

УДК 614.876+551.508.957(477.65)

Л. П. Суховірська<sup>1,2</sup>, О. М. Лунгол<sup>1,2</sup>✉, Д. В. Соменко<sup>2</sup>, К. В. Гуменюк<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Донецький національний медичний університет, вул. Велика Перспективна, 1, м. Кропивницький, 25015, Україна

<sup>2</sup>Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені Володимира Винниченка, вул. Шевченка, 1, м. Кропивницький, 25006, Україна

<sup>3</sup>ТОВ «Український центр томотерапії», вул. Ялтинська, 1, м. Кропивницький, 25011, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ В МІКРОРАЙОНАХ м. КРОПИВНИЦЬКОГО ЗА ДОПОМОГОЮ ДОЗИМЕТРА-РАДІОМЕТРА МКС-08-01 Гм «ДКС-96» ТА БЕЗДРОТОВИХ ДАТЧИКІВ

**Мета.** Визначити радіаційний фон в мікрорайонах міста Кропивницького за допомогою дозиметра-радіометра МКС-08-01 Гм «ДКС-96» та бездротового датчика (дозиметра), проаналізувати виміряні значення за допомогою критерію Ст'юдента та створити інтерактивну карту радіаційного фону в мікрорайонах м. Кропивницького.

**Матеріал і методи.** Вимірювання радіаційного фону м. Кропивницького проводилося двома способами: за допомогою дозиметра-радіометра МКС-08-01 Гм «ДКС-96» для вимірювання радіаційного фону в мікрорайонах м. Кропивницького (Завадівка (санітарна зона та зона спостереження), Ковалівка, Велика Балка, Лісопаркова, Район 5/5, Попова, Міський сад); за допомогою бездротового датчика (дозиметра) з системою моніторингу радіоактивної обстановки місцевості на базі Wi-Fi модуля з мікроконтролером (Лісопаркова, Завадівка (санітарна зона та зона спостереження), Район 5/5).

**Результати та висновки.** Результати експерименту дозволили нам зробити висновок, що в деяких мікрорайонах Кропивницького підвищений рівень радіаційного забруднення. Оцінка рівня опромінення людини від техногенно підсилених радіоактивних джерел природного походження, зокрема, від <sup>238</sup>U та <sup>222</sup>Rn є ключовим фактором, який обумовлює ризик розвитку онкологічних патологій на Кіровоградщині. Перевірено ефективність створеного нами бездротового датчика (дозиметра) для моніторингу радіаційної обстановки місцевості. Для аналізу, інтерпретації та донесення до широкого загалу отриманих результатів нашого дослідження було створено власний додаток для смартфонів на базі операційної системи Android.

**Ключові слова:** радіоактивність, дозиметр-радіометр МКС-08-01 Гм «ДКС-96», бездротовий датчик (дозиметр), інтерактивна карта.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2019. Вип. 24. С. 195–209. doi: 10.33145/2304-8336-2019-24-195-209

✉ Лунгол Ольга Миколаївна, e-mail: lunhol\_o\_m@ukr.net

L. P. Sukhovirska<sup>1,2</sup>, O. M. Lunhol<sup>1,2</sup>✉, D. V. Somenko<sup>2</sup>, K. V. Humeniuk<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Donetsk National Medical University, 1 Velyka Perspektyvna St., Kropyvnytskyi, 25015, Ukraine

<sup>2</sup>Centralukrainian Volodymyr Vynnychenko State Pedagogical University, 1 Shevchenko St., Kropyvnytskyi, 25006, Ukraine

<sup>3</sup>Limited liability company «Ukrainian tomotherapy centre», 1 Yaltynska St., Kropyvnytskyi, 25011, Ukraine

## INVESTIGATION OF RADIATION BACKGROUND IN THE MICRODISTRICTS OF KROPYVNYTSKYI USING DOSIMETER-RADIOMETER MKS-08-01 Gm «DKS-96» AND WIRELESS SENSORS

**Objective.** Determine the radiation background in the Kropyvnytskyi microdistricts using the dosimeter-radiometer MKS-08-01 Gm «DKS-96» and a wireless sensor (dosimeter), analyze the measured values using the Student's t-test and create radiation background interactive map of Kropyvnytskyi microdistricts.

**Materials and methods.** Measurement of Kropyvnytskyi radiation background was carried out in two ways: using the dosimeter-radiometer MKS-08-01 Gm «DKS-96» to measure the radiation background in the Kropyvnytskyi microdistricts (Zavadivka (sanitary zone and observation zone), Kovalivka, Velyka Balka, Lisoparkova, Raion 5/5, Popova, Miskyi sad); using a wireless sensor (dosimeter) with a monitoring system of the area radiation situation on the basis of Wi-Fi module with a microcontroller (Lisoparkova, Zavadivka (sanitary zone and observation zone), Raion 5/5).

**Results and conclusions.** Experiment results allowed us to conclude that in some microdistricts of Kropyvnytskyi increased level of radiation pollution. Evaluation of exposure for a human from technological reinforced naturally occurring radioactive sources, particularly from <sup>238</sup>U and <sup>222</sup>Rn is a key factor that determines the risk of cancerous pathologies in Kirovohrad region. We checked the effectiveness of our wireless sensor (dosimeter) for monitoring the radiation situation in the area. To analyze, interpret and report to the general public the results of our study, we created our own application for smartphones based on the Android operating system.

**Key words:** radioactivity, dosimeter-radiometer MKS-08-01 Gm «DKS-96», wireless sensor (dosimeter), interactive map.

*Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2019;24:195-209. doi: 10.33145/2304-8336-2019-24-195-209*

### ВСТУП

Більшість показників радіаційного фону Кіровоградської області [1] вказують на екологічну безпеку регіону, але середня тривалість життя тут значно нижча, ніж в інших областях України. Радіоактивне випромінювання має негативний вплив на здоров'я людини і є одним із чинників виникнення онкологічних пухлин. За кількістю злоякісних новоутворень область має найвищі показники в Україні [2].

Територія Кіровоградської області розташована в зоні Українського кристалічного щита з підвищеним радіаційним фоном [3]. Наявність в гірських породах гранітоїдного складу сприяє широкому розвитку в регіоні гранітодобувної, гранітопереробної промисловостей [4] та видобутку урану. В м. Кропивницькому розташована Інгульська шахта, створена на базі Мічурінського родовища уранових руд, біля якої

### INTRODUCTION

Most indicators of background radiation of the Kirovohrad region [1] point to the ecological safety of the region, but the average life expectancy here is much lower than in other regions of Ukraine. Radioactive radiation has negative effect on human health and is one of the factors of oncological tumors. By the number of malignant neoplasms the region has the highest rates in Ukraine [2].

The territory of the Kirovohrad region is located in the zone of the Ukrainian crystalline shield with high background radiation [3]. The presence of granitoids in rocks promotes wide development in the region granite mining, granite processing industries [4] and uranium mining. In Kropyvnytskyi, the Ingulska Mine is located on the basis of the Michurinsky uranium deposits,

✉ Olga M. Lunhol, e-mail: lunhol\_o\_m@ukr.net

знаходиться велика кількість відпрацьованого радіоактивного матеріалу (терикони), відбуваються скиди шахтних вод та викиди в атмосферу шахтного повітря, проводяться технологічні вибухові роботи, які є потенційними джерелами радіаційного забруднення навколишнього природного середовища [5].

Гірські породи гранітоїдного складу характеризуються підвищеним кларковим вмістом радіоактивних елементів ряду уран-радій, а, значить, і  $^{222}\text{Rn}$  з дочірніми продуктами його розпаду. Радон виділяється будь-якими матеріалами, що містять уран або торій, такими, як скелі, ґрунт, будівельні матеріали тощо, та попадає в повітря. Радон – інертний, невидимий газ, без запаху, приблизно у вісім разів важчий за повітря, є найбільш важливим радіонуклідом в опроміненні людини (він дає близько половини сумарної дози опромінення людини від природної радіоактивності) [6].

