\text{ст}}$.

$$V_{\text{ст}} \geq 4 \cdot V_p \quad (11.5)$$

- при абсолютных скоростях истечения струи из выпуска больше 2 м/с.

Кратность начального разбавления n_n рассчитывается по методу Н.Н. Лапшева.

- Исходные данные:

- расход сточных вод q , м³/с;

- диаметр выпуска d_0 , м;

- количество выпуском N_0 ;

- скорость течения воды в реке (в месте выпуска) V_p , м/с;

- глубина реки в месте расположения выпуска H , м;

- Алгоритм расчета:

1) Находится скорость на оси струи

$$V_0 = V_p + \Delta V \quad (11.6)$$

ΔV – превышение скорости речного потока над скоростью на оси струи (задается в пределах 0,1÷0,15 м/с).

2) Определяется скорость истечения сточных вод из выпускных отверстий

$$V_{\text{ст}} = 4q / \pi d_0 N_0, \quad \text{м/с} \quad (11.7)$$

3) Вычисляется параметр m (отношение скоростей)

$$m = V_p / V_0 \quad (11.8)$$

4) По номограмме (рис. 1) определяется \bar{d} .

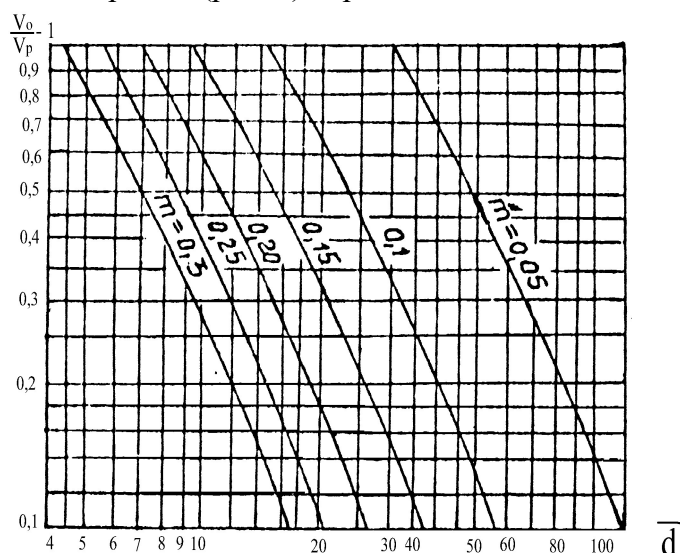


Рисунок 1 - Номограмма для определения диаметра струи в расчетном сечении.

5) Рассчитывается диаметр нестесненной струи в расчетном сечении

$$d = d_0 \cdot \bar{d}, \quad (11.9)$$

6) Кратность начального разбавления без учета стеснения струи $d < H$ определяется по формуле:

$$n_H = \frac{0,248}{1-m} d^{-2} \left(\sqrt{m^2 + 8,1 \cdot \frac{1-m}{d}} - m \right) \quad (11.10)$$

7) Кратность начального разбавления с учетом стеснения струи $d > H$ определяется по формуле:

$$n_H = \frac{0,248}{1-m} d^{-2} \left(\sqrt{m^2 + 8,1 \cdot \frac{1-m}{d}} - m \right) f\left(\frac{H}{d}\right); \quad (11.11)$$

где $f\left(\frac{H}{d}\right)$ определяется по рисунку 2.

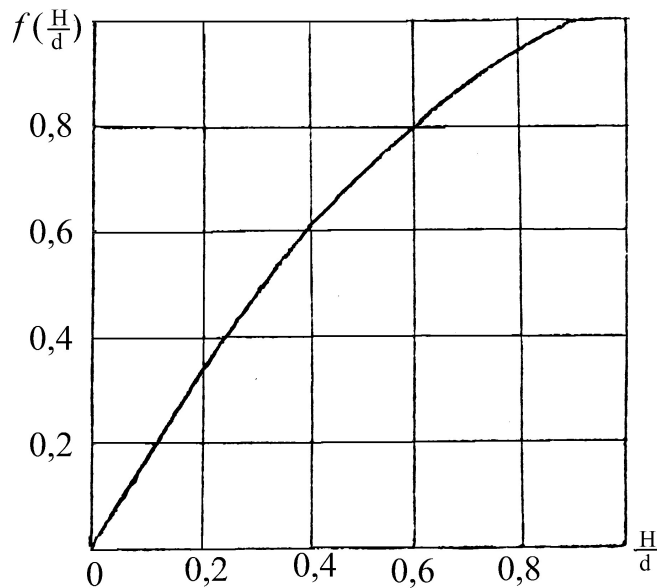


Рисунок 2 - Номограмма для определения поправочного коэффициента

11.6 Кратность основного разбавления n_0 определяется по методу В.А. Фролова и И.Д. Родзиллера.

