

Ю. А. Тунакова, Р. А. Шагидуллина, И. Г. Григорьева

УЧЕТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ФОРМИРУЮЩИХ УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ В ЗОНАХ ДЕЙСТВИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Ключевые слова: метеорологические условия, уровень загрязнения, атмосферный воздух.

Рассматриваются способы учета вклада метеорологических условий в формирование уровня приземного слоя атмосферного воздуха.

Key words: meteorological conditions, level of pollution, atmospheric air.

Ways of the account of the contribution of meteorological conditions in formation of a level of a ground layer of atmospheric air are considered.

Введение

В зонах действия полимерных производств приземная концентрация атмосферных примесей определяется воздействием множества источников выбросов, что приводит к высокой динамичности содержания и соотношения химических элементов в воздухе [1].

Известно, что уровень загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий формируется под влиянием ряда техногенных, метеорологических и физико-географических факторов. Поскольку техногенные и физико-географические факторы характеризуются малой изменчивостью, в основном динамичность поля приземных концентраций примесей определяется набором действующих метеорологических факторов.

Если туманы, высокая влажность, штили, инверсионное распределение температуры создают условия для накопления примесей в атмосфере, то высокие скорости ветра и сильные осадки, вымывающие примеси, способствуют ее очищению. Большую опасность для состояния атмосферы представляют приземные температурные инверсии. Они затрудняют обмен воздуха по вертикали и, следовательно, уменьшают самоочищающую способность атмосферы. Создаются условия, ограничивающие подъем выбросов и способствующие накоплению примесей в приземном слое атмосферы [2].

Результаты исследования

Анализ материалов наблюдений в городах РФ с учетом тесноты и реального вида связей между метеорологическими факторами и концентрациями примесей в воздухе показал, что к определяющим метеопараметрам 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.

В целом возможными предикторами [3] 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} , °С; T_0 — температура воздуха у земли, °С; H_n — высота слоя перемешивания, м (иногда вместо H_n используется величина H_{td} — слой термодинамического перемешивания, которая характеризует процесс вертикального обмена, определяемый как термической стратификацией, так и вертикальным сдвигом ветра; 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);

Для количественной оценки самоочищающей способности атмосферы используются различные показатели: потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА), климатический (метеорологический) потенциал самоочищения атмосферы (КПСА) и коэффициент Селегей. При расчетах ПЗА учитываются метеорологические факторы, неблагоприятные для рассеивания примесей — туманы, штили и застои воздуха, инверсии температуры воздуха.

Величина ПЗА показывает во сколько раз средний уровень загрязнения атмосферного воздуха в конкретном районе, с определенной повторяемостью неблагоприятных для рассеивания примесей метеорологических условий, будет выше или ниже чем в условном районе, принятом за эталон. Так, для территорий, где преобладают низкие источники загрязнения, а так же высокие источники с холодными выбросами ПЗА может быть определен по формуле:

$$ПЗА = 2,5 \exp[(0,04/(z_2 - z_1)^2) - (0,4z_1/(z_2 - z_1))],$$

где z_1 и z_2 — аргументы вероятности $\Phi(z)$, а Φ связано с соответствующими повторяемостями P_1 и P_2 соотношениями: $\Phi(z_1) = 1 - 2P_1$, $\Phi(z_2) = 1 - 2P_2$. В свою очередь,

$$P_1(q > q_n) = P_{ин} + P_{сл} - P_3 - P_T;$$

$$P_2(q > 1,5q_n) = P_3 + P_T,$$

где $P_{ин}$ — повторяемость приземных инверсий, $P_{сл}$ — повторяемость скорости ветра в интервале 0-1 м/с, P_3 — повторяемость застоя воздуха (приземные инверсии со слабыми ветрами), P_T — повторяемость туманов [4].

В отличие от потенциала загрязнения атмосферы, климатический потенциал самоочищения

атмосферы и коэффициент Селегей учитывают повторяемость климатических процессов способствующих самоочищению атмосферы. Так климатический потенциал самоочищения K_M определяется по формуле:

$$K_M = \frac{P_{ш} + P_f}{P_0 + P_v}$$

где $P_{ш}$ — число дней со штилем, скорость ветра $V = 0 - 1$ м/с; P_f — число дней с влажностью $\geq 80\%$; P_0 — число дней с осадками $\geq 0,5$ мм; P_v — число дней со скоростью ветра ≥ 6 м/с [5].

В значительной степени схожим показателем, характеризующим климатический потенциал загрязнения атмосферы, является коэффициент Селегей [6,7]:

$$K_c = \frac{P_{ш} + P_m}{P_v + P_0}$$

где $P_{ш}$ — число дней со штилем, скорость ветра $V = 0 - 1$ м/с; P_t — количество дней с туманом; P_0 — количество дней с осадками $\geq 0,5$ мм; P_v — число дней с сильным ветром ≥ 6 м/с.

