

**Мониторинг  
атмосферного  
воздуха**

**Тема:**

**ПРОГНОЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
ВОЗДУХА**

# Виды прогнозов

```
graph TD; A[Виды прогнозов] --> B[Оперативное прогнозирование, или краткосрочные прогнозы]; A --> C[Долгосрочное прогнозирование];
```

**Оперативное прогнозирование, или краткосрочные прогнозы** (в пределах суток возможности резкого повышения концентраций вредных примесей в приземном слое воздуха)

**Долгосрочное прогнозирование** (научно-технические прогнозы загрязнения атмосферы на длительные периоды 10-20 лет и более с учетом развития и реконструкции промышленного производства)

# Оперативное прогнозирование

В повседневной работе служб мониторинга наибольшее внимание уделяется краткосрочному прогнозированию, т.к.

1. Действующие источники загрязнения не всегда удается вынести за пределы города, а уровень техники не всегда обеспечивает требуемую степень очистки выбросов. Поэтому требуется хотя бы кратковременно (в периоды НМУ, когда может создаваться опасное загрязнение воздуха) снижать выбросы в атмосферу.

2. При проектировании новых предприятий ориентируются на расчетные НМУ (для высоких источников это опасная скорость ветра и неустойчивая стратификация атмосферы). Однако при этом в периоды аномальных НМУ (например, инверсия над устьем трубы) могут создаваться весьма высокие концентрации примесей в атмосфере. Для недопущения этого целесообразны эксплуатационные, а не капитальные меры по кратковременному снижению выбросов в эти периоды.

# Эксплуатационные мероприятия по кратковременному снижению выбросов в периоды НМУ

- Усиление контроля за работой очистных устройств;
- Сокращение до минимума неорганизованных выбросов;
- Недопущение залповых выбросов;
- Использование резервов более качественного топлива;
- Остановка второстепенных производств с большими выбросами в атмосферу;
- Смещение во времени технологических процессов

**Оперативное прогнозирование  
производится в двух  
направлениях**

Прогноз уровня  
загрязнения воздуха и  
концентраций  
примесей от  
отдельных источников  
и групп источников

Прогноз уровня  
загрязнения по городу  
в целом (прогноз  
городского фоновое  
загрязнения)

# Прогноз уровня загрязнения воздуха от отдельных источников и групп источников

## Исходные данные для прогноза:

- Рассчитанные значения опасной скорости ветра  $U_m$  и максимальной концентрации, создаваемой данным источником  $C_m$  ( расчет по методу Берлянда, ОНД-86);
- Комплексы НМУ ( в зависимости от  $U_m$  , типа источника и его расположения на местности).

# Комплексы НМУ для низких источников

- Периоды застоя, т.е. штиль, сопровождающийся приземной инверсией при устойчивой стратификации атмосферы;
- Условия, при которых предсказывается высокий уровень загрязнения воздуха по городу в целом.

# Комплексы НМУ для высоких источников

- Неустойчивая стратификация атмосферы в сочетании с приподнятой над трубой (на 100-300 м) инверсией и опасной скоростью ветра на уровне флюгера;
- Отсутствие ветра в приземном слое, а на высоте выбросов скорость ветра, равная  $1,5 - 2 U_m$  (при высоте трубы 100-200м);
- Скорость ветра у земли близкая к опасной  $U_m$  при направлении ветра на жилые районы;
- Высота слоя перемешивания  $< 500\text{м}$ , но больше высоты источника и скорость ветра, близкая к  $U_m$ ;
- Туман и штиль (для холодных выбросов), туман и  $U > 2 \text{ м/с}$  – для нагретых;
- Направление ветра в сторону кварталов плотной застройки или районов со сложным рельефом в сочетании с  $U_m$ ;
- Направление ветра, при котором имеет место максимальное наложение выбросов от группы источников в сочетании с  $U_m$ .



