

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ****ОХРАНА ПРИРОДЫ. АТМОСФЕРА****РУКОВОДСТВО ПО ПРОГНОЗУ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА****РД 52.04.306-92***Дата введения 01.07.93***ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ**

1. УТВЕРЖДЕН Комитетом гидрометеорологии СССР 31.01.92
2. РАЗРАБОТЧИКИ М.Е. Берлянд, д-р физ.-мат. наук; Л.Р. Сонькин, д-р геогр. наук (руководитель разработки); Л.В. Тихомирова, канд. геогр. наук; И.Н. Кузнецова, канд. геогр. наук; В.Д. Николаев, канд. техн. наук; Б.Н. Пьянцев, канд. геогр. наук; Т.П. Ивлева, М.Ф. Веретина
3. ОДОБРЕНО Центральной методической Комиссией по гидрометеорологическим прогнозам 21.05.90
4. ЦКБ ГМП № 306 от 10.03.92
- ЗАРЕГИСТРИРОВАН
- 5 ВЗАМЕН Методических указаний по прогнозу загрязнения воздуха в городах (Л., Гидрометеиздат, 1979) и РД 52.04.78-86
6. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

НТД, на который дана ссылка	Номер раздела, подраздела
ГОСТ 17.2.3.02-78. Охрану природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями.	Подраздел 14.1
РД 52.04.78-86. Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха с учетом метеорологических условий.	Раздел 1
Методические указания по прогнозу загрязнения воздуха в городах. Л., Гидрометеиздат, 1979.	Раздел 1
Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. Л., Гидрометеиздат, 1986.	Раздел 1 Подраздел 14.1

Настоящее Руководство распространяется на подразделения Росгидромета, занимающиеся вопросами прогнозирования уровня загрязнения воздуха и устанавливает методы и способы прогноза, рекомендации по организации работ, а также принципы разработки мероприятий по регулированию выбросов. Руководство включает ряд новых материалов, относящихся к усовершенствованию существующих методов прогноза и к выполнению региональных работ.

В дополнение к настоящему Руководству территориальными управлениями могут разрабатываться методики прогноза уровня загрязнения воздуха с учетом опыта их работы и специфики местных условий с последующим рассмотрением в Главной геофизической обсерватории и утверждением в Росгидромете.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Осуществление мероприятий, направленных на снижение уровня загрязнения воздуха в городах до нормальных показателей, нередко требует длительного времени. Поэтому большое значение приобретают работы по краткосрочному прогнозу уровня загрязнения воздуха и обеспечению чистоты атмосферы в периоды неблагоприятных метеорологических условий. Такие работы могут содействовать реальному улучшению состояния воздушного бассейна в городах в ближайшее время.



Кратковременное снижение выбросов в периоды неблагоприятных метеорологических условий (НМУ) должно осуществляться в соответствии с методическими указаниями «Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях» РД 52.04.52-85. При проектировании и сооружении новых предприятий предусматриваются меры по установлению предельно допустимых выбросов (ПДВ). Одновременно учитывается, что часто невозможно и экономически невыгодно предусматривать столь малый выброс вредных веществ в атмосферу и строительство таких высоких труб, чтобы абсолютно ни при каких метеорологических условиях приземные концентрации не превышали бы ПДК. Более экономично снижение концентраций может быть достигнуто в периоды аномальных НМУ за счет временного сокращения выбросов в соответствии с прогнозом загрязнения воздуха.

Успешное решение задачи метеорологического прогноза уровня загрязнения воздуха основано на учете физических особенностей распространения примесей в атмосфере и связей между концентрациями примесей и метеорологическими факторами. Необходимость учета условий, создаваемых в конкретных городах определяет региональный подход к составлению прогностических схем. Такие работы должны проводиться с использованием материалов наблюдений в каждом городе в отдельности.

Составление данного Руководства явилось итогом многолетней научной и практической работы в области прогнозирования уровня загрязнения воздуха. Оно подготовлено на основе трех методических документов: Методических указаний по прогнозу загрязнения воздуха в городах (Л., Гидрометеиздат, 1979), Методических указаний по прогнозированию загрязнения воздуха в городах с учетом метеорологических условий (РД 52.04.78-85, М., 1986) и методических указаний «Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях» (РД 52.04.52-85, Л., Гидрометеиздат, 1987), - утвержденных Центральной методической комиссией Росгидромета.

В Руководство включены схемы прогноза и прогностические рекомендации на основе результатов последних исследований. Даны рекомендации по выделению неблагоприятных сочетаний направления и скорости ветра на основе расчета загрязнения атмосферы от совокупности источников, использованию в схемах прогноза количественного синоптического предиктора, предсказанию длительных периодов с высоким уровнем загрязнения воздуха в городах. Предложены новый вариант прогностической схемы по методу линейной регрессии с предварительным исключением нелинейности связей между концентрациями и метеорологическими факторами, а также схема с использованием метода дискриминантного анализа.

В процессе работы выявились некоторые новые задачи, направленные на усовершенствование прогнозирования загрязнения. В первую очередь к ним относятся задачи увеличения заблаговременности прогнозов и детализации прогноза применительно к отдельным районам города и к отдельным примесям.

Физические основы изложенных методов представлены в книгах М.Е. Берлянда «Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы» (Л., Гидрометеиздат, 1985 г.) и Л.Р. Сонькина «Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы» (Л., Гидрометеиздат, 1991 г.), а также в Трудах Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова в серии «Атмосферная диффузия и загрязнение атмосферы» за 1970 - 1990 гг. Все необходимые для прогноза расчеты проводятся в соответствии с общесоюзным нормативным документом «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» (ОНД-86).



2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В РАЙОНЕ ОТДЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

2.1. Расчет опасной скорости ветра и максимальной концентрации примеси

Для характеристики состояния атмосферы, при котором могут отмечаться большие концентрации примесей, выделяются нормальные и аномальные метеорологические условия.

При нормальных условиях в случае высоких источников неблагоприятным является наличие сверхadiaбатического градиента температуры, когда вследствие развитого турбулентного обмена имеет место интенсивный перенос примесей от источников к земной поверхности, при этом могут создаваться их значительные концентрации. Степень загрязнения воздуха существенно зависит от скорости ветра. Влияние скорости ветра на загрязнение приземного слоя атмосферы имеет сложный характер, и для каждого источника существует некоторая опасная скорость ветра u_m , при которой наблюдаются максимальные концентрации примесей.

При определении u_m в первую очередь следует установить, являются выбросы горячими или холодными. При перегреве усиливается эффективный подъем выбросов. Поэтому чем больше перегрев, тем больше должна быть скорость ветра, при которой у земли формируется максимальная концентрация примеси. Отнесение выбросов к нагретым или к холодным проводится на основе оценки параметра f .

$$f = 10^3 \frac{w_0^2 D}{H^2 \Delta T}, \quad (1)$$

где w_0 - скорость выхода дымовых газов из устья источника выброса, м/с; D - диаметр устья источника (трубы), м; H - высота источника над уровнем земли, м; ΔT - разность между температурой выбрасываемой смеси и температурой окружающего воздуха, °С.

Параметр f характеризует влияние перегрева поступающих в атмосферу выбросов на начальный подъем факела дыма и на рассеивание примесей. При $f \leq 100$ выбросы относятся к нагретым, при $f > 100$ (или при $\Delta T \approx 0$) - к холодным.

После расчета f и установления характера выбросов опасная скорость ветра u_m (м/с) определяется через параметр v_m для источников с горячими выбросами и через параметр v'_m , для источников с холодными выбросами:

$$v_m = 0,65 \sqrt{\frac{V \Delta T}{H}}; \quad v'_m = 1,3 \frac{w_0 D}{H}, \quad (2)$$

где V - объем выбрасываемой газовой смеси, м³; v_m и v'_m , как и u_m , выражены в м/с.

Для источников точечного типа в случае горячих выбросов ориентировочно принимается, что при $v_m \leq 0,5$ м/с $u_m = 0,5$ м/с; при $0,5 < v_m \leq 2$ м/с $u_m = v_m$; при $v_m > 2$ м/с $u_m = v_m (1 + 0,12 \sqrt{f})$; в случае холодных выбросов при $v'_m \leq 0,5$ $u_m = 0,5$; при $0,5 < v'_m < 2$ м/с $u_m = v'_m$, а при $v'_m > 2$ м/с $u_m = 2,2 v'_m$.

Для линейного источника (типа аэрационного фанаря) опасная скорость ветра u_m (м/с) вычисляется по формуле:

$$u_m = v'_m, \quad (3)$$

где v'_m относится к точечному источнику с круглым устьем, эквивалентному данному линейному источнику, и рассчитывается по приведенным выше формулам для u_m с использованием эквивалентных значений диаметра источника $D = D_0$ (м) и объема выходящих газов $V = V_0$ (м³/с), которые определяются по формулам:



$$D_1 = \frac{2LV}{L^2 w_0 + V}; \quad (4)$$

$$V_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} w_0, \quad (5)$$

где L - длина линейного источника.

Обычно для мощных тепловых электростанций значения опасной скорости ветра u_m составляют 5 - 7 м/с, для металлургических предприятий - 2 - 4 м/с, для многих химических производств - 1 - 2 м/с, для линейных источников u_m также часто равна 1 - 2 м/с.

Опасная скорость ветра для группы источников с различными параметрами выбросов ($u_{m.c}$) приближенно характеризуется средневзвешенной величиной

$$u_{m.c} = \frac{\sum_{i=1}^N u_{mi} C_{mi}}{\sum_{i=1}^N C_{mi}}, \quad (6)$$

где u_{mi} и C_{mi} - расчетные значения опасной скорости ветра и максимальной концентрации для i -го источника, N - количество источников.

Максимальные концентрации (C_m , мг/м³) от группы N близко расположенных источников, создающиеся при опасной скорости ветра и неблагоприятной температурной стратификации, рассчитываются следующим образом:

в случае горячих выбросов

$$C_m = \frac{AMFmn}{H^2} \sqrt{\frac{N}{V\Delta T}}, \quad (7)$$

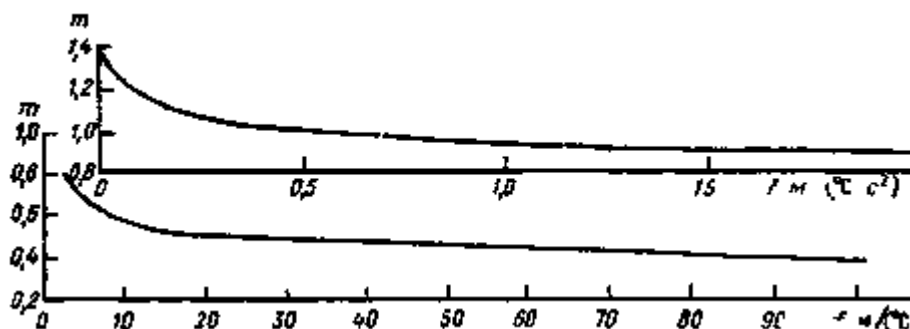
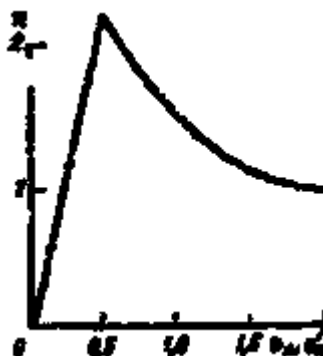
в случае холодных выбросов

$$C_m = \frac{AMFm\eta}{H^2 \sqrt{H}} \frac{DN}{8V}. \quad (8)$$

Здесь M - количество выбрасываемого вещества, г/с; A - коэффициент, учитывающий неблагоприятные условия вертикального и горизонтального перемешивания; F - безразмерный коэффициент, характеризующий скорость оседания вредных веществ в атмосфере; m и n - безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выбросов; η - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности.

Значение коэффициента A принимается равным:

- 250 - для районов Средней Азии южнее 40° с.ш., Бурятии и Читинской области;
- 200 - для Европейской территории Российской Федерации южнее 50° с.ш. и остальных районов Нижнего Поволжья, для Молдовы, Кавказа, Казахстана, Дальнего Востока и остальной территории Сибири и Средней Азии;

Рис. 1. Зависимость параметра m от f Рис. 2. Зависимость параметра n от V_m и V_m^2

в) 180 - для Европейской территории Российской Федерации, Беларуси и Урала от 50 до 52° с.ш. за исключением попадающих в эту зону перечисленных выше районов;

г) 160 - для Европейской территории Российской Федерации, Беларуси и для Урала севернее 52° с.ш. (за исключением центра России), а также для Украины (для расположенных на Украине источников высотой менее 200 м в зоне от 50 до 52° с.ш. - 180, а южнее 50° с.ш. - 200);

д) 140 - для Московской, Тульской, Рязанской, Владимирской, Калужской, Ивановской областей.

Коэффициент F принимается равным 1 для газообразных веществ и мелкодисперсных аэрозолей, скорость упорядоченного оседания которых близка к 0, равным 2; 2,5 и 3 для пыли (зола), если средний эксплуатационный коэффициент очистки составляет соответственно не менее 90 %, 75 - 90 %, менее 75 % и при отсутствии очистки.

Безразмерный коэффициент m определяется по графику исходя из значения параметра

$$f = 10^3 \frac{w_0^2 D}{H^2 \Delta T} \quad (\text{рис. 1}).$$

Объем V и скорость w_0 связаны соотношением $V = w_0 \pi D^2 / 4$.

Безразмерный коэффициент n определяется по графику исходя из значений v_m и v_m^2 (рис. 2). При $v_m > 2$ м/с $n = 1$.

2.2. Аномально неблагоприятные метеорологические условия

Наиболее интенсивное загрязнение воздуха наблюдается при аномально неблагоприятных метеорологических условиях. К ним в частности, относится приподнятая инверсия с нижней границей, расположенной над источником выброса (точнее, над его эффективной высотой, которая для горячих источников выше геометрической вследствие начального подъема факела). Концентрация примеси существенно зависит от высоты расположения нижней границы инверсии над источником. Она тем больше, чем ближе к источнику основание инверсионного слоя и чем ниже источник. Когда задерживающий слой располагается непосредственно над источником, рост максимальной приземной концентрации примесей



относительно ее значения при нормальных условиях достигает 100 %. Если нижняя граница приподнятой инверсии расположена на высоте 200 м и более над источником, то возрастание приземной концентрации существенно только на достаточно больших расстояниях. В городе с большим количеством источников, факелы которых налагаются друг на друга, такое возрастание может привести к значительному загрязнению воздуха. Поэтому в городе и при сравнительно высоком положении приподнятой инверсии наблюдается заметное увеличение концентраций примесей в воздухе. В случае площадных источников (ими в определенной степени аппроксимируются выбросы от бытовых и ряда других типов источников в городе) при приподнятых инверсиях концентрации могут увеличиться в 5 - 10 раз по сравнению с их значениями в отсутствие приподнятых инверсий.

Влияние инверсионных слоев на распространение выбросов для тяжелых примесей проявляется слабее, чем для легких, причем с ростом размера частиц примесей это влияние уменьшается.

Значительное повышение концентрации примесей в приземном слое атмосферы возможно также, когда ниже источника расположен штилевой слой, а на уровне выбросов скорость ветра близка к u_m . Чем толще этот слой, тем сильнее его влияние. Согласно расчетам, при наличии штилевого слоя от поверхности земли до уровня 30 м максимальная концентрация примеси от источника высотой 100 - 150 м увеличивается примерно на 70 % по сравнению с концентрацией при отсутствии штиля. Если штиль простирается выше уровня источника (например, в центральных частях антициклонов), то при горячих выбросах вследствие возрастания начального подъема факела и увеличения эффективной высоты источника приземные концентрации примесей будут небольшими.

Особенно сильное загрязнение воздуха у земли может наблюдаться, когда при холодных выбросах приподнятая инверсия расположенная непосредственно над источником, сопровождается слабым ветром, близким к штилю, в приземном слое воздуха. В этом случае концентрации примеси могут во много раз превышать концентрации при нормальных условиях.

Опасность загрязнения воздуха значительно возрастает при туманах, над которыми часто наблюдается приподнятая инверсия. Туманы частично аккумулируют примеси из вышележащих слоев воздуха, вследствие чего происходит возрастание концентраций вредных веществ у земли. Существенную роль здесь может играть растворение примеси в каплях тумана и образование более токсичных кислот.

Оценка опасных метеорологических условий требует также учета характера неровностей подстилающей поверхности. В пониженных формах рельефа могут создаваться в 1,5 - 2 раза более высокие концентрации примесей, чем на ровном месте. Примерно в такой же степени приземные концентрации могут повышаться при низких выбросах примесей в районах плотной застройки.

При расположении промышленных объектов на окраине города или за его пределами большое влияние на загрязнение воздуха в жилых районах оказывает направление ветра. В этих случаях неблагоприятные условия погоды важно учитывать только при переносе примесей со стороны источников на жилые кварталы. Если воздух сравнительно редко переносится со стороны объектов на жилые кварталы, то лишь прогноз этих редких направлений ветра может являться предостережением об угрозе загрязнения воздуха.

Неблагоприятные направления в районе отдельных объектов определяются расположением соседних источников и наложением их выбросов. При таких направлениях ветра концентрации, создаваемые выбросами совокупности предприятий, являются максимальными.

Особенно важно учитывать направления ветра, которые определяют перенос примесей со стороны объекта на близлежащие участки с плотной застройкой или со сложным рельефом местности.

2.3. Неблагоприятные метеорологические условия на больших расстояниях от источников выбросов

Нередко промышленные предприятия расположены сравнительно далеко за пределами городов (10 - 15 км и более). В таких случаях важен учет неблагоприятных метеорологических условий на больших расстояниях от источников выбросов, особенно для мощных объектов с высокими трубами, когда на расстоянии до 10 - 15 км концентрации примесей в воздухе достигают $0,5C_M$ и более.

Опасная скорость ветра на разных расстояниях от источника отличается от u_M (относящейся к расстояниям от источника, где концентрация достигает максимума). Соотношение между u_{MX} и u_M в зависимости от расстояния до источника x может записываться в форме:

$$u_{MX} = f_1(x/x_M)u_M, \quad (9)$$

где f_1 - функция от x/x_M (рис. 3)

С помощью графиков, представленных на рис. 3, по известному значению u_M рассчитывается u_{MX} для необходимых точек. На каждой из кривых рис. 3, соответствующих определенному значению x/x_M , максимум соответствует величине u_{MX}/u_M .

При $0 < x < 2x_M$ $u_{MX} \approx u_M$, при $2x_M < x < 8x_M$ $u_{MX} \approx 1,5u_M$. На больших расстояниях от источника (значительно более $8x_M$) u_{MX} достигает $5u_M$.

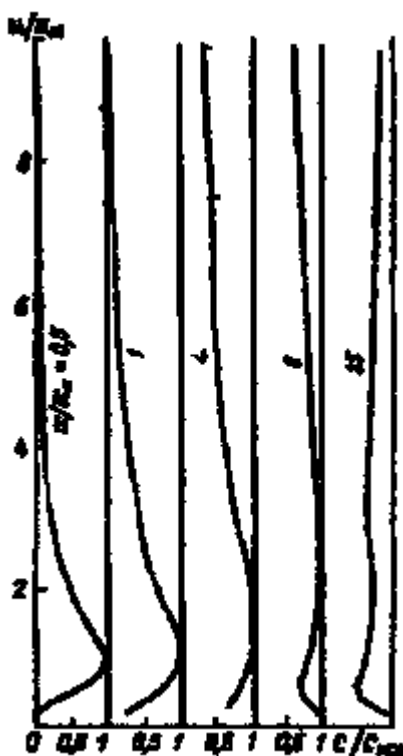


Рис. 3. Зависимости концентраций примесей в воздухе (C/C_{MX}) от скорости ветра (u/u_M) на разных расстояниях от источника (x/x_M)

С удалением от источника зависимость концентраций примеси от скорости ветра ослабляется. Например, если источник, для которого $x_M = 4$ км, а $u_M = 5$ м/с, расположен на расстоянии 15 км от жилых кварталов, то при $u_{MX} = 7,5$ м/с диапазон опасных скоростей ветра, когда концентрации близки к C_{MX} (C_{MX} - максимальная концентрация примеси на расстоянии x от источника) составляет от 4 до 15 м/с. Характер зависимости концентрации примесей от скорости ветра на различных расстояниях от источника определяется величиной x_M . Для источников со сравнительно низкими выбросами (20 - 30 м), для которых x_M мало,



изменения опасной скорости ветра с удалением от источника может проявляться в пределах городской территории.

Характер аномально неблагоприятных метеорологических условий с удалением от источника несколько изменяется. На больших расстояниях увеличивается степень роста загрязнения воздуха при расположении над источником приподнятой инверсии. Если, например, на расстоянии, близком к x_m , концентрации примесей при наличии приподнятой инверсии примерно в 1,5 раза больше, чем в случае ее отсутствия, то на расстоянии от источника, равном примерно $10 x_m$, это отношение увеличивается до 2,5.

Таким образом, при расположении источников выбросов на большом расстоянии от городских кварталов основными метеорологическими факторами, определяющими уровень загрязнения воздуха, являются направление ветра и термическая стратификация, а также другие аномально опасные условия (штилевые слои, туманы).

3. ОБОБЩЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ПО ГОРОДУ В ЦЕЛОМ

В результате взаимного наложения и перемешивания выбросов многих источников формируется общегородское загрязнение воздуха (по городу в целом). В связи с этим большие концентрации могут отмечаться вне зоны прямого действия отдельных источников выбросов вредных веществ в атмосферу. Загрязнение воздуха, может под влиянием метеорологических условий одновременно изменяться на всей территории города. Оно характеризуется обобщенными (интегральными) показателями, которые рассчитываются по материалам фактических наблюдений.

На сети Росгидромета в крупном городе в течение одного дня при 3 - 4-разовых наблюдениях выполняется более 100 отборов проб воздуха на различные ингредиенты, в том числе, 20 - 30 измерений концентраций отдельных примесей. По данным таких измерений рассчитываются обобщенные показатели загрязнения воздуха в городе для всего дня и для отдельных частей дня. Они рассчитываются как для отдельных примесей, так и для совокупности примесей. Ниже приводятся варианты обобщенных показателей, которые могут применяться при анализе метеорологических условий загрязнения атмосферы, разработке прогностических схем и при практическом прогнозировании.

3.1. Коэффициенты разложения по естественным ортогональным функциям

Показателями загрязнения воздуха по городу в целом могут быть зависящие от времени коэффициенты ($\square_i$) при членах разложения данных наблюдений за концентрациями примесей на стационарных постах в городе по естественным ортогональным функциям:

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^N \phi_{ij} q'_j, \quad (10)$$

где $\square_{ij}$ - компоненты i -й естественной функции, относящиеся j -му стационарному посту; q'_j - отклонение от среднесезонной концентрации примеси на j -м посту в заданный момент времени; N - количество стационарных постов в городе.

Коэффициент при первом члене разложения α_1 приближенно характеризует процесс одновременного роста или снижения концентраций примесей в воздухе в целом по городу. Он содержит наибольшую информацию об изменчивости концентраций. Коэффициент α_1 близок к параметру P (см. п. 3.2) и к средней по городу концентрации примесей.

Коэффициент $\square_2$ чаще всего характеризует процесс переноса загрязненного воздуха из одной части города в другую. Последующие коэффициенты описывают другие особенности загрязнения воздуха в городе. Вследствие ортогональности естественных функций коэффициенты разложения α_i статистически независимы, и прогноз каждого из них можно осуществлять независимо друг от друга. Установлено, что для удовлетворительного



описания поля концентраций примеси достаточно использовать первые 2 - 3 члена разложения. Таким образом, при использовании α_i в качестве обобщенных показателей наряду с интегральным загрязнением воздуха в городе описываются другие, более детальные особенности распространения примесей на городской территории.

Расчеты $\square_i$ проводятся на ЭВМ.

3.2. Параметр P

Близким по физическому смыслу к средней по всему городу нормированной концентрации примеси и к коэффициенту α_1 является параметр P :

$$P = m/n, \quad (11)$$

где n - общее количество наблюдений за концентрацией примесей в городе в течение одного дня на всех стационарных постах; m - количество наблюдений в течение этого же дня с концентрациями q , которые превышают среднесезонное значение $q_{\text{ср}}$ более чем в 1,5 раза ($q > 1,5q_{\text{ср}}$). Таким образом, параметр P представляет собой отношение количества существенно повышенных концентраций (относительно среднего значения) к общему числу измерений в течение дня. Для получения ежедневных значений параметра P предварительно рассчитываются среднесезонные значения концентраций примесей для каждого стационарного поста. Расчеты средних значений концентраций проводятся отдельно для каждого года. По всему используемому ряду наблюдений отмечаются единичные концентрации, которые превышают $1,5q_{\text{ср}}$. Для каждого дня определяются величины m , n и параметр P .

Одним из существенных преимуществ параметра P перед другими показателями загрязнения воздуха по городу в целом является удобство его расчета для совокупности измеряемых примесей. Таким образом, параметр P позволяет характеризовать общее состояние загрязнения воздуха в городе и в то же время при наличии достаточного количества измерений он может быть показателем городского загрязнения отдельными примесями.

Рекомендуется рассчитывать параметр P отдельно для каждой примеси и по всем примесям. Значение $q_{\text{ср}}$ определяется как среднее из трех среднемесячных значений концентраций. Например, для лета

$$q_{\text{ср}} = (q_{\text{срVI}} + q_{\text{срVII}} + q_{\text{срVIII}})/3. \quad (12)$$

Рассчитанные таким образом значения параметра P используются для разработок прогностических схем. При оперативном прогнозировании загрязнения воздуха невозможно знать среднесезонное значение концентрации примесей до окончания сезона. Для ежедневного оперативного расчета параметра P рекомендуется учитывать средний уровень загрязнения воздуха в течение соответствующего трехмесячного периода предыдущего года и предшествующих двух месяцев данного года. Например, для расчета P в декабре 1989 г. находится $q_{\text{ср}}$, как среднее значение среднемесячных концентраций пяти месяцев: ноября и декабря 1988 г., января 1989 г., октября и ноября 1989 г. Параметр P при этом может несколько отличаться от значений, рассчитанных по среднесезонным данным, за счет изменения уровня загрязнения воздуха от прошлого года к текущему, однако относительные изменения P ото дня ко дню практически сохраняются.

При расчете параметра P по совокупности примесей не должны учитываться концентрации тех веществ, которые поступают в атмосферу только из небольшого числа высоких источников, поскольку для них НМУ могут отличаться от НМУ по городу в целом. Это в первую очередь относится к специфическим примесям. Если же источники поступления в атмосферу таких примесей рассредоточены по территории города, то данные об их концентрациях используются для расчета P наряду с другими данными.



Параметр P может изменяться от 0 (ни одна из концентраций не превышает $1,5q_{\text{ср}}$) до 1 (все измеренные концентрации превышают $1,5q_{\text{ср}}$).

Имеется тесная корреляция между параметром P , рассчитанным для отдельных примесей, и α_1 . Значения коэффициентов корреляции между ними меняются от 0,85 до 0,94.

Параметр P связан также со средними по городу концентрациями примесей. Коэффициенты корреляции, по данным наблюдений и концентрациями четырех примесей в Санкт-Петербурге и в Чите, составляют 0,65 - 0,90.

Большие значения параметра P указывают на общее неблагоприятное состояние в городе. В этих случаях в связи с влиянием метеоусловий могут отмечаться высокие концентрации и тех веществ, которые не измеряются, но выбросы которых в данном городе осуществляются.

Отмечается положительная корреляция между параметром P , рассчитанным по всем примесям вместе, и среднесуточными концентрациями отдельных примесей (табл. 1). Из таблицы следует, что коэффициенты корреляции параметра P с концентрациями оксида углерода (q_{CO}) ниже, чем с концентрациями других примесей, хотя и остаются существенно положительными. Это определяется тем, что q_{CO} , как правило, относятся не ко осей площади города, а к тем участкам, которые примыкают к улицам с интенсивным движением автотранспорта. В то же время можно считать, что при больших значениях параметра P рост концентраций оксида углерода, как и других примесей, в значительной степени связан с метеорологическими факторами.

Таблица 1

Коэффициенты линейной корреляции между параметром P по всем примесям вместе и среднесуточными концентрациями отдельных примесей

Город	SO ₂	NO ₂	CO
Санкт-Петербург	0,76	0,70	0,58
Чита	0,82	0,84	0,69

Для расчета параметра P и его использования в качестве характеристики загрязнения воздуха по городу в целом необходимо соблюдение следующих условий:

- 1) количество стационарных пунктов в городе должно быть не менее трех.
- 2) количество наблюдений за концентрациями примесей в воздухе на всех постах в течение дня не должно быть меньше 20.

3.3. Нормированная средняя концентрация примеси в городе

Одним из интегральных показателей загрязнения воздуха какой либо отдельной примесью может быть осредненная по всему городу и по всем срокам наблюдений данного дня или части дня концентрация примеси в воздухе. Для использования при анализе ряда наблюдений за несколько лет необходимо полученное значение нормировать на среднесезонную концентрацию. Расчет в данном случае выполняется по формуле:

$$Q = \bar{q}/q_{\text{ср}}, \quad (13)$$

где Q - нормированная средняя концентрация в городе; $\bar{q}$ - средняя по городу концентрация примеси за данный день или часть дня

$$\bar{q} = \frac{1}{N} \sum q_i,$$

где q_i - концентрация примесей на i -м посту; N - количество измерений по одной примеси и всем постам за все сроки наблюдений данного дня; $q_{\text{ср}}$ - среднесезонная концентрация примесей в городе.

Параметры P , Q и a_1 являются относительными характеристиками и не зависят от среднего уровня загрязнения воздуха. Следовательно, их значения в основном определяются метеорологическими условиями. В связи с этим оказывается возможным использовать для анализа значения указанных параметров за несколько лет вместе, даже если в течение этого периода наблюдались изменения суммарного количества выбросов и уровня концентраций.

4. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ПО ГОРОДУ В ЦЕЛОМ

На загрязнение воздуха по городу в целом оказывает сложное влияние ряд метеорологических факторов. В данном разделе приводятся результаты изучения метеорологических условий загрязнения воздуха в ряде городов. Анализ показывает, что связи между уровнем концентраций и метеорологическими факторами во многих городах сходны. Это определяется некоторым сходством в структуре выбросов и использованием при выполнении разработок характеристик общегородской составляющей загрязнения воздуха. Однако при нестандартной структуре выбросов, особенно при расположении основных источников главным образом в одной части города или за его пределами, характер связей между концентрациями и метеорологическими факторами может иметь свои особенности. Для решения практических задач прогноза загрязнения воздуха нужен анализ материалов наблюдений в каждом городе в отдельности. Его результаты являются основой для разработки прогностических схем.

Ниже приводятся наиболее характерные зависимости загрязнения воздуха от метеорологических условий, полученные по материалам наблюдений в ряде городов страны.