Діяльність гірничовидобувних підприємств та кар'єрів Кіровоградського регіону призвела до деформації гірничого масиву, що є однією з причин утворення зон аномальних еманцій радіоактивного газу радону із ґрунтів [5].

Одним із результатів дії іонізуючого випромінювання на клітину є поява генетичних мутацій, які в свою чергу можуть призводити до розвитку злоякісних захворювань [7–9].

Актуальним завданням дозиметрії та радіобіології є визначення та оцінка рівнів опромінення людини від техногенних радіоактивних джерел природного походження. Згідно вимог нової Директиви Ради 2013/59/Євратом, що встановлює основні стандарти безпеки для захисту від небезпеки іонізуючого випромінювання та імплементацію якої в національне законодавство України передбачено Угодою про асоціацію між Україною, з одного боку, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їх державами-членами з іншого [4, 10]. В цій Директиві регулюються всі джерела випромінювання, що підлягають регулюючому контролю, в тому числі – природних джерел.

Вивчення стану забруднення навколишнього середовища на території м. Кропивницький та запобігання впливу іонізуючого випромінювання на організм людини здійснювали відповідно до законів України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання», «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97), Порядку розроблення регіональних програм захисту населення від впливу іонізуючих випромінювань затвердженого постано-

near which there is a large amount of spent radioactive material (waste heaps), there are discharges of mine waters and emissions into the atmosphere of mine air, technological blasting works are carried out, which are potential sources of radiation pollution of the environment [5].

Granitoid rocks characterized by a high content of clarke radioactive elements of uranium-radium series, and, based on this, of  $^{222}\text{Rn}$  with its decay products. Radon is excreted in any material containing uranium or thorium, such as rocks, soil, building materials, etc., and enters the air. Radon – an inert, invisible gas, odorless, about eight times heavier than air, is the most harmful radionuclide in human irradiation (it gives about half the total person irradiation dose from natural radioactivity) [6].

Activity of the mining enterprises and quarries of the Kirovohrad region led to the deformation of the rock massif, which is one of the reasons for the formation of zones of anomalous emanations of radon radioactive gas from soils [5].

One of the effects of ionizing radiation on a cell is the appearance of genetic mutations, which can lead to the development of malignant diseases [7–9].

The urgent task of dosimetry and radiobiology is identification and evaluation of irradiation level for a human from technological naturally occurring radioactive sources. According to the requirements of the new Council Directive 2013/59/Euratom, which sets basic safety standards for protection against the dangers of ionizing radiation and whose implementation in Ukraine national legislation provided by Association Agreement between Ukraine, on one hand, and European Union, European Atomic energy Community and their countries-members on the other [4, 10]. This Directive regulates all sources of radiation subject to regulatory control, including natural sources.

The study of environment pollution condition in the territory of Kropyvnytskyi and prevention of the ionizing radiation influence on the human body were carried out in accordance with the Laws of Ukraine: «On protection of a human against the exposure to ionizing radiation», «On use of nuclear power and radiation safety», Radiation Safety Standards of Ukraine (NRBU-97), The procedure for the development of regional programs for protecting the population from the influence of ionizing radiation approved by the

вою Кабінету Міністрів України від 04 червня 1999 року № 973 [11–14].

Вказані фактори обумовлюють необхідність постійного вивчення й дослідження радіоактивного забруднення мікрорайонів та стану здоров'я населення м. Кропивницького, створення телеметричних та інтерактивних карт радіаційного фону.

## **МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ**

Визначити радіаційний фон в мікрорайонах міста Кропивницького за допомогою дозиметра-радіометра МКС-08-01 Гм «ДКС-96» та бездротового датчика (дозиметра), проаналізувати виміряні значення за допомогою критерію Ст'юдента та створити інтерактивну карту радіаційного фону в мікрорайонах м. Кропивницького.

## **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Для оцінки радіологічної небезпеки в Кропивницькому, необхідно вимірювати дози зовнішнього опромінення, забруднення ґрунту, води, їжі та ін. Існує широкий спектр інструментів, який використовується для вимірювання різних видів випромінювання в різних енергетичних діапазонах і з різною точністю. Для оцінки зовнішнього опромінення забрудненої поверхні використовують дозиметри.

Для оцінки внутрішнього опромінення необхідно знати концентрацію різних радіонуклідів у повітрі, воді, продуктах харчування, що не є предметом даної роботи, але в перспективі подальших досліджень.

В результаті наукового дослідження ми виміряли рівень радіації в мікрорайонах Кропивницького. Великий вплив на ступінь і характер радіоактивного забруднення місцевості мають особливості рельєфу, види ґрунтів та рослинності, метеорологічні умови. В процесі дослідження враховували погодні умови, а саме: температуру, вологість повітря, швидкість та напрям вітру, опади.

Для зіставлення точності результатів вимірювання проводили двома способами:

► за допомогою дозиметра-радіометра МКС-08-01 Гм «ДКС-96», який призначений для оперативного та періодичного контролю радіаційної ситуації; вимірювання рівня забрудненості поверхонь альфа-, бета- і гамма-активними речовинами; пошуку та локалізації джерел іонізуючого випромінювання; оперативного виявлення точкових та протяжних зон з аномальним рівнем гамма-випромінювання; граничної оцінки рівня радіації; вимірювання потоку гамма-випромінювання та потужності експозиційної дози гамма-випромінювання в свердловинах та рідких середовищах [15];

Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated June 4, 1999 No. 973 [11–14].

The indicated factors necessitate constant study and research of microdistricts radioactive contamination and population health conditions of Kropyvnytskyi, the creation of telemetry and interactive radiation background maps.

## **OBJECTIVE**

Determine the radiation background in the Kropyvnytskyi microdistricts using the dosimeter-radiometer MKS-08-01 Gm «DKS-96» and a wireless sensor (dosimeter), analyze the measured values using the Student's *t*-test and create radiation background interactive map of Kropyvnytskyi microdistricts.

## **MATERIALS AND METHODS**

To assess the radiological hazard in Kropyvnytskyi, it is necessary to measure the doses of external radiation, pollution of soil, water, food, etc. There is a wide range of instruments used to measure different types of radiation in different energy ranges and with different precision. Dosimeters are used to assess the external irradiation of the contaminated surface.

To assess internal irradiation, we must know the concentration of different radionuclides in air, water, food, which is not the subject of this work, but in the prospects for further researches.

As a result of our research we measured the level of radiation in the Kropyvnytskyi microdistricts. The great influence on the degree and nature of radioactive contamination of the area are the terrain characteristics, types of soils and vegetation, meteorological conditions. In the process of research, we took into account weather conditions: temperature, air humidity, speed and direction of wind, precipitation.

To compare the accuracy of the results, measurement was carried out in two ways:

► using the dosimeter-radiometer MKS-08-01 Gm «DKS-96», which is intended for prompt and periodic monitoring of the radiation situation; measurement of the level of surfaces contamination of alpha, beta and gamma-active substances; search and localization of ionizing radiation sources; prompt detection of point and long-range zones with anomalous levels of gamma radiation; limit estimation of radiation level; measurement of gamma-ray flux and gamma-ray exposure dose rate in wells and liquid media [15];



► за допомогою бездротового датчика (дозиметра), який призначений для контролю радіаційної обстановки місцевості та автоматичного накопичення інформації і передачі її через мережу Інтернет.

