

УДК (UDC) 574:+502.7

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-05>

**О. М. ГЕТМАНЕЦЬ<sup>1</sup>**, канд. фіз.-мат. наук, доц., **Н. М. ПЕЛІХАТИЙ<sup>1</sup>**, д-р фіз.-мат. наук, проф.,  
**Б. Г. ПЕРЕВЕРЗЄВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна  
майдан Свободи, 6, Харків, Україна 61022*

e-mail: [getmanets54@gmail.com](mailto:getmanets54@gmail.com)  
[mikolay@gmail.com](mailto:mikolay@gmail.com)  
[b.perewerzew@gmail.com](mailto:b.perewerzew@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0543-0961>  
<https://orcid.org/0000-0001-6879-6664>  
<https://orcid.org/0000-0002-6496-8956>

## ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ НА ТЕРИТОРІЇ ІСТОРИЧНОГО ЦЕНТРУ м. ХАРКОВА

Дослідження радіаційного фону на території історичного центру м. Харкова, де зосереджені культурні та релігійні пам'ятники, міські адміністративні установи, заклади освіти, банківські установи, чисельні об'єкти громадського харчування та крамниці, завжди є актуальним.

**Мета.** Дослідити стан радіаційного фону на території історичного центру м. Харкова та побудувати відповідні карти радіаційного забруднення.

**Методи.** Вимірювання за допомогою дозиметра МКС-05 «ТЕРРА»; методи регресійної картографії.

**Результати.** Вимірювання потужності дози неперервного рентгенівського та гамма-випромінювання проведені на території центру м. Харкова, що обмежена річками Лопань та Харків до їх злиття, на протязі жовтня 2019 р. Розроблена проста модель побудови поля радіаційного фону на місцевості за даними результатів вимірювань потужності дози неперервного рентгенівського та гамма-випромінювання у кінцевому числі фіксованих точок спостережень з застосуванням рівняння кусково-неперервної лінійної регресії вздовж ламаної лінії, яка послідовно з'єднує усі контрольні точки від центральної до найдалшої периферійної проти годинникової стрілки або навпаки від останньої зовнішньої до центральної за годинниковою стрілкою. Карту радіаційного забруднення будували за середніми значеннями потужності дози випромінювання, які були обчислені за допомогою обох рівнянь регресії. Похибкою моделі вважали половину абсолютної різниці цих значень. Визначено, що максимальна потужність дози спостерігалася поблизу 23-ї контрольної точки – початку Харківського мосту. Мінімальна потужність дози – біля 16-ї та 17-ї точок – «стрілки» двох річок – Лопані і Харкова та поблизу 24-ї точки – в сквері на Харківський набережній.

**Висновки.** Стан радіаційного фону на території історичного центру м. Харкова на протязі жовтня 2019 року в межах норми. Модель дозволила надійно побудувати карти радіаційних забруднень на всій контрольованій території на підставі результатів локальних вимірювань в певній кількості контрольних точок та визначити абсолютну помилку прогнозу, яка перебувала в межах ціни відліку приладу. Модель може знайти застосування для моніторингу інших видів забруднень.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** радіаційний моніторинг, рентгенівське випромінювання, гамма випромінювання, регресійна картографія

**Getmanets O. M., Pelikhaty N. M., Pereverzev B. G.**

*V. N. Karazin Kharkiv National University*

### THE RADIATION BACKGROUND RESEARCH ON THE KHARKIV HISTORICAL CENTER TERRITORY

The radiation background were performed in the historical center of Kharkiv with its cultural and religious historical objects, city administration, educational institutions, banking establishments, numerous cafes and restaurants, as well as shops is always important.

**Purpose.** To perform the study of the state of radiation background in the historical center of Kharkiv and the radiation pollution maps construction.

© Гетманець О. М., Пеліхатий М. М., Переверзєв Б. Г., 2020



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

**Methods.** Using the dosimeter MKC-05 "TEPPA", regression mapping methods

**Results.** Continuous X-ray and gamma-ray dose rate measurements were conducted on the territory of Kharkiv city center, which is bounded by the Lopan and Kharkiv rivers prior to their confluence, during October 2019. A simple model for constructing the field of radiation background on the terrain according to the results of the dose rate of continuous X-ray and gamma radiation measurements at a finite number of fixed observation points using the equation of a continuous linear regression along a broken line connecting the center of the zone to the farthest peripheral anti-clockwise, or counter - clockwise to the outer center was developed. The radiation pollution maps were developed according to the average values of the radiation dose rate, which has been calculated using both regression models. The error of the model has been considered as a half of the absolute difference of these values. It was determined that the maximum dose rate was observed near the 23rd checkpoint - the beginning of the Kharkiv Bridge. The minimum dose rate - at the 16th and 17th points - the "arrows" of two rivers - Lopan and Kharkiv and near the 24th point - in the square on the Kharkiv river embankment.

**Conclusions.** The condition of the radiation background in the territory of the historical center of Kharkiv during October 2019 is within the normal range. The model made it possible to build a reliable map of radiation pollution on the controlled area based on local measurements results at a certain number of control points and to determine the absolute prediction error, which did not exceed the instrument division. The model can be used for monitoring other types of pollution.

**KEYWORDS:** radiation monitoring, X-ray, gamma-radiation, regression cartography

Гетманец О. М., Пелихатый Н. М., Переверзев Б. Г.

*Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина*

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ФОНА НА ТЕРРИТОРИИ ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА г. ХАРЬКОВА

Исследование радиационного фона на территории исторического центра г. Харькова, где сосредоточены культурные и религиозные памятники, городские административные учреждения, учебные заведения, банковские учреждения, многочисленные кафе, рестораны и магазины, всегда является актуальным.

**Цель.** Исследовать состояние радиационного фона на территории исторического центра г. Харькова и построить соответствующие карты радиационного загрязнения.

