

ЛИТЕРАТУРА

1. Зинюков, Ю.М. Методические основы конструирования и анализа структурно-иерархических моделей природно-технических экосистем / Ю.М. Зинюков // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 2001. – № 11. – С. 210–222.

2. Зинюков, Ю.М. Методические основы организации мониторинга природно-технических экосистем на основе их структурно-иерархических моделей / Ю.М. Зинюков // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 2002. – № 13. – С. 235–242.

3. Королев, В.А. Мониторинг геологической среды / В.А. Королев. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. – 272 с.

4. Зинюков, Ю.М. Структурно-иерархическая модель природно-технической экосистемы ОАО «Минудобрения» – природная среда / Ю.М. Зинюков // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 2001. – № 12. – С. 190–197.

5. Зинюков, Ю.М. Структурно-иерархическая модель природно-технической экосистемы «нефтехранилище «Красное Знамя» – природная среда» (г. Воронеж) / Ю.М. Зинюков // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 2004. – № 2. – С. 181–189.

УДК 519.6+ 628.336.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА И РАССЕИВАНИЯ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ МЕТАНА, ЭМИТИРОВАННОГО С ТЕРРИТОРИИ ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Г.М. Батракова, М.Г. Бояршинов, В.Д. Горемыкин

Пермский государственный технический университет

Работа посвящена вопросу моделирования переноса и рассеивания легкой газообразной примеси метана (CH₄) – продукта биоразложения ТБО, размещенных на полигоне захоронения отходов г. Перми. Разработана математическая модель и произведены вычислительные эксперименты переноса примеси на территории, прилегающей к полигону. Модель использует результаты натурных измерений и справочные данные. Математическое моделирование позволяет проводить анализ распределения концентрации легкого газообразного загрязняющего вещества вблизи полигона ТБО.

Введение

Захоронение твердых бытовых отходов (ТБО) в настоящее время является приоритетным методом обезвреживания отходов. Размещение отходов в окружающей среде приводит к тому, что в течение длительного времени на ограниченной площади концентрируется значительное количество загрязняющих веществ. До сих пор на территории России остается большое количество несанкционированных и стихийных свалок отходов и закрытых захоронений – объектов, эксплуатируемых с нарушением экологических требований. Как правило, подобные территории характеризуются высокой степенью эмиссии загрязняющих веществ в объекты окружающей среды, что связано с отсутствием или низкой эффективностью элементов инженерной защиты.

В депонированных ТБО под воздействием микрофлоры протекают процессы биодеструкции, испарения летучих фракций, химические реакции, характерные для анаэробных условий. Конечным продуктом является биогаз, основную объемную массу которого составляют метан (40–70 %) и диоксид углерода (30–60 %), в заметных концентрациях содержатся сероводород, аммиак, оксид углерода, оксиды азота и примеси органического состава (нормальные и разветвленные алканы, нафтены и ароматические углеводороды, галогенсодержащие углеводороды). Удельные скорости эмиссии газообразных веществ с территорий захо-

ронений отходов заметно превышают интенсивности потоков от природных экосистем.

Характер и интенсивность процессов, протекающих в массиве отходов, позволяет рассматривать объекты захоронения ТБО как своеобразный «твердофазный ферментер геологического масштаба» [1] и наиболее крупную искусственную систему, продуцирующую метан. Эмиссии метана с территорий захоронения ТБО достигают от 1,5 до 70 млн т/год [2, 3].

Экологическая опасность метана обусловлена возможностью его распространения на прилегающие к захоронению территории и, как следствие, созданием взрывоопасных газозооных смесей при достижении концентрации от 5 до 15 % объема.

На территории захоронения ТБО при нарушении технологии (нерегулярной изоляции, отсутствии увлажнения отходов в пожароопасный период) метан способствует возгоранию отходов. Горение ТБО в низкотемпературном режиме (600–800 °С) и недостатке кислорода ведет к образованию высокотоксичных галогенсодержащих соединений. Выгорание отходов внутри свалочных отложений может быть причиной гибели людей и потери техники из-за внезапных провалов поверхности.

Метан негативно влияет на корневую систему растений, вытесняя почвенный кислород, ведет к нарушению вегетации и снижению биоразнообразия на рекультивированных и прилегающих территориях.

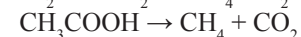
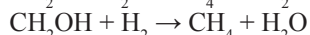
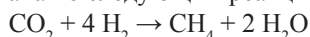
Необходимость учета валовой эмиссии метана в

настоящее время определяется и тем, что этот газ является составной частью национальной квоты веществ, влияющих на парниковый эффект и изменение озонового слоя планеты.