Під час вимірювання радіаційного фону в семи мікрорайонах м. Кропивницького використовували дозиметр-радіометр МКС-08-01 Гм «ДКС-96» з пультом вимірювальним УИК-05-01, блоком детектування БДКС-96 б та зарядним пристроєм ЗУ-02 С. Згідно з технічними характеристиками прилад реєструє рентгенівське та гамма-випромінювання, неперервне та імпульсне в діапазоні енергій від 15 кеВ до 10 МеВ; вимірює величину амбієнтного еквівалента дози  $H(10)$  від 0,1 мкЗв до 10 Зв (границя допустимої основної відносної похибки  $\pm(15+5/A_h)$  % за довірчою ймовірністю 0,95); вимірює величину потужності амбієнтного еквівалента дози рентгенівського та гамма-, неперервного та імпульсного випромінювання від 0,1 мкЗв/год до 1 Зв/год (границя допустимої основної відносної похибки  $\pm(15+5/A_h)$  % за довірчою ймовірністю 0,95) [15].

Прилад призначений для роботи при температурі навколишнього середовища від мінус 20 до плюс 50 °С; при відносній вологості повітря до 95 % за температури 35 °С; атмосферному тиску від 84 до 106,7 кПа.

Метрологічна повірка законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки використаного в дослідженні дозиметра-радіометра МКС-08-01 Гм «ДКС-96» проведена державним підприємством «Дніпропетровський регіональний державний науково-технічний центр стандартизації, метрології та сертифікації» та отримано Свідоцтво № 13-2/5853 від 16.05.2019 р. За результатами повірки встановлено, що засіб вимірювальної техніки відповідає вимогам МІ 1788-87; К. Е. ГОСТ 8.040-84.

Для накопичення та аналізу актуальних метеорологічних, радіологічних показників в конкретній місцевості в реальному часі існує Інтернет-сервіс «Народний Моніторинг» [16]. Сервіс активно розвивається, має відкриту платформу (та широкий ряд додатків для смартфонів, програм для стаціонарних комп'ютерів і зручний web-інтерфейс) для контролю саме цієї інформації, яка потрібна користувачу та залежно від місцевості, де він перебуває.

Сервіс «Народний Моніторинг» налічує сотні різноманітних датчиків лише на території України, але, на жаль, на території Кіровоградської області нами не було виявлено жодного публічного датчика радіаційної обстановки, які встановлені в більшості міст України.

► using the wireless sensor (dosimeter), which is designed to control the terrain radiation situation, automatically accumulate information and transmit it over the Internet.

To measure background radiation in seven microdistricts of Kropyvnytskyi dosimeter-radiometer MKS-08-01 Gm «DKS-96» with UIK-05-01 measuring console, BDKS-96 b detection unit and ZU-02 C charger was used. According to the technical characteristics, the device registers X-ray and gamma radiation, continuous and pulsed in the energy range from 15 keV to 10 MeV; measures the magnitude of the ambient dose equivalent of  $H(10)$  from 0.1  $\mu$ Sv to 10 Sv (limit of permissible basic relative error  $\pm(15+5/A_h)$  % at a confidence probability of 0.95); measures the magnitude of the ambient dose equivalent of X-ray and gamma dose, continuous and pulsed radiation from 0.1  $\mu$ Sv/h to 1 Sv/h (limit of permissible basic relative error  $\pm(15+5/A_h)$  % at a confidence probability of 0.95 [15].

The device is designed to operate at ambient temperature from minus 20 to plus 50 °C; at relative humidity up to 95 % at 35 °C; atmospheric pressure from 84 to 106.7 kPa.

Metrological verification of the legislatively regulated measuring instrument dosimeter-radiometer MKS-08-01 Gm «DKS-96» was conducted by the State Enterprise «Dnipropetrovsk Regional State Scientific and Technical Center for Standardization, Metrology and Certification» and obtained Certificate No. 13-2/5853 dated May 16, 2019. Based on the results of the verification, it is established that the measuring equipment meets the requirements of MI 1788-87; K. E. GOST 8.040-84.

For the accumulation and analysis of actual meteorological, radiological indicators in a specific locality in real time there is an Internet service Narodnyi Monitorynh [16]. The service is actively developing, has an open platform (and a wide range of applications for smartphones, programs for PC and a convenient web-interface) to control the information needed by the user and depending on his location.

Service Narodnyi Monitorynh has hundreds of different sensors on the territory of Ukraine, but unfortunately, in the territory of the Kirovohrad region, we have not detected any public radiation monitoring sensor installed in most Ukrainian cities.

Нами було використано програму для контролю радіаційної обстановки місцевості «Система моніторингу радіоактивної обстановки місцевості» на базі Wi-Fi модуля з мікроконтролером для опрацювання та передачі даних з бездротового датчика (дозиметра) на сервер.

Бездротові датчики ми встановили в мікрорайонах Лісопаркова, Завадівка (санітарна зона та зона спостереження), Район 5/5, які дозволяють передавати актуальну інформацію про радіаційну обстановку в даній місцевості, надають можливість жителям міста і області отримувати дані за допомогою мережі Інтернет та своєчасно бути проінформованими про підвищену небезпеку за допомогою додатку, що передає інформацію на екран смартфона.

Датчики були встановлені на рівні 1,5 м від поверхні землі, прикріплені зовні приміщень та захищені герметичним кожухом, з дотриманням ідентичності умов встановлення на досліджуваних локаціях.

Бездротовий датчик (дозиметр) складається з Лічильника Гейгера-Мюллера, плати для взаємодії його з мікроконтролером та Wi-Fi модуля, що дає можливість бездротовим шляхом передавати інформацію для подальшої її обробки і накопичення (рис. 1–3).

Пристрій доповнений датчиком для реєстрації температури, а також є можливість доповнювати його будь-якими датчиками для реєстрації метеорологічних даних (вологості повітря, швидкості вітру, наявності опадів) (рис. 3).

Створений пристрій для моніторингу радіаційної обстановки місцевості кожні 10 хвилин під'єднується до мережі Інтернет за допомогою Wi-Fi модуля (GPS-модема) та передає отриману інформацію з дозиметра до бази даних. Після завершення передачі пристрій від'єднується від мережі та переходить в ре-

We used a program to control the area radiation situation «Monitoring system of the terrain radiation situation» on the basis of a Wi-Fi module with a microcontroller for the processing and transmission of data from a wireless sensor (dosimeter) to the server.

Wireless sensors we installed in the microdistricts Lisoparkova, Zavadiyka (sanitary zone and observation zone), Raion 5/5, which allow the transfer of current information on the area radiation situation, provide the opportunity for inhabitants of the city and the region to receive data over the Internet and be promptly informed about the increased danger with the application that transmits information to the smartphone screen.

The sensors were installed at a level of 1.5 m from the ground, attached to the outside of the buildings and protected by a hermetic casing, with the identity of the installation conditions at the locations under study.

The wireless sensor (dosimeter) consists of a Geiger-Muller counter, a board for its interaction with the microcontroller and the Wi-Fi module, which enables wireless transmission of information for further processing and accumulation (Fig. 1–3).

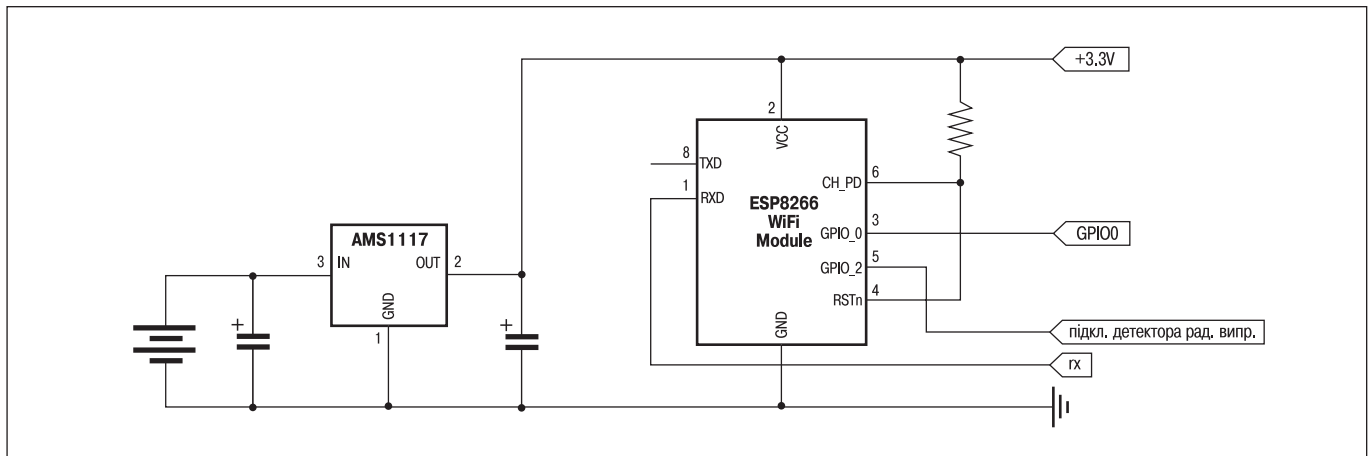
The device is complemented by temperature recording sensor, and it is also possible to supplement it with any sensors for recording meteorological data (humidity, wind speed, precipitation) (Fig. 3).