# Схема прогнозирования уровня загрязнения от отдельных источников и групп источников

## 1. Одиночный источник

Рассчитывают  $U_m$  и выбирают комплексы НМУ, соответствующие характеристикам источника. Прогноз выбранных комплексов НМУ является сигналом для данного источника возможного высокого уровня загрязнения.

## 2. Предприятие с несколькими ИЗА, имеющими разные $U_m$

Рассчитывают средневзвешенную опасную скорость ветра  $U_{mc}$  и выбирают соответствующие ей комплексы НМУ.

$$U_{mc} = \frac{U_{m1}C_{m1} + U_{m2}C_{m2} + \dots + U_{mN}C_{mN}}{C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{mN}}$$

## 3. Город с большим количеством источников

- Выбор предприятий, для которых будет осуществляться прогноз (на город 500 тыс.чел. – 10-15 наиболее крупных предприятий);
- Расчет  $U_m$  для выбранных ИЗА и подбор для них комплексов НМУ;
- Группировка ИЗА в соответствии с выбранными комплексами НМУ в несколько групп (в простейшем случае выделяют три группы: низкие, высокие холодные и высокие нагретые);
- На основе прогноза направления и скорости ветра, высоты слоя перемешивания, туманов передаются предупреждения соответствующей группе ИЗА.

# Предупреждения об НМУ

Предприятиям передают сигналы 3 степеней опасности в зависимости от:

- количества ожидаемых комплексов НМУ и
- кратности превышения ПДК максимальными наблюдаемыми концентрациями  $q_m$

**1 степень** – ожидание одного комплекса НМУ;

**2 степень** – ожидание одновременно двух комплексов НМУ при условии, что хотя бы для одного вещества  $q_m > 3$  ПДК (Если  $\text{ПДК} < q_m \leq 3$ , то при указанных условиях составляется предупреждение 1 степени);

**3 степень** – если после объявления сигнала 2 степени, принятые меры не дают результата. Дополнительное условие: хотя бы по одному веществу  $q_m > 5$  ПДК.

# Прогноз концентраций примесей в воздухе, создаваемых одним или группой ИСТОЧНИКОВ

Рассчитывают  $C_m$  от каждого источника и производят сложение полей концентраций. Результат относится к НМУ нормального типа. При аномальных НМУ концентрации будут превышать расчетные. Их прогнозируют с использованием следующих правил:

- Если при повышенном турбулентном обмене и скорости ветра  $\approx U_m$  над источником приподнятая инверсия, то  $q = (1,5 \div 2)C_m$ ;
- Если у земли штиль, а на уровне выбросов  $U = (1,5 \div 2)U_m$ , то  $q \approx 2C_m$ ;
- При переносе выбросов на районы со сложным рельефом  $q = (1,5 \div 2)C_m$ ;
- При осуществлении одновременно двух комплексов НМУ  $q = (3 \div 4)C_m$ ;
- При сочетании слабого ветра (до 2 м/с) и приподнятой инверсии в случае холодных выбросов  $q \geq 5C_m$ .

# Прогноз уровня загрязнения воздуха по городу в целом

Прогноз городского фонового загрязнения основан на установлении корреляционных связей случаев высокой концентрации примеси с определенным сочетанием метеоусловий.

**Основной принцип прогнозирования:** максимальный учет характера физического процесса распространения примесей в атмосфере и особенностей влияния метеоусловий на концентрацию примесей в воздухе конкретного города.

**Для улучшения корреляционных связей:**

- Одновременно учитывают влияние ряда факторов на содержание примесей в воздухе;
- Используют комплексные характеристики загрязнения воздуха.

# Комплексные характеристики загрязнения воздуха, используемые для прогноза

## 1. Одиночный источник

Рассчитывают  $U_m$  и выбирают комплексы НМУ, соответствующие характеристикам источника. Прогноз выбранных комплексов НМУ является сигналом для данного источника возможного высокого уровня загрязнения.

