

В. Н. ЛОЖКИН, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: vnlojkin@yandex.ru)

УДК 64.841+004.032.26+519.63:517.951

НОВЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В РАЙОНЕ АВТОМАГИСТРАЛИ ПРИ ГОРЕНИИ ТОРФА

Изучены физические условия возникновения крупного торфяного пожара; проанализированы негативные последствия его развития в окрестности автомагистрали по показателям загрязнения токсичными веществами окружающей среды и риска возникновения дорожно-транспортных происшествий. Представлен оригинальный дифференциально-нейросетевой подход к моделированию диффузии выбросов СО в окрестности автомагистрали при горении торфа. Показано, что математическая модель самообучающаяся и может настраиваться по гетерогенным данным натурного и альтернативного численного эксперимента. Получены важнейшие для практики конкретные решения задачи оценки загрязнения воздуха СО аппроксимациями дифференциального уравнения и Гаусса нейросетевым способом. Показано, что загрязнения непосредственно на автомагистрали могут достигать концентрации $3,5 \text{ мг/м}^3$. Метод рекомендуется для прогнозирования качества воздуха в зоне торфяных пожаров.

Ключевые слова: автомагистраль; торфяной пожар; угарный газ; опасное загрязнение воздуха; транспортный коллапс; информационный процесс; нейросетевая модель.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.06.60-69

Введение

Торфяные месторождения встречаются во многих местах мира, но наиболее крупные болота расположены на Западно-Сибирской низменности, в районе Гудзонова залива и долине реки Маккензи [1]. Торфяные экосистемы наиболее эффективно поглощают углерод на планете, и по этой причине торфяные пожары являются основным источником выбросов парникового (диоксид углерода) и токсичного (оксид углерода) газов в атмосферу планеты. Кроме того, торфяники выделяют ртуть в атмосферу со скоростью в 15 раз больше, чем нагорные леса [1, 2], что представляет серьезную проблему для здоровья людей. Торф может гореть глубоко под землей (до 10 м), даже в условиях повышенной влажности и в зимнее время под слоем снега. Сильные пожары в торфяниках с трудом поддаются тушению и могут длиться в течение нескольких месяцев. Зимой торфяные пожары чаще представляют собой тлеющие очаги (автор впервые условно назвал их “дымовыми гейзерами”) с обильным выбросом оксида углерода, который часто называют также угарным газом (СО), дымового смога (взвешенных частиц) и других поллютантов [3–6].

Если торфяной пожар развивается возле автомагистрали, то дым от горящего торфяника снижает видимость, затрудняет дыхание, отрицательно влияет на цереброваскулярную и сердечно-сосудистую системы человека и может при чрезвычайном развитии событий привести к дорожно-транспортным происшествиям с опасными последствиями. Такая чрезвычайная аварийная ситуация, вызванная подземным горением торфа, продолжалась в Иркутской области (на Западно-Сибирской низменности) на Федеральной автомобильной дороге (ФАД) Р-255 “Сибирь” с 26.10.2015 г. до 15.01.2016 г. Официальная информация визуального и инструментального контроля за данной чрезвычайной ситуацией (ЧС) службами Роскомгидромета использовалась нами в качестве характерных гетерогенных сведений при обосновании и “обучении” модели рассеяния СО в стратифицированной атмосфере в окрестности автомагистрали.

Следует заметить, что транспортные атмосферные химические модели широко используются для разработки стратегии управления качеством воздуха [7–9]. В то же время, несмотря на явные приоритеты в развитии данных исследований Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны и Академии Государственной

противопожарной службы МЧС России, оценки пространственного и временного рассеяния поллютантов при торфяных пожарах при чрезвычайных гидрометеорологических условиях остаются проблематичными из-за неопределенности в размере и местоположении облака смога, обусловленной временной и пространственной изменчивостью реального процесса конвективной диффузии [7].

Мировой опыт решения подобных задач, детально проанализированный в работах [3–10], в практической интерпретации, как правило, сводится к различным версиям гауссовских моделей, включая и оценки распространения загрязняющих веществ при пожарах на объектах промышленности [11]. К таким моделям загрязнения атмосферы, например, от стационарных и передвижных транспортных источников относятся: американские CALINE-4 (California Line Source Model), ISC3 (Industrial Source Complex Model); ROADWAY 2.0; HIWAY-2; финская CAR-FMI (Contaminants in the Air from a Road); датская OSPM (Operational Street Pollution Model); шведский программный комплекс AIRVIRO; румынская TRAF (a micro-scale street model for dispersion of pollutant emissions generated by traffic); словацкая AUTOMOD; венгерские HNS-ROAD, HNS-ISAQA; польская EK 100W; эстонская AEROPOL; голландская CAR II. Однако в гауссовской модели не учитывается зависимость диффузионных коэффициентов от высоты источника, поэтому она позволяет описывать приземное поле концентраций поллютантов от источника только фиксированной высоты. В РФ большинство работ по моделированию загрязнения атмосферы антропогенными и природными источниками основывается преимущественно на решении уравнений атмосферной диффузии [12–15]. Применение столь громоздкого математического аппарата и значительных для его реализации ресурсов в решении физической (ЧС), а следовательно, и математической (поиск экстремума функции) частной задачи (исключительно, для чрезвычайных неблагоприятных климатических и метеоусловий) представлялось с точки зрения практики нерациональным.

