

УДК 504. 3:551. 510. 522

С.Н. Степаненко, д.ф.-м. н., Н.Б. Овчинникова*, к.т.н, В.Г. Волошин, к.г. н.,
Н.Н. Гончаренко, асп.

Одесский государственный экологический университет

**Министерство охраны окружающей природной среды Украины, г.Киев*

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР РАЗБАВЛЕНИЯ ПРИМЕСИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПОТЕНЦИАЛА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

На основе гауссовских стационарных моделей рассеяния примесей построена модель метеорологического потенциала загрязнения атмосферы с помощью преобразованного фактора разбавления примеси. Модель пригодна для практических расчетов для целей охраны атмосферного воздуха от загрязнения. Модель может быть служить базой для всестороннего изучения климатических и метеорологических условий приводящих к опасным уровням загрязнения атмосферы в различных географических зонах.

Ключевые слова: *качество воздуха, поллютант, диффузия, перенос примеси, показатель устойчивости, метеорологический фактор разбавления, потенциал загрязнения, метеорологические условия, экологический риск.*

Введение. Сочетание метеорологических факторов, обуславливающих уровень возможного загрязнения атмосферы, при сохранении интенсивности эмиссии, называют потенциалом загрязнения атмосферы (ПЗА) [1,2]. Показатели ПЗА могут использоваться как в прогнозах загрязнения атмосферы с различной заблаговременностью, так и при оценках климатических особенностей отдельных географических регионов накапливать или рассеивать вредные примеси (поллютанты) в течение длительных периодов времени. Показатели ПЗА могут включать любые сочетания метеорологических факторов, которые характеризуют условия вертикального и горизонтального переноса примесей в атмосфере [5,6,7].

Наиболее известная работа, посвященная исследованию роли метеорологических факторов способствующих накоплению, рассеиванию или удалению поступающих в атмосферу вредных веществ принадлежит Безуглой Э.Ю.[1], которая впервые в 80-х годах XX столетия провела районирование территории СССР по климатическому показателю ПЗА. Безуглая Э.Ю. ввела 5-ть классов (зон) опасности ПЗА, подразделив их по вероятностям метеорологических событий (условий), ведущих к повышенному уровню загрязнения. Такой подход позволил провести макро районирование территории СССР, согласно которому территория Украины попала во вторую и третью умеренную, повышенную континентальную и приморскую зоны ПЗА [6]. До сих пор многие исследователи используют этот показатель для описания климатических особенностей местности.

Однако, учитывая изменяющиеся показатели климата, использование новых законодательных актов и нормативных экологических документов и принципиально новых подходов к охране окружающей природной среды и, в частности, к охране атмосферного воздуха, дальнейшее применение методики Безуглой Э.Ю. по оценке метеорологического и климатического ПЗА на Украине, учитывая также изменившиеся

условия хозяйствования, представляется невозможным и неоправданным. Поэтому, на сегодняшний день, этот вопрос является крайне актуальным для экологической безопасности Украины.

Общая постановка и проблемы. Обеспечение чистоты атмосферного воздуха в значительной степени зависит от понимания роли метеорологических условий и правильного учета потенциальных возможностей атмосферы рассеивать и удалять поступающие в нее вредные вещества. Перенос и рассеивание примесей осуществляется по законам турбулентной диффузии, а ее интенсивность зависит от множества факторов, среди которых доминирующая роль принадлежит термическим и динамическим факторам, которые определяют устойчивость термически стратифицированного пограничного слоя [3].

Поэтому ПЗА в первую очередь должен учитывать потенциальные возможности атмосферы рассеивать примеси, которые характеризуются интенсивностью рассеяния (дисперсией) облака примеси σ_i^2 вдоль координатных осей ($i=1,2,3$). Масштабы горизонтальной продольной σ_1^2 (alongwind) и поперечной σ_2^2 (crosswind) дисперсий, а также масштаб вертикального рассеяния σ_3^2 обязательно учитываются в различных моделях загрязнения атмосферы [9].

