

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 504.064.36

И.К. Васильева, А.С. Нечаусов

*Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

## СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

*Рассмотрен подход к созданию автоматизированной геоинформационной системы, обеспечивающей мониторинг фактического состояния загрязнения атмосферного воздуха, прогноз уровня концентрации загрязняющих веществ и разработку рекомендаций для улучшения экологической обстановки. Предложена многокомпонентная вероятностная модель для расчета концентрации загрязняющих веществ в атмосфере на основе нормального распределения и  $S_L$ -распределения Джонсона. Приведена методика оценки параметров модели, позволяющая получить зависимости оцениваемых параметров от входных переменных, существенно влияющих на характер рассеивания примеси в атмосфере.*

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, загрязнение атмосферы, вероятностная модель.

### Введение

Геоинформационные системы (ГИС) являются мощным инструментом для сбора, хранения, систематизации, анализа и представления пространственно-временных данных, основой интеграции которых служит географическая информация. ГИС объединяют в единый комплекс методы и технологии обработки данных автоматизированных систем научных исследований, систем автоматизированного проектирования, автоматизированных справочно-информационных систем, систем автоматизированного управления и практически всех автоматизированных систем общего назначения. Все это делает ГИС незаменимыми для обеспечения принятия решений по оптимальному управлению в различных областях человеческой деятельности. Технология ГИС позволяет собрать воедино и проанализировать различную информацию об окружающей среде, что дает возможность прогнозирования и оценки техногенных рисков. В связи с постоянным усилением антропогенного воздействия на окружающую природную среду все большее значение приобретают методы расчета и прогнозирования состояния атмосферы, влияния атмосферных явлений на биосферу и результатов взаимодействия атмосферных явлений и технологической деятельности человека. Выработка и потребление огромного количества энергии, транспортный комплекс, предприятия промышленности, размещенные на территории городов, являются причиной масштабного воздействия на все компоненты городской среды и в первую очередь на состояние атмосферного воздуха, заключающегося в его антропогенном загряз-

нении. Такое воздействие приводит к накоплению в воздухе химических соединений и веществ в концентрациях, превышающих установленные нормативы (санитарно-гигиенические, для зеленых насаждений и т. п.), в результате чего возможно возникновение необратимых нарушений в функционировании организмов, экосистем и экосферы в целом. Сочетание нескольких загрязняющих веществ часто приводит к появлению синергетических эффектов, когда негативное действие одного вещества усиливается действием другого; это часто наблюдается при комбинациях  $SO_2 + NO_2$  и  $SO_2 + O_3$ . По данным [1] в крупных городах Украины наиболее многочисленная группа населения подвергается воздействию взвешенных веществ – 28%, второе место по масштабу воздействия занимает бензапирен – 23% населения. Более 19% населения проживает на территориях с повышенным содержанием в воздухе диоксида азота, фтористого водорода, сероуглерода, более 15% – формальдегида и окиси углерода, более 11% – аммиака, стирола. Значительная часть населения (более 4%) подвергается воздействию повышенных концентраций бензола, оксида азота, сероводорода.

Таким образом, особое значение в структуре ГИС имеет блок моделирования распределения полей концентрации загрязняющих веществ на основе общих показателей работы промышленных объектов или других источников загрязнения и степени их воздействия на окружающую среду. Такие расчеты необходимы при анализе неблагоприятной экологической ситуации в регионе для выявления ее виновников или при прогнозировании экологической обстановки при вводе в дей-

ствие или реконструкции источников антропогенного воздействия на окружающую среду и определении размера затрат на уменьшение количества вредных выбросов.

**Целью работы** является разработка модели загрязнения атмосферы, учитывающей значимые факторы, влияющие на распространение примесей.

## **1. Цели и структура системы экологического мониторинга**

Основная цель экологического мониторинга (ЭМ) заключается в создании информационной системы, позволяющей получать достоверные сведения о состоянии окружающей среды и изменениях в ее физических и биотических компонентах под действием естественных и антропогенных факторов. Информационная система ЭМ может быть использована в качестве составной части системы управления состоянием окружающей среды при разработке природоохранной политики и планирования социально-экономического развития территорий.

Системы ЭМ должны решать такие задачи:

- сбор первичной информации, ее, систематизация, анализ и формирование банка данных;
- обработка и представление данных в виде различных таблиц, графиков, карт;
- усовершенствование и разработка методов получения исходной информации, оценка текущего состояния окружающей среды и прогноза;
- анализ причин наблюдаемых и вероятных изменений состояния;
- оперативное обеспечение необходимой информацией всех заинтересованных лиц.

