

## **УТОЧНЕННАЯ СХЕМА ПРОГНОЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА ДЛЯ НИЖНЕГО ТАГИЛА**

### **Введение**

Загрязнение приземного слоя атмосферы зависит не только от количества выбрасываемых в воздух примесей, но и от наблюдаемых при этом метеорологических условий. Важную роль в накоплении или рассеивании вредных примесей играют синоптические условия, стратификация атмосферы, скорость ветра в нижнем слое атмосферы, интенсивность осадков, а также физико-географическое положение места выброса и рельеф местности [1].

В ряде случаев выбросы вредных веществ источниками загрязнения носят нерегулярный характер, их увеличение возможно в отдельные короткие периоды времени. Такое увеличение выбросов нельзя допустить при неблагоприятных условиях для их рассеивания. С целью предупреждения о возможном повышении уровней загрязнения разрабатываются методы краткосрочного прогноза, позволяющие принять превентивные меры для предотвращения таких случаев. В последние годы результаты метеорологических исследований все шире используются при организации и совершенствовании мероприятий по охране атмосферы от загрязнения вредными веществами, при которых значительно повышается уровень загрязнения атмосферы в районе промышленных источников, а также по регулированию вредных выбросов в такие периоды.

Город Нижний Тагил характеризуется очень высоким уровнем загрязнения атмосферы. Средние за год концентрации бензапирена и формальдегида превышают санитарно-гигиенические нормы

в несколько раз. Максимальные разовые концентрации пыли, окиси углерода, двуокиси азота, сероводорода, фенола, аммиака, формальдегида достигают 7 ПДК. Нижний Тагил – центр черной металлургии. Высокая степень загрязнения воздуха связана в основном с выбросами предприятий черной металлургии, а также железнодорожного и автомобильного транспорта. Кроме пыли, двуокиси серы, окиси углерода и двуокиси азота, выбросы которых особенно велики, от предприятий черной металлургии в атмосферу поступают цианиды, сероводород, аммиак, фенол. Выбросам твердых веществ сопутствует бензапирен. В зимнее время концентрации вредных веществ доходят до 45 ПДК. Высокие концентрации формальдегида связаны с нарушениями технологического режима на предприятии ПО «Уралхимпласт».

В Нижнем Тагиле находятся следующие промышленные предприятия, которые загрязняют атмосферу воздуха вредными веществами:

ВГОК – Высокогорский горно-обогатительный комбинат;

ВМЗ – Высокогорский механический завод (ныне, после банкротства, состоит из ряда частных, независимых друг от друга предприятий на базе цехов завода);

МИЗ – Медико-инструментальный завод;

НТМК – Нижнетагильский металлургический комбинат;

ОГП – Огнеупорное производство НТМК;

КХП – Коксохимическое производство НТМК;

НТЗМК – Нижнетагильский завод металлических конструкций;

НТМЗ – Нижнетагильский механический завод;

НТЗТИ – Нижнетагильский завод теплоизоляционных изделий;

НТКРЗ – Нижнетагильский котельно-радиаторный завод;

ОАО НПК «Уралвагонзавод» – Уральский вагоностроительный завод;

УХП – Уралхимпласт;

НТИИМ – Нижнетагильский институт испытания металлов;

УКБТМ – Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения;

УЭМЗ – Уральский электрометаллургический завод;

НТЗГЦ – Нижнетагильский завод глиноземистых цементов.

**Целью** данной работы являлась разработка уточненной схемы прогноза загрязнения атмосферного воздуха (ЗАВ) методом графической регрессии для Нижнего Тагила в теплый период года.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Рассмотреть климатическую характеристику Нижнего Тагила.
2. Разработать уточненную схему прогноза ЗАВ для Нижнего Тагила и провести ее испытание на независимом материале.

