

В.В. Татаринов, А.С. Дутов

(МГТУ им. Н.Э. Баумана; viktor.tatarinov@bk.ru; aemilius17@yandex.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ФРАКТАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЗОН РАДИОАКТИВНОГО ЗАРАЖЕНИЯ МЕСТНОСТИ

Проведён анализ основных аспектов применения методов фрактальной геометрии при моделировании зон радиоактивного заражения местности.

Ключевые слова: фрактальная геометрия, моделирование, зоны радиоактивного заражения местности.

V.V. Tatarinov, A.S. Dutov

APPLICATION OF METHODS OF FRACTAL GEOMETRY DURING MODELING OF ZONES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

The analyzes the main aspects of the application of fractal geometry during modeling of zones of radioactive contamination.

Key words: fractal geometry, modeling, zones of radioactive contamination.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 20 января 2015 г.

При разгерметизации ядерного реактора и выбросе радиоактивных веществ образуется облако радиоактивных частиц, которые конденсируются при остывании облака. По мере его распространения радиоактивные частицы выпадают на поверхность земли и формируют зоны **радиоактивного заражения местности (РЗМ)**.

Как правило, облако переносится и рассеивается ветром, вследствие чего определяющими факторами формирования конфигурации зон радиоактивного заражения на местности является скорость и направление ветра.

В настоящее время применяются две основные методики построения зон РЗМ: вероятностная и детерминированная. Однако ни та, ни другая не являются достаточно эффективными при прогнозировании потерь спасателей и населения по радиационным факторам [1], так как вероятностная методика определяет большие площади заражения, а детерминированная методика недостаточно точна [3].

В этой связи актуальным является совершенствование методики построения зон радиоактивного заражения местности, позволяющего сочетать вероятностную и детерминированную методики.

Авторами проведено исследование возможности построения зон РЗМ методами фрактальной геометрии.

Рассмотрена точка поверхности, которая является источником радиоактивных веществ. В этой точке скорость и направление ветра задаются некоторым вектором \mathbf{a} . Очевидно, что с течением времени этот вектор меняет своё направление и величину в силу множества факторов и они не могут быть предсказаны точно в тот или иной момент времени [3]. Предположим, что за время выделения радиоактивных веществ проекции вектора скорости ветра \mathbf{a} на выбранные перпендикулярные направления на поверхности земли x и y – a_x и a_y подчиняются нормальному распределению с некоторой дисперсией σ^2 . Соответственно, средней скоростью ветра (мода рассматриваемой случайной величины) будет являться некоторый вектор \mathbf{a}_0 , а его проекциями на выбранные оси – a_{x_0} и a_{y_0} (средняя скорость ветра) [2]. Для оси x сказанное пояснено на рис. 1.

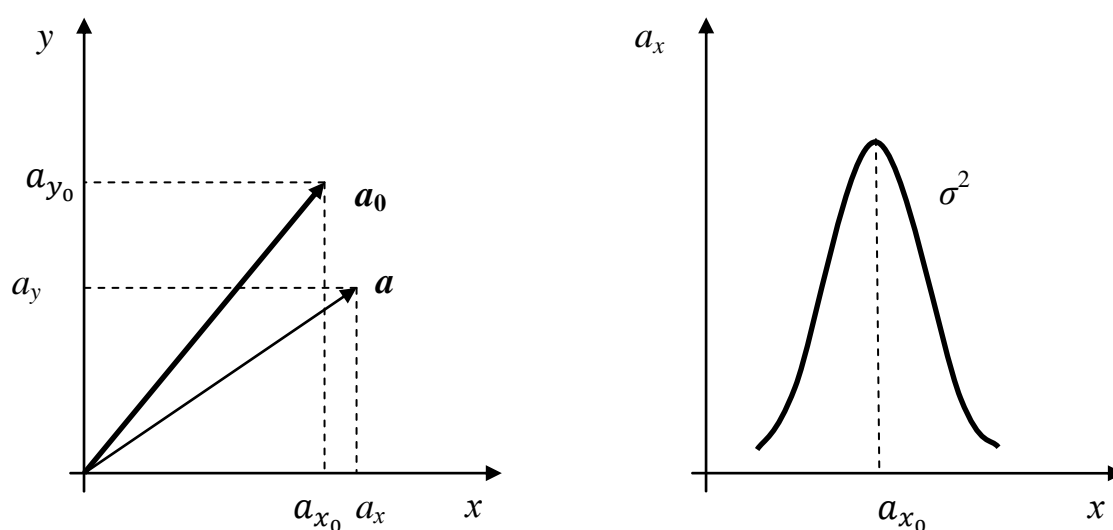


Рис. 1. Параметры, характеризующие величину и направление ветра

Дисперсия σ определяет конфигурацию следа облака выброса радиоактивных веществ и её увеличение должно приводить к увеличению ширины и уменьшению длины следа. Далее будем считать, что размеры зон РЗМ существенно меньше расстояний, на которых необходимо учитывать кривизну Земли, что позволяет разбивать приземную атмосферу на плоские слои, параллельные земной поверхности.

Для анализа распространения радиоактивных веществ в одном из этих слоёв, разобьём его на элементарные объёмы, каждый из которых будем описывать траекторией одной из его точек. Будем рассчитывать положение одной из таких точек в пространстве через равные промежутки времени. Вычисленные положения при соединении отрезками дают некоторые ломаные. Поясним алгоритм вычисления координат точек рассматриваемых элементарных объёмов.

В соответствии с методами фрактальной геометрии, координаты каждой последующей точки получаются из координат предшествующей точки по формулам:

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= x_n + k_1(a_{x_0} + e\sigma), \\y_{n+1} &= y_n + k_1(a_{y_0} + e\sigma),\end{aligned}$$

где x_n, y_n – координаты точек на n -м этапе расчёта;
 a_x, a_y – проекции средней скорости ветра по выбранным направлениям;
 e – случайная нормально распределенная величина;
 σ – среднеквадратичное отклонение скорости ветра;
 k_1, k_2 – постоянные размерные коэффициенты [4].
 Результаты расчётов по предложенной методике показаны на рис. 2.

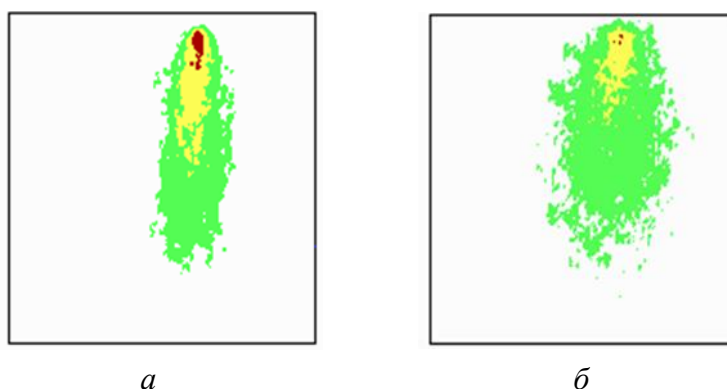


Рис. 2. Характер радиоактивного заражения местности при различных среднеквадратичных отклонениях ветра:
 а) $\sigma = 1,7$; б) $\sigma = 2,7$

При перемещении элементарного объёма при каждом положении из него выпадает на поверхность некоторая часть тех радиоактивных веществ, которая содержалась в нём на предыдущем этапе. Количество радиоактивных веществ в этом элементарном объёме в каждой точке будем описывать формулой

$$p_{n+1} = p_n - p_n^H,$$

где p_n – количество радиоактивных веществ в элементарном объёме для n -го положения точки;

H – безразмерный коэффициент.

Из вышесказанного вытекает, что для элементарного объёма задача будет решена тогда, когда величина p_n станет близка к нулю. Таким образом, построение следа облака сводится к построению и суммированию радиоактивных следов всех элементарных объёмов вплоть до этапа, на котором p_n принимает некоторое малое значение.

Рассмотрим влияние скорости ветра на выпадение радиоактивных веществ на поверхность (рис. 3). Из рисунка видно, что с увеличением параметра H происходит более медленное выпадение радиоактивных веществ, вследствие чего площадь радиоактивного заражения увеличивается. Физическим смыслом H является скорость выпадения из облака радиоактивных веществ, которая обратно пропорциональна скорости ветра.

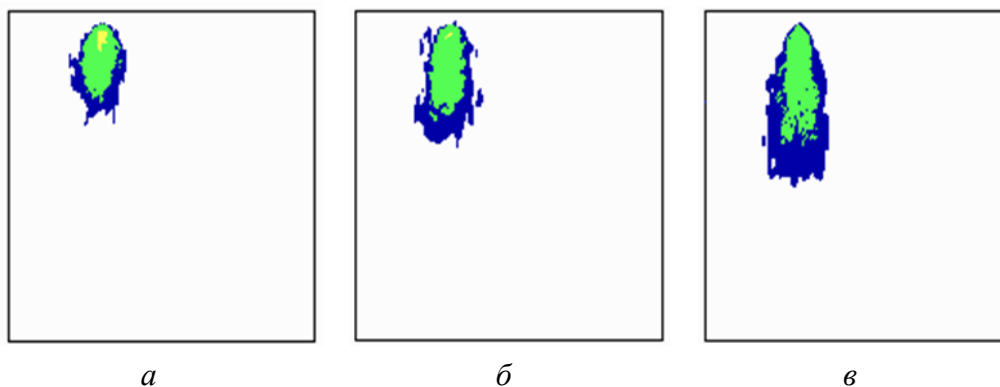


Рис. 3. Характер радиоактивного заражения местности при различных значениях параметра H :
 а) $H = 0,5$; б) $H = 0,4$; в) $H = 0,3$

Рассмотрим конфигурацию радиоактивного следа в зависимости от величины параметра p (рис. 4). Как видно из рисунка, этот параметр влияет на размеры зон радиоактивного следа, причем конфигурация практически не меняется.

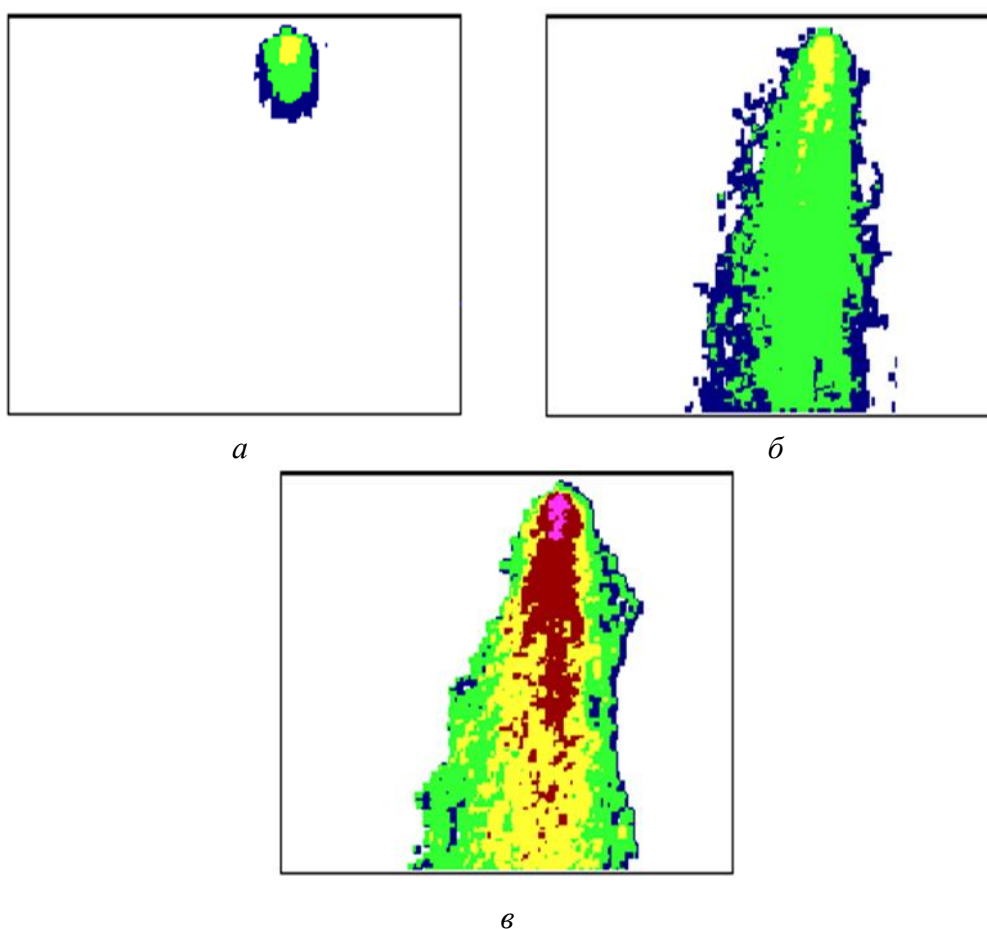


Рис. 4. Характер радиоактивного заражения местности при различных значениях параметра p :
 а) $p = 100$; б) $p = 1000$; в) $p = 10000$

Следовательно, параметр p связан с количеством радиоактивных веществ в облаке выброса. В практических задачах средняя скорость ветра известна не непрерывно, а дискретно, то есть в заданных точках в заданный момент времени. Поэтому необходимо иметь процедуру определения средней скорости ветра в промежуточных положениях элементарного объёма.

Усложним исходную задачу. В отличие от вышесказанного, положим среднюю скорость ветра зависящей от времени, соответственно величины a_{x_0} и a_{y_0} будут переменны.

Промежуточные значения a_{x_0} и a_{y_0} моделируются одним из методов фрактальной геометрии – по методике Фосса [5, 6]. В этом случае средняя скорость ветра меняется с течением времени случайным образом (рис. 5). Здесь k – параметр неопределённости направления ветра. Очень большие значения k определяют случай с практически постоянным направлением среднего ветра.

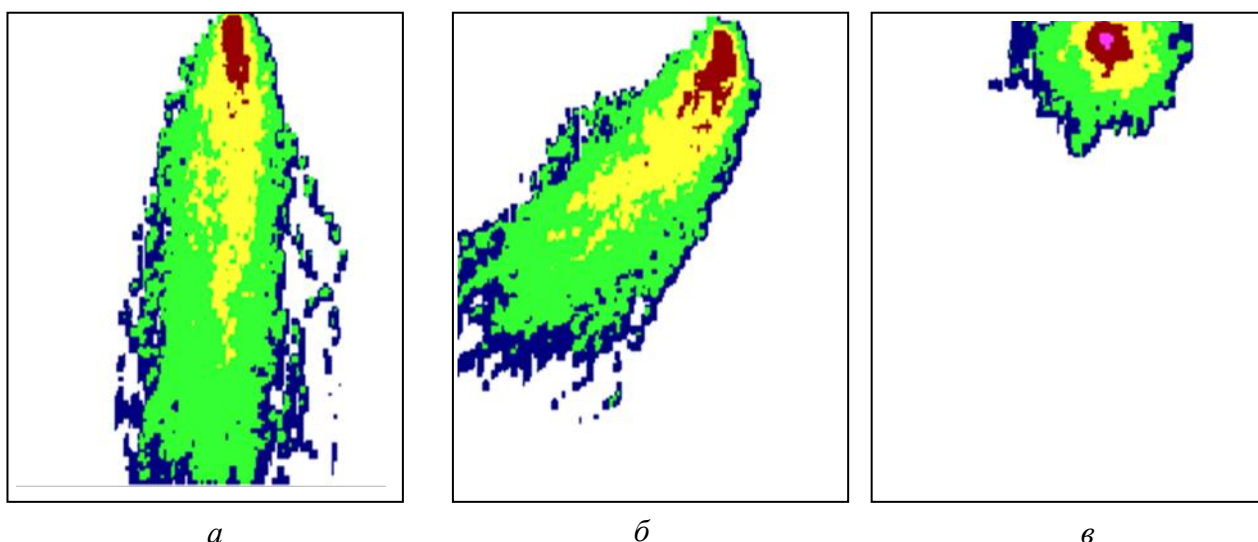


Рис. 5. Характер радиоактивного заражения местности при различных значениях параметра k :
а) $k = 1000$; б) $k = 100$; в) $k = 10$

Малые значения k соответствуют большой неопределённости в определении направления ветра: все направления оказываются практически равновероятны и конфигурации зон следов радиоактивных веществ близки к окружностям. Промежуточные значения k , которые являются наиболее интересными, приводят в каждом конкретном случае к различным конфигурациям следов радиоактивных веществ (рис. 6).

Как видно из рис. 6, необходимы максимально точные параметры метеорологической обстановки, в первую очередь, – данные по ветру.

Таким образом, предложена методика построения зон радиоактивного заражения местности методами фрактальной геометрии для постоянной и переменной средней скорости ветра. Выяснен физический смысл коэффициентов, входящих в расчётные формулы и используемые программы.

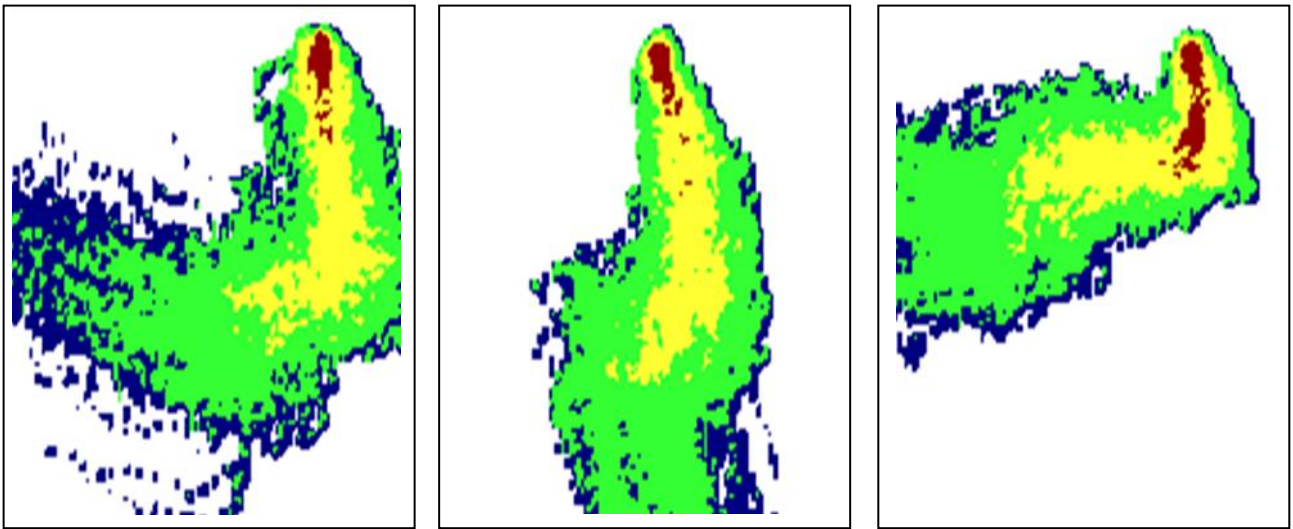


Рис. 6. Различные зоны радиоактивного заражения местности при одинаковом значении параметра k

Достоинством предложенной методики является то, что она интегрирует в себя вероятностный и детерминированный подходы, позволяя получать прогноз радиоактивного заражения местности по имеющимся данным измерений в некоторых точках.

Методика может быть применена при оценках зон радиоактивного заражения местности, а также при расчётах по необходимому медицинскому обеспечению для личного состава спасателей и населения по радиационным факторам.

Литература

1. **Санитарные** правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 (Нормы радиационной безопасности НРБ- 99/2009). Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07 июля 2009 № 47.
2. **ГОСТ** 24728-81. Ветер. Пространственное и временное распределение характеристик.
3. **Защита** от оружия массового поражения // Под ред. Мясникова В.В. М.: Воениздат, 1989. 398 с.
4. **Мардиа К.** Статистический анализ угловых измерений. М.: Физматлит, 1978, 240 с.
5. **Федер Е.** Фракталы. М.: Мир, 1991, 261 с.
6. **Мандельброт Б.** Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 312 с.