При этом оценка текущего состояния среды является основой для принятия оперативных решений в области природопользования, а прогноз – для принятия долговременных решений.

Системы ЭМ должны обеспечивать комплексность, систематичность и унифицированность. На основе этих принципов процесс построения системы экологического мониторинга должен включать следующие основные составляющие:

- выбор объектов мониторинга и контролируемых параметров;
- создание сети пунктов исследования;
- сбор, обработка и накопление информации;
- обработка полученной информации, анализ и оценка экологической обстановки;
- использование информации и результатов для принятия решений о действиях по улучшению экологической ситуации.

Основными составляющими структуры системы ЭМ являются база данных, аналитический, информационный блоки и блок управления экологической ситуацией [2, 3].

Региональные системы ЭМ осуществляют контроль за концентрацией загрязняющих веществ в атмосфере, поверхностных и подземных водах, почве и биоте региона.

Локальный мониторинг направлен на контроль уровня содержания загрязняющих веществ, которые выбрасывает конкретное предприятие.

## **2. Факторы, влияющие на рассеяние примесей в атмосфере**

При расчете распространения выбросов необходимо учитывать расположение источников, их высоту и диаметр, а также объемы выбросов. В зависимости от специализации предприятия меняются высоты труб и химический состав выбрасываемой газо-воздушной смеси (ГВС), поэтому ареалы атмосферного загрязнения имеют сложную структуру.

Воздействие загрязняющих веществ (ЗВ) на окружающую среду зависит от их физических и химических свойств, свойств продуктов деструкции и концентрации тех и других в выбросах и окружающей среде. Время жизни загрязнителя в атмосфере – важнейший параметр, определяющий масштабы его распространения. Исходя из этого выбросы ЗВ или сами загрязнители делятся на три типа [4, 5]:

- выбросы веществ с большим временем жизни в атмосфере (годы или месяцы), способные распространяться в окружающей среде в глобальном масштабе независимо от места их выброса (углекислый газ, фреоны, радионуклиды с периодом полураспада от одного месяца и больше);
- выбросы веществ с ограниченным (обычно до нескольких суток) временем жизни в атмосфере, приводящие к загрязнению крупного региона, за пределами которого концентрация загрязнителя быстро падает, однако в следовых количествах может наблюдаться повсеместно (оксиды серы и азота, пестициды, тяжелые металлы);
- выбросы веществ с малым временем жизни в атмосфере (грубодисперсные аэрозоли, сероводород и др.), приводящие к загрязнению в локальном масштабе (на сравнительно небольшой территории).

Поведение ЗВ после попадания их в атмосферу, определяются многими факторами и, прежде всего, природными: метеорологической ситуацией, особенностями микрорельефа, наличием массивов зеленых насаждений. Ветры увеличивают скорость рассеяния и перемешивания, а воздушные потоки, направленные от земли, выносят загрязнения в верхние слои атмосферы. Однако могут возникнуть такие условия, при которых атмосферные слои остаются стабильными (инверсия температуры, антициклон). В результате ЗВ остаются вблизи поверхности земли, накапливаясь в больших количествах, опасных для человека и окружающей среды.

Перечисленные факторы в значительной степени определяют распространение ЗВ вокруг источника загрязнения и перенос их на различные расстояния. Учет радиуса возможного распространения ЗВ особенно важен при определении размеров санитарно-защитной зоны предприятия, выборе места для строительства жилых кварталов и т. п. [4, 5]

### 3. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха

Для характеристики уровня загрязнения атмосферы той или иной территории за продолжительный период времени используют фоновую концентрацию отдельных ЗВ и обобщенный показатель – индекс загрязнения атмосферы, рассчитываемый как сумма значений концентраций ведущих загрязнителей, нормированных на значения их предельно допустимых концентраций. С целью обеспечения мониторинга фактического состояния загрязнения воздушного бассейна, прогноза уровня антропогенных выпадений ЗВ и разработки рекомендаций для улучшения состояния окружающей среды необходима информационная система контроля загрязнения воздуха. Она должна решать следующие задачи:

