DOI: 10.12737/article_5c0c1209d926d4.00249293

Е.В. Береснева¹, Б.А. Галушкин², С.В. Горбунов³, В.Н. Клочков², В.И. Рубцов², А.А. Молоканов²

ИМИТАЦИОННЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В СЛУЧАЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

1. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва;

2. Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва;

3. ВНИИ по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий), Москва. E-mail: gorbunow1954@bk.ru.

Е.В. Береснева – к.т.н., доцент; Б.А. Галушкин – в.н.с., д.т.н., проф.; С.В. Горбунов – г.н.с., д.т.н.; В.Н. Клочков – в.н.с., д.т.н.; В.И. Рубцов – зав. лаб., д.т.н.; А.А. Молоканов – в.н.с., к.т.н.

Реферат

<u>Цель</u>: Вследствие аварии на Чернобыльской АЭС произошло радиоактивное загрязнение обширных территорий, в т.ч. и лесных массивов. В последние десятилетия прослеживается тенденция увеличения количества лесных пожаров на территории РФ и, что более тревожно, значительно увеличивается площадь их выгорания. Поэтому растёт риск возникновения крупных лесных пожаров в зоне радиоактивного загрязнения. Эффективность мероприятий по радиационной защите населения и персонала, участвующего в ликвидации пожара, напрямую зависит от наличия методик надежного прогнозирования радиационной обстановки. Целью работы являются разработка методики прогнозирования радиационной обстановки при лесном пожаре в зоне радиоактивного загрязнения с учетом хаотического характера атмосферной турбулентности и конвективной колонки над очагом пожара и оценка ее валидности.

<u>Материал и методы</u>: При разработке методики прогнозирования использовался метод имитационного моделирования процессов массопереноса в атмосфере (метод Г. Бёрда), основанный на молекулярно-кинетической теории и теории газовой динамики.

<u>Результаты</u>: Разработана имитационная модель формирования, распространения и оседания радиоактивного облака, позволяющая учитывать хаотический характер атмосферной турбулентности и наличие конвективной колонки над очагом пожара; разработана методика прогнозирования радиационной обстановки при лесном пожаре в зоне радиоактивного загрязнения; проведена ее верификация по данным европейского эксперимента E1. Показано, что относительная погрешность полученных значений в контрольных точках параметров радиационной обстановки по данным эксперимента E1 не превысила 0,25.

<u>Заключение</u>: Использование модифицированного метода Бёрда позволило разработать трехмерную динамическую модель распространения радиоактивных аэрозолей в атмосферу при конвективном подъеме их нагретым воздушным потоком с подстилающей поверхности, позволяющую учитывать хаотический характер атмосферной турбулентности и наличие конвективной колонки над очагом пожара, что существенно увеличило точность методики прогнозирования радиационной обстановки.

Ключевые слова: лесные пожары, радиационная обстановка, прогнозирование, метод Бёрда, дисперсии Смита–Хоскера, конвективная колонка, атмосферная турбулентность

Поступила: 09.10.2018. Принята к публикации: 01.11.2018

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС привела к радиоактивному загрязнению больших территорий, в т.ч. и лесных массивов. При возникновении лесных пожаров на этих территориях велика вероятность возникновения чрезвычайной ситуации, связанной с вторичным радиоактивным загрязнением «чистых» и относительно «чистых» территорий. Например, при возникновении пожара в Рыжем лесу, преимущественно состоящем из сухой хвойной древесины, по грубым оценкам, конвективная колонка поднимется выше пограничного слоя атмосферы и произойдет радиоактивное загрязнение новых территорий с плотностью, превышающей 40 Ки/км² (зона отчуждения). Эффективность мероприятий по радиационной защите населения и персонала, участвующего в ликвидации пожара, напрямую зависит от наличия методик надежного прогнозирования радиационной обстановки. В то же время, анализ литературы в области прогнозирования радиационной обстановки и результаты тестирования прогностических моделей (гауссовых, эйлеровых, лагранжевых) показывают, что в настоящее время существующие методики не могут быть непосредственно применены для прогнозирования радиационной обстановки в рассматриваемом случае.