4.1. Направление и скорость ветра

Зависимость уровня загрязнения воздуха в городе от направления ветра в ряде случаев является достаточно простой. Если предприятия располагаются на окраине или за пределами города, то концентрации в городских кварталах растут при переносе выбрасываемых примесей со стороны источников выбросов. Однако и в таких простых случаях влияние направления ветра на уровень загрязнения воздуха в городе следует специально изучать, поскольку нужно учитывать, что поток воздуха может быть искажен под влиянием сложного рельефа, водоемов, а также непосредственным тепловым воздействием крупных промышленных комплексов. Неблагоприятные направления ветра могут выявляться и при равномерном расположении источников на территории города за счет различных эффектов наложения выбросов.

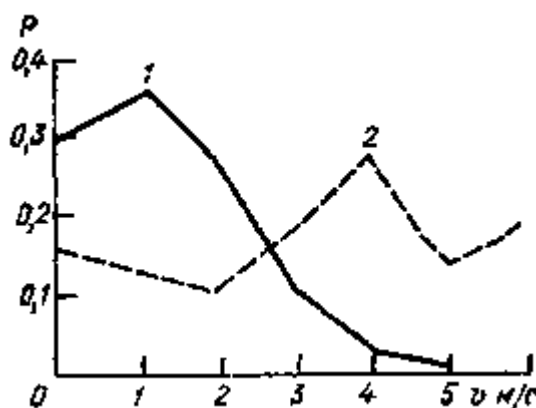


Рис. 4. Зависимость загрязнения воздуха в Чите от скорости ветра при наличии (1) и отсутствии (2) приземной инверсии.



В отдельных городах, имеющих форму, близкую к прямоугольнику или эллипсу, загрязнение воздуха повышено, когда ветер направлен вдоль этого прямоугольника или большой оси эллипса.

Зависимость загрязнения воздуха в городе от направления ветра проявляется также в связи с влиянием макросиноптических процессов. За счет этого неблагоприятные направления могут быть близкими в разных городах. Анализ показал, что в Москве, Санкт-Петербурге, Риге, Екатеринбурге концентрации в среднем относительно повышены при южном и юго-восточном ветре, в Алма-Ате - при восточном и юго-восточном, в Курске, Красноярске, Чите - при северо-восточном и восточном.

В условиях города выявляется наличие двух максимумов загрязнения воздуха в зависимости от скорости ветра на уровне флюгера: при штиле и при скорости ветра около 4 - 6 м/с, что связано с действием двух классов источников - высоких и низких. Максимум при штиле более четко проявляется при наличии приземной инверсии, максимум при умеренном ветре - при ее отсутствии (рис. 4).

С ситуацией, когда при штиле отсутствует приземная инверсия, связано относительно пониженное загрязнение воздуха по городу в целом. Например, среднее значение параметра P при наличии (числитель) и отсутствии (знаменатель) приземной инверсии зимой при штиле в ряде городов оказалось следующим:

Город.....	Санкт-Петербург	Алма-Ата	Красноярск	Чита	Омск	Нижний Новгород
Значение, P	$\frac{0,27}{0,14}$	$\frac{0,37}{0,17}$	$\frac{0,33}{0,19}$	$\frac{0,25}{0,20}$	$\frac{0,29}{0,19}$	$\frac{0,29}{0,14}$

Для различных городов и сезонов характерными являются следующие закономерности:

1) при устойчивой стратификации загрязнение воздуха в городе уменьшается с усилением скорости ветра;

2) при неустойчивой стратификации максимум загрязнения отмечается при скоростях ветра, близких к опасным, для основных источников выбросов, расположенных в городе.

Скорость ветра на уровне примерно 500 - 1000 м может характеризовать интенсивность выноса за пределы города верхней части городской «шапки дыма». Обнаруживается, что с усилением ветра на этих высотах загрязнение воздуха в среднем несколько снижается. В то же время практически во всех рассмотренных городах выявляется эффект снижения концентраций при установлении очень слабого ветра (1 - 2 м/с) на указанных уровнях это может быть связано с увеличением подъема перегретого над городом воздуха.

4.2. Термическая устойчивость атмосферы. Температура воздуха

Термическая устойчивость характеризуется вертикальной разностью температуры воздуха $\square T$.

Обнаруживается зависимость параметра P от $\square T$ в слое от земли до уровня AT_{925} или AT_{500} . Связь между P и $\square T$ наиболее значительна при инверсионных условиях, при этом имеет место обратная линейная корреляция. По материалам наблюдений в Чите коэффициент корреляции $r = -0,44 \pm 0,13$, Уровень загрязнения воздуха в городе зависит от толщины слоя перемешивания H_{Π} , который определяется в соответствии с рис. 5. Как видно из рисунка, для определения H_{Π} следует на аэрологической диаграмме провести сухую адиабату от точки с приземной температурой (T_0) до пересечения с кривой стратификации. При определении H_{Π} в утренние часы для учета острова тепла в городе к T_0 прибавляется 3 или 5 °С. На рис. 5 показана схема определения H_{Π} в утренние часы и в период, соответствующий максимальной температуре дня. С учетом ожидаемого суточного хода температуры H_{Π} может предсказываться на любую часть дня. При слабом ветре с уменьшением H_{Π} концентрации примесей в воздухе возрастают. С усилением ветра связь между H_{Π} и загрязнением воздуха значительно ослабевает.

В среднем загрязнение воздуха повышено, когда штиль сопровождается приземной инверсией, т.е. в ситуации застоя воздуха. При застое практически отсутствует перенос воздуха и резко ослаблено его вертикальное перемешивание.

Вместе с тем в условиях застоя не всегда отмечается высокий уровень загрязнения воздуха. В таких условиях по данным наблюдений в рассмотренных городах (Санкт Петербург, Алма-Ата, Красноярск, Чита, Омск) периоды с $P > 0,2$ наблюдаются только в 60 - 70 % случаев. Это означает, что наряду с процессом переноса и рассеивания примесей существуют другие факторы, определяющие уровень концентраций примесей в городе,

Одним из таких факторов является термическое состояние воздушной массы, характеризующееся температурой воздуха. В зимнее время чаще всего обнаруживается повышение уровня загрязнения при понижении температуры. Это в первую очередь характерно для антициклонической погоды, когда при низких температурах воздуха устанавливается устойчивая термическая стратификация. Кроме того, при понижении температуры, увеличивается количество сжигаемого топлива и, следовательно, количество выбросов вредных веществ в атмосферу. Таким образом, рост загрязнения воздуха при понижении температуры связан не с термическим состоянием воздушной массы, а с сопутствующими факторами.

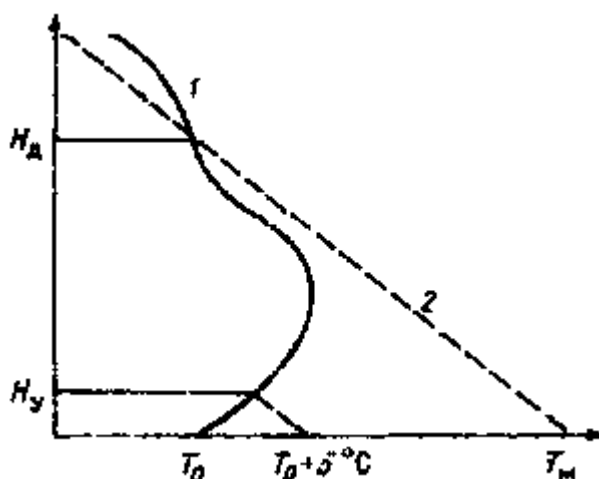


Рис. 5. Схема определения слоя перемешивания для дневного (H_d) и утреннего (H_y) периодов

1 - кривая стратификации, 2 - сухая адиабата

При слабых ветрах и при прочих равных условиях (погоды и выбросов) загрязнение атмосферы в городе в ряде случаев повышается с увеличением температуры воздуха. Наиболее четко это обнаруживается зимой в условиях застоя воздуха, сохраняющегося в течение всего дня. Коэффициент корреляции между T_0 и параметром P в этих условиях по материалам наблюдений и Чите и Алма-Ате составляет 0,5 - 0,6. Таким образом, неблагоприятной является ситуация застоя воздуха в сочетании с относительно высокими температурами. Значительное загрязнение воздуха обнаруживается также, когда зимой сравнительно высокие температуры сопровождаются скоростью ветра не более 4 - 5 м/с. Такие условия отмечаются обычно в теплых секторах циклонов.

4.3. Осадки. Туманы

Осадки вымывают примеси из атмосферы. Восстановление исходного уровня загрязнения воздуха в городе происходит постепенно, примерно в течение 12 ч (табл. 2).

Воздух наиболее чист сразу после выпадения осадков. В первые 12 ч после их выпадения повторяемость высоких концентраций ниже, чем в последующие часы и в среднем. Анализ данных о концентрациях примесей в течение 4 ч после окончания осадков показывает, что



степень очищения воздуха зависит от количества осадков - чем больше их выпадает, тем чище воздух.

Таблица 2

Повторяемость (%) повышенных концентраций пыли и диоксида серы в связи с выпадением осадков в Санкт-Петербурге

Примесь	Время между окончанием осадков и забором проб воздуха, ч			Средняя
	0 - 1	0 - 12	> 12	
Пыль	5	13	22	17
Диоксид серы	5	16	24	19

Указанные зависимости относятся к общегородскому загрязнению воздуха, к концентрациям, формирующимся вне прямого воздействия источников. При непосредственном переносе выбросов со стороны объектов эффект вымывания примесей из воздуха проявляется в меньшей степени. Это показано при анализе материалов наблюдений в нескольких городах, в том числе в Магнитогорске, где рассматривались случаи, когда перенос примесей осуществлялся со стороны металлургического комбината на посты наблюдений.

В туманах загрязнение воздуха повышается. Здесь происходит поглощение примесей каплями. Однако эти примеси вместе с каплями остаются в приземном слое воздуха. За счет создания значительных градиентов концентраций (вне капель) происходит перенос примесей из окружающего пространства в область тумана. В связи с этим суммарная концентрация примесей возрастает. Значительную опасность представляет расположение над туманом факелов дыма, которые под воздействием указанного эффекта распространяются в приземный слой воздуха.

4.4. Инерционный фактор

Степень загрязнения воздуха по городу в целом связана с инерционным фактором. Загрязнение воздуха в городе P зависит от его значения в предшествующий день P' . Это видно из табл. 3, которая составлена по материалам наблюдений в группе городов со скользящим графиком наблюдений за концентрациями примесей в воздухе. Теснота связей между показателями загрязнения воздуха в различные периоды снижается с увеличением промежутка времени между этими периодами.

Если в предшествующий день значение параметра P (или другого обобщенного показателя загрязнения воздуха в городе) велико, то и в текущий день загрязнение воздуха, как правило, повышено. Обратная картина имеет место, когда значение обобщенного по городу показателя загрязнения в предшествующий день ($P' < 0,1$) мало. В этом случае в последующем загрязнение воздуха чаще всего понижено, в том числе и в такой неблагоприятной ситуации, как застой воздуха. Коэффициент корреляции между значениями параметра P в соседние дни составляет 0,6 - 0,7.

Таблица 3

Повторяемость (%) повышенного уровня загрязнения воздуха в городе ($P > 0,2$) в зависимости от P

P	В общем случае	При застое воздуха
$< 0,1$	11	24
$\geq 0,3$	92	95

Положительная корреляция имеет место между значениями параметра P , рассчитанными по данным наблюдений в 1-й и 2-й половине одного и того же дня. Даже в летний сезон при большом суточном ходе метеорологических параметров коэффициент корреляции между загрязнением воздуха в 1-й и во 2-й половине дня составил $r = 0,61 \pm 0,10$.



Действие инерционного фактора в значительной степени определяется метеорологической инерцией, которая означает тенденцию к сохранению атмосферных процессов, определяющих уровень концентраций. Некоторые из метеорологических факторов, влияющих на концентрации примесей в воздухе, могут быть неизвестны, и при учете установившегося уровня загрязнения воздуха они в какой-то степени учитываются автоматически. Существенную роль может играть и инерция самого загрязнения воздуха.

5. СИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

5.1. Зависимость уровня загрязнения воздуха в городах от синоптической ситуации

Синоптическая ситуация характеризуется в общем виде сложным комплексом метеорологических параметров и отражает многообразие процессов, происходящих в атмосфере. Анализ материалов наблюдений в ряде городов показал, что к одной из неблагоприятных ситуаций относится центральная область стационарного антициклона и ось малоподвижного гребня. Повышенный уровень загрязнения воздуха в городе формируется, когда эта ситуация в районе данного города отмечается не менее двух дней подряд. По данным наблюдений в ряде городов установлено, что быстро смещающиеся антициклоны и гребни не определяют формирования высокого уровня загрязнения воздуха в городах. Так, в Санкт-Петербурге во всех 33 отобранных ситуациях со стационарным антициклоном и малоподвижным гребнем загрязнение воздуха было повышенным ($P > 0,25$), а в 29 процессах, характеризующихся быстрым прохождением через город антициклона или гребня, значения параметра P не достигали 0,25.

Высокий уровень загрязнения воздуха отмечается в антициклонах, которым соответствует область тепла в тропосфере. Холодные антициклоны менее опасны. Рост концентрации примесей в городском воздухе имеет место преимущественно в теплых частях антициклона. В западной, северо-западной и центральной частях ЕТС, в том числе в Санкт-Петербурге, - это западная и северо-западная периферии антициклона. При распространении на данные районы восточной периферии антициклона здесь загрязнение воздуха всегда относительно понижено.

Повышенные концентрации могут отмечаться и в малоградиентных барических полях, в первую очередь в районах с устойчиво сохраняющейся барической седловиной. Имеются данные об увеличении загрязнения воздуха в теплых секторах циклонов при отсутствии там сильного ветра и интенсивных осадков.

Концентрации в городе понижены в ситуации с активной циклонической деятельностью. Значительное загрязнение воздуха более вероятно при устойчивом сохранении заданной ситуации.

Выявлены следующие характеристики синоптических процессов, способствующие созданию относительно высокого уровня загрязнения воздуха в городах: 1) малоградиентное барическое поле; 2) антициклоническая кривизна изобар; 3) теплая воздушная масса; 4) адвекция тепла в атмосфере.

В конкретных городах в зависимости от регионального характера синоптических процессов, микрометеорологического режима, свойств выбросов, расположения источников могут быть выявлены дополнительные особенности влияния синоптических условий на загрязнение воздуха.

5.2. Синоптические условия формирования периодов с относительно высоким уровнем загрязнения

Периоды с высоким уровнем загрязнения воздуха на территории крупного города продолжительностью в несколько дней в значительной степени обусловлены развитием синоптических процессов. Для выявления синоптических ситуаций, определяющих такие периоды, проводится следующая обработка. По материалам наблюдений за несколько лет



отдельно в холодную и теплую часть года выделяются случаи, когда значение параметра P превышает 0,3 (или 0,25, если в городе редко отмечается $P > 0,3$) в течение трех дней подряд и более. Отбирается не менее 10 таких периодов. Затем анализируются синоптические ситуации, наблюдающиеся в течение этих периодов. Для сравнения изучаются синоптические процессы в периоды длительного сохранения относительно чистого воздуха в городе ($P < 0,10 \dots 0,15$). На основании этих предварительных разработок устанавливаются типы ситуации, характерные для периодов с высоким загрязнением атмосферы. Следующий этап работы - выбор оказанных ситуаций по синоптическим материалам всего используемого ряда наблюдений и рассмотрение сопутствующего загрязнения воздуха. Если при заданной ситуации повторяемость периодов с относительно высоким уровнем загрязнения воздуха не слишком велика, проводится более детальный анализ. Ставится задача выделения уточненных ситуаций, при осуществлении которых в подавляющем большинстве случаев наблюдалось бы относительно высокое загрязнение.

Подобную разработку следует проводить по материалам наблюдений в каждом городе в отдельности.

Ниже приводятся результаты, полученные на основе ее выполнения по материалам 6-летних наблюдений в нескольких городах, расположенных в различных регионах (Санкт-Петербург, Донецк, Архангельск, Екатеринбург, Чита, Владивосток).

Было выделено 118 периодов, когда в течение трех дней и более отмечалось $P \geq 0,3$. В результате анализа осуществившихся в эти периоды синоптических процессов определены ситуации, характерные для формирования значительного загрязнения воздуха в городе. Выявлены следующие типы неблагоприятных синоптических ситуаций: I - малоподвижный антициклон или гребень, II - малоградиентное барическое поле, III - некоторые периферии антициклона. Для большей части Европейской территории страны (ЕТС) и на Урале - это западная и северо-западная периферия, в южной части ЕТС - южная, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке - восточная периферия антициклона.

В соответствии с принятым приемом анализа информации, указанные ситуации длительностью не менее трех дней были отобраны для каждого из названных городов по всему ряду наблюдений. Некоторые уточнения к ним, полученные в результате дополнительного анализа, состояли в следующем.

Из ситуаций типа I исключены случаи формирования малоподвижных антициклонов в результате ультраполярных вторжений. В ситуации типа II не включены случаи, когда в результате локальных возмущений в районе данного города скорость ветра превышала 6 м/с. Из типа III исключены ситуации с большими градиентами давления.

Характерные синоптические ситуации показаны на рис. 6, а сведения о повторяемости относительно высокого загрязнения воздуха при их осуществлении представлены в табл. 4. При определении этой повторяемости условно учитывались периоды, когда значение параметра P превышало 0,2 более чем в 50 % времени (не менее чем 2 дня из 3; 3 дня из 4 или 5 и т.д.).

Как видно из табл. 4, всего было выделено 283 периода с неблагоприятными синоптическими ситуациями, которые в 79 % случаев сопровождались повышенными значениями параметра P .

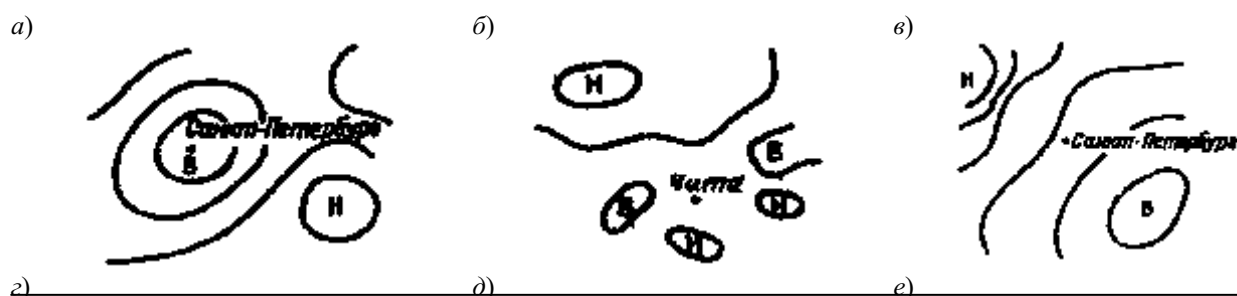




Рис. 6. Устойчивые синоптические ситуации, определяющие формирование длительных периодов с относительно высоким уровнем загрязнения воздуха в городах.

Таблица 4

Периоды с высоким уровнем загрязнения воздуха в городах при неблагоприятных синоптических ситуациях на территории страны

Синоптическая ситуация	Общее число периодов	В том числе с высоким уровнем загрязнения воздуха	Повторяемость (%) периодов с высоким уровнем загрязнения воздуха
Центральная часть малоподвижного антициклона или ось гребня	109	88	81
Безградиентное барическое поле	57	39	68
Западная, северо-западная, северная периферия антициклона (большая часть ЕТС, Урал)	65	53	82
Южная периферия антициклона (юг ЕТС)	15	14	93
Восточная периферия антициклона (Восточная Сибирь, Дальний Восток)	37	30	81
Всего	283	224	79

5.3. Синоптические условия формирования anomalно высокого уровня загрязнения воздуха

Под anomalно высоким уровнем загрязнения воздуха (ABЗВ) по городу в целом принимаются редко встречающиеся случаи (1 - 2 %) с наибольшими значениями обобщенного показателя городского загрязнения. Параметр P в этих случаях обычно превышает 0,5. Для установления синоптических условий формирования ABЗВ в каждом городе в отдельности используется прием, изложенный в подразделе 5.2. В первую очередь из всего ряда наблюдений за предшествующие годы (3 - 5 лет) отдельно по сезонам выбираются случаи, попадающие в 2 % дней с наибольшими значениями параметра P или другого интегрального показателя. Рассматриваются синоптические ситуации, сопутствующие этим случаям, устанавливаются характерные ситуации. Затем такие ситуации отбираются по всему материалу, который используется при выполнении разработок. Если при заданной ситуации наряду с ABЗВ имеют место случаи с относительно низким уровнем загрязнения, то ситуация уточняется. В первую очередь изучаются различия ситуации в случаях с anomalно высоким и в случаях с низким уровнем загрязнения воздуха. Задача заключается в выделении ситуаций, которым в основном сопутствует ABЗВ. Такие разработки следует провести по материалам наблюдений в каждом городе в отдельности. Ниже приводятся некоторые результаты выполненных разработок. Сначала рассматриваются характерные для ABЗВ ситуации, имеющие место в зимний сезон.

В городах, расположенные на Европейской территории страны (ЕТС) и на Урале, достаточно определенно выделяется ситуация с малоподвижным гребнем, направленным со стороны сибирского максимума (рис. 7 а). В северо-западной части ЕТС выделяется также ситуация с западной или северо-западной периферией антициклона в сочетании со слабой циклоничностью или фронтальными разделами западнее указанной периферии (рис. 7 б). В Западной Сибири (по материалам наблюдений в Красноярске) ABЗВ отмечается северо-западнее центральной области антициклона, иногда при очень слабой циклоничности на

фоне сибирского максимума (рис. 7 в), а в восточной Сибири (по данным наблюдений в Чите) АВЗВ чаще всего имеет место на восточной периферии антициклона при разреженных изобарах (рис. 7 г).

В летний сезон синоптические условия формирования АВЗВ оказались примерно такими же, как и в зимний. Однако летом часть случаев АВЗВ имела место в центральных областях малоподвижных слабо развитых антициклонов.

Из анализа синоптических условий формирования АВЗВ в городе следует, что оно может осуществляться только при устойчивых синоптических ситуациях. При неустойчивых процессах: быстром смещении барических образований и атмосферных фронтов, смене воздушных масс больших концентраций примесей в городском воздухе обычно не наблюдается.

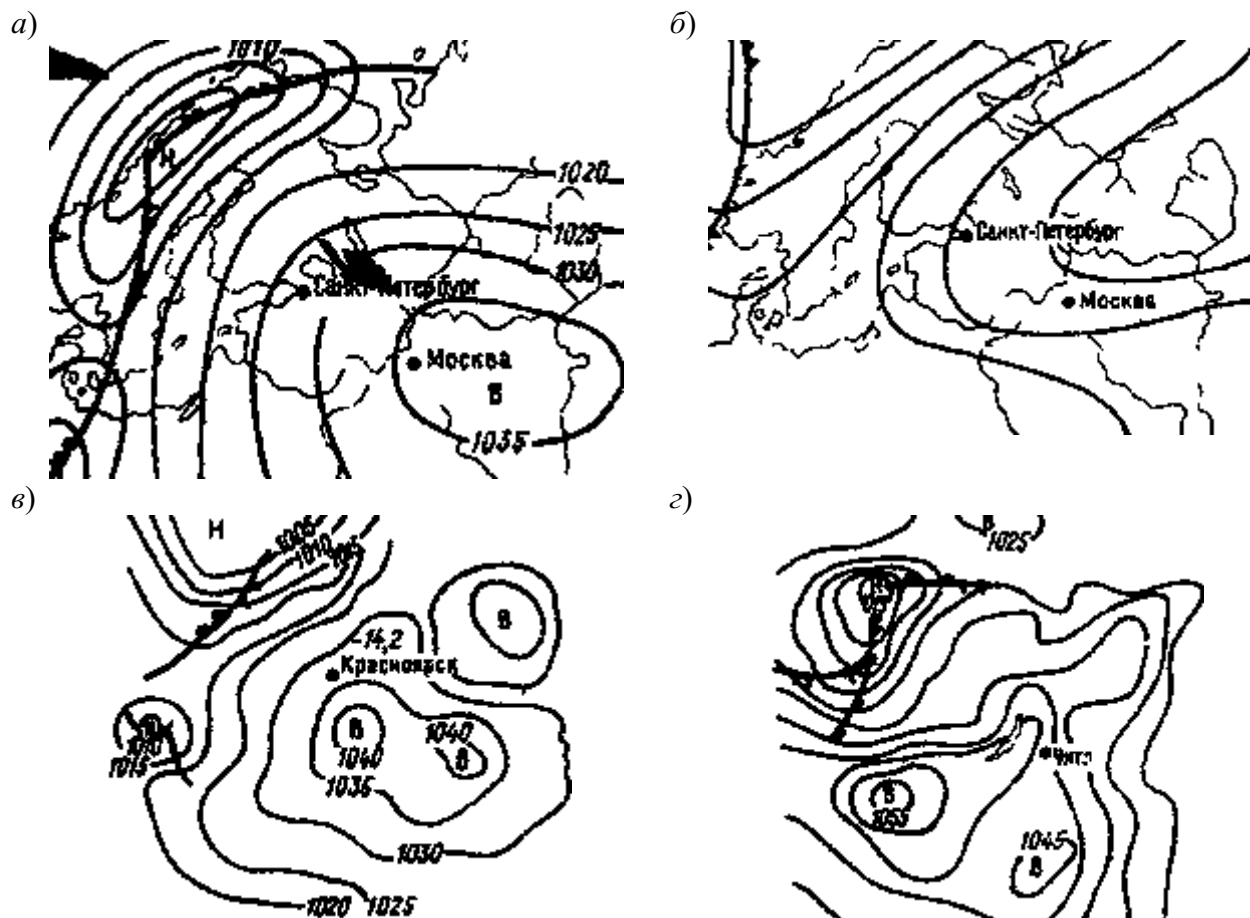


Рис. 7. Синоптические ситуации, определяющие АВЗВ в Санкт-Петербурге (а, б), Красноярске (в), Чите (г)

6. ПРОГНОЗ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ОТ ОТДЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ГРУПП ИСТОЧНИКОВ

6.1. Установление неблагоприятных метеоусловий применительно к отдельным источникам

Для основных источников выбросов вредных веществ в атмосферу проводится прогнозирование создаваемого ими уровня загрязнения воздуха. Для каждого источника устанавливаются неблагоприятные метеорологические условия (НМУ), приводящие к высоким концентрациям примесей в приземном слое атмосферы.

Определяются направления ветра, при которых в жилых кварталах создается относительно высокий уровень загрязнения воздуха, в частности в следующих случаях: 1) выбросы переносятся на городские районы от источника, расположенного на окраине или за



пределами города; 2) наблюдается максимальное наложение выбросов ряда источников; 3) выбросы переносятся на районы города с плотной застройкой и со сложным рельефом местности, где под влиянием местных условий увеличивается концентрация примесей в приземном слое воздуха.

Рассчитываются опасные скорости ветра u_m : по формуле (1) для источников с горячими выбросами, по формуле (2) для источников с холодными выбросами, по формуле (3) с учетом формул (4) и (5) - для линейных источников. Если на объекте примеси поступают из многих источников с различными характеристиками, то наряду с u_m для каждого из них рассчитывается средневзвешенная опасная скорость ветра $u_{m.c}$ по формуле (6).

Определяются пределы высоты нижней границы приподнятой инверсии H_2 , с которой связано формирование опасных концентраций, когда инверсия располагается выше источника, но не более 300 м над ним.

Для каждого объекта существуют свои неблагоприятные метеорологические ситуации, при которых могут формироваться большие концентрации примесей в приземном слое атмосферы. На крупных предприятиях (металлургических, нефтеперерабатывающих и др.) условия, определяющие значительное скопление примесей в приземном слое воздуха, могут быть неодинаковыми для различных цехов и производств (в связи с различиями параметров выбросов). В данном случае необходимо более детально изучить неблагоприятные метеорологические факторы и учитывать полученные особенности при обеспечении прогнозами таких объектов. При этом предупреждения о возможном росте концентраций могут относиться не ко всему предприятию, а к его отдельным производствам.

На многих объектах осуществляются неорганизованные выбросы на малой высоте. В этих случаях неблагоприятными являются ситуации застоя воздуха, причем наибольшее увеличение концентраций отмечается в прилегающих к объекту кварталах и на самом предприятии.

6.2. Характерные комплексы неблагоприятных метеорологических условий для групп источников

При прогнозе отдельно для каждого источника учитывается возможное разнообразие поступающих в атмосферу выбросов. Однако такая задача не всегда реально осуществима в случае большого числа обслуживаемых источников. В таких условиях все источники выбросов следует разделить на группы в зависимости от их высоты и других параметров, которые определяют для каждого из них неблагоприятные метеороусловия. Составленные прогнозы или предупреждения должны относиться ко всем источникам данной группы.

При таком подходе можно прогнозировать уровень загрязнения воздуха для предприятий, расположенных не только в данном городе, но и на большой территории, например, крупного промышленного региона. Прогнозы уровня загрязнения могут составляться на всех основных предприятиях с использованием сравнительно простых соотношений, относящихся к отдельным источникам.

Для организации прогнозирования уровня загрязнения воздуха от совокупности источников проводится сбор сведений о параметрах выбросов со всех предприятий, расположенных на обслуживаемой территории. При этом выполняются следующие работы:

осуществляется критический контроль собранных данных о параметрах выбросов;

для основных источников выполняется расчет максимальных концентраций примесей в воздухе C_m и делается окончательный отбор обслуживаемых предприятий;

рассчитывается опасная скорость ветра u_m для выбранных источников и определяется комплекс неблагоприятных метеороусловий (НМУ);

на основе выполненного анализа проводится объединение источников загрязнения воздуха в несколько групп, каждой из которых соответствуют определенные НМУ.

Для получения необходимых данных используются материалы томов предельно допустимых выбросов (ПДВ).



В случае, когда не удастся собрать и проанализировать достаточно полные сведения о параметрах выбросов источников загрязнения, на первом этапе следует ориентировочно исходить из типовых комплексов неблагоприятных метеоусловий. При этом рассматриваются группы высоких источников с горячими выбросами и с холодными выбросами, а также низких источников.

Аномально неблагоприятные метеоусловия для основных групп источников приводятся в табл. 5. Во многих случаях при оценке неблагоприятных метеоусловий учитываются опасные направления ветра.

Неблагоприятные комплексы метеоусловий предлагается сформулировать таким образом, чтобы каждый из параметров предсказывался существующими способами на срок до 36 ч. Для прогноза высоты нижней границы приподнятой инверсии рекомендуется учитывать близость к ней высоты слоя перемешивания (H_n).