## 2. Предприятие с несколькими ИЗА, имеющими разные $U_m$

Рассчитывают средневзвешенную опасную скорость ветра  $U_{mc}$  и выбирают

Группа загрязнения	Градация Р	Характер загрязнения
1	> 0,35	Высокое
2	0,2 – 0,35	Повышенное
3	<0,2	Относительно пониженное

## 1. Одиночный источник

Рассчитывают  $U_m$  и выбирают комплексы НМУ, соответствующие характеристикам источника. Прогноз выбранных комплексов НМУ является сигналом для данного источника возможного высокого уровня загрязнения.

## 2. Предприятие с несколькими ИЗА, имеющими разные $U_m$

Рассчитывают средневзвешенную опасную скорость ветра  $U_{mc}$  и выбирают соответствующие ей комплексы НМУ.

$$U_{mc} = \frac{U_{m1}C_{m1} + U_{m2}C_{m2} + \dots + U_{mN}C_{mN}}{C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{mN}}$$

## 3. Город с наибольшим количеством источников

- Выбор предприятий, для которых будет осуществляться прогноз (на город 500 тыс. чел. – 10-15 наиболее крупных предприятий);
- Расчет  $U_m$  для выбранных ИЗА и подбор для них комплексов НМУ;
- Группировка ИЗА в соответствии с выбранными комплексами НМУ в несколько групп (в простейшем случае выделяют три группы: низкие, высокие холодные и высокие нагретые);
- На основе прогноза направления и скорости ветра, высоты слоя перемешивания, туманов передают предупреждения соответствующей группе ИЗА.

# Предикторы – характеристики, на основе которых составляется прогноз.

## 1. Одиночный источник

Рассчитывают  $U_m$  и выбирают комплексы НМУ, соответствующие характеристикам источника. Прогноз выбранных комплексов НМУ является сигналом для данного источника возможного высокого уровня загрязнения.

## 2. Предприятие с несколькими ИЗА, имеющими разные $U_m$

Рассчитывают средневзвешенную опасную скорость ветра  $U_{mc}$  и выбирают соответствующие ей комплексы НМУ.

$$U_{mc} = \frac{U_{m1}C_{m1} + U_{m2}C_{m2} + \dots + U_{mN}C_{mN}}{C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{mN}}$$

## 3. Город с большим количеством источников

- Выбор предприятий, для которых будет осуществляться прогноз (на город 500 тыс.чел. – 10-15 наиболее крупных предприятий);
- Расчет  $U_m$  для выбранных ИЗА и подбор для них комплексов НМУ;
- Группировка ИЗА в соответствии с выбранными комплексами НМУ в несколько групп (в простейшем случае выделяют три группы: низкие, высокие холодные и высокие нагретые);
- На основе прогноза направления и скорости ветра, высоты слоя перемешивания, туманов передаются предупреждения соответствующей группе ИЗА.

# Выбор предикторов

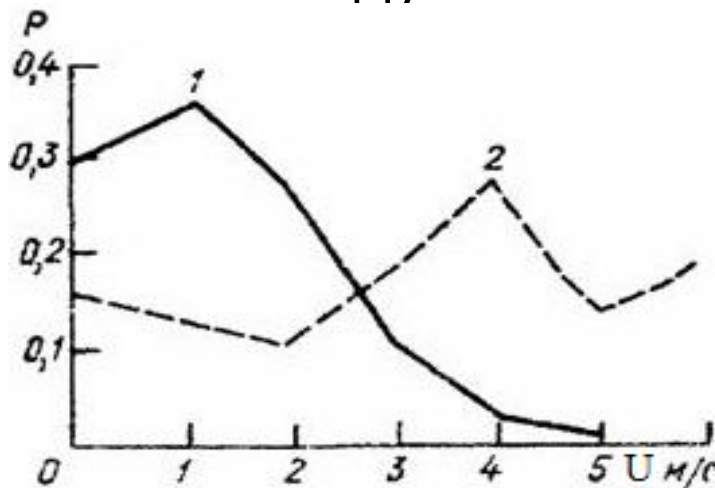
Синхронные

Асинхронные

## Установление значимости предикторов:

- Если связь между прогнозируемым параметром и предиктором линейна (напр., между  $P$  и  $P'$ ), рассчитывают коэффициент линейной корреляции.
- Приближенное определение значимости предиктора – на основе графического рассмотрения связи между ним и прогнозируемым параметром.