- Исходные данные:
 - расчетный расход в водотоке в фоновом створе, Q , м³/с;
 - расчетный расход сточных вод в выпуске, q , м³/с;
 - скорость водотока при расчетном расходе, $V_{ср}$, м/с;
 - глубина водотока при расчетном расходе, H , м;
 - расстояние от выпуска до контрольного створа по прямой, $L_{п}$, м;
 - расстояние от выпуска до контрольного створа по фарватеру, $L_{ф}$, м.
- Алгоритм расчета:
 - 1) Определяется коэффициент смешения:

$$\gamma = \frac{1 - \exp(-\alpha \sqrt[3]{L_{ф}})}{1 + \frac{Q}{q} \cdot \exp(-\alpha \sqrt[3]{L_{ф}})} \quad (11.12)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt[3]{D}}{\varphi \cdot \xi^3} \quad (11.13)$$

где: α – коэффициент, учитывающий гидравлические условия в реке;

где φ – коэффициент извилистости (отношение расстояния до контрольного створа по фарватеру к расстоянию по прямой)

$$\varphi = L_{ф}/L_{п}, \quad (11.14)$$

ξ – коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод (при выпуске у берега $\xi=1$, при выпуске в стрежень реки $\xi=1,5$); D – коэффициент турбулентной диффузии, м²/с.

2) Коэффициент турбулентной диффузии определяется.

- Для летнего времени по формуле:

$$D = gVH/37n_{ш}C^2 \quad (11.15)$$

где: g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

$n_{ш}$ – коэффициент шероховатости ложа реки,

C – коэффициент Шези, $\text{м}^{1/2}/\text{с}$, определяемый по формуле Н.Н. Павловского

$$C = R^y / n_{ш}$$

где R – гидравлический радиус потока, м ($R \approx H$);

$$y = 2,5 \cdot \sqrt{n_{ш}} - 0,13 - 0,75 \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n_{ш}} - 1),$$

- Для зимнего времени (периода ледостава)

$$D = gVR_{пр}/37n_{пр}C_{пр}^2 \quad (11.16)$$

где $R_{пр}$, $n_{пр}$, $C_{пр}$ – приведенные значения гидравлического радиуса, коэффициента шероховатости и коэффициента Шези;

$$R_{пр} = 0,5H,$$

$$n_{пр} = n_{ш}[1 + (n_{л}/n_{ш})^{1,5}]^{0,67}$$

где $n_{л}$ – коэффициент шероховатости нижней поверхности льда.

3) Кратность основного разбавления определяется по формуле:

$$n_o = (q + \gamma Q)/q \quad (11.17)$$

7 Расчет норматива ПДС отдельного выпуска в водоем

Нормативы ПДС для выпусков сточных вод в водохранилища и озера определяются для каждого выпуска сточных вод по формуле:

$$\text{Норматив ПДС} = qC_{\text{ПДС}} \quad (12.1)$$

Расчетная формула для определения $C_{\text{ПДС}}$:

а) для консервативных веществ

$$C_{\text{ПДС}} = C_{\text{ф}} + n \cdot (C_{\text{ПДК}} - C_{\text{ф}}); \quad (12.2)$$

б) для неконсервативных веществ

$$C_{\text{ПДС}} = C_{\text{ф}} + n \cdot (C_{\text{ПДК}} \cdot e^{kt} - C_{\text{ф}}); \quad (12.3)$$

где:

$C_{\text{ПДК}}$ — предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водоема, г/м^3 ;

$C_{\text{ф}}$ — фоновая концентрация загрязняющего вещества в водотоке выше выпуска сточных вод;

n — кратность общего разбавления сточных вод в водотоке;

k — коэффициент неконсервативности, $1/\text{сут}$;

t — время добегания от места выпуска сточных вод до расчетного створа, сут .

Кратности общего разбавления равна произведению кратности начального разбавления на кратность основного:

$$n = n_H \cdot n_o \quad (12.4)$$

Кратность начального и основного разбавления рассчитывается по методу М. А. Руффеля для двух случаев расположения выпуска:

– выпуск в мелководную часть или в верхнюю треть глубины водоема, загрязненная струя распространяется вдоль берега под воздействием поверхностного течения, имеющего одинаковое с ветром направление;

– выпуск в нижнюю треть глубины водоема, загрязненная струя распространяется к береговой полосе против выпуска под воздействием донного компенсационного течения, имеющего направление, обратное направлению ветра.