Значимость учета и контроля эмиссии метана в глобальном и локальных масштабах обуславливает необходимость проведения оценочных расчетов объема валовой эмиссии, скорости и масштабов распространения этого газа вне границ полигонов захоронения ТБО.

Теоретическое обоснование

Моделирование переноса метана невозможно без учета объема образования газовой фазы при разложении ТБО и факторов, влияющих на процесс метаногенеза. Сложные органические вещества, входящие в состав ТБО, разлагаются до простых неорганических соединений в течение длительного времени. Продукты ферментативного разложения органики, такие как CO_2 , H_2 , CH_2OH , CH_3COOH служат субстратом для образования метана по следующим реакциям:



Принято выделять 5 фаз разложения отходов [4, 5]:

- 1 фаза – аэробное разложение;
- 2 фаза – анаэробное разложение без выделения метана (кислое брожение);
- 3 фаза – анаэробное разложение с непостоянным выделением метана (смешанное брожение);
- 4 фаза – анаэробное разложение с постоянным выделением метана (метановое брожение);
- 5 фаза – затухание анаэробных процессов.

Фаза аэробного разложения имеет место в первые 10–15 дней с момента размещения отходов, 2 и 3 фазы длятся от 180–500 дней до 2–10 лет, 4-я фаза – от 10 до 30 лет, затухание метаногенеза и полная ассимиляция свалочных отложений могут занимать от 100 до 1000 лет.

Исследования процессов биодеструкции ТБО установили, что на характер процессов разложения ТБО, время их протекания, количество и скорость выделения метана влияют ряд факторов:

- морфологический, фракционный и химический состав ТБО;
- условия метаногенеза (влажность ТБО, плотность, pH, температура, время);
- климатические и геологические условия территории;
- параметры полигона и условия захоронения (площадь, высота, уплотнение, изоляция слоев);
- технология дегазации массива отходов (пассивная, активная).

В значительной степени метаногенез определяется морфологическим составом отходов и наличием компонентов, способных к биодеструкции. Содержание в составе ТБО растительных остатков, бумаги, текстиля, древесины и других органических фракций определяет

количество образующегося биогаза и концентрацию в нем метана. Удельный вес фракции с высоким содержанием легкоразлагаемых органических веществ (СО) определяет количество питательных микроэлементов, требующихся для метанообразующих бактерий.

Содержание СО в ТБО разных стран, регионов и населенных пунктов составляет 3–21 %. Для российских свалок и санитарных полигонов, характеризующихся отсутствием предварительной подготовки отходов к захоронению с целью уменьшения органической составляющей методами сортировки, компостирования и др., содержание органического углерода составляет в среднем 9–12 %.

Количество биогаза пропорционально влажности отходов. Влагосодержание определяет активность анаэробных процессов в экосистеме массива отходов. Растворимость диоксида углерода в воде выше, чем растворимость метана, поэтому высокий уровень влажности ТБО увеличивает содержание метана в газовой фазе. Минимальная влажность для начала процесса образования газа 20 %. Максимальное количество биогаза образуется при значениях влажности 60–80 %.

Фактическое содержание влаги в депонированных отходах будет определяться исходной влажностью, мероприятиями подготовки отходов к захоронению, соблюдением технологии захоронения, в том числе обязательной промежуточной послойной изоляцией складированных ТБО.

Температура, как и влажность, является определяющим фактором активности метанообразующих бактерий. Мезофильные группы метанообразующих бактерий активно работают при температуре до 40 °С, термофильные – до 70 °С. Рост температуры в массиве отходов не связан с изменением температуры наружного воздуха и примерно одинаков на глубине 2–4 м. При высоте складированных отходов более 15 метров нижние слои не подвержены влиянию температур воздуха. Обычно температура в «теле» полигона составляет 30–40 °С.

В большинстве моделей прогноза образования свалочного газа и оценки его эмиссии с территорий захоронения ТБО учитывается влияние указанных факторов, установленных расчетными, статистическими и экспериментальными данными [4].

Для прогноза эмиссии метана от полигонов в период максимальной генерации метана в России используют методику АКХ им. К.Д. Памфилова [5]. Методика учитывает объем размещенных отходов, их влажность и метановый потенциал.

Объем биогаза (Q_i , м³/т ТБО) определяется выражением:

$$Q_i = 1,85G_0(1 - 10^{-kt})/[1 - (W - 60)/13],$$

где W – влажность отходов, %;

t – продолжительность периода стабилизированного выхода биогаза, годы;

k – константа разложения, год⁻¹;

G_0 – метановый потенциал, кг/т ТБО.