- расчет концентрации ЗВ от стационарных источников в приземном слое атмосферы для заданных пространственных координат;
- визуализация результатов расчетов в виде зон загрязнения по уровням концентрации веществ;
- представление зон загрязнения по уровням вредного воздействия с учетом суммарного влияния ряда химических веществ от различных источников;
- возможность получения результатов расчетов модели в режиме реального времени с учетом текущих метеорологических показателей, запрашиваемых из существующих web-ресурсов;
- реализация возможности учета рельефа местности для построения уточненной модели загрязнения атмосферы;
- возможность формирования банка статистических данных для выявления закономерностей и принятия управленческих решений по улучшению экологической ситуации в конкретном регионе;
- осуществление как краткосрочных, так и долгосрочных прогнозов по экологической обстановке (на основе сформированного банка данных), а также моделирование возможных техногенных ситуаций с оценкой вероятных последствий (техногенных рисков).

Решение поставленных задач связано с оценкой концентрации ЗВ на основе моделей атмосферного переноса. Расчеты и картографирование приземных концентраций ЗВ позволят создавать оптимизационные эколого-экономические модели, в частности, для идентификации регионов, где антропогенные

выпадения превышают величины критических нагрузок. Эта информация позволит определить регионы, в которых необходимо провести в той или иной степени сокращение выбросов ЗВ, чтобы обеспечить снижение региональных превышений критических нагрузок и уменьшить вероятность проявления экологического риска.

### 4. Модели распространения примесей в атмосфере

Характер распределения загрязнений в атмосфере подчиняется второму закону термодинамики. Динамические процессы, происходящие в атмосфере, таковы, что реально наблюдаемые под факелом выброса концентрации подчиняются вероятностным законам и меняются в пределах, отличающихся друг от друга на несколько порядков. Все модели оценки рассеивания ЗВ в атмосфере сводятся к нормальной функции распределения концентрации [6]:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \left[ \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \times \left\{ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\}, \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация в точке с координатами  $x$ ;  $y$ ;  $z$ ;  $г/м^3$ ,  $Q$  – мощность выброса,  $г/с$ ,  $H$  – эффективная высота (сумма геометрической высоты трубы  $h$  и начального подъема струи  $\Delta h$ ),  $м$ ,  $u$  – средняя скорость ветра (обычно на уровне горловины трубы),  $м/с$ ,  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  – среднеквадратические отклонения (СКО) распределения концентраций по осям  $Y$  и  $Z$  соответственно. Значение  $\Delta h$  можно определить с помощью эмпирической формулы [6]

$$\Delta h = \frac{3,75w_0R_0}{u} + \frac{1,6gV\Delta T}{T_A u^3}, \quad (2)$$

где  $w_0$  – скорость газов на выходе из источника,  $м/с$ ,  $R_0$  – радиус дымовой струи,  $м$ ,  $u$  – скорость ветра,  $м/с$ ,  $V$  – объемный расход дымовых газов,  $м^3/с$ ,  $\Delta T$  – перегрев газов относительно окружающего воздуха,  $^{\circ}К$ ,  $T_A$  – температура окружающего атмосферного воздуха,  $^{\circ}К$ .

Значения  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  (горизонтальное и вертикальное СКО) зависят от положения точки  $x$  в направлении ветра от источника и от условий устойчивости атмосферы; их определяют по диаграммам, полученным экспериментальным путем [6].

Рассеивание ЗВ в вертикальной плоскости и по оси  $Y$  (перпендикулярно осевой линии струи) близко к нормальному, однако профиль распределения концентрации по оси  $X$  (вдоль направления ветра) является асимметричным (рис. 1) и плохо аппроксимируется гауссоидой. Характерной особенностью распределения наземной концентрации  $C$  по оси  $X$  яв-

ляется наличие ее максимума  $C_m$  на расстоянии  $x_m$  от источника; при одинаковых параметрах выбросов максимальная приземная концентрация примеси от более высокого источника меньше и наблюдается на большем расстоянии от источника.

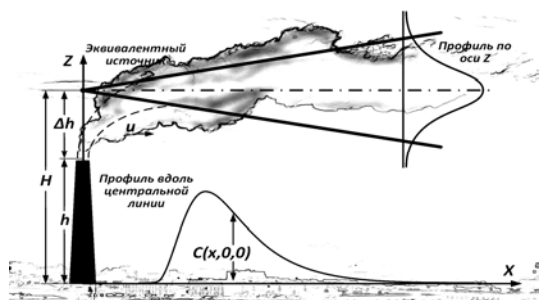


Рис. 1. Вид распределений концентрации ЗВ вдоль осей X и Z

В данной работе для распределения концентраций примесей по осям Y и Z принят нормальный закон, а для описания характера распространения примеси по оси X предлагается использовать  $S_L$ -распределение Джонсона [7]:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\eta}{(x-\varepsilon)} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\gamma + \eta \ln\left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda}\right)\right)^2\right]\right\}, (3)$$

где  $\varepsilon$  и  $\lambda$  ( $\lambda > 0$ ) – параметры масштаба,  $\eta$  и  $\gamma$  – параметры формы,  $x \in [\varepsilon, +\infty)$ .