Предиктор значим, если зависимость выражена четко и соответствует физическим представлениям о процессе распространения примесей.



Зависимость загрязнения воздуха от скорости ветра при наличии (1) и отсутствии (2) приземной инверсии

# Установление значимости предикторов (продолжение)

## 1. Одиночный источник

Рассчитывают  $U_m$  и выбирают комплексы НМУ, соответствующие характеристикам источника. Прогноз выбранных комплексов НМУ является сигналом для данного источника возможного высокого уровня загрязнения.

## 2. Предприятие с несколькими ИЗА, имеющими разные $U_m$

Рассчитывают средневзвешенную опасную скорость ветра  $U_{mc}$  и выбирают соответствующие ей комплексы НМУ.

$$U_{mc} = \frac{U_{m1}C_{m1} + U_{m2}C_{m2} + \dots + U_{mN}C_{mN}}{C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{mN}}$$

## 3. Город с большим количеством источников

- Выбор предприятий, для которых будет осуществляться прогноз (на город 500 тыс.чел. – 10-15 наиболее крупных предприятий);
- Расчет  $U_m$  для выбранных ИЗА и подбор для них комплексов НМУ;
- Группировка ИЗА в соответствии с выбранными комплексами НМУ в несколько групп (в простейшем случае выделяют три группы: низкие, высокие холодные и высокие нагретые);
- На основе прогноза направления и скорости ветра, высоты слоя перемешивания, туманов передаются предупреждения соответствующей группе ИЗА.



# Прогностические схемы для прогнозирования загрязнения воздуха по городу в целом

## 1. Одиночный источник

Рассчитывают  $U_m$  и выбирают комплексы НМУ, соответствующие характеристикам источника. Прогноз выбранных комплексов НМУ является сигналом для данного источника возможного высокого уровня загрязнения.

## 2. Предприятие с несколькими ИЗА, имеющими разные $U_m$

Рассчитывают средневзвешенную опасную скорость ветра  $U_{mc}$  и выбирают соответствующие ей комплексы НМУ.

$$U_{mc} = \frac{U_{m1}C_{m1} + U_{m2}C_{m2} + \dots + U_{mN}C_{mN}}{C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{mN}}$$

## 3. Город с большим количеством источников

- Выбор предприятий, для которых будет осуществляться прогноз (на город 500 тыс.чел. – 10-15 наиболее крупных предприятий);
- Расчет  $U_m$  для выбранных ИЗА и подбор для них комплексов НМУ;
- Группировка ИЗА в соответствии с выбранными комплексами НМУ в несколько групп (в простейшем случае выделяют три группы: низкие, высокие холодные и высокие нагретые);
- На основе прогноза направления и скорости ветра, высоты слоя перемешивания, туманов передаются предупреждения соответствующей группе ИЗА.

# Метод распознавания образов (продолжение)

## 1. Одиночный источник

Рассчитывают  $U_m$  и выбирают комплексы НМУ, соответствующие характеристикам источника. Прогноз выбранных комплексов НМУ является сигналом для данного источника возможного высокого уровня загрязнения.

## 2. Предприятие с несколькими ИЗА, имеющими разные $U_m$

Рассчитывают средневзвешенную опасную скорость ветра  $U_{mc}$  и выбирают соответствующие ей комплексы НМУ.