The created device for area radiological situation monitoring every 10 minutes connects to the Internet using a Wi-Fi module (GPS-modem) and transmits received information from the dosimeter to the database. When transmission is completed, the device is disconnected from the network and



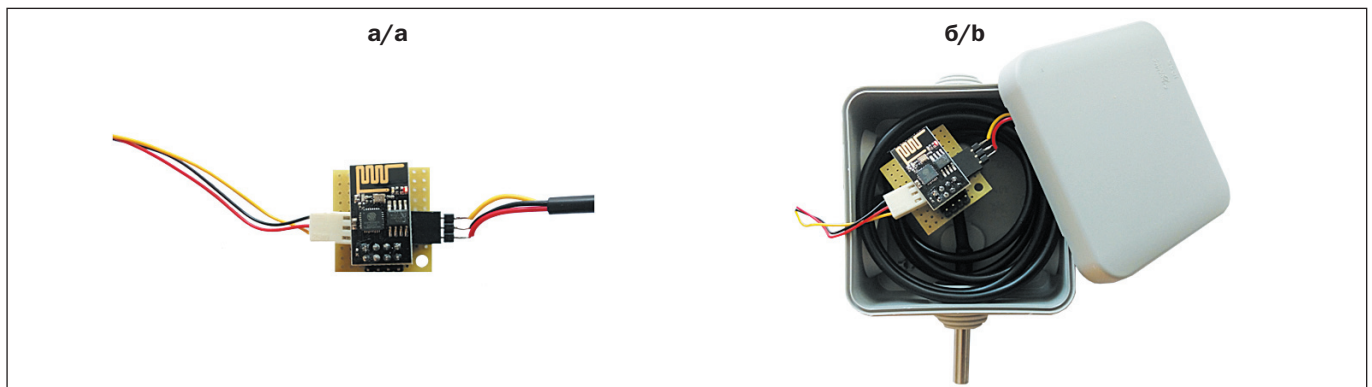
**Рисунок 1.** Детектор радіоактивного випромінювання на основі іонізаційної камери (Лічильник Гейгера-Мюллера)

**Figure 1.** Radiation Detector based on ionization camera (Geiger-Muller counter)



**Рисунок 2.** Принципова схема підключення детектора радіоактивного випромінювання на основі іонізаційної камери до мікроконтролера (ESP8266) для аналізу та накопичення даних

**Figure 2.** Principal scheme of connection of Radiation Detector based on ionization camera to a microcontroller (ESP8266) for analysis and data accumulation



### Рисунок 3. Модуль опрацювання даних

- а) Wi-Fi модуль з мікроконтролером для опрацювання та передачі даних з датчика на сервер
- б) Система моніторингу в корпусі з датчиком температури

### Figure 3. Data processing module

a) Wi-Fi module with a microcontroller for data processing and transmitting from the sensor to the server  
b) Monitoring system in the case with temperature sensor

жим зниженого використання електроенергії, що дає можливість використовувати його автономно досить тривалий період.

Для аналізу, інтерпретації та донесення до широкого загалу отриманих даних було створено власний додаток для смартфонів на базі операційної системи Android, який інформував би населення про рівень небезпеки.

Додаток дозволяє в зрозумілому форматі подати інформацію про поточний радіаційний фон в досліджуваних мікрорайонах (рис. 4).

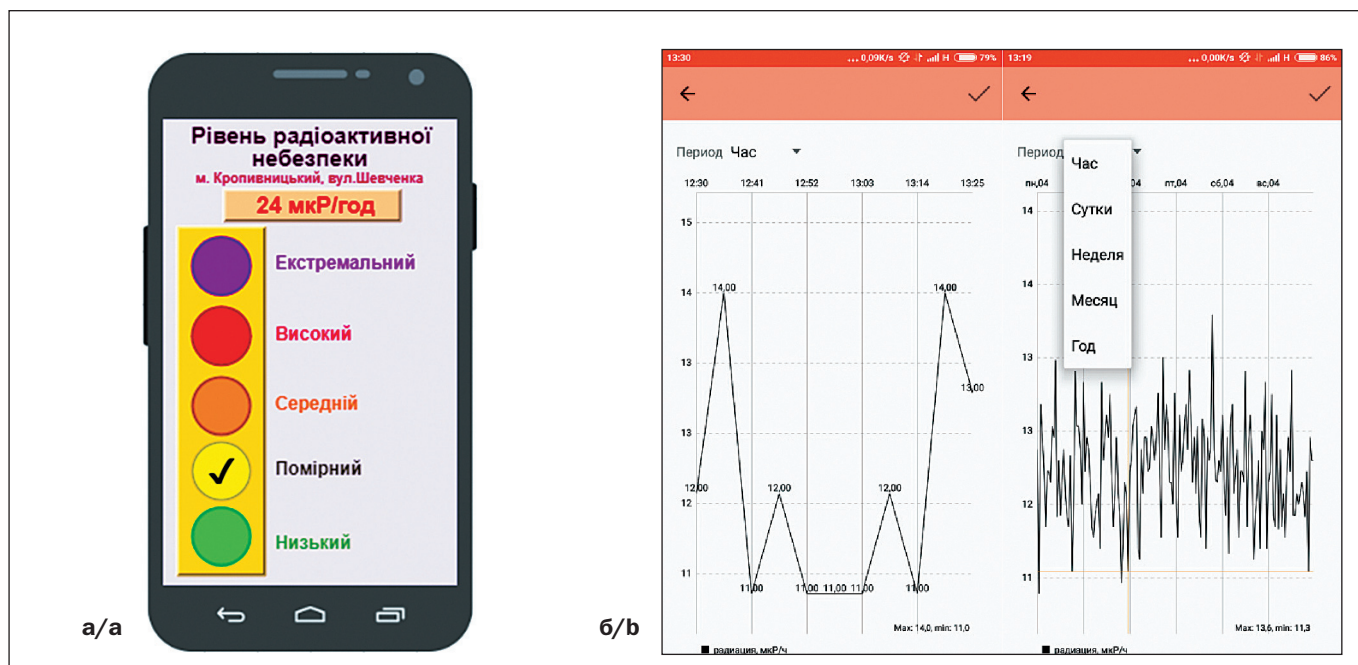
Нижче представлений програмний код (фрагмент програми для програмування мікроконтролера), який передає дані на сервер «Народного Моніторингу». За основу взято стандартний код для передачі інформації на сервер за допомогою модуля, що ба-

switched to reduced power consumption, which allows it to be used autonomously for a long period of time.

To analyze, interpret and report to the general public the data obtained, a smartphone application based on the Android operating system was created, which would inform the public about the level of danger.

The application allows to provide in an understandable format information about the current radiation background in the studied microdistricts (Fig. 4).

Below is a program code (fragment of the program for microcontroller programming), which transmits the data to the server «Narodnyi Monitorynh». The basis is the standard code for transmitting information to the server using a module based on ESP8266 [16].