Следовательно, и расчеты ПЗА должны базироваться на учете аналогичных показателей рассеяния, что позволит получить не только динамику его изменения и статистические характеристики, но и климатические особенности отдельных физико-географических зон поведения поллютанта (примеси), поступающего в атмосферу от различных источников.

Поэтому, в качестве показателя ПЗА предлагается использовать метеорологический фактор разбавления (МФР) поллютанта в атмосфере, который для непрерывного (или мгновенного) источника загрязнения атмосферы определяется выражением

$$D(t) = \frac{c(\vec{x}_c, t_c)}{M(\vec{x}_s, t_s)}, \quad (1)$$

где $D(t)$ – метеорологический фактор разбавления (the meteorological factor (doze) diluting pollution, MFD) примеси в атмосфере, ($T \cdot M^{-3}$);

$c(\vec{x}_c, t)$ – разовая концентрация примеси, ($M \cdot L^{-3}$);

$M(\vec{x}_s, t_s)$ – эмиссия источника, ($M \cdot T^{-1}$);

\vec{x}_c – радиус-вектор (x_c, y_c, z_c) точки, в которой определяется концентрация примеси;

\vec{x}_s – радиус-вектор точки (x_s, y_s, z_s) расположения источника примеси;

t_s, t_c – момент выброса примеси из источника расположенного в точке \vec{x}_s и момент измерения концентрации в точке рецептора \vec{x}_c , соответственно.

Цель настоящей работы заключается в получении в рамках гауссовских моделей простых формул приемлемой точности для расчета метеорологического фактора разбавления. В предлагаемой статье проведен анализ возможности применения МФР для оценки как метеорологического, так и климатического потенциала загрязнения атмосферы.

Модель оценки метеорологического фактора разбавления примеси в атмосфере. Для оценки приземных концентраций примеси широкое применение получили различные модификации гауссовских моделей [9,10]. В настоящее время практически во всех развитых странах модели такого типа доминируют в

нормативных документах [9], устанавливающих допустимые уровни загрязнения и правила расчета приземной концентрации.

В моделях гауссовского типа предполагается, что рассеяние нейтрально плавучей примеси в трехмерном пространстве происходит по нормальному гауссовскому закону распределения при постоянстве вектора скорости ветра и при сохранении текущего состояния устойчивости атмосферы за расчетный временной интервал определения приземных концентраций. Учет ряда иных факторов, влияющих на перенос, рассеяние и осаждение примеси, выполняется введением поправок. Такие поправки позволяют корректно учесть отражение примеси от верхней границы слоя перемешивания или нижней границы приподнятой температурной инверсии, взаимодействие примеси с подстилающей поверхностью, гравитационное осаждение, влажное выведение, химические превращения и пр. эффекты. Эти поправки достаточно полно описаны в работах [4,9]. Все это свидетельствует о высокой теоретической проработке и практической надежности гауссовских моделей, которые и легли в основу построения модели метеорологического фактора разбавления.

Трехмерное поле концентраций примеси образуется в зоне непрерывно действующих (или мгновенных) источников загрязнения атмосферы в результате переноса облака примеси в направлении вектора скорости ветра (вдоль оси x) и в перпендикулярном, горизонтальном (по оси y) и вертикальном (по оси z), направлении к вектору переноса. По вертикали перенос примеси осуществляется в полупространстве $z \geq 0$, так как плоскость $z=0$ представляет границу полупространства, т.е. подстилающую поверхность.

В этом случае концентрация в любой точке рассматриваемого пространства в различные моменты времени t может быть определена с помощью исходной функции, вытекающей из гауссовской модели

$$c(\vec{x}_c, t) = M(\vec{x}_s, t_s) \cdot Q(\vec{x}_c, t), \quad (2)$$

где $Q(\vec{x}_c, t_c)$ – функция плотности распределения (ФПР) концентрации в диффундирующем облаке примеси в окрестностях точки рецептора с координатами \vec{x}_c , ($T \cdot L^{-3}$);

$M(\vec{x}_s, t_s)$ – эмиссии распределенного источника в зависимости от его типа, ($M \cdot T^{-1}$);