В связи с этим актуальна разработка научно обоснованной методики прогнозирования, необходимой для принятия решений о введении мер радиационной защиты персонала и населения на прилегающих территориях и учитывающей характерные аспекты образования конвективной колонки и конвективнодиффузионного рассеяния радиоактивной примеси в атмосфере.

Обзор современных методов прогнозирования радиационной обстановки

При анализе различных моделей распространения примесей в атмосфере, пригодных для оценки последствий аварий на объектах атомной энергетики, в обзоре Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) [1] рекомендованы три типа моделей: гауссовы модели, лагранжевы модели облака и трехмерные (эйлеровы) модели.

Гауссовы модели основаны на априорном предположении о нормальном законе распределении частиц в атмосфере по осям ОУ и ОΖ, если направление оси ОХ совпадает с направлением ветра. В зависимости от геометрии источника их можно подразделить на модели точечного, линейного, площадного и объёмного источников. Основными достоинствами гауссовых моделей являются их простота и возможность учитывать скорость ветра, устойчивость атмосферы, выведение примеси осадками из атмосферы и характер подстилающей поверхности. Благодаря простоте этих моделей их компьютерные реализации быстродействующие и не требуют больших объемов памяти.

Основными недостатками гауссовых моделей является использование грубо усредненных входных данных, что приводит к применению этих моделей только для расстояний до 30–60 км. Также существенным недостатком является то, что гауссовы модели чисто эмпирические и некоторые коэффициенты определены только для конкретных условий, и правила вычисления их в общем случае неизвестны.

Наиболее часто используемая модель гауссового типа – модель Паскуилла-Гиффорда, которая является рабочей моделью МАГАТЭ.

Модели лагранжева облака основаны на описании некоторого бесконечно малого объема воздушной среды в фиксированный момент времени t_0 с координатами (x_0, y_0, z_0) и на рассмотрении изменения его координат как функции времени и его начальных координат [2].

Большой класс моделей на основе лагранжевого подхода, – это интегральные модели, базирующиеся на интегральных законах сохранения, например, модель Института экспериментальной метеорологии.

Простота и возможность применения моделей лагранжева облака для расчетов переноса примеси на расстояния до несколько тысяч километров сделали эти модели весьма популярными не только в России, но и за рубежом.

Но, вследствие того, что преимущественно закон распределения радиоактивных частиц внутри лагранжева облака априорно принимается гауссовым, основным недостатком рассматриваемых моделей является их эмпиричность, т.е. необходимость расчета коэффициентов для конкретных метеоусловий и конкретных свойств подстилающей поверхности.

Эйлеров подход реализован в третьих, рекомендованных МАГАТЭ, трехмерных моделях переноса и диффузии примеси. Решается задача с начальными и краевыми условиями для трехмерного уравнения параболического типа:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + [v \cdot \operatorname{grad}(\mathbf{u})] - \nabla [D \cdot \operatorname{grad}(\mathbf{u})] = Q, \qquad (1)$$

где u(x,y,z,t) – концентрация примеси; v(x,y,z,t) – вектор скорости ветра; D – тензор коэффициентов турбулентной диффузии; Q(x,y,z,t) – плотность источника примеси.

Поиск решения трехмерного уравнения (1) может осуществляться тремя способами: аналитически, с помощью численных методов и стохастически.

Одной из простых моделей эйлерова типа является модель Главной геофизической обсерватории (ГГО), построенная на аналитическом решении при определенных начальных и граничных условиях дифференциального уравнения (1) и при ряде упрощающих предположений.

Решение дифференциального уравнения в частных производных (1) численными методами на данный момент возможно только для двумерного случая. Поэтому формирование облака рассматривается только в плоскости ОХҮ, процесс оседания облака по оси ОZ учитывается отдельно. В связи с огромной трудоемкостью и неустойчивостью решения численные методы для моделирования радиационной обстановки используются крайне редко.

Наиболее известной моделью, основанной на решении уравнения (1), является мезомасштабная модель атмосферного переноса, разработанная в ИБРАЭ РАН. На ее основе в режиме реального времени реализуется программа Нострадамус, предназначенная для поддержки принятия решений при аварийных ситуациях с выбросом радиоактивных материалов.