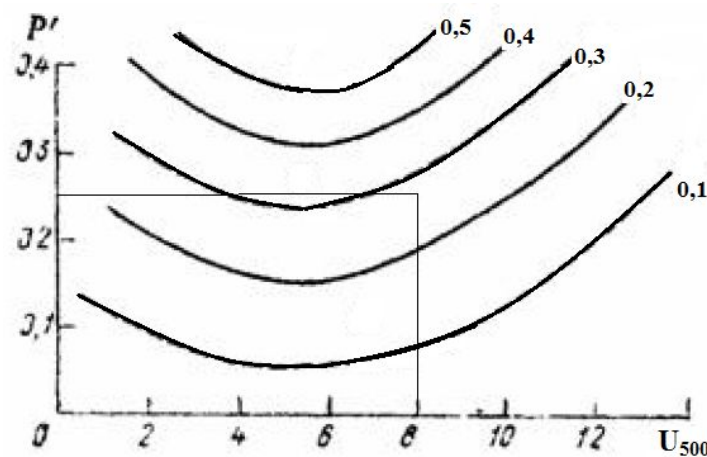
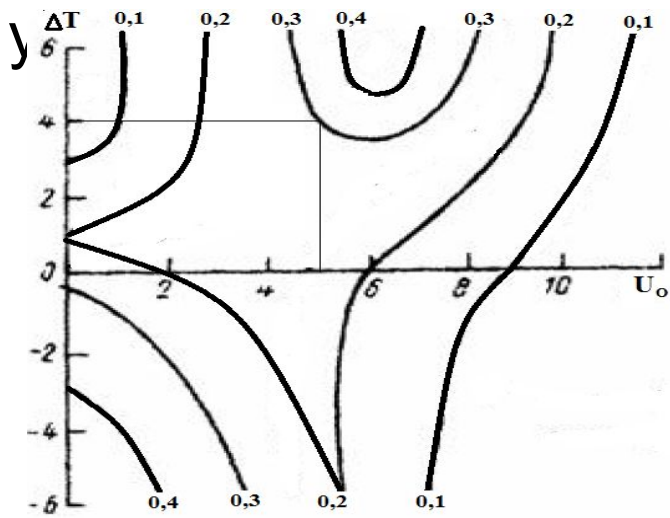
$$U_{mc} = \frac{U_{m1}C_{m1} + U_{m2}C_{m2} + \dots + U_{mN}C_{mN}}{C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{mN}}$$

## 3. Город с большим количеством источников

- Выбор предприятий, для которых будет осуществляться прогноз (на город 500 тыс.чел. – 10-15 наиболее крупных предприятий);
- Расчет  $U_m$  для выбранных ИЗА и подбор для них комплексов НМУ;
- Группировка ИЗА в соответствии с выбранными комплексами НМУ в несколько групп (в простейшем случае выделяют три группы: низкие, высокие холодные и высокие нагретые);
- На основе прогноза направления и скорости ветра, высоты слоя перемешивания, туманов передаются предупреждения соответствующей группе ИЗА.

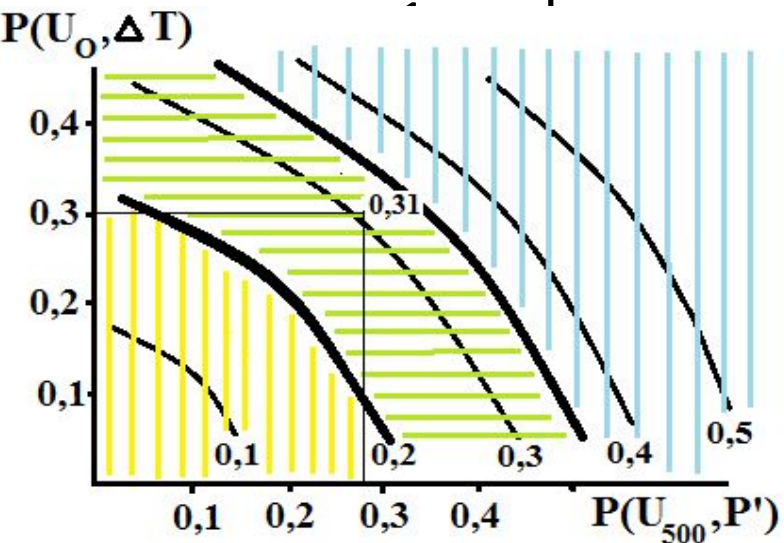
# Метод последовательной графической регрессии