Выбор распределения (3) обусловлен возможностью аппроксимации на его базе широкого спектра асимметричных законов распределения с т.н. тяжелыми хвостами (рис. 2).

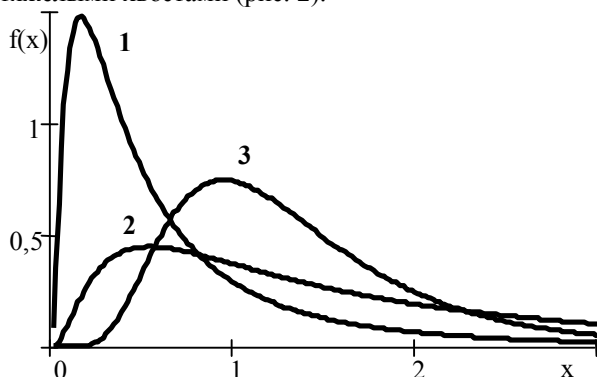


Рис. 2. Вид распределений концентрации ЗВ вдоль осей X и Z ( $\varepsilon = 0$ ): 1 –  $\lambda = 2, \eta = 1, \gamma = 1,5$ ; 2 –  $\lambda = 4, \eta = 1, \gamma = 1$ ; 3 –  $\lambda = 2, \eta = 2, \gamma = 1$

Вид предлагаемой модели:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{4\sqrt{2\pi^3}\sigma_y\sigma_z} \cdot \frac{\eta}{(x-\varepsilon)} \times \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\gamma + \eta \ln\left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda}\right)\right)^2 + \left(\frac{y-y_0}{\sigma_y}\right)^2\right]\right\} \times \left\{\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right\}. (4)$$

В модели (4) пространственное положение точечного источника загрязнения характеризуется параметрами  $\varepsilon$  и  $y_0$ ; параметры (4) имеют тот же смысл, что и в выражениях (1), (3).

Для оценки параметров распределений, входящих в модель (4), предлагается использовать результаты, полученные по методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий «ОНД-86» [8], которая основана на численном решении уравнения турбулентной диффузии. Методика позволяет рассчитывать максимально возможные концентрации выбросов на расстоянии 2 метра от поверхности земли в условиях умеренно неустойчивого состояния атмосферы и усредненные по 20 минутному интервалу. Основными входными переменными ее являются высота источника выброса над уровнем земли ( $h$ , м) мощность выброса ( $Q$ , г/с), разность между температурой выбрасываемой ГВС  $T_\Gamma$  и температурой атмосферного воздуха  $T_A$  ( $\Delta T$ , °C), расход ГВС ( $V$ , м<sup>3</sup>/с); значения  $Q$ ,  $T_\Gamma$ ,  $V$  устанавливаются в соответствии с действующими для данного производства (процесса) нормативами. Методика учитывает скорость оседания ЗВ в атмосферном воздухе, условия выхода ГВС из устья источника выброса и влияние рельефа местности. К недостаткам можно отнести отсутствие аналитического выражения для описания в явном виде зависимости концентрации ЗВ от входных переменных, не учет фактического состояния устойчивости атмосферы, а также наличие большого количества условных переходов в вычислительной схеме.

Оценивание параметров модели (4) происходит в два этапа. На первом находятся оценки параметров вероятностных компонент модели (4), наилучшим образом аппроксимирующие распределения концентрации по соответствующей координатной оси (X или Y), рассчитанные по методике «ОНД-86» при варьировании входных переменных  $w_0, \Delta T, u$ :

$$\bar{\theta}^*(\vec{v}) = \arg \min \left\{ \sum_i [c(v_i|\vec{v}) - f(v_i|\bar{\theta})]^2 \right\}, (5)$$

где  $c(v_i|\vec{v})$  – нормированные значения концентрации ЗВ, рассчитанные по «ОНД-86» при известных значениях входных переменных, при оценке распределения по оси X:  $v = x, y = 0, \vec{v} = \{w_0, u, \Delta T\}$ ,  $f(\bullet)$  – плотность  $S_L$ -распределения Джонсона (3),  $\bar{\theta} = \{\lambda, \eta, \gamma\}$ ; при оценке распределения по оси Y:  $v = y, \vec{v} = \{x, w_0, u, \Delta T\}$ ,  $f(\bullet)$  – плотность нормального распределения,  $\theta = \sigma_y$ .