При решении поставленных задач были использованы следующие материалы:

1. Ежедневные данные четырех постов о концентрациях в воздухе вредных веществ Нижнего Тагила [4].
2. Карты погоды архива ФГБУ «Уральское УГМС» за период с 2009 по 2011 год.
3. Руководящие документы по прогнозу загрязнения атмосферного воздуха [2, 3].

### **Климатическая характеристика города Нижний Тагил**

Город Нижний Тагил расположен на восточном склоне Уральских гор, в 20–25 км от условной границы Европы и Азии на высоте 200 м над уровнем моря. Площадь Нижнего Тагила – 298,47 км<sup>2</sup>, а площадь городского округа (с 1 апреля 2008 г., после присоединения к Нижнетагильскому городскому округу 22 поселков и деревень, проголосовавших на референдуме за присоединение) составляет 4108 км<sup>2</sup>.

Нижний Тагил находится в зоне умеренно-континентального климата с характерной резкой изменчивостью погодных условий, хорошо выраженными сезонами года. Среднегодовая температура воздуха в Нижнем Тагиле +1,7 °С, абсолютный максимум +37 °С, абсолютный минимум –52 °С. Относительная влажность воздуха – 75,1 %. Средняя скорость ветра – 2,5 м/с.

Распределение средней месячной температуры воздуха в Нижнем Тагиле представлено в табл. 1.

На западе от города проходит главный водораздел Уральского хребта с отдельными возвышенностями и горными кряжами, протянувшимися с севера на юг. Средняя высота гор 400–500 м, и лишь некоторые вершины поднимаются выше 700 м – гора Белая (711 м), Старик-Камень (753 м), Широкая (761 м). Крутые, обрывистые каменные вершины – «шиханы»,

увенчанные скалами – «останцами», создают неповторимый пейзаж Среднего Урала. Прямо в черте города расположены горы Долгая, Гольный камень, Лисья. К востоку от города рельеф постепенно выравнивается и переходит в Западно-Сибирскую низменность.

*Таблица 1*

**Распределение средней месячной температуры ( $T$  °С) воздуха в Нижнем Тагиле**

Месяц	T, °С	Месяц	T, °С	Месяц	T, °С
I	–14,5	V	9,8	IX	8,3
II	–12,8	VI	15,7	X	1,8
III	–5,4	VII	17,8	XI	–7,9
IV	2,9	VIII	14,3	XII	–11,2
<b>Среднегодовая температура, °С</b>					1,7

В районе нет мощных водных артерий. Главная река – Тагил с многочисленными притоками впадает в реку Туру Обь-Иртышского бассейна. Тагильский пруд протянулся на 16 км, наибольшая ширина 1,5 км, глубина до 12 м. Помимо Тагила, в черте города протекает 13 рек и речек: Выя, Баранча, Большая Кушва, Малая Кушва, Леба, Иса, Ольховка, Ватиха, Лебяжка, Ежовка, Гальянка, Черная Катабка, Рудянка. До настоящего времени город использует систему водоснабжения, разработанную Демидовыми.

### **Особенности прогнозирования загрязнения воздуха в Нижнем Тагиле**

Большая повторяемость приземных инверсий температуры воздуха, застоев воздуха (слабый ветер наблюдается с приземной инверсией) способствуют значительному накоплению вредных примесей в атмосфере. Выбросы автотранспорта, поступающие в жизнедеятельный слой атмосферы, вследствие ее слабой рассеивающей способности, существенно загрязняют город. При метеорологическом обслуживании, по сравнению с Екатеринбургом, на предприятия Нижнего Тагила передается большее количество предупреждений о НМУ (неблагоприятных метеорологических условиях). Экологическая обстановка в городе остается сложной.

Статистическое распределение параметра загрязнения воздуха за 2000–2003 [годы](#).

Исследования по прогнозированию [5] с целью оперативного оповещения о возникновении неблагоприятных метеорологических условий, способствующих увеличению загрязнения атмосферного воздуха, проводились на основании статистического распределения параметра загрязнения  $P$  за период с января 2000 по декабрь 2003 года. По результатам исследования были выявлены критерии, представленные в табл. 2, используемые для составления предупреждений трех степеней опасности. Полученные результаты соответствуют показателям, приведенным в [3].