В дополнение к табл. 5 приводятся следующие неблагоприятные комплексы метеорологических условий:

высота слоя перемешивания менее 500 м, но больше высоты источника в сочетании со скоростью ветра, близкой к u_m для данного источника;

туман и штиль - для холодных выбросов, туман и скорость ветра более 2 м/с - для горячих выбросов;

Таблица 5

Аномально неблагоприятные метеоусловия для основных групп источников выбросов в атмосферу

Характеристика выбросов	Термическая стратификация нижнего слоя атмосферы	Скорость ветра (м/с) на уровне		Вид инверсии, ее высота над источником
		флюгера	выбросов	
Горячие высокие	Неустойчивая	3 - 7	5 - 10	Приподнятая (100 - 300 м)
Холодные высокие	»	Штиль	5 - 10	Приподнятая (100 - 300 м)
		1 - 2	2 - 4	
Низкие	Устойчивая	Штиль	2 - 4	Приземная
		Штиль	Штиль	

направление ветра в сторону кварталов плотной застройки или районов со сложным рельефом в сочетании со скоростью ветра, близкой к u_m ;

направление ветра, при котором имеет место максимальное наложение выбросов от группы источников, в сочетании со скоростью ветра, близкой к u_m ;

штиль в сочетании с приземной инверсией - для низких источников.

Для низких источников неблагоприятными являются также условия, при которых предсказывается высокий уровень загрязнения воздуха по городу в целом.

Процедура разделения источников на группы обычно упрощается в связи с тем, что в городе чаще всего большинство источников относится к группе низких источников. К другой группе относят небольшое количество высоких труб. Иногда в отдельную группу включаются трубы городских котельных.

На основе прогноза по территории скорости и направления ветра, высоты слоя перемешивания, туманов с учетом синоптической обстановки на синоптической карте выделяются области с неблагоприятными условиями для отдельных групп источников. Предупреждение передается на то предприятие, источники выбросов которого оказываются в соответствующей области. Например, в некоторой зоне над северо-восточной частью заданного региона ожидается ветер 4 - 7 м/с и приподнятая инверсия с нижней границей 300 - 500 м. При такой ситуации предупреждения о необходимости временно снижать выбросы передаются на все расположенные в данной зоне высокие источники с нагретыми выбросами, которые в соответствии с ожидаемым направлением ветра будут переноситься на жилые кварталы. В южной части этого региона в связи с расположением оси малоподвижного гребня ожидается штиль и приземная инверсия в течение большей части

суток. Здесь предупреждения относятся ко всем низким источникам (автотранспорт, мелкие котельные, низкие выбросы промышленных предприятий и др.)

6.3. Выделение неблагоприятных сочетаний направления и скорости ветра на основе расчета уровня загрязнения воздуха от совокупности источников.

Неблагоприятные сочетания направления и скорости ветра устанавливаются на основе расчета загрязнения атмосферы, создаваемого многими отдельными источниками (расчеты проводятся с помощью ЭВМ по программам, согласованным в Главной геофизической обсерватории). Данные о таких сочетаниях используются при выделении комплексов НМУ для отдельных источников с целью учета возможного влияния других источников, в первую очередь учета эффекта наложения многих выбросов. Материалы о сочетаниях направления и скорости ветра, при которых может иметь место повышенное загрязнение воздуха, необходимы также для выделения неблагоприятных ситуаций по городу в целом.

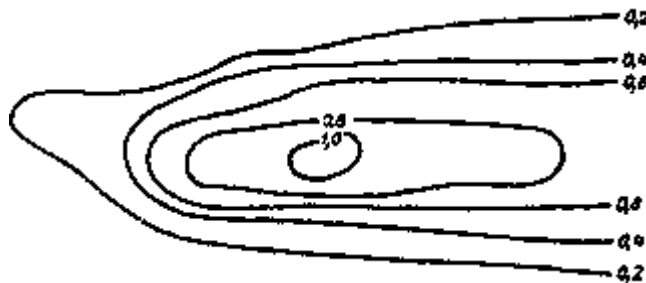
Можно выделить два способа установления неблагоприятных сочетаний направления и скорости ветра на основе расчета уровня загрязнения атмосферы. Первый из них связан с расчетом поля концентраций примесей отдельно для каждого из заранее принятых сочетаний направления и скорости ветра. Результаты расчета наносятся на карты-схемы.

Устанавливаются те сочетания, при которых загрязнение воздуха является наибольшим. Выделяются районы, в которых при данном неблагоприятном сочетании отмечаются максимальные расчетные концентрации.

Ниже приводится пример расчета полей концентраций сернистого газа в воздухе в районе крупного промышленного комплекса. Он выполнен для четырех значений скорости ветра - 0,5; 2; 4; 8 м/с - и для направлений ветра по 8 румбам. Наибольшее загрязнение воздуха имеет место при западном ветре и его скорости 2 м/с (рис. 8 а), наименьшее - при юго-восточном ветре и скорости 0,5 м/с (рис. 8 б). В табл. 6 для всех рассмотренных сочетаний направления и скорости ветра представлены максимальные значения относительных концентраций сернистого газа в воздухе $C_m/C_{\text{н}}$, где $C_{\text{н}}$ - наибольшая из всех расчетных концентраций.

При втором способе установления неблагоприятных сочетаний направления и скорости ветра используется вариант расчета максимальных для каждой точки расчетной сетки концентраций примесей в воздухе. Программа на ЭВМ предусматривает наряду с расчетом максимальных концентраций установление сочетаний направления и скорости ветра, при которых в каждой точке в отдельности имеет место максимальная расчетная концентрация. Пример распределения неблагоприятных направлений и скоростей ветра, рассчитанный по материалам об инвентаризации выбросов в Донецкой области, приводится на рис. 9.

а)



б)

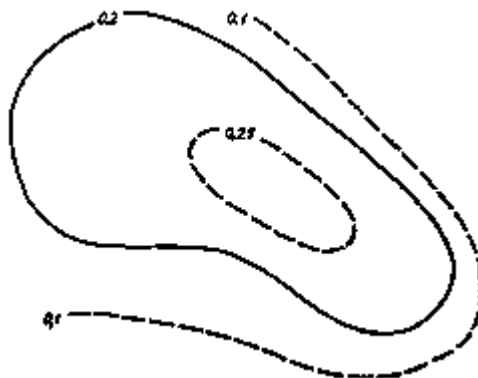


Рис. 8. Расчетное поле относительных концентраций SO_2 (C/C_m) при скорости ветра 2 м/с западного направления (а) и 0,5 м/с юго-восточного направления (б).

Таблица 6

Максимальные значения относительных концентраций сернистого газа (C_m/C_m^*) в районе промышленного комплекса при различных сочетаниях направления и скорости ветра

Скорость ветра, м/с	Направление ветра, румб							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
0,5	0,30	0,28	0,36	0,24	0,26	0,40	0,28	0,32
2	0,48	0,70	0,70	0,62	0,50	0,74	1,00	0,70
4	0,56	0,64	0,80	0,64	0,58	0,62	0,97	0,60
8	0,42	0,48	0,54	0,46	0,44	0,46	0,64	0,44

Расчеты полей концентраций в городах обоими указанными способами и установление неблагоприятных сочетаний направления и скорости ветра проводится с использованием данных об инвентаризации выбросов. На основе таких расчетов уточняются НМУ в конкретном городе. При наличии метеорологического прогноза направления и скорости ветра определяются те районы города или области, где могут формироваться наибольшие концентрации примесей в воздухе.





Рис. 9. Распределение неблагоприятных сочетаний направления и скорости ветра.

Цифры - скорость ветра в м/с

7. ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ПО ГОРОДУ В ЦЕЛОМ

7.1. Общие рекомендации

Для решения задачи прогноза уровня загрязнения воздуха по городу в целом изучаются метеорологические условия, определяющие уровни загрязнения, и разрабатываются статистические схемы. При этом должны предсказываться интегральные показатели в городе, которые являются предиктантами в схемах прогноза. Параметр P (см. подраздел 3.3) рассчитывается для совокупности примесей, а при достаточном количестве измерений в течение дня - для отдельных примесей; параметры Q и α_1 - только для отдельных примесей. В случае большого города можно рассчитывать интегральные показатели загрязнения и разрабатывать прогностические схемы для его отдельных районов с использованием данных наблюдений не менее, чем на трех постах. Предикторами для статистических схем берутся метеорологические характеристики и параметры исходного загрязнения воздуха.

Основным принципом разработки вопросов прогнозирования загрязнения воздуха в городе, в том числе разработки статистических схем прогноза, является максимальный учет характера физического процесса распространения примесей в атмосфере и особенностей влияния метеорологических условий на концентрации примесей в воздухе в конкретных городах. Поэтому разработки должны проводиться по материалам наблюдений в каждом отдельном городе.

Используемые в настоящее время варианты статистических схем (за исключением метода распознавания образов) позволяют предсказывать значение интегрального показателя загрязнения воздуха в городе. Рекомендуется в первую очередь определить группу загрязнения. При использовании в качестве предиктанта параметра P рекомендуется рассматривать три группы: относительно высокое, повышенное и пониженное (табл. 7).

Таблица 7

Группы загрязнения воздуха по городу в целом

Номер группы	Градация параметра P	Характеристика загрязнения воздуха	Средняя повторяемость, %
I	$> 0,35$	Относительно высокое	10
II	$0,21 - 0,35$	Повышенное	40
III	$\leq 0,20$	Пониженное	50

Группы загрязнения воздуха, приведенные в табл. 7, получены по материалам наблюдений в ряде городов. Градации должны уточняться в каждом городе в отдельности. Если статистическое распределение параметра P отличается от того, что представлено в табл. 7, то границы между группами будут другими. Главным является примерное сохранение указанной повторяемости 10 % для 1-й группы, 40 % для 2-й группы, 50 % для 3-й группы. Из этих же принципов следует исходить при разделении на группы значений Q и α_1 .

Наряду с тремя группами предсказываются отдельно случаи аномально высокого загрязнения воздуха (АВЗВ), которые включают в себя 2 % наибольших значений P , Q или α_1 .

Разработки схем прогноза загрязнения воздуха проводятся для предсказания показателя загрязнения воздуха совокупностью примесей и отдельными примесями, наиболее характерными для данного города. Схемы следует разрабатывать отдельно по сезонам года.



В связи со значительной изменчивостью метеорологического режима в течение переходных сезонов, рекомендуются три возможных варианта выполнения разработок:

для зимнего (XII - II) и летнего (VI - VIII) сезонов с использованием (после предварительной проверки такой возможности) в соседних месяцах переходных сезонов; для холодного и теплого полугодий; отдельно для всех четырех сезонов. При этом в качестве предикторов в весенний и осенний сезоны не следует использовать параметры, имеющие большой годовой ход (температуру воздуха, характеристики термической устойчивости в дневные часы).

Прогностические схемы разрабатываются отдельно по материалам наблюдений за первую и за вторую половину дня, а также для всего дня. При скользящем режиме работы стационарных постов составление схемы для 1-й половины дня проводится по данным наблюдений за 7, 10 и 13 ч, для 2-й половины дня - за 15, 18 и 21 ч. При отборах проб в постоянные сроки (7, 13, 19 ч) составление схемы для 1-й половины дня проводится по данным наблюдений за 7 и 13 ч, для 2-й половины дня - за 13 и 19 ч, для всего дня - за 7, 13 и 19 ч. При достаточном количестве наблюдений в городе (не менее чем на 8 постах) схемы могут составляться отдельно для каждого срока.

7.2. Выбор предикторов

Составлению прогностической схемы предшествует выбор предикторов. Они должны характеризовать главные метеорологические факторы, определяющие уровень загрязнения воздуха в городе, и исходное загрязнение. Предикторы выбираются на основе анализа материалов наблюдений в конкретных городах с учетом тесноты и реального вида связей между метеорологическими факторами и концентрациями примесей в воздухе. Из возможных предикторов выбирается несколько наиболее значимых.

К главным факторам, определяющим формирование уровня загрязнения атмосферы, относятся направление переноса примесей, скорость их переноса, атмосферная устойчивость и связанная с ней степень вертикального перемешивания примесей, термическое состояние воздушной массы, от которого зависит начальный подъем выбросов, вымывание примесей осадками, их аккумуляция в туманах, инерционный фактор.

Рекомендуется использовать наблюдения основной метеостанции и пункта радиозондирования, который, как правило, находится за пределами города. Это позволяет коррелировать загрязнение городского воздуха с характеристиками пограничного слоя атмосферы, не искаженными самим городом.

Направление и скорость ветра определяются на высоте флюгера на основной метеостанции города. Наряду с этим в схемы может включаться и скорость ветра на уровне изобарической поверхности AT_{925} , что позволяет учитывать влияние на состояние загрязнения воздуха скорости переноса не только у земли (на высоте флюгера), но и на более высоком уровне в пограничном слое атмосферы.

В качестве предиктора может использоваться и средняя скорость ветра в слое перемешивания.

В качестве характеристик атмосферной устойчивости принимаются ΔT - разность температуры между уровнями земли и AT_{925} и $H_{\text{п}}$ - слой перемешивания. В случаях, когда преобладают инверсионные условия, при которых $H_{\text{п}} = 0$, в прогностические схемы включается ΔT . Если преобладают ситуации с $H_{\text{п}} > 0$, то выбирается одна из двух указанных характеристик в зависимости от того, какая из них более тесно коррелирует с уровнем загрязнения атмосферы в данном конкретном городе.

В целом возможными предикторами могут быть: v_0 - скорость ветра на высоте флюгера, м/с; d - направление ветра; v_1 - скорость ветра на уровне изобарической поверхности AT_{925} , м/с; $\bar{v}$ - средняя скорость в слое перемешивания, м/с; ΔT - разность температур на уровне земли и AT_{925} , °C; T_0 - температура воздуха у земли, °C; $H_{\text{п}}$ - высота слоя перемешивания, м (иногда вместо $H_{\text{п}}$ используется величина $H_{\text{тд}}$ - слой термодинамического перемешивания,

Документ скачан с портала нормативных документов www.OpenGost.ru



которая характеризует процесс вертикального обмена, определяемый как термической стратификацией, так и вертикальным сдвигом ветра; (подробнее см. подраздел 10.3); H_2 - нижняя граница приподнятой инверсии, м (если инверсия приземная, то $H_2 = 0$); H_1 - мощность приземной инверсии, м (при отсутствии приземной инверсии $H_1 = 0$); $\Delta P/\Delta n$ - градиент приземного давления, гПа/градус меридиана); P - исходное значение параметра P .

При разработке схем могут использоваться и другие предикторы, например, градиент геопотенциала на АТ₉₂₅, лапласиан давления и геопотенциала, суточные изменения температуры и др.

Метеорологические предикторы могут быть как синхронными по отношению к срокам измерения концентраций примесей, так и асинхронными. Во втором случае сроки измерения метеорологических элементов отстоят от сроков отбора проб воздуха на 6 - 24 ч. Выбор асинхронных предикторов так же, как и синхронных, осуществляется с учетом тесноты связей между предшествующими метеорологическими параметрами и последующим загрязнением воздуха. Если корреляция примерно одинакова, то предпочтение отдается асинхронным предикторам, поскольку здесь отпадает необходимость предсказания метеорологических параметров и, следовательно, исключается ошибка метеорологического прогноза.

Наиболее часто применяемый в настоящее время вариант включения предикторов в прогностические схемы заключается в следующем: при разработке схем для 1-й половины дня и для всего дня в качестве предикторов принимаются характеристики пограничного слоя атмосферы за 3 ч (по данным радиозонда), а метеорологические параметры в приземном слое воздуха (по данным метеостанции) за 6 ч, для 2-й половины дня и те и другие параметры берутся за 15 ч. При таком подходе для составления прогнозов на следующий день необходимо предсказывать метеорологические предикторы. В то же время для составления уточненных прогнозов уровня загрязнения воздуха (на 6 - 8 ч) в схему включаются данные измерений метеорологических характеристик.

7.3. Информационные комплексные предикторы

Для повышения значимости предикторов и успешности схем прогноза уровня загрязнения воздуха используются комплексные предикторы. В частности, можно выделить комплексные предикторы на основе теории информации. Такие предикторы представляют собой линейные сочетания исходных предикторов. При их выделении учитывается влияние метеорологических условий на формирование высоких концентраций примесей в воздухе.

Количество информации I о высоком уровне загрязнения, содержащееся в предикторах X , записывается в виде:

$$I = -\int \ln P_v(X) [f(X) - f_v(X)] dX, \quad (14)$$

где P_v - вероятность высокого уровня загрязнения воздуха в зависимости от значений предикторов; $f(X)$ - плотность вероятности распределения предикторов; $f_v(X)$ - плотность вероятности распределения предикторов при высоком уровне загрязнения воздуха.

Наиболее информативные линейные комбинации используемых предикторов ищутся в виде

$$B_j = \sum_{i=1}^N \alpha_{ij} X_i, \quad (15)$$

где X_i - предикторы; α_{ij} - постоянные коэффициенты; N - количество предикторов.

Максимальную информацию о высоком уровне загрязнения будет содержать линейная комбинация предикторов, при которой I достигает наибольшего значения. Ее поиск эквивалентен решению задачи на собственные значения $C\alpha - \lambda B\alpha = 0$. Здесь C - матрица ковариации предиктора; B - матрица ковариации предикторов при высоком уровне



загрязнения воздуха; λ - собственные числа; λ является корнями характеристического уравнения корреляционной матрицы предикторов.

Информационными будут линейные комбинации предикторов, соответствующие собственным числам λ_i , превышающим единицу. Наибольшую информацию несет линейная комбинация, соответствующая максимальному собственному числу. Количество таких линейных сочетаний равно числу исходных метеорологических предикторов. Практически оказывается достаточным включить в прогностические схемы только два комплексных предиктора, соответствующих наибольшим значениям λ .

Материалы наблюдений обрабатываются следующим образом. По всему набору рядов предикторов вычисляется матрица ковариаций C , затем выбираются только случаи, соответствующие высокому уровню загрязнения воздуха ($P > 0,35$; $Q > 1,4$), и по этой выборке рассчитывается матрица ковариации B . Далее находятся собственные числа λ_i и соответствующие им коэффициенты линейных комбинаций α_{ij} , где i - означает номер постоянного коэффициента; j - номер линейной комбинации. После этого вычисляются значения комплексных предикторов β_j . В дальнейшем используются только те из них, которым соответствуют собственные числа $\lambda_i > 1$, т.е. содержащие информацию о высоком уровне загрязнения.

Для реализации этой задачи составлена программа на языке ГДР-алгол.

Примеры использования информативных комплексных предикторов в схемах прогноза приводятся в подразделе 8.2.

7.4. Количественный синоптический предиктор

Для учета в прогностических схемах зависимости уровня загрязнения воздуха от синоптических условий вводится количественный синоптический предиктор. Одной из возможностей получения такого предиктора является кодировка типов ситуаций баллами. Меньший балл приписывается тем типам синоптических процессов, которые в наибольшей степени определяют высокий уровень загрязнения атмосферы в данном городе. Пример типизации синоптических процессов для Москвы приводится в табл. 8. Здесь баллы устанавливаются от 3 до 10 в соответствии с предварительным анализом влияния синоптических условий на уровень загрязнения воздуха в конкретном городе.

Таблица 8

Числовые характеристики синоптических процессов применительно к Москве

Цифры кода	Типы синоптических ситуаций
3	Малоподвижные антициклоны и гребни, сместившиеся с юга (продолжительностью 1,5 сут и более)
4	Западная периферия антициклона или гребня (независимо от скорости ветра) при траектории из юго-восточного сектора при адвекции тепла в слое до 1,5 км
5	1. Передняя часть циклона (ложбины) при траекториях из юго-восточного сектора при адвекции тепла 2. Малоподвижный небольшой по площади циклон, в котором циркулирует одна и та же воздушная масса
6	Размытые поля высокого и низкого давления с ветром переменных направлений
7	Периферии барических образований продолжительностью 1,5 сут и более при скорости ветра ≤ 4 м/с
8	Центры или периферии барических образований продолжительностью менее 1,5 сут и скорости ветра ≤ 4 м/с
9	Центры или периферии барических образований любой продолжительности и скорости ветра ≥ 5 м/с
10	1. Быстродвижущиеся барические образования или чередование ложбин и гребней 2. Ультраполярное или северное вторжение воздушной массы



Другой способ установления количественного синоптического предиктора заключается в следующем. По материалам наблюдений в данном конкретном городе проводится детальный анализ синоптических условий загрязнения атмосферы. По результатам такого анализа проводится типизация синоптических ситуаций.

Особое внимание следует обратить на ситуации, с которыми связано формирование длительных периодов с высоким уровнем загрязнения воздуха и случаев с экстремально высоким уровнем. Учитывается, что в первый день неблагоприятной ситуации уровень загрязнения воздуха в городе может не быть высоким. Он не достигает высокого уровня, если такая ситуация продолжается не более 1 - 1,5 сут. Учитываются выводы о формировании относительно низкого уровня загрязнения воздуха при активной циклонической деятельности, при быстром перемещении через данный район циклонических и антициклонических образований, а также при других ситуациях, которые выделяются по материалам наблюдений в конкретных городах.

Остальные ситуации могут быть отнесены к различным перифериям циклона и антициклона. В некоторых случаях целесообразно отдельное рассмотрение теплого сектора циклона и тыла циклона.

При таком подходе сама типизация учитывает влияние синоптических условий на уровень загрязнения воздуха в данном конкретном городе. Типизация должна быть выполнена таким образом, чтобы любая синоптическая ситуация за все без исключения дни могла бы быть отнесена какому-нибудь типу.

После установления типов синоптических ситуаций для каждого из них рассчитывается среднее значение обобщенного по городу показателя загрязнения воздуха, которое и является количественной характеристикой ситуации или количественным синоптическим предиктором S_{Π} .

Примеры такого предиктора для Санкт-Петербурга и Екатеринбурга в зимний сезон приводятся в табл. 9. Здесь количественной характеристикой ситуации являются средние значения параметра P . В Санкт-Петербурге наряду с параметром P для совокупности примесей рассмотрены данные об этом параметре, рассчитанном для SO_2 и NO_2 .

На стадии разработки схемы за каждый день используемого ряда наблюдений устанавливается тип синоптической ситуации и записывается среднее значение параметра загрязнения при данном типе, которое и представляет собой значение количественного синоптического предиктора данного дня.

7.5. Определение значимости предикторов

Наиболее простым способом определения значимости предиктора является расчет коэффициента линейной корреляции r между ним и предиктантом. Такой способ эффективен, если связь между предиктором и предиктантом близка к линейной. В первую очередь это относится к таким предикторам, как исходное значение интегрального показателя загрязнения воздуха в городе P и синоптический предиктор S_{Π} . Линейная корреляция (до 0,4) обнаруживается между параметром P и вертикальной разностью температуры ΔT в слое от земли до 500 - 750 м при преобладании мощных приземных инверсий. В большинстве случаев корреляция между предиктантом и другими метеорологическими предикторами является сложной и заведомо нелинейной. При этом степень связи, отражаемая r , существенно ниже реальной.

В практической работе значимость предиктора достаточно определить приближенно на основе исследования зависимости между ним и предиктантом. Если зависимость выражена достаточно четко и соответствует физическим представлениям о процессе загрязнения воздуха в городе, то предиктор следует считать значимым. В качестве примера можно использовать рис. 4, где показана зависимость параметра P от скорости ветра при наличии и при отсутствии инверсий.



Таблица 9

Количественный синоптический предиктор ($S_n = P \cdot 100$)

Город	Характеристика ситуаций	Совокупность примесей	SO ₂	NO ₂	Количество случаев
Санкт-Петербург	Малоподвижный гребень, ориентированный с востока или юго-востока	41	71	41	6
	Периферия антициклона З и СЗ с циклонической циркуляцией и фронтами, захватывающими более западные районы (Скандинавский полуостров, Балтийское море)	38	59	21	10
	Стационарный антициклон, другие малоподвижные гребни	23	27	41	10
	Малоградиентное поле	28	32	30	10
	Периферия антициклона З и СЗ	24	30	27	24
	Первый день существования предыдущих ситуаций, включая случаи быстрого перемещения антициклонов и гребней	16	20	17	22
	Периферия антициклона (кроме З и СЗ)	16	15	6	27
	Периферия циклона В, ЮВ, ЮЗ, З	14	20	17	88
	Периферия циклона СЗ, С, СВ	9	10	8	7
	Циклон	11	9	12	43
	Теплая воздушная масса в сочетании с ложбиной	11	20	7	21
	или очагом холода на от 500 до 1000				
Екатеринбург	Малоподвижный гребень, ориентированный со стороны азиатского максимума	44			8
	Стационарный антициклон, другие малоподвижные гребни	20			7
	Малоградиентное поле	17			14
	Первый день существования малоподвижного антициклона или гребня	13			5
	Периферия антициклона В, ЮВ, Ю, ЮЗ	19			18
	Периферия антициклона З, СЗ, С, СВ	13			42
	Далекая периферия обширного циклона	25			12
	Периферия циклона	13			51
	Процесс с быстрым перемещением барических образований	6			29

Для количественной оценки значимости предиктора в случае сложной связи может быть предложено два способа.

Первый способ связан с указанным выше расчетом коэффициента линейной корреляции r между предиктантом и преобразованными предикторами. Их преобразование позволяет исключить нелинейность связей. Процедура такого преобразования приводится в подразделе 8.3.

Второй способ оценки значимости предикторов связан с расчетом корреляционного отношения между предиктором и предиктантом:

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sigma_1^2}{\sigma^2}}, \quad (16)$$

где σ^2 - дисперсия предиктанта; σ_1^2 - дисперсия предиктанта относительно кривой линии, описывающей его зависимость от рассматриваемого предиктора. Как видно из формулы, η меняется от 0 до 1. Чем теснее криволинейная связь, тем меньше σ_1^2 и тем больше η (при $\sigma_1^2 = 0$ $\eta = 1$). Если связь слабая, то σ_1^2 не будет сильно отличаться от σ^2 . В этом случае η мало.



Значимость предикторов определяется на стадии разработки схем прогноза. На основе этого в каждом отдельном случае отбираются предикторы для включения в прогностическую схему. Выполненные оценки показывают, что наиболее значимыми предикторами являются P и количественный синоптический предиктор S_{Π} .

Для примера приведем значения r между предиктантом и группой предикторов: P' , S_{Π} , преобразованными метеорологическими предикторами (составлено по материалам наблюдений в Санкт-Петербурге за зимний сезон, обозначения предикторов приводятся в подразделе 7.2)

Предиктор	P	S_{Π}	T_0	$\square T$	v_0	v_1
r	0,63	0,71	0,37	0,36	0,23	0,12

7.6. Прогностические правила

После выполнения предварительных разработок устанавливаются прогностические правила, основанные на изучении комплексов метеорологических параметров и синоптических ситуаций, определяющих уровень загрязнения воздуха. Такие комплексы и ситуации определяются на основании анализа связей между интегральным показателем загрязнения воздуха в городе и метеорологическими факторами. Существенными в практическом отношении являются выводы о возможном росте или уменьшении уровня загрязнения воздуха в связи с изменениями метеорологических характеристик.

Можно сформулировать ряд правил, которые оказались сходными для группы городов.

Высокие уровни загрязнения воздуха ($P > 0,35$) формируются при следующих условиях:

1) в ночные и утренние часы наблюдается ситуация застоя воздуха (штиль и приземная инверсия), а в предшествующий день отмечается повышенное значение параметра P ($P > 0,3$). Данные условия могут осуществляться в любую часть года;

2) в дневные часы (по данным наблюдений за 15 ч) отмечается застой воздуха. В предшествующий день $P > 0,15$. Дневные застои наблюдаются обычно в период ноябрь - март;

3) ситуация с умеренным ветром (3 - 6 м/с) и неустойчивой термической стратификацией в дневные часы сменяется условиями застоя воздуха вечером; $P > 0,15$. Такая ситуация чаще всего наблюдается в теплую часть года, однако может иметь место и зимой, особенно в южных городах;

4) во второй половине предшествующего дня $P > 0,4$, а в последующий день в соответствии с метеорологическим прогнозом не ожидается заметного усиления ветра (более чем на 3 - 4 м/с) или выпадения значительных осадков;

5) скорость ветра 0 - 1 м/с сопровождается туманом;

6) формирование или сохранение стационарного антициклона при $P > 0,2$.

Высокие уровни загрязнения воздуха не наблюдаются:

1) если в холодную половину года, а также летом в ночные и утренние часы при скорости ветра 0 - 1 м/с отсутствует приземная инверсия;

2) при быстром перемещении антициклонов и гребней.

Относительно пониженное загрязнение воздуха ($P \leq 0,20$) отмечается при следующих условиях:

1) ветер на уровне флюгера превышает 5 - 6 м/с;

2) выпадение умеренного или сильного дождя (при выпадении снега очищение воздуха происходит менее эффективно, чем при дожде);

3) независимо от метеорологических условий во второй половине предшествующего дня $P < 0,15$;

4) выход в рассматриваемый район развитого циклона.

Оправданность указанных правил в случае прогноза высокого уровня загрязнения воздуха составляет около 70 %, а в случае прогноза его отсутствия или пониженного



загрязнения воздуха - более 90 %. Это существенно выше оправдываемости случайных и инерционных прогнозов.

При анализе фактического материала возможно нахождение и других сочетаний параметров, определяющих тот или иной уровень загрязнения воздуха. Простейшим способом нахождения таких сочетаний является анализ метеорологических характеристик, при которых наблюдаются экстремально высокие и экстремально низкие значения параметра P . Найденные при этом метеорологические ситуации или комплексы параметров следует проверить и уточнить по всему имеющемуся материалу.

В практической работе следует использовать качественные выводы о возможном изменении уровня загрязнения воздуха, полученные на основании физических исследований и анализа фактического материала. К повышению уровня загрязнения воздуха приводят:

1) усиление устойчивости нижнего слоя атмосферы при слабом ветре (за счет вклада низких выбросов);

2) ослабление ветра при устойчивой термической стратификации;

3) усиление ветра от 0 до 3-6 м/с при неустойчивой стратификации;

4) повышение температуры воздуха при слабом ветре (не более 5 м/с);

5) образование туманов;

6) увеличение антициклонической кривизны приземных изобар;

7) адвекция тепла в тропосфере.

К снижению уровня загрязнения воздуха приводит:

1) усиление ветра при устойчивой термической стратификации;

2) выпадение осадков;

3) увеличение циклонической кривизны приземных изобар;

4) адвекция холода в тропосфере;

5) прохождение холодного фронта.

Представленные качественные правила в ряде случаев дают однозначные указания на возможную группу загрязнения воздуха. Так, если $P > 0,35$ и ожидается рост концентраций, то предсказывается I группа. В то же время при этом условии I группу можно прогнозировать в случае, когда P несколько ниже 0,35. Аналогичные соображения справедливы по отношению к III группе загрязнения воздуха.

В случае когда $P > 0,30$ и ожидается рост концентраций, рекомендуется предсказывать I группу загрязнения воздуха, когда $P < 0,25$ и ожидается снижение концентраций, - III группу.

Прогностические правила устанавливаются по материалам наблюдений в каждом городе и являются дополнением к статистическим схемам, которые рассмотрены в разделе 8.

8. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ СХЕМ ПРОГНОЗА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ПО ГОРОДУ В ЦЕЛОМ

8.1. Использование метода распознавания образов

Сущность данного метода прогноза состоит в определении степени близости конкретной ситуации (комплекса предикторов) к характерным ситуациям, например, высокого, повышенного и пониженного уровней загрязнения воздуха. Все значения интегрального показателя загрязнения воздуха в городе располагаются в порядке убывания и далее разбиваются на группы. Лучше всего провести разбивку на три группы так, как было сделано в подразделе 7.1: I группа $P > 0,35$; II группа $0,35 \geq P > 0,20$; III группа $P \leq 0,20$. Если ряд наблюдений сравнительно небольшой (1 - 2 года), то целесообразно его разделить на три примерно равные группы.

Для каждой группы далее следует рассчитать средние значения предикторов X и их среднеквадратические отклонения:



$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}, \quad (17)$$

где X_i - конкретные значения рассматриваемого предиктора; N - количество случаев в данной группе; $\bar{X}$ - среднее значение предиктора в группе.

Близость между ситуацией конкретного дня и характерной ситуацией группы определяется по так называемому расстоянию между ними.

Пусть отображены пять предикторов: v_0 , v_1 , ΔT , T_0 и P . Тогда «расстояние» между данной ситуацией и ситуацией I группы (ρ_1^2) рассчитывается следующим образом:

$$\rho_1^2 = \frac{(v_0 - v_{0I})^2}{\sigma_{v_{0I}}^2} + \frac{(v_1 - v_{1I})^2}{\sigma_{v_{1I}}^2} + \frac{(\Delta T - \Delta T_I)^2}{\sigma_{\Delta T_I}^2} + \frac{(T_0 - T_{0I})^2}{\sigma_{T_{0I}}^2} + \frac{(P - P_I)^2}{\sigma_{P_I}^2}. \quad (18)$$

Здесь v_{0I} , v_{1I} , ΔT_I , T_{0I} и P_I - средние значения предикторов в I группе; $\sigma_{v_{0I}}$, $\sigma_{v_{1I}}$, $\sigma_{\Delta T_I}$, $\sigma_{T_{0I}}$ и σ_{P_I} - среднеквадратические отклонения соответствующих предикторов в I группе загрязнения воздуха.

Аналогичным образом рассчитываются ρ_{II}^2 и ρ_{III}^2 - «расстояния» между конкретной ситуацией данного дня и характерными ситуациями соответственно II и III группы загрязнения воздуха. Прогнозируется та группа, для которой ρ имеет наибольшее значение.

В табл. 10 показана форма записи материалов для I группы загрязнения воздуха. Данные других групп записываются аналогичным образом.

Результаты расчетов средних значений предикторов и их дисперсии для всех трех групп представлены в табл. 11. Здесь приведены материалы наблюдений в Красноярске за зимний сезон. К группе I были отнесены случаи с $P > 0,25$, к группе II - с $0,15 < P < 0,25$, к группе III с $P < 0,15$. Набор значений $\bar{X}$ и σ для выбранных предикторов представляет собой характерные ситуации групп загрязнения воздуха.

Таблица 10

Форма записи значений предиктанта и предикторов для I группы загрязнения воздуха

Параметр P	Предиктор				
	P	v_0 , м/с	v_1 , м/с	ΔT , °C	T_0 , °C
0,58	0,32	3	7	-2	-15
0,43	0,48	0	6	-12	-9
0,28	0,19	2	9	0	-18
0,27	0,34	1	4	-4	-7
$\bar{X}_I$	0,31	1,44	6,1	-1,6	-25
σ_I	0,10	2,4	3,4	4,0	8,2



Средние значения предикторов $\bar{X}$ (числитель) и их среднеквадратические отклонения σ (знаменатель) в группах высокого (I), среднего (II) и пониженного (III) уровней загрязнения воздуха

Группа загрязнения воздуха	Количество случаев	Предиктор				
		P	v_0 , м/с	v_1 , м/с	ΔT , °C	T_0 , °C
I	22	0,31/0,10	1,44/2,4	6,1/3,4	-1,6/4,0	-25/8,2
II	28	0,17/0,10	1,85/2,3	8,7/4,6	-1,3/4,3	-20/9,7
III	21	0,15/0,08	6,25/5,2	13,3/4,4	-1,4/3,5	-15/11,9

Рассмотрим пример прогноза загрязнения воздуха. Пусть предикторы имеют следующие значения: $P = 0,27$; $v_0 = 0$; $v_1 = 5$ м/с; $\Delta T = -3$ °C/500 м, $T_0 = -22$ °C.

Для первой группы средние значения предикторов и их среднеквадратические отклонения следующие: $\bar{v}_0 = 1,44$ м/с; $\bar{v}_1 = 6,1$ м/с; $\Delta \bar{T}_1 = -1,6$ °C/500 м; $\bar{T}_0 = -25$ °C; $\bar{P} = 0,31$; $\sigma_{v_0} = 2,4$; $\sigma_{v_1} = 3,4$; $\sigma_{\Delta T} = 4,0$; $\sigma_{T_0} = 8,2$; $\sigma_P = 0,10$.

По формуле (18) рассчитываем

$$R_1^2 = \left(\frac{1,44}{2,4} \right)^2 + \left(\frac{6,1 - 5}{3,4} \right)^2 + \left(\frac{3 - 1,6}{4} \right)^2 + \left(\frac{25 - 22}{8,2} \right)^2 + \left(\frac{0,31 - 0,27}{0,10} \right)^2 = 0,89$$

Аналогичным образом по формуле (18) рассчитываются R_{II}^2 и R_{III}^2 . В нашем случае $R_I^2 = 2,87$; $R_{II}^2 = -7,84$. Таким образом, из полученных трех значений R_i^2 - наименьшее, т.е. прогнозируется I группа загрязнения воздуха. Проверка схемы на независимом материале по данным нескольких городов показала, что оправдываемость прогнозов составляет 73 - 75 %.

Недостатком данного метода является неполный учет влияния метеорологических условий на уровень загрязнения воздуха при сложных связях. В этом случае (например, при двух максимумах) в одной группе могут оказаться существенно различные метеорологические ситуации. Поэтому при применении данного метода целесообразно использовать предикторы, зависимость которых от характеристик загрязнения воздуха является монотонной. Эффективность метода может возрасти при использовании количественного синоптического предиктора.

8.2. Метод последовательной графической регрессии

При разработке прогностической схемы по методу последовательной графической регрессии на первом этапе с использованием пар предикторов строятся корреляционные графики, на каждом из которых представляется поле одной из характеристик загрязнения воздуха-среднего значения обобщенного по городу показателя (P , Q , α) или повторяемости его высоких значений. Эти характеристики, за каждый день однозначно определяемые на графиках по значениям двух исходных предикторов, используются в дальнейшем как комплексные метеорологические предикторы. На их основе строятся последующие графики. Процедура осуществляется до тех пор, пока не останется один график, на котором представляется зависимость уровня загрязнения воздуха от итоговых показателей включенных в схему предикторов.

Пусть используется четыре предиктора: X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , а в качестве предиктанта берется параметр P . Тогда схема может быть выражена следующей формулой:

$$P = F[F_1(X_1, X_2), F_2(X_3, X_4)]. \quad (19)$$

Главным преимуществом данного метода является возможность учета связей между загрязнением воздуха и метеорологическими факторами, реально имеющими место в

конкретном городе. Существенно, что здесь учитывается и неоднозначность связей - возможные различия их характера в зависимости от значений других предикторов. Нет ограничений в выборе пар предикторов. В то же время целесообразно выбирать такие пары, чтобы зависимость характеристики загрязнения от одного предиктора определялась значением другого. Как следует из подраздела 4.1, в качестве одной из пар предикторов целесообразно использовать v_0 и ΔT , поскольку характер зависимости загрязнения воздуха от скорости ветра неодинаков при различных состояниях устойчивости атмосферы.

Рассмотрим процедуру проведения изолиний соответствующих характеристик загрязнения воздуха на графиках.

При наличии необходимого количества исходных данных графики разделяются на квадраты и в каждом из них рассчитываются средние значения показателя загрязнения воздуха или повторяемости его повышенных значений. Затем на графике проводятся изоляции этих характеристик. В реальных условиях задача усложняется тем, что в отдельных частях графика количество точек со значениями обобщенного показателя загрязнения может быть мало. Поэтому график разделяется не на одинаковые квадраты, а на области, в которых заранее на основе предварительного анализа связей можно предположить большую или меньшую повторяемость Π высоких значений параметра загрязнения.

Для преодоления трудностей и элементов субъективизма при разработке прогностической схемы предлагается следующая процедура:

- 1) в соответствии с ранее данными рекомендациями проводится отбор предикторов;
- 2) по используемому ряду наблюдений изучаются связи между предиктантом и включенными в схему предикторами;
- 3) на графики наносятся ежедневные значения обобщенного показателя загрязнения воздуха в городе, обусловленные значениями используемых предикторов;
- 4) с учетом реального вида связей и известных физических закономерностей, а также исходя из нанесенных значений предиктанта на графиках выделяются области с относительно высокой и низкой повторяемостью (Π) повышенных значений обобщенного показателя загрязнения. Эта повторяемость подсчитывается в каждой из выделенных областей;
- 5) проводятся изолинии Π ;
- 6) с каждого из построенных предварительных графиков по значениям двух соответствующих предикторов для всего используемого ряда наблюдений снимаются ежедневные значения Π , которые применяются в дальнейшем как новые комплексные метеорологические предикторы, отражающие особенности влияния атмосферных процессов на загрязнение воздуха в конкретном городе;

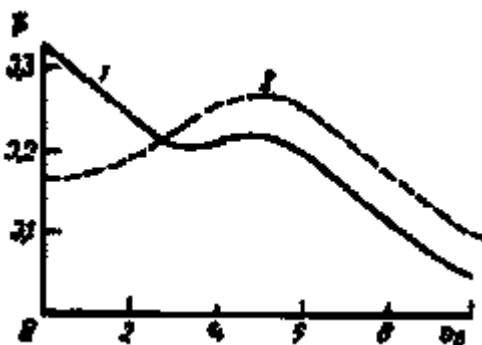


Рис. 10. Средние значения параметра P в зависимости от скорости ветра на высоте флюгера при наличии (1) и при отсутствии (2) приземной инверсии

- 7) строятся последующие графики, где осями координат являются значения Π , полученные на предварительных графиках. В результате объединения предварительных

графиков строится окончательный график, на котором отражается зависимость предиктанта от всех используемых предикторов;

8) на окончательном графике выделяются три области, соответствующие трем группам загрязнения воздуха, и проводятся изолинии обобщенного показателя загрязнения.

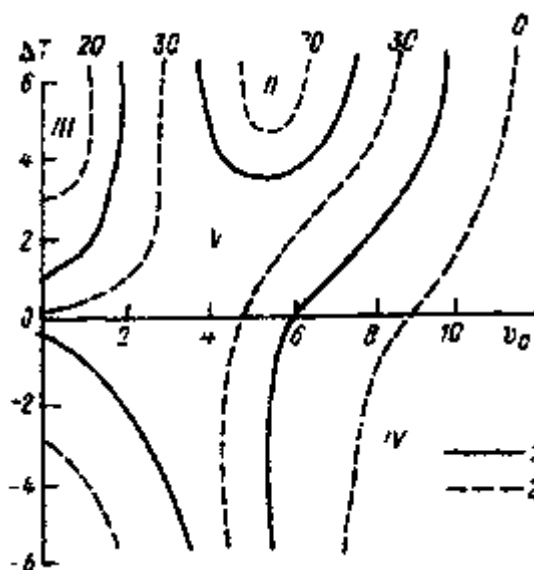
Рассмотрим построение прогностической схемы на конкретном примере с использованием в качестве предиктанта параметра P , а в качестве предикторов v_0 , ΔT , v_1 и P . В данном случае, как ранее отмечалось, целесообразно совместно учитывать v_0 и ΔT . Другой парой предикторов будут v_1 и P . При четырех предикторах строятся два предварительных графика, на которых предъявляются поля характеристик Π_1 , (v_0 , ΔT) и Π_2 (v_1 , P).

На окончательном графике с использованием комплексных предикторов Π_1 и Π_2 получаем поле параметра P :

$$P = F[\Pi_1(v_0, \Delta T), \Pi_2(v_1, P)]. \quad (20)$$

Перед построением двух предварительных графиков и проведением на них изолиний Π_1 и Π_2 изучены связи между загрязнением воздуха и отдельными предикторами. На рис. 10 приводятся зависимости параметра P от скорости ветра v_0 на высоте флюгера при наличии и отсутствии приземной инверсии. Полученный вид кривых и положен в основу для выделения областей на графике, на котором нанесены все значения параметра P в зависимости от v_0 и ΔT . Так, на рис. 10 видно, что в инверсионных условиях основной максимум отмечается при штиле, в случае отсутствия инверсии - при скорости ветра около 5 м/с. Отсюда следует, что области с повышенным уровнем загрязнения воздуха будут выявляться на графике, когда очень слабый ветер сопровождается инверсией в нижнем слое воздуха и когда скорость ветра 5-6 м/с сопровождается положительными значениями ΔT .

а)



б)

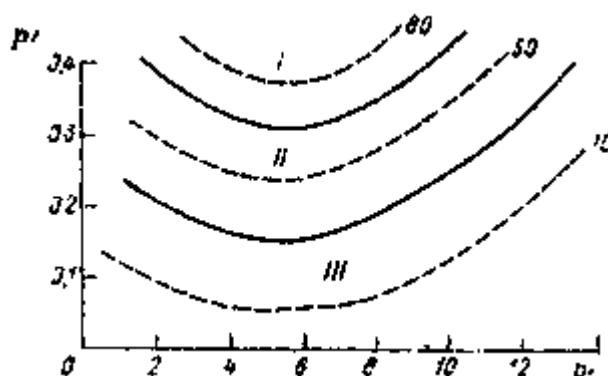
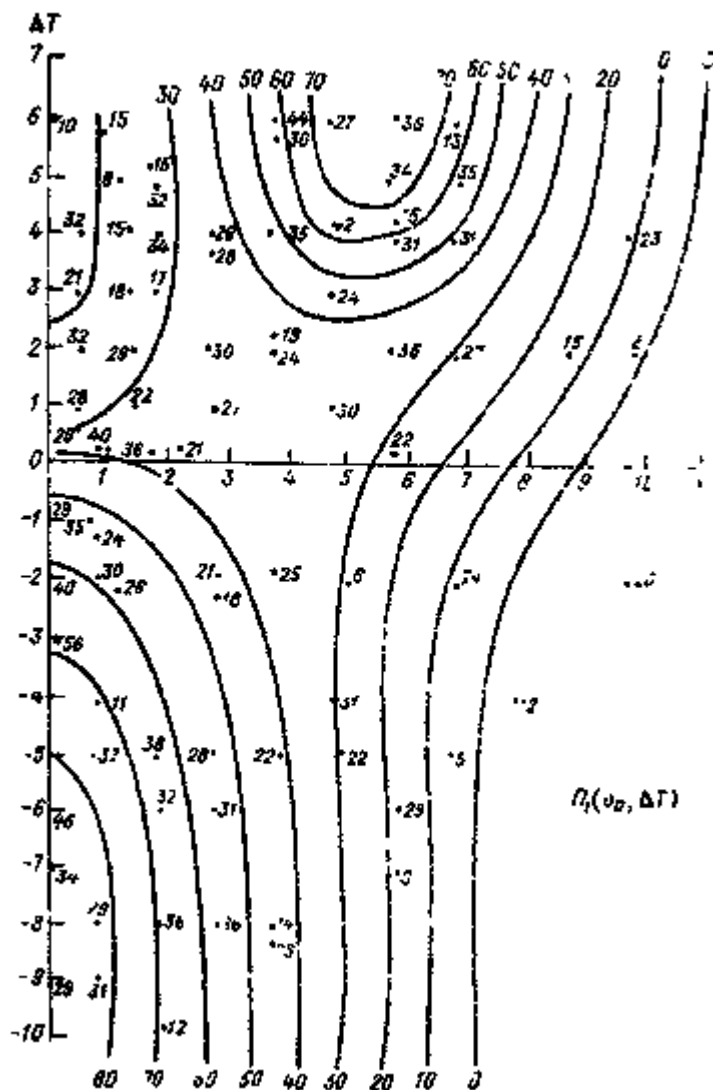
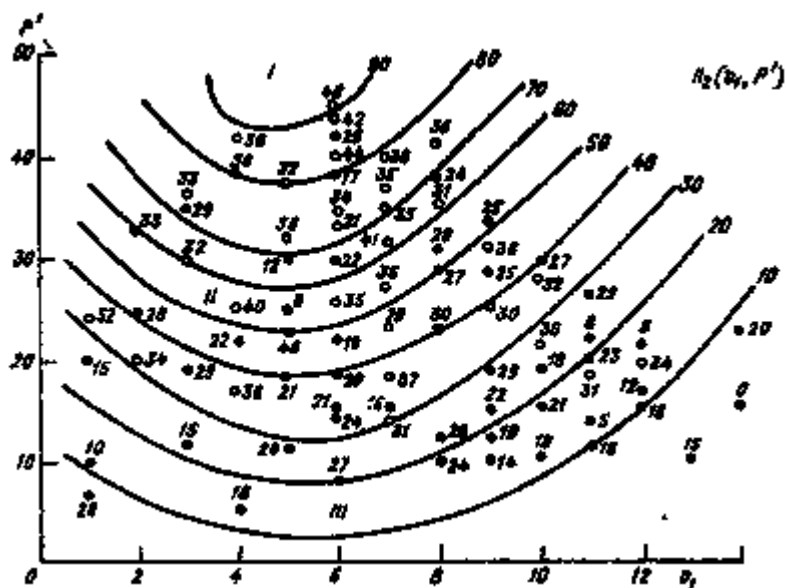


Рис. 11. Области с различной повторяемостью Π высоких значений P

1 - границы областей, 2 - изоляции Π

Область с низким уровнем загрязнения воздуха обнаруживается при больших значениях скорости ветра. При этом ветер в данной области сильнее в случае неустойчивой термической стратификации по сравнению с инверсионными условиями. Вторая область с пониженным уровнем загрязнения должна иметь место при сочетании очень слабого ветра и неустойчивой стратификации. Очевидно, что между указанными четырьмя областями имеет место промежуточная пятая область. На рис. 11 *a* приводятся пять областей. Они были очерчены с учетом фактического распределения значений параметра P , которые приводятся на рис. 12. На рис. 11 рассматривается повторяемость Π значений $P \geq 0,30$. В областях I и II $\Pi \approx 70\%$, в области III $\Pi \approx 20\%$, в области IV $\Pi = 0$, в области V $\Pi \approx 30\%$. Изолинии $\Pi_1(v_0, \Delta T)$ проводятся путем интерполяции (рис. 12).

Рис. 12. $\Pi_1(v_0, \Delta T)$ (первый предварительный график)Рис. 13. $\Pi_2(v_1, P)$ (второй предварительный график).

Аналогично на другом графике (рис. 13) проводятся изолинии Π в зависимости от v_1 и P . Их проведение на данном графике значительно проще, чем на рис. 12. Предварительно было установлено, что в целом P уменьшается с усилением скорости ветра на уровне AT_{925} , но выявляется эффект некоторого снижения загрязнения воздуха при очень малых значениях v_1 . Значение P растет с увеличением P' . С учетом сказанного на рис. 13 выделяются три области со значениями Π_2 (v_1, P), равными 80 %, 50 % и 10 % (см. рис. 11 б). На этом основании проводятся изолинии Π_2 .

При построении окончательного графика для каждого дня используемого ряда наблюдений по значениям v_0 и ΔT с рис. 12 снимается значение Π_1 , а по значениям v_1 и P с рис. 13 - Π_2 . Осями координат окончательного графика являются Π_1 и Π_2 . В соответствующих точках пересечения наносятся значения параметра P (рис. 14). Например, пусть в какой-либо день предикторы имеют следующие значения: $v_0 = 3$ м/с; $\Delta T = 6$ °С; $v_1 = 6$ м/с, а исходный уровень загрязнения воздуха P составляет 0,33. По рис. 12 находим $\Pi_1 = 53$, а по рис. 13 $\Pi_2 = 72$. На окончательном графике (см. рис. 14) в точке (53; 72) наносим соответствующее значение параметра P : $P = 0,31$.

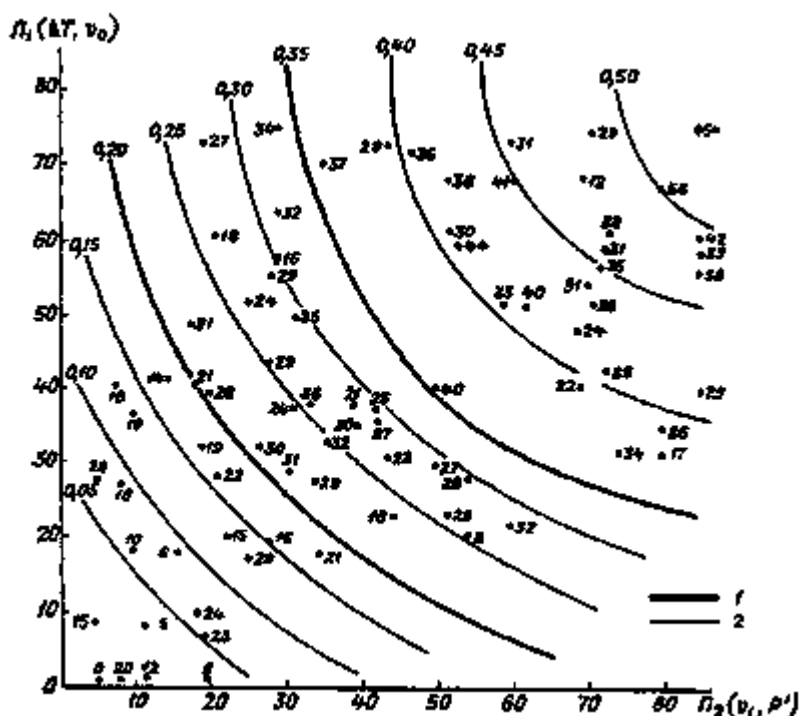


Рис. 14. Окончательный график

1 - границы областей, 2 - изолинии Π

На окончательном графике в первую очередь выделяются три области, соответствующие трем группам параметра P . Конфигурация областей должна быть примерно такой, как на рис. 14, поскольку параметр P должен увеличиваться с ростом Π_1 и Π_2 . Области выделяются таким образом, чтобы оправдываемость прогнозов групп загрязнения воздуха по зависимому материалу была максимальной. Затем проводятся изолинии параметра P , при этом линия, разделяющая области высокого и повышенного уровней загрязнения воздуха, принимается за изолинию 0,35, повышенного и пониженного - за изолинию 0,20. Остальные изолинии являются результатом интерполяции (см. рис. 14).

При использовании в качестве предиктантов Q или a_1 разделяющие области изоляции являются критериями разделения их значений на группы. Изолинии P между областями также могут отличаться от представленных на рис. 14, если их значения по-другому



разделены на группы. Например, в некоторых городах к I группе отнесены значения $P > 0,3$. Тогда между областями, относящимися к I и II группам, проводится изолиния 0,30.

Практически прогноз с использованием разработанной схемы составляется следующим образом. По предсказанным или измеренным (если в схему включены асинхронные предикторы) значениям предикторов на предварительных графиках определяются комплексные предикторы Π_i (Π_1 , Π_2 и др.). На окончательном графике по значениям Π_i определяется ожидаемое значение P или другого интегрального показателя загрязнения воздуха в городе, а также ожидаемая группа загрязнения воздуха в городе.

Примеры составления прогностической схемы методом последовательной графической регрессии

1. На рис. 15 представлена схема, построенная по материалам наблюдений в Донецке, где отсутствуют аэрологические наблюдения. После предварительного анализа в качестве предикторов выбраны T_0 , v_0 , P , ΔH_{850} - градиент геопотенциала на уровне АТ₈₅₀ в г. п. м га 1° меридиана. На рис. 15 прослеживаются основные особенности связей между параметром P и выбранными предикторами по материалам наблюдений в данном городе.

2. В ряде случаев целесообразно разрабатывать схему с включением предиктора P только на последнем этапе. При таком варианте в случае отсутствия у прогнозиста по каким-либо причинам предиктора P прогноз может составляться с использованием только метеорологических предикторов. Такая схема при наличии выполненных разработок в одном из городов какого-либо географического района может использоваться без включения в нее инерционного показателя $P_{\square}$ в других городах этого района со сходной структурой выбросов, в том числе в городах, где отсутствуют необходимые измерения для выполнения соответствующих разработок.

При наличии в городе наблюдений за концентрациями примесей в воздухе учет P необходим. Если исходные данные о концентрациях к моменту прогноза не поступают, то в схему включается P за более ранний срок либо его прогностическое значение на исходный период времени.

Пусть сначала используются четыре метеорологических предиктора: X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , а в дальнейшем - P (исходное значение параметра P). Тогда включение в схему предикторов проводится следующим образом:

$$P = F\{\Pi_1(X_1, X_2), \Pi_2(X_3, X_4), P\} \quad (21)$$

или

$$P = F_{\Pi}(\Pi_3, P), \quad (22)$$

где

$$\Pi_3 = f[\Pi_1(X_1, X_2), \Pi_2(X_3, X_4)]. \quad (23)$$

Здесь Π_1 , Π_2 - повторяемость (%) повышенных значений параметра P как функция двух соответствующих предикторов; Π_3 - повторяемость повышенных значений параметра P как функция четырех метеорологических предикторов (X_1 , X_2 , X_3 , X_4). По сути дела Π_3 характеризует комплекс всех используемых в схеме метеорологических предикторов в таком виде, который в наибольшей степени определяет загрязнение воздуха в городе.

Такой вариант схемы разработан по материалам наблюдений в Москве за зимний сезон, отдельно для дня и для вечера. Здесь в качестве предиктанта принимается параметр P .

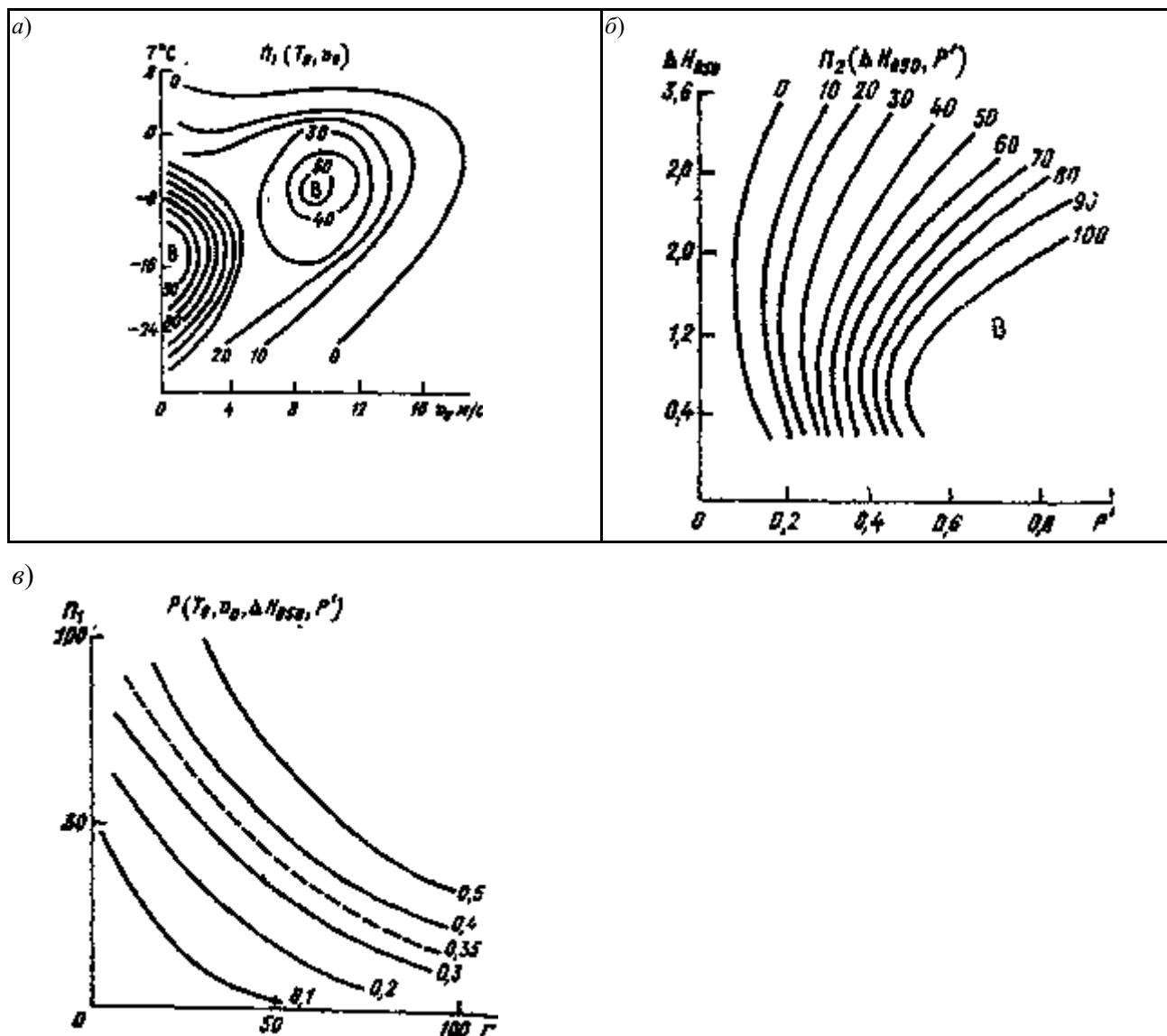


Рис. 15. Графики для предсказания загрязнения воздуха в Донецке зимой.

При разработке дневной схемы использованы материалы отбора проб воздуха за 7 и 13 ч. вечерней схемы - за 19 ч. Предикторами в 1-м случае взяты метеорологические параметры за 3 ч, во 2-м случае - за 15 ч.

Для утреннего и дневного сроков

$$P = F\{[P_1(v_0, DT), P_2(d, Ц)] P\}; \quad (24)$$

для вечернего срока

$$P = F\{[P_1(\bar{v}, H_{тд}), P_2(d, Ц)] P\}. \quad (25)$$

Здесь P_1 и P_2 представляют собой повторяемость значений $P > 0,25$; $Ц$ - синоптическая ситуация, выраженная в баллах от 3 до 10 (см. табл. 8). причем балл 3 приписывается ситуациям, с которыми в наибольшей степени связан высокий уровень загрязнения, балл 10 - ситуациям, определяющим самый низкий уровень.