На втором этапе выполняется оценка вида и параметров зависимостей  $\theta_j^* = \Phi_j(\vec{v})$ .

Анализ вида зависимостей оценок параметров  $S_L$ -распределения Джонсона от каждого из факторов  $\vec{v}$  показал, что зависимости от скорости ветра  $u$  имеют нелинейный характер, зависимости от скорости выхода ГВС  $w_0$  при  $u = \text{const}$  можно считать линейными, а зависимости от перегрева ГВС  $\Delta T$  при фиксированных значениях  $w_0$  и  $u$  линейны или практически отсутствуют (для параметра формы  $\eta$ ). Таким образом, общий вид зависимостей параметров  $\vec{\theta} = \{\lambda, \eta, \gamma\}$  от факторов  $\vec{v} = \{w_0, u, \Delta T\}$ :

$$\theta_j^* = \Psi_j[u\bar{p}_j(w_0)] + a_j(u, w_0) + b_j(u, w_0)\Delta T, \quad (6)$$

где  $\Psi_j(\bullet)$  – некоторая нелинейная функция, адекватно описывающая поведение  $\theta_j^*(u)$ ,  $\bar{p}_j(w_0)$  – вектор коэффициентов функции  $\Psi_j(\bullet)$ ,  $a_j(\bullet)$  и  $b_j(\bullet)$  – нелинейные функции коэффициентов смещения и наклона, определяющие линейную зависимость  $\theta_j^*(\Delta T)$ .

Для оценки значений  $\bar{p}_j(w_0) = \{p_{jk}\}_{M \times K}$  ( $M$  – количество оцениваемых зависимостей,  $K$  – количество коэффициентов соответствующей аппроксимирующей функции) используется полиномиальная аппроксимация по методу наименьших квадратов [9]:

$$p_{jk} = \sum_{i=0}^m p_{jki} w_0^i. \quad (7)$$

Анализ зависимостей оценок СКО  $\sigma_y$  для нормального распределения концентраций ЗВ по оси  $Y$  показал, что  $\sigma_y$  не зависит от факторов  $w_0$  и  $\Delta T$ , зависимость  $\sigma_y(u)$ ,  $x = \text{const}$  имеет гиперболический характер, зависимость  $\sigma_y(x)$ ,  $u = \text{const}$  является линейной, поэтому для определения значений  $\sigma_y$  может использоваться модель вида

$$\sigma_y(x, u) = \frac{p_0(x)}{u + p_1} = \frac{a + b \cdot x}{u + p_1}. \quad (8)$$

Как отмечалось выше, для нахождения оптимальных оценок коэффициентов выражения (8) используется метод наименьших квадратов. Для практических расчетов по (8) рекомендуется при  $x < 1$  м полагать  $\sigma_y = 0,5$ .

Для оценки значения СКО  $\sigma_z$ , характеризующего рассеяние ЗВ в вертикальной плоскости, как правило, используют эмпирическую формулу

$$\sigma_z(x, k_A) = c(k_A) \cdot x^{d(k_A)}, \quad (9)$$

где  $x \in [10^2 \dots 10^4]$  м,  $k_A$  – класс устойчивости атмосферы А...F (табл. 1).

Класс устойчивости атмосферы характеризует способность атмосферы рассеивать загрязнители.

Таблица 1

Скорость ветра, м/с	Классы устойчивости атмосферы				
	Дневное время. Уровень солнечного освещения			Ночное время. Облачность	
	Сильный	Средний	Слабый	>50%	<50%
< 2	A	A – B	B	E	F
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
> 5	C	C – D	D	D	D

Обычно различают 6 классов стабильности атмосферы А...F. Класс А соответствует наибольшей неустойчивости (очень конвективная атмосфера – ясное небо, высота солнца над горизонтом более 60°, слабый ветер); В – умеренно нестабильным условиям; С – незначительно нестабильным условиям; D – нейтральным условиям; E – незначительно стабильным условиям; F – наибольшей устойчивости (большой отрицательный градиент температуры при слабой механической турбулентности – безветренные, ясные ночи, когда земля охлаждается, излучая тепло и возникает толстый инверсионный слой).