- Отбираем четное число значимых предикторов и делим их на пары. Например,  $U_0$  и  $\Delta T$ ;  $U_{500}$  и  $P'$ .
- Строим предварительные корреляционные графики с использованием выбранных пар предикторов. Каждый график – поле обобщенной характеристики загрязнения воздуха  $P$  (ее абсолютной величины или повторяемости ее высоких значений). Эта характеристика за каждый день по значениям двух выбранных предикторов наносится на график в виде точки.
- Проводим изолинии  $P$  (или повторяемостей высокого



# Метод последовательной графической регрессии

- С каждого из предварительных графиков по значениям двух предикторов для всего используемого ряда наблюдений снимаем ежедневные значения новых комплексных метеорологических предикторов  $P(U_0, \Delta T)$  и  $P(U_{500}, P')$ .
- Корреляционные графики объединяем попарно, откладывая на осях новые комплексные предикторы, полученные из предварительных графиков. В точках пересечения комплексных предикторов наносим эксп. значения  $P$ . И так до тех пор, пока не



Пример: В один из дней наблюдения предикторы имели значения  $U_0=5\text{ м/с}$ ,  $U_{500}=8\text{ м/с}$ ,  $\Delta T=4^\circ$ ,  $P'=0,25$ ,  $P=0,31$ .

С первого графика:  $P(U_0, \Delta T)=0,3$ , со второго:  $P(U_{500}, P')=0,28$ .

На окончательном графике на пересечении 0,3 и 0,28 наносим значение  $P=0,31$ .

- На окончательном графике строим изолинии и выделяем 3 области, соответствующие трем группам загрязнения воздуха.

# Прогностические правила

Правила разработаны для предсказания одной из трех группы: высокого ( $P > 0,35$ ), повышенного ( $0,2-0,35$ ) и пониженного ( $P \leq 0,2$ ) уровня загрязнения.

Например, высокий уровень загрязнения формируется:

- Ночью и утром застой воздуха, а в предшествующий день  $P' > 0,3$  (оправдываемость 70%);
- В дневные часы застой, а накануне  $P' > 0,15$ . Эти условия дают высокое загрязнение с ноября по март (оправдываемость 70%);
- В дневные часы умеренный ветер (3-6 м/с) и неустойчивая стратификация сменяются застоем к вечеру,  $P' > 0,15$  (60%);
- Во второй половине предшествующего дня  $P' > 0,4$ , а в последующий день по прогнозу усиления ветра или осадков не ожидается (70%);
- Скорость ветра 0 - 1 м/с, туман;
- Формирование или сохранение стационарного антициклона,  $P' > 0,2$ .

# Долгосрочное прогнозирование

## Виды прогнозов:

- по стране
- по отраслям промышленности
- по городам
- по отдельным крупным промышленным объектам
- по видам веществ, выбрасываемых в атмосферу

## Исходные данные:

- среднеклиматические характеристики распространения примеси
- неблагоприятные условия погоды
- количество выбросов
- высота источников
- размещение источников по территории

## 2 этапа прогнозирования:

- Прогноз выбросов вредных веществ в атмосферу;
- Прогноз средних и максимальных концентраций вредных веществ.