В схеме для вечернего срока в качестве предиктора вместо ΔT взят $H_{тд}$. По данным радиозонда за 15 ч, в эту часть дня преобладают безынверсионные условия, при этом обнаруживается связь между P и $H_{тд}$. Перенос примесей описывается предиктором $\bar{v}$ -

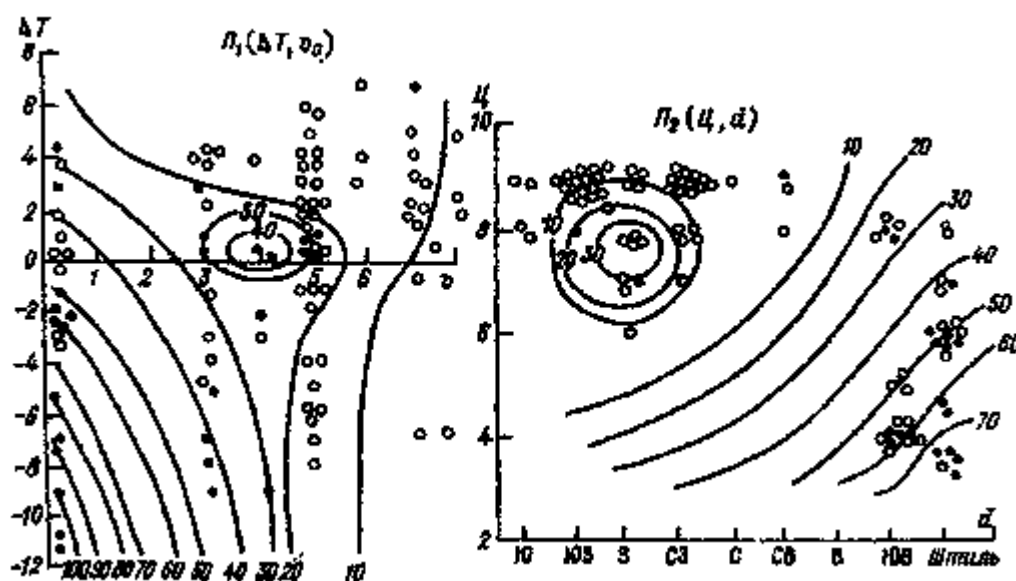
средней скоростью ветра в слое перемешивания. В утренние часы преобладают приземные инверсии. В таких условиях термическая устойчивость характеризуется предиктором ΔT , а скорость переноса примесей - v_0 .

На рис. 16 и 17 приводятся схемы, разработанные для утренних и дневных сроков. На графиках выявляются основные особенности влияния метеоусловий на загрязнение воздуха в Москве (формирование высокого уровня загрязнения в условиях застоя, при ветре юго-восточного направления, при определенных синоптических ситуациях и др.).

Величина Π_3 представляет собой комплекс четырех метеорологических параметров: v_0 ($\bar{v}$), $\Delta T(H_{\text{тд}})$, d , Π , - определяющих уровень загрязнения воздуха. В зоне с $\Pi_3 > 55$ % повторяемость высоких значений P составляет 75 %, за пределами этой зоны - 10 %. Можно принять, что при $\Pi_3 > 55$ % метеорологические условия способствуют формированию высокого уровня загрязнения воздуха.

Дополнительное включение в схему предиктора P' существенно повышает эффективность схем.

Оценка эффективности данной схемы показала, что оправдываемость прогнозов относительно высокого уровня загрязнения воздуха (I группы) составляет для дневных часов 88 %, для вечерних часов 82 %. Предсказуемость случаев высокого уровня загрязнения воздуха составила 91 %. Это означает, что 91 % таких случаев (в Москве к ним были отнесены случаи с $P \leq 0,3$) может быть заблаговременно предсказан.



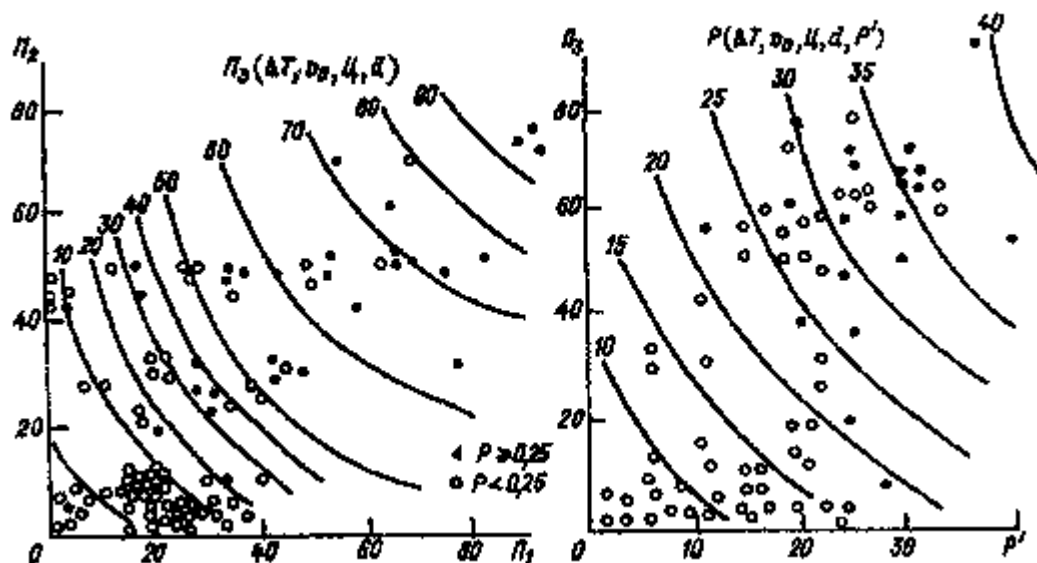
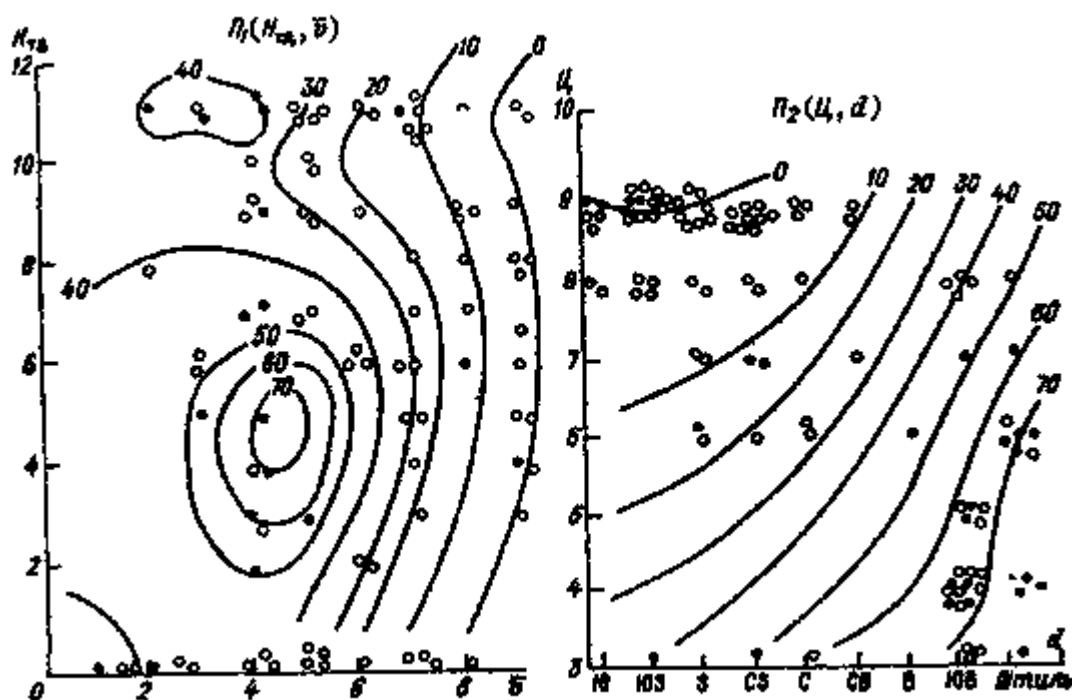


Рис. 16. Схема прогноза загрязнения воздуха в Москве в дневные часы



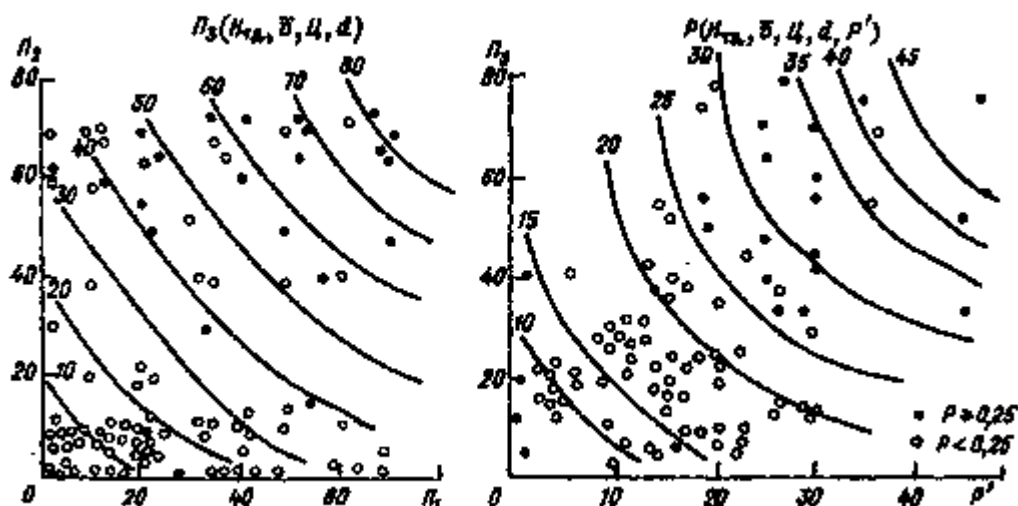


Рис. 17. Схема прогноза загрязнения воздуха в Москве в вечерние часы

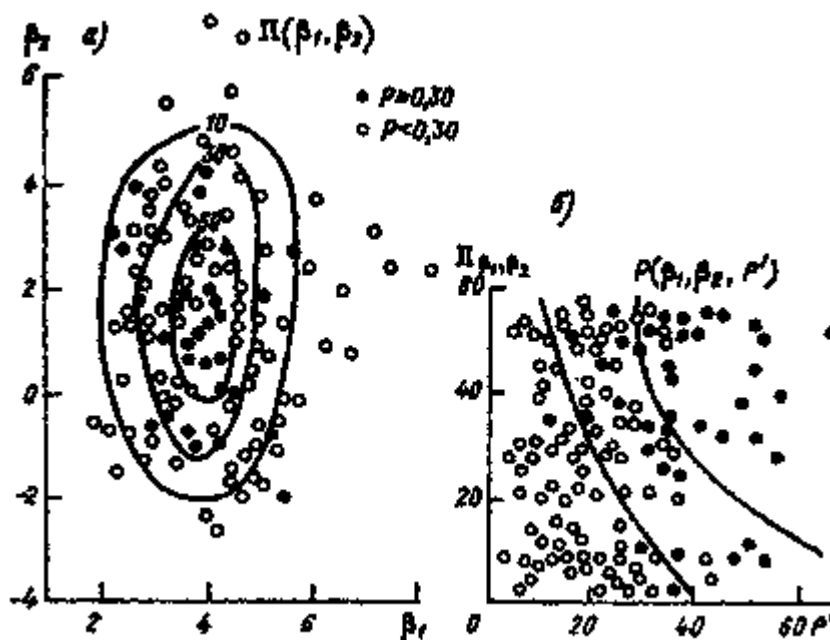


Рис. 18. Схема прогноза загрязнения воздуха в Чите с учетом информативности предикторов по отношению к максимальным концентрациям

3. На рис. 18 представлена прогностическая схема, включающая информативные комплексные предикторы, которая была составлена по материалам наблюдений в Чите за зимний сезон с использованием метода последовательной графической регрессии. В качестве первоначальных предикторов взяты v_0 , T_0 , ΔT и H_1 (обозначения даны в подразделе 2.2) В схему включены два первых комплексных предиктора β_1 и β_2 . На основе выполненных расчетов было получено:

$$\beta_1 = 0,99v_0 - 0,1T_0 - 0,1\Delta T + 0,0002H_1;$$

$$\beta_2 = -0,04v_0 + 0,81T_0 - 0,59\Delta T + 0,0156H_1. \quad (26)$$

Дополнительно в схеме использован предиктор P' , который не учитывался при расчете информативных комплексных предикторов.

На предварительном графике (рис. 18 а) проведены изолинии повторяемости значений $P \geq 0,30$. На окончательном графике (рис. 18 б) выделены три области, соответствующие трем группам загрязнения воздуха. Испытание данной схемы на зависимом материале дало положительные результаты. Оправдываемость прогнозов высокого уровня загрязнения воздуха ($P > 0,35$) составила 88 %.

4. На рис. 19 приводится схема прогноза с использованием только двух предикторов: P и синоптического предиктора S_n . Схема разработана по материалам наблюдений в Екатеринбурге. Такая же схема составлена для Санкт-Петербурга. Большая значимость предикторов P и S_n позволяет в рассматриваемом варианте ограничиться двумя предикторами. Успешность таких схем практически не уступает схемам, составленным с использованием четырех и более предикторов. Оправдываемость прогнозов по данным в Екатеринбурге оказалась 82 %, в Санкт-Петербурге - 84 %. Поскольку S_n устанавливается с учетом ситуаций, определяющих экстремально высокий уровень загрязнения воздуха, рассматриваемые схемы позволяют успешно предсказывать такие редко встречающиеся случаи. Все 11 прогнозов $P > 0,5$, составленные для обоих городов как по зависимому, так и по независимому материалу оправдались.

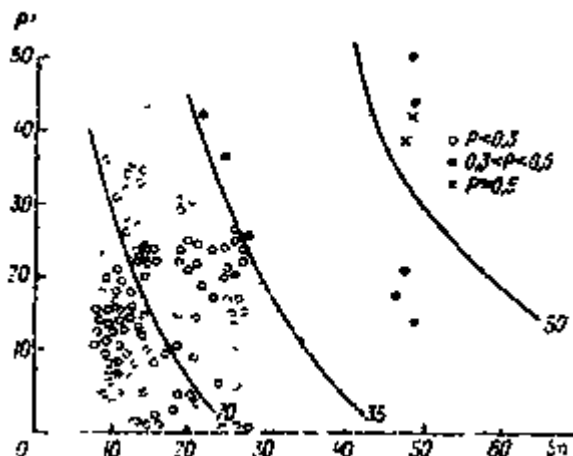


Рис. 19. Схема прогноза загрязнения воздуха с использованием синоптического предиктора, составленная по материалам наблюдений в Екатеринбурге.

Оптимальный вариант прогностической схемы с использованием метода последовательной графической регрессии выбирается в каждом городе в отдельности на основе предварительного анализа связей и с учетом особенностей данного города. По имеющимся данным, оправдываемость прогнозов уровня загрязнения воздуха, составленных по схеме последовательной графической регрессии, в среднем более чем на 10 % превышает оправдываемость прогнозов, составленных по схеме распознавания образов.

8.3. Метод множественной линейной регрессии

8.3.1. Общий вариант

При использовании метода множественной линейной регрессии предиктант (в нашем случае параметры P , α или Q) в зависимости от метеорологических предикторов и исходных значений P , $\square$ или Q ищется в следующем виде

$$P = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i X_i, \quad (27)$$

где X_i - предикторы; a_i - весовые коэффициенты; a_0 - свободный член; a_0 и a_i находятся методом наименьших квадратов при обработке фактического материала наблюдений.



Прогностические схемы разработаны по материалам наблюдений в Москве, Минске и в Самаре. Наиболее информативные предикторы отбирались с помощью статистических характеристик: накопленного вклада в дисперсию предиктанта (параметр P), коэффициента множественной корреляции (R), средней квадратической ошибки уравнения регрессии, абсолютной ошибки предиктанта, средней абсолютной ошибки предиктанта, частных коэффициентов регрессии и их стандартных ошибок. Из 13 предикторов были отобраны четыре - шесть наиболее информативных.

Ниже приводятся уравнения, которые отдельно составлены для случаев наличия слоя перемешивания ($H_{\text{тд}} \geq 10$ гПа) и его отсутствия ($H_{\text{тд}} < 10$ гПа).

для Москвы

Холодный период года

2-я половина дня (сроки 13 и 19 ч)

1) при $H_{\text{тд}} \geq 10$ гПа

$$P \cdot 100 = 44,8P - 0,05 \bar{H}_{\text{м}} + 0,027\Delta v + 9,3; R = 0,54;$$

2) при $H_{\text{тд}} < 10$ гПа

$$P \cdot 100 = 45,9P - 1,29v_0 + 0,74\Delta T + 16,37; R = 0,90;$$

Утро (7-часовой срок)

3) при $H_{\text{тд}} \geq 10$ гПа

$$P \cdot 100 = 58,4P - 0,46 \bar{v} + 0,13 \Delta v + 0,06 \bar{H}_{\text{м}} - 0,51\zeta + 12,1; R = 0,52;$$

4) при $H_{\text{тд}} < 10$ гПа

$$P \cdot 100 = 79,23P - 0,77\zeta + 0,15\Delta T - 0,31 \Delta v_0^{\text{м}} + 0,24v_0 + 8,6; R = 0,73.$$

Теплый период года

2-я половина дня (сроки 13 и 19 ч)

1) при $H_{\text{тд}} \geq 10$ гПа

$$P \cdot 100 = 57,6P + 0,31Dv - 0,02 H_{\text{тд}} - 0,42\zeta + 9,92; R = 0,61;$$

2) при $H_{\text{тд}} < 10$ гПа

$$P \cdot 100 = 58,6P + 0,21Dv - 0,47\zeta + 10,48; R = 0,62;$$

Утро (7-часовой срок)

3) при $H_{\text{тд}} \geq 10$ гПа

$$P \cdot 100 = 69,1P - 1,7 \bar{v} - 0,47\zeta_{\text{пр.д}} + 0,16 \bar{H}_{\text{м}} + 9,6; R = 0,84;$$

4) при $H_{\text{тд}} < 10$ гПа

$$P \cdot 100 = 91,21P - 0,59\zeta + 0,08\Delta T - 0,73 \Delta v_0^{\text{м}} + 0,02v_0 + 3,22; R = 0,76;$$

Для Самары

$$P \cdot 100 = 64P' - 1,99\zeta - 0,15 \bar{v} + 0,003K_{300} + 0,64\Delta v + 0,002 \bar{H}_{\text{м}} + 32,8; R = 0,66.$$

Для Минска

$$P \cdot 100 = 0,56P' - 2,7\zeta - 0,79\Delta v - 1,26v_0 + 0,02DT + 0,003K_{100} + 29,68; R = 0,78.$$



Уравнения для Самары и Минска были получены по материалам наблюдений за весь год без разделения на теплый и холодный периоды. Параметр P рассчитывался по данным наблюдений за 7, 13 и 19 ч.

После каждого из уравнений регрессии приводится значение коэффициента множественной корреляции R между предиктантом и предикторами.

В дополнение к ранее указанным в подразделе 7.2, здесь используются следующие обозначения: $Ц$ - синоптическая ситуация в баллах; $Ц_{пр.д}$ - значение $Ц$ в предшествующий день; Δv_0^{24} - изменение скорости ветра за последние сутки; Δv - разность значений скорости ветра у поверхности земли и на уровне 925 гПа; K_{100} и K_{300} - коэффициенты турбулентности в нижнем 100-метровом и в нижнем 300-метровом слоях (могут быть получены с применением численных методов).

В разработанных схемах в качестве одного из предикторов используется $\bar{H}$ - осредненное по времени значение $H_{тд}$, причем для утренних часов осреднялись значения $H_{тд}$ за 3, 6 и 9 ч, для второй половины дня - за 12, 15 и 18 ч.

В результате составляется простое регрессионное уравнение, на основе которого по известным значениям предикторов (прогностическим или измеренным) легко рассчитывается ожидаемое значение показателя загрязнения воздуха в городе. Недостатком схемы является возможность учета только линейной корреляции, хотя реально связи имеют нередко более сложный характер. Предиктор может включаться в схему множественной линейной регрессии только в том случае, если между ним и предиктантом имеется значимая линейная корреляция.

8.3.2. Вариант с исключением нелинейности связей

Предикторы, используемые в прогностических схемах, могут быть преобразованы с учетом реального вида связей между концентрациями и метеорологическими факторами. Связи между преобразованными предикторами и предиктантом становятся линейными. Это дает основание разрабатывать прогностическую схему с использованием метода множественной линейной регрессии. Прием преобразования заключается в следующем. По материалам наблюдений за старые годы изучается вид связей между показателем загрязнения воздуха в городе (параметр P и др.) и каждым из метеорологических предикторов. Далее с использованием корреляционных кривых или таблиц каждое значение предиктора заменяется на соответствующее ему значение характеристики загрязнения воздуха в городе. Рекомендуются использовать средние значения P , Q или α , хотя могут применяться и другие характеристики (например, повторяемость повышенных значений параметра загрязнения).

Практические приемы исключения нелинейности связей и последующей разработки прогностических схем

По материалам наблюдений в Донецке разработана схема прогноза средних по городу и за день концентраций сернистого газа и двуокиси азота в воздухе, нормированных на среднесезонные значения $Q_{ср.г}$ и $Q_{ср.д}$. Использовались четыре предиктора - v_0 , T_0 , ΔT_1 (разность температур в приземном слое воздуха и на и изобарической поверхности AT_{850}) и Q' (исходное значение параметра Q). На рис. 20 приводятся связи между $Q_{ср.г}$ и метеорологическими предикторами v_0 , T_0 , ΔT_1 . По кривым каждое значение предикторов на весь используемый ряд наблюдений было заменено на соответствующее ему среднее значение $Q_{ср.г}$. Такая же процедура была выполнена и при анализе $Q_{ср.д}$. В результате вместо v_0 , T_0 , ΔT_1 получены преобразованные предикторы $Q(v_0)$, $Q(T_0)$, $Q(\Delta T_1)$. На рис. 20



показаны примеры конкретного преобразования предикторов. Так, при $v_0 = 3$ м/с $Q(v_0) = 1,6$; при $T_0 = 0$, $Q(T_0) = 0,9$ и т.д. Уравнения регрессии имеют следующий вид:

$$Q = a_0 + a_1 Q' + a_2 Q(T_0) + a_3 Q(v_0) + a_4 Q(\Delta T_1). \quad (28)$$

Преобразование предиктора Q не проводилось, поскольку имеется достаточная линейная корреляция между Q и Q' , хотя в принципе и этот предиктор может быть преобразован. Весовые коэффициенты, полученные методом наименьших квадратов, представлены в табл. 12.

Успешность схемы была проверена по использованному для разработок материалу наблюдений. Оправдались все 11 прогнозов высокого уровня загрязнения воздуха NO_2 ($Q > 1,4$). Оправдываемость прогнозов высокого уровня загрязнения воздуха SO_2 составила 84 %.

Эффективность схемы повышается, особенно при прогнозировании аномально высокого уровня загрязнения воздуха (АВЗВ), за которое чаще всего принимается $P \geq 0,5$, если в качестве одного из предикторов включить количественный синоптический предиктор S_{Π} . Такая схема была разработана для прогноза параметра P (по совокупности примесей) по материалам наблюдений за зимний сезон в Екатеринбурге. Получено следующее уравнение регрессии.

$$P = 0,58S_{\Pi} + 0,33P' + 0,31P(\Delta T) + 0,3P(T_0) + 0,29P(v_1) + 0,06P(v_0) - 0,12.$$

При общей высокой успешности данной схемы оправдались все три прогноза АВЗВ.

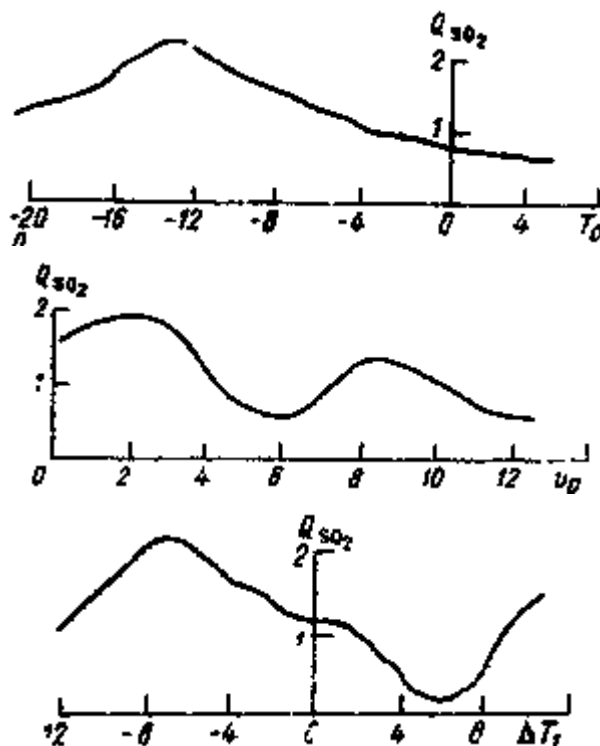


Рис. 20. Нормированная средняя за день концентрация сернистого газа в Донецке (Q_{SO_2}) в зависимости от температуры (T_0), скорости ветра к приземному слою (v_0) и градиента температуры в слое 0 - 850 гПа (ΔT_1)

Таблица 12

Весовые коэффициенты уравнений регрессии

Предиктант	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
Q_{SO_2}	-0,22	0,70	0,27	0,44	0,52



Предиктант	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
$Q_{\text{до}}$	-0,04	0,84	0,19	0,36	0,18

8.4. Метод дискриминантного анализа

Для проведения дискриминантного анализа многолетний архив данных разбивается на две группы. Первая группа в соответствии с подразделом 7.1 включает 10 % наибольших значений интегрального по городу показателя загрязнения. Например, по данным наблюдений в Москве и в Минске I группа характеризуется значениями параметра $P \geq 0,25$, в Самаре $P > 0,35$. Вторая группа характеризует умеренное и низкое загрязнение.

Дискриминантный анализ состоит в том, что для каждого класса на отобранных наиболее информативных предикторах находятся уравнения линейной регрессии (D_1 и D_2 - соответственно дискриминантные функции 1-го и 2-го классов). Весовые коэффициенты уравнений и свободные члены рассчитываются методом наименьших квадратов, как это излагалось в подразделе 8.3.1. Сопоставление полученных значений D_1 и D_2 позволяет сделать вывод о возможности высокого уровня загрязнения, если $D_1 > D_2$. При этом надежность расчетов по полученным на данном материале функциям оценивается по критерию Махаланобиса; чем больше этот критерий, тем больше различия функций 1-го и 2-го классов. Существо данного метода изложено в Руководстве по краткосрочным прогнозам погоды, ч. 1 (Л., Гидрометеиздат, 1986 г.).

Для трех городов (Москва, Минск, Самара) на многолетних рядах данных с помощью отобранных регрессионным анализом наиболее информативных предикторов рассчитаны дискриминантные функции (D_1 - для групп высокого уровня загрязнения и D_2 - для группы умеренного и низкого уровней загрязнения). При выполнении данной разработки в качестве предиктанта взят параметр P , рассчитанный по данным трех сроков отбора проб воздуха в течение дня-7, 13 и 19 ч. Получены следующие уравнения.

для Москвы

Теплый период года (апрель - сентябрь)

$$D_1 = 0,48P + 2,98Ц + 0,20\Delta T - 16,1;$$

$$D_2 = 0,34P + 3,26Ц + 0,15\Delta T - 15,3.$$

Холодный период года (октябрь - март)

$$D_1 = 0,63P + 2,2Ц + 0,02H_{\text{тд}} + 0,26\bar{\Psi} - 14,8;$$

$$D_2 = 0,42P + 2,42Ц + 0,01H_{\text{тд}} + 0,33\bar{\Psi} - 13,1.$$

Для Самары

$$D_1 = 0,14P + 1,32Ц - 0,04\bar{\Psi} - 0,001K_{300} - 0,27\Delta v + 0,02H_{\text{тд}} - 7,11;$$

$$D_2 = 0,02P + 1,96Ц + 0,006\bar{\Psi} - 0,001K_{300} - 0,29\Delta v + 0,007H_{\text{тд}} - 8,66.$$

Для Минска

$$D_1 = 0,30P + 2,34Ц + 0,05\Delta v + 1,0v_0 + 0,01\Delta T - 0,001K_{100} - 11,7;$$

$$D_2 = 0,15P + 3,71Ц + 0,32\Delta v + 1,49v_0 + 0,003\Delta T - 0,003K_{100} - 17,8;$$

В табл. 13 приводится оправдываемость прогнозов загрязнения по параметру P , выполненных с использованием приведенных выше дискриминантных функций для Москвы за период июль 1989 г. - июнь 1990 г. Оправдываемость прогнозов по данному методу рассчитывается в соответствии с разделом 12 настоящего Руководства и сравнивается с оправдываемостью инерционного прогноза.



Оправдываемость (%) прогнозов загрязнения с использованием дискриминантного анализа. Июль 1989 г. - июнь 1990 г. Москва

Время, на которое составляется прогноз	Прогнозы	
	методические	инерционные
На текущий день	96	90
На утро следующих суток	85	80
На дневные часы следующих суток	84	80

Из табл. 13 видно, что при высокой в целом оправдываемости прогнозов она снижается с увеличением заблаговременности. Это в первую очередь связано с уменьшением влияния инерционного фактора. Кроме того, снижается точность метеорологического прогноза.

По материалам наблюдений в Москве дискриминантные функции (D_3 для первого класса, D_4 - для второго) получены для варианта с использованием только метеорологических предикторов. Для теплой части года уравнения имеют вид:

$$D_3 = 3,03Ц - 0,02H_{\text{тд}} - 0,001\Delta v - 0,006\bar{v} - 10,2;$$

$$D_4 = 3,27Ц - 0,08H_{\text{тд}} - 0,0002\Delta v - 0,023\bar{v} - 12,3;$$

для холодной части года:

$$D_3 = 1,4Ц_{\text{пр.д}} + 1,07Ц + 0,44\bar{v} - 0,46v_0 - 8,7;$$

$$D_4 = 1,68Ц_{\text{пр.д}} + 1,15Ц + 0,48\bar{v} - 0,39v_0 - 11,5.$$

Оправдываемость прогнозов параметра P , составленных только по метеорологическим параметрам без учета исходного значения P с заблаговременностью 1 - 1,5 сут, равна примерно 80 %. Оперативные прогнозы составлялись в течение периода июль 1989 г. - июнь 1990 г.

8.5. Прогноз длительных периодов с относительно высоким уровнем загрязнения воздуха в городе

В связи с устойчивостью макрометеорологических процессов и сохранением в течение нескольких суток определенных условий погоды в ряде случаев в городах имеют место длительные периоды с относительно высоким уровнем загрязнения воздуха (ВУЗВ). В течение сезона в среднем наблюдается 2 - 3 таких периода. Их продолжительность составляет чаще всего 3 - 5 дней, но в отдельных случаях достигает 10 и более дней.