Таким образом, цель настоящего актуального исследования состояла в том, чтобы разработать и исследовать возможность применения оригинальной модели нейронной сети для прогнозирования распределения концентрации СО в окрестности крупной автомагистрали “Сибирь”, участки которой расположены на разных расстояниях от торфяного пожара, с учетом разнородной (гетерогенной) инструментальной и адекватной расчетной информации (численного эксперимента) о моделируемом процессе переноса облака дымового смога.

Методология моделирования

Метод, основанный на К-теории

Научной школой автора настоящей статьи накоплен положительный опыт применения методологии Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (г. Санкт-Петербург) для прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха “холодными” выбросами [12, 14] в окрестностях крупных автомагистралей [10, 16] при нормально неблагоприятных метеорологических условиях (далее — ННМУ), получившей широчайшую многолетнюю инструментальную проверку. Это послужило основанием при ее первичном использовании для оценки рассеяния СО при торфяном пожаре.

В основу модели положено численное решение системы уравнений атмосферной диффузии, каждое из которых записывается для концентрации одной из анализируемых опасных примесей. Уравнение (1) приводится только для концентрации одного поллютанта:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 (u_i + w_g k_{ji}) \frac{\partial q}{\partial x_i} = \\ = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} K_i \frac{\partial q}{\partial x_i} - \alpha q + S, \end{aligned} \quad (1)$$

где q — концентрация поллютанта;

u_i, K_i — компоненты средней скорости ветра и коэффициента турбулентной диффузии вдоль декартовых координатных осей x ;

w_g — скорость гравитационного оседания примеси (отлична от нуля в случае переноса частиц);

k_{ji} — символ Кронекера, равный 1 при совпадении индексов и нулю при их несовпадении;

α — коэффициент, учитывающий метаболизм веществ;

S — член, учитывающий влияние источников и стоков примесей, их химическую (в том числе фотохимическую) трансформацию и др. [12].

Уравнение (1) представлено в декартовой системе координат с осью z , направленной по вертикали, и компоненты скорости ветра удовлетворяют уравнению неразрывности, в котором пренебрегается зависимостью плотности от координат. Эти, а также ряд других, не оговариваемых здесь упрощений [15, 17, 18], относятся только к способу представления информации, поскольку для конкретных физических условий диффузии поллютантов при ЧС на автомагистрали “Сибирь” объективно не потребовалась полная реализация возможностей модели.

Использование данного подхода к математическому моделированию турбулентной диффузии, который сегодня называют К-теорией [10], совместно с обоснованными упрощениями [13] стилизации и эмпирическими уточнениями позволяет оценить

$$C_{\text{M}} = \frac{AMFmn\eta}{H^2(V_1\Delta T)^{1/3}}, \quad (2)$$

$$C_M = \frac{AMFmn\eta}{H^2(V_1\Delta T)^{1/3}}, \quad (2)$$

M — масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени (мощность источника загрязнения), в случае торфяного пожара — масса вещества, выбрасываемого группой “дымовых гейзеров” с поверхности горящего торфяника, г/с;

m и n — коэффициенты; выражаются интерполяционными формулами, приведенными в документе ОНД-86 [11];

H — высота формирования устойчивого облака
смога, м;

ΔT — разность температур между температурой дымового газа и температурой окружающего воздуха, °C.

Вышерассмотренный и освоенный нами подход, сочетающий применение современных геоинфор-

Таким образом, нейронная сетевая модель сложного процесса диффузии в атмосфере загрязняющих веществ может позволить в непрерывной информационной технологии обрабатывать фрагменты гетерогенной информации — дифференциальные уравнения, законы сохранения, уравнения состояния, условия симметрии и т. д. Обмен информацией по параметрам нейронной сети между различными уровнями иерархии позволит осуществлять вычисления более точными и менее ресурсоемкими способами [20, 21].

Ниже приводятся два последовательных примера численного прогнозирования ЧС, связанной с загрязнением атмосферного воздуха в окрестности автомагистрали “Сибирь” при торфяном пожаре при ННМУ, по разработанной методологии.

На рис. 1 представлена карта прогноза загрязнения угарным газом при торфяном пожаре (в долях