Трехмерные модели имеют важные преимущества: учитываются высотные распределения ветра и температуры; учитываются различные вариации параметров атмосферы и поверхности в течение суток и от сезона к сезону; взаимодействие примеси с подстилающей поверхностью может быть учтено в качестве граничного условия в настолько полной форме, насколько известна природа этого процесса.

Недостатками эйлеровых моделей являются: сложность реализации (расчеты по трехмерным моделям на персональных компьютерах занимают многие часы); отсутствие необходимых для их использования исходных данных; сложности определения граничных условий.

Методика моделирования

Анализ литературы в области прогнозирования радиационной обстановки показал, что существующие методики основываются на использовании турбулентно-диффузионных коэффициентов, не позволяющих учитывать хаотический характер турбулентности атмосферы, хотя это является существенным фактором при формировании радиоактивного загрязнения. Другим способом моделирования турбулентного газового потока является метод Бёрда (метод прямого моделирования).

Метод предназначен для расчета течений газа и может трактоваться как численное решение уравнения Больцмана, трансформациями которого описывается рассеяние аэрозолей, в т.ч. и радиоактивных. Основоположник метода Грэм Бёрд показал, что аэрозоль можно представить как множество дискретных частиц, каждая их которых представляет собой большое количество реальных молекул с заданным стохастическим процессом их столкновения друг с другом [3]. Эволюция множества частиц описывается как равномерное прямолинейное движение, прерываемое в случайные моменты времени мгновенными актами парных столкновений. Стохастическая система уравнений, описывающая прямолинейное движение частицы, согласно методу Бёрда может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v_{\text{KOH}} + u_x^{T-\pi} \\ \frac{dy}{dt} = u_y^{T-\pi} \end{cases}$$

$$(2)$$

$$\frac{dz}{dt} = -v_g + u_z^{T-\pi}$$

где $v_{\text{кон}}$ – модуль конвективной скорости движения газового потока; $u_x^{\text{ т-д}}$, $u_y^{\text{ т-д}}$, $u_z^{\text{ т-д}}$, – три компоненты по соответствующим осям координат диффузно-турбулентной скорости частицы; v_{g} – модуль скорости осаждения молекулы.

После достижения стационарного режима макропараметры течения вычисляются осреднением параметров частиц в течение достаточно длительного времени. Метод характеризуется тремя основными параметрами дискретизации: временной шаг (для ускорения счёта фазы перемещения и столкновения разделены между собой и чередуются), размер ячейки (сталкивающиеся частицы выбираются в пределах одной ячейки), число частиц.

Классические рекомендации по выбору дискретизации следующие: размер ячейки должен быть меньше длины свободного пробега, временной шаг – меньше времени между столкновениями, желательно – не больше времени пребывания частицы в ячейке, в каждой ячейке среднее число частиц должно быть велико. Адекватный выбор параметров дискретизации накладывает существенные ограничения на реализацию метода Бёрда на различных вычислительных машинах. Поэтому для реализации метода Бёрда на персональном компьютере совокупность частиц в одной элементарной ячейке должна быть описана их интегральными свойствами (общая активность радионуклидов, общая средняя скорость).

Тогда в результате интегрирования, и приняв $dt = \Delta t_m$, систему уравнений (2) можно преобразовать в систему уравнений для радиоактивного облака (3) и конвективной колонки (4):

$$\begin{cases} \Delta x = v_z \cdot \Delta t_m + \delta_x \\ \Delta y = \delta_y \\ \Delta z = -v_g \cdot \Delta t_m + \delta_z \end{cases} \qquad \begin{cases} \Delta x = v_z \cdot \Delta t_m + \delta_x \\ \Delta y = \delta_y \\ \Delta z = v_\kappa(z) \cdot \Delta t_m + \delta_z \end{cases} \qquad (4)$$

где Δt_m – время моделирования на одном шаге имитации; v_z – модуль скорости ветра на высоте, равной z; v_g – модуль скорости оседания; $v_\kappa(z)$ – модуль скорости газового потока в конвективной колонке; δ_x , δ_y , δ_z – случайные смещения по соответствующей координате, обусловленные диффузно-турбулентным расширением.