**Методы** Измерения с помощью дозиметра MKC-05 «ТЕРРА»; методы регрессионной картографии.

**Результаты.** Измерения мощности дозы непрерывного рентгеновского и гамма-излучения проведены на территории центра г. Харькова, ограниченной реками Лопань и Харьков до их слияния, в течение октября 2019. Разработана простая модель построения поля радиационного фона на контролируемой территории по данным результатов измерений амбиентного эквивалента мощности дозы непрерывного рентгеновского и гамма-излучения в конечном числе фиксированных точек наблюдений с применением уравнения кусочно-непрерывной линейной регрессии вдоль ломаной линии, которая последовательно соединяет все точки наблюдений от центральной до периферийной против часовой стрелки или, наоборот, от последней внешней к центральной по часовой стрелке. Карту радиационного загрязнения строили по средним значениям мощности дозы излучения, которые были вычислены с помощью обеих уравнений регрессии. Абсолютной ошибкой модели считали половину абсолютной разности этих значений. Определено, что максимальная мощность дозы наблюдалась вблизи 23-й контрольной точки - начала Харьковского моста. Минимальная мощность дозы - около 16-й и 17-й точек - «стрелки» двух рек - Лопани и Харькова и вблизи 24-й точки - в сквере на Харьковский набережной.

**Выводы.** Состояние радиационного фона на территории исторического центра г. Харькова в течение октября 2019 в пределах нормы. Модель позволила надежно построить карты радиационного загрязнения всей контролируемой территории на основании результатов локальных измерений в конечном числе точек и определить абсолютную ошибку прогноза, которая находилась в пределах цены отсчета прибора. Модель может найти применение для мониторинга других видов загрязнений.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радиационный мониторинг, рентгеновское излучение, гамма-излучение, регрессионная картография

#### Вступ

Як відомо, після Чорнобильської катастрофи у квітні 1986 р. Україна привертає до себе особливу увагу в зв'язку з проблемами підвищеного радіаційного фону. Відповідно до «Дозиметричної паспортизації населених пунктів України, які піддалися радіоактивному забрудненню після Чорнобильської аварії» [1], Харківська область не

відноситься до регіонів, які постраждали внаслідок радіаційної аварії на ЧАЕС.

Проте існують інші чинники, які впливають на радіаційну ситуацію в регіоні. Так, 8 серпня 2019 року в акваторії Білого моря під Северодвінськом (Російська Федерація) під час випробувань вибухнула російська ракета. Радіоактивна хмара піс-

ля вибуху кілька днів знаходилася над територією України. Про це свідчить карта, що оприлюднена у Twitter виконавчим секретарем Організації Договору про всеосяжну заборону ядерних випробувань Ласінною Зербо [2]. Але, як повідомили на сайті ДСНС України, результати вимірювань у період з 10 по 18 серпня свідчать про те, що радіаційний фон в Україні не зазнав ніяких змін, а саме потужність експозиційної дози на всій території України знаходиться в своїх звичних межах, в повітряних пробах не виявлено додаткових радіонуклідів, які можуть свідчити про проходження над територією України радіоактивно забруднених мас [3].

Також, за повідомленням МГ «Об'єktiv» [4], на початку літа в Харкові виявлено підвищений рівень гамма-радіації (близько 1,8 мкЗв/год) біля основи постаменту пам'ятника засновникам міста на пе-

ретині проспектів Науки і Незалежності. Цей пам'ятник роботи скульптора З. Церетелі подаровано Харкову Москвою на честь 350-річчя заснування Харкова. Літом 2019 року пам'ятник було огорожено парканом і після цього проведено повну заміну облицювальних плит з граніту. Роботи нещодавно закінчилися.

Саме тому дослідження радіаційного фону на території історичного центру м. Харкова, де скупчені культурні та релігійні пам'ятники, міські адміністративні установи, заклади освіти, банківські установи, чисельні об'єкти громадського харчування та крамниці, є дуже актуальним, бо в достатньому обсязі вони ніколи не проводилися. Слід зазначити, що саме тут завжди має місце скупчення городян, а також збираються чисельні групи туристів, прочан і інших гостей міста.