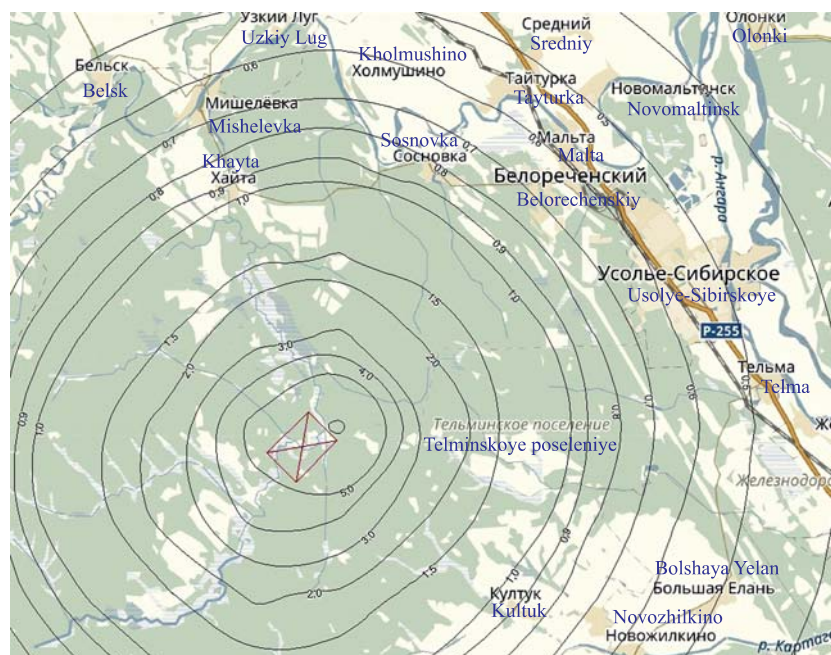


Fig. 1. Forecast of the pollution of the air by CO emitted from a peat fire in the vicinity of the Federal Highway R-255 FAD “Siberia” for adverse weather conditions estimated by the “Ecolog 4” program (in terms of Limit Value Units)

Таблица 1. Сравнение данных контрольных измерений концентраций СО службами Росгидромета и прогнозного расчета по разработанной методике при ННМУ

Table 1. Comparison of experimental measurements of CO concentrations and simulated measurements received using the elaborated method

Место замера Metering place	Значения концентраций СО, мг/м ³ CO concentration values, mg/m ³	
	средние по данным Росгидромета average according to Roshydromet	полученные расчетом при ННМУ average simulate
Пос. “Тельма” Village Telma	0,50	0,90
Пос. “Железнодорожный” Village Zheleznodorozhnyy	0,60	0,92
ФАД Р-255 “Сибирь” Highway R-255 “Siberia”:		
1820-й км 1820 th km	0,60	1,05
1822-й км 1822 nd km	0,70	1,10
1824-й км 1824 th km	0,70	1,16

ПДК_{МР}) в окрестности федеральной трассы Р-255 ФАД “Сибирь” при ННМУ по программе “Эколог 4” (фирма “Интеграл”, г. Санкт-Петербург, Россия). В табл. 1 сведены результаты инструментального мониторинга загрязнения воздуха СО службами Росгидромета и прогноза по разработанной нейросетевой методике при ННМУ в тех же контрольных точках.

Основными научными и практическими результатами виртуального прогноза, продемонстрированного на первом примере, являются:

- впервые показана и доказана применимость подхода К-теории для решения чрезвычайно актуальной практической задачи прогнозирования загрязнения СО при торфяном пожаре в окрестности автомобильной дороги федерального значения в нормально неблагоприятных метеорологических условиях, сложившихся в конкретном регионе РФ и вызвавших реальный транспортный коллапс;
- впервые данные расчета (рецепторные данные [14]) и данные непосредственных инструментальных измерений концентраций СО, проведенных Росгидрометом в течение транспортного коллапса в конкретном регионе РФ, были использованы в качестве гетерогенной информации для

реализации технологии обучения аппроксимирующей модели нейронной сети в непрерывном технологическом режиме путем минимизации функционала ошибки.

Устойчивое для реальных условий численного прогноза небольшое отклонение расчетных данных концентраций СО в сторону превышения от средних значений концентраций инструментального контроля службами Росгидромета (см. табл. 1) мы объясняем неизбежными погрешностями в задании пожарной нагрузки горящего торфяника и тем, что расчеты (замеры) производились при ННМУ.

Пример 2

Второй пример демонстрирует возможности разработанного метода для сценарного моделирования вероятного неблагоприятного развития ЧС, рассмотренной в примере 1, а именно перехода в режим пламенного горения торфа с выбросом раскаленных газов, устойчивой ветровой нагрузки в направлении автомагистрали (до 10 м/с) и переноса облака смога торфяного пожара на значительные расстояния, когда возрастает значимость мезомасштабных переносов воздушных масс в сравнении с локальной турбулентностью. Для учета этих физических явлений Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого совместно с Санкт-Петербургским университетом ГПС МЧС России в рамках гранта РФФИ № 14-01-00733А разработан оригинальный нейросетевой подход к моделированию переноса СО на основе базисной функции Гаусса [11].

Согласно модели Гаусса изменение концентрации СО в переносимом облаке смога q (г/м³) подчиняется нормальному закону распределения:

$$q(t, x, y, z) = Q e^{-1/2 \left[\frac{(x - x_0 - ut)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y - y_0 - vt)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z - z_0 - wt)^2}{(\sigma_z)^2 t} \right]} \left[(\sqrt{2\pi})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z \right]^{-1}, \quad (3)$$

где Q — мощность источника, г/(м·с);

x_0, y_0, z_0 — координаты источника выброса СО, м;

(u, v, w) — компоненты скорости ветра, м/с;

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ — средние квадратичные отклонения концентрации СО в момент времени t (с) по осям OX, OY, OZ ;

$$\begin{aligned} \sigma_x^2 &= \frac{2}{h} \int_0^h K_x(z) dz; \\ \sigma_y^2 &= \frac{2}{h} \int_0^h K_y(z) dz; \\ \sigma_z^2 &= \frac{2}{h} \int_0^h K_z(z) dz; \end{aligned} \quad (4)$$

h — высота приземного слоя с активной турбулентностью, м (рис. 2);

K_x, K_y, K_z — функции, характеризующие развитие дымового облака смога в окрестности автомагистрали.