В случае, если источники загрязнения атмосферы имеют различную конфигурацию и представлены в виде объемных (трехмерных), поверхностных (двумерных), линейных (одномерных) или точечных источников, то концентрация поллютанта, создаваемая такими источниками в трехмерном пространстве $c(\vec{x}_c, t)$, может быть определена в виде:

$$c(\vec{x}_c, t) = \int_{\mu_{11}}^{\mu_{12}} \int_{\mu_{21}}^{\mu_{22}} \int_0^t \int [M_3(\vec{x}_s, t_s) \cdot \hat{Q}(\vec{x}_c, t)] dE_V dt_s, \quad (3)$$

для объемного (трехмерного) источника;

$$c(\vec{x}_c, t) = \int_{\mu_{11}}^{\mu_{12}} \int_{\mu_{21}}^{\mu_{22}} \int [M_2(\vec{x}_s, t_s) \cdot \hat{Q}(\vec{x}_c, t)] dE_S dt_s, \quad (4)$$

для поверхностного (двумерного) источника;

$$c(\vec{x}_c, t) = \int_{\mu_1}^{\mu_2} \int [M_1(x_1, t_s) \cdot \hat{Q}(\vec{x}_c, t)] dE_L dt_s, \quad (5)$$

для линейного (одномерного) источника;

$$c(\bar{x}_c, t) = \int_0^t [M_0(t_s) \cdot \hat{Q}(\bar{x}_c, t)] dt_s \quad (6)$$

для точечного источника загрязнения атмосферы.

В формулах (3-6) функция $M_k(\bar{x}_s, t_s)$ ($k = 0, 1, 2, 3$) характеризует эмиссию распределенного источника в момент t_s . Тогда эмиссии источников M_3, M_2, M_1, M_0 имеют соответственно следующие размерности: $(ML^{-3}T^{-1})$, $(ML^{-2}T^{-1})$, $(ML^{-1}T^{-1})$, (MT^{-1}) , а элемент конфигурации dE_k источников представлен n -мерным вектором параметра $\bar{\mu}$, область изменения которого для источников различной конфигурации выражается соответственно неравенствами:

$$\begin{aligned} E_V &: \mu_{i1} \leq \mu_i \leq \mu_{i2}, i = 1, 2, 3; \\ E_S &: \mu_{i1} \leq \mu_i \leq \mu_{i2}, i = 1, 2; \\ E_L &: \mu_1 \leq \mu_i \leq \mu_2. \end{aligned}$$

Следовательно, элемент dE_k ($k = 1, 2, 3$) в выбранной криволинейной системе координат определится как:

$$\begin{aligned} dE_V &= e_V d\bar{\mu} = e_V d\mu_1 d\mu_2 d\mu_3; \\ dE_S &= e_S d\bar{\mu} = e_S d\mu_1 d\mu_2; \\ dE_L &= e_L d\mu, \end{aligned} \quad (7)$$

где e_k – масштабный множитель, имеющий размерность элемента источника, (L^3, L^2, L) .

Функции плотности распределения $\hat{Q}(\bar{x}_c, t)$ в формулах (3-6) для среды, движущейся вдоль оси x в полупространстве $z \geq 0$ со скоростью u , могут быть представлены согласно гауссовской модели в виде

$$\begin{aligned} \hat{Q}(\bar{x}_c, t) &= \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left\{-\frac{[x_c - x_s - u(t_c - t_s)]^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y_c - y_s)^2}{2\sigma_y^2}\right\} \times \\ &\times \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_z} \left\{ \exp\left[-\frac{(z_c - z_s)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z_c + z_s)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}. \end{aligned} \quad (8)$$

В формуле (8) дисперсии σ_i^2 являются функциями аргумента $x = u(t_c - t_s)$. Таким образом, с помощью формул (1-8) можно оценить метеорологический фактор разбавления для любого типа источника как точечного (нольмерного), так и объемного (трехмерного). При этом функции плотности распределения концентрации, порождаемой в трехмерном пространстве источником любой конфигурации, будут аналогичны. Но для оценки суммарной эмиссии источника k -того порядка необходимо выполнить интегрирование удельных эмиссий по элементам конфигурации источника.