**Рисунок 4. Розроблений додаток для смартфона на базі операційної системи Android:**

а) загальний вигляд додатку для моніторингу радіаційної обстановки місцевості в реальному часі (локація м. Кропивницький, вул. Шевченка)

б) загальний вигляд інформаційного поля одного з додатків для смартфонів відкритого проекту «Народний Моніторинг»

**Figure 4. Created application for smartphone based on the Android operating system:**

a) general view of the application for area radiation situation monitoring in real time (location: Kropyvnytskyi, Shevchenka street)

b) general view of the information field of one of the applications for smartphones of Public Project «Narodnyi Monitorynh»

зується на ESP8266 [16]. Коментарі пояснюють най-важливіші моменти програмного коду.

Comments explain the most important moments of the code.

```
Serial.println();
Serial.print("connecting to ");
Serial.println(host);
WiFiClient client;
if (!client.connect(host, httpPort)) {
    Serial.println("connection failed");
    return;
}
// відправляємо данні
client.print("#");
client.print(WiFi.macaddress());
client.print("#");
client.print("eSP8266");
client.println();
for (int i = 0; i <= deviceCount - 1; i++){
    Deviceaddress address18b20;
    sensors.getAddress(address18b20, i);
    float temp = sensors.getTempC(address18b20);
    client.print("#");
    for(int i = 0; i < 8; i++) client.print(address18b20[i], Hex);
    client.print("#");
```



```

        client.println(temp);
    }
    client.println("##");
    delay(10);

    while(client.available()){
        String line = client.readStringUntil('\r');
        Serial.print(line);
    }
    client.stop();
    WiFi.disconnect();
    Serial.println("WiFi відімкнено");
}

void loop() {
    if (tm == 0){
        flipper.detach();
        tm = interval;
        sensors.requestTemperatures();
        delay(10);
        Send();
        flipper.attach(1, flip);
    }
}

```

Розроблена нами система дистанційного контролю є перспективною завдяки собівартості кінцевого продукту, що в кілька разів менша, ніж в аналогічних розробках.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Матеріалами виступали результати вимірювань потужності експозиційної дози в мікрорайонах м. Кропивницького:

- за допомогою дозиметра-радіометра МКС-08-01 Гм «ДКС-96» (Завадівка (санітарна зона та зона спостереження), Ковалівка, Велика Балка, Лісопаркова, Район 5/5, Попова, Міський сад). Вимірювання в кожному мікрорайоні проводили щотижня протягом 5 місяців (n = 20). Обсяг вибірки для кожного мікрорайону складав 15 об'єктів. На кожному об'єкті вимірювання проводили не менше 10 разів. Для прикладу в табл. 1 представлені результати вимірювання за 1 день в мікрорайоні Завадівка (санітарна зона та зона спостереження);
- за допомогою бездротового датчика (дозиметра) та опрацьовані системою моніторингу радіоактивної обстановки місцевості на базі Wi-Fi модуля з мікроконтролером (Лісопаркова, Завадівка (санітарна зона та зона спостереження), Район 5/5). Вимірювання в кожному мікрорайоні проводилися кожні 10 хвилин протягом 5 місяців.

The remote control system developed by us is promising in connection with the cost price of the final product, which is several times smaller than in similar developments.

## RESULTS AND DISCUSSION

As the materials were taken the exposure dose measurement results in the Kropyvnytskyi microdistricts:

- using the dosimeter-radiometer MKS-08-01 Gm «DKS-96» (Zavadvivka (sanitary zone and observation zone), Kovalivka, Velyka Balka, Lisoparkova, Raion 5/5, Popova, Miskyi sad). Measurements in each microdistrict were conducted weekly during 5 months (n=20). The sample size for each microdistrict was 15 objects. At each object, measurements were made at least 10 times. For example, Table 1 shows the results of measurement for 1 day in the microdistrict Zavadvivka (sanitary zone and observation zone).
- using the wireless sensor (dosimeter) and worked out by the monitoring system of the terrain radioactive situation on the basis of a Wi-Fi module with a microcontroller (Lisoparkova, Zavadvivka (sanitary zone and observation zone), Raion 5/5). Measurements in each microdistrict were conducted every 10 minutes during 5 months.

**Таблиця 1**

Основні статистичні характеристики результатів вимірювання радіаційного фону в мікрорайоні Завадівка м. Кропивницького на протязі 1 дня за допомогою дозиметра-радіометра МКС-08-01 Гм «ДКС-96» (мкЗв/год)

**Table 1**

Basic statistical characteristics of measurement results of radiation background in the Zavadiivka microdistrict of Kropyvnytskyi during 1 day using the dosimeter-radiometer MKS-08-01 Gm «DKS-96» ( $\mu\text{Sv/h}$ )

Дата Date	Зона Zone	Об'єкт Object	№ виміру на контрольному об'єкті / # of measurement on the control object										<m>
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
05.02.2019	санітарна / sanitary	1	1,31	1,23	1,19	1,31	1,09	1,17	1,21	1,52	1,12	1,22	1,24
		2	2,66	2,54	2,71	2,83	2,52	2,73	2,71	2,69	2,64	2,83	2,69
		3	4,10	4,24	4,00	4,10	3,91	4,01	3,92	4,13	4,02	4,15	4,06
		4	2,35	2,21	1,98	2,25	2,05	2,30	2,19	2,14	2,35	1,99	2,18
		5	2,81	2,25	2,75	2,84	2,23	2,78	2,90	2,90	2,80	2,81	2,71
		6	2,43	2,01	2,41	2,33	2,50	2,38	2,38	2,49	2,42	2,40	2,38
		7	3,19	3,31	3,19	3,19	3,19	3,2	3,22	3,12	3,16	3,17	3,19
		8	2,00	2,25	2,25	2,31	2,18	2,15	2,18	2,16	2,14	2,13	2,18
		9	1,38	1,26	1,15	1,10	1,00	1,32	0,98	1,26	1,13	1,11	1,17
		10	3,17	3,33	3,12	3,18	3,19	3,17	3,12	3,05	3,16	3,18	3,17
	спостереження observation	11	0,50	0,35	0,36	0,41	0,21	0,29	0,40	0,35	0,33	0,36	0,36
		12	0,13	0,18	0,31	0,18	0,17	0,19	0,18	0,25	0,25	0,30	0,21
		13	0,33	0,38	0,41	0,44	0,42	0,31	0,40	0,36	0,31	0,31	0,37
		14	0,25	0,25	0,31	0,20	0,24	0,26	0,30	0,25	0,25	0,24	0,26
		15	0,44	0,35	0,35	0,41	0,28	0,27	0,40	0,34	0,33	0,37	0,35
<M>													1,77

В результаті дослідження середньозважена доза випромінювання в мікрорайоні Завадівка за 05.02.2019 складає  $(1,77 \pm 0,24)$  мкЗв/год.

У табл. 2 наведено узагальнені статистичні характеристики (середнє арифметичне значення зі стандартним відхиленням, медіана, мода, максимальне і мінімальне значення) результатів вимірювання радіаційного фону семи мікрорайонів м. Кропивницького.

Першим мікрорайоном нашого дослідження став мікрорайон Завадівка, в якому розташований цілий комплекс шахт. Найбільша з них — Інгульська шахта. В цьому мікрорайоні встановлена значна розбіжність між максимальним та мінімальним значеннями

As a result of the study, the average irradiation dose in the microdistrict Zavadiivka on 05.02.2019 is  $(1.77 \pm 0.24)$   $\mu\text{Sv/h}$ .

Table 2 summarizes the statistical characteristics (mean value of the standard deviation, median, mode, minimum and maximum values) of the results of radiation background measurement in 7 microdistricts of Kropyvnytskyi.