При определении класса устойчивости атмосферы  $k_A$  учитывают скорость ветра, время суток, солнечное освещение в местности и степень облачного покрытия.

Значения коэффициентов  $c(k_A)$ ,  $d(k_A)$  определяют в зависимости от класса устойчивости атмосферы (в литературных источниках, например [10], они указаны для  $z = 0,1$  м и  $h < 20$  м).

При расчетах по формуле (9) для расстояний  $x < 100$  м предлагается линейно интерполировать между 0,5 и величиной  $\sigma_z$  при 100 м.

Таким образом, вероятностная модель (4) дополняется системой уравнений (6) – (9), связывающих параметры маргинальных распределений с факторами, влияющими на рассеяние ЗВ в атмосфере:  $w_0$ ,  $u$ ,  $\Delta T$  и  $k_A$ .

Учет направления ветра  $\varphi$  в модели (4) осуществляется поворотом системы координат вокруг точки с координатами источника выброса  $(\varepsilon, y_0)$  на величину угла  $\varphi$

$$\begin{cases} x = \cos(\varphi)(x - \varepsilon) - \sin(\varphi)(y - y_0); \\ y = \cos(\varphi)(x - \varepsilon) + \sin(\varphi)(y - y_0). \end{cases} \quad (10)$$

Вид модели (4), представляющий распределения концентрации примеси по координатам  $X$  и  $Y$  при фиксированном значении координаты  $Z$  для одного источника выбросов с заданными значениями  $h$ ,  $R_0$ ,  $V$  и при одинаковых значениях факторов  $w_0$ ,  $u$ ,  $\Delta T$  но при различных классах устойчивости атмосферы  $k_A$  показан на рис. 3, а, б.

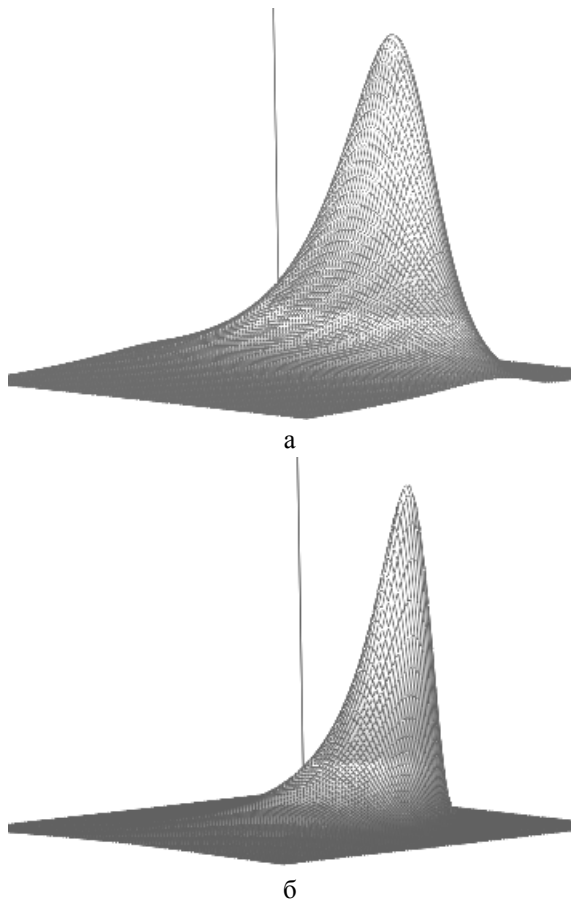


Рис. 3. Вид моделі (4) для різних класів устойчивости атмосфери при  $w_0 = 1$  м/с,  $u = 3$  м/с,  $\Delta T = 1^\circ\text{C}$  («холодні» виброси),  $h = 5$  м,  $z = 0,1$  м:  
а –  $k_A = F$ , б –  $k_A = A$

Линии постоянного уровня модели (4) при  $z = \text{const}$

$$L_\alpha = \{(x, y) | C(x, y, z = \text{const}) = C_\alpha\}$$

представляют собой изоплеты концентраций ЗВ по заданному уровню  $C_\alpha$ . Изображения линий уровня  $L_\alpha$ , соответствующие различным условиям рассеяния ЗВ в атмосфере представлены на рис. 4.