Метановый потенциал ТБО определяет вероятность появления метана при разложении органической компоненты отходов в анаэробных условиях. Лабораторными, полевыми исследованиями и расчетным путем установлен широкий диапазон средних значений G_0 для европейских и американских полигонов – от 6,2 до 270 м³/т ТБО и зависит от содержания органического углерода и условий разложения [4].

Общее количество биогаза ($Q_{об}$, м³/т ТБО), выделившегося за период с начала эксплуатации полигона до момента расчета, учитывает время отсутствия газовой эмиссии (2 года) и определяется по формуле

$$Q_{об} = P_t (t - 2) V,$$

где P_t – общее количество отходов за время эксплуатации, т;

t – период с начала эксплуатации до момента расчета, год;

V – выход биогаза при метановом брожении.

Для расчета объемов образования метана в составе биогаза полигона ТБО г. Перми использованы следующие данные [6]: объем складированных отходов составляет 27250 тыс. м³; общая масса отходов за 22 года эксплуатации полигона равна 545·104 тонн, следовательно, среднегодовое количество ТБО составляет 247,7·103 тонн. В настоящее время количество депонируемых ТБО увеличилось и составляет 291,6·103 т/год.

Метановый потенциал оценен по морфологическому составу отходов, поступающих на захоронение, особенностями которого является высокий процент инертных материалов (металл, стекло, пластик и др.), практически не подверженных процессам биоразложения. Биоразлагаемая фракция составляет 48,3 % и включает пищевые отходы, бумагу, целлюлозосодержащие материалы, текстиль, кожу и резину (рис. 1). Метановый потенциал в пересчете на сухие отходы оценен с учетом фактора биоразложения для быстро-, средне- и медленно разлагаемых фракций ТБО, зольности и весовой доли каждой их биоразлагаемых фракций. Полученное значение G_0 составляет 153,6 м³/т ТБО.



Рис. 1. Морфологическая структура ТБО на территории г. Перми

Результаты оценочных прогнозов образования биогаза (рис. 2) показали, что максимальная эмис-

сия в объеме 311,5·10³ м³/год характерна для периода 2005–2010 г., но даже после прекращения размещения отходов на полигоне объем газовой эмиссии в течение длительного времени будет оставаться высоким.

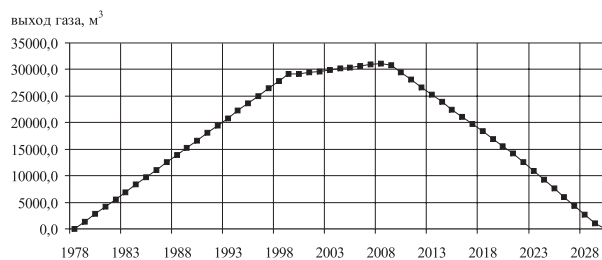


Рис. 2. Динамика образования биогаза на полигоне ТБО

Объем эмиссии биогаза принят в качестве исходных данных для моделирования переноса и рассеивания метана, как компонента обуславливающего экологическую опасность для территории в зоне влияния полигона захоронения ТБО.

Разработка математической модели переноса метана воздушным потоком

Для описания переноса и рассеивания легкой газовой примеси воздушным потоком в трехмерной расчетной области G (рис. 3) рассматривается нестационарное дифференциальное уравнение диффузии:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \eta \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где C – концентрация газообразной примеси, кг/м³;

u, v, w – компоненты вектора скорости воздушного потока, м/с;

η – коэффициент турбулентной диффузии.

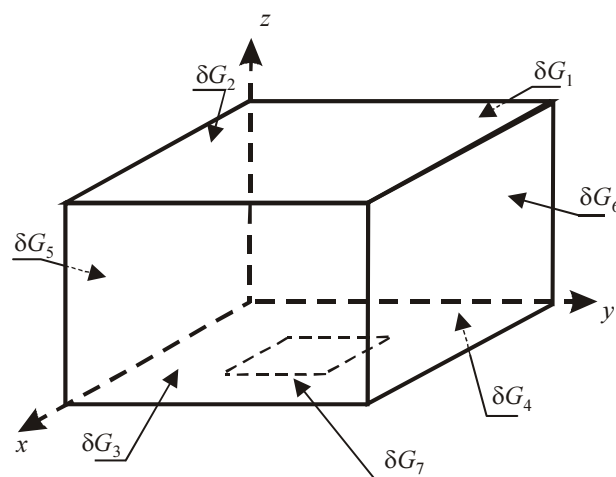


Рис. 3. Схема расчетной области G и ее границы

Предполагается, что распределение скорости воздушного потока в области G определяется моделью пограничного слоя атмосферы [7]:

$$U = U^* \ln[(z - z_0)/z_0] / \kappa, \quad v = 0, \quad w = 0, \quad (2)$$

где U^* – динамическая скорость, z_0 – шероховатость поверхности, κ – коэффициент Кармана.