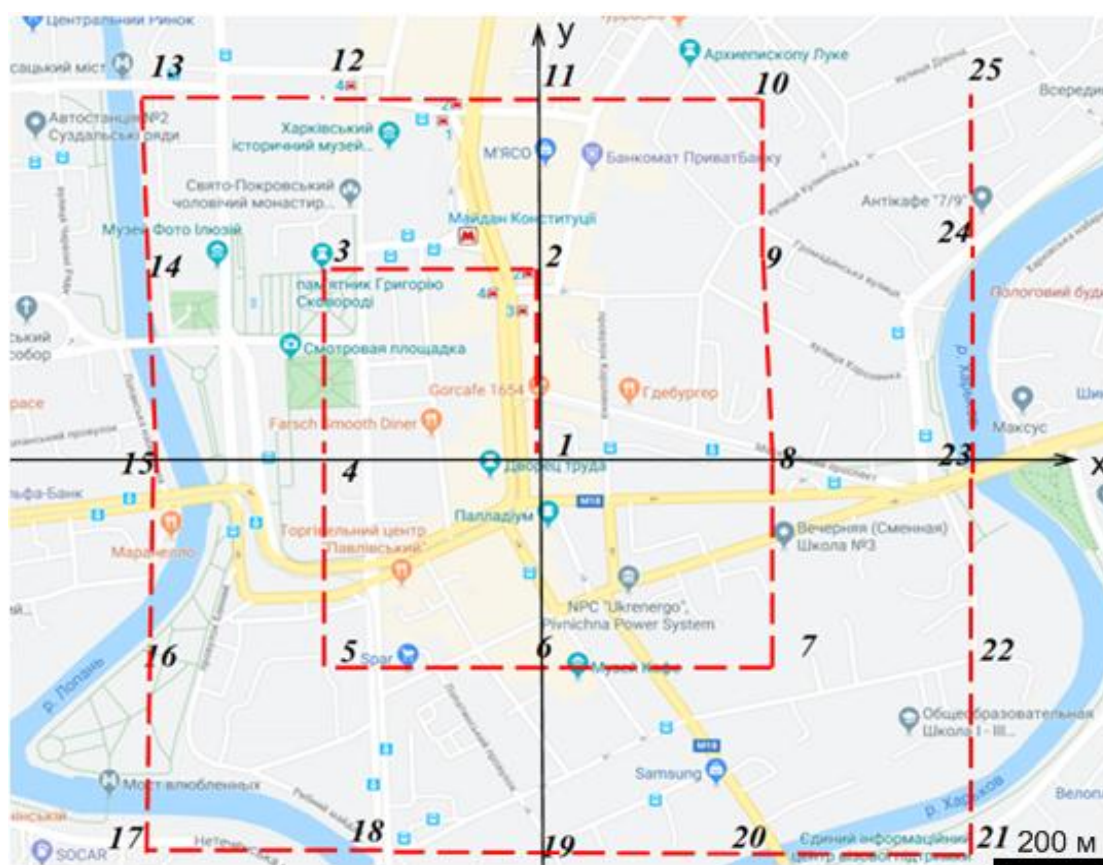


Рис. 1 – Схема розташування точок спостережень на території історичного центру м. Харкова

### Об'єкти та методи досліджень

В якості матеріалів досліджень використані результати вимірювань рівня амбієнтного еквіваленту потужності дози непе-

рервного рентгенівського та гамма-випромінювання на частині території м. Харкова, яка обмежена річками Лопань та Хар-

ків аж до їх зливання. Вимірювання проведені на протязі жовтні 2019 року щоденно з 10 по 12 годину за допомогою дозиметра МКС-05 «ТЕРРА» з абсолютною похибкою приладу 0,01 мкЗв/год, який застосовується для дозиметричного і радіометричного контролю на промислових підприємствах; для

екологічних досліджень; для контролю радіаційної чистоти житлових приміщень, будівель і споруд та прилеглих до них територій. Карта території, на якій проводилися дослідження, наведена на рисунку 1. На цій карті показано розташування усіх 25-ти контрольних точок спостережень.

### Результати досліджень

В таблиці 1 наведені результати вимірювань амбієнтного еквіваленту потужності дози в усіх 25 контрольних точках, починаючи з 01.10 по 31.10 2019 р. Координати вказані у метрах відносно 1-ї контрольної точки. При цьому вісь Ох спрямована на північ, вісь Оу – на схід, як це показано на рисунку 1.

Як свідчать дані цієї таблиці, в жодній контрольній точці за весь період спостережень (жовтень 2019 р.) не зафіксовано перевищення критичного рівня потужності дози (0,30 мкЗв/год [5]). Дані в цілому узгоджуються з результатами вимірювань, що проведені Харківським Обласним Лабораторним Центром ДСЕСУ 19 жовтня 2019 р., в яких одержані значення потужності дози зовнішнього гамма-випромінювання в діапазоні 0,11 – 0,15 мкЗв/год [6].

На першому етапі досліджень визначалася мінливість потужності дози випромінювання з часом та всередині контрольованої зони від однієї контрольної точки до іншої. Для цього до первинної обробки даних таблиці 1 застосовано двохфакторний дисперсійний аналіз за допомогою програми MS Excel (інструменти: «Аналіз даних»: «Двохфакторний дисперсійний аналіз без повторень»). Результати наведені в таблиці 2.

Таким чином, вплив фактору часу за період проведення вимірювань становив лише 6 %; варіабельність даних між точками вимірювань становила 58 %; вплив випадкових чинників є суттєвим – 36 %.

Для подальшої обробки даних і побудови карти радіаційного фону розроблена проста модель, яку можна віднести до методів регресійної картографії або “Land Use

Regression methods” [7]. Спочатку слід відзначити, що в наших попередніх роботах застосовувалися різні регресійні моделі у вигляді поліному високого ступеня за координатами [9–15] або за відстанню  $l$  вздовж деякої ламаної лінії, яка з’єднувала відсортовані за зростанням потужності дози контрольні точки [16–17]. Ці моделі взагалі добре описували поле радіаційного фону всередині контрольованої зони та біля її меж, але мали значення коефіцієнтів детермінації, які не перевищували  $R^2 = 0,95$ , бо ступень поліному була обмежена кількістю контрольних точок та умовою значущості рівняння нелінійної регресії в цілому. Взагалі питання щодо точності цих моделей залишалося відкритим.

Тому в даній роботі розроблена спрощена регресійна модель, яка не потребує застосування рівняння нелінійної регресії. Для пояснення цього підходу послідовно з’єднаємо усі контрольні точки від 1-ї до 25-ї проти годинникової стрілки відрізками прямої лінії, як це показано пунктиром на рисунку 1. Відстань  $l$  довільної точки  $M$  з координатами  $x, y$  на ламаній від 1-ї є  $l = l_i + \Delta l_i$ , де  $l_i$  – відстань попередньої до неї  $i$ -ї контрольної точки з координатами  $x_i, y_i$  від 1-ї вздовж ламаної;

$\Delta l_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$  – відстань між довільною точкою  $M$  та попередньою до неї контрольної точки. Залежність потужності дози  $z$  від відстані  $l$  вздовж ламаної на рисунку 1 може бути представлена у вигляді:

$$z(l) = \sum_{i=1}^k \left[ z_i + \frac{(z_{i+1} - z_i) \cdot (l - l_i)}{l_{i+1} - l_i} \right] \cdot \vartheta(l - l_i) \cdot \vartheta(l_{i+1} - l), \quad (1)$$

де  $\vartheta(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x, \\ 0, & x < 0 \end{cases}$  – ступінчаста функція Хевісайда;  $k$  – номер контрольної точки, яка

лежить на ламаній безпосередньо за точкою  $M$ .