Нам представляется оправданным строить модель метеорологического потенциала загрязнения атмосферы, основываясь на понятии стационарного равномерно распределенного непрерывного источника, так как в этом случае можно

считать, что удельная эмиссия источников за промежуток времени $(t_c - t_s)$ не изменяется и тогда метеорологический фактор разбавления, лежащий в основе построения модели ПЗА, можно записать

$$D(t) = \frac{\int \int \int M(\bar{x}, t) dE_V \int_0^t [\hat{Q}(\bar{x}_c, t)] dt_s}{\int \int \int M(\bar{x}, t) dE_V \int_{\mu_{11} \mu_{21} \mu_{31}}^{\mu_{12} \mu_{22} \mu_{32}}} = \hat{Q}(\bar{x}_c, t_c | \bar{x}_s, t_s) dt. \quad (9)$$

Здесь $\hat{Q}(\bar{x}_c, t_c | \bar{x}_s, t_s), [L^{-3}]$ – представляет функцию плотности вероятности перехода поллютанта, находящегося в момент времени t_1 в точке \bar{x}_1 , в окрестность точки \bar{x}_2 к моменту времени t_2 . Это означает, что $\delta t = (t_2 - t_1)$ может интерпретироваться как промежуток времени, необходимый для определения так называемой разовой концентрации.

Модель оценки потенциала загрязнения атмосферы. Расчетные алгоритмы потенциала загрязнения атмосферы построим на алгоритмах модели диффузии гауссовского типа ISC3 (Industrial source complex dispersion models), известной в ЕС и США в качестве нормативной модели, устанавливающей допустимые уровни загрязнения и правила расчета приземных концентраций [9].

Сохраняя гауссовский подход к решению задачи, запишем метеорологический фактор разбавления, используя уравнения (8-9), в виде

$$D(t) = [AT(x, t) \cdot CT(x, y) \cdot VT_i(x, z) \cdot FP(x)] \cdot \delta t, \quad (10)$$

где $AT(x, t)$ – масштаб горизонтального переноса примеси вдоль оси x со скоростью ветра \bar{u} (along wind transport), m^{-1} ;

$CT(x, t)$ – масштаб горизонтального рассеяния примеси по оси y (crosswind transport), m^{-1} ;

$VT(x, t)$ – масштаб вертикального рассеяния примеси по оси z (vertical transport), m^{-1} ;

$FP(x)$ – фактор обеднения источника (function of pauperization).

Рассмотрим все составляющие уравнения (10). Фактор $AT(x, t)$ характеризует перенос и рассеяние облака примеси по потоку вдоль оси x и согласно уравнению (8) (для x_s и $y_s = 0$) определится следующим образом

$$\hat{Q}(\bar{x}_c, t) = \left[\frac{1}{\bar{U} \cdot (t_s - t_c)} + \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_x} \exp\left(-\frac{[x_c - u \cdot \delta t]^2}{2\sigma_x^2}\right) \right]. \quad (11)$$

Для стационарного непрерывного источника рассеянием σ_x^2 (второе слагаемое в квадратных скобках в (11)) примеси относительно центра облака, которое перемещается со скоростью \bar{U} с воздушным потоком, можно пренебречь по сравнению с переносом самого облака примеси. Тогда фактор $AT(x, T)$ будет зависеть только от переноса примеси по потоку и запишется в виде

$$AT(x,t) = \frac{1}{\bar{U}(t_s - t_c)} = \frac{1}{\bar{U}_z \cdot \delta t}, \quad (12)$$

где δt – временной интервал равный 20 мин, необходимый для определения “разовой” концентрации [2];

\bar{U}_z – средняя в слое скорость ветра, м·с⁻¹.

Запишем далее фактор $CT(x,t)$, используя уравнение (8), в виде

$$CT(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right), \quad (13)$$

где σ_y^2 и σ_y – являются также функциями аргумента $x = u(t_c - t_s)$.