Используя принцип суперпозиции, из уравнения (3) легко получить формулу для расчета концентрации СО от торфяного пожара непрерывного действия:

$$q(t, x, y, z) = \int_0^t \left\{ Q \exp \left(-\frac{1}{2} \left[\frac{(x - x_0 - ut)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y - y_0 - vt)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z - z_0 - wt)^2}{(\sigma_z)^2 t} \right] \right) \times \right. \quad (5)$$

$$\left. \times \left[(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z \right]^{-1} \right\} dx_0 dy_0 dz_0.$$

Интегрирование в формуле (5) распространено на область Ω , занятую торфяным пожаром. Сложность возникает при вычислении интеграла. Так, применение аналитических методов приведет к громоздким формулам, а численных — потребует больших временных затрат. Для решения проблемы используем кубатурные формулы и заменяем интеграл конечной суммой:

$$q_n(t, x, y, z, u, v, w) = \sum_{i=1}^n K_i \left\{ Q \exp \left(-\frac{1}{2} \left[\frac{(x_i - x_0 - ut)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y_i - y_0 - vt)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z_i - z_0 - wt)^2}{(\sigma_z)^2 t} \right] \right) \times \right. \quad (6)$$

$$\left. \times \left[(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z \right]^{-1} \right\},$$

где C_i — числовые коэффициенты;

(x_i, y_i, z_i) — узлы интегрирования, $i = 1, 2, \dots, N$.

Легко заметить, что приближение (6) для концентрации СО q можно рассматривать как модель, которая соответствует искусственным нейронным сетям с радиальными базисными функциями в случае использования в качестве базисной функции Гаусса [18]. Настройка весов сети, линейно и нелинейно входящих параметров C_i и (x_i, y_i, z_i) осуществляется на основе минимизации функционала ошибки:

$$J = \sum_{j=1}^P \left| q(t, \bar{x}_j, \bar{y}_j, \bar{z}_j; u, v, w; t) - q_j(t; u, v, w) \right|^2, \quad (7)$$

где $\{(\bar{x}_j, \bar{y}_j, \bar{z}_j)\}_{j=1}^P$ — множество точек в области Ω , в которых известны измеренные (рассчитанные по альтернативному методу) значения концентрации $\{q_j\}_{j=1}^P$ угарного газа.

Данные расчета с использованием программы “Эколог 4” (см. пример 1) совместно с данными инструментального мониторинга концентраций СО

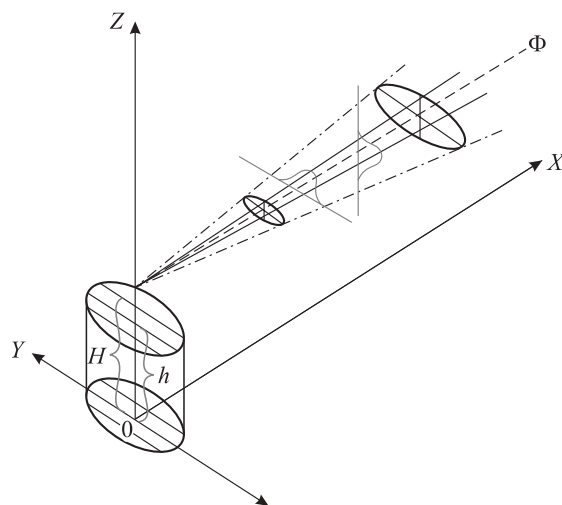


Рис. 2. Схема переноса СО по модели Гаусса для торфяного пожара: h — высота приземного слоя с активной турбулентностью; H — высота формирования облака дымового смога над горящим торфяником

Fig. 2. Diagram of CO dispersion according to Gauss model for peat fire: h is the height of surface layer with active turbulence; H is the height of the formation of a smoke smog cloud over a burning peat bog

службами Росгидромета были использованы нами в качестве массива исходной гетерогенной информации для обработки (аппроксимации) вышеописанным нейросетевым методом. На рис. 3 показана картина динамического развития загрязнения СО исследуемой территории при опасном направлении ветра в сторону автомагистрали Р-255 ФАД “Сибирь”. В табл. 2 сведены результаты инструментального мониторинга загрязнения воздуха СО службами Росгидромета и прогноза по разработанной нейросетевой методике в тех же контрольных точках.

Основными научными и практическими результатами виртуального прогноза, реализованного во втором примере, являются:

- впервые в едином последовательном информационном процессе численного прогнозирования диффузии СО в окрестности автомагистрали федерального значения при торфяном пожаре с использованием базисной функции Гаусса [19] в рамках самообучающейся нейронной сети реализован принцип сценарного моделирования для решения актуальной практической задачи развития ЧС в условиях изменяющихся направления и скорости ветра;
- впервые получен и на практике реализован информационный процесс, сочетающий в рамках модели нейронной сети преимущества отечественного подхода К-теории [12–15] и, по сути, современного зарубежного подхода к моделированию рассеяния поллютантов функцией Гаусса [3–9, 11].