Определение синоптических условий формирования периодов с ВУЗВ и установление признаков для их прогноза проводится для условий отдельных регионов и городов. Рекомендации для выделения периодов с ВУЗВ и анализа синоптических процессов, с которыми связано их формирование, были приведены в подразделе 6.2. Там же изложены результаты разработок, выполненных по материалам наблюдений в ряде городов.

Для предсказания неблагоприятных ситуаций, к которым, как уже было отмечено, относятся малоподвижные антициклоны и гребни, безградиентные барические поля и некоторые периферии антициклона, следует в первую очередь воспользоваться среднесрочным прогнозом поля давления и метеорологических элементов. В то же время полезно выполнить специальные разработки для определения в текущем синоптическом процессе признаков последующего формирования неблагоприятной ситуации.

На первом этапе анализируются синоптические процессы, предшествующие в течение трех дней формированию неблагоприятной ситуации. Отыскиваются характерные признаки, которые могли бы указать на осуществление в последующем указанной ситуации. Затем по всему используемому материалу отбираются процессы, содержащие эти признаки.

Устанавливается, в какой степени исходная синоптическая обстановка может определять формирование данной неблагоприятной ситуации. Приводится уточнение найденных прогностических признаков.

В качестве примера рассмотрим выявленные признаки формирования в районе Санкт-Петербурга стационарного антициклона, с которым связаны длительные периоды с ВУЗВ в холодную часть года. Эти признаки состоят в следующем:

- 1) исландский минимум не распространяется на Европейский континент. Циклоны над Северной Атлантикой могут перемещаться при этом в различных направлениях. Иногда депрессия бывает многоцентральной, но сохраняется указанный выше главный признак;
- 2) в центральной или в юго-восточной части ЕТС располагается антициклон или имеет место выход антициклона в эти районы;
- 3) на день до формирования стационарного антициклона в рассматриваемом районе на высотной карте АТ₅₀₀ на меридиане Санкт-Петербурга или западнее до меридиана Гринвича наблюдается блокирующий максимум.

Под блокирующим максимумом понимается барическая система, включающая высотный антициклон и высотный циклон в более южных районах. Такая система устойчива во времени. При этом ведущий западный перенос раздваивается, огибая блокирующий максимум с севера и с юга.

На рис. 21 приводится схема расположения и перемещения барических образований в предшествующем процессе, а на рис. 22 - поле изогипс на карте АТ₅₀₀ за день до формирования стационарного антициклона.

Выделено 26 синоптических процессов, содержащих указанные признаки. Во всех без исключения случаях за этими процессами следовало формирование стационарного антициклона на северо-западе ЕТС. В 22 случаях из 26 после процессов имели место периоды ВУЗВ в Санкт-Петербурге.

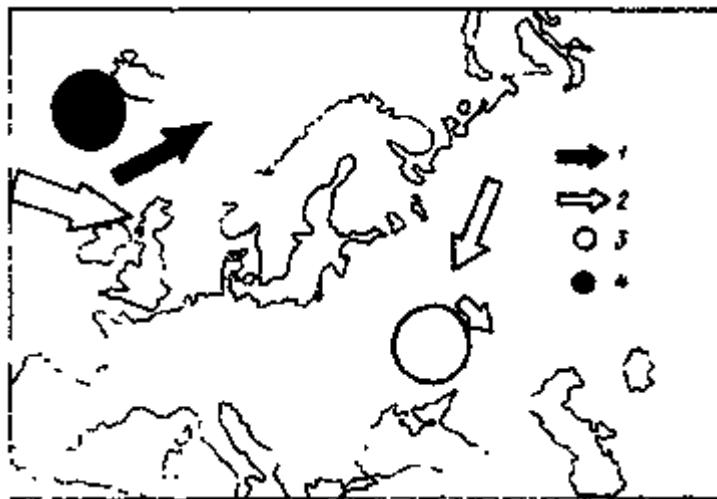


Рис. 21. Схема синоптического процесса, предшествующего формированию стационарного антициклона на северо-западе ЕТС.

1 и 2 - направление перемещения циклонов и антициклонов; 3 и 4 - районы расположения малоподвижных антициклонов и циклонов.

Очевидно, что для различных регионов и городов признаки формирования неблагоприятных ситуаций будут различаться, однако могут выявляться и некоторые общие черты.

Прогнозы периодов ВУЗВ уточняются при одновременном учете суточных прогнозов загрязнения воздуха в городе. Так, если при обнаружении признаков формирования

неблагоприятной ситуации на ближайшие сутки не ожидается высокого уровня загрязнения, то период ВУЗВ начнется позднее.

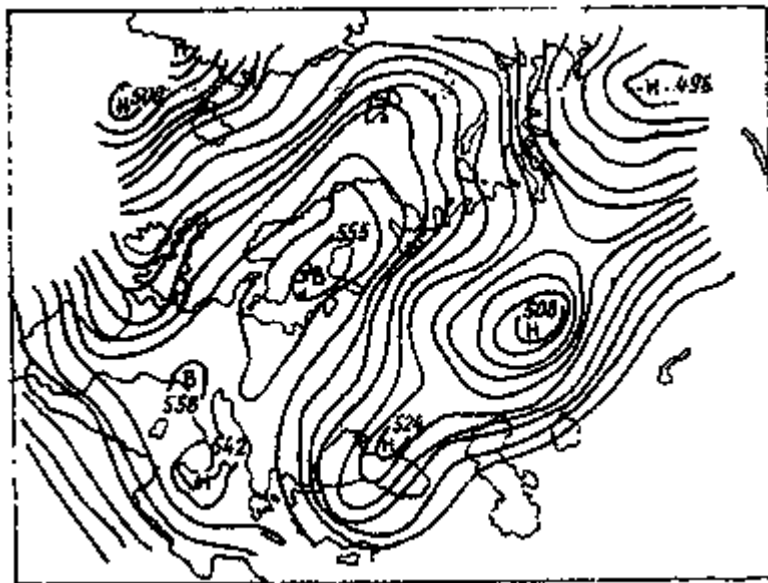


Рис. 22. Поле изогипс AT_{500} , предшествующее формированию стационарного антициклона на северо-западе ЕТС, с блокирующим максимумом западнее Санкт-Петербурга.

9. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОГНОЗУ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ В ВОЗДУХЕ

9.1. Прогноз концентрации примесей в воздухе, создаваемой отдельными источниками и группой источников

При прогнозе загрязнения воздуха от отдельных источников абсолютные значения максимальной концентрации примесей, создаваемые данным источником C_m рассчитываются по формулам (7) и (8). Эти концентрации относятся к расстоянию от источника x_m , которое составляет около $20H$ (H - геометрическая высота источника) для источников с горячими выбросами и $(5 - 10)H$ для источников с холодными выбросами. Более точно x_m рассчитывается в соответствии с методикой расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). Концентрации могут предсказываться и при $x \neq x_m$ на различных расстояниях от источника. При этом расчет выполняется на основе формул, содержащихся в ОНД-86. В ряде случаев, когда предприятие находится за пределами города на расстоянии 10 - 15 км и более, необходим прогноз концентраций на сравнительно большом расстоянии от источника.

Концентрация примесей в воздухе от группы источников рассчитывается и предсказывается на основе сложения в заданных точках концентраций, создаваемых каждым отдельным источником, входящим в рассматриваемую группу. Такие расчеты выполняются отдельно для различных сочетаний направления и скорости ветра. Расчетная максимальная концентрация примеси C_m относится к неблагоприятным метеорологическим условиям нормального типа (см. разд. 2).

В случае аномальных метеорологических условий могут создаваться концентрации q , большие, чем C_m . Их прогноз для приземного слоя воздуха составляется с учетом следующих положений:

если при повышенном турбулентном обмене и скорости ветра, близкой к u_m над источником будет располагаться приподнятая инверсия, то концентрация $q = (1,5...2) C_m$;

если у земли отмечается штиль, а на уровне выбросов скорость ветра близка к опасной (около $1,5...2u_m$), $q \approx 2C_m$;

при переносе выбросов на районы со сложным рельефом предсказывается $q = 1,5...2C_m$;



при осуществлении одновременно двух неблагоприятных комплексов метеорологических параметров $q = 3...4C_m$;

при сочетании слабого ветра (до 2 м/с) и приподнятой инверсии в случае холодных выбросов ожидается концентрация q , равная $5C_m$ и более.

В случае приподнятой инверсии над обширным площадным источником на краю его предсказывается q , равное $5C_m$ и более. Это указывает на значительную опасность приподнятой инверсии в условиях города.

Прогностические значения q характеризуют только те концентрации, которые создаются заданными источниками. Они могут отличаться от реально формирующихся концентраций из-за влияния других источников. Однако это не является существенным с точки зрения эффективности практических мероприятий по защите атмосферы от загрязнения.

9.2. Прогноз концентраций примесей в воздухе в городе

При прогнозе большое значение интегрального показателя загрязнения воздуха по городу в целом (P, Q, a_1) свидетельствует о возникновении опасной ситуации. Это может относиться к отдельной примеси, если показатель рассчитывается для конкретного загрязняющего вещества. Если используется параметр P по совокупности примесей, то при его больших значениях следует ожидать в общем неблагоприятную обстановку в городе. При этом могут быть большие концентрации и тех примесей, которые не измеряются. По материалам наблюдений в некоторых городах (Красноярск, Кемерово, Саратов и др.) случаи формирования больших концентраций специфических примесей и жалобы населения чаще всего наблюдаются в дни с большими значениями параметра P .

Таблица 14

Значение $1,5q_{\text{ср}}$, мг/м³

Примесь	Стационарный пост			
	1	2	3	...
Пыль	0,9	0,8	1,2	
Диоксид серы	0,36	0,51	0,42	

Параметр P является относительной характеристикой общего загрязнения воздуха, однако в каждом отдельном городе при его прогнозе можно оценить возможные абсолютные значения концентрации отдельных примесей. Для этого строится таблица, в которой в заданном городе для каждого поста по отдельным примесям приводятся значения $1,5q_{\text{ср}}$, где $q_{\text{ср}}$ - среднесезонная концентрация. Форма таблицы и пример - значения $1,5q_{\text{ср}}$ пыли и диоксида серы на постах - приведены в табл. 14.

При оперативном прогнозировании загрязнения воздуха по городу в целом такая таблица составляется ежемесячно по способу, указанному в подразделе 7.1.

При прогнозе высокого уровня загрязнения воздуха ($P > 0,35$) следует ожидать, что значительная часть концентраций (по крайней мере, более 1/3) будет превышать значения, указанные в составленных таблицах. При прогнозе экстремально высоких значений P ($P \geq 0,5$) более половины концентраций будет превышать указанные значения,

В случае, представленном в табл. 14, при прогнозе большого значения P можно ожидать концентрации SO_2 в городе, близкие к разовому ПДК ($0,5 \text{ мг/м}^3$) или превышающие ее, а концентрации пыли - превышающие 2 ПДК. Максимальные концентрации в такие периоды достигают наибольших значений, измеренных в соответствующем сезоне в данном городе в течение последних 1 - 2 лет.

10. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

10.1. Синоптический способ прогноза изобарической поверхности 925 гПа

Прогностические карты геопотенциала на уровне поверхности 925 гПа с заблаговременностью 24 и 36 ч в оперативном режиме составляются в Росгидрометцентре по численной схеме «Регион» и передаются на сеть по каналам связи. Аналогичные карты составляются по другой численной схеме в г. Новосибирске (ЗапСибНИГМИ). Однако и те и другие карты имеют ограниченную территорию применения.

При отсутствии прогностической карты АТ₉₂₅ для района прогноза она упрощенно рассчитывается синоптическим способом на основании связи суточных изменений давления у поверхности земли (ΔP_0) с изменениями геопотенциала изобарической поверхности 925 гПа (ΔH_9) (рис. 23). По ожидаемому изменению ΔP_0 определяется ΔH_9 , и полученное значение суммируется с учетом знака с H_9 на исходной карте АТ₉₂₅. Рассчитанная таким образом прогностическая карта АТ₉₂₅ используется для определения начальных точек траекторий при прогнозе температуры на этом уровне и дефицитов влажности, а также для прогноза ветра.

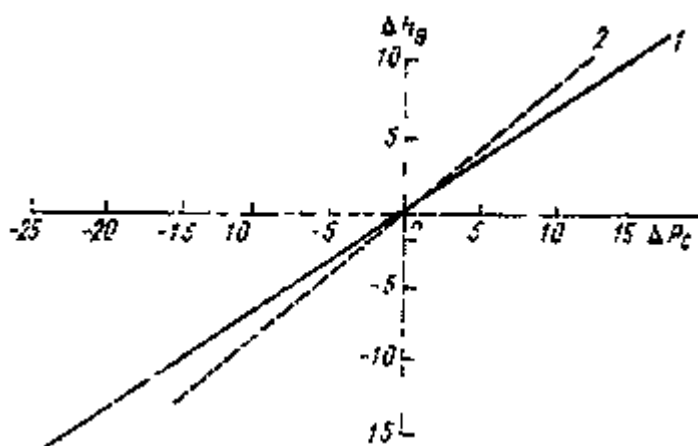


Рис. 23. Связь между ΔP_0 и ΔH_9

1 - холодный период, 2 - теплый период

10.2. Прогноз температуры и дефицита влажности на уровне 925 гПа

Прогноз температуры (T_{925}) и дефицита влажности $(T - T_d)_{925}$ составляется с учетом адвективных изменений, изменений вследствие упорядоченных вертикальных движений, трансформационных изменений и изменений, обусловленных суточным ходом (при прогнозе с заблаговременностью 12 и 36 ч).

Для учета трансформационных изменений построены эмпирические графики для уровня АТ₉₂₅ (рис. 24 - 27). Графики трансформационных изменений ($\Delta T_{тр}$) сделаны применительно к Москве. Однако они могут быть использованы и для других городов Европейской территории России, расположенных в умеренных широтах.

Прогноз температуры и дефицита влажности на изобарической поверхности 925 гПа при наличии графиков трансформационных изменений осуществляется следующим образом.

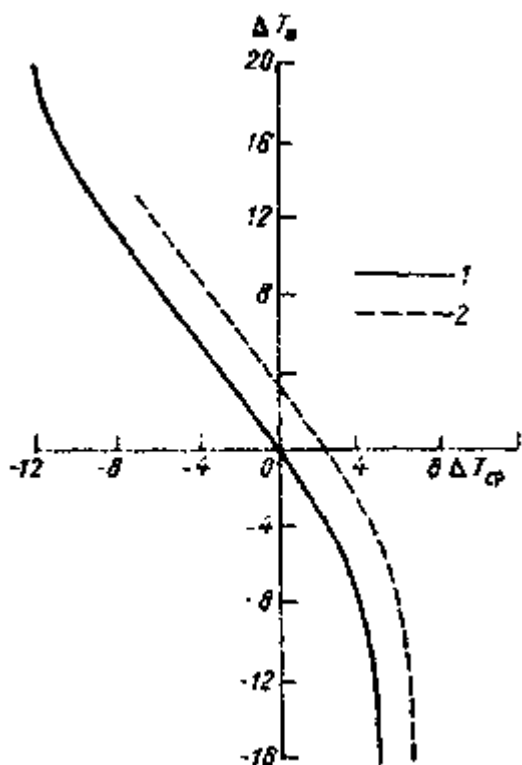


Рис. 24. Графики для определения трансформационных изменений температуры воздуха на уровне 925 гПа за сутки. Весна.

1 - облачно; 2 - малооблачно

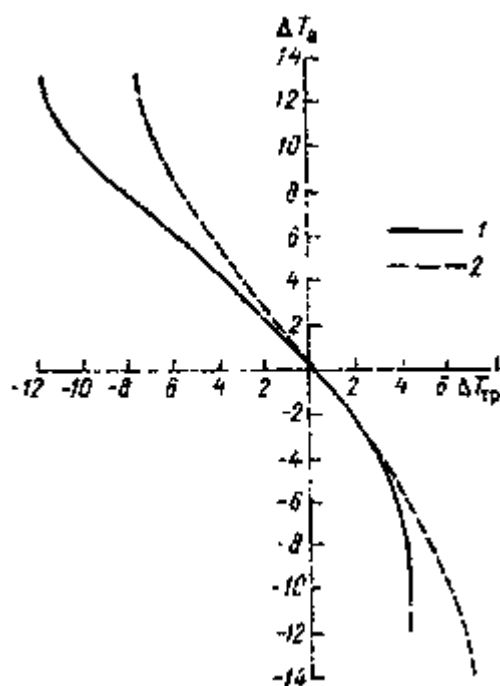


Рис. 25. Графики для определения трансформационных изменений температуры воздуха на уровне 925 гПа за сутки. Лето.

1 - облачно, 2 - малооблачно.

1. На текущий день (заблаговременность 12 ч):

По исходной карте АТ₉₂₅ за 03 ч мск общепринятым способом строим траекторию и определяем район, из которого переместится к 15 ч воздушная масса на район (пункт) прогноза, т.е. находим начальную точку траектории.

В начальной точке траектории с карты АТ₉₂₅ за 03 ч текущих суток снимаем адвективное значение температуры $T_{ан}$ и вычисляем адвекцию ΔT_a для пункта прогноза:

$$\Delta T_a = T_k - T_{ан},$$

где T_k - исходная температура в конечной точке (пункт прогноза).

При $\Delta T_a \leq 2$ °С прогнозируемая температура будет равна ее адвективному значению, но с учетом суточного хода (летом при малооблачной погоде амплитуда может достигать 3 °С, а при пасмурном небе отсутствует).

Ожидаемая температура при $\Delta T_a > 2$ °С будет складываться в пункте прогноза из адвективной температуры в начальной точке траектории, полученной с карты АТ₉₂₅ прошедших суток за 15 ч и трансформационной поправки, полученной с суточных трансформационных графиков (ΔT_a определяется с учетом температуры T в 15 ч предшествующего дня).

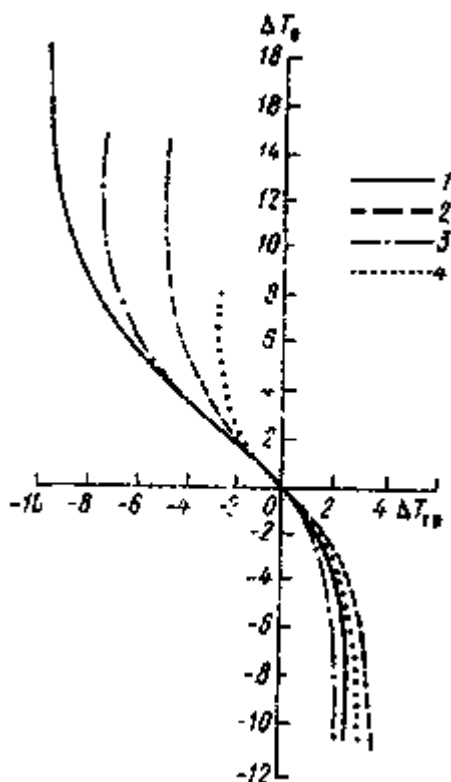


Рис. 26. Графики для определения трансформационных изменений температуры на уровне 925 гПа за сутки. Осень.

Облачно: 1 - Ю, ЮВ, ЮЗ; 2 - С, СЗ, СВ, З, В;
малооблачно: 3 - Ю, ЮВ, ЮЗ; 4 - С, СЗ, СВ, З, В

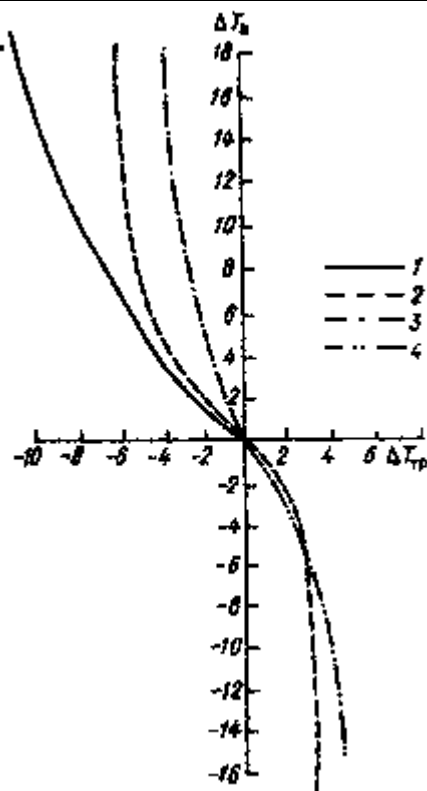


Рис. 27. Графики для определения трансформационных изменений температуры воздуха на уровне 925 гПа за сутки. Зима

Облачно: 1 - Ю, ЮВ, ЮЗ; 2 - С, СВ, СЗ, З, В
(независимо от облачности); малооблачно: 3 - Ю, ЮВ, ЮЗ.

Прогностическое значение дефицита влажности в пункте прогноза берется равным его адвективному значению.

2. На ночь следующих суток (заблаговременность 24 ч).

Для определения района, из которого переместится воздушная масса на пункт прогноза, общепринятым способом строится траектория: первый 12-часовой отрезок откладывается против потока по прогностической карте AT_{925} на 03 ч следующих суток, второй - по исходной карте AT_{925} за 03 ч текущих суток с учетом фактического ветра.

В полученной таким образом начальной точке траектории с исходной карты AT_{925} снимаем значение T и вычисляем ΔT_a аналогично приведенному ранее.

При $\Delta T_a \leq 2^\circ\text{C}$ прогнозируемая температура будет равна ее адвективному значению:

$$T_k = T_{ан}.$$

При $\Delta T_a > 2^\circ\text{C}$ по графикам, представленным для каждого сезона, в зависимости от направления переноса и облачности, определяется значение трансформационного охлаждения или нагревания ($\Delta T_{тр}$).

Ожидаемая температура T_k в пункте прогноза определяется как

$$T_k = T_{ан} \pm \Delta T_{тр}, \quad (29)$$

Прогнозируемое значение дефицита влажности берется равной его адвективному значению.

3. На день следующих суток (заблаговременность 36 ч).



В зависимости от направления переноса за 24 ч экстраполируется поле H_{925} на последующие 12 ч. При этом учитывается тенденция изменения барического поля от исходного срока в 03 ч к 03 ч следующих суток; графически участок экстраполируемого поля представляется на прогностической карте AT_{925} , рассчитанной на ночь следующих суток.

Определяется начальная точка траектории, которая строится тремя отрезками:

первый 6-часовой отрезок откладываем против потока вдоль изогипс проэкстраполированного поля H_{925} на 36 ч вперед;

второй 18-часовой отрезок - по прогностическому полю на 24 ч вперед

третий 12-часовой отрезок - по исходной карте AT_{925} за 03 ч.

Если нет возможности построить участок карты AT_{925} на 36 ч вперед, то по карте на 24 ч вперед строится 24-часовой участок траектории, а 12-часовой - по данным исходной карты AT_{925} . Чтобы исключить учет суточного хода температуры, по фактической карте AT_{925} за 15 ч предыдущих суток строится еще один участок 12-часовой траектории, в конечной точке которой и снимается T_a . Таким образом, прогноз на 36 ч вперед как бы отождествляется с прогнозом на 48 ч.

При $\Delta T_a > 2$ °C определяется $\Delta T_{тр}$ по рис. 24-27. При $\Delta T_a \leq 2$ °C поправка на трансформационные изменения не вводится и прогностическое значение T_{925} будет равно ее адвективному значению в начальной точке траектории с учетом суточного хода.

При отсутствии трансформационных графиков для уровня 925 гПа прогноз температуры и дефицита влажности на изобарической поверхности 925 гПа составляется на основе детального построения траектории (шагом по 6 ч) с последующим снятием вдоль нее температуры или дефицита влажности и их осреднением. При таком приеме трансформационные изменения учитываются автоматически.

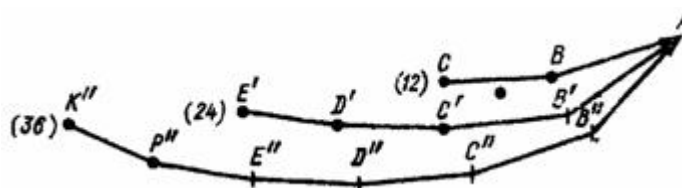


Рис. 28. Прогностическая траектория на 12, 24, 36 ч.

A - конечная точка траектории (пункт прогноза); $AB, BC, \dots, P'', K''$ - 6-часовые отрезки траекторий

Осреднение значений температуры T (°C) и дефицита влажности $T - T_d$ (°C) вдоль прогностических траекторий (рис. 28) на уровне 925 гПа следует производить по формулам:

$$T_{12} = \frac{T_C + T_B + T_A}{3}; \quad (30)$$

$$(T - T_d)_{12} = \frac{(T - T_d)_C + (T - T_d)_B + (T - T_d)_A}{3}; \quad (31)$$

$$T_{24} = \frac{T_E + T_D + T_C + T_B + T_A}{5}; \quad (32)$$

Аналогично рассчитываются значения $T - T_d$ на 24 и 36 ч.

$$T_{36} = \frac{T_K + T_F + T_E + T_D + T_C + T_B + T_A}{7}. \quad (33)$$

При уточнении ожидаемой температуры, обусловленной упорядоченными вертикальными движениями воздуха (τ), принимается $\tau_{925} \approx 0,5\tau_{850}$.

В практической работе для уточнения T на уровне 925 гПа за счет τ рекомендуется: при восходящих τ подъем воздушной частицы с изобарической поверхности 925 гПа независимо от значений упорядоченных скоростей ограничивать высотой уровня конденсации с этой поверхности (аналогично и с изобарической поверхности 850 гПа); при нисходящих τ поправку к температуре не вводить.

При наличии «разрыва» скорости ветра в слое земли - 850 гПа, т.е. значительного изменения скорости ветра (Δv) в этом слое, проводится уточнение прогноза температуры. На основании прогнозов скорости ветра у поверхности земли и на поверхностях 925 и 850 гПа определяется, в каком слое (Δh) можно ожидать «разрыва» скорости ветра и прогнозируется, на сколько понизится температура воздуха на верхней границе слоя разрыва в связи с динамической турбулентностью. Для этого определяется вертикальный градиент скорости ветра ($\Delta v / \Delta h$ м/с на 100 м) в этом слое. По номограмме, представленной на рис. 29, находится термический эквивалент градиента ветра (γ_d). Наклонные линии на номограмме представляют линии равных значений $\Delta v / \Delta h$, а по оси ординат отложена температура T на верхней границе слоя разрыва. Величина охлаждения определяется как $\Delta T = -(g_d \cdot \Delta h)$. Значение ΔT используется для уточнения прогностической кривой стратификации.

Чем больше будет Δv и меньше Δh , тем больше может охладиться воздух за счет динамической турбулентности. Такое охлаждение часто приводит к появлению приподнятых инверсий, которые становятся наиболее опасными, если располагаются над источниками выбросов вредных примесей.

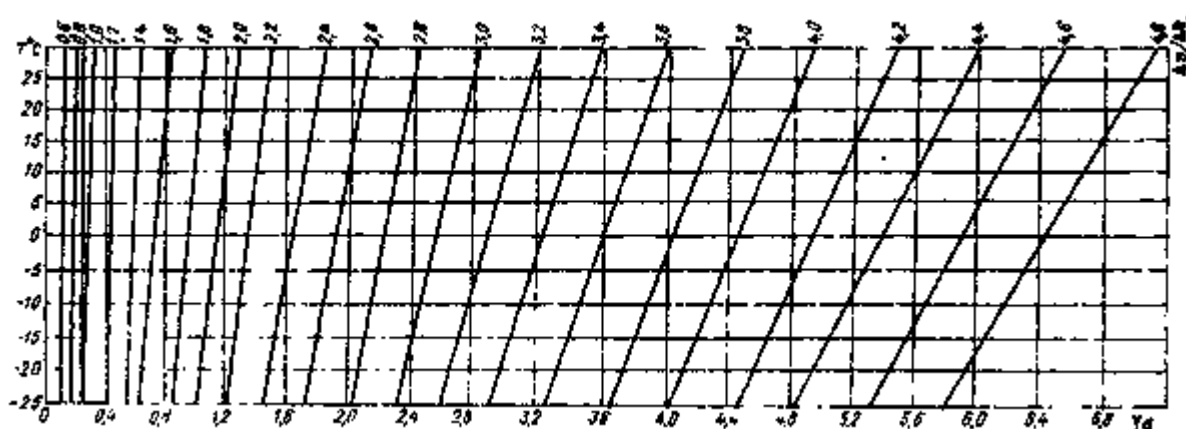


Рис. 29. Номограмма для определения γ_d - термодинамического эквивалента вертикального градиента вектора ветра

10.3. Определение толщины слоя термодинамического перемешивания

Слоем термодинамического перемешивания называется слой с положительной энергией неустойчивости.

Слой термодинамического перемешивания $H_{\text{тд}}$ (в м или гПа) на бланке аэрологической диаграммы (желательно увеличенном) определяется высотой, на которой кривая стратификации пересекается с кривой состояния. За нижнюю границу данного слоя принимается поверхность земли, и если $H_{\text{тд}}$ выражено в гПа, то берется давление, не приведенное к уровню моря. Последнее обстоятельство особенно важно помнить, если $H_{\text{тд}}$ рассчитывается для пунктов, расположенных высоко над уровнем моря. При расчетах $H_{\text{тд}}$ по прогностическим кривым стратификации, для которых используется давление, снятое с прогностических приземных карт (т.е. приведенное к уровню моря), поправку на высоту станций можно определить приближенно, исходя из того, что изменение давления по вертикали на 10 гПа происходит в слое толщиной примерно 100 м.



Максимальная толщина слоя перемешивания на текущий день определяется по аэрологической диаграмме за утренний срок с учетом ожидаемой максимальной температуры воздуха.

Для оценки вклада слоя перемешивания в формирование метеорологических условий, способствующих загрязнению, недостаточно определять только экстремальные значения толщины слоя, следует рассчитывать среднее значение для дня и ночи.

Для расчета среднего $H_{\text{тд}}$ определяется его значение в отдельные сроки. Для этого на бланк аэрологической диаграммы наносятся данные радиозондирования в основные сроки. При этом устанавливается с учетом суточного хода температуры, в какой момент начнет появляться (исчезать) слой перемешивания и как будет меняться его толщина.

При определении степени устойчивости атмосферы и ее термодинамического состояния на текущий день большую помощь оказывают наблюдения за температурой и ветром на высотных метеокомплексах и телевизионных мачтах.

В тех случаях, когда на аэрологической диаграмме видна безразличная стратификация атмосферы или кривая состояния проходит не более чем на 1°C левее кривой стратификации, верхняя граница слоя перемешивания находится на той высоте, на которой эти условия нарушаются.

Расчет $H_{\text{тд}}$ по прогностическим кривым стратификации на 24 ч и 36 ч аналогичен расчетам на текущий день, но появляется необходимость учета изменений температуры, вызванных трансформацией, вертикальными движениями и вертикальными сдвигами ветра.