Таблица 2

**Критерии параметра загрязнения  $P$ , соответствующие трем степеням опасности загрязнения атмосферного воздуха**

Градации параметра $P$	Повторяемость, %	Характеристика загрязнения воздуха	Степень опасности
		Экстремально высокое	3 степень
$\geq 0,5$	3	Очень высокое	2 степень
$\geq 0,35$	9	Относительно высокое	1 степень
<b>0,20–0,35</b>	34	Повышенное	
$\leq 0,20$	54	Пониженное	

### **Синоптические условия формирования высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха в Нижнем Тагиле**

Неблагоприятными синоптическими ситуациями, способствующими формированию высокого уровня загрязнения воздуха (ВУЗВ) для города Нижний Тагил, являются: центральная область стационарного антициклона, малоградиентное поле антициклона, устойчивый гребень и ядро Сибирского максимума, гребень антициклона, располагающийся более суток, западная и юго-западная периферии антициклона в течение суток и более.

### **Разработка схемы прогноза загрязнения атмосферного воздуха в теплый период года методом графической регрессии**

Статистическая схема прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха в теплый период для Нижнего Тагила разработана по методу

графической регрессии [3] с использованием двух предикторов: интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха  $P$  и количественного синоптического предиктора  $S_{nk}$ .

Схема разработана в отделе метеопрогнозов ФГБУ «Уральского УГМС» по материалам наблюдений в Нижнем Тагиле за летний период четырех лет (2008–2011 гг.). Параметр  $P$  – интегральный показатель загрязнения атмосферного воздуха, представляет собой отношение количества существенно повышенных концентраций (относительно среднего значения) загрязняющих веществ к общему загрязнению в течение дня.

Для получения ежедневных значений параметра  $P$  предварительно рассчитываются среднесезонные концентрации примесей для каждого стационарного поста. Одним из существенных преимуществ параметра  $P$  перед другими показателями загрязнения воздуха по городу в целом является удобство его расчета для совокупности измеряемых примесей. Он позволяет характеризовать общее состояние загрязнения воздуха в городе. Для расчета параметра  $P$  использовались концентрации вредных веществ четырех постов в Нижнем Тагиле (диоксид серы, диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, сероводород, аммиак, фенол, формальдегид, цианистый водород).

Чтобы учесть уровень загрязнения воздуха в зависимости от синоптических условий, вводится количественный синоптический предиктор. Для этого производят кодировку типов синоптических ситуаций через заданные баллы. Меньший балл определяет типы синоптических процессов, которые способствуют высокому уровню загрязнения атмосферы в данном городе. После определения типов синоптических ситуаций для каждого из них рассчитывалось среднее значение обобщенного по городу показателя загрязнения воздуха, которое и является количественной характеристикой ситуации или количественным синоптическим предиктором  $S_{nk}$  (табл. 3).

Построен прогностический график с использованием двух предикторов: количественного синоптического предиктора  $S_{nk}$  и  $P^I$  – интегрального показателя загрязнения за 13 и 19 ч прошедших суток и за 1 и 7 ч настоящих суток (рисунок).

Средние значения параметра загрязнения  $P$  в зависимости от типа синоптической ситуации в Нижнем Тагиле в теплый период 2008–2011 годов

Цифра кода	Среднее значение параметра $P$	Типы синоптических ситуаций	Количество случаев
1	0,37	Стационарный сибирский Az и гребень в течение $\geq 2$ суток	17
2	0,31	Малогradientное поле в течение $\geq 2$ суток	44
3	0,29	Ситуация, цифры кода 1 и 2, длительностью не более 2 суток	28
4	0,28	Периферия Az	79
5	0,28	Теплый сектор циклона	30
6	0,27	Тыл циклона	18
7	0,27	Циклон, ложбина	14