Начальные и граничные условия математической модели

В качестве начального условия принято, что при $t = 0$ метан в рассматриваемой расчетной области G отсутствует, то есть $C(0, x, y, z) = 0, x, y, z \in G$.

Принято, что на боковых $\partial G_1, \partial G_3, \partial G_5, \partial G_6$ и верхней ∂G_2 границах расчетной области задаются условия установившегося потока переноса примеси, поэтому производные по соответствующим направлениям приравниваются нулю. На непроницаемой нижней границе – условие отсутствия потока примеси через подстилающую поверхность (за исключением области полигона ТБО ∂G_7). Поток примеси через границу ∂G_7 определяется выражением

$$\Phi = 0,5Q\rho_{CH_4} / (\tau S_{\partial G_7}), \quad (3)$$

где Q – годовой валовой выброс биогаза, ρ_{CH_4} – плотность метана, 0,5 – коэффициент удельного содержания метана в общем объеме выбросов, $S_{\partial G_7}$ – площадь полигона ТБО (∂G_7), τ – длительность периода эмиссии.

Таким образом, граничные условия математической записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial x} &= 0, \quad x, y, z \in \partial G_1 \cup \partial G_3, \\ \frac{\partial C}{\partial y} &= 0, \quad x, y, z \in \partial G_5 \cup \partial G_6, \\ \frac{\partial C}{\partial z} &= 0, \quad x, y, z \in \partial G_2, \quad \eta \frac{\partial C}{\partial z} = \begin{cases} 0, & x, y, z \in \partial G_4, \quad x, y, z \notin \partial G_7 \\ \Phi, & x, y, z \in \partial G_4, \quad x, y, z \in \partial G_7 \end{cases} \end{aligned}$$

Методика решения дифференциальной задачи

Для решения дифференциального уравнения в частных производных (1) используется метод геометрического расщепления [8, 9], при котором пространственное дифференциальное уравнение заменяется решением последовательности трех одномерных задач. Вводятся обозначения A_x, A_y, A_z , с помощью которых уравнение (1) записывается в виде

$$\frac{\partial C}{\partial t} + A_x C + A_y C + A_z C = \Phi, \quad (4)$$

где $A_x = u \frac{\partial}{\partial x} - \eta \frac{\partial^2}{\partial x^2}, A_y = v \frac{\partial}{\partial y} - \eta \frac{\partial^2}{\partial y^2}, A_z = w \frac{\partial}{\partial z} - \eta \frac{\partial^2}{\partial z^2}$.

Пусть для некоторого момента времени t решение $C(t, x, y, z)$ этого уравнения известно, тогда для момента $\hat{t} = t + \tau$ решение можно представить с помощью ряда Тейлора в виде

$$\begin{aligned} C(\hat{t}, x, y, z) &= C(t, x, y, z) + \frac{\partial C(t, x, y, z)}{\partial t} \tau + O(\tau^2) = \\ &= C(t, x, y, z) - \tau [A_x C(t, x, y, z) + A_y C(t, x, y, z) + A_z C(t, x, y, z)] + O(\tau^2) = \\ &= [E - \tau A_x - \tau A_y - \tau A_z] C(t, x, y, z) + O(\tau^2). \end{aligned} \quad (5)$$

Рассматриваются три вспомогательные задачи:

$$\begin{cases} \frac{\partial C_1}{\partial t} + A_x C_1 = 0, \\ C_1(t, x, y, z) = C(t, x, y, z), \quad \frac{\partial C_1(t, 0, y, z)}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial C_1(t, L, y, z)}{\partial x} = 0; \\ \frac{\partial C_2}{\partial t} + A_y C_2 = 0, \\ C_2(t, x, y, z) = C_1(\hat{t}, x, y, z), \quad \frac{\partial C_2(t, x, 0, z)}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial C_2(t, x, S, z)}{\partial y} = 0; \\ \frac{\partial C_3}{\partial t} + A_z C_3 = \Phi, \\ C_3(t, x, y, z) = C_2(\hat{t}, x, y, z), \\ \eta \frac{\partial C_3(t, x, y, 0)}{\partial z} = \begin{cases} 0, & x, y, z \in \partial G_7, \\ \Phi, & x, y, z \in \partial G_7, \end{cases} \quad \frac{\partial C_3(t, x, y, H)}{\partial z} = 0, \end{cases} \quad (6)$$

где L – длина, S – ширина, H – высота расчетной области, содержащей полигон ТБО.