Вследствие того, что скорости ветра и конвективная скорость много больше значений соответствующих компонент диффузно-турбулентной скорости u_x^{T-T} и u_z^{T-T} , значениями δ_x и δ_z случайных смещений в системах уравнений (3) и (4) можно пренебречь.

Согласно теории Колмогорова о мультифрактальности турбулентного потока, в качестве случайных смещений δ_y и δ_z для радиоактивного облака принимаются случайные величины с нормальным законом распределения, нулевыми математическими ожиданиями и средними квадратическими отклонениями σ_y ($v_z \times \Delta t_m$) и σ_z ($v_z \times \Delta t_m$) соответственно, определенными по формулам Смита–Хоскера [4].

Согласно теории градиентного переноса, в качестве случайного смещения δ_y для конвективной колонки принимаются случайные величины с нормальным законом распределения, нулевым математическим ожиданием и средним квадратическим отклонением, равным $\sqrt{2 \cdot D(z)}$, где D(z) – коэффициент диффузии на высоте, равной z:

$$D(z) = 0.14 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{T_u - (T_u - T_0 + 0.6 \cdot \frac{H}{100}) \cdot \frac{z}{H}}{273}\right)^2 , \quad (5)$$

где T_u , T_0 – температура источника и окружающей среды соответственно, К; H – высота подъёма конвективной колонки по Бриггсу, м.

Для определения высоты конвективной колонки при лесном пожаре по адаптированным формулам Бриггса необходимо найти две вспомогательные величины: w_0 – модуль вектора начальной вертикальной скорости конвективной колонки (м/с) и z_T – высоту, на которой атмосферная турбулентность начинает доминировать:

$$w_0 = \frac{8.8 \cdot 10^{-6} \cdot Q_u \cdot T_u}{g \cdot (T_u - T_0) \cdot R_0^2},$$
 (6)

где Q_u – модуль скорости тепловыделения, Дж/с; T_u , T_0 – температура источника и окружающей среды, К; R_g – эффективный радиус лесного пожара, м;

$$z_{T} = \begin{cases} 14 \cdot (\Phi)^{5/8}, & \Phi < 55 \quad M^{4} / c^{3} \\ 34 \cdot (\Phi)^{2/5}, & \Phi > 55 \quad M^{4} / c^{3} \end{cases}$$
(7)

где Φ – параметр силы плавучести, определяемой по формуле:

$$\boldsymbol{\Phi} = \boldsymbol{g} \cdot \boldsymbol{w}_0 \cdot \boldsymbol{R}_9 \left(1 - \frac{T_0}{T_u} \right). \tag{8}$$

Тогда высота подъёма конвективной колонки при неустойчивых и нейтральных состояниях атмосферы определяется по формуле:

$$H = \frac{2}{v_0} \cdot (\Phi)^{1/3} \cdot (z_T)^{2/3} , \qquad (9)$$

где *H* – высота подъёма конвективной колонки, м; *v*₀ – модуль скорости ветра на высоте флюгера, м/с; а при устойчивых состояниях атмосферы – по формуле:

$$H = \begin{cases} 2,6 \cdot (\frac{\Phi}{v_0 \cdot s})^{1/3} - \text{при ветре} \\ 5,1 \cdot \frac{\Phi^{1/4}}{s^{3/8}} - 6\text{es ветра,} \end{cases}$$
(10)

где *s* – параметр устойчивости атмосферы, определяемый по формуле:

$$s = \begin{cases} 8,7 \cdot 10^{-6}, \text{для } E \\ 1,75 \cdot 10^{-3} \text{для } F \end{cases}$$
(11)

где *Е* – слегка устойчивая атмосфера; *F* – умеренно устойчива атмосфера (инверсия) – категории устойчивости атмосферы по Пасквиллу.