Фактор $CT(x,t)$ представляет функцию плотности распределения горизонтально диффундирующего облака в области $-\infty < y < \infty$ в направлении перпендикулярном к вектору среднего переноса. Однако, для определения метеорологического потенциала загрязнения нет необходимости задавать координату y точки расположения рецептора, что обязательно выполняется при расчетах поля концентраций. Поэтому экспоненциальный член уравнения (13) можно исключить, приняв $y=0$ и масштаб диффундирующего облака в направлении оси y запишем следующим образом

$$CT(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_y}. \quad (14)$$

Для определения фактора $VT(x,t)$ перепишем ту часть уравнения (8), которая содержит компоненту z , в виде

$$VT_1(x,z) = \frac{(q_1 + q_2)}{\sqrt{2\pi} \sigma_z}, \quad (15)$$

где q_1 и q_2 – безразмерные поправочные коэффициенты вертикального рассеяния без учета отражения и с учетом отражения примеси от подстилающей поверхности, соответственно

$$q_1 = \exp\left(-\frac{(z_c - H_s)^2}{2\sigma_z^2}\right); \quad q_2 = \exp\left(-\frac{(z_c + H_s)^2}{2\sigma_z^2}\right), \quad (16)$$

где σ_z – вертикальный масштаб рассеяния, м;

σ_z^2 – дисперсия, характеризующая рассеяние по вертикали;

$z_s = H_s$ – эффективная высота источника загрязнения атмосферы, м;

z_c – вертикальная координата рецептора.

В (15) и (16) дисперсии σ_z^2 и σ_z являются монотонно возрастающими функциями аргумента $x = \bar{U}(t_c - t_s)$, при этом $\sigma_z^2(0)=0$. Можно убедиться, что функция (15) в области $0 \leq z < \infty$ обладает свойством функции плотности

распределения, поскольку $\varphi(z) > 0$, и выполняется условие нормировки $\int_0^{\infty} \varphi(z) dz = 1$.

Поэтому функция (15) трактуется как функция плотности вероятностей $\varphi(z)$ специального усеченного нормального распределения на полупрямой.

Использование уравнения (15) для оценки вертикального рассеяния вызывает необходимость учета высот источников H_s . Но так как метеорологический потенциал загрязнения характеризует только способность атмосферы рассеивать поллютант в трехмерном пространстве, то введение различных параметров источника, например его высоту или эмиссию, возвращает нас вновь к фактору разбавления, т.е. к одному из базовых элементов количественной оценки полей концентрации.

Поэтому в основу модели ПЗА положен принцип равномерно распределенного стационарного непрерывного объемного (или поверхностного) источника, эмиссия которого может быть оценена уравнениями (3) и (4).

Такие условия для источника требуют рассматривать перенос примеси только в слое $0 \leq z \leq H_m$, т.е. в области, где обе границы слоя непроницаемы для поллютанта. Слой H_m может быть или дневной слой перемешивания (mixed layer), или ночной устойчивый пограничный слой (NBL), или границы температурных инверсий.

При таких условиях решение уравнения (15) имеет вид [8]

$$VT_2(x, z) = \frac{1}{2H_m} \left[J_i \left(\frac{z_c - z_s}{2H_m}, \frac{\sigma_z^2}{2H_m^2} \right) + J_i \left(\frac{z_c + z_s}{2H_m}, \frac{\sigma_z^2}{2H_m^2} \right) \right] \approx \frac{1}{H_m}, \quad (17)$$

где $J(\cdot)$ – функции Якоби, которые при z_c и $z_s = 0$ равны 1.

Аналогичный результат будет получен, если вместо коэффициентов $(q_1 + q_2)$ уравнения (15) использовать коэффициент q_3 , учитывающий полное отражение примеси от нижней и верхней границ слоя перемешивания. Тогда фактор вертикального рассеяния в соответствии с работой [9] будет записан в виде

$$VT_3(x, z) = \frac{q_3}{\sqrt{2\pi} \sigma_z}, \quad (18)$$

где

$$q_3 = \left\{ \sum_{i=0}^{\infty} \left[\exp \left[- \left(\frac{(2iH_m - H_s + z_c)^2}{2\sigma_z^2} \right) \right] + \exp \left[- \left(\frac{(2iH_m + H_s + z_c)^2}{2\sigma_z^2} \right) \right] \right] + \sum_{i=0}^{\infty} \left[\exp \left[- \left(\frac{(2iH_m + H_s - z_c)^2}{2\sigma_z^2} \right) \right] + \exp \left[- \left(\frac{(2iH_m - H_s - z_c)^2}{2\sigma_z^2} \right) \right] \right] \right\}. \quad (19)$$

