

УДК (574+502.7)

О. М. ГЕТМАНЕЦ, канд. физ.-мат. наук, доц.,
Харьковская государственная зооветеринарная академия
п.г.т. М. Даниловка, Дергачевский р-н, Харьковская обл. 62341, Украина
e-mail: getmanets_oleg@mail.ru

Н. М. ПЕЛИХАТЫЙ, д-р физ.-мат. наук, проф.
Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина
Площадь Свободы, 6, Харьков 61022, Украина
e-mail: sun@univer.kharkov.ua

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ ПОЛЯ РАДИАЦИОННОГО ФОНА

Разработан простой алгоритм построения поля радиационного фона при помощи модели парной нелинейной регрессии для зависимости мощности дозы в произвольной точке контролируемой зоны от расстояния до ближайшей точки наблюдения. Он позволяет быстро и надежно строить поле радиации.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, регрессионные модели

Getmanets O. M.

Kharkiv State Veterinarian Academy

Pelikhatiy N. M.

V. N. Karazin Kharkiv National University

DEVELOPMENT THE ALGORITHM FOR CONSTRUCTION THE FIELD OF RADIATION BACKGROUND

A simple algorithm for constructing the field of background radiation by the model of pair non-linear regression for the dependence the dose at any point of the controlled zone from the distance to the nearest point of observation has been developed. It allows quickly and reliably to build a field.

Key words: radiation monitoring, regression models

Гетманец О. М.

Харківська державна зооветеринарна академія

Пеліхатий М. М.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ ПОЛЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ

Розроблено простий алгоритм побудови поля радіаційного фону за допомогою моделі парної нелінійної регресії для залежності потужності дози в довільній точці контрольованої зони від відстані до найближчої точки спостереження. Він дозволяє швидко та надійно будувати поле радіації.

Ключові слова: радіаційний моніторинг, регресійні моделі

Введение

Построение поля радиационного фона на местности – одна из важнейших задач радиационного мониторинга. Возникает вопрос, как на основании измерений, проведенных в конечном числе рассредоточенных точек, восстановить целостную картину распределения радиации на всей площади контролируемой территории. Существует подход, основанный на построении регрессионных моделей для поля радиации в виде полиномов различных степеней по значениям текущих координат произвольной точки внутри зоны наблюдений [1 – 5]. Данный подход обладает рядом несомнен-

ных достоинств: применение метода наименьших квадратов позволяет достоверно оценить значения коэффициентов регрессии; регрессионные модели в целом являются качественными, т.к. имеют высокие значения коэффициентов детерминации; они в основном также значимы в соответствии с критерием Фишера; статистическая ошибка регрессии внутри зоны наблюдений находится в пределах нескольких процентов; модель позволяет также определить минимальное количество датчиков (или точек наблюдения), необходимых для обеспечения требуемой точности измерений. Однако основным недостатком данного класса моделей является завышение значений поля

радиационного фона вдали от центра контролируемой зоны (даже на ее границах). Это связано с тем, что регрессия строится по координатам и их произведениям. Поэтому, чем больше значения координат (отсчитываемых от центра зоны) – тем больше ошибка предсказаний модели.

Результаты исследований

Будем строить регрессионную модель не по двум координатам точки $m(x,y)$ внутри контролируемой зоны, а по одной – расстоянию l_{mi} от данной точки до ближайшей i -ой точки наблюдения, которая лежит на некоторой ломаной линии, соединяющей последовательно все точки наблюдений (от центральной к внешним).

Целью работы является рассмотрение альтернативных регрессионных моделей, обеспечивающих достаточную точность описания поля радиационного фона на границах контролируемой зоны и даже в определенных пределах вне зоны.

В качестве примера рассмотрим обработку результатов измерений радиационного фона на части территории Московского района г. Харькова, проведенных в ноябре 2015 года. Измерения производились при помощи дозиметра «Терра МКС-05» с абсолютной ошибкой 1 мкР/час. Карта территории, на которой показано расположение 11-ти точек наблюдения, представлена на рисунке 1.

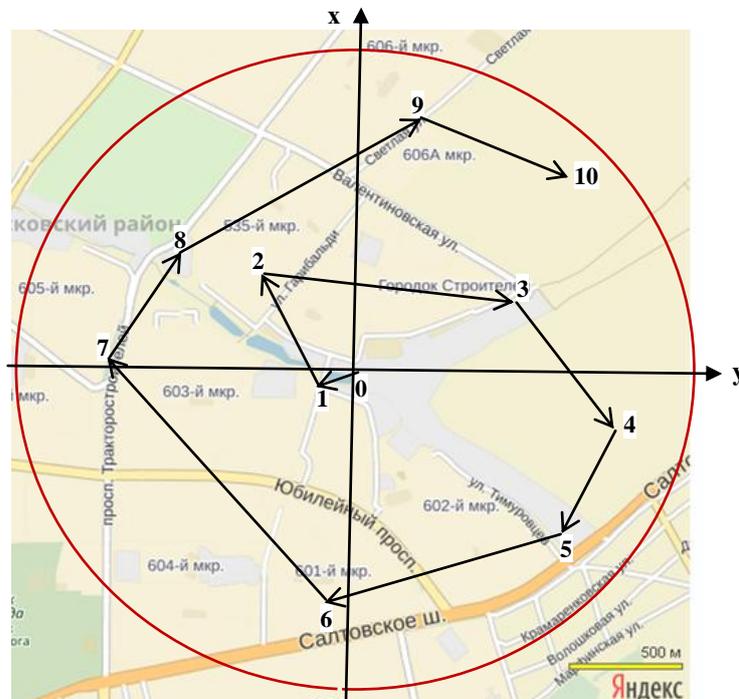


Рис. 1 – Схема расположения точек наблюдения и построения ломаной линии

Координаты точек наблюдения (x и y) в метрах относительно центра (точки 0) и результаты измерений мощности дозы z непрерывного рентгеновского и гамма-излучения представлены в таблице 1.

На основании этих данных при помощи метода наименьших квадратов получено следующее уравнение регрессия по координатам:

$$z = 1,257x^2y + 1,662xy^2 + 7,191 \cdot 10^{-7}x^2 + 1,749 \cdot 10^{-5}y^2 + 8,348 \cdot 10^{-8}xy - 0,00171x + 0,00206y + 11,349. \quad (1)$$

Таблиця 1

Результаты измерения радиационного фона

№ точки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x, м	0	-243	-586	629	1143	886	-286	-1214	-1000	143	1086
y, м	0	-325	643	343	-243	-900	-1286	143	805	1343	857
z, мкР/час	12	12	13	11	10	10	11	15	17	18	16

В этом уравнении значения координат x и y выражены в метрах, а значение радиационного фона z в единицах мкР/час. Коэффициент детерминации для уравнения (1) равен $R^2 = 0,94$; стандартная ошибка

регрессии составляет $S_r = 0,39$ мкР/час. При этом значимость всего уравнения (1) по Фишеру меньше 0,10, т.е. доверительная вероятность для данной модели $P \geq 0,94$.

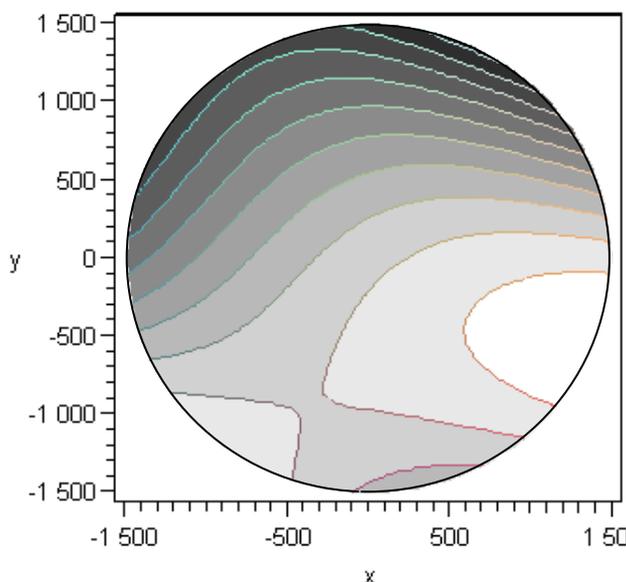


Рис. 2 – Поле радиационного фона внутри контролируемой зоны, предсказываемое моделью (1) (координаты x и y выражены в метрах). Белый цвет – 10 мкР/час; черный – 20 мкР/час через 1 мкР/час по тону

На рисунке 2 представлены предсказания модели (1) для поля радиационного фона внутри контролируемой зоны, которая ограничена окружностью радиуса 1500 м (общая площадь порядка 7 кв. км), показанной на рис. 1. Из этого рисунка видно, что регрессионная модель по координатам несколько завышает значения фона на северо-восточной границе контролируемой зоны. К тому же уровень значимости всего уравнения (1) превышает принятое пороговое значение $p = 0,05$.

Поэтому рассмотрим возможности построения других альтернативных регрессионных моделей. Для этого соединим все точки наблюдения непрерывной ломаной линией – от центра к внутренним точкам, а затем к внешним, как это показано стрелками на рис. 1. Будем строить уравнение парной регрессии: мощности дозы z от расстояния вдоль ломаной l , которое будем отсчитывать от точки 0. В результате получим следующее нелинейное уравнение регрессии:

$$z = 1,936 \cdot 10^{-14} l^4 + 3,616 \cdot 10^{-10} l^3 - 1,891 \cdot 10^{-6} l^2 + 2,576 \cdot 10^{-3} l + 11,758. \quad (2)$$

Здесь длина вдоль ломаной l от начальной точки 0 выражена в метрах, а мощность дозы z в мкР/час. Коэффициент детерминации для этого уравнения равен $R^2 = 0,99$; стандартная ошибка регрессии составляет $S_r = 0,10$ мкР/час (что на порядок ниже инструментальной ошибки прибора). При этом значимость всего уравнения (2) по Фишеру много меньше $0,001$, т.е. доверительная ве-

роятность $P > 0,999$. Отметим, что 4-я степень уравнения (2) по l выбрана из условия максимизации коэффициента детерминации R^2 при минимизации уровня значимости p по Фишеру. На рисунке 3 предсказания уравнения регрессии (2) сравниваются с данными наблюдений.

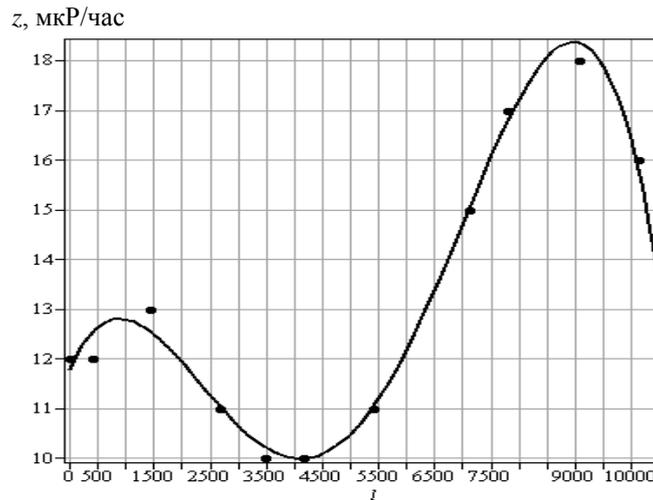


Рис. 3 – Сравнение предсказаний уравнения r^l , Мессии (2) с данными наблюдений

Далее алгоритм построения поля радиационного фона состоит в нахождении расстояния от произвольной точки $m(x, y)$ контролируемой зоны до ближайшей i -той точки наблюдения Δl_{mi} ($i = 0, 1, 2, \dots, 10$). Значение мощности дозы в точке $m(x, y)$

находится путем подстановки в уравнение (2) значения $l = l_i = l_{i-1} + \Delta l_{mi}$ ($i > 1$). При условии, что для окрестностей нулевой ($i = 0$) и первой ($i = 1$) точек $l = \Delta l_{m0}$.

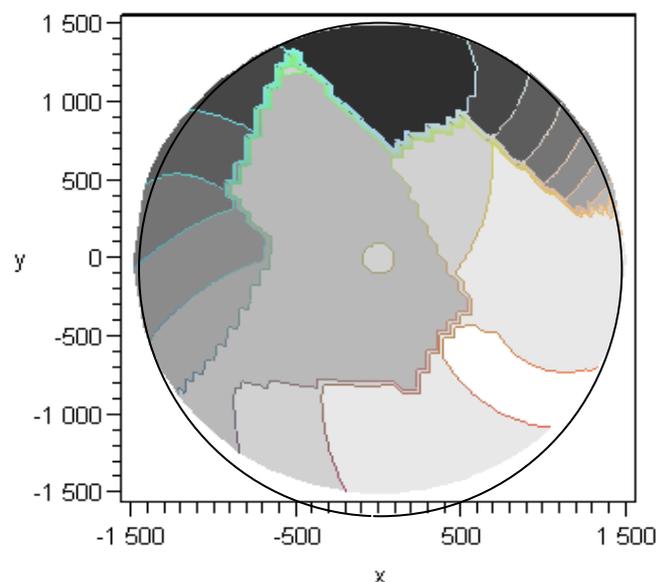


Рис. 4 – Поле радиационного фона внутри контролируемой зоны, предсказываемое моделью (2) (координаты x и y выражены в метрах). Белый цвет – 9 мкР/час; черный – 18 мкР/час через 1 мкР/час по тону

Построенное согласно данному алгоритму поле радиационного фона представлено на рисунке 4. Сравнивая данный рисунок с рисунком 2, можно сделать выводы, что предложенный алгоритм позволяет получить более детальную картину радиаци-

онного загрязнения контролируемой территории и локализовать отдельные участки с высоким уровнем радиации. При этом завышение уровня фона на границах зоны отсутствует.

Выводы

Таким образом, разработанный простой алгоритм позволяет быстро и надежно осуществлять построение поля радиационного фона на всей контролируемой территории на основании данных локальных измерений. При этом завышение уровня радиации на границах зоны наблюдений отсутствует, т.к. предложенный алгоритм привя-

зывает значение мощности дозы излучения в произвольной точке зоны к измеренному значению в ближайшей точке наблюдения. Благодаря данному методу, построение поля радиационного фона может быть легко выполнено в полевых условиях при помощи ноутбука или планшета.

Литература

1. Некос В. Е. Алгоритмы радиационного мониторинга местности в режиме реального времени / В. Е. Некос, О. М. Гетманец, Н. М. Пелихатый, А. В. Чуенко, А. А. Дроздов, И. А. Кривицкая // Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – № 2 (13). – 2009. – С. 7 – 13.

2. Патент України на корисну модель № 50154. МКВ G01T1/167. Спосіб радіаційного моніторингу місцевості у режимі реального часу / Гетманець О. М., Гордієнко В. Г., Дроздов О. О., Пеліхатий М. М. / заявл. 11.12.2009; опубл. 25.05.2010. Бюл. № 10. – 4 с.

3. Гетманец О. М. Алгоритмы радиационного мониторинга местности в режиме реального времени / О. М. Гетманец, Н. М. Пелихатый, А. А. Дроздов, В. Е. Некос, К. И. Кучеров //

Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – 2010. – № 2 (15). – С. 3 – 33.

4. Патент України на корисну модель № 56883. МКВ G01T1/167. Спосіб радіаційного моніторингу реальної місцевості з реальним рельєфом / Гетманець О. М., Гордієнко В. Г., Дроздов О. О., Пеліхатий М. М.; заявл. 23.07.2010; опубл. 25.01.2011. Бюл. № 2. – 6 с.

5. Патент України на корисну модель № 84133. МКВ G01W 1/00,G08C 17/02. Система автоматичного моніторингу території / Ємець В. М., Пеліхатий М. М., Гетманець О. М.; заявл. 15.04.2013; опубл. 10.10.2013. Бюл. № 19. – 5 с.

Надійшла до редколегії 25.04.2016