• **Исходные данные:**

- расход сточных вод выпуска q , $\text{м}^3/\text{с}$;
- скорость ветра над водой в месте выпуска сточных вод V , $\text{м}/\text{с}$;
- средняя глубина водоема вблизи выпуска $H_{\text{ср}}$, м .

В зависимости от средней глубины водоема H_0 , средняя глубина $H_{\text{ср}}$ определяется на участке ΔL

| H_0 , м | ΔL , м |
|-------------|----------------|
| $3 \div 4$ | 100 |
| $5 \div 6$ | 150 |
| $7 \div 8$ | 200 |
| $9 \div 10$ | 250 |

- расстояние до контрольного створа L , м .

• Алгоритм расчета:

- 1) Определяется кратность начального разбавления:
при выпуске в мелководье или в верхнюю треть глубины водоема

-

$$n_n = \frac{q + 0,00215VH_{\text{ср}}^2}{q + 0,000215VH_{\text{ср}}^2} \quad (12.5)$$

- при выпуске в нижнюю треть глубины

$$n_n = \frac{q + 0,00158VH_{\text{ср}}^2}{q + 0,000079VH_{\text{ср}}^2} \quad (12.6)$$

2) Определяется кратность основного разбавления:

- при выпуске в мелководье или в верхнюю треть глубины водоема

$$n_0 = 1 + 0,412 \cdot L^{(0,627+0,0002\bar{L})} \quad (12.7)$$

где $\bar{L} = L / \Delta x$, $\Delta x = 6,53 \cdot H_{\text{ср}}^{1,167}$

или по табл. 12.1

Таблица 12.1 - Значение n_0 , случай – выпуск в мелководье

| $H_{\text{ср}}$, м | L , м | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----|-----|-----|------|------|-------|------|
| | 0 | 50 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 |
| 1 | 8 | 7,6 | 12, | 22, | 51, | 10 | 20 | 3 |
| | | 18 | 18 | 57 | 5,09 | 4,17 | 87,79 | |
| 2 | 6 | 4,8 | 7,1 | 11, | 19, | 30, | 43, | 6 |
| | | 6 | 27 | 84 | 26 | 62 | 1,01 | |
| 3 | 4 | 3,8 | 5,4 | 8,2 | 13, | 18, | 24, | 3 |
| | | 6 | 0 | 28 | 64 | 67 | 1,63 | |
| 4 | 9 | 3,2 | 4,5 | 6,6 | 10, | 14, | 17, | 2 |
| | | 8 | 9 | 39 | 02 | 85 | 2,00 | |
| 5 | 4 | 2,9 | 4,0 | 5,7 | 8,7 | 11, | 14, | 1 |
| | | 2 | 6 | 3 | 51 | 33 | 7,27 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|----|-----|----|------|
| 6 | 9 | 2,6 | 3 | 3,6 | 3 | 5,1 | 3 | 7,6 | 2 | 9,9 | 16 | 12, | 1 | 4,45 |
| 7 | 1 | 2,5 | 5 | 3,3 | 7 | 4,6 | 5 | 6,8 | 0 | 8,8 | 68 | 10, | 1 | 2,56 |
| 8 | 7 | 2,3 | 2 | 3,1 | 2 | 4,3 | 5 | 6,2 | 7 | 7,9 | 0 | 9,6 | 1 | 1,20 |
| 0 | 6 | 2,1 | 0 | 2,8 | 0 | 3,8 | 1 | 5,4 | 0 | 6,8 | 0 | 8,1 | 9, | 36 |
| 2 | 2 | 2,0 | 7 | 2,5 | 4 | 3,4 | 3 | 4,8 | 2 | 6,0 | 1 | 7,1 | 8, | 16 |
| 4 | 1 | 1,9 | 0 | 2,4 | 8 | 3,1 | 0 | 4,4 | 5 | 5,4 | 0 | 6,4 | 7, | 30 |
| 6 | 2 | 1,8 | 7 | 2,2 | 7 | 2,9 | 8 | 4,0 | 1 | 5,0 | 6 | 5,8 | 6, | 65 |