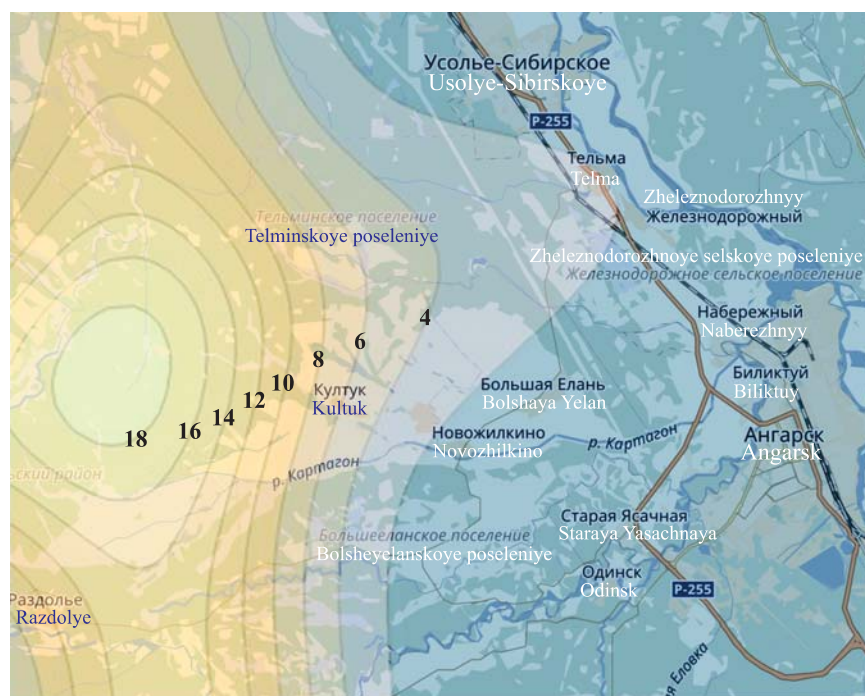


Рис. 3. Изолинии расчетных значений концентрации CO (мг/м^3) при ветре в направлении трассы “Сибирь”, построенные по нейросетевой модели с числом нейронов $N = 4$
Fig. 3. Isolines of the calculated CO concentrations (mg/m^3) at the wind in the direction of the “Siberia” highway, constructed according to the neural network model (number of neurons $N = 4$)

Таблица 2. Сравнение данных контрольных измерений концентраций CO службами Росгидромета и прогнозного расчета для вероятного гипотетического неблагоприятного развития ЧС

Table 2. Comparison of experimental measurements of CO concentrations and simulated measurements for a hypothetical adverse development of an emergency

Показатель Index	Пос. “Тельма” Village Telma	Пос. “Железнодорожный” Village Zheleznodorozhnyy	ФАД Р-255 “Сибирь” Highway R-255 “Siberia”		
			1820-й км 1820 th km	1822-й км 1822 nd km	1824-й км 1824 th km
Средние значения концентраций CO по данным Росгидромета, мг/м^3 Average measured CO concentrations, mg/m^3	0,50	0,60	0,60	0,70	0,70
Значения концентраций CO , полученные расчетом при ННМУ, мг/м^3 Average simulated CO concentrations, mg/m^3	2,32	2,86	2,94	3,12	3,25

Сравнительный анализ данных по примерам 1 и 2 позволяет сделать важный практический вывод о том, что при вероятном гипотетическом неблагоприятном развитии ЧС (переход в режим пламенного горения торфа с выбросом раскаленных газов, устойчивая ветровая нагрузка в направлении автомагистрали (до 10 м/с) и, как следствие, перенос облака смога торфяного пожара на значительные расстояния) концентрации CO в окрестности исследуемой автотрассы ФАД Р-255 “Сибирь” могли бы возрасти в 3–4 раза.

Выводы

Разработаны и протестированы методы построения нейросетевой модели диффузии CO по расчетно-экспериментальным данным на примере транспортного коллапса, наблюдавшегося с 26.10.2015 г. по 07.01.2016 г. в Иркутской области России при го-

рении торфа вблизи автомагистрали федерального значения Р-255 “Сибирь”. Для построения нейросетевых моделей использовались гетерогенные данные: уравнения атмосферной диффузии веществ в виде дифференциальных уравнений в частных производных; данные расчета на основе функции Гаусса распределения концентрации CO в облаке смога торфяного пожара; данные непосредственных измерений концентрации CO государственными метеорологическими службами на автомагистрали и в поселках в зоне действия ЧС.

Выполненные демонстрационные расчеты по разработанной оригинальной методике показали вероятность загрязнения воздушной среды CO на уровне дыхания человека в окрестности автомагистрали при торфяном пожаре при нормально неблагоприятных метеорологических условиях до

0,9–1,16 мг/м³. Небольшие отклонения от данных осредненных замеров (0,5–0,7 г/м³) объясняются объективной погрешностью задания пожарной нагрузки.

В условиях вероятного развития ЧС горения торфа с устойчивой ветровой нагрузкой в направлении автомагистрали до 10 м/с концентрации СО могут увеличиться до 2,32–3,25 мг/м³ (при ПДК_{МР} = 5 мг/м³).