Функция скорости газового потока $v_{\kappa}(h)$ в конвективной колонке от высоты подъема h, исходя из значений скорости потока непосредственно над очагом пожара и на высоте H, аппроксимируется полиномом первой степени

$$\mathbf{v}_{\kappa}(h) = \mathbf{w}_0 \cdot \left(1 - \frac{h}{H}\right) \ . \tag{12}$$

Для определения скорости оседания v_g было принято допущение: радиоактивные аэрозоли, размер частиц которой не превышает 10 мкм, являются седиментационно устойчивой примесью с постоянной скоростью сухого оседания; радиоактивные аэрозоли и несгоревшие частицы древесины, размер которых превышает 10 мкм, имеют гравитационную скорость оседания, которая определяется по формуле Стокса:

$$v_g = K \cdot g \cdot r^2 \cdot \frac{\rho_{eeu} - \rho_e}{\mu}, \qquad (13)$$

где v_g – модуль скорости гравитационного оседания, м/с; g = 9,8 – ускорение свободного падения, м/с²; r – радиус частицы, м; $\rho_{\text{вещ}}$, $\rho_{\text{в}}$ – соответственно плотность примеси и плотность воздуха, кг/м³; $\mu = 1,7 \times 10^{-6}$ – вязкость воздуха, Па/с; K – безразмерный коэффициент, зависящий от формы частиц примеси.

Разработан алгоритм распространения радионуклидов из элементарной ячейки в соседние согласно принципу пропорциональности содержания радионуклидов смещениям Δx , Δy , Δz , полученным по формулам (3) и (4):

$$A_i^{m+1} = A^m \cdot \frac{\Delta x_i}{|\Delta x| + |\Delta y| + |\Delta z|}, \qquad (14)$$

где A^m – активность радионуклидов в «исходной» ячейке на шаге *m* имитации, A_i^{m+1} – активность радионуклидов, «переданная» на шаге *m*+1 имитации по направлению *i*, Бк [5].

Для уменьшения погрешности моделирования предложено соотношение между параметрами моделирования Δt_m – временем шага моделирования и Δr – линейным размером моделирования

$$\Delta r = v_0 \times \Delta t_m,\tag{15}$$

где *v*₀ – модуль скорости ветра на высоте флюгера.

При предложенном соотношении между параметрами моделирования для некоторых элементарных ячеек приращение распространения радионуклидов, полученное из систем уравнений (3) и (4), в несколько раз будет превосходить размер ячейки. Для уменьшения погрешности моделирования, возникающей в этом случае, разработан алгоритм распространения активности из «исходной» ячейки на несколько соседних элементарных ячеек по одному направлению:

$$p = \left[\frac{|\Delta \mathbf{x}_i|}{\Delta r}\right] + 1 \tag{16}$$

$$A_{ij}^{m+1} = \begin{cases} A_i^{m+1} \cdot \frac{\Delta r}{|\Delta x_i|} & npu \quad j = 1...p - 1\\ A_i^{m+1} \cdot \frac{|\Delta x_i| - \Delta r(p - 1)}{|\Delta x_i|} & npu \quad j = p \end{cases},$$
(17)

где p – число ячеек, к которым перейдет активность радионуклидов; A_{ij}^{m+1} – активность соответствующего радионуклида в каждой такой ячейке j = 1...p; A_i^{m+1} – общая активность радионуклидов, передаваемая шаге m+1 имитации по направлению i, найденная по формуле (14).

Описанные формулами (3)–(17) закономерности представляют собой суть имитационной модели распространения радионуклидов в атмосфере на основе модифицированного метода Бёрда.

Обсуждение

Разработанная методика была верифицирована по данным натурного европейского эксперимента E1, предназначенного для верификации моделей атмосферного переноса [6].

Европейский эксперимент E1 соответствует кратковременному точечному источнику, находящемуся на высоте около 100 м. В ходе исследования при прогнозировании радиационной обстановки по входным данным, определенным согласно условиям эксперимента E1, относительная погрешность интегральной приземной концентрации в контрольной точке составила 0,21, что является наименьшим результатом среди результатов 4 европейских методик и стохастической методики ИБРАЭ. Данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетная приземная интегральная концентрация и ее относительная погрешность

Название методики	Приземная инте- гральная концен- трация, Бк·с/м ³	Относительная погрешность при- земной интеграль- ной концентрации
Mod – разработанная	4,3·10 ⁵	0,21
методика		
Du (Германия)	7·10 ⁵	0,27
Nostradamus (ИБРАЭН)	9·10 ⁵	0,63
Risö (Дания)	11.10^{5}	1,0
IABG (Германия)	13·10 ⁵	1,36
Е1 – эксперимент	5,5·10 ⁵	-