Решения указанных задач для момента времени \hat{t} представляются в форме

$$\begin{cases} C_1(\hat{t}, x, y, z) = [E - A_x] C_1(t, x, y, z) + O(\tau^2), \\ C_2(\hat{t}, x, y, z) = [E - A_y] C_2(t, x, y, z) + O(\tau^2), \\ C_3(\hat{t}, x, y, z) = [E - A_z] C_3(t, x, y, z) + O(\tau^2). \end{cases}$$

Учитывая, что

$$C_2(t, x, y, z) = C_1(\hat{t}, x, y, z), \quad C_3(t, x, y, z) = C_2(\hat{t}, x, y, z),$$

решение третьей вспомогательной задачи получается в виде

$$C_3(\hat{t}, x, y, z) = [E - \tau A_x - \tau A_y - \tau A_z] C(t, x, y, z) + \tau \Phi(x, y, z) + O(\tau^2)$$

Сравнение полученного результата с выражением (5) позволяет сделать вывод, что последовательное решение одномерных задач (6) приводит к получению решения уравнения (4) с погрешностью не выше $O(\tau^2)$.

Первое дифференциальное уравнение системы

$$\frac{\partial C_1}{\partial t} + u \frac{\partial C_1}{\partial x} = \eta \frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2}$$

аппроксимируется неявной разностной схемой «против потока» для повышения устойчивости вычислений [10, 11]:

$$\begin{cases} \frac{\hat{C}_{1jk} - C_{ijk}}{\tau} + u_{ijk} \frac{\hat{C}_{1jk} - \hat{C}_{1i-1jk}}{h_x} = \eta \frac{\hat{C}_{1i-1jk} - 2\hat{C}_{1ijk} + \hat{C}_{1i+1jk}}{h_x^2}, \quad u_{ijk} \geq 0, \\ \frac{\hat{C}_{1jk} - C_{ijk}}{\tau} + u_{ijk} \frac{\hat{C}_{1i+1jk} - \hat{C}_{1ijk}}{h_x} = \eta \frac{\hat{C}_{1i-1jk} - 2\hat{C}_{1ijk} + \hat{C}_{1i+1jk}}{h_x^2}, \quad u_{ijk} < 0. \end{cases}$$

Аналогичные разностные схемы используются для аппроксимации второго и третьего уравнений системы (6).

Результаты вычислительного эксперимента

Для определения поля концентрации CH_4 учитывалась информация о направлении и скорости ветра (рис. 4). Ветровой режим рассматриваемой территории характеризуется высокой повторяемостью в течение года ветров юго-западного и южного направлений – 20 %; в холодный период наиболее вероятны южное и юго-восточное направление, в теплый период года возрастает повторяемость ветра северо-западного и северного направлений. Учет переменного направления ветра производится с помощью выражения

$$C(x, y, z) = \sum_k p_k C_k(x, y, z), \quad (7)$$

где p_k – относительная частота ветра определенного направления, $C(x, y, z)$ – установившееся (в течение года) распределение концентрации примеси, соответствующее этому направлению ветра.

Для расчетов принято, что область G имеет размеры $L = 10000$ м, $S = 10000$ м, $H = 60$ м и аппроксимируется разностной сеткой, содержащей $200 \times 200 \times 60$

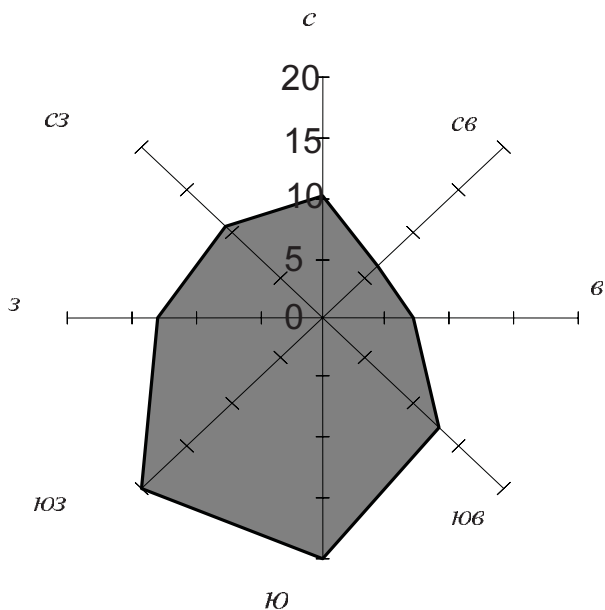


Рис. 4. Повторяемость направлений ветра

ячеек. Область ∂G , источника газовой эмиссии (полигон ТБО) имеет размеры 1000 м \times 1000 м и находится в центре горизонтальной плоскости ∂G , расчетной области (рис. 5).