Zavadiivka microdistrict was the first microdistrict of our study, in which there is a whole mining complex. The largest of them is the Ingul'skaya Mine. In this microdistrict there is a significant difference between the maximum and minimum values of the

**Таблиця 2**

Основні статистичні характеристики результатів вимірювання радіаційного фону мікрорайонів м. Кропивницького за допомогою дозиметра-радіометра МКС-08-01 Гм «ДКС-96» (мкЗв/год)

**Table 2**

Basic statistical characteristics of measurement results of radiation background in microdistricts of Kropyvnytskyi using the dosimeter-radiometer MKS-08-01 Gm «DKS-96» ( $\mu\text{Sv/h}$ )

Мікрорайони м. Кропивницький / Microdistricts of Kropyvnytskyi	n	M $\pm$ SD	Me	Mo	Max	Min
Завадівка / Zavadiivka	20	1,54 $\pm$ 0,21	1,65	1,56	4,24	0,13
Ковалівка / Kovalivka	20	0,23 $\pm$ 0,03	0,18	0,15	0,26	0,08
Велика Балка / Velyka Balka	20	0,72 $\pm$ 0,08	0,83	0,42	1,13	0,25
Лісопаркова / Lisoparkova	20	0,13 $\pm$ 0,02	0,15	0,11	0,25	0,05
Район 5/5 / Raion 5/5	20	0,25 $\pm$ 0,04	0,24	0,17	0,38	0,15
Попова / Popova	20	0,21 $\pm$ 0,02	0,21	0,22	0,35	0,12
Міський сад / Miskyi sad	20	0,17 $\pm$ 0,02	0,15	0,16	0,21	0,11

радіаційного фону (див. табл. 1, 2). Середньозважена доза випромінювання в мікрорайоні Завадівка складає  $(1,54 \pm 0,21)$  мкЗв/год. Це пояснюється тим, що навколо шахти є санітарна зона та зона спостереження. В санітарній зоні знаходяться величезні терикони (насипи з каміння та землі) – відходи після видобутку з шахти. В зоні спостереження розташований житловий сектор. Аналогічна ситуація в мікрорайоні Велика Балка (див. табл. 2), де розробляється Центральна шахта уранових руд.

Відповідно до статистичних характеристик мікрорайону Лісопаркова (табл. 2) середньозважена доза випромінювання складає  $(0,13 \pm 0,02)$  мкЗв/год. Це пояснюється тим, що у лісовому масиві рівень радіації менший, ніж на відкритій місцевості, тому що радіоактивний пил осідає на кронах дерев і випромінювання частково екранізується деревами [17].

У табл. 3 наведено узагальнені статистичні характеристики (середнє арифметичне значення зі стандартним відхиленням, медіана, мода, максимальне та мінімальне значення) результатів вимірювання радіаційного фону 3 мікрорайонів м. Кропивницького за допомогою бездротового датчика (дозиметра). Бездротовий датчик в санітарній зоні мікрорайону Завадівка був встановлений біля об'єкту дослідження 3 (табл. 1), а в зоні спостереження – біля об'єкту 12.

В результаті вимірювань радіаційного фону мікрорайонів м. Кропивницького за допомогою дозиметра-радіометра МКС-08-01 Гм «ДКС-96» і бездротового датчика (дозиметра) отримали два статистичних ряди. Точність отриманих результатів підтвердили з використанням методу порівняння середніх величин за  $t$ -критерієм Ст'юдента. Статистична обробка матеріалів дослідження включала: розрахунок первинних статистичних показників; виявлення відмінностей між групами порівняння за допомогою параметричних ( $t$ -Ст'юдента) критеріїв. Статистично

radiation background (see Table 1, 2). The average irradiation dose in the microdistrict Zavadvka is  $(1.54 \pm 0.21)$   $\mu$ Sv/h. This is due to the fact that around the mine there is a sanitary zone and an observation zone. In the sanitary zone there are huge waste heaps (mounds of stones and earth) – waste after extraction from the mine. In the observation zone is the residential sector. A similar situation in the Velyka Balka microdistrict (see Table 2), where Tsentralna uranium mine is being developed.

According to the statistical characteristics of the Lisoparkova microdistrict (Table 2), the average irradiation dose is  $(0.13 \pm 0.02)$   $\mu$ Sv/h. This is due to the fact that in the forest masses the radiation level is lower than in open ground, because radioactive dust is settles on the trees and the radiation is partially screened by trees [17].

Table 3 summarizes the statistical characteristics (mean value of the standard deviation, median, mode, minimum and maximum values) of the results of radiation background measurement in 3 microdistricts of Kropyvnytskyi using a wireless sensor (dosimeter). The wireless sensor in the sanitary zone of microdistrict Zavadvka was installed near the object 3 (Table 1), and in the observation zone – near the object 12.

As a result of radiation background measurements of the Kropyvnytskyi microdistricts, we obtained two statistical series using the dosimeter-radiometer MKS-08-01 Gm «DKS-96» and a wireless sensor (dosimeter). The accuracy of the obtained results was confirmed using the comparing mean values method by the Student's  $t$ -test. Statistical analysis of research materials included: calculation of primary statistical indicators; identify the differences between the comparison groups using parametric (Student's  $t$ -test) criteria. Differences in levels of

### Таблиця 3

**Основні статистичні характеристики результатів вимірювання радіаційного фону мікрорайонів м. Кропивницького за допомогою бездротового датчика (дозиметра) (мкЗв/год)**

**Table 3**

**Basic statistical characteristics of measurement results of radiation background in microdistricts of Kropyvnytskyi using the wireless sensor (dosimeter) ( $\mu$ Sv/h)**

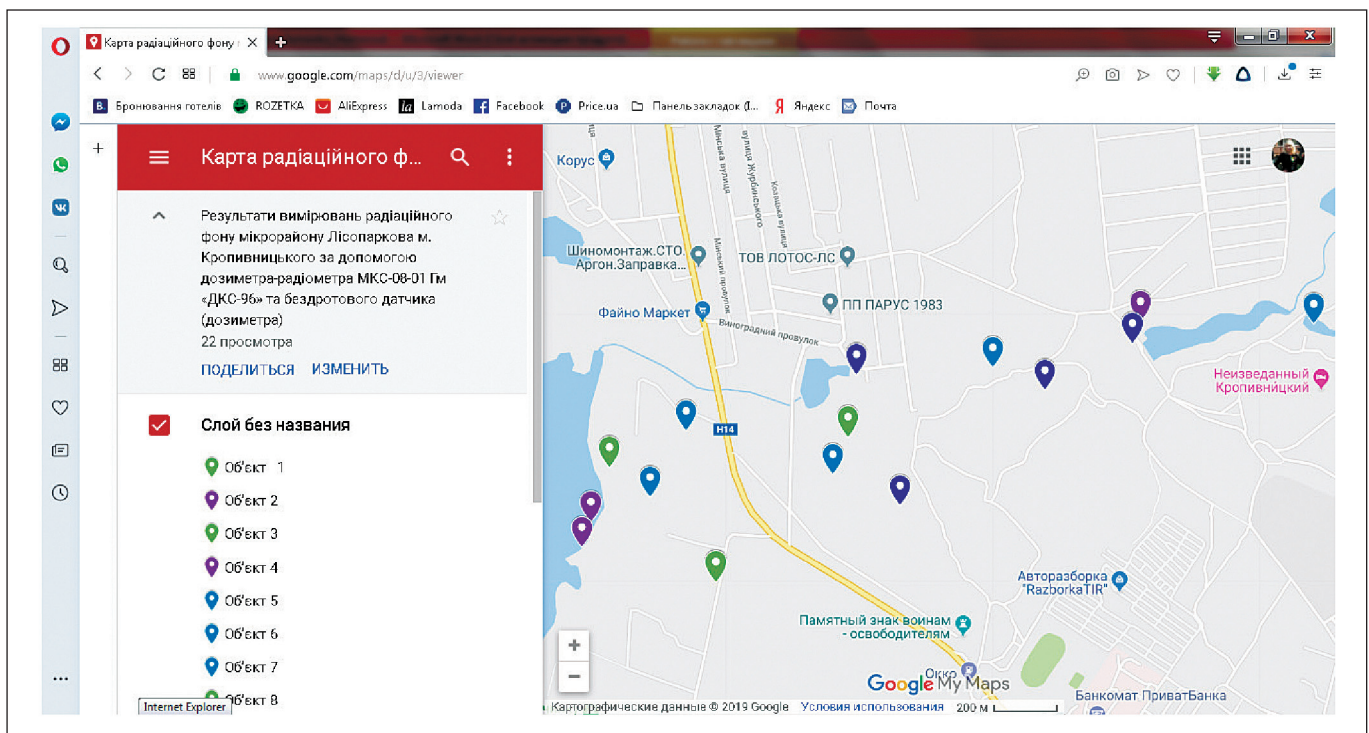
Мікрорайони м. Кропивницький / Microdistricts of Kropyvnytskyi	Зона / Zone	n	M $\pm$ SD	Me	Mo	Max	Min
Завадівка / Zavadvka	санітарна sanitary	152	4,13 $\pm$ 0,05	4,11	4,13	4,21	3,81
	спостереження observation	152	0,23 $\pm$ 0,02	0,21	0,21	0,32	0,17
Лісопаркова / Lisoparkova	–	152	0,15 $\pm$ 0,03	0,16	0,16	0,25	0,11
Район 5/5 / Raion 5/5	–	152	0,23 $\pm$ 0,02	0,20	0,18	0,29	0,15