Таблиця 1

Результати вимірювань амбієнтного еквіваленту потужності дози в усіх контрольних точках (мкЗв/год)

Координати Дата	№ точки спостереження												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
X, м	0	-5	-262	-259	-275	-2	269	235	255	249	-8	-263	-526
Y, м	0	255	270	4	-247	-253	-244	17	285	549	517	533	522
01.10.19	0,13	0,13	0,14	0,14	0,11	0,13	0,13	0,12	0,13	0,15	0,14	0,14	0,12
02.10.19	0,13	0,12	0,12	0,14	0,11	0,14	0,15	0,11	0,12	0,16	0,11	0,12	0,13
03.10.19	0,12	0,10	0,12	0,15	0,11	0,14	0,13	0,13	0,11	0,14	0,13	0,15	0,09
04.10.19	0,14	0,13	0,12	0,14	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,15	0,14	0,13	0,13
05.10.19	0,13	0,13	0,13	0,15	0,13	0,12	0,13	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,12
06.10.19	0,13	0,13	0,12	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,12	0,14	0,13
07.10.19	0,14	0,13	0,12	0,14	0,12	0,12	0,13	0,15	0,14	0,13	0,15	0,13	0,11
08.10.19	0,13	0,11	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,13	0,14	0,15	0,14	0,13	0,11
09.10.19	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,13	0,11	0,13	0,13	0,15	0,14	0,12	0,14
10.10.19	0,14	0,14	0,14	0,18	0,12	0,12	0,15	0,12	0,14	0,11	0,14	0,14	0,12
11.10.19	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,12	0,12	0,15	0,12	0,13	0,15	0,15	0,12
12.10.19	0,15	0,13	0,10	0,14	0,13	0,08	0,13	0,15	0,11	0,12	0,15	0,13	0,10
13.10.19	0,15	0,14	0,14	0,14	0,11	0,14	0,15	0,13	0,14	0,15	0,15	0,14	0,11
14.10.19	0,15	0,14	0,12	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	0,12	0,14	0,14	0,15	0,15
15.10.19	0,13	0,16	0,18	0,18	0,15	0,13	0,15	0,14	0,12	0,15	0,15	0,15	0,15
16.10.19	0,12	0,12	0,13	0,14	0,12	0,11	0,15	0,11	0,13	0,12	0,15	0,13	0,11
17.10.19	0,15	0,14	0,14	0,16	0,13	0,10	0,13	0,14	0,12	0,14	0,15	0,13	0,11
18.10.19	0,14	0,12	0,14	0,16	0,13	0,11	0,14	0,14	0,12	0,14	0,15	0,11	0,11
19.10.19	0,14	0,14	0,15	0,16	0,13	0,11	0,13	0,13	0,12	0,12	0,15	0,11	0,13
20.10.19	0,11	0,14	0,14	0,15	0,14	0,11	0,13	0,12	0,12	0,14	0,16	0,13	0,11
21.10.19	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,15	0,14	0,10	0,14
22.10.19	0,11	0,12	0,14	0,15	0,12	0,11	0,13	0,12	0,11	0,13	0,16	0,11	0,12
23.10.19	0,12	0,13	0,14	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,13	0,15	0,13	0,14
24.10.19	0,12	0,14	0,14	0,15	0,12	0,13	0,14	0,12	0,12	0,15	0,13	0,12	0,11
25.10.19	0,12	0,12	0,14	0,15	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,14	0,12
26.10.19	0,14	0,13	0,12	0,16	0,12	0,12	0,14	0,13	0,13	0,14	0,15	0,13	0,13
27.10.19	0,11	0,13	0,15	0,16	0,12	0,12	0,13	0,12	0,11	0,14	0,15	0,14	0,12
28.10.19	0,12	0,13	0,14	0,15	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,11	0,14
29.10.19	0,13	0,12	0,13	0,15	0,12	0,12	0,13	0,12	0,11	0,14	0,15	0,11	0,12
30.10.19	0,11	0,12	0,14	0,15	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,13	0,15	0,16	0,12
31.10.19	0,12	0,13	0,14	0,15	0,12	0,12	0,13	0,12	0,11	0,14	0,15	0,14	0,13