Некоторые результаты вычислительного эксперимента представлены на рис. 6–7 в виде изолиний концентрации CH_4 и позволяют определить зоны повышенного уровня загрязнения, определить распределение концентраций в зоне прямого воздействия источника эмиссии – в санитарно-защитной зоне полигона ТБО шириной 1000 м.

Представленные результаты показывают снижение концентрации метана в горизонтальной и верти-

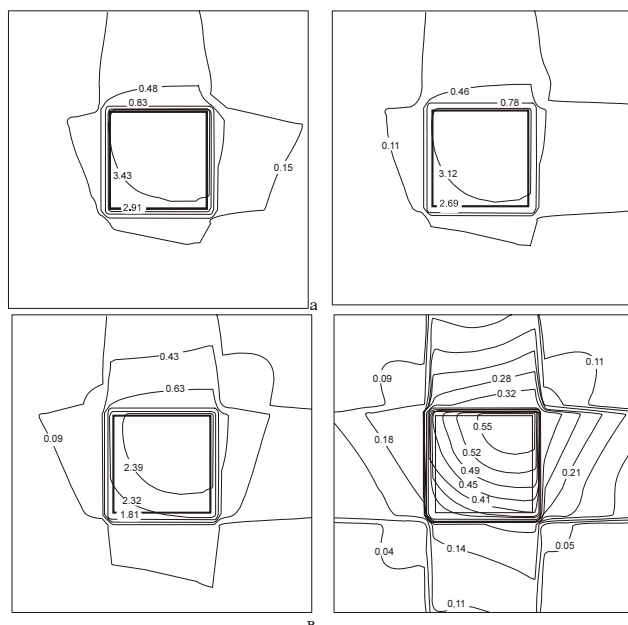


Рис. 5. Изолинии концентрации CH_4 (mg/m^3) в горизонтальных сечениях области G на высотах $z = 1$ м (а), $z = 2$ м (б), $z = 10$ м (в) и $z = 20$ м (д)

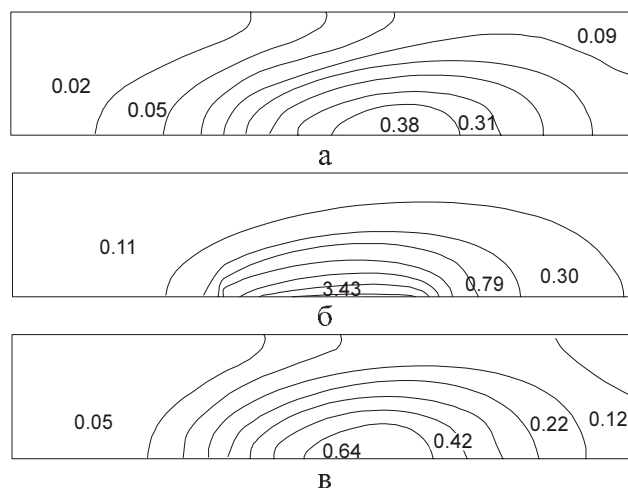


Рис. 6. Изолинии концентрации CH_4 (mg/m^3) в вертикальных сечениях области G : $x = 4250$ м (а), $x = 5000$ м (б) и $x = 5750$ м (в)

кальной плоскостях по мере удаления от плоскостного источника – полигона ТБО.

Наибольшая расчетная концентрация метана (максимальное значение равно $3,43$ mg/m^3) отмечается над территорией полигона захоронения на высоте 1 м. Уровень концентрации в области над полигоном и вне его границ быстро уменьшается с увеличением высоты: от $3,43$ mg/m^3 на высоте 1 м до $0,5$ mg/m^3 на высоте 20 м (см. рис. 5). На незначительном удалении от источника эмиссии (в пределах границ санитарно-защитной зоны) концентрация метана быстро снижается на порядок и более.