Так, на рис. 4, а показано, что с увеличением скорости ветра при прочих одинаковых значениях переменных модели (4) область  $S: L_\alpha \leq 0$  вытягивается по оси X и сжимается по оси Y. Для более стабильных атмосферных условий, характеризующихся отсутствием значительных перемещений и перемешивания воздушных слоев, площадь области S больше (рис. 4, б), т. к. при этом ЗВ переносится, преимущественно, в горизонтальном направлении. Область S, соответствующая большому значению пороговой концентрации  $C_\alpha$ , при прочих равных условиях, имеет меньшую площадь, как показано на рис. 4, в. Рис. 4, г иллюстрирует изменение пространственной локализации области S, связанное с изменением направления ветра  $\varphi$ .

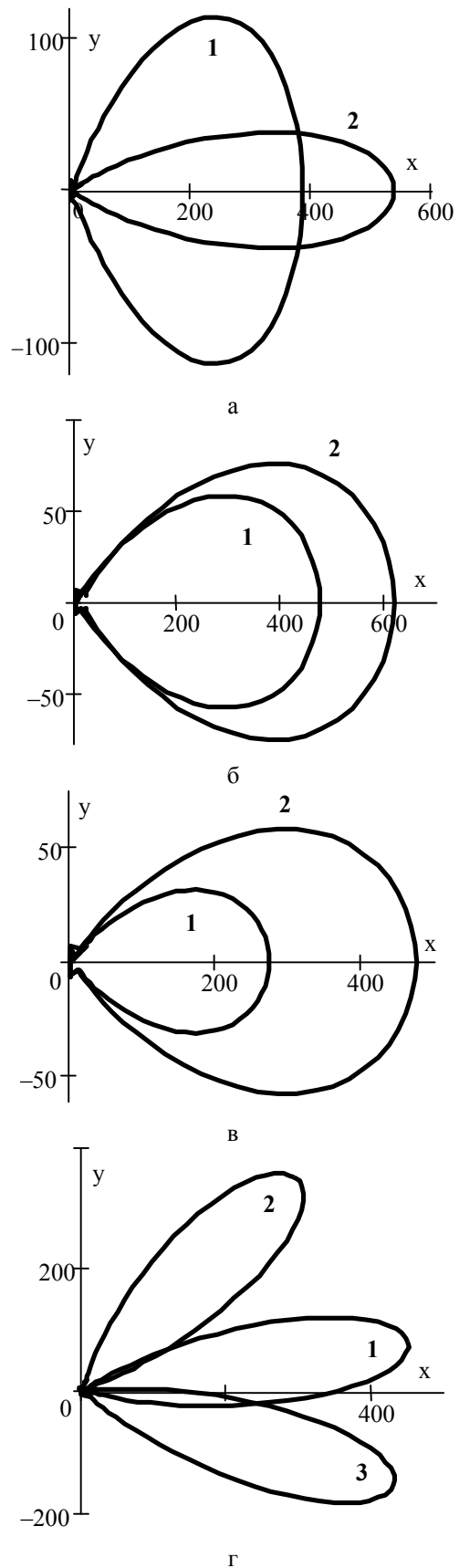


Рис. 4. Изоплеты концентраций, построенные по модели (4): а –  $u = 1$  м/с (1),  $u = 10$  м/с (2);  
б –  $k_A = A$  (1),  $k_A = D$  (2);  
в –  $C_\alpha = 100$  мг/м<sup>3</sup> (1),  $C_\alpha = 10$  мг/м<sup>3</sup> (2);  
г –  $\varphi = 10^\circ$  (1),  $\varphi = 50^\circ$  (2),  $\varphi = 340^\circ$  (3)

## Выводы и направление дальнейших исследований

В статье сформулированы функциональные требования к информационным системам экологического мониторинга и предложена многокомпонентная вероятностная модель для расчета концентрации загрязняющих веществ в атмосфере.

Входными переменными модели являются: координаты источника загрязнения  $(\varepsilon, y_0)$ , высота источника  $h$ , радиус устья  $R_0$ , мощность выброса  $Q$ , объемный расход газо-воздушной смеси  $V$ , скорость газов на выходе из источника  $w_0$ , разность температур  $\Delta T$  выбрасываемой газо-воздушной смеси и атмосферного воздуха, скорость  $u$  и направление  $\varphi$  ветра, класс устойчивости атмосферы  $k_A$ .