продовження таблиці 1

Координати Дата	№ точки спостереження											
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
X, м	-505	-518	-516	-527	-251	-3	258	512	518	512	509	505
Y, м	282	13	-250	-507	-501	-517	-506	-502	-241	12	276	533
01.10.19	0,12	0,15	0,11	0,14	0,11	0,14	0,13	0,11	0,12	0,18	0,15	0,14
02.10.19	0,15	0,15	0,12	0,13	0,13	0,15	0,15	0,14	0,14	0,20	0,10	0,14
03.10.19	0,12	0,12	0,11	0,13	0,12	0,15	0,13	0,11	0,09	0,17	0,14	0,15
04.10.19	0,13	0,15	0,10	0,13	0,11	0,14	0,14	0,11	0,13	0,18	0,12	0,13
05.10.19	0,13	0,13	0,09	0,13	0,12	0,16	0,14	0,12	0,10	0,19	0,12	0,14
06.10.19	0,11	0,12	0,13	0,16	0,11	0,15	0,14	0,12	0,12	0,16	0,14	0,14
07.10.19	0,13	0,14	0,12	0,16	0,12	0,16	0,13	0,12	0,13	0,18	0,14	0,13
08.10.19	0,13	0,13	0,10	0,14	0,12	0,15	0,14	0,13	0,11	0,19	0,12	0,14
09.10.19	0,13	0,12	0,14	0,16	0,10	0,15	0,13	0,14	0,13	0,17	0,14	0,13
10.10.19	0,14	0,13	0,13	0,18	0,12	0,16	0,14	0,14	0,11	0,18	0,15	0,13
11.10.19	0,12	0,15	0,12	0,15	0,13	0,16	0,13	0,13	0,13	0,17	0,15	0,14
12.10.19	0,14	0,14	0,10	0,18	0,10	0,18	0,11	0,12	0,14	0,18	0,12	0,14
13.10.19	0,15	0,15	0,11	0,12	0,13	0,18	0,13	0,10	0,15	0,17	0,12	0,13
14.10.19	0,13	0,15	0,11	0,13	0,11	0,13	0,14	0,12	0,12	0,20	0,12	0,13
15.10.19	0,14	0,15	0,13	0,14	0,12	0,17	0,14	0,14	0,14	0,22	0,14	0,14
16.10.19	0,12	0,11	0,09	0,10	0,11	0,18	0,08	0,11	0,10	0,17	0,10	0,14
17.10.19	0,12	0,13	0,11	0,14	0,12	0,15	0,11	0,12	0,11	0,17	0,11	0,14
18.10.19	0,12	0,13	0,12	0,14	0,12	0,15	0,12	0,12	0,11	0,18	0,11	0,14
19.10.19	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,15	0,14	0,12	0,12	0,19	0,10	0,13
20.10.19	0,12	0,13	0,12	0,13	0,12	0,15	0,11	0,12	0,11	0,20	0,12	0,12
21.10.19	0,09	0,14	0,12	0,12	0,12	0,18	0,12	0,11	0,11	0,20	0,11	0,13
22.10.19	0,11	0,14	0,12	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,19	0,11	0,13
23.10.19	0,12	0,13	0,11	0,12	0,11	0,15	0,11	0,13	0,13	0,20	0,12	0,13
24.10.19	0,13	0,13	0,11	0,13	0,12	0,15	0,14	0,13	0,11	0,19	0,12	0,14
25.10.19	0,13	0,13	0,12	0,15	0,11	0,15	0,14	0,13	0,12	0,17	0,13	0,14
26.10.19	0,14	0,13	0,11	0,12	0,12	0,16	0,11	0,12	0,12	0,19	0,12	0,14
27.10.19	0,11	0,14	0,11	0,14	0,12	0,15	0,13	0,12	0,12	0,18	0,12	0,14
28.10.19	0,12	0,14	0,11	0,14	0,12	0,16	0,13	0,13	0,12	0,20	0,13	0,13
29.10.19	0,13	0,13	0,12	0,14	0,11	0,15	0,12	0,12	0,12	0,20	0,13	0,13
30.10.19	0,13	0,14	0,12	0,13	0,12	0,14	0,13	0,13	0,12	0,19	0,12	0,13
31.10.19	0,13	0,14	0,11	0,13	0,12	0,15	0,12	0,13	0,12	0,20	0,13	0,13

Таблиця 2

Результати застосування двохфакторного дисперсійного аналізу для первинної обробки даних вимірювань

Дисперсійний аналіз						
Джерело варіації	SS	df	MS	F	P-значення	F критичне
Рядки	0,016552	30	0,000552	4,003808	1,37E-11	1,475057
Стовпчики	0,159904	24	0,006663	48,35027	1,6E-132	1,532478
Похибка	0,099216	720	0,000138			
Разом	0,275672	774				

Тобто рівняння (1) є рівнянням кусково-неперервної функції лінійної регресії, що описує розподіл потужності дози  $z$  вздовж ламаної на рисунку 1. На рисунку 2 наведено графік цієї функції за даними таблиці 1 від 5 жовтня 2019 р.

Для побудови карти радіаційного фону необхідно рівняння регресії (1) поширити на довільну точку  $M(x,y)$  контрольованої зони. Для цього застосуємо наступний алгоритм. Спочатку відшукуємо найближчу до точки  $M$  контрольну точку  $M_i$ . Потім з'єднуємо точку  $M$  з попередньої до  $M_i$  контрольною точкою  $M_{i-1}$ , як це показано на рисунку 3.

Відстань між цими точками позначимо як  $\Delta l_{M,M_{i-1}}$ . Тоді відстань від точки  $M$  до

1-ї точки вздовж ламаної складе:

$l = l_{i-1} + \Delta l_{M,M_{i-1}}$ . Це значення відстані  $l$

будемо підставляти в рівняння регресії (1) для знаходження потужності дози в точці  $M$ . Якщо б ми визначали відстань до точки  $M$  як  $l = l_i + \Delta l_{M,M_i}$ , то одержали б завищене

значення для  $\Delta l_{M,M_{i-1}} < \Delta l_{i,i-1}$ , оскільки

$\Delta l_{i,i-1} \leq \Delta l_{M,M_{i+1}} + \Delta l_{M,M_{i-1}}$ .

Слід відмітити, що при такому підході коефіцієнт детермінації завжди дорівнює одиниці.

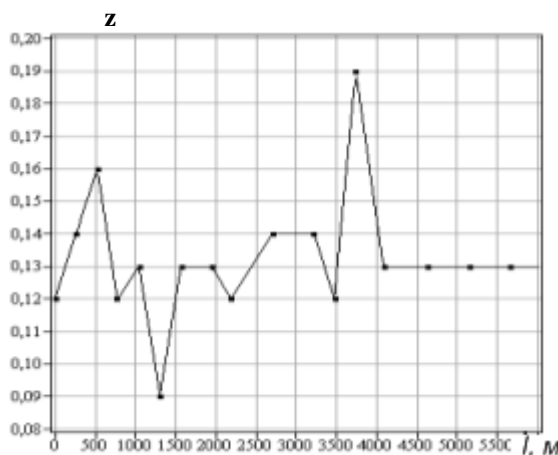


Рис. 2 – Графік функції (1) для потужності дози  $z$  (мкЗв/год) в залежності від відстані вздовж ламаної

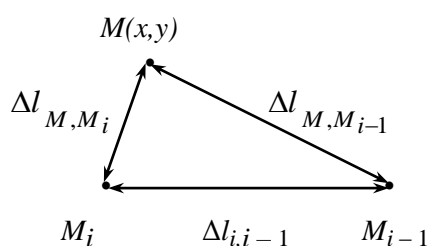


Рис. 3 – Схема побудови поля радіаційного фону

Описану процедуру можна здійснити і навпаки: виходячи з останньої найбільш віддаленої від центру 25-ї точки, рухатися за годинниковою стрілкою до 1-ї точки. Тоді в рівнянні регресії слід перенумерувати контрольні точки в зворотному порядку. Зрозуміло, що карти радіаційного фону, побудовані цими двома способами, будуть певною мірою відрізнятися. Тому за дійсне значення потужності дози слід прийняти

середнє значення з одержаних двома способами, а абсолютною похибкою моделі вважати половину абсолютної різниці цих значень. В якості прикладу на рисунках 4 та 5 наведені карти радіаційного фону станом на 5 жовтня і на 15 жовтня 2019 р., відповідно.