Преобладающее направление концентрации с юго-запада на северо-восток (см. рис. 5) отражает преобладающие направления ветра (см. рис. 4). Смещение

Концентрации метана в приземном воздухе

Место отбора проб воздуха	Значения концентрации, мг/м ³		
	Минимальная	Максимальная	Средняя
полигон, 1,5 м от поверхности	1,05	5,1	3,7
полигон, 0,4 м от поверхности	1,43	8,97	6,1
фоновый участок	0,94–1,02		

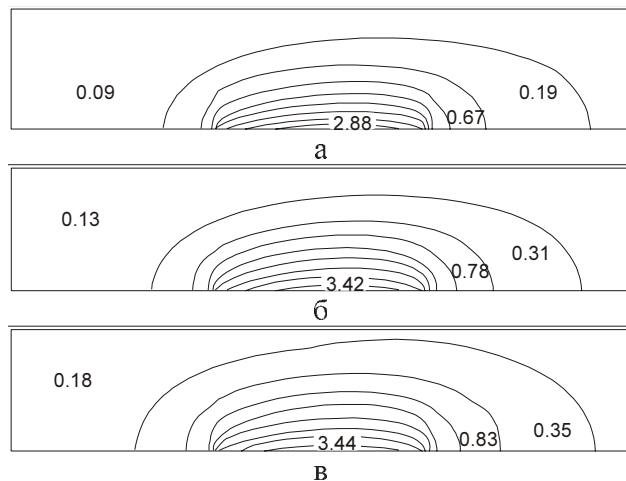


Рис. 7. Изолинии концентрации CH_4 (мг/м³) в вертикальных сечениях области G:

$y = 4500$ м (а), $y = 5000$ м (б) и $y = 5500$ м (в)

воздушных масс на север и северо-восток объясняется более высокой повторяемостью южных и юго-западных ветров; именно по этой причине в указанном направлении регистрируются наибольшие значения концентрации метана, переносимые с территории полигона.

Для верификации результатов моделирования проведена сравнительная оценка расчетных данных и результатов экспериментального исследования состава атмосферного воздуха в приземном слое над территорией захоронения ТБО г. Перми. Замеры эмиссии метана с территории захоронения показали, что интенсивные потоки метана характерны для старых частично рекультивированных участков (табл.).

Кроме этого, полевыми исследованиями установлены значимые концентрации для окиси углерода, суммы углеводородов (бензола, толуола, этилбензола, ксилолов) [6]. Превышение допустимых концентраций в приземном слое отмечено для окиси углерода в 1,6 ПДК, сумме углеводородов 1,6–2,9 ПДК.

Заключение

Для оценки переноса и рассеивания метана, как основного компонента биогаза, эмитируемого полигонами захоронения ТБО, сформулирована задача, выполнена математическая постановка, разработан алгоритм решения и создана компьютерная программа для проведения вычислительных экспериментов. Трехмерная модель позволяет представить горизонтальный и вертикальный

профиль распределения концентрации загрязняющего вещества в любом сечении расчетной области.

Математическая модель учитывает теоретические представления по вопросу метаногенеза в процессе биодеструкции ТБО и использует известные подходы для оценки объема образования биогаза. Алгоритм решения может быть применен для оценки распространения других неметановых составляющих биогаза. При изменении параметров модели, характеризующих мощность площадного источника (масса ТБО, объем выброса биогаза на разных фазах разложения отходов) и внешних условий («роза ветров» геометрия территории, средняя скорость ветра и др.) вычислительные эксперименты могут быть выполнены для широкого круга реальных объектов захоронения ТБО.

Полученные результаты проверены на реально существующем объекте. Расчетные значения не противоречат данным наблюдений и могут быть использованы при подготовке прогнозных оценок и для разработки методических рекомендаций при организации сети наблюдения.

В настоящий момент разработанная модель не учитывает температурную и влажностную неоднородность среды распространения, неоднородность объема эмиссии по площади территории захоронения, геометрию полигона, принимает во внимание усредненные по сезонам года преобладающие направления ветра. Учет указанных особенностей при дальнейшей доработке математической модели позволит проводить более точные оценочные расчеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбатюк, О.В. Ферментеры геологического масштаба / О.В. Горбатюк, О.И. Минько, А.Б. Лифшиц и др. // Природа – 1989. – № 39. – С. 71–79.
2. Органическая химия атмосферы / В.А. Исидоров. – СПб.: Химия, 1992. – 288 с.
3. Минько, О.И. Экологические и геохимические характеристики свалок твердых бытовых отходов / О.И. Минько, А.Б. Лифшиц // Экологическая химия. – 1992. – № 2. – С. 37–47.
4. Вайсман, Я.И. Управление метаногенезом на полигонах твердых бытовых отходов / Я.И. Вайсман, О.Я. Вайсман, С.В. Максимова. – Пермь: ПГТУ, 2003. – 232 с.
5. Методические указания по расчету количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых отходов. – М.: АКХ им. К.Д. Памфилова, 1995. – 25 с.
6. Комплексная оценка загрязнения окружающей среды в районе размещения свалки твердых бытовых отходов г. Перми «Софроны». Отчет НИР. – Пермь: ПГТУ, 2000.