В отличие от Гауссовой, предлагаемая модель лучше аппроксимирует фактическое распределение концентрации загрязняющих веществ по оси  $X$  (вдоль направления ветра).

По сравнению с методикой «ОНД-86» модель учитывает влияние степени стабильности атмосферы; при этом эмпирические зависимости, связывающие в явном виде параметры и входные переменные модели, определяют линейную структуру вычислительной схемы, что упрощает ее программную реализацию.

**Направление дальнейших исследований** связано с уточнением вероятностной модели для расчета концентрации загрязняющих веществ путем учета рельефа местности, и с разработкой структуры геоинформационной системы, осуществляющей на основе данной модели текущий мониторинг и прогноз состояния загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий.

## Список литературы

1. Первый Независимый Экологический Портал: [Электронный ресурс]. К. 2009-2016. – Режим доступа: <http://environments.land-ecology.com.ua/septik/1575-sostoyanie-atmosfery-ukraina-detalnyj-obzor.html>.
2. Мониторинг и методы контроля окружающей среды [Текст] / Ю.А. Афанасьев, В.В. Меньшиков, С.А. Фомин, и др. – М.: МНЭПУ, 2001. – 337 с.
3. Скарга-Бандурова, И.С. Модели оценки экологической безопасности региона [Текст] / И.С. Скарга-Бандурова, А.И. Рязанцев // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – Х.: ХАІ, 2014. – № 6 (70). – С. 12 – 16.
4. Башкин, В.Н. Экологические риски: расчет, управление, страхование [Текст] / В.Н. Башкин. – М.: Высш. шк., 2007. – 360 с.
5. Инженерная экология [Текст] / Под ред. В.Т. Медведева. – М.: Гардарика, 2002. – 687 с.
6. Берлянд, М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы [Текст] / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
7. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах [Текст] / Г. Хан, С. Шапиро. – М.: Наука, 1969. – 308 с.
8. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 94с.
9. Соловьев, А.А. Вариационное исчисление и методы оптимизации [Текст] / А.А. Соловьев. – Саратов: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2004. – 241 с.
10. Условия, влияющие на дисперсию газов и паров в атмосфере: [Электронный ресурс] // Экологическая сеть "ЭКОДЕЛО". 2015. URL: [http://ecodelo.org/9586-522\\_usloviya\\_vliyayushchie\\_na\\_dispersiyu\\_gazov\\_i\\_parov\\_v\\_atmosfere-5\\_modelirovanie\\_i\\_prognozu\\_v](http://ecodelo.org/9586-522_usloviya_vliyayushchie_na_dispersiyu_gazov_i_parov_v_atmosfere-5_modelirovanie_i_prognozu_v).

Поступила в редколлегию 30.10.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Н.И. Адаменко, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.

## СТРУКТУРА СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ НА БАЗІ ІМОВІРНІСНОЇ МОДЕЛІ ЛОКАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

І.К. Васильєва, А.С. Нечаусов

*Розглянуто підхід до створення автоматизованої геоінформаційної системи, що забезпечує моніторинг фактичного стану забруднення атмосферного повітря, прогноз рівня концентрації забруднюючих речовин та надання рекомендацій для поліпшення екологічного становища. Запропоновано багатокomпонентна імовірнісна модель для розрахунку концентрації забруднюючих речовин в атмосфері на основі нормального розподілу та  $S_L$ -розподілу Джонсона. Наведено методику оцінки параметрів моделі, що дозволяє отримати залежності оцінюваних параметрів від вхідних змінних, які істотно впливають на характер розсіювання домішок в атмосфері.*

**Ключові слова:** екологічний моніторинг, забруднення атмосфери, імовірнісна модель.

## THE STRUCTURE OF ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM BASED ON ATMOSPHERE LOCAL POLLUTION PROBABILISTIC MODEL

I.K. Vasilyeva, A.S. Nechausov

*Approach to creation of the automated geographic information system, which provides atmospheric air pollution actual state monitoring, the forecast of the polluting substances concentration level, as well as development of recommendations for improvement of an ecological situation is considered. The multicomponent probabilistic model for estimation of the polluting substances concentration in the atmosphere based on normal distribution and Johnson's  $S_L$  – distribution has been offered. The technique of model parameters evaluation, which allows to obtain dependences of the estimated parameters on the input parameters, which significantly influencing the pollution dispersion nature in atmosphere is given.*

**Keywords:** environmental monitoring, atmospheric pollution, probabilistic model.