Предлагаемый метод рекомендуется для прогнозирования опасного для населения загрязнения воздушной среды поллютантами в зоне торфяных пожаров с ограничениями нормально неблагоприятных метеорологических условий и переноса “холодных дымовых выбросов” с поверхности горящих под землей торфяников.

Исследование было поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 14-01-00733А). Автор выражает признательность д. т. н. А. Н. Васильеву, д. т. н. Д. А. Тархову, к. х. н. О. В. Ложкиной, инженеру В. Д. Тимофееву, без совместной работы с которыми в рамках проекта не могли бы состояться авторские научные обобщения, сделанные в настоящей статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fraser L. H., Keddy P. A. (eds.). The World's largest wetlands: Ecology and conservation. — Cambridge, UK : Cambridge University Press, 2005. — 488 p. DOI: 10.1017/cbo9780511542091.
2. Biester H., Bindler R. Modelling past mercury deposition from peat bogs — the influence of peat structure and ²¹⁰Pb mobility // Working Papers of the Finnish Forest Research Institute. — 2009. — No. 128. — P. 483.
3. De Groot W. J. Peatland fires and carbon emissions/Natural Resources Canada, Canadian Forest Service. — Great Lakes Forestry Centre, Saul Ste. Marie, Ontario Frontline Express, 2012. — No. 50. — 2 p.
4. Fokeeva E. V., Safronov A. N., Rakitin V. S., Yurganov L. N., Grechko E. I., Shumskii R. A. Investigation of the 2010 July-August fires impact on carbon monoxide atmospheric pollution in Moscow and its outskirts, estimating of emissions // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. — 2011. — Vol. 47, Issue 6. — P. 682–698. DOI: 10.1134/s0001433811060041.
5. Konecny K., Ballhorn U., Navratil P., Jubanski J., Page S. E., Tansey K., Hooijer A., Vernimmen R., Siebert F. Variable carbon losses from recurrent fires in drained tropical peatlands // Global Change Biology. — 2016. — Vol. 22, Issue 4. — P. 1469–1480. DOI: 10.1111/gcb.13186.
6. Gaveau D. L. A., Salim M. A., Hergoualc'h K., Locatelli B., Sloan S., Wooster M., Marlier M. E., Molidena E., Yaen H., DeFries R., Verchot L., Murdiyarso D., Nasi R., Holmgren P., Sheil D. Major atmospheric emissions from peat fires in Southeast Asia during non-drought years: evidence from the 2013 Sumatran fires // Scientific Reports. — 2014. — Vol. 4, Issue 1. — Article No. 6112. DOI: 10.1038/srep06112.
7. Pouliot G., Pierce T., Benjey W., Ferguson S. A. Wildfire Emission Modeling: Integrating BlueSky and SMOKE // Proceedings of 14th International Emission Inventory Conference “Transforming Emission Inventories — Meeting Future Challenges Today”, 11–14 April 2005. — 9 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/228674671_Wildfire_emission_modeling_integrating_BlueSky_and_SMOKE (дата обращения: 20.05.2017).
8. Benson P. E. A review of the development and application of the CALINE3 and 4 models // Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere. — Vol. 26, Issue 3. — P. 379–390. DOI: 10.1016/0957-1272(92)90013-i.
9. Berkowicz R. OSPM — a parameterized street pollution model // Urban Air Quality: Measurement, Modelling and Management, 2000. — P. 323–331. DOI: 10.1007/978-94-010-0932-4_35.
10. Berlyand M. E. Prediction and regulation of air pollution // Atmospheric and Oceanographic Sciences Library. — 1991. — Vol. 14. — 320 p. DOI: 10.1007/978-94-011-3768-3.
11. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. — М. : Гидрометеиздат, 1987. — 93 с.
12. Genikhovich E. L., Gracheva I. G., Onikul R. I., Filatova E. N. Air pollution modelling at an urban scale — Russian experience and problems // Water, Air & Soil Pollution: Focus. — 2002. — Vol. 2, Issue 5-6. — P. 501–512. DOI: 10.1023/A:1021336829300.
13. Genikhovich E. L. Comparison of United States and Russian complex terrain diffusion models developed for regulatory applications // Atmospheric Environment. — 1995. — Vol. 29, Issue 17. — P. 2375–2385. DOI: 10.1016/1352-2310(95)00053-2.