Сумма четырех членов уравнения (19) сходится достаточно быстро к окончательной оценке параметра q_3 . В большинстве случаев суммирование ряда с числом волн отражения равным $i = 2$ обеспечивает адекватную оценку ряда. Когда экспоненциальные члены уравнения (19) на третьем шаге ($i=3$) становятся малыми [$\exp(-10)$], то облако распространяющейся примеси можно считать однородным в

пределах слоя перемешивания H_m и, тогда выражение в фигурных скобках (19) упрощается и записывается в виде

$$q_3 = \frac{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_z}{H_m} . \quad (20)$$

Фактор $VT(x,t)$ в уравнении (17) и в (18) представляется простой “box-моделью” с однородным вертикальным перемешиванием, и поэтому окончательно для учета вертикального переноса можно принять

$$VT(x,t) = 1/H_m . \quad (21)$$

Рассмотрим далее фактор $FP(x)$, представляющий сток примеси в процессе диффузии. Следуя выбранной нами стратегии, учтем только метеорологические составляющие, которые ведут к “очищению” слоя переноса примеси и, следовательно, косвенно влияют на оценку фактора разбавления, т.е. на потенциал загрязнения. Тогда фактор $FP(x)$ будет учитывать только влияние осадков

$$FP(x) = f_p(x) = \exp[-\lambda \cdot t] , \quad (22)$$

где $f_p(x)$ – функция обеднения источника за счет вымывания осадками;

λ – постоянная, характеризующая скорость исчезновения примеси в диффундирующем облаке при наличии осадков.

Окончательно, используя формулы (12),(14),(21),(22), запишем показатель потенциала загрязнения атмосферы в виде метеорологического фактора разбавления

$$D(t) = \frac{e^{-\lambda \cdot t} \cdot \delta t}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_y(x) \cdot (\bar{U}_z \cdot \delta t) \cdot H_m} , \quad (\text{с/м}^3) . \quad (23)$$

Однако, для анализа зависимости потенциала загрязнения от метеорологических условий удобнее использовать обратную величину от $D(t)/\delta t$, а именно

$$\Phi = 2.5 \cdot \sigma_y(x) \cdot (\bar{U}_z \delta t) \cdot H_m \cdot e^{\lambda \cdot t} , \quad (24)$$

где Φ – символ введен для обозначения потенциала загрязнения, м^3 ;
 $x = (U_z \cdot \delta t)$, U_z в м/с, $\delta t = 1,2 \cdot 10^3$ с.

Потенциал загрязнения атмосферы можно интерпретировать как “объем воздуха, в котором при текущих погодных условиях равномерно распределен разовый единичный выброс примеси за интервал времени, необходимый для определения разовой концентрации”.

Следовательно, большие значения Φ будут свидетельствовать о высоких потенциальных способностях атмосферы рассеивать примесь, а малые показывать наличие неблагоприятных погодных условий, ведущих к опасным уровням загрязнения атмосферы. Вымывание примеси осадками ($\lambda > 0$) обеспечивает увеличение показателя Φ , т.е. характеризует способность атмосферы быстро выводить примесь из области рассеяния. Объем воздуха, в котором равномерно распределен разовый единичный выброс примеси, можно представить как параллелепипед, размеры которого

определяются составляющими Φ , а именно: длина $a = (U_z \cdot \delta t)$; ширина $b = \sigma_y(x)$; высота $c = H_m$. Все составляющие показателя Φ являются многомерными функциями метеорологических величин, представляющими весь спектр погодных условий и их изменений.