Согласно [6,7], чем больше по абсолютной величине K_c , тем хуже условия рассеяния примеси в атмосфере. Если $K_c \leq 1$, то повторяемость процессов способствующих самоочищению атмосферы преобладает над повторяемостью процессов, способствующих накоплению вредных примесей в ней. Но недостатком используемых показателей является тот факт, что получаемая оценка по данным 1-2 метеопостов, функционирующих в городах, имеет общий фоновый характер без пространственно-временной дифференциации, что затрудняет ее использование в эколого-геохимических исследованиях. В этой связи на наш взгляд целесообразно учет влияния метеорологических параметров проводить по показателям загрязнения воздуха, получаемым по данным постов наблюдений за загрязнением атмосферы, которых в крупном городе функционирует 5 и более. Уровень загрязнения воздуха, изменяющийся на всей территории города под влиянием метеорологических условий, характеризуется обобщенными (интегральными) показателями, которые рассчитываются по материалам фактических наблюдений для всего дня и для отдельных частей дня. К таким обобщенным показателям относятся:

- осредненная по всему городу и по всем срокам наблюдений данного дня или части дня концентрация примеси в воздухе (Q),

$$Q = \bar{q} / q_{ср}$$

где Q — нормированная средняя концентрация в городе; $q_{ср}$ — среднесезонная концентрация примесей 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; зави-

сящие от времени коэффициенты (α_i) при членах разложения данных наблюдений за концентрациями примесей на стационарных постах в городе по естественным ортогональным функциям,

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^N \varphi_{i,j} q'_j,$$

где $\varphi_{i,j}$ — 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_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 примесей 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. Коэффициент α_1 близок к параметру P и к средней по городу концентрации примесей.

Параметр P , который рассчитывается по формуле:

$$P = m/n,$$

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 $q_{ср}$ более чем в 1,5 раза ($q > 1,5q_{ср}$).

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 $1,5q_{ср}$. Для каждого дня определяются величины m , n и параметр P .

Параметры P , Q и α_1 являются относительными характеристиками и не зависят от среднего уровня загрязнения воздуха. Следовательно, их значения в основном определяются метеорологически-

ми 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.

Параметр P рассчитывается для совокупности примесей, а при достаточном количестве измерений в течение дня — для отдельных примесей, а параметры Q и α_1 — только для отдельных 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. Нами проводился корреляционный анализ, который показал наличие тесных корреляционных связей между параметром P , рассчитанным по совокупности примесей и легко измеряемыми метеопараметрами: направление ветра (n), скорость ветра (v), температура (T), давление (p), влажность воздуха (f). Данные метеопараметры были выбраны в качестве значимых предикторов. Исследования проводились в зоне действия полимерных производств - на территории Нижнекамского промышленного узла.

$$P' = -0,2207 - 0,1028 \times T - 0,0049 \times T^2;$$

$$P' = 0,029 \times p - 21,4;$$

$$P' = 0,0558 + 0,2401 \times v - 0,043 \times v^2;$$

$$P' = 0,1085 + 0,0011 \times n - 2,0326 \times 10^{-6} \times n^2;$$

$$P' = -86,6768 + 2,1845 \times v - 0,0137 \times v^2;$$

коэффициент множественной корреляции $R=0,64$; коэффициент детерминации $R^2=0,41$; критерий Фишера $F=21,1$; уровень значимости $p=0,00015$.

При исследовании многофакторных процессов возникает необходимость установления зависимости между несколькими переменными. Методом множественной регрессии все предикторы были сведены в несколько моделей, линейно характеризующих их взаимосвязь с параметром P в пределах одного из сезонов (зима, весна, лето, осень).

Так, для весны рассчитано следующее уравнение:

$$P = 8,33 - 0,0014 \times T - 0,0098 \times p - 0,058 \times v + 0,00025 \times n + 0,0103 \times f;$$

Параметры модели: коэффициент множественной корреляции $R=0,67$, коэффициент детерминации $R^2=0,45$, критерий Фишера $F=18,5$, уровень значимости $p=0,0034$.

Для лета, уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$P = 0,002852 \times f + 0,000033 \times n - 0,02462 \times v + 0,000473 \times p - 0,006634 \times T - 0,159924;$$

Параметры модели: коэффициент множественной корреляции $R=0,73$, коэффициент детерминации $R^2=0,53$, критерий Фишера $F=24,0$, уровень значимости $p=0,011$.

Соответствующее регрессионное уравнение для осени:

$$P = 2,577650 + 0,004827 \times T - 0,002603 \times p - 0,03777 \times v + 0,0008 \times n - 0,006604 \times f;$$

Параметры модели: коэффициент множественной корреляции $R=0,82$, коэффициент детерминации $R^2=0,67$, критерий Фишера $F=14,0$, уровень значимости $p=0,0083$.

Таким образом, использование параметра P для характеристики уровня загрязнения приземного слоя атмосферы позволяет учитывать влияние метеорологических факторов на рассеивание примесей.

Литература

1. Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллина Р.А., Шмакова Ю.А. Вестник Казанского технологического университета, 12, 71-74 (2012).
2. Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха в городах с учетом метеорологических условий. РД 52.04.78-86. - М.: Госкомгидромет. СССР, 1986.
3. Безуглая Э.Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. Л.: Гидрометеиздат, 1980. -184с.
4. Безуглая Э.Ю. К определению потенциала загрязнения воздуха. Л.: Труды ГГО, 1968, вып.234, С.69-80.
5. Линевич Н.Л., Сорокина Л.П. География и природные ресурсы. 4. (1992).
6. Селегей Т.С., Юрченко И.П. География и природные ресурсы. 2. .132-137 (1990).
7. Селегей Т.С. География и природные ресурсы. 1, 44-48 (1994).

© Ю. А. Тунакова – д-р хим. наук, проф. каф. технологии пластических масс КНИТУ, juliaprof@mail.ru; Р. А. Шагидуллина – канд. хим. наук, нач. управления государственной экологической экспертизы и нормирования воздействия на окружающую среду Мин-ва экологии и природных ресурсов РТ, Raisa.Shagidullina@tatar.ru; И. Г. Григорьева – доц. каф. общей химии и экологии КНИТУ-КАИ.