– при выпуске в нижнюю треть глубины водоема

$$n_0 = 1,85 + 2,32 \cdot \bar{L}^{-0,41+0,0064\bar{L}}, \quad (12.8)$$

где $\bar{L} = L / \Delta x$, $\Delta x = 4,41 \cdot H_{cp}^{1,167}$

или по табл. 12.2

Таблица 12.2 - Значение n_0 , случай – выпуск в нижнюю треть глубины водоема

| H ср, М | L, м | | | | | | |
|------------|------|-----|-----|-----|------|-------|----|
| | 50 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 5 |
| 1 | 9,3 | 14, | 23, | 35, | 84, | 20 | 5 |
| 4 | 97 | 08 | 39 | 03 | 3,46 | 01,50 | |
| 2 | 6,6 | 8,0 | 11, | 13, | 20, | 29, | 4 |
| 0 | 8 | 05 | 58 | 05 | 35 | 2,99 | |
| 3 | 5,6 | 7,1 | 8,5 | 9,8 | 12, | 16, | 2 |
| 5 | 6 | 2 | 8 | 88 | 49 | 0,95 | |
| 4 | 5,1 | 6,3 | 7,3 | 8,3 | 10, | 12, | 1 |
| 2 | 4 | 6 | 3 | 29 | 43 | 4,86 | |
| 5 | 4,7 | 5,8 | 6,6 | 7,4 | 8,9 | 10, | 1 |
| 7 | 2 | 7 | 4 | 3 | 46 | 2,10 | |
| 6 | 4,5 | 5,4 | 6,1 | 6,8 | 8,0 | 9,2 | 1 |
| 2 | 6 | 9 | 5 | 8 | 8 | 0,53 | |
| 7 | 4,3 | 5,1 | 5,8 | 6,4 | 7,4 | 8,4 | 9, |
| 3 | 8 | 4 | 3 | 8 | 9 | 50 | |
| 8 | 4,1 | 4,9 | 5,5 | 6,1 | 7,0 | 7,9 | 8, |
| 7 | 6 | 7 | 0 | 3 | 1 | 77 | |
| 0 | 1 | 3,9 | 4,6 | 5,1 | 5,6 | 6,4 | 7, |
| 3 | 3 | 3 | 6 | 2 | 0 | 1 | 14 |
| 1 | 3,7 | 4,3 | 4,8 | 5,2 | 5,9 | 6,5 | 7, |
| 6 | 9 | 7 | 8 | 6 | 7 | 14 | |
| 4 | 1 | 3,6 | 4,2 | 4,6 | 5,0 | 5,6 | 6, |
| 2 | 1 | 5 | 2 | 4 | 8 | 67 | |
| 6 | 1 | 3,5 | 4,0 | 4,4 | 4,8 | 5,3 | 6, |
| 1 | 1 | 6 | 7 | 1 | 8 | 7 | 32 |

8. Разработка, согласование и утверждение нормативов ПДС и лимитов сброса загрязняющих веществ

Нормативы ПДС и лимиты сброса загрязняющих веществ разрабатываются водопользователем или по его заказу научной, проектной или иной специализированной организацией.

Разработанные нормативы ПДС и лимиты сброса загрязняющих веществ подписываются руководителем организации (юридического лица) или гражданином, осуществляющим предпринимательскую деятельность без образования юридического лица.

Разработанные нормативы ПДС согласовываются водопользователем со следующими специально уполномоченными государственными органами (в пределах их полномочий):

- территориальными органами Роспотребнадзора;
- бассейновыми органами Госкомрыболовства России (в случае сброса сточных вод в водные объекты или их участки, используемые для целей рыбного хозяйства);
- территориальными органами Ростехнадзора.

В случае отказа от рассмотрения нормативов ПДС или их отклонения от согласования со стороны согласующих спецуполномоченных государственных органов территориальные органы Государственной водной службы МПР России принимают решение по условиям их утверждения (или обосновывают причины отказа).

Нормативы ПДС и лимиты сброса загрязняющих веществ являются основанием при выдаче лицензии на водопользование в случае использования поверхностного водного объекта для сброса сточных вод.

9. Система контроля сбросов загрязняющих веществ.

С целью соблюдения установленных нормативов ПДС, лимитов сброса загрязняющих веществ и условий сброса сточных вод осуществляются производственный и государственный контроль за сбросом сточных вод.

Производственный контроль за сбросом сточных вод осуществляется за счет субъекта хозяйственной и иной деятельности. Порядок организации производственного контроля, регулируется положениями, утвержденными предприятиями, учреждениями, организациями.

Государственный контроль за соблюдением нормативов ПДС, лимитов сброса загрязняющих веществ, и порядок его осуществления регламентируется действующим законодательством.

Производственный аналитический и токсикологический контроль осуществляется аккредитованными лабораториями водопользователя, или иными (аккредитованными) лабораториями на договорной основе.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

СОСТАВ ПРОЕКТА ПО РАЗРАБОТКЕ НОРМАТИВОВ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО СБРОСА И ЛИМИТОВ СБРОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ СО СТОЧНЫМИ ВОДАМИ.