Для определения масштабов горизонтального $\sigma_y(x)$ и вертикального рассеяния H_m достаточно воспользоваться одной из известных классификаций устойчивости пограничного слоя атмосферы. В настоящее время определение термодинамической устойчивости ПСА проводится по дискретным категориям устойчивости атмосферы, способами Паскуилла, Улига, Смита, Паскуилла-Тернера-Бызовой и др. авторов, или по значениям одного из градиентных или потоковых параметров устойчивости. Классификации типа Паскуилла-Тернера разрабатывалась для географических и метеорологических особенностей США, а поправки, введенные Бызовой Н.Л. к этой классификации, изменили диапазон безразличного состояний и учли наличие снежного покрова. Классификация Паскуилла-Тернера-Бызовой проверена только измерениями в Обнинске (Калужская обл., Россия) [4].

Метод определения устойчивости, адаптированный к метеорологическим и географическим особенностям Украины, классификация «GS (grade stability)», предложен в работе [3,7]. Метод хорошо идентифицирует состояние атмосферы и работает на доступных данных, получаемых в оперативном режиме с сети метеорологических станций.

Гауссовские модели могут использовать различными способами задания масштабов σ_y, σ_z и H_m . Сводка всех значений дисперсий и формул для расчета масштабов рассеяния и соответствующих параметров приводится на сайте GeoMod, <http://geomod.rsu.ru/Bank/ModAtmo2/refereces.htm#10>.

В табл. 1 приведены величины масштабов рассеяния, которые могут использоваться для оперативной оценки ПЗА по формуле (24). В первой и во второй колонке представлены классы устойчивости и тип стратификации по классификации «GS» по [7]. Горизонтальный масштаб $\sigma_y(x)$ рассчитывался по формуле Бригса [11]. В пятой колонке дана скорость ветра характерная для каждой категории устойчивости атмосферы. Вертикальный масштаб H_m определен нами на основе сопоставлений классов устойчивости «GS» и аэрологических данных станций Киев для теплого периода года (июнь-август) и показан в шестой колонке, в седьмой даны значения потенциала загрязнения Φ (в куб. км). Следует отметить, что максимальные способности атмосферы рассеивать примесь наблюдаются при умеренной и слабой неустойчивости.

Формула (24), совместно с данными табл. 1, позволяет оперировать показателем ПЗА, как со случайной величиной, пространственно-временные изменения которой могут изучаться различными математическими методами. Простота расчета Φ будет способствовать прогнозированию погодных условий определяющих характер поведения поллютанта в различных метеорологических ситуациях, а также оценивать потенциал загрязнения атмосферы различных территорий по их климатическим характеристикам.

Таблица 1– Горизонтальный масштаб рассеяния, скорость ветра и фактора разбавления примеси характерные для различных классов устойчивости по «GS» (июль, Киев)

Тип стратификации	Класс	$\sigma_y(x)$, м	$\bar{U}_z(GS)$ м/с	$\bar{H}_m(GS)$ м	Φ , (куб.км)
1	2	4	5	6	7
Сильная неустойчивость	1	368	1,5	2000	3,3
Умерен. неустойчивость	2	354	2,0	1800	3,8
Слабая неустойчивость	3	376	3,0	1200	4,0
Безразличное состояние	4	356	4,0	600	3,4
Слабая устойчивость	5	176	2,5	300	0,53
Умерен. устойчивость	6	82	1,5	100	0,074
Сильная устойчивость	7	42	1,0	50	0,006

Выводы. Таким образом, на основе гауссовских стационарных моделей диффузии с помощью преобразованного фактора разбавления построена модель метеорологического потенциала загрязнения атмосферы. Предлагаемая формула для расчета ПЗА может быть положена в основу систематического подхода к проблеме метеорологического обеспечения охраны атмосферного воздуха от загрязнения и использована для всестороннего изучения климатических и метеорологических условий, приводящих к опасным уровням загрязнения атмосферы.

Следует сказать также, что в Украине в настоящее время с целью нормирования выбросов вредных веществ в атмосферу и моделирования процессов рассеивания вредных веществ в атмосфере используется методика «ОНД-86», разработанная ГГО им.А.И.Воейкова еще 1986г. Данная методология реализует те же базовые принципы моделирования рассеивания примесей в атмосфере, что и гауссовские модели. Однако «ОНД-86», не позволяет учесть целый ряд факторов, возникающих в процессе рассеивания выбросов вредных веществ в атмосфере. Кроме того, использование этой методики создает сложности создания единых подходов в рамках европейских и мировых стандартов.