вірогідними визнавали відмінності в рівнях забрудненості при ймовірності безпомилкового прогнозу 95 % і більше (тобто, при ймовірності помилки менше 5 %,  $p < 0,05$ ). Обробку та аналіз даних проводили у програмних пакетах Apache Open Office (Calc, Draw) [18].

За результатами дослідження створена інтерактивна карта радіаційного фону м. Кропивницького, на яку нанесені різними маркерами результати нашого дослідження після статистичного опрацювання (рис. 5), а створення карти забруднення радоном не є виправданим, оскільки певної залежності забруднення від місцевості не прослідковується, через те що рівень радону на відкритому просторі не є достовірним показником, бо постійно змінюється.

contamination with a probability of unmistakable prediction of 95 % or more (that is, with a probability of error less than 5 %,  $p < 0,05$ ) were considered statistically significant. Data processing and analysis was carried out in Apache Open Office software packages (Calc, Draw) [18].

As a result of the study, an interactive map of the Kropyvnytskyi radiation background was created, on which the results of our research after statistical processing are presented by different markers, Fig. 5, and the creation of a map of contamination with radon is not justified, because a certain dependence of pollution from the area is not followed, because the level of radon in the open space is not a reliable indicator, as it is constantly changing.



**Рисунок 5. Інтерактивна карта радіаційного фону мікрорайону Лісопаркова**

**Figure 5. Interactive map of the Lisoparkova microdistrict radiation background**

## ВИСНОВКИ

В результаті дослідження перевірено ефективність створеного нами бездротового датчика (дозиметра) для моніторингу радіаційної обстановки місцевості. Для аналізу, інтерпретації і донесення до широкого загалу отриманих результатів дослідження було створено власний додаток для смартфонів на базі операційної системи Android та розроблено інтерактивну карту радіаційного фону м. Кропивницького.

Концепція Державної цільової програми радіаційного і соціального захисту населення Кіровоградської області та міста Кропивницького встановлює, що

## CONCLUSIONS

As a result of the study, we checked the effectiveness of our wireless sensor (dosimeter) for monitoring the radiation situation in the area. To analyze, interpret and report to the general public the results of the study, we created our own application for smartphones based on the Android operating system and an interactive map of the Kropyvnytskyi radiation background was developed.

According to the Concept Note of the State Target Program of radiation and social protection of the Kirovohrad region population and the



область є єдиним в Україні регіоном з видобування та переробки уранових руд — стратегічної сировини для атомної енергетики. Це призводить до формування техногенно змінного природного радіаційного фону і підвищеного навантаження на людину від природних джерел радіації.

В результаті експерименту нами досліджено території — лісопарковий масив, паркова зона, берег річки Інгул, Солдатські ставки, яри та балки, житлові масиви. Встановлено, що рівень радіаційного фону в різних мікрорайонах міста залежить від геологічних особливостей Кіровоградщини — наявності розломів корінних порід і виходу гранітних пластів на поверхню, численного розгортання підприємств з видобутку та переробки граніту, урану, використання різних будівельних матеріалів для забудови житлових масивів.

Проблему переопромінення населення області ускладнює використання в будівництві місцевої мінеральної сировини з великим вмістом природних радіоактивних елементів ряду уран-радій.

Результати експерименту дозволили дійти висновку, що в деяких мікрорайонах Кропивницького рівень радіаційного забруднення підвищений.

Оцінка рівня опромінення людини від техногенно підсиленних радіоактивних джерел природного походження, зокрема, від  $^{238}\text{U}$  та  $^{222}\text{Rn}$  є ключовим фактором, який обумовлює ризик розвитку онкологічних патологій на Кіровоградщині.

Для міста Кропивницького актуальним є створення онлайн (динамічної) карти потужності експозиційної дози, оскільки шахта «Інгульська» добуває частину руди безпосередньо під містом Кропивницьким. Шахта розробляє два уранові родовища: Мічуринське і Центральне та має п'ять вертикальних стволів, а для обслуговування віддаленого Мічуринського родовища проритий підземний тунель завдовжки декілька кілометрів під центральними районами міста, що призводить до помітних змін в радіологічній картині навіть впродовж кількох днів.

Для оцінки шкоди здоров'ю від іонізуючого випромінювання мікрорайонів Кропивницького даних потужності експозиційної дози недостатньо. Основний вклад в дозу опромінення людини привносить внутрішнє опромінення, тому перспективами подальших досліджень є розробка системи онлайн-контролю, яка дозволяє як датчик використовувати індикатор рівня забруднення радоном, що може бути встановлений в житлових і підвальних приміщеннях будинків, та давати можливість жителям безпосередньо контролювати рівень небезпеки.

Kropyvnytskyi city, the oblast is the only Ukrainian region for the extraction and processing of uranium ores — strategic raw materials for nuclear energy. This leads to the formation of technogenically variable natural radiation background and an increased load on a person from natural sources of radiation.

As a result of the experiment, we studied the areas — woodland, parkland, the banks of the river Inhul, Soldiers' ponds, ravines, residential arrays. It was established that the radiation background level in different microdistricts of the city depends on the geological features of Kirovohrad region — the presence of faults bedrock of granite and output layers to the surface, numerical deployment of enterprises extracting and processing granite, uranium, the use of various building materials for housing developments.

The problem of region overexposure complicates the use in the construction of local mineral raw materials with high content of natural radioactive elements of uranium-radium series.

Experiment results allowed us to conclude that in some microdistricts of Kropyvnytskyi increased level of radiation pollution.

Evaluation of exposure for a human from technological reinforced naturally occurring radioactive sources, particularly from  $^{238}\text{U}$  and  $^{222}\text{Rn}$  is a key factor that determines the risk of cancerous pathologies in Kirovohrad region.

For the Kropyvnytskyi city it is relevant to create an online (dynamic) map of the exposure dose due to the fact that the Ingulskaya Mine extracts part of ore directly under the city Kropyvnytsky. The mine develops two uranium deposits: Michurinska and Tsentralna and has five vertical pillars, and for the service of the remote Michurinska deposit, an underground tunnel, which extends a few kilometers under the central areas of the city, leads to significant changes in the radiological picture even for several days.

To estimate the damage to health from ionizing radiation in the Kropyvnytskyi microdistricts, there is not enough data of the exposure dose. The main contribution to the radiation dose of man brings internal radiation, therefore the prospect of further research is the development of an online monitoring system that allows the use of a radon level indicator that can be installed in residential and basement rooms as a sensor and allow residents to directly control the level danger.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Міністерство екології та природних ресурсів України. Департамент екології та природних ресурсів Кіровоградської обласної державної адміністрації. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Кіровоградської області у 2016 році. URL: [https://menr.gov.ua/files/docs/Reg.report/Periodychna\\_dopovid\\_za\\_2016\\_rik\\_m.Kropivnytskyi.pdf](https://menr.gov.ua/files/docs/Reg.report/Periodychna_dopovid_za_2016_rik_m.Kropivnytskyi.pdf).
2. Національний інститут раку. Захворюваність, смертність, показники діяльності онкологічної служби Бюлетень Національного канцер-реєстру України № 19 «Рак в Україні, 2016 – 2017» (Київ, 2018). Захворюваність та смертність від злоякісних новоутворень. Стан онкологічної допомоги населенню. URL: [http://www.ncru.inf.ua/publications/BULL\\_19/index.htm](http://www.ncru.inf.ua/publications/BULL_19/index.htm).
3. Концепція Державної цільової програми радіаційного і соціального захисту населення Кіровоградської області та міста Кропивницького. Погоджено Розпорядження голови Кіровоградської обласної державної адміністрації 29 грудня 2017 № 690-р. URL: <http://www.kr-admin.gov.ua/Rozpor/Ua/2017/690.pdf>.
4. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А. Дози опромінення працівників гранітодобувних підприємств від Радону-222. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2017. Вип. 22. С. 97–107.
5. Рішення двадцять восьмої сесії Кіровоградської обласної ради шостого скликання (Кіровоград, 2014). Комплексна програма захисту населення Кіровоградської області від впливу іонізуючого випромінювання на 2014–2018 роки. URL: [http://www.kr-admin.gov.ua/DPI/Ua/2014/rish3\\_230114.pdf](http://www.kr-admin.gov.ua/DPI/Ua/2014/rish3_230114.pdf).
6. Бебешко В. Г., Прістер Б. С., Омелянець М. І. Радіо-біофізичні та медико-гігієнічні наслідки Чорнобильської катастрофи: шляхи пізнання та подолання. Практичний посібник для сімейного лікаря. Ужгород: ТДВ «Патент», 2017. 504 с.
7. Мицик Ю. О., Борис Ю. Б., Дац І. В., Мандк Л. В., Ільчишин О. С., Солдатенко О. Я., Данилейченко І. В., Макогонов І. О., Скалецька Н. М. Сучасний погляд на дію іонізуючого випромінювання на хворих при діагностиці нирково-клітинного раку і шляхи його уникнення. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2017. Вип. 22. С. 69–78.
8. Holmberg K., Meijer A. E., Harms-Ringdahl M., Lambert B. Chromosomal instability in human lymphocytes after low dose rate gamma-irradiation and delayed mitogen stimulation. *Int. J. Radiat. Biol.* 1998. Vol. 73, no. 1. P. 21–34.
9. Genotoxic effects of high dose rate X-ray and low dose rate gamma radiation in Apc(Min/+) Mice / A. Graupner, D. M. Eide, D. A. Brede, M. Ellender, E. Lindbo Hansen, D. H. Oughton, et al. *Environ. Mol. Mutagen.* 2017. Vol. 58(8). P. 560–569. doi: 10.1002/em.22121.
10. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013. URL: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/CELEX-32013L0059-EN-TXT.pdf>.
11. Верховна Рада України. Закон від 14.01.1998 № 15/98-ВР «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання». *Урядовий кур'єр*. 19.02.1998.

## REFERENCES

1. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Department of Ecology and Natural Resources of Kirovohrad Regional State Administration. [Regional report on the state of the environment of Kirovohrad region in 2016] [Internet]. Available from: [https://menr.gov.ua/files/docs/Reg.report/Periodychna\\_dopovid\\_za\\_2016\\_PIK\\_m.Kropivnytskyi.pdf](https://menr.gov.ua/files/docs/Reg.report/Periodychna_dopovid_za_2016_PIK_m.Kropivnytskyi.pdf). Ukrainian.
2. National Cancer Institute. Incidence, mortality, indicators of activity of the cancer service Bulletin of the National Chancellery Register of Ukraine No. 19 «Cancer in Ukraine, 2016–2017» (Kyiv, 2018). [Morbidity and mortality from malignant neoplasms. The state of oncological care to the population] [Internet]. Available from: [http://www.ncru.inf.ua/publications/BULL\\_19/index.htm](http://www.ncru.inf.ua/publications/BULL_19/index.htm). Ukrainian.
3. The concept of the State target program of radiation and social protection of the population of the Kirovohrad region and Kropyvnytskyi city. The Kirovohrad Regional State Administration Chairman Decree No. 690-p of the December 29, 2017 was approved [Internet]. Available from: <http://www.kr-admin.gov.ua/Rozpor/Ua/2017/690.pdf>. Ukrainian.
4. Hryhorieva LI, Tomilin YuA. [Doses from radon-222 irradiation for workers of the granite mining industry]. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2017;22:97-107. Ukrainian.
5. Decision of the twenty-eighth session of the Kirovohrad Regional Council of the Sixth Convocation (Kirovohrad, 2014). [Integrated program of population protection of Kirovohrad region from the influence of ionizing radiation for 2014-2018]. [Internet]. Available from: [http://www.kr-admin.gov.ua/DPI/Ua/2014/rish3\\_230114.pdf](http://www.kr-admin.gov.ua/DPI/Ua/2014/rish3_230114.pdf). Ukrainian.
6. Bebesko VH, Prister BS, Omelianets MI. [Radiobiophysical, medical and hygienic consequences of the Chernobyl disaster: ways of knowing and overcoming. Praktichnyi posibnyk dlia simeinoho likaria]. Uzhhorod: Patent; 2017. 504 p.
7. Mytsyk YuO, Borys YuB, Dats IV, Maniuk LV, Ilchysyn OS, Soldatenko OYa, Danyleichenko IV, Makohonov IO, Skaletska NM. [A modern view on the effect of radiation exposure of patients during diagnostic evaluation of renal cell carcinoma and ways to avoid it]. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2017;22:69-78. Ukrainian.
8. Holmberg K, Meijer AE, Harms-Ringdahl M, Lambert B. Chromosomal instability in human lymphocytes after low dose rate gamma-irradiation and delayed mitogen stimulation. *Int J Radiat Biol.* 1998;73(1):21-34.
9. Graupner A, Eide DM, Brede DA, Ellender M, Lindbo Hansen E, Oughton DH, et al. Genotoxic effects of high dose rate X-ray and low dose rate gamma radiation in Apc(Min/+) Mice. *Environ Mol Mutagen.* 2017;58(8):560-9. DOI: 10.1002/em.22121.
10. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 [Internet]. Available from: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/CELEX-32013L0059-EN-TXT.pdf>.
11. Verkhovna Rada of Ukraine. Law of 14.01.1998 No. 15/98-BP [On Protection of Human Rights from the Influence of Ionizing Radiation]. *Uriadovyi kurier*. 1998 Feb 19. Ukrainian.

12. Верховна Рада України. Закон від 08.02.1995 № 39/95-ВР «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку». *Голос України*. 13.04.1995.
13. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Київ : МОЗ України, 1997. 121 с.
14. Кабінет Міністрів України. Постанова від 04.06.1999 № 973 «Про порядок розроблення регіональних програм захисту населення від впливу іонізуючих випромінювань». *Офіційний вісник України*. 25.06.1999. № 23, стор. 62, стаття 1051, код акта 7774/1999.
15. Дозиметр-радиометр МКС-08 «ДКС-96». Руководство по эксплуатации АЖАХ.412152.002 РЭ. Желтые воды : ООО «НПП «ТЕТРА», 2015. 16 с.
16. Интернет-проект «Народный Мониторинг» – погодные и частные датчики и веб-