1. Титульный лист.
2. Проект форм разрешения на сброс загрязняющих веществ со сточными водами.
3. Пояснительная записка.
 - 3.2 Обоснование установления нормативов ПДС и лимитов ВСС, способ установления/расчета.
 - 3.3 Сведения о водопользователе
 - 3.4 Характеристика водного объекта, принимающего сточные воды.
 - 3.5 Местоположение фонового контрольного створа и определение условий сброса сточных вод.
 - 3.6 Исходные данные.
 - 3.7 Определение перечня нормируемых загрязняющих веществ.
 - 3.8 Установление допустимых величин свойств сточных вод и численных значений концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, соответствующих ПДС.
 - 3.9 Обоснование и установление величин свойств сточных вод и численных значений концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, соответствующих лимиту сброса веществ.
4. Сведения о выполнении планов водоохранных мероприятий за предшествующий период.
5. Предложения к плану по снижению загрязнения на 200 г. - 200..г.
6. План-график производственного контроля за соблюдением нормативов ПДС и лимитов сбросов веществ.
7. Список использованной нормативно-технической литературы.
8. Приложения:

Копии запросов и ответов организаций, согласующих проект нормативов ПДС и лимитов сброса веществ, иных организаций, представляющих необходимую информацию по обоснованию нормативов ПДС и лимитов сброса веществ.

Копии аттестатов аккредитации лабораторий, привлекавшихся к определению исходных данных для установления нормативов ПДС, а также - осуществляющих производственный контроль за соблюдением нормативов ПДС.

Копии разрешительных документов на осуществление деятельности по нормированию сброса сточных вод разработчика проекта и привлекавшихся организаций.

Копии сертификатов программных продуктов, применявшихся при расчетах нормативов ПДС.

Тема 15

Анализ физических факторов загрязнения биосферы

План

15.1. Световое и тепловое загрязнение.

15.2. Шумовое загрязнение

15.3. Электромагнитное загрязнение.

1. Световое и тепловое загрязнение.

Световое загрязнение обычно наблюдается в городах и сельских населенных пунктах, где имеет место нарушение естественной освещенности местности в результате действия искусственных источников света. Световое загрязнение сильно влияет на многие виды животных и растений, так как при этом изменяются природные условия их существования.

Антропогенное тепловое загрязнение происходит в результате повышения температуры среды главным образом в связи с промышленными выбросами нагретого воздуха, отходящих газов и вод. Кроме того, оно может возникнуть как вторичный результат изменения химического состава среды.

Примером влияния теплового загрязнения на биоту может являться смена популяций водорослей от температуры водоемов (рис.23).

Рис.23 Последовательность смены видового состава и формирования сообщества водорослей вызываемая тепловым загрязнением.

2. Шумовое загрязнение.

Шумовая нагрузка на человека в современном мире высока и опасна. Физико-биологическая адаптация к шуму невозможна. Шкала силы звука приведена в табл.21.

Таблица 21

Воздействие шума на человека.

| Источники шума | Интенсивность шума, дБ |
|----------------|---------------------------|
|----------------|---------------------------|

| | |
|--|-----|
| Выстрел из орудия | 170 |
| Старт космической ракеты | 160 |
| Выстрел из винтовки | 150 |
| Взлет реактивного самолета (на расстоянии 25 м) | 140 |
| Взлет реактивного самолета (на расстоянии 100 м) | 130 |
| Удар грома | 120 |
| Оркестр рок-музыки | 110 |
| Тяжелый грузовик | 100 |
| Отбойный молоток | 90 |
| Стиральная машина | 80 |
| Салон автомобиля | 70 |
| Машбюро | 60 |
| Разговор в жилой комнате | 50 |
| Тихая беседа | 40 |
| Спокойная сельская местность | 30 |
| Шепот, шелест листьев | 20 |
| Зимний лес в безветренную погоду | 10 |

Шум более 90 дБ вызывает постепенное ослабление слуха, болезни нервной системы, психический стресс, язвенную болезнь, гипертонию и т.д. При 120 дБ возникает сильное болевое ощущение, при 150 дБ происходит разрыв барабанных перепонки, при 180 дБ может наступить смерть.

3. Электромагнитное загрязнение.

Источниками этого вида загрязнения являются радио- и телепередающие устройства, электрофицированный транспорт, радиолокационные установки, трансформаторные станции и т.д. Электромагнитное воздействие приводит к изменениям в тонких клеточных и молекулярных биологических структурах. У человека при напряженности поля более 1000 вольт на метр возникают головные боли, утомляемость.

В заключение можно сделать вывод, что на человека, растительный и животный мир воздействует комплекс природных и антропогенных факторов, характеризующихся различной степенью опасности.