14. Lozhkin V., Lozhkina O., Ushakov A. Using K-theory in geographic information investigations of critical-level pollution of atmosphere in the vicinity of motor roads // World Applied Sciences Journal. — Vol. 23, Issue 13. — P. 96–100. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.pac.90020.
15. Lozhkina O., Nevmerzhitsky N., Lozhkin V. Evaluation of air pollution by PM10 and PM2.5 on Saint Petersburg ring road: mobile measurements and source apportionment modelling // Proceedings of 10th International Conference on Air Quality: Science and Application, Milano, 14–18 March 2016. — Hertfordshire : University of Hertfordshire, 2016. — P. 176.
16. Lozhkina O. V., Lozhkin V. N. Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models // Transportation Research. Part D: Transport and Environment. — 2015. — Vol. 36. — P. 178–189. DOI: 10.1016/j.trd.2015.02.013.
17. Tarkhov D. A., Vasilyev A. N. New neural network technique to the numerical solution of mathematical physics problems. II: Complicated and nonstandard problems // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). — 2005. — Vol. 14. — P. 97–122.
18. Васильев А. Н., Тархов Д. А. Нейросетевое моделирование. Принципы. Алгоритмы. Приложения. — СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2009. — 527 с.
19. Vasilyev A. N., Tarkhov D. A. Mathematical models of complex systems on the basis of artificial neural networks // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. — 2014. — Vol. 17, No. 3. — P. 327–335.
20. Haykin S. Neural Networks and Learning Machines. 3rd ed. — New York : Prentice Hall, 2009. — 936 p.
21. Сухоицанов А. Ю. Моделирование процессов переноса в атмосфере и воздействия на окружающую среду вредных продуктов горения, образующихся при пожаре : дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2001. — 202 с.

Материал поступил в редакцию 5 июня 2017 г.

Для цитирования: Ложкин В. Н. Новый метод прогнозирования загрязнения воздуха в районе автомагистрали при горении торфа // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 6. — С. 60–69. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.06.60-69.

English

NEW APPROACH FOR PREDICTING OF AIR POLLUTION NEAR HIGHWAY CAUSED BY BURNING PEAT BOG

LOZHKIN V. N., Doctor of Technical Sciences,
Professor of Rescue Equipment and Fire Vehicles
Department, Saint Petersburg University of State
Fire Service of Emercom of Russia (Moscovskiy
Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation;
e-mail: vnlojkin@yandex.ru)

ABSTRACT

Introduction. Peat deposits are found in many places around the world, but the world's largest peatlands are the West Siberian Lowland, the Hudson Bay Lowland, and the Mackenzie River Valley. Peat fires are significant sources of carbon dioxide (a greenhouse gas) and carbon oxide (a toxic gas). In addition, peat fires release mercury into the atmosphere at a rate 15 times greater than upland forests, which may be a serious human health concern. If a peat fire develops near a highway, the smoke from the burning peat-bog reduces the visibility, makes the breathing difficult, affect the human nervous and cardiovascular systems and may finally result in traffic accidents or in an emergency.

Modelling methodology. K-theory approach. According to Berlyand, such parameters as instant concentrations of CO pulsed deviations from these values and the velocity of the CO diffusion should be taken into consideration while developing an emission model of the peat deposits burning near the highway. The problem is simplified by the application of the turbulent diffusion model. Using this approach, also known as K-theory, together with reasonable approximations and assumptions, there was established that the concentration of the pollutant emitted from the unregulated square source, such as a burning peat bog, is as follow in the Russian normative document OND-86.

At the same time, this approach is time-consuming and doesn't specify inaccurate problem parameters derived from the measurements. To solve these problems, we offer to apply a neural network approach. On the base of the measurements, there was developed a neural network model with parameters (weights) tuned via optimization methods. The RProp method and the combination of "cloud" and RProp methods were in use. The neural network model of the complex system can gather pieces of heterogeneous information — differential equations, conservation laws, equations of state, symmetry conditions, etc. The information exchange via neural network parameters between different levels of hierarchy makes computing less resource consuming.

Results and discussion. *Case study 1.* Visualizes the joint results of experimental and simulated measurements of the peat fire-related CO concentrations near the Federal Highway R-255 "Siberia". The concentrations of CO are expressed in terms of Limit Value Units: 20 minutes CO limit value is 5 mg/m^3 . The calculations were realized using the software program Ecolog 4 (Integral Co. Ltd., St. Petersburg, Russia). The results of the measured and simulated CO concentrations reaching values of $0,8\text{--}1,2 \text{ mg/m}^3$ were later used as input heterogeneous data for the calculations by the neural network technique described above.

Case study 2. Turbulent diffusion loses importance when modeling the transfer of the smog clouds from the peat fire over long distances. In addition, there is possible not only a smouldering peat fire but a burning peat fire followed by the emission of hot gases. We have developed an original neural network model, based on the Gaussian dispersion, to estimate these physical phenomena. Assume that the average cross-section of a peat fire smog cloud, migrating in the vicinity of a highway, is similar to the Gaussian distribution having a plume profile. Shows the dynamic development of the pollution in this area at the wind in the direction of the highway (4 neurons).

Parametric model allows predicting the level of peat fire-related air pollution at different wind directions (Project No. 14-01-00733-A supported by the grant of the Russian Foundation for Basic Research).

Keywords: motorway; peat fire; carbon monoxide; dangerous air pollution; traffic collapse; information process; neural network model.