Обидві карти свідчать про те, що максимальна потужність дози спостерігалася поблизу 23-ї контрольної точки – початку Харківського мосту. Це ж можна побачити і

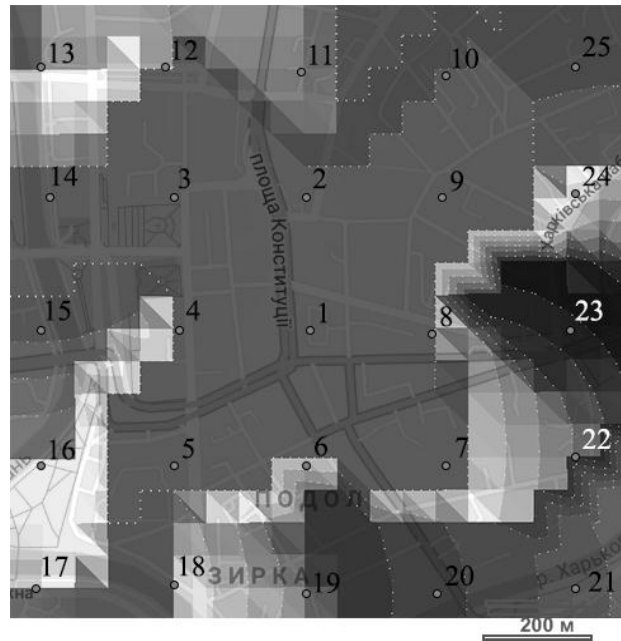
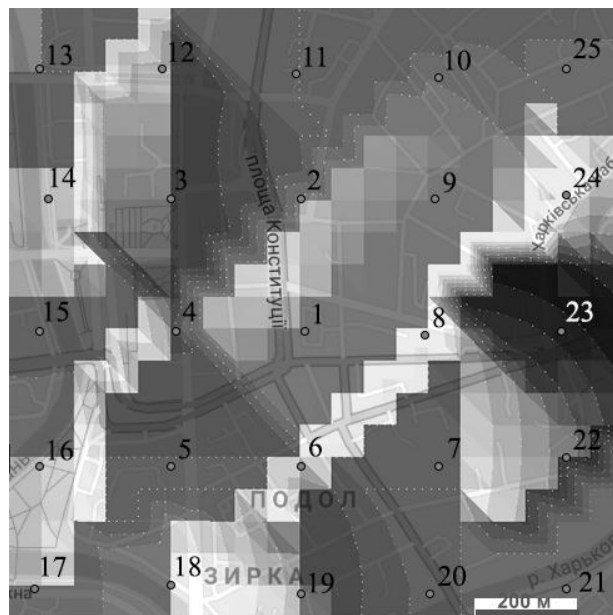


Рис. 4 – Карта радіаційного фону станом на 05.10.2019: білий колір – 0,09 мкЗв/год, чорний – 0,19 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном



білий колір – 0,12 мкЗв/год,  
чорний – 0,22 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

Рис. 5 – Карта радіаційного фону станом на 15.10.2019:

з таблиці 1 за весь період спостережень. Цей факт можна пояснити тим, що саме тут, на мосту, збігаються три великих транспортних потоки: з вулиці Шевченка, Московського проспекту та Кооперативної вулиці. Також тут знаходяться два пам'ятники на честь 300-річчя Переяславської Ради (скульптор

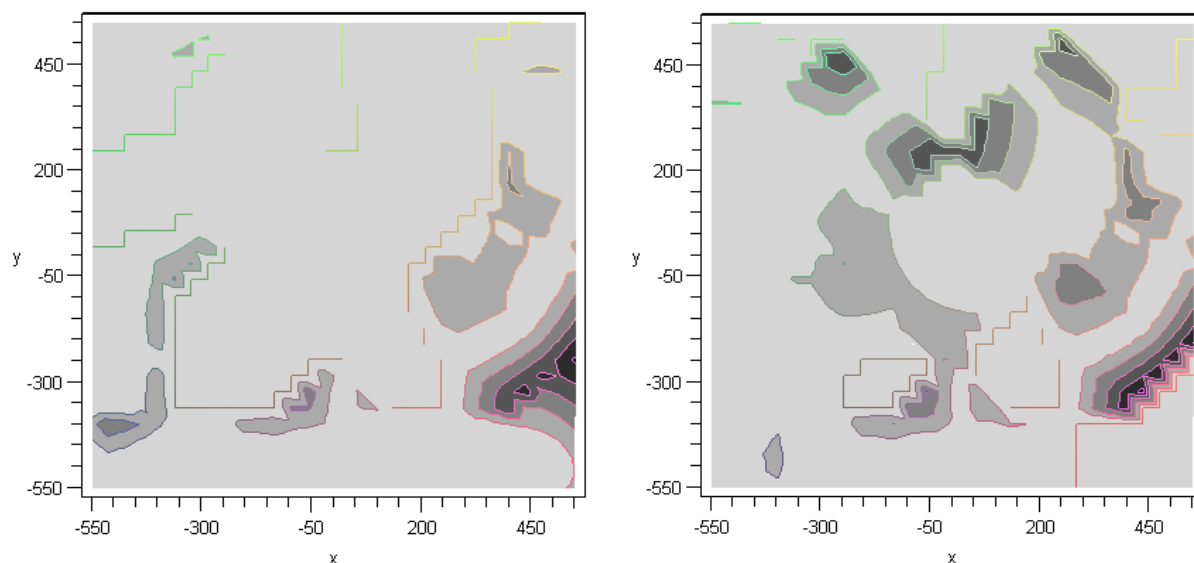
М. Овсянкін). Їх постаменти зроблено з великих гранітних глиб. А, як відомо, граніт завжди є джерелом фонові радіації [18].