7. Зилитинкевич, С.С. О замыкании системы уравнений турбулентного движения для пограничного слоя атмосферы. Физика пограничного слоя атмосферы / С.С. Зилитинкевич, Д.Л. Лайхтман // Тр. Гл. геофиз. Лаб. – 1965. – Вып. 167. – С. 44–48.

8. Ковеня, В.М. Методы расщепления в задачах газовой динамики / В.М. Ковеня, Н.Н. Яненко. – Новосибирск : Наука, 1981. – 304 с.

9. Марчук, Г.И. Методы вычислительной математики / Г.И. Марчук. – М. : Наука, 1980. – 536 с.

10. Бояршинов, М.Г. Оценка последствий переноса газового облака над лесным массивом / М.Г. Бояршинов // Механика жидкости и газа. – 2000. – № 4. – С. 79–87.

11. Бояршинов, М.Г. Перенос газовой примеси воздушным потоком через область, содержащую растительный массив / М.Г. Бояршинов // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2002. – Т. 42. – № 7. – С. 1094–1104.

УДК 504.064.36:574

ГЕОЭКОЛОГО-РЕЗИСТЕНТНЫЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОЦЕНКА КУМУЛЯТИВНОГО ЭФФЕКТА ЛОКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Н.В. Зиброва, С.В. Дедов, С.С. Шевалдин

Воронежское высшее военное авиационное инженерное училище (Военный институт)

В статье рассматривается новая методика оценки уровня локального загрязнения окружающей среды. Оценка кумулятивного эффекта проведена с использованием современных технологий. При проведении исследования проанализированы метеосостояния в период с 2000 по 2003 гг. При проведении исследования обоснована связь степени загрязнения окружающей среды на локальном уровне для объекта исследования – введенной единицы популяции городского населения выделенной группы населения.

Выделяя из совокупности населения группы, характеризующиеся длительным периодом нахождения на анализируемой территории крупного промышленного города и устойчивого воздействия воздушной среды, можно оценить характер влияния воздушной среды на всю совокупность населения. В процессе выполнения задач военно-профессиональной направленности военнослужащие, как и гражданский персонал воинских частей и организаций, включены, по нашему мнению, в деятельность, характер и организация которой оказывают существенное влияние на изменение функционального состояния организма человека в процессе физической и умственной деятельности.

Формы деятельности, рассматриваемые авторами, выполняются непосредственно в техногенно изменяемой воздушной среде, находящейся под сильным антропогенным воздействием и оказывающей непосредственное воздействие на здоровье выделенной группы населения (ВГН).

Здоровье личности, воинского коллектива, ВГН зависит от воздействия различных подсистем природной и социальной среды, осуществляющееся через физиологические, биофизиологические и биохимические механизмы регуляции и отражающиеся на физиологическом состоянии человека (рис. 1).

Возрастающие в современное время нагрузки на организм индивидов ВГН, не снижающиеся темпы изменения воздушной среды приводят к нарушению взаимосвязи между населением и биосферой, в которой

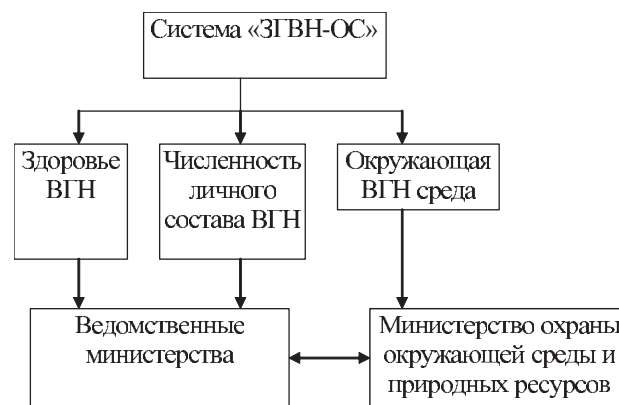


Рис. 1. Схема организации информационной системы «здоровье выделенной группы населения – окружающая среда» (ЗВГН – ОС)

оно находится, снижают адаптационные возможности организма. В воздушную среду обитания попадают такие вещества, с которыми организм в ходе эволюции не сталкивался и поэтому не имеет соответствующих анализаторных систем, сигнализирующих об их наличии. В связи с этим представляется значимым оценить состояние здоровья ВГН, понять кумулятивный характер развивающейся скрытой патологии при локальном загрязнении воздушной среды.

В ходе исследования факторов, влияющих на здоровье военнослужащих, авторами разработана схема организации информационной системы «здоровье