REFERENCES

1. Fraser L. H., Keddy P. A. (eds.). *The World's largest wetlands: Ecology and conservation*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2005. 488 p. DOI: 10.1017/cbo9780511542091.
2. Biester H., Bindler R. Modelling past mercury deposition from peat bogs — the influence of peat structure and ^{210}Pb mobility. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute*, 2009, no. 128, p. 483.
3. De Groot W. J. Peatland fires and carbon emissions. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service. *Great Lakes Forestry Centre, Saul Ste. Marie, Ontario Frontline Express*, 2012, no. 50. 2 p.
4. Fokeeva E. V., Safronov A. N., Rakitin V. S., Yurganov L. N., Grechko E. I., Shumskii R. A. Investigation of the 2010 July-August fires impact on carbon monoxide atmospheric pollution in Moscow and its outskirts, estimating of emissions. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2011, vol. 47, issue 6, pp. 682–698. DOI: 10.1134/s0001433811060041.
5. Konecny K., Ballhorn U., Navratil P., Jubanski J., Page S. E., Tansey K., Hooijer A., Vernimmen R., Siegert F. Variable carbon losses from recurrent fires in drained tropical peatlands. *Global Change Biology*, 2016, vol. 22, issue 4, pp. 1469–1480. DOI: 10.1111/gcb.13186.
6. Gaveau D. L. A., Salim M. A., Hergoualc'h K., Locatelli B., Sloan S., Wooster M., Marlier M. E., Molidena E., Yaen H., DeFries R., Verchot L., Murdiyarto D., Nasi R., Holmgren P., Sheil D. Major atmospheric emissions from peat fires in Southeast Asia during non-drought years: evidence from the 2013 Sumatran fires. *Scientific Reports*, 2014, vol. 4, issue 1, article no. 6112. DOI: 10.1038/srep06112.
7. Pouliot G., Pierce T., Benjey W., Ferguson S. A. Wildfire Emission Modeling: Integrating BlueSky and SMOKE. In: *Proceedings of 14th International Emission Inventory Conference "Transforming Emission Inventories — Meeting Future Challenges Today"*, 11–14 April 2005. 9 p. Available at: https://www.researchgate.net/publication/228674671_Wildfire_emission_modeling_integrating_BlueSky_and_SMOKE (Accessed 20 May 2017).
8. Benson P. E. A review of the development and application of the CALINE3 and 4 models. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, vol. 26, issue 3, pp. 379–390. DOI: 10.1016/0957-1272(92)90013-i.
9. Berkowicz R. OSPM — a parameterized street pollution model. In: *Urban Air Quality: Measurement, Modelling and Management*, 2000, pp. 323–331. DOI: 10.1007/978-94-010-0932-4_35.

10. Berlyand M. E. Prediction and regulation of air pollution. In: *Atmospheric and Oceanographic Sciences Library*, 1991, vol. 14. 320 p. DOI: 10.1007/978-94-011-3768-3.
11. All-Union normative document-86. *Methodology for the calculation of the concentrations in the air of harmful substances contained in industrial emissions*. Moscow, Gidrometeoizdat, 1987. 93 p. (in Russian).
12. Genikhovich E. L., Gracheva I. G., Onikul R. I., Filatova E. N. Air pollution modelling at an urban scale — Russian experience and problems. *Water, Air & Soil Pollution: Focus*, vol. 2, issue 5–6, pp. 501–512. DOI: 10.1023/A:1021336829300.
13. Genikhovich E. L. Comparison of United States and Russian complex terrain diffusion models developed for regulatory applications. *Atmospheric Environment*, 1995, vol. 29, issue 17, pp. 2375–2385. DOI: 10.1016/1352-2310(95)00053-2.
14. Lozhkin V., Lozhkina O., Ušakov A. Using K-theory in geographic information investigations of critical-level pollution of atmosphere in the vicinity of motor roads. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 23, issue 13, pp. 96–100. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.pac.90020.
15. Lozhkina O., Nevmerzhitsky N., Lozhkin V. Evaluation of air pollution by PM10 and PM2.5 on St. Petersburg ring road: mobile measurements and source apportionment modelling. In: *Proceedings of 10th International Conference on Air Quality: Science and Application*, Milano, 14–18 March 2016. Hertfordshire, University of Hertfordshire, 2016, p. 176.
16. Lozhkina O. V., Lozhkin V. N. Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models. *Transportation Research. Part D: Transport and Environment*, 2015, vol. 36, pp. 178–189. DOI: 10.1016/j.trd.2015.02.013.
17. Tarkhov D. A., Vasilyev A. N. New neural network technique to the numerical solution of mathematical physics problems. II: Complicated and nonstandard problems. *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*, 2005, vol. 14, pp. 97–122.
18. Vasilyev A. N., Tarkhov D. A. *Neyrosetevoye modelirovaniye. Printsipy. Algoritmy. Prilozheniya* [Neural network modeling. Principles. Algorithms. Applications]. Saint Petersburg, Polytechnic University Publishing House, 2009. 527 p. (in Russian).
19. Vasilyev A. N., Tarkhov D. A. Mathematical models of complex systems on the basis of artificial neural networks. *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*, 2014, vol. 17, no. 3, pp. 327–335.
20. Haykin S. *Neural Networks and Learning Machines*. 3rd ed. New York, Prentice Hall, 2009. 936 p.
21. Sukhoivanov A. Yu. *Modeling of diffusion in the atmosphere and environmental impact of harmful combustion products generated during a fire*. Cand. tech. sci. diss. Saint Petersburg, 2001. 202 p. (in Russian).

For citation: Lozhkin V. N. New approach for predicting of air pollution near highway caused by burning peat bog. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 6, pp. 60–69 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.06.60-69.