10.4. Прогноз ветра на изобарической поверхности 925 гПа и у поверхности земли

На поверхности 925 гПа скорость ветра для пункта прогноза снимается по прогностическим градиентам геопотенциала, а направление определяется по направлению изогипс. Однако для AT_{925} нередко использование только градиентов геопотенциала при прогнозе скорости ветра оказывается недостаточным. Следует обращать особое внимание на район, прилегающий к начальной точке траектории, откуда перемещается воздушная масса. Если вблизи него наблюдается сильный ветер (мезоструя), то область такого ветра или ее передний край перемещается примерно со скоростью, составляющей 0,5 скорости геострофического ветра. Таким образом рассчитывается возможное время начала усиления ветра в пункте прогноза, если область сильного ветра охватит данный пункт.

Прогностическое значение скорости ветра у поверхности земли берется из прогнозов погоды общего пользования, а также из специализированных прогнозов слабого ветра.

10.5. Определение средней скорости ветра в слое термодинамического перемешивания

Средняя скорость ветра в слое перемешивания рассчитывается или на основании данных о фактическом распределении ветра в этом слое или на основании прогнозов ветра различной заблаговременности у поверхности земли и на уровнях 925 и 850 гПа.

Если на прогностических кривых стратификации верхняя граница $H_{\text{тд}}$ близка к изобарической поверхности 850 гПа, то средняя скорость ветра $\bar{v}$ рассчитывается по формуле:

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_{925} + v_{850}}{3}; \quad (34)$$

если же она близка к уровню 925 гПа, то формула примет вид:

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_{925}}{2}. \quad (35)$$

При $H_{\text{тд}} < 30$ гПа учитывается только прогностическое значение скорости ветра у поверхности земли v_0 .



Если верхняя граница $H_{\text{гд}}$ находится между изобарическими поверхностями 850 и 925 гПа или 925 гПа и поверхностью земли, то скорость ветра на верхней границе слоя определяется путем линейной интерполяции между скоростями ветра на указанных уровнях.

10.6. Определение типа синоптической ситуации

Тип синоптической ситуации (циркуляционный фактор) $\mathcal{C}$ устанавливается по фактической приземной карте или по картам будущего положения приземного поля давления на 24 или 36 ч вперед.

Циркуляционный фактор (синоптический процесс) оценивается качественно или кодируется по табл. 8.

11. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

11.1. Организация работ

Работы по прогнозированию уровня загрязнения воздуха должны быть организованы во всех городах, где максимальная измеренная концентрация q_m или расчетная C_m хотя бы для одной из примесей превышает ПДК.

При организации работ по прогнозу загрязнения воздуха в новых городах учитывается уровень концентрации примесей по данным измерений за последние 2 года. В первую очередь следует начать прогнозирование для тех городов, где хотя бы по одной из примесей $q_m > 5\text{ПДК}$.

Как правило, прогноз составляется в прогностическом центре для обсуживаемой территории. При необходимости работы по прогнозу загрязнения воздуха могут быть организованы и в отдельных городах данной территории.

При проведении работ по прогнозированию загрязнения воздуха и организации этих работ в городах, где ранее они не велись, необходимо исходить из следующих положений:

1) в городах, где регулярные наблюдения за концентрациями нескольких примесей проводятся не менее чем на трех постах, разрабатываются статистические схемы и на их основании проводится прогнозирование загрязнения воздуха по городу в целом. Одновременно в таких городах осуществляется прогноз загрязнения от отдельных источников.

Если постов в городе не менее семи, то дополнительно разрабатываются прогностические схемы и проводится практическое прогнозирование по городу в целом для отдельных примесей;

2) в городах, где регулярные наблюдения за концентрациями проводятся на одном - двух постах основным является прогнозирование уровня загрязнения воздуха от отдельных источников. Одновременно на основе предварительных разработок прогнозируются метеорологические и синоптические условия, определяющие высокие и низкие уровни загрязнения в городе;

3) в городах, где отсутствуют регулярные наблюдения за концентрациями, но известно (на основе расчетов, эпизодических измерений или качественной оценки), что состояние воздушного бассейна неблагоприятно, прогнозирование проводится для отдельных источников, определяющих уровень загрязнения воздуха.

В первую очередь необходимо организовать прогнозирование загрязнения воздуха от крупных промышленных объемов, являющихся основными источниками выбросов в воздушный бассейн города. Для таких объектов следует получить сведения о числе труб, их высоте и диаметре, количестве выбрасываемых примесей, объеме газов, выходящих в единицу времени, скорости их выхода из труб, температуре выбросов. По этим данным рассчитываются максимальные концентрации примесей C_m при нормальных метеорологических условиях так, как это изложено в подразделе 2.1. Анализируются данные наблюдений под факелами рассматриваемых предприятий, а также данные стационарных



наблюдений при направлении ветра со стороны источника на пункт отбора проб. На основании анализа расчетных и измеренных концентраций делается вывод о вкладе источников в уровень загрязнения воздуха в городе.

Для каждого источника определяются опасные скорость и направление ветра. При выборе источников для обслуживания предпочтение отдается предприятиям, расположенным на окраине или за пределами города, поскольку в этом случае проще предсказание опасных условий загрязнения воздуха. В конечном счете, должны быть охвачены все источники выбросов, дающие вклад в создание приземных концентраций. В соответствии с рекомендациями, изложенными в разделе 8, по данным наблюдений не менее чем за 3 года составляется статистическая схема для прогноза загрязнения воздуха по городу в целом. Затем по имеющимся материалам проводится проверка и уточнение прогностических правил.

При ежедневном оперативном прогнозировании наряду с прогностической схемой и прогностическими правилами (комплексами предикторов и синоптическими ситуациями) используются изложенные в подразделе 7.6 качественные правила, указывающие на возможные изменения уровня концентраций. Использование прогностических правил для практического предсказания уровня загрязнения воздуха имеет особенно большое значение в тех городах, где данных регулярных измерений недостаточно для составления статистической схемы.

11.2. Работа прогностических подразделений

Прогнозы загрязнения воздуха составляются специально выделенными в каждом управлении по гидрометеорологии и мониторингу природной среды группами. Группы могут создаваться и в периферийных центрах по гидрометеорологии. Однако здесь допускается ограничиться назначением ответственного за прогнозирование загрязнения воздуха и подключением к этой работе дежурных инженеров-синоптиков.

Перед составлением прогноза загрязнения воздуха предварительно выполняется два вида работ:

1) предсказываются необходимые для прогноза загрязнения воздуха метеорологические условия. В первую очередь рассматривается имеющийся прогноз общего пользования. По возможности уточняется прогноз отдельных метеозлементов: направления и скорости ветра, температуры воздуха и др. При этом учитываются прогностические синоптические карты, в том числе полученные на основе численного прогноза. Специально для данной задачи предсказывается термическая стратификация атмосферы, в том числе приземные и приподнятые инверсии, толщина слоя перемешивания в различные часы суток, скорость ветра на уровне 925 гПа;

2) проводится тщательный анализ всей исходной информации о загрязнении воздуха на территории обслуживаемых городов различными примесями, в том числе специфическими вредными веществами. К прогнозисту должна поступать вся информация о концентрациях примесей в воздухе в исходный момент времени, в том числе данные наблюдений со стационарных и маршрутных постов, подфакельные наблюдения. Устанавливаются районы городов, где отмечаются высокие концентрации различных примесей в воздухе. По возможности определяются источники, являющиеся виновниками создания таких концентраций. Для этого у прогнозиста должны быть сведения о расположении основных источников загрязнения воздуха в городе, об их параметрах выбросов, в первую очередь о количестве поступающих в атмосферу примесей, в том числе специфических, о высоте их поступления.

Прогнозистам необходимо иметь в своем распоряжении расчетные значения максимальных концентраций C_m , расстояний от источников x_m , где имеет место C_m , а также диапазон расстояний, где расчетная концентрация C мало отличается от C_m , значения опасной скорости ветра u_m для основных источников, расположенных в городе.



Затем с использованием материалов регулярных наблюдений в заданных точках города рассчитывается исходное значение параметра P или другого показателя загрязнения воздуха по городу в целом.

После выполнения указанных предварительных работ составляется непосредственно прогноз загрязнения воздуха. Параллельно и независимо друг от друга составляются прогнозы загрязнения двух видов: от отдельных источников и по городу в целом.

При составлении прогноза для отдельных источников сначала предсказываются все метеорологические параметры, входящие в неблагоприятные комплексы. На этом основании делается вывод о возможности формирования высоких уровней загрязнения воздуха за счет выбросов обслуживаемых объектов.

Прогноз загрязнения воздуха по городу в целом составляется с использованием статистической схемы и прогностических правил.

Прогнозы составляются 2 раза в сутки: утром (до 10 ч) на текущий день и во второй половине дня (в 13 - 15 ч) на следующий день. Одновременно с прогнозом на следующий день составляется уточненный прогноз на конец дня и на вечер. Если ожидается высокий уровень загрязнения воздуха, то вместе с прогнозом дается предупреждение, которое направляется потребителям. Если как по городу в целом, так и для отдельных источников высокого загрязнения воздуха не ожидается, то результаты прогноза записываются в журнал и потребителям не передаются.

После передачи потребителям предупреждения об ожидаемом опасном загрязнении воздуха, начиная с момента наступления его срока, в прогностическом центре устанавливается контроль за изменениями метеорологических и аэрологических характеристик, определяющих опасную метеорологическую ситуацию. В прогностический центр должна поступать информация о скорости и направлении ветра у земли и в нижнем слое атмосферы (до 300 - 500 м), а также о вертикальном распределении температуры в указанном слое с ближайшей метеостанции, с пункта шаропилотных наблюдений, с пункта радиозондирования, а также с телебашни, если на ней ведутся метеорологические наблюдения.

По данным аэрологических наблюдений прослеживается последовательное изменение скорости ветра, ведущее к штилевым условиям, определяется верхняя граница штилевой зоны, делается заключение о направленности изменений скорости ветра, о наличии инверсии и ее положении относительно эффективной высоты источника.

Контроль за метеорологическими условиями продолжается до исчезновения опасной ситуации.

Одновременно осуществляется непрерывный контроль за состоянием загрязнения воздуха в обслуживаемых городах, происходящими изменениями уровня загрязнения воздуха различными примесями.

Наряду с указанными работами специалисты прогностических групп анализируют эффективность предупреждений (см. раздел 14). Анализ проводится с использованием данных о концентрациях примесей в воздухе, об интегральных показателях загрязнения воздуха, а также сведений о реальном выполнении мероприятий при НМУ.

Проводится оценка прогнозов загрязнения воздуха, специально выполняется анализ неоправдавшихся прогнозов и непредсказанных опасных эпизодов.

В связи с региональным характером прогнозирования загрязнения воздуха специалисты выполняют работы по составлению и усовершенствованию схем прогноза, по детализации прогнозов, повышению их заблаговременности, увеличению точности. Совместно с сотрудниками подразделений Минэкологии они участвуют в согласовании разработанных на предприятиях мероприятий по регулированию выбросов. Определяется достаточность мероприятий для уменьшения загрязнения воздуха до необходимого уровня.

Специалисты по прогнозу загрязнения воздуха осуществляют методическое руководство данными работами в периферийных подразделениях на обслуживаемой территории.



11.3. Порядок работы подразделений, анализирующих пробы воздуха. Взаимодействие с прогностическими подразделениями

Важным условием успешного прогнозирования загрязнения воздуха в городе является своевременное поступление к прогностисту оперативной информации о загрязнении воздуха.

Требуется информация двух видов:

- 1) ежедневная оперативная информация, необходимая для расчета обобщенной характеристики загрязнения воздуха по городу в целом и для оценки сложившейся обстановки в городе;
- 2) результаты дополнительных измерений концентраций примесей в воздухе, проводимых в периоды действия предупреждений о возможном росте загрязнения.

Это представляет определенные требования к подразделениям, которые анализируют пробы воздуха.

Основное из них заключается в оперативном анализе проб воздуха и представление результатов анализа в прогностическое подразделение к необходимому сроку.

При ручном химическом анализе проб воздуха результаты анализа должны поступать к прогностисту не позднее, чем через 4 ч после выполнения измерений. Для выполнения такого требования рекомендуется организовать двухсменную работу химической лаборатории. При ее работе в одну смену результаты измерения концентрации за 7 ч текущего дня и 19 ч предыдущего дня поступают к прогностисту к 11 ч, за 13 ч - к 17 ч. Указанный подход сохраняется при выполнении измерений по скользящему графику.

При наступлении срока действия предупреждения о высоком уровне загрязнения воздуха в городе проводятся учащенные наблюдения за концентрациями примесей в воздухе. На стационарных постах города наблюдения проводятся через каждые 3 ч в течение всего периода действия предупреждения.

В случае, когда ожидается высокий уровень загрязнения воздуха от отдельных источников, сотрудниками химических лабораторий проводятся учащенные наблюдения за концентрациями основных выбрасываемых примесей под факелами предприятий. Отбор проб проводится не менее чем в двух точках вблизи ожидаемого максимума концентраций. Отобранные пробы как на стационарных постах, так и под факелами источников доставляются в химлабораторию, где немедленно анализируются, значения концентраций сообщаются в прогностический центр. Подфакельные наблюдения следует проводить через 2 ч в течение периода сохранения опасных метеорологических условий.

Если стационарные посты, имеющиеся в городе, попадают в зону максимальных значений концентраций от факела промышленного предприятия, то на таких постах наблюдения проводятся через каждые 3 ч в течение всего периода сохранения неблагоприятной ситуации для данного предприятия.

Сотрудники подразделений, анализирующие пробы воздуха, участвуют в работе по передаче предупреждений потребителям.

11.4. Использование данных автоматизированных систем контроля загрязнения атмосферы в целях уточнения прогнозов загрязнения воздуха

Данные автоматизированных систем контроля загрязнения атмосферы используются прогностистами в первую очередь для оперативной оценки состояния воздушного бассейна в городе. При наличии в городе такой системы у прогностистов устанавливается табло, на котором ежечасно указываются концентрации примесей на стационарных постах. С помощью этих данных устанавливается пространственное распределение загрязнения по территории города, характер его временных изменений. Наряду с единичными концентрациями автоматизированная система ежечасно выдает значение обобщенного по городу показателя загрязнения воздуха за последние 6 ч для отдельных примесей и их совокупности. Включение в прогностическую схему оперативно рассчитанных значений



обобщенных показателей (P , Q , a) за самые последние часы должно повысить эффективность прогнозов.

Данные о концентрациях тех примесей, которые не измеряются автоматизированной системой, поступают к прогнозисту в соответствии с изложенным в подразделе 11.3 порядком и также учитываются при составлении прогноза, в частности используются при оперативном расчете обобщенных по городу показателей загрязнения воздуха.

Автоматизированная система контроля загрязнения атмосферы включает в себя прогностический блок. В этот блок входят расчет обобщенного показателя загрязнения воздуха по городу в целом и составление статистического прогноза. Такой прогноз выдается не менее 4 раз в сутки, из них 2 раза - в периоды составления основного и уточненного прогноза. Если концентрации всех примесей измеряются автоматически, то можно ограничиться теми прогнозами, которые выдает система. Прогнозист в дополнение к данному прогнозу только анализирует возможные резкие изменения метеорологических условий (выход активного циклона, прохождение фронта и др.) и определяет их влияние на уровень загрязнения воздуха. Если с помощью системы измеряются концентрации части примесей, а остальные определяются ручными способами, то прогнозы составляются установленным порядком с дополнительным учетом результатов работы автоматизированной системы.

Для составления прогнозов загрязнения воздуха с использованием автоматизированной системы применяются статистические схемы, в том числе рекомендуемые в данном Руководстве схемы, разработанные по методу множественной линейной регрессии с предварительным исключением нелинейности связей и по методу распознавания образов.

12. СОСТАВЛЕНИЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЙ ОБ ОПАСНОМ УРОВНЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Составляются два вида предупреждений о возможном формировании опасного уровня загрязнения воздуха: от одиночных источников и по городу в целом. Обычно предупреждения составляются одновременно с основным или уточненным прогнозом, однако они могут составляться в любую часть суток по мере возникновения угрозы значительного загрязнения. Заблаговременность предупреждения не превышает 36 ч. Предупреждения передаются подразделениями Росгидромета руководящим органам городов, на предприятия, являющиеся источниками загрязнения приземного слоя воздуха, а также контролирующим организациям (подразделениям Минэкологии, СЭС, ГАИ и др.).

Основанием для передачи потребителям предупреждения являются ожидаемые неблагоприятные метеоусловия (НМУ), при которых могут возникнуть относительно высокие уровни загрязнения воздуха, в том числе, превышающие ПДК концентрации.

Предупреждения составляются с учетом возможного наступления трех степеней опасности, которым должны соответствовать определенные режимы работ промышленных предприятий.

Если высокий уровень загрязнения воздуха (например, $P > 0,35$) не был заранее предсказан из-за неправильного прогноза метеоусловий или значительного увеличения выбросов (в том числе и при отсутствии НМУ), то составляется оповещение о наступившем явлении. При этом сохраняются те же три степени опасности.

Предупреждения всех трех степеней опасности составляются только в тех городах, где максимальные концентрации хотя бы одной из примесей (q_m) превышают 5ПДК. Если 3ПДК, то составляются предупреждения 1-й и 2-й степеней. В тех городах, где $\text{ПДК} < q_m \leq 3\text{ПДК}$ составляются предупреждения только первой степени опасности.

В подразделах 12.1, 12.2 рассматриваются критерии, в соответствии с которыми даются предупреждения каждой из указанных степеней опасности.



12.1. Составление предупреждений для отдельных источников

Предупреждения об опасном уровне загрязнения воздуха для отдельных источников выбросов составляются, когда ожидаются НМУ, при которых максимальные концентрации примесей в воздухе, создаваемые источником или группой источников, могут превышать C_m .

Предупреждения составляются независимо от того, расположен ли источник изолированно или в окружении других источников. Предсказываются и учитываются на основе расчетов только те концентрации, которые создаются обслуживаемым предприятием.

Предупреждение первой степени опасности дается, когда предсказывается один из неблагоприятных комплексов метеоусловий, приведенных в разделе 1.

Предупреждение второй степени опасности передается, если предсказывается наступление двух неблагоприятных комплексов метеоусловий одновременно (например, приподнятая инверсия в сочетании с неблагоприятным направлением ветра при опасной скорости ветра u_m). Такие предупреждения составляются только в тех городах, где $q_m > 3\text{ПДК}$. Если $\text{ПДК} < q_m \leq 3\text{ПДК}$, то при указанных условиях составляется предупреждение 1-й степени опасности.

Предупреждение третьей степени опасности составляется в случае, когда после передачи предупреждения второй степени опасности поступающая информация показывает, что при сохраняющихся метеорологических условиях принятые меры не обеспечивают необходимую чистоту атмосферы. Такие предупреждения составляются только в тех городах, где хотя бы для одной из примесей $q_m > 5\text{ПДК}$.

Если обслуживаемое предприятие расположено в городе, где отсутствуют измерения концентраций примесей в воздухе, то предупреждения третьей степени опасности не составляются.

12.2. Составление предупреждений по городу в целом

Основанием для передачи предупреждений о высоком уровне загрязнения воздуха по городу в целом является ожидаемое значение обобщенного показателя.

При использовании в качестве такого показателя параметра P рекомендуется следующий порядок составления предупреждений.

Предупреждение первой степени опасности дается, если предсказывается $0,5 \geq P > 0,35$, при этом в городе $q_m > \text{ПДК}$.

Предупреждение второй степени опасности составляется, если ожидается $P > 0,5$, при этом в городе $q_m > 3\text{ПДК}$. Если в каком-либо городе $\text{ПДК} < q_m \leq 3\text{ПДК}$, то при этих же условиях передается предупреждение 1-й степени. Предупреждение второй степени опасности составляется также, если после передачи предупреждений первой степени опасности поступающая информация показывает, что принятые меры не обеспечивают необходимую чистоту атмосферы.

Предупреждения третьей степени опасности даются в том случае, когда после передачи предупреждения второй степени опасности сохраняется высокий уровень загрязнения атмосферы и ожидается сохранение неблагоприятного комплекса метеоусловий в случае, при этом в городе $q_m > 5\text{ПДК}$.

Указанный принцип передачи предупреждений сохраняется и при использовании других обобщенных показателей загрязнения воздуха по городу в целом. При этом предупреждение первой степени опасности составляется, если ожидается показатель загрязнения воздуха, входящий в 10 % наибольших значений, второй степени опасности - в 2 % наибольших значений. Сохраняется указанное выше условие составления предупреждения третьей степени опасности.



13. ТЕРМИНОЛОГИЯ И ОЦЕНКА ОПРАВДЫВАЕМОСТИ ПРОГНОЗОВ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЙ О ВЫСОКОМ УРОВНЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

13.1. Терминология и оценка оправдываемости прогнозов и предупреждений о высоком уровне загрязнения воздуха для случая отдельных источников

Если не ожидаются неблагоприятные метеорологические условия, определяющие высокий уровень загрязнения воздуха за счет выбросов отдельных источников, то прогноз дается в следующей формулировке: «Высокий уровень загрязнения воздуха от отдельных источников не ожидается». Такой прогноз записывается в журнал и потребителям не передается. Если прогнозируются неблагоприятные метеороусловия для одной из выделенных групп источников или для отдельных предприятий (при малом числе обслуживаемых предприятий), то в журнале указывается ожидаемый комплекс параметров. Запись ведется в следующей формулировке: «25 января ожидается северо-восточный ветер 5 - 8 м/с, нижняя граница приподнятой инверсии в течение дня (или в течение какой-то части дня) 200 - 400 м. Метеоусловия неблагоприятны для 1-й группы источников» Затем записывается текст предупреждения, которое передается потребителям.

При большом количестве обслуживаемых предприятий предупреждение передается по радио в следующей формулировке: «На предприятиях, на которых проводится регулирование выбросов, с... часов (дата) до... часов (дата) источники... группы работают в режиме три (два, один)».

Если предупреждение передается непосредственно на предприятие с большим количеством источников, то сообщается и записывается в журнал следующий текст: «с... часов (дата) до... часов (дата) источники... группы работают в режиме три (два, один)». Если обслуживаемое предприятие представляет собой один источник, то сообщается: «с... часов (дата) до... часов (дата) режим работы три (два, один)».

Если в течение срока действия предупреждения (оповещения) на основе анализа поступающей информации выясняется, что угроза формирования высокого уровня загрязнения воздуха более не наблюдается, то дается отмена в следующей формулировке: «На предприятиях, на которых проводится регулирование выбросов, источники... группы переходят на обычный режим работы».

Если оснований для сокращения указанного в предупреждении периода его действия не имеется, то отмена не передается. Действие прекращается автоматически в срок, указанный при передаче предупреждения (оповещения).

Оценка оправдываемости прогнозов загрязнения воздуха от отдельных источников производится двумя градациями: «оправдалось» и «не оправдалось». Прогнозы отсутствия неблагоприятных метеороусловий считаются оправдавшимися, когда такие условия не наблюдались. При оценке метеорологических условий высокого уровня загрязнения воздуха необходимо оценить оправдываемость прогноза каждого элемента в отдельности. Прогноз направления и скорости ветра, а также туманов оценивается в соответствии с Наставлением по службе прогнозов, раздел 3, части III, IV, V, (Гидрометеиздат, М., 1978) и инструкцией по оценке прогнозов слабого ветра. Прогноз высоты слоя перемешивания или высоты нижней границы приподнятой инверсии считается оправдавшимся, если фактическая высота отличается от предсказанной не более чем на 200 м. Прогноз в целом считается оправдавшимся, если наблюдаются соответствующие градации не менее двух метеорологических элементов из ожидаемого комплекса. Исключения составляют случаи, когда при расположении объекта за пределами или на окраине города не наблюдается ожидаемого направления ветра. При этом прогноз считается не оправдавшимся независимо от осуществления других условий. Прогноз высокого уровня загрязнения воздуха получает оценку «оправдался», когда отклонение наступления неблагоприятных метеорологических условий во времени не превысило допустимые пределы. Оценка наступления явления в



ожидаемые сроки проводится в соответствии с действующим Наставлением по службе прогнозов.

13.2. Терминология и оценка оправдываемости прогнозов загрязнения воздуха и предупреждений о его высоком уровне по городу в целом

Прогнозируется одна из трех групп загрязнения воздуха, приведенных в табл. 15, а также редко встречающиеся случаи аномально высокого уровня загрязнения воздуха. При определении группы в качестве показателя загрязнения воздуха по городу в целом принимается параметр P или осредненная за день по всему городу концентрация примеси, нормированная на ее среднесезонное значение (Q). Может также использоваться зависящий от времени коэффициент при первом члене разложения по естественным ортогональным функциям $\square_1$. Прогноз дается в следующей формулировке: «Завтра (сегодня) (дата) ожидается третья (вторая, первая) группа загрязнения воздуха». В случае, когда предсказывается I группа, прогноз детализируется, оценивается возможность формирования редко встречающихся случаев аномально высокого уровня загрязнения воздуха (АВЗВ). Затем в соответствии с рекомендациями подраздела 11.2 составляется предупреждение. Оно относится к невысоким источникам (высотой менее 50 м), формулируется так же, как и в случае отдельных источников (см. раздел 13.1) и передается по радио.

Таблица 15

Оценка оправдываемости прогнозов загрязнения воздуха по городу в целом

Группа загрязнения воздуха	Градация параметра P	Допустимая градация параметра P , при которой прогноз считается оправдавшимся
I	$> 0,35$	$\geq 0,30$
II	$0,35 - 0,21$	$0,38 - 0,17$
III	$\leq 0,20$	$\leq 0,25$

Перед сообщением для предприятий по радио передается текст предупреждения для населения в следующем виде: «В связи с ожидаемыми неблагоприятными метеоусловиями с... часов (дата) до... часов (дата) объявляется предупреждение о возможном росте загрязнения воздуха в городе. Населению рекомендуется выполнение следующих мероприятий». Далее указываются возможные мероприятия, которые приводятся в разделе 14.

Если неблагоприятные условия уже наступили и заранее не были предсказаны, то для населения дается оповещение в следующем виде: «В связи с наступившими неблагоприятными метеоусловиями с настоящего момента до... часов (дата) объявляется оповещение о возможном росте загрязнения воздуха в городе». Затем так же, как и ранее, даются необходимые рекомендации.

Принцип отмены предупреждения или оповещения для предприятий такой же, как и в случае отдельных источников (см. подраздел 13.1).

Для населения при исчезновении угрозы в течение периода действия предупреждения отмена дается в следующей формулировке: «Предупреждение о возможном росте загрязнения воздуха в городе отменяется».

Оценка оправдываемости прогнозов проводится с учетом осуществления предсказанной группы загрязнения воздуха. Если в качестве обобщенного показателя загрязнения воздуха использовать параметр P и проводить разделение на группы так, как это сделано в разделе 6, то прогнозы оцениваются в соответствии с табл. 15.

Если статистическое распределение параметра P значительно отличается от приведенного в табл. 7 и 15, то выделение I группы проводится с учетом 10 % повторяемости наибольших значений параметра P , а разделение II и III групп - с учетом его среднего значения. В некоторых городах к I группе загрязнения воздуха отнесены значения $P \geq 0,30$. При таком



разделении на группы предлагаются допуски градаций P , при которых прогноз считается оправдавшимся: для I и III групп - 0,05, для II - 0,03. В случае использования в качестве предиктантов других обобщенных показателей загрязнения воздуха при разделении на группы загрязнения воздуха принимается та же повторяемость, что и ранее-10, 40 и 50 %. В таблице 16 приводится один из вариантов с использованием в качестве предиктанта нормированной средней по городу и за день концентрации Q .

Таблица 16

Вариант оценки прогнозов загрязнения воздуха с использованием параметра Q

Группа загрязнения воздуха	Градация Q	Допустимая градация Q , при которой прогноз считается оправдавшимся
I	$> 1,5$	$\geq 1,3$
II	$1,0 - 1,5$	$0,8 - 1,7$
III	< 1	$\leq 1,2$

При оценке оправдываемости прогнозов загрязнения воздуха по городу в целом специально выделяются данные о высоком уровне загрязнения воздуха (I группы), при предсказании которого дается предупреждение. Для суждения об успешности прогноза групп загрязнения воздуха удобно применять критерий Багрова (H^*), рассчитываемый в долях единицы:

$$H^* = \frac{U - U_0}{1 - U_0} \quad (36)$$

где U - оправдываемость прогнозов; U_0 - оправдываемость случайных прогнозов. Очевидно, что при $U = 1$ (стоцентная оправдываемость) $H^* = 1$, а при $U = U_0$ (оправдываемость на уровне случайных прогнозов) $H^* = 0$. Таким образом, $H^* > 0$ указывает на успешность прогнозов, однако для практически эффективных методов H^* не должна быть меньше, чем 0,2 - 0,3. Оценка оправдываемости случайных прогнозов U_0 в нашем случае определяется по следующей формуле:

$$U_0 = \varphi_1 \pi_1 + \varphi_2 \pi_2 + \varphi_3 \pi_3, \quad (37)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ - соответственно частота появления I, II, III групп загрязнения воздуха, а π_1, π_2, π_3 - частота прогнозов этих групп.

U_0 рассчитывается отдельно для разных городов и сезонов, однако ее ориентировочное значение можно получить на основании имеющихся материалов. С учетом сделанных допусков при оценке оправдываемости прогнозов групп загрязнения воздуха $\varphi_1 = 0,20$; $\varphi_2 = 0,60$; $\varphi_3 = 0,65$. Частоту прогнозов π_1, π_2 и π_3 можно принять равной частоте появления каждой из групп: $\pi_1 = 0,10$; $\pi_2 = 0,40$; $\pi_3 = 0,50$. Тогда

$$U_0 = 0,2 \cdot 0,10 + 0,6 \cdot 0,4 + 0,65 \cdot 0,50 = 0,58.$$

Поскольку основной интерес представляет оправдываемость прогнозов наиболее высокого загрязнения воздуха, то целесообразно оценить критерий H^* только для I группы загрязнения воздуха. При этом $U_0 \approx 0,1 \dots 0,2$.

При оценке оправдываемости прогнозов загрязнения воздуха по городу в целом следует учитывать, проводятся ли мероприятия по регулированию выбросов. Если регулирование выбросов носит массовый характер и приводит к заметному снижению загрязнения, то в период действия предупреждения значения P (или другого показателя) уменьшаются. В этом случае при оценке прогнозов I группы фактически наблюдавшиеся значения P заменяются его возможными значениями, соответствующими осуществившемуся комплексу метеорологических факторов. При этом уточненные утренние прогнозы I группы не оцениваются (их оправдываемость при таком подходе всегда 100 %), они исключаются из



общего количества. Отчетные данные об оправдываемости прогнозов сопровождаются сведениями об эффективности работ по регулированию выбросов, о реальном снижении уровня загрязнения воздуха и выбросов в периоды действия предупреждений в соответствии с рекомендациями, изложенными в разделе 14.

14. РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ПРИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

14.1. Основные принципы разработки мероприятий по регулированию выбросов

Под регулированием выбросов в атмосферу понимается их временное сокращение в периоды неблагоприятных метеорологических условий (НМУ), когда может формироваться высокий уровень загрязнения воздуха. Регулирование выбросов осуществляется на основе предупреждений о возможном опасном росте концентраций примесей в воздухе с целью его предотвращения.

Разработка мероприятий по регулированию выбросов проводится с участием отраслевых промышленных институтов на предприятиях, имеющих источники выбросов вредных веществ в атмосферу. Как правило, она выполняется при разработке норм ПДВ совместно с головными ведомственными организациями в соответствии с ГОСТ 17.2.3.02-78.

Мероприятия по временному сокращению выбросов загрязняющих веществ в периоды НМУ являются составной частью сводного тома «Охрана атмосферы и предельно допустимые выбросы (ПДВ)». Они пересматриваются не реже одного раза в 5 лет, а также при изменении технологии производства и выбросов вредных веществ в атмосферу.

В городах, где сводные тома «Охрана атмосферы и ПДВ» в настоящее время не составляются или где работы по установлению ПДВ запланированы на отдаленный период, мероприятия по временному сокращению выбросов разрабатываются самостоятельно. Они согласовываются с местными подразделениями Минэкологии РФ и Росгидромета.

При разработке мероприятий по регулированию выбросов следует учитывать вклад различных источников в создание приземных концентраций примесей. В каждом конкретном случае необходимо определить, на каких источниках следует сокращать выбросы в первую очередь, чтобы получить наибольший эффект. С этой целью используются формулы (7) и (8) для расчета максимальной концентрации примесей в воздухе C_m . Из них, в частности, видно, что C_m значительно увеличивается с уменьшением высоты трубы H и уменьшением перегрева ΔT . Следовательно, в периоды НМУ при прочих равных условиях необходимо в первую очередь сокращать низкие и холодные выбросы.

Мероприятия по кратковременному сокращению выбросов в периоды неблагоприятных метеоусловий должны быть достаточно эффективными и практически выполнимыми. Они должны учитывать специфику конкретных производств. В связи с этим их следует разрабатывать главным образом непосредственно на предприятиях и в отраслевых институтах. Осуществление разработанных мероприятий при определенных условиях возможно без сокращения производства.

Соблюдение указанных принципов способствует практическому осуществлению мероприятий по регулированию выбросов и предотвращению роста концентраций в периоды неблагоприятных метеорологических условий.

14.2. Определение необходимого снижения уровня загрязнения воздуха и выбросов в периоды НМУ

Для определения необходимого сокращения количества выбросов в периоды НМУ следует исходить из прогностических характеристик загрязнения воздуха и тех установленных значений этих характеристик, которые должны быть достигнуты в результате выполнения мероприятий. В соответствии с предупреждениями трех степеней опасности работы в периоды НМУ на предприятиях проводятся по трем режимам. В общем случае за счет регулирования выбросов должно быть обеспечено снижение концентраций вредных



веществ в воздухе при работе по первому режиму на 15 - 20 %, по второму на 30 - 40 %, по третьему на 50 % и более.

14.2.1. Отдельные источники, группа источников

При оценке степени снижения концентраций следует исходить из необходимости достижения уровня загрязнения, имеющего место при нормальных метеорологических условиях.

При возникновении одного из указанных в подразделе 6.2 комплекса НМУ концентрации примесей в воздухе, обусловленные выбросами конкретного источника, могут возрасти примерно в 1,5 раза, двух таких комплексов одновременно - в 3 раза.

В случае отдельного источника для снижения концентрации до необходимого уровня в таком же соотношении следует уменьшить количество выбросов. Однако чаще всего на предприятиях имеется много источников с разными параметрами выбросов, дающих неодинаковый вклад в создание приземных концентраций. С учетом этого обстоятельства для необходимой степени снижения концентраций примесей в воздухе может оказаться достаточным существенно меньшее сокращение количества выбросов в пределах данной группы источников, чем в случае отдельного источника.

Эффект от сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу в результате проведенных мероприятий является наибольшим при уменьшении низких неорганизованных выбросов.

Пример

Выбросы от ТЭЦ, расположенной в одном из городов, поступают в атмосферу через семь труб. Все трубы относятся к группе источников с горячими высокими выбросами. Высота четырех труб составляет 80 - 100 м. Три трубы имеют высоту 30 м. Через эти относительно низкие трубы в атмосферу поступает около 1/4 суммарного выброса. Расчеты, выполненные по формуле (7), показывают, что, несмотря на то, что прекращение работы котлов, подключенных к низким трубам, обеспечивает уменьшение выбросов на 1/4, оно приводит к снижению приземных концентраций диоксида серы в 5 раз, диоксида азота - в 2,5 раза. При этом общая нагрузка ТЭЦ снижается сравнительно мало.

Практически для решения вопроса о степени снижения выбросов предприятия с большим числом различных источников необходимо выполнить расчет загрязнения атмосферы, создаваемого отдельно каждой из выделенных групп источников на предприятии, с учетом и без учета регулирования выбросов. Этот расчет производится с использованием программ для ЭВМ, согласованных с Главной геофизической обсерваторией (ГГО). Список этих программ систематически ГГО сообщает заинтересованным организациям. Однако проведение таких расчетов не всегда выполнимо, в частности, из-за неполноты имеющихся сведений о параметрах выбросов. В этих случаях можно приближенно оценить ожидаемое снижение приземных концентраций примесей в результате выполнения мероприятий по сокращению выбросов в зависимости от высоты H их поступления в атмосферу. В соответствии с формулами (7) и (8) вклад горячих выбросов в создание приземных концентраций следует принимать обратно пропорциональным H^2 , холодных выбросов - $H^{4/3}$.

Как отмечалось в подразделе 6.2, все источники выбросов предприятия разделяются на группы со сходными неблагоприятными метеороусловиями. Предупреждения составляются для каждой группы источников отдельно. Оценка вклада источников в создание приземных концентраций также проводится отдельно по выделенным группам. Рассмотрим для примера предприятие, все источники выбросов которого условно разделяются на две группы: выше 30 м - высокие и горячие, ниже 30 м - низкие. Для случая высоких и горячих источников выделяются три градации высот поступления их выбросов в атмосферу: 30 - 50, 51 - 100 и > 100 м, средние высоты H этих градаций - соответственно 40, 75 и 120 м. Всего от высоких источников в атмосферу поступает 100 единиц выбросов, 50 из них - на высотах более 100 м ($\bar{H} = 120$ м), 30 - на высотах 51 - 100 ($\bar{H} = 75$ м), 20 - на высотах 30 - 50 м ($\bar{H} = 40$ м).



Сведения об относительном вкладе выбросов на разных высотах в создание приземных концентраций приводятся в табл. 17.

Таблица 17

Оценка вклада в создание приземных концентраций примесей выбросов от высоких горячих источников, поступающих в атмосферу на различных высотах $\bar{H}$

Градация H , м	$\bar{H}$ м	Выброс, усл. ед.	Относительная концентрация
101 - 140	120	50	1
51 - 100	75	30	1,5
30 - 50	40	20	3,6

При выполнении расчетов учитывается обратно пропорциональная зависимость максимальных концентраций от H^2 .

Если принять, что при $\bar{H} = 120$ м создаваемая концентрация C составляет 1, то при $\bar{H} = 75$ м с учетом того, что общее количество выбросов здесь снижается от 50 до 30 единиц,

$$C = \frac{120^2}{75^2} \frac{30}{50} \approx 1,5$$

Аналогично при $\bar{H} = 40$

$$C = \frac{120^2}{40^2} \frac{20}{50} \approx 3,6$$

Таблица 18

Оценка вклада в создание приземных концентраций примесей выбросов, поступающих в атмосферу на различных высотах H в пределах нижнего 30-метрового слоя

Градация H , м	$\bar{H}$ м	Выброс, усл. ед.	Относительная концентрация
21 - 29	25	40	1
11 - 20	15	40	2,0
0 - 10	5	20	4,3

Если при наступлении неблагоприятных условий для высоких источников превратить все выбросы на высотах 30-50, то суммарный выброс сократится на 20 %, а приземные концентрации снизятся более, чем в 2,5 раза.

В табл. 18 приводятся данные об относительном вкладе в создание приземных концентраций выбросов, поступающих в атмосферу в нижнем 30-метровом слое.

Принимается (как и в случае высоких источников), что в атмосферу поступает 100 единиц выброса - по 40 единиц на высотах 21 - 29 и 11 - 20 м и 20 единиц на высоте 0 - 10 м.

Принимается, что приземные концентрации обратно пропорциональны $H^{4/3}$. Из таблицы 18 видно, что основной вклад в формирование уровня загрязнения воздуха дают выбросы, поступающие на высоте 0 - 10 м (4,3 единицы концентраций из 7,3). Если при наступлении НМУ для группы низких источников прекратить все выбросы на высотах 10 м, то суммарный выброс сократится на 20 %, а приземные концентрации снизятся почти в 2,5 раза.

Следует иметь в виду, что такие оценки пригодны на сравнительно небольших расстояниях от низких источников, т.е. там, где наблюдаются максимальные концентрации. При расстоянии даже 1,5 - 2 км влияние высоты H на приземную концентрацию существенно уменьшается.

При отсутствии расчетных характеристик загрязнения атмосферы указанные выше оценки проводятся для определения эффективности разработанных мероприятий.



Для организации регулирования выбросов в связи с предупреждениями о возможном формировании высокого уровня загрязнения воздуха в районе отдельных источников и оценки требуемого снижения выбросов с целью достижения C_m необходимо предварительно выполнить следующие работы:

- 1) на каждом обслуживаемом предприятии в соответствии с рекомендациями, изложенными в подразделе 6.2, разделить источники на группы со сходными НМУ;
- 2) определить отдельно для каждой группы источников суммарный выброс по грациям высот. Ориентировочно оценить вклад в создание приземных концентраций выбросов, поступающих в атмосферу на каждой из граций высот. По возможности провести расчет поля концентраций примесей, создаваемого каждой группой источников данного предприятия без выполнения мероприятий, а также при условии их выполнения;
- 3) оценить степень снижения концентраций примесей в воздухе за счет выполнения мероприятий;
- 4) на основе выполненных оценок отнести каждое мероприятие к тому или иному режиму работ в период НМУ.

Необходимое снижение концентраций достигается выбором из разработанного перечня и реальным осуществлением комплекса мероприятий по регулированию выбросов, эффективность каждого из которых оценивается заранее.

14.2.2. Город в целом

При оценке степени снижения концентраций рекомендуется исходить из того, что высокий уровень загрязнения воздуха по городу в целом создается в основном невысокими выбросами. Условно отнесем к ним все выбросы, поступающие в атмосферу на высотах ниже 50 м от поверхности земли. Это главным образом выбросы автотранспорта, мелких котельных, низкие неорганизованные выбросы на промышленных предприятиях, выбросы за счет различных открытых сжиганий на территории города (пожог для оттаивания почвы, сжигание мусора и др.).

При регулировании выбросов в связи с ожидаемым высоким уровнем загрязнения воздуха по городу в целом следует исходить из значения интегрального показателя загрязнения воздуха по городу в целом (параметр P или Q). В качестве критических принимаются те значения P или Q ($P_{кр}$ и $Q_{кр}$), которые превышаются в 10 % случаев. Именно такие значения должны быть достигнуты за счет снижения выбросов в периоды НМУ. Как уже отмечалось в предыдущих разделах, в большинстве городов принято $P_{кр} = 0,35$, в некоторых городах $P_{кр} = 0,30$, иногда еще меньше. Значение $Q_{кр}$ для отдельных примесей устанавливается в каждом городе. Затем рассчитывается критическое значение средней по городу концентрации $\bar{q}_{кр}$:

$$\bar{q}_{кр} = Q_{кр} q_{ср}, \quad (38)$$

где $q_{ср}$ - среднесезонная концентрация.

Значение $\bar{q}_{кр}$ определяется для различных примесей и при использовании в качестве предиктанта параметра P . При этом учитывается корреляция между P и Q . В случае невозможности оценить вклад отдельных примесей в формирование общегородского уровня загрязнения воздуха принимается, что каждая из примесей вносит одинаковый вклад в создание высокого значения параметра P .

Достижение необходимых критических значений интегральных показателей загрязнения воздуха обеспечивается снижением средней по городу концентрации примесей в пределах ранее предложенных рекомендаций: при объявлении предупреждения 1-й степени опасности - на 15 - 20 %, 2-й степени - на 30 - 40 %, 3-й степени - на 50 %. Как и для отдельных источников, при решении вопроса о сокращении выбросов следует учитывать высоту их поступления в атмосферу (H). В данном случае рассматривается нижний 30-метровый слой. Рекомендуется рассматривать три грации высот: ≤ 10 , 11 - 20, 21 - 30 м. Оценка вклада



разных выбросов в создание приземных концентраций производится так, как это указывается в табл. 18, при этом учитывается обратно пропорциональная зависимость $\bar{q}$ от H^2 или от $H^{4/8}$.

Разделение низких выбросов по грациям высот проводится по всей территории города.

14.3. Сведения о мероприятиях по сокращению выбросов в периоды НМУ

Мероприятия по сокращению выбросов в периоды НМУ могут быть общими, применимыми на предприятиях различных отраслей, и специфическими, относящимся к конкретным производствам.

Ниже для сведения прогнозистов приводятся характерные общие мероприятия, относящиеся к различным режимам работы предприятий в периоды НМУ, которые учитываются при выполнении конкретных разработок.

Мероприятия по сокращению выбросов при первом режиме:

- усиление контроля за точным соблюдением технологического регламента производства;

- запрещение работы оборудования на форсированном режиме;

- рассредоточение во времени работы технологических агрегатов, которые не участвуют в едином непрерывном технологическом процессе и выбрасывают в атмосферу вредные вещества;

- усиление контроля за работой контрольно-измерительных приборов и автоматических систем управления технологическими процессами;

- запрещение продувки и чистки оборудования, газоходов, емкостей, в которых хранились загрязняющие вещества, ремонтных работ, связанных с повышенным выделением вредных веществ в атмосферу;

- усиление контроля за герметичностью газоходных систем и агрегатов, мест пересыпки пылящих материалов и других источников пылегазовыделения;

- усиление контроля за техническим состоянием и эксплуатацией всех газоочистных установок;

- обеспечение бесперебойной работы всех пылеочистных систем и сооружений и их отдельных элементов, предотвращение снижения их производительности, а также отключения на профилактические осмотры, ревизии и ремонты;

- обеспечение эффективного орошения аппаратов пылегазоуловителей;

- ограничение погрузочно-разгрузочных работ, связанных со значительными выделениями в атмосферу загрязняющих веществ;

- использование запаса высококачественного сырья, при работе на котором обеспечивается снижение выбросов загрязняющих веществ;

- проведение влажной уборки производственных помещений предприятия, где это допускается правилами техники безопасности;

- прекращение испытания оборудования, связанного с изменениями технологического режима, приводящими к увеличению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Мероприятия по сокращению выбросов при втором режиме:

- снижение производительности отдельных аппаратов и технологических линий, работа которых связана со значительным выделением в атмосферу вредных веществ;

- остановка оборудования в случае, если сроки начала планово-предупредительных работ по ремонту технологического оборудования и наступления НМУ достаточно близки;

- уменьшение интенсивности технологических процессов, связанных с повышенными выбросами вредных веществ в атмосферу на тех предприятиях, где за счет интенсификации и использования более качественного сырья возможна компенсация отставания в периоды НМУ;

- перевод котельных и ТЭЦ, где это возможно, на природный газ или малосернистое и малозольное топливо, при работе с которым обеспечивается снижение выбросов вредных веществ в атмосферу;



ограничение использования автотранспорта и других передвижных источников выбросов на территории предприятия и города согласно заранее разработанным схемам маршрутов;
прекращение обкатки двигателей на испытательных стендах;
принятие мер по предотвращению испарения топлива;
запрещение сжигания отходов производства и мусора, если оно осуществляется без использования специальных установок, оснащенных пылегазоулавливающими аппаратами;
запрещение работ на холодильных и других установках, связанных с утечкой загрязняющих веществ.

Мероприятия по сокращению выбросов при третьем режиме:

снижение нагрузки или остановка производств, сопровождающихся значительными выделениями загрязняющих веществ;

отключение аппаратов и оборудования, работа которых связана со значительным загрязнением воздуха;

запрещение производства погрузочно-разгрузочных работ, отгрузки готовой продукции, сыпучего исходного сырья и реагентов, если при этом происходит загрязнение атмосферы;

перераспределение нагрузки производства и технологических линий на более эффективное оборудование;

остановка пусковых работ на аппаратах и технологических линиях, сопровождающихся выбросами в атмосферу;

запрещение выезда на линии автотранспортных средств (включая личный транспорт) с неотрегулированными двигателями;

снижение нагрузки или остановка производства, не имеющего газоочистных сооружений;

остановка технологического оборудования в случае выхода из строя газоочистных устройств;

проведение поэтапного снижения нагрузки параллельно работающих однотипных технологических агрегатов и установок (вплоть до исключения одного, двух, трех и т.д. агрегатов).

При составлении предупреждений для населения могут быть рекомендованы следующие мероприятия:

сокращение поездок на личном автотранспорте;

запрещение открытого сжигания на территории города;

ограничение сжигания угля в домашних печах;

усиленный полив дворов, улиц и площадей в теплую часть года;

отказ от участия в массовых мероприятиях на открытом воздухе и др.

14.4. Оценка эффективности мероприятий по регулированию выбросов

Одной из задач специалистов по прогнозированию загрязнения воздуха является анализ эффективности работ по прогнозу и регулированию выбросов. В первую очередь анализируются материалы о выбросах вредных веществ в атмосферу и об их планируемом снижении в периоды НМУ на отдельных источниках, сравниваются расчетные концентрации примесей в воздухе без выполнения и при выполнении мероприятий. Оценивается и регулярно уточняется эффективность всего комплекса мероприятий по регулированию выбросов на всех предприятиях города. Если выясняется, что эффективность недостаточна, то совместно с предприятиями решается вопрос о дополнительных мерах в периоды НМУ.

По данным измеренных концентраций, в том числе при дополнительных наблюдениях в периоды НМУ, группами по прогнозу загрязнения воздуха, а при их отсутствии - ответственными за данный вид работы оценивается эффективность каждого предупреждения. Если необходимое снижение уровня загрязнения воздуха в периоды действия предупреждений не достигается, то это указывает на недостаточное выполнение разработанных мероприятий по снижению выбросов. В таком случае необходимые



материалы направляются в руководящие и природоохранные органы с целью принятия мер для исправления положения.

Оценку эффективности мероприятий на стадии разработки и при фактическом осуществлении проводят по каждому вредному веществу (группе веществ, обладающих эффектом суммации) отдельно для каждого мероприятия, группы мероприятий по градациям высот поступления выбросов в атмосферу, для всех мероприятий. Оценка эффективности выполняется с учетом абсолютного и относительного уменьшения выбросов, а также по степени снижения значений расчетных и измеренных концентраций примесей в воздухе.

14.4.1. Оценка эффективности мероприятий с использованием количественных показателей снижения выбросов

Предусматривается оценка эффективности каждого мероприятия и группы мероприятий по градациям высот. Эффективность оценивается в целом по предприятию и по всему городу. Ее определение по градациям высот осуществляется путем обобщения значений выбросов загрязняющих веществ до и после осуществления мероприятий от всех источников для каждой градации высот в отдельности: ≤ 10 , 11 - 20, 21 - 30, 31 - 50, 51 - 100, 101 - 150, > 150 м.

Эффективность ξ мероприятий для каждой градации высот определяется по формуле:

$$\xi = 100 \frac{M'_j}{M_j}, \quad (39)$$

где M_j - суммарный выброс в атмосферу загрязняющего вещества до осуществления мероприятий в диапазоне заданной градации высот, г/с; M'_j - суммарное сокращение выбросов загрязняющего вещества за счет выполнения мероприятий в диапазоне заданной градации высот, г/с.

Результаты расчетов заносятся в таблицу. В примере, приведенном в табл. 19, принимается, что на предприятии все выбросы осуществляются на высоте до 30 м. Здесь выполнение всех мероприятий обеспечивает снижение суммарных выбросов на 31 %. Но сокращение общего выброса на 7 % за счет выбросов в нижнем 10-метровом слое обеспечивает около 2/3 общего снижения концентраций.

Таблица 19

Эффективность мероприятий по сокращению выбросов

Градация высот, м	M_j	M'_j	ξ
< 10	10	7	70
11 - 20	20	6	30
21 - 30	70	18	27
В целом	100	31	31

Таблица типа табл. 19 составляется на каждом предприятии для отдельных примесей по каждому из трех режимов работы в периоды НМУ. Эти материалы направляются в прогностические центры Росгидромета, в которых проводится обобщение в виде сводной таблицы по всему городу. С учетом обратно пропорциональной зависимости приземных концентраций от H^2 или $H^{4/3}$ (в зависимости от характера выбросов) приблизительно оценивается эффективность всего комплекса мероприятий в городе, делается вывод об их достаточности или о необходимости дополнительных разработок. Расчеты проводятся так, как было показано в п. 4.2.1.

14.4.2. Оценка эффективности мероприятий с использованием расчетных концентраций примесей в воздухе



При наличии необходимых материалов эффективность мероприятий по регулированию выбросов оценивается на основании расчетов концентраций примесей в воздухе с учетом выполнения мероприятий и без учета. Максимальная концентрация примеси в воздухе C_m рассчитывается по формулам (7) и (8). Если рассматривается один источник или несколько близко расположенных друг от друга источников с одинаковыми параметрами выбросов, то расчеты концентраций выполняются вручную. При наличии на предприятии большого количества источников выбросов создаваемое ими поле концентраций рассчитывается с помощью ЭВМ. Расчеты проводятся отдельно для каждого предприятия с учетом и без учета мероприятий по регулированию выбросов. Приблизительно принимается, что при аномально опасных метеорологических условиях по сравнению с нормальными условиями концентрации увеличиваются в одинаковое количество раз в любой точке рассчитанного поля. В связи с этим эффективность мероприятий определяется по расчетным концентрациям, полученным для нормальных метеорологических условий.

Эффективность z_p мероприятий оценивается с использованием соотношения

$$\zeta_p = 100 \left(1 - \frac{C_p}{C_m} \right) \quad (40)$$

где C_p - расчетная максимальная концентрация примеси с учетом выполнения мероприятий, мг/м^3 ; C_m - расчетная максимальная концентрация при отсутствии мероприятий, мг/м^3 . Из формулы видно, что при $C_p = 0$ (выбросы полностью прекращаются) $\zeta_p = 100$, при $C_p = C_m$ (регулирование не проводится) $\zeta_p = 0$. Таким образом, ζ характеризует эффективность регулирования выбросов и меняется от 0 до 100.

Допустим, что для данного предприятия при отсутствии мероприятий $C_m = 1,2 \text{ мг/м}^3$, а при выполнении мероприятий $C_p = 0,7 \text{ мг/м}^3$. Тогда

$$\zeta_p = 100 \left(1 - \frac{0,7}{1,2} \right) = 42$$

14.4.3. Рекомендации по оценке эффективности мероприятий на основе наблюдений за концентрациями примесей в воздухе

В случае, когда в городе на большинстве объектов сокращение выбросов в периоды НМУ осуществляется регулярно, уменьшается общая повторяемость высоких концентраций, а вследствие этого иногда заметно снижается и средняя концентрация примеси в воздухе. Степень уменьшения этих концентраций является показателем эффективности работ. Для оценки последней сравнивается средняя концентрация примесей и повторяемости концентраций, превышающих заданное значение (как правило, ПДК), до и после организации работ по регулированию выбросов.

Средний уровень загрязнения атмосферы в городе может не характеризовать эффективность мероприятий, если количество предупреждений мало. В таком случае целесообразно сравнить средние концентрации примесей в периоды неблагоприятных метеоусловий при осуществлении регулирования и при таких же условиях погоды в предыдущие годы, когда работы по прогнозу и регулированию не проводились. Если в первом случае концентрации в среднем ниже, чем во втором, это указывает на эффективность прогнозирования. Такой вид оценки возможен при примерном сохранении общего количества и структуры выбросов, а также методики анализа проб воздуха.

Снижение уровня загрязнения воздуха в период неблагоприятной метеорологической ситуации может быть обнаружено, если к моменту передачи предупреждения загрязнение воздуха в городе уже достигло высокого уровня, и при сохранении неблагоприятных условий содержание примесей уменьшается в результате сокращения выбросов. Это непосредственно



обнаруживается при использовании обобщенных показателей загрязнения воздуха в городе, в том числе параметра P . Например, если при составлении предупреждения $P' = 0,38$, а в период его действия $P = 0,32$ при сохранении НМУ, то данное предупреждение является эффективным.

Об эффективности предупреждений можно говорить и в том случае, когда несмотря на возникновение НМУ уровень загрязнения воздуха сильно не возрастает, значение параметра P или другого показателя не превышает установленный критерий. Например, когда $P = 0,23$, а в день действия предупреждений $P = 0,28$ при сохранении НМУ, можно отметить, что высокий уровень загрязнения воздуха был предотвращен.

Если регулирование выбросов проводится на небольшом числе объектов, то эффект может быть отмечен при анализе данных, полученных при проведении подфакельных наблюдений, а в случае их отсутствия - при анализе значений концентраций на тех постах, в район которых при соответствующих направлениях ветра переносятся примеси от обслуживаемых объектов. Концентрации сравниваются с данными измерений, выполненных при аналогичных метеорологических условиях до осуществления регулирования выбросов.

Эффективность работ может быть существенной при кратковременном снижении выбросов на всех основных промышленных, энергетических, отопительных, автотранспортных предприятиях, расположенных на территории города.

Все данные об эффективности работ по прогнозированию загрязнения воздуха обобщаются, результаты обобщения включаются в годовые отчеты. Делаются выводы о степени реального предотвращения роста загрязнения воздуха в периоды НМУ. Отчеты направляются в головной методический центр для обобщения и разработки рекомендаций по дальнейшему развитию работ. Полученные материалы используются также для повышения эффективности прогнозирования и регулирования выбросов в каждом отдельном городе.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения
2. Метеорологические условия загрязнения воздуха в районе отдельных источников. 3
 - 2.1. Расчет опасной скорости ветра и максимальной концентрации примеси
 - 2.2. Аномально неблагоприятные метеорологические условия
3. Обобщенные показатели загрязнения воздуха по городу в целом
 - 3.1. Коэффициенты разложения по естественным ортогональным функциям
 - 3.2. Параметр P
 - 3.3. Нормированная средняя концентрация примеси в городе
4. Метеорологические условия загрязнения воздуха по городу в целом
 - 4.1. Направление и скорость ветра
 - 4.2. Термическая устойчивость атмосферы. Температура воздуха
 - 4.3. Осадки. Туманы
 - 4.4. Инерционный фактор
5. Синоптические условия загрязнения воздуха
 - 5.1. Зависимость уровня загрязнения воздуха в городах от синоптической ситуации. 15
 - 5.2. Синоптические условия формирования периодов с относительно высоким уровнем загрязнения
 - 5.3. Синоптические условия формирования аномально высокого уровня загрязнения воздуха
6. Прогноз уровня загрязнения воздуха от отдельных источников и групп источников
 - 6.1. Установление неблагоприятных метеоусловий применительно к отдельным источникам



-
- 6.2. Характерные комплексы неблагоприятных метеорологических условий для групп источников
 - 6.3. Выделение неблагоприятных сочетаний направления и скорости ветра на основе расчета уровня загрязнения воздуха от совокупности источников.
 - 7. Принципы прогноза уровня загрязнения воздуха по городу в целом
 - 7.1. Общие рекомендации
 - 7.2. Выбор предикторов
 - 7.3. Информационные комплексные предикторы
 - 7.4. Количественный синоптический предиктор
 - 7.5. Определение значимости предикторов
 - 7.6. Прогностические правила
 - 8. Рекомендации по разработке схем прогноза уровня загрязнения воздуха по городу в целом
 - 8.1. Использование метода распознавания образов
 - 8.2. Метод последовательной графической регрессии
 - 8.3. Метод множественной линейной регрессии
 - 8.3.1. Общий вариант
 - 8.3.2. Вариант с исключением нелинейности связей
 - 8.4. Метод дискриминантного анализа
 - 8.5. Прогноз длительных периодов с относительно высоким уровнем загрязнения воздуха в городе
 - 9. Рекомендации по прогнозу концентрации примесей в воздухе
 - 9.1. Прогноз концентрации примесей в воздухе, создаваемой отдельными источниками и группой источников
 - 9.2. Прогноз концентраций примесей в воздухе в городе
 - 10. Прогнозирование метеорологических условий загрязнения атмосферы
 - 10.1. Синоптический способ прогноза изобарической поверхности 925 гПа
 - 10.2. Прогноз температуры и дефицита влажности на уровне 925 гПа
 - 10.3. Определение толщины слоя термодинамического перемешивания
 - 10.4. Прогноз ветра на изобарической поверхности 925 гПа и у поверхности земли. 55
 - 10.5. Определение средней скорости ветра в слое термодинамического перемешивания. 55
 - 10.6. Определение типа синоптической ситуации
 - 11. Порядок проведения работ по прогнозированию уровня загрязнения воздуха
 - 11.1. Организация работ
 - 11.2. Работа прогностических подразделений
 - 11.3. Порядок работы подразделений, анализирующих пробы воздуха. Взаимодействие с прогностическими подразделениями
 - 11.4. Использование данных автоматизированных систем контроля загрязнения атмосферы в целях уточнения прогнозов загрязнения воздуха
 - 12. Составление предупреждений об опасном уровне загрязнения воздуха
 - 12.1. Составление предупреждений для отдельных источников
 - 12.2. Составление предупреждений по городу в целом
 - 13. Терминология и оценка оправдываемости прогнозов и предупреждений о высоком уровне загрязнения воздуха
 - 13.1. Терминология и оценка оправдываемости прогнозов и предупреждений о высоком уровне загрязнения воздуха для случая отдельных источников
 - 13.2. Терминология и оценка оправдываемости прогнозов загрязнения воздуха и предупреждений о его высоком уровне по городу в целом
 - 14. Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях.
-



65

- 14.1. Основные принципы разработки мероприятий по регулированию выбросов
- 14.2. Определение необходимого снижения уровня загрязнения воздуха и выбросов в периоды НМУ
 - 14.2.1. Отдельные источники, группа источников
 - 14.2.2. Город в целом
- 14.3. Сведения о мероприятиях по сокращению выбросов в периоды НМУ
- 14.4. Оценка эффективности мероприятий по регулированию выбросов
 - 14.4.1. Оценка эффективности мероприятий с использованием количественных показателей снижения выбросов
 - 14.4.2. Оценка эффективности мероприятий с использованием расчетных концентраций примесей в воздухе
 - 14.4.3. Рекомендации по оценке эффективности мероприятий на основе наблюдений за концентрациями примесей в воздухе