Профиль приземной интегральной концентрации, полученный по разработанной методике и представленный на рис. 1, имеет «изрезанный», негладкий вид, что соответствует пятнистому характеру следа радиоактивного облака. Такая форма радиоактивного следа обусловлена хаотическим характером турбулентности атмосферы и подтверждена рядом исследований и экспериментов (европейский эксперимент Е4, исследования радиационной обстановки в 30-километровой зоне Чернобыльской АЭС).

Также с использованием критерия Пирсона проведена валидация разработанной методики, которая показала, что расширение радиоактивного облака для различных расстояний от источника, представ-



Рис. 1. Профиль по оси ОХ (а) и форма интегральной приземной концентрации (б); Е1 – экспериментальные данные, Mod – по разработанной методике, Nostradamus – модель ИБРАЭ, Du – эйлерова модель (Германия)



Рис. 2. Профили интегральной приземной концентрации по оси ОУ, полученные с помощью разработанной методики, с использованием данных эксперимента Е1

ленное на рис. 2, не противоречит нормальному закону распределения и соответствует теории градиентного переноса и общепринятому гауссову подходу. Характеристики профилей интегральной приземной концентрации по оси ОҮ, определенные с использованием критерия Пирсона, представлены в табл. 2.

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что распределение интегральной приземной концентрации по оси ОУ соответствует нормальному закону, и значение среднего квадратического отклонения растет с увеличением расстояния от источника.

Заключение

Использование модифицированного метода Бёрда позволило разработать методику прогнозирования радиационной обстановки при лесном пожаре в зоне радиоактивного загрязнения с учетом хаотического характера атмосферной турбулентности и наличия конвективной колонки над очагом пожара. Учет таких важных аспектов распространения примеси позволил более адекватно описать моделируемый физический процесс и увеличить точность прогнозируемых показателей радиоактивного загрязнения. Таким образом, применение метода Монте-Карло для моделирования турбулентно-диффузионного расширения радиоактивной примеси в каждой ячейки позволило учесть

Таблица 2

Характеристики профилей по оси ОУ интегральной приземной концентрации, определенные с использованием критерия Пирсона

Расстояние до источ- ника, км	Математиче- ское ожида- ние <i>М</i> [y], м	Среднее ква- дратическое отклонение σ [y], м	Параметр χ²	Уровень значимо- сти а
1	-1,5	85,0	4,68	0,3
2	0,4	118,57	8,21	0,5
3	-3,9	144,7	9,7	0,3
4	-4,1	166,78	10,1	0,5
5	12,3	168,34	12,2	0,2

неоднородность атмосферной турбулентности и отказаться от использования усредненных параметров Рейнольдса и Монина–Обухова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Techniques and decision making in the assessment of off-site consequences of an accident in a nuclear facility. Safety series 86. International Atomic Energy Agency. Vienna. 1987. 185 pp.
- Гаргер Е. Вторичный подъем радиоактивного аэрозоля в приземном слое атмосферы. НАН Украины; Ин-т проблем безопасности АЭС. – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности. 2008. 192 с.
- 3. Bird G.A. Molecular gas dynamics and direct simulation of gas flows. Oxford: Clarendon press. 1994.
- Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 1991. 256 с.
- 5. Береснева Е.В., Горбунов С.В. Прогнозирование радиационной обстановки при лесных пожарах в зонах радиоактивного загрязнения // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2016. № 3 (30). С. 76–80.
- Pasler-Sauer J. Comparative calculations and validation studies with atmospheric dispersion models. – Karlsruhe. 1986. 130 pp.

Для цитирования: Береснева Е.В., Галушкин Б.А., Горбунов С.В., Клочков В.Н., Рубцов В.И., Молоканов А.А. Имитационный подход при прогнозировании радиационной обстановки в случае лесных пожаров в зонах радиоактивного загрязнения // Мед. радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 6. С. 21–26.