По итогам предварительного анализа, очевидно, что одной из основных, но не единственных проблем, которые необходимо решить в рамках подготовки к промышленному использованию гауссовских моделей на Украине является обеспечение их требуемым набором метеорологических данных, что и осуществляется публикаций настоящей и будущих статей по этой тематике.

Список литературы

1. Безуглая Э. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов.–Л.: Гидрометеиздат, 1980.–184 с.
2. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. –Л.: Гидрометеиздат. 1985.– 272 с.
3. Волошин В.Г. Метод расчета турбулентных потоков и температуры подстилающей поверхности на основе метеорологических наблюдений.//Метеорология, климатология и гидрология, 2002.,–вып.46.-с.83-89
4. Клепикова Н.В., Троянова Н.И., Фрейдмунд Г.Н. Использование гауссовых моделей в условиях слабого ветра и штилей //Тр. Института экспериментальной метеорологии, вып.23(165), 2002. с.65-81
5. Степаненко С.Н., Волошин В.Г., Применение вероятностного подхода к оценке экологической опасности высокого уровня загрязнений атмосферы. //Украинский гидрометеорологический журнал №1, 2006, Одесса. ТЕС, с.14-23
6. Степаненко С.Н., Гончаренко Н.И. Расчет потенциала загрязнения атмосферного воздуха применительно к условиям Украины: Сборник трудов симпозиума «Межрегиональные проблемы экологической безопасности».– Сумы, 2003.–с.430-433
7. Степаненко С.Н., Волошин В.Г., Гончаренко Н.Н., Попович П.П. Определение характера стратификации приземного слоя атмосферы для оценки метеорологического потенциала загрязнения воздуха // Метеорология, климатология и гидрология, 2006.–вып.49.–с.27-39
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (определения, формулы, теоремы).–Наука, М., 1973
9. User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3). Dispersion Models, Volume II - Description of Model Algorithms. EPA-454/B-95-003b. U.S. Environmental Protection Agency, 1995. Research Triangle Park.
10. D. Zavodsky, I. Kiss, J. Macoun, J. Stedman / Air pollution modelling in phare countries, Annex V, Status Report, 1999
11. Arya S.P. Modeling and parameterization of near-source diffusion in weak wind / – J. App. Meteor., 1995, v.34, p.1112-1122

Метеорологічний чинник розбавлення домішки як показник потенціалу забруднення атмосфери. Степаненко С. М., Волошин В. Г., Гончаренко Н. М.

На основі гаусових моделей розсіяння домішок була побудована модель метеорологічного потенціалу забруднення атмосфери за допомогою перетворення чинника розбавлення домішки. Модель придатна для практичних розрахунків метеорологічного потенціалу з цілей охорони атмосферного повітря від забруднення. Модель може бути використаний як база для усестороннього вивчення кліматичних і метеорологічних умов ведучих до небезпечних рівнів забруднення атмосфери. Застосування довгорічних кліматичних даних дозволить досліджувати потенціал забруднення атмосфери в різних географічних зонах.

Ключові слова: *якість повітря, поллютант, дифузія, дисперсія, перенесення домішки, показник стійкості, чинник розбавлення, потенціал забруднення атмосфери, метеорологічні умови, екологічний ризик.*

The meteorological factor to dilute pollution as the parameter of potential of pollution of the atmosphere. S.Stepanenko, V.Voloshin, N.Goncharenko

On the basis of the steadystate Gaussian dispersion model is created the model of meteorological potential of pollution of an atmosphere with the help of transformation of the factor is constructed to dilute pollution. The model is suitable for practical calculations of meteorological potential with the purpose of protection of atmospheric air from pollution. The model can be used as base for all-round studying climatic and meteorological conditions. Which conduct to dangerous levels of pollution of an atmosphere. Use of the long-term climatic data will allow to investigate potential of pollution of an atmosphere in various geographical zones.

Key words: *quality of air, pollution, diffusion, a dispersion, carry of an impurity, a parameter of stability, the factor to dilute pollution, potential pollution of an atmosphere, meteorological conditions, ecological risk.*