# Методы прогнозирования

1. Расчетный метод прогноза ожидаемого уровня загрязнения атмосферы
2. Метод статистических оценок ожидаемого уровня загрязнения на основе полученных связей между суммарными выбросами вредных веществ и их средними концентрациями в воздухе
3. Оценка уровня загрязнения или выбросов по косвенным показателям
4. Экстраполяция изменений уровня загрязнения за предшествующие годы на последующий период
5. Метод городов-аналогов и предприятий-аналогов.

# 1. Расчетный метод прогноза

Основан на расчете максимальной концентрации примеси от отдельных источников  $C_m$  по ОНД-86 и сложении полей концентраций при разных направлениях ветра, а также на расчете средней концентрации для различных районов города.

## **Схема прогнозирования:**

- Прогноз выбросов и характеристик источников на основе технических проектов строительства и реконструкции промышленных объектов
- Расчет максимальных и средних концентраций при прогнозируемых выбросах.



## 2. Метод статистических оценок

### 1. Одиночный источник

Рассчитывают  $U_m$  и выбирают комплексы НМУ, соответствующие характеристикам источника. Прогноз выбранных комплексов НМУ является сигналом для данного источника возможного высокого уровня загрязнения.

### 2. Предприятие с несколькими ИЗА, имеющими разные $U_m$

Рассчитывают средневзвешенную опасную скорость ветра  $U_{mc}$  и выбирают соответствующие ей комплексы НМУ.

$$U_{mc} = \frac{U_{m1}C_{m1} + U_{m2}C_{m2} + \dots + U_{mN}C_{mN}}{C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{mN}}$$

### 3. Город с большим количеством источников

- Выбор предприятий, для которых будет осуществляться прогноз (на город 500 тыс.чел. – 10-15 наиболее крупных предприятий);
- Расчет  $U_m$  для выбранных ИЗА и подбор для них комплексов НМУ;

Вещество	$k_1$	$k_3$	Ошибка в определении $q_{ср}$
пыль	0,053	0,46	50%
SO <sub>2</sub>	0,002	1,07	60%
NO <sub>2</sub>	0,020	0,37	30%

ко  
е и

ния,

### 3. Прогноз по косвенным показателям

При недостатке информации используются косвенные показатели, например:

- В городах с населением свыше 500 тыс.чел. концентрации наиболее распространенных ЗВ в 1,5-2 раза выше, чем в городах с населением 100 тыс.
- В городах с металлургической и нефтеперерабатывающей промышленностью средние концентрации  $SO_2$  в 2-3 раза больше, чем в других городах примерно такого же размера.
- Концентрация CO возрастает в 2-3 раза при увеличении числа автомашин в городе от 10 до 50 тысяч.
- И т.д.

## 4. Экстраполяционный метод

- Метод основан на предположении о неизменности сложившихся темпов развития промышленности региона.
- Прогноз составляется с использованием установленных тенденций изменения средних концентраций примесей с учетом длительного временного ряда наблюдений.

## 5. Метод аналогов

Метод используют при строительстве новых городов или пром. предприятий и отсутствии полных данных о параметрах выбросов.

**Город-аналог** – условный город с такой же численностью населения и уровнем пром.развития, что и рассматриваемый город на прогнозируемый период. Уровень загрязнения в городе-аналоге устанавливается как средний из данных наблюдений в группе реальных городов, расположенных в климатических условиях, сходных с условиями города-аналога. При прогнозе загрязнения воздуха для городов, примыкающих к БАМу, в качестве аналогов использовались города Восточной Сибири.

**Предприятие-аналог** выбирается из числа действующих предприятий сходного профиля и мощности, расположенных в таких же климатических условиях, что и предприятие, для которого подбирается аналог. Максимальные и средние концентрации, создаваемые проектируемым предприятием, принимаются равными таковым для предприятия-аналога, рассчитанным по методу ОНД-86. Эти концентрации накладываются на поле концентраций, создаваемое всеми др.предприятиями города, что позволяет определить оптимальное расположение проектируемого предприятия.