DOI: 10.12737/article_5c0c1209d926d4.00249293

DOI: 10.12737/article_5c0c1209d926d4.00249293

Simulation Approach in Forecasting Radioactive Situation in Case of Forest Fires in Radioactive Contaminated Zones

E.V. Beresneva¹, B.A. Galushkin², S.V. Gorbunov³, V.N. Klochkov², V.I. Rubtsov², A.A. Molokanov²

1. Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia;

2. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia;

3. All-Russian Research Institute of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergency and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russia. E-mail: gorbunow1954@bk.ru.

E.V. Beresneva – Assoc. Prof., PhD Tech.; B.A. Galushkin – Leading Researcher, Dr. Sci. Tech, Prof.; S.V. Gorbunov – Chief Researcher, Dr. Sci. Tech.; V.N. Klochkov – Leading Researcher, Dr. Sci. Tech; V.I. Rubtsov – Head of the Lab., Dr. Sci. Tech.; A.A. Molokanov – Leading Researcher, PhD Tech.

Abstract

<u>Purpose:</u> The accident at the Chernobyl NPP caused radioactive contamination of large areas, including forestry. For the last decades forest fires in the RF tend to increase and, more alarmingly, their burnt-out area significantly expands. So, the risk of large-scale forest fires in the area of radioactive contamination increases. Effectiveness of the measures for radiation protection of population and personnel involved in fire response is directly related to existence of valid methods of radiation situation prognostication. The work is aimed to develop a method of prognostication of radiation situation at forest fire in the area of radioactive contamination, taking into account random nature of atmospheric turbulence and a convective column over the body of fire, and to estimate validity of this method.

<u>Material and methods</u>: Methods of simulation modeling of mass transfer processes in the atmosphere (method of Bird) based on the molecular-kinetic theory and gas-dynamic theory were used when developing the prognostication method.

<u>Results</u>: The simulation model of formation, spreading and fall-out of radioactive cloud taking into account random nature of atmospheric turbulence and presence of a convective column over the body of fire has been developed; the method of prognostication of radiation situation at forest fire in the area of radioactive contamination has been developed and verified based on data of European experiment E1. The relative error of received values in the control points of radiation situation parameters based on data of experiment E1 did not exceed 0.25.

<u>Conclusion:</u> Use of modified method of Bird allowed developing 3D dynamic model of spreading of radioactive impurity into atmosphere at convective rising by heated air flow from underlying surface. This model takes into account random nature of atmospheric turbulence and presence of a convective column over the body of fire which significantly increases accuracy of the method of radiation situation prognostication.

Key words: forest fires, radiation situation, prognostication, method of Bird, dispersion of the Smith–Hosker, convective column, atmospheric turbulence

REFERENCES

- 1. Techniques and decision making in the assessment of off-site consequences of an accident in a nuclear facility. Safety series 86. International Atomic Energy Agency. Vienna. 1987. 185 p.
- 2. Garger E. Resuspension of radioactive aerosol in the ground layer. NASU; Institute for NPP Safety. Chernobyl: Institute for Safety. 2008. 192 p. (Russian).
- 3. Bird GA. Molecular gas dynamics and direct simulation of gas flows. Oxford: Clarendon press. 1994.
- 4. Beresneva EV, Gorbunov SV. Prognostication of radiation situation at forest fires in areas of radioactive contamination. Scientific and educational issues of civil protection. Khimki: FSBI CPA of MES of Russia. 2016;3(30):76-80. (Russian).
- Gusev NG, Belyaev VA. Radioactive emissions in biosphere: Reference book. 2nd edition, updated and revised. Moscow: Energoatomizdat. 1991. 256 p. (Russian).
- 6. Pasler-Sauer J. Comparative calculations and validation studies with atmospheric dispersion models. Karlsruhe. 1986. 130 p.

For citation: Beresneva EV, Galushkin BA, Gorbunov SV, Klochkov VN, Rubtsov VI, Molokanov AA. Simulation Approach in Forecasting Radioactive Situation in Case of Forest Fires in Radioactive Contaminated Zones. Medical Radiology and Radiation Safety. 2018;63(6):21-26. (Russian).

DOI: 10.12737/article_5c0c1209d926d4.00249293