

**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 фоновоегo загрязнения основан на установлении корреляционных связей случаев высокой концентрации примеси с определенным сочетанием метеoусловий.

Основной принцип прогнозирования: максимальный учет характера физического процесса распространения примесей в атмосфере и особенностей влияния метеoусловий 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

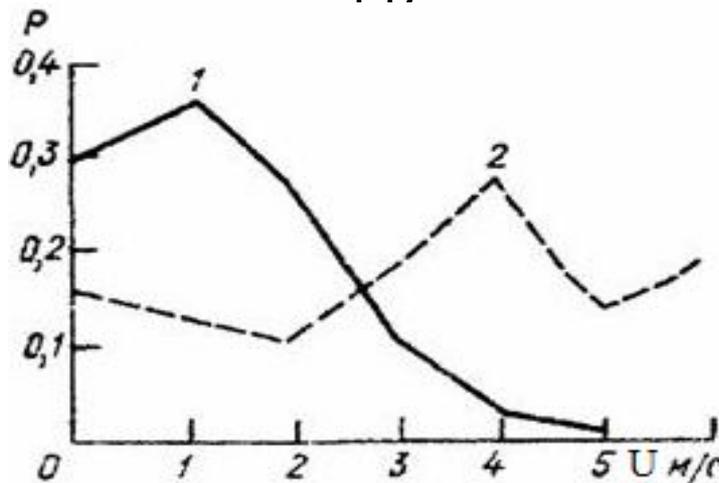
Синхронные

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.

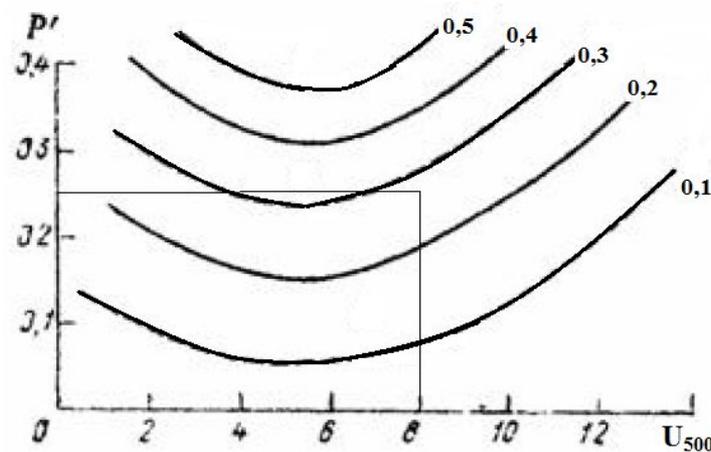
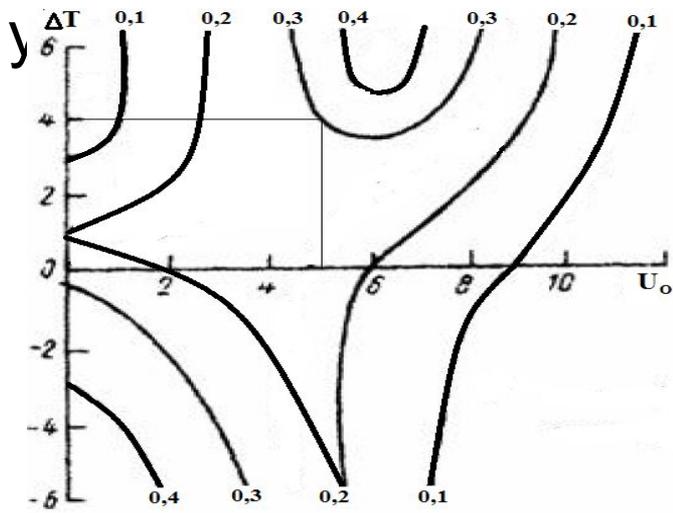
$$U_{mc} = \frac{U_{m1}C_{m1} + U_{m2}C_{m2} + \dots + U_{mN}C_{mN}}{C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{mN}}$$

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.

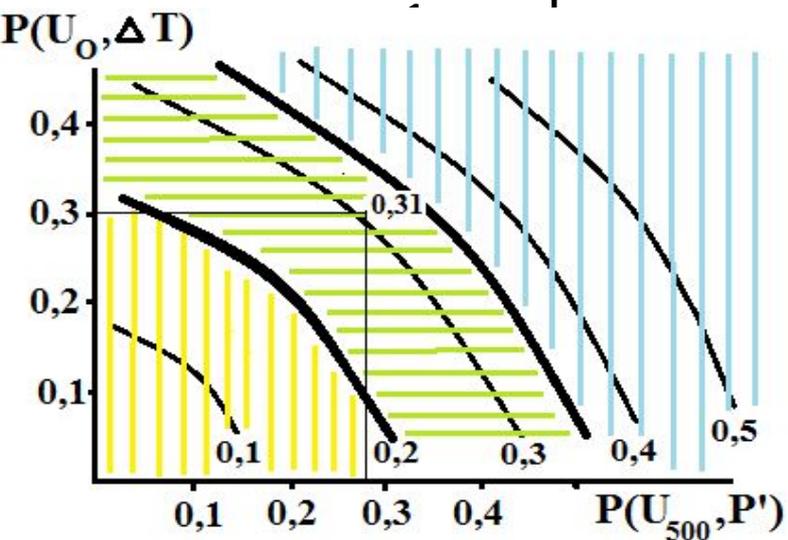
Метод последовательной графической регрессии

- Отбираем четное число значимых предикторов и делим их на пары. Например, U_0 и ΔT ; 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_{cp} |
|-----------------|-------|-------|-------------------------------|
| пыль | 0,053 | 0,46 | 50% |
| SO ₂ | 0,002 | 1,07 | 60% |
| NO ₂ | 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.