Мінімальна потужність дози була біля 16-ї та 17-ї точок – «стрілки» двох річок – Лопані і Харкова та поблизу 24-ї точки – в сквері на Харківській набережній.



На рисунку 6 наведено карти абсолютних помилок вимірювань радіаційного фону. Як можна бачити з цих рисунків, ма-

ксимальна помилка запропонованої моделі ніде не перевищує ціни поділки дозиметра – 0,01 мкЗв/год.



а) 05.10.2019 р.

б) 15.10.2019 р.

білий колір – 0 мкЗв/год,  
чорний – 0,010 мкЗв/год через 0,002 мкЗв/год за тоном (x і y в метрах)

**Рис. 6** – Карти абсолютних помилок вимірювань радіаційного фону

### Висновки

Досліджено стан радіаційного фону на території історичного центру м. Харкова на протязі жовтня 2019 року. Одержані значення потужності дози знаходяться в межах норми (30 мкЗв/год) і добре узгоджуються з результатами вимірювань, які були проведені Харківським Обласним Лабораторним Центром ДСЕСУ також в жовтні 2019 р. На підставі одержаних даних побудовані карти радіаційного фону для кожної доби спостережень і встановлена їх абсолютна похибка, яка не перевищувала значення відліку дозиметра. Карти дозволяють визначити структуру радіаційного забруднення на контрольованій території і виявляти основні його

джерела. А саме, максимальне значення потужності дози постійно спостерігалось на в'їзді на Харківський міст, що можна пояснити злиттям транспортних потоків, а також застосуванням будівельних матеріалів, які є джерелом підвищеної радіації. Мінімальне значення радіаційного фону спостерігалось в скверах на набережних річок Лопань і Харків, які знаходяться в осторонь від транспортних магістралей. Розроблена методика побудови карт може бути також застосована для моніторингу інших видів забруднень в програмах екологічних досліджень.

### Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагиат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

### Література

1. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. Київ: МОЗ України, Міністерство України з питань надзвичайних

- ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, НЦПМ АМН України, 1997. 36. 6. 103 с.
- Zerbo Lassina Для запитів на виявлення #IMS за межами #СТВТ аналізуються дані в або поблизу шляху потенційного шлейфу від вибуху. URL: <https://twitter.com/SinaZerbo/status/1163094836569882625> (дата звернення: 02.03.2020).
  - Оперативна інформація щодо виникнення надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру та резонансних подій, що виникли за межами України, станом на 7 годин 9 серпня 2019 року. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nadzvichayni-situaciyi-za-kordonom/97451.html>. (дата звернення: 02.03.2020).
  - Бойко Ю., Бойко А. Ю. Чи пов'язана велика сума реставрації пам'ятника Харку з радіацією (відео): "Об'єктив". URL: <https://www.objectiv.tv/objectively/2019/09/24/chi-pov-yazana-velika-suma-restavratsiyi-pam-yatnika-harku-z-radiatsiyeyu-video/> (дата звернення: 02.03.2020).
  - Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: радіаційний захист від джерел потенційного опромінення НРБУ-97/Д-2000. Державні гігієнічні нормативи (ДГН 6.6.1.-6.5.061-2000). Затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 12.07.2000 р. № 116.
  - Державна установа "Харківський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України". Опубліковано 19.10.2019. URL: <http://labcenter.kh.ua/>. (дата звернення: 02.03.2020).
  - Антропов К. М., Казамер Ю. И., Вараксин А. Н. Описание пространственного распределения загрязнения атмосферного воздуха промышленного центра методом Land Use Regression (обзор). *Экологические системы и приборы*, 2010. № 1. С. 28–41.
  - Некос В. Ю., Юшманова І. П., Пеліхатий М. М. Розробка систем радіаційного моніторингу довкілля. *Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. Харків, 2007. № 9. С. 52–62.
  - Некос В. Ю., Юшманова І. П., Пеліхатий М. М. Методи і алгоритми визначення радіаційного стану довкілля. *Журнал наукових праць. Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2008. № 1–2 (11–12). С. 90–98.
  - Некос В. Е., Гетманец О. М., Пелихатый Н. М. Алгоритмы радиационного мониторинга местности в режиме реального времени. *Журнал наукових праць. Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2009. № 2 (13). С. 7–13.
  - Гетманець О. М., Гордієнко В. Г., Дроздов О. О., Пелихатый М. М. Спосіб радіаційного моніторингу місцевості у режимі реального часу: пат. 50154 Україна: МПК G01T1/167. № u200912882; заявл. 11.12.2009; опубл. 25.05.2010. Бюл. № 10. 4 с.
  - Гетманец О. М., Гордиенко В. Г., Дроздов А. А., Пелихатый Н. М. Радиационный мониторинг местности в режиме реального времени при помощи волоконно-оптического дозиметра. *Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2011. № 944. С. 83–86. URL: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/759>
  - Гетманець О. М., Гордієнко В. Г., Дроздов О. О., Пелихатый М. М. Спосіб радіаційного моніторингу реальної місцевості у режимі реального часу за допомогою волоконно-оптичного дозиметра: пат. 62252 Україна: МПК G01T1/167. № 201015171; заявл. 18.12.2010; опубл. 25.08.2011. Бюл. № 16. 4 с.
  - Смець В. М., Пелихатый М. М., Гетманець О. М. Система автоматичного моніторингу території: пат. 84133 Україна: МПК G01W 1/00, G08C 17/02. № 201304743; заявл. 15.04.2013; опубл. 10.10.2013. Бюл. № 19. 5 с.
  - Гетманец О. М., Пелихатый Н. М. Разработка алгоритма построения поля радиационного фона. *Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2016. Вип. 14. С. 41–45. URL: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/6343>
  - Гетманець О. М., Іванова К. Ю., Пеліхатий М. М. Модель побудови поля радіаційного фону. *Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2017. Вип. 17. С. 99–105.
  - Гетманец О. М. Спосіб радіаційного моніторингу місцевості в режимі реального часу: пат. 125329 Україна: МПК G01T1/167. № 201711031; заявл. 23.01.2018; опубл. 10.08.2018. Бюл. № 15. 3 с.
  - DmitrySpb79. Радиация и радиоактивные артефакты в быту — стоит ли их бояться? URL: <https://habr.com/ru/post/400605/>. (дата звернення: 02.03.2020).