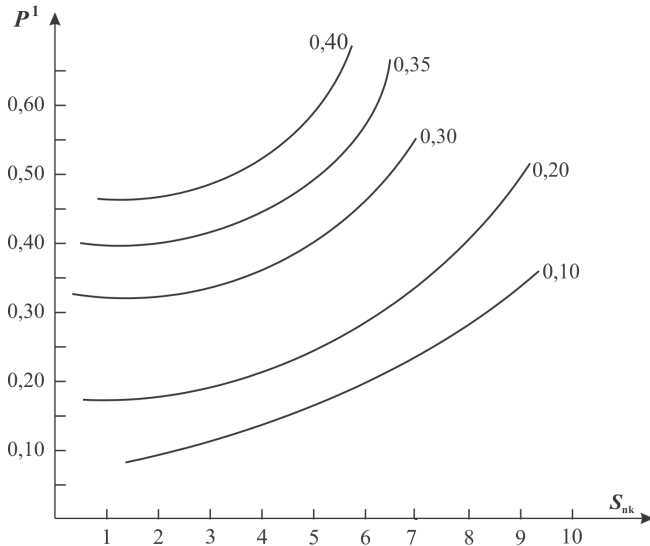


Рис. График для прогноза загрязнения атмосферного воздуха для Нижнего Тагила (теплый период).

### **Испытание уточненной схемы прогноза загрязнения атмосферного воздуха для Нижнего Тагила в теплый период на независимом материале**

Испытание схемы проводилось на независимом материале за летний период (июнь—август) 2014 года. Прогноз ЗАВ составлялся на вечер и ночь, а также на следующие сутки.

Для определения надежности метода была составлена таблица сопряженности по месяцам: июнь, июль, август (вечер и ночь, сутки). На основании этих данных были рассчитаны показатели качества прогнозов: общая оправдываемость прогнозов ЗАВ, оправдываемость прогнозов наличия (Уя) и оправдываемость прогнозов отсутствия Уб.я. ЗАВ. Для суждения об эффективности разработанной схемы прогноза ЗАВ по методу графической регрессии был рассчитан  $H^*$  – критерий Багрова, рассчитываемый согласно таблице сопряженности по формуле:

$$H^* = \frac{U - U_0}{1 - U_0},$$

где  $U = (n11 + n22) / n00$ ;

$U_0 = (m1 + m2) / n00$ ;

$m1 = n10 \cdot n01 / n00$ ;

$m2 = n20 \cdot n02 / n00$ ;

$n11$  – число оправдавшихся прогнозов с явлением;

$n22$  – число оправдавшихся прогнозов без явления;

$n00$  – общее число прогнозов;

$n10$  – число прогнозов с явлением;

$n20$  – число прогнозов без явления;

$n01$  – число дней с явлением;

$n02$  – число дней без явления.

Схема считается успешной при значении критерия Багрова более 0,20.

Критерий Багрова за июнь (вечер и ночь) 2014 г. составил 0,53. Общая оправдываемость – 78 %, оправдываемость наличия явления – 75 %, оправдываемость прогнозов отсутствия явления – 80 %, предупредительность случаев с явлением 67 %, без явления – 86 %.



Таблица 4

Таблица сопряженности по месяцам для прогнозов загрязнения атмосферного воздуха Нижнего Тагила на вечер и ночь и сутки

<b>Июнь (вечер и ночь)</b>		
6	2	8
3	12	15
9	14	23
<b>Июль (вечер и ночь)</b>		
10	0	10
6	8	14
16	8	24
<b>Август (вечер и ночь)</b>		
13	0	13
2	13	15
15	13	28
<b>Июнь (сутки)</b>		
6	0	6
3	13	16
9	13	22
<b>Июль (сутки)</b>		
6	0	6
3	13	16
9	13	22
<b>Август (сутки)</b>		
13	1	14
3	11	14
16	12	28

Критерий Багрова за июль (вечер и ночь) 2014 г. составил 0,53. Общая оправдываемость – 75 %, оправдываемость наличия явления – 100 %, оправдываемость прогнозов отсутствия явления – 57 %, предупрежденность случаев с явлением 63 %, без явления – 100 %.

Критерий Багрова за август (вечер и ночь) 2014 г. составил 0,86. Общая оправдываемость – 93 %, оправдываемость наличия явления – 100 %, оправдываемость прогнозов отсутствия явления – 87 %, предупрежденность случаев с явлением 87 %, без явления – 100 %.

Критерий Багрова за июнь (сутки) 2014 г. составил 0,70. Общая оправдываемость – 86 %, оправдываемость наличия явления – 100 %, оправдываемость прогнозов отсутствия явления – 81 %, предупредительность случаев с явлением 67 %, без явления – 100 %.

Критерий Багрова за июль (сутки) 2014 г. составил 0,55. Общая оправдываемость – 76 %, оправдываемость наличия явления – 100 %, оправдываемость прогнозов отсутствия явления – 60 %, предупредительность случаев с явлением 63 %, без явления – 100 %.

Критерий Багрова за август (сутки) 2014 г. составил 0,72. Общая оправдываемость – 86 %, оправдываемость наличия явления – 93 %, оправдываемость прогнозов отсутствия явления – 79 %, предупредительность случаев с явлением 81 %, без явления – 92 %.

Средняя оправдываемость прогнозов за июнь – август (за вечер и ночь) составила 80 %. Критерий Багрова – 0,64.

Средняя оправдываемость прогнозов за июнь–август (за сутки) составила 83 %. Критерий Багрова – 0,70.

Общая оправдываемость прогнозов за июнь–август (за вечер и ночь, сутки) составила 82 %. Критерий Багрова – 0,67.

Общая оправдываемость прогнозов наличия явления составила 95 %. Оправдавшимися считались случаи, когда интегральный показатель загрязнения воздуха параметр  $P > 0,35$ .

### Заключение

Получены следующие результаты и выводы:

1. Неблагоприятными синоптическими ситуациями, способствующими формированию ВУЗВ для Нижнего Тагила, являются центральная область стационарного антициклона, малоградиентное поле антициклона, устойчивый гребень и ядро Сибирского максимума, гребень антициклона, наблюдающийся более суток, западная и юго-западная периферии антициклона, наблюдающиеся более суток.

2. Разработанная схема прогноза ЗАВ для Нижнего Тагила методом графической регрессии с использованием двух предикторов  $S_{nk}$  и  $P^1$  показала хорошую оправдываемость прогнозов (82 %).

3. Критерий Багрова, рассчитанный на независимом материале, составил 0,67 и подтверждает эффективность прогностической схемы.

4. Уточненная схема прогноза ЗАВ в Нижнем Тагиле в теплый период разработана с учетом особенностей распространения примесей, что позволяет прогнозисту своевременно и обоснованно принимать решение о составлении предупреждений 1, 2 и 3 степени опасности. Регулирование и уменьшение выбросов на предприятиях Нижнего Тагила будут способствовать улучшению качества атмосферного воздуха в городе в периоды неблагоприятных метеоусловий.

Технический совет от 28.10.2014 г. принял решение: уточненную схему прогноза высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха для Нижнего Тагила внедрить в качестве основного метода расчета, исключив при этом из оперативной работы разработанную 20 лет назад схему прогноза.

#### Список литературы

1. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит город. – Л.: Гидрометеиздат, 1991 – 251 с.
2. РД 52.04.78-86. Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха в городах с учетом метеорологических условий.
3. РД 52.04.306-92. Охрана природы. Атмосфера. Руководство по прогнозу загрязнения воздуха.
4. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы.
5. Система прогноза и предотвращения высоких уровней загрязнения воздуха в городах. – СПб: Гидрометеиздат, 2004.