

ГЕОГРАФІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

УДК (574+502.7)

В. Е. НЕКОС, д-р геогр. наук, проф., **О. М. ГЕТМАНЕЦ**, канд. физ.-мат. наук, доц. *,
Н. М. ПЕЛИХАТЫЙ, д-р физ.-мат. наук, проф., **А. В. ЧУЕНКО**, м. н. с.,
А. А. ДРОЗДОВ, ассистент *, **И. А. КРИВИЦКАЯ**, ст. преп.

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина,

**Харьковская государственная зооветеринарная академия*

АЛГОРИТМЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА МЕСТНОСТИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Предложен простой алгоритм обработки и анализа данных радиационного мониторинга местности в режиме реального времени, основанный на нелинейных регрессионных моделях фонового поля. На его основе сделаны оценки необходимого минимального количества датчиков, проиллюстрированы построения поля радиации и градиента радиационного фона. Проанализирована точность метода.

Ключевые слова: алгоритм, мониторинг, радиационное состояние, окружающая среда, экспозиционная доза

The simple algorithm of treatment and data analysis of the radiation monitoring of locality in the real-time mode, based on the nonlinear regressive models of the background field, has been done. On his basis estimations of the necessary least of sensors are done, reconstructions of the field of radiation and gradient of radiation background is illustrated. Exactness of method is analysed.

Key words: algorithm, time-series analysis, monitoring, radiation condition, the environment, exposure dose.

Запропоновано простий алгоритм обробки та аналізу даних радіаційного моніторингу місцевості в режимі реального часу, який ґрунтується на нелінійних регресійних моделях фонового поля. На його основі зроблено оцінки необхідної мінімальної кількості датчиків, проілюстровано побудови поля радіації та градієнту радіаційного фону. Проаналізовано точність методу.

Ключові слова: алгоритм, моніторинг, радіаційний стан, оточуюче середовище, експозиційна доза

Важнейшей частью современной радиационной экологии является радиационный мониторинг, представляющий собой систему непрерывного слежения за временной и пространственной динамикой радиационного фона в фиксированных объектах наблюдения или на отдельных контролируемых территориях. Основная задача радиационного мониторинга сводится к оперативному выявлению надфоновых уровней ионизирующих излучений, которые являются симптомами возникновения чрезвычайных ситуаций [1]. Атмосферный воздух является наиболее мобильной природной средой, в которую осуществляются выбросы предприятий, в том числе и аварийные. Поэтому для наиболее оперативного обнаружения повышенный радиационного фона осуществляется мониторинг именно этой среды. Создание современных

сенсорных датчиков мощности экспозиционной дозы непрерывного рентгеновского и гамма-излучения позволяют проводить данные измерения практически непрерывно в режиме реального времени [2].

При проведении подобных исследований возникает целый ряд проблем методического характера: определение оптимального количества датчиков, выбор оптимальной конфигурации их размещения на контролируемой территории, вопросы непрерывного сбора, обработки, а также интерпретация полученных данных, т.е. создание базы данных и целых программных комплексов для их обработки [3]. Частично эти вопросы были рассмотрены в общем виде в работе [4], посвященной проблемам оптимизации и алгоритмизации методов радиационного мониторинга окружающей среды.

Целью настоящей работы является разработка основных простейших алгорит-

мов моделирования при проведении радиационного мониторинга местности в режиме реального времени, в частности, построение непрерывной регрессионной модели поля ионизирующих излучений, основанной на показаниях датчиков, находящихся в определенных точках плоской контролируемой зоны, построение абсолютного поля ионизирующего излучения и его градиента; экстраполяция данных мониторинга за пределы контролируемой зоны. Отдельным вопросом является определение оптимального количества датчиков и конфигурации их размещения. Данные алгоритмы важны для последующего перехода к радиационным исследованиям реальной местности.

Рассмотрение начнем с простейшего случая. Предположим, что имеется n сенсорных детекторов ионизирующего излучения, которые расположены в n точках плоской контролируемой зоны с координатами:

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3) \dots (x_n, y_n).$$

Предположим также, что в определенный момент времени t в каждой точке получены значения мощности экспозиционной дозы z : $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$ соответственно. Попытаемся объяснить эти данные при помощи модели нелинейной множественной регрессии.

Для начала рассмотрим модель 2-го порядка по переменным x и y :

$$z = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f. \quad (1)$$

Здесь a, b, c, d, e, f – параметры регрессии, оценки для которых не представляет труда определить по фактическим данным $z_i(x_i, y_i)$ ($i = 1 \dots n$) методом наименьших квадратов (этот алгоритм заложен во многие стандартные программы и выполняется компьютером за доли секунды). Модель (1) приближенно описывает поле ионизирующего излучения в виде поверхности 2-го порядка над контролируемой территорией и, возможно, в некоторой области вне ее. Если бы мы начали с регрессии 1-го порядка (линейной) по переменным x и y , то пришли бы к плоскому полю ионизирующего излучения, что, очевидно, является грубым приближением.

Отметим, что при постоянном значении радиационного фона, квадрат ошибки

каждого детектора ε_i^2 ($i = 1, 2, 3 \dots k$) определяется квадратом половины его разрешения Δz : $\varepsilon_i^2 = \frac{\Delta z^2}{4}$. При этом стандартная ошибка регрессии есть:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n - m}} = \frac{\Delta z}{2} \sqrt{\frac{n}{n - m}}, \quad (2)$$

где n – число детекторов, m – число параметров регрессии. Так, для регрессии (1) $m = 6$.

Если потребовать, чтобы эта ошибка была не хуже разрешения каждого детектора ($S \leq \Delta z$), то получим следующее ограничение на минимальное число детекторов:

$$S = \frac{\Delta z}{2} \sqrt{\frac{n}{n - m}} \leq \Delta z \Rightarrow \frac{4}{3} m \leq n. \quad (3)$$

То есть, число детекторов должно быть не менее $\frac{4}{3}$ от числа параметров модели, которая применяется для описания поля радиации. Например, для модели (1) $8 \leq n$. Если бы мы применили модель регрессии 3-го порядка по переменным x и y :

$$z = ax^3 + by^3 + cx^2y + dxy^2 + ex^2 + fy^2 + gxy + hx + ky + l, \quad (4)$$

то имели бы число параметров $m = 10$, и соответствующее число детекторов должно быть не менее 14.

Таким образом, алгоритм наших действий следующий: 1) определяем модель для поля радиации и на ее основе – минимальное число датчиков радиации; 2) по поступающим с датчиков сигналам непрерывно находим соответствующие оценки параметров модели (вопрос о расположении датчиков пока оставим открытым); 3) на основе данной модели непрерывно строим поле ионизирующего излучения, которое может быть экстраполировано и за пределы контролируемой зоны; 4) строим поле градиента радиационного фона, определяем основные направления возрастания радиационного фона и его возможные источники.

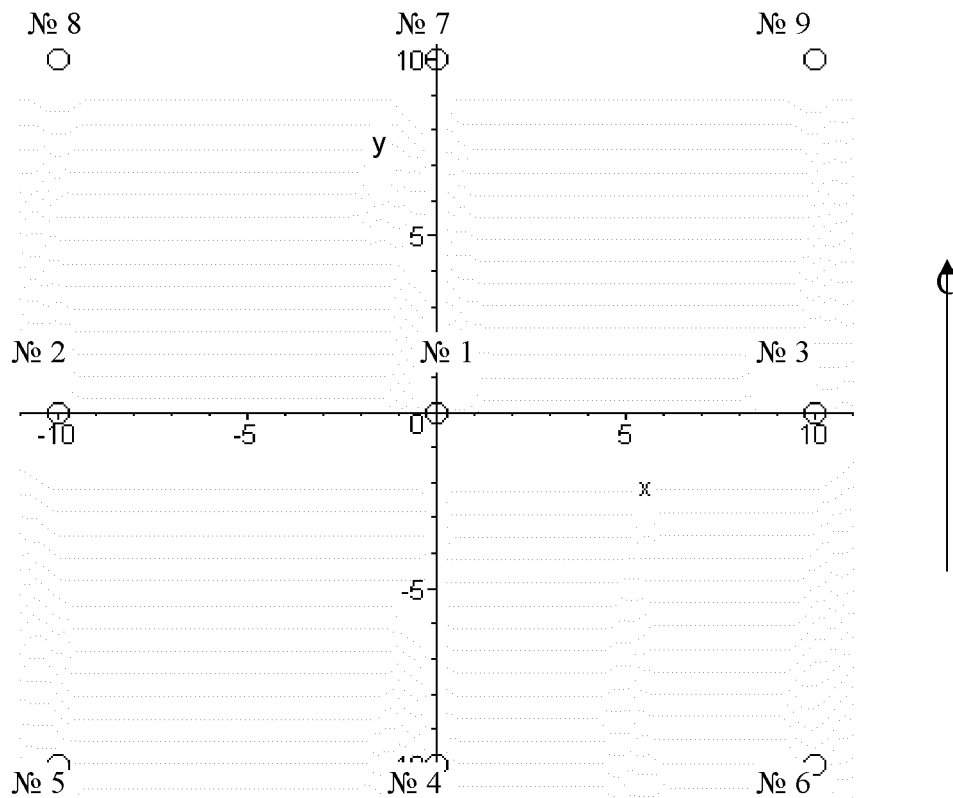


Рисунок 1 – Схема расположения датчиков для непрерывного радиационного мониторинга местности

В качестве примера рассмотрим описание поля радиации при помощи модели (1).

Предположим, что у нас имеется девять сенсорных датчиков радиации (при минимальном числе 8), расположенных в вершинах и на сторонах квадрата размера 20 км на 20 км на расстоянии 10 км между соседними, как это показано на рисунке 1. При этом ось y направлена на север, а ось x — на восток. Единица масштаба — 1 км. Номера датчиков указаны на рисунке. Датчики непрерывно измеряют мощность экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучения с точностью до 1 мкР/час. Сигналы с датчиков непрерывно поступают на компьютер в центре наблюдения.

Предположим, что в определенный момент времени показания датчиков составили значения:

$$z_1 = 11; z_2 = 11; z_3 = 9; z_4 = 9; z_5 = 10;$$

$$z_6 = 9;$$

$$z_7 = 11; z_8 = 12; z_9 = 9 \text{ (мкР/час)}.$$

По этим данным компьютер составил уравнение регрессии 2-го порядка типа (1):

$$z = -0,003x^2 - 0,003y^2 - 0,005xy - 0,100x + 0,067y + 10,555 \quad (5)$$

На рисунке 2 показана поверхность, определяемая уравнением (5), а также представлены показания датчиков (для наглядности в виде острых пиков).

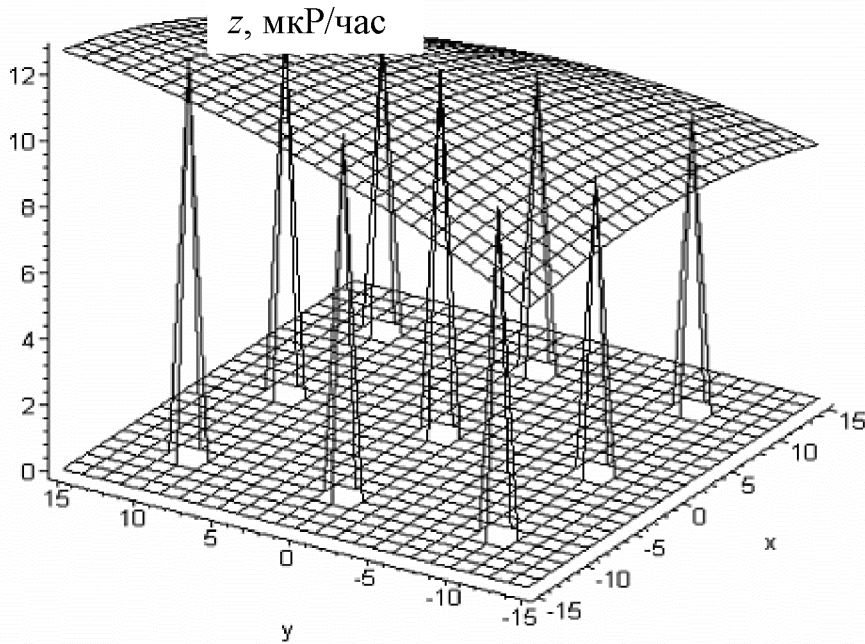


Рисунок 2 – Сравнение экспериментальных данных с поверхностью, определяемой регрессией согласно уравнению (5)

Для оценки качества полученного уравнения регрессии (5) вычислим значение коэффициента детерминации R^2 по формуле:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^9 (\tilde{z}_i - \bar{z})^2}{\sum_{i=1}^9 (z_i - \bar{z})^2}, \quad (6)$$

где $\tilde{z}_i$ – значения мощности дозы, предсказываемые уравнением (5) в каждой точке; z_i – измеренные значения; $\bar{z}$ – среднее значение мощности дозы в контролируемой зоне. То есть, выражение, стоящее в числителе, характеризует дисперсию, обусловленную регрессией, а в знаменателе – общую дисперсию мощности экспозиционной дозы.

Вычисления дают значение $R^2 = 0,929$, что свидетельствует о том, что модель (5) является качественной.

Стандартная ошибка регрессии составляет при этом $S = 0,18$ мкР/час. Поэтому данную модель можно использовать для построения поля ионизирующего излучения, которое показано на рисунке 3. Здесь каждый тон поверхности уровня

соответствует значению 0,5 мкР/час, а весь диапазон изменения мощности дозы – от 8 мкР/час до 12 мкР/час. Поле излучения экстраполировано за пределы контролируемой зоны, что позволяет сделать заключение о том, что источник радиационного загрязнения находится на северо-западе. На рисунке 4 представлено поле градиента радиационного фона, определяемого моделью (5). Здесь стрелки указывают направление убывания радиационного фона, а их размер пропорционален величине градиента поля, т.е. характеризует скорость убывания мощности дозы. Интенсивность окраски пропорциональна величине экспозиционной дозы. Направление стрелок и интенсивность поля показывают, что источник радиационного загрязнения находится на северо-западе.

Рассмотрим другой пример. Предположим, что в некоторый момент времени показания детекторов есть:

$$\begin{aligned} z_1 = 12; z_2 = 11; z_3 = 10; z_4 = 11; \\ z_5 = 10; z_6 = 10; z_7 = 9; z_8 = 10; z_9 = 9 \end{aligned} \quad (\text{мкР/час}).$$

По этим данным компьютер составил следующее уравнение регрессии 2-го порядка:

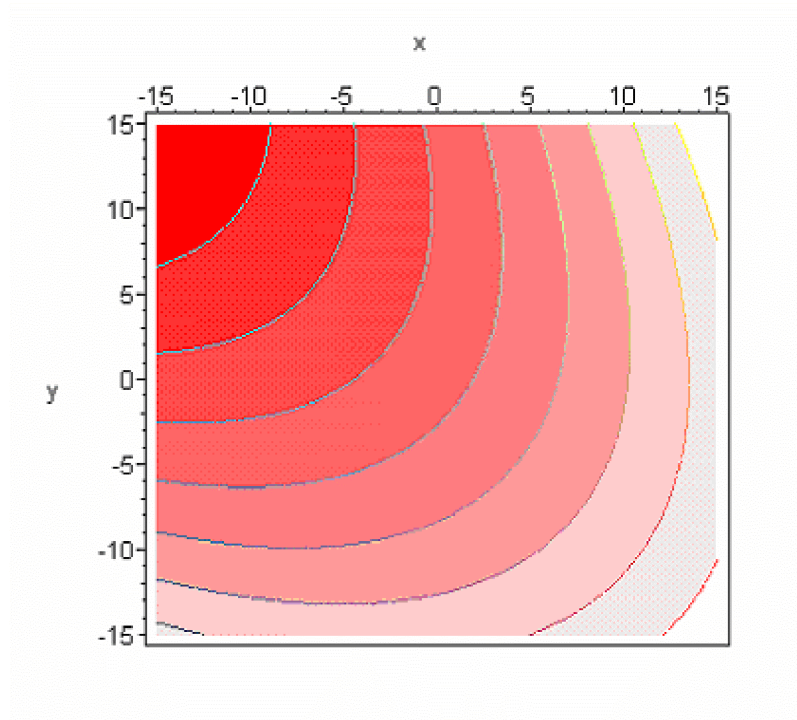


Рисунок 3 – Поле ионизирующего излучения

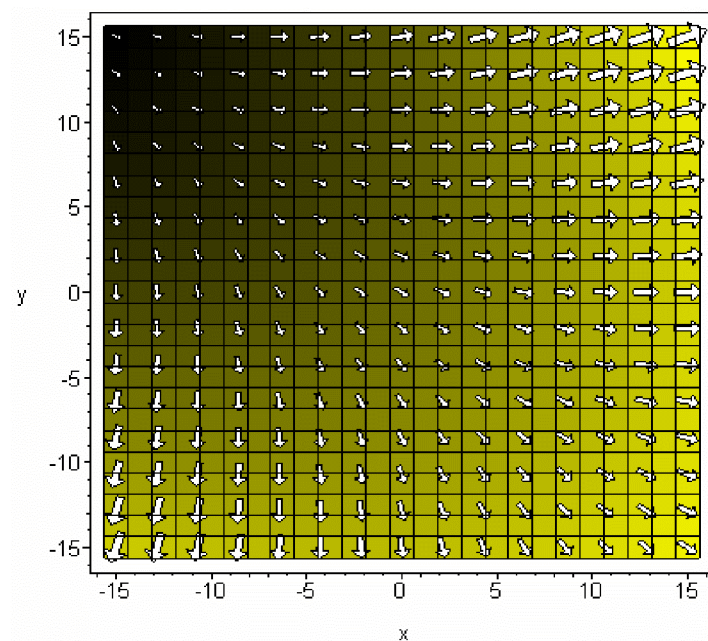


Рисунок 4 – Поле градиента радиационного фона.

$$z = -0,007x^2 - 0,012y^2 - 0,003xy - 0,033x - 0,050y + 11,444 \quad (7)$$

Значение коэффициента детерминации для данной регрессии составляет значение $R^2 = 0,798$, что говорит о качестве модели

(7). Стандартная ошибка регрессии равна $S = 0,25$ мкР/час. На рисунке 5 показана поверхность, определяемая уравнением (7), а также для сравнения приведены показания датчиков (в виде острых пиков).

Из данного рисунка видно, что максимум экспозиционной дозы находится внутри

z , мкР/час

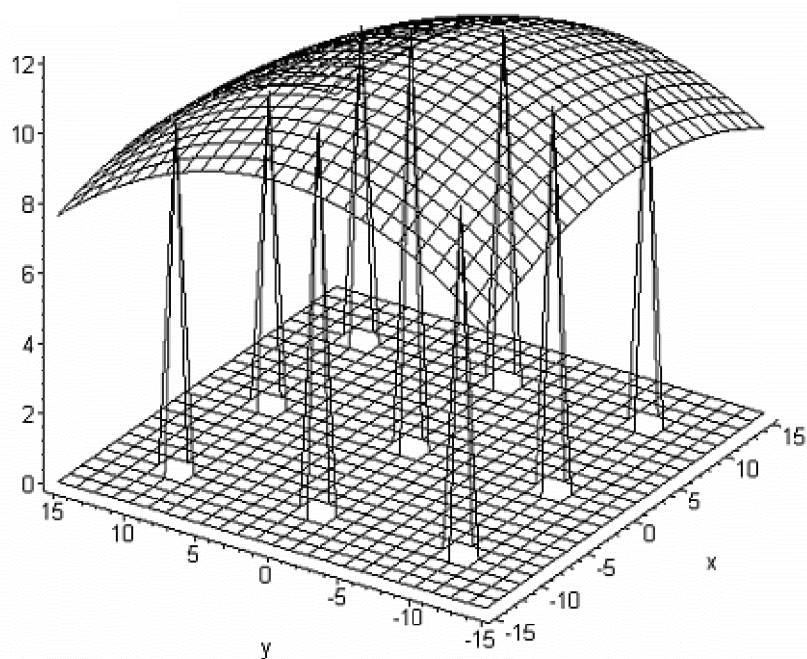


Рисунок 5 – Сравнение экспериментальных данных с поверхностью, определяемой регрессией согласно уравнению (7)

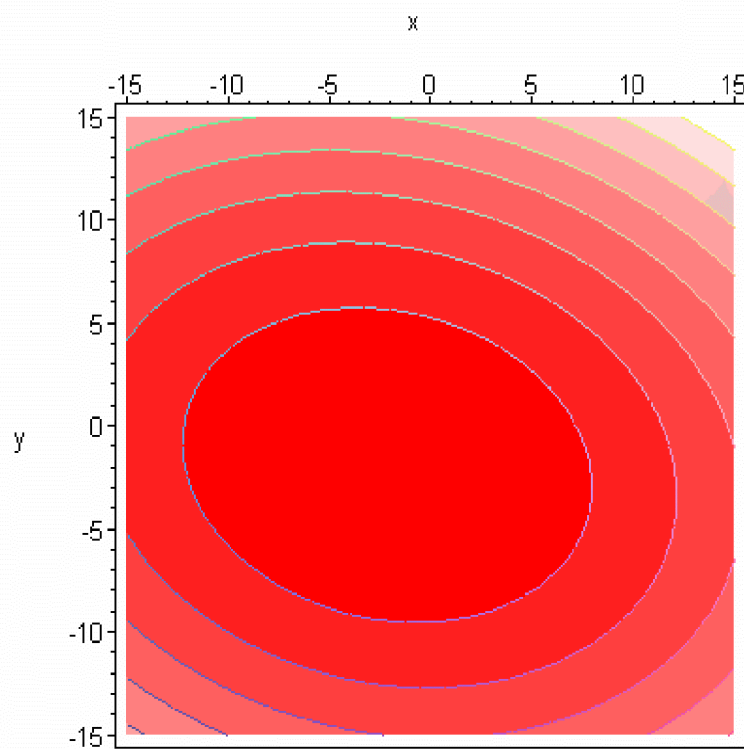


Рисунок 6 – Поле ионизирующего излучения

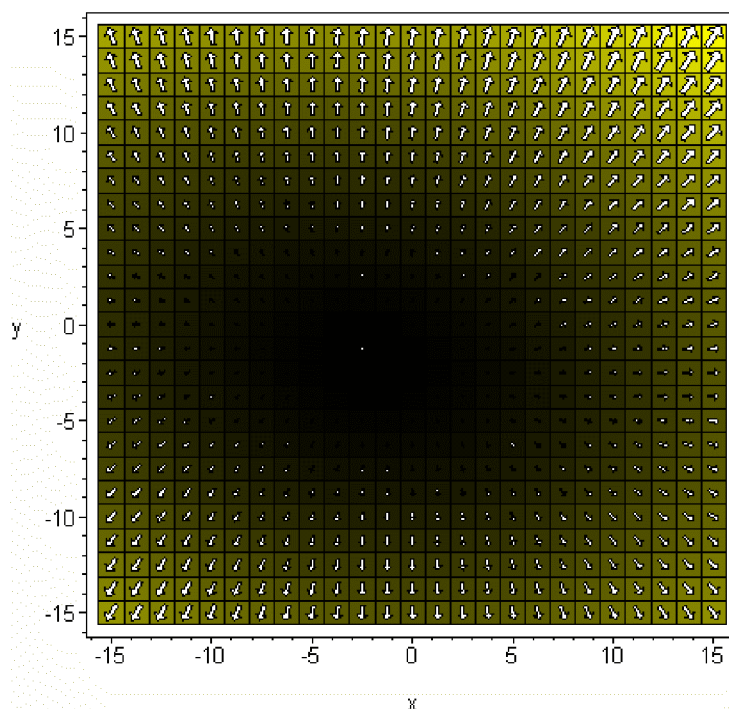


Рисунок 7 – Поле градиента радиационного фона

контролируемой зоны. Это может быть связано с наличием источника радиационного загрязнения, утечкой радиоактивных материалов и т. д. Этот вывод подтверждает график поля радиации (рис. 6) и график градиента радиационного поля (рис. 7). На последнем рисунке источник радиации более четко локализован.

Выводы. Таким образом, предлагаемый простой алгоритм позволяет быстро (менее чем за 1 с) и надежно построить поле радиационного фона, определить направление возрастания радиации, а также положение ее возможного источника. Информация подается в наглядном и удобном для анализа виде.

Безусловно, предлагаемые методы радиационного мониторинга местности нуждаются в дополнительных исследованиях, связанных с выбором и анализом альтернативных моделей, учетом рельефа местности и определением оптимальной конфигурации расположения сенсорных детекторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еремеев И. С. Автоматизированные системы радиационного мониторинга окружающей среды / И. С. Еремеев – К.: Наукова думка, 1990. – 256 с.
2. Скурят В. В. Базы данных техногенного и радиоактивного загрязнения природных сред и методология определения параметров комплексного мониторинга окружающей среды в чрезвычайных ситуациях / В. В. Скурят, О. Г. Митюкова, А. М. Боровикова, С. А. Толстой // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: труды международной конф. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2000. – Т. 1. – С. 251-256.
3. Новицкий М. А. Преимущества использования интернет-моделей атмосферного переноса аварийных выбросов для прогноза их распространения / М. А. Новицкий, М. В. Мильченко // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: труды международной конф. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2000. – Т. 1. – С. 285-290.
4. Некос В. Ю. Методи і алгоритми визначення радіаційного стану довкілля / В. Ю. Некос, М. М. Пеліхатий, І. П. Юшманова // Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – 2008. – №1–2. – С. 90–97.

Надійшла до редколегії 2.11.2009

© Некос В. Е., Гетманец О. М., Пелихатый Н. М., Чуенко А. В., Дроздов А. А., Кривицкая И. А., 2009