## References

- General dosimetric certification of settlements of Ukraine that have been exposed to radioactive pollution after the Chernobyl accident. (1997). Kyiv: Ministry of Health of Ukraine, Ministry of Ukraine for Emergency Situations and for the Protection of the Population from the Consequences of the Chornobyl Catastrophe, National Academy of Medical Sciences of Ukraine, 6 (in Ukrainian).
- Zerbo, L. (2019, August 18). To requests on #IMS detection beyond #СТВТ, data in, or near the path of potential plume from the explosion are being analyzed . We're also addressing w/station operators technical problems experienced at two neighboring stations. All data are available to our Member States.

- <https://t.co/pHL4WrHU23> [pic.twitter.com/9aO5cQTlls](https://pic.twitter.com/9aO5cQTlls) Retrieved from <https://twitter.com/SinaZerbo/status/1163094836569882625>
3. Operational information on emergencies of man-caused and natural nature and resonant events that occurred outside of Ukraine. (2019). Retrieved from <http://www.dsns.gov.ua/en/Nadzvichayni-situaciyi-za-kordonom/97451.html>
  4. Boyko, Yu., & Boyko, A. Yu. (2019). Is the large amount of restoration of the monument to Kharkiv related to radiation (video): "Lens". Retrieved from <https://www.objectiv.tv/objectively/2019/09/24/chi-pov-yazana-velika-suma-restavratsiyi-pam-yatnika-harku-z-radiatsiyeyu-video/> (in Ukrainian).
  5. The norms of radiation safety of Ukraine. (2000). Addendum: radiation protection from sources of potential irradiation NRB-97 / D-2000. State hygiene standards (DGN 6.6.1.-6.5.061-2000) (in Ukrainian).
  6. State Institution "Kharkiv Regional Laboratory Center of the Ministry of Health of Ukraine". (2019). Retrieved from <http://labcenter.kh.ua/> (in Ukrainian).
  7. Antropov, K. M., Kazmer, Yu. I. & Varaksin, A. N. (2010). Description of the spatial distribution of atmospheric air pollution in an industrial center by the Land Use Regression method (review). *Ecological Systems and Instruments*, (1), 28–41 (in Russian).
  8. Nekos, V. Yu., Yushmanova, I. P. & Pelikhaty, N. M. (2007). Development of radiation monitoring systems of environment. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 9, 52–62 (in Ukrainian).
  9. Nekos, V. Yu., Yushmanova, I. P. & Pelikhaty, N. M. (2008). The methods and algorithms for determining the radiation state of the environment. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (1–2), 90–98 (in Ukrainian).
  10. Nekos, V. Yu., Getmanets, O. M. & Pelikhaty, N. M. (2009). The algorithms of radiation monitoring of areas in the real time. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 13, (2), 7–13 (in Russian).
  11. Hetmanets, O. M., Gordienko, V. G., Drozdov, O. O., & Pelikhaty, M. M. (2010). Method for radiation monitoring of locality in real time. Patent of Ukraine for useful model. G01T1/15. 50154; declared 11.12.2009; published 25.05.2010 (in Ukrainian).
  12. Getmanets, O. M., Gordienko, V. G., Drozdov, A. A. & Pelikhaty, N. M. (2011). Radiation monitoring of the area in real time using a fiber optic dosimeter. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University series "Ecology"*, (944), 83–86. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/759> (in Russian).
  13. Hetmanets, O. M., Gordienko, V. G., Drozdov, O. O. & Pelikhaty, M. M. (2011). Method for radiation monitoring of locality in mode of real time by means of fiber-optical dosimeter. Patent of Ukraine for useful model. G01T1/167. № 62252; declared 16.12.2010; published 25.08.2011 (in Ukrainian).
  14. Yemets, V. M., Pelikhaty, M. M. Hetmanets, O. M. (2013). System of Automatic Monitoring of territory. Patent of Ukraine for useful model. G01W1/00, G08C17/00. № 84133; declared 15.04.2013; published 10.10.2013 (in Ukrainian).
  15. Getmanets, O. M. & Pelikhaty, N. M. (2016). Development the algorithm for construction the field of radiation background. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University series "Ecology"*, (14), 41 – 45. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/6343> (in Russian).
  16. Getmanets, O. M., Ivanova K. Yu. & Pelikhaty N. M. (2017). Model of radiation field background construction. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University series "Ecology"*, (17), 99–105. Retrieved from <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2017-17-11> (in Ukrainian).
  17. Hetmanets, O. M. (2018). System of Automatic Monitoring of territory. Patent of Ukraine for useful model. G01T1/167. № 125329; declared 13.11.2017; published 10.05.2018 (in Ukrainian).
  18. DmitrySpb79. (2017). Radiation and radioactive artifacts in everyday life – should they be feared? Retrieved from <https://habr.com/ru/post/400605/> (in Russian).

Надійшла до редколегії 02.03.2020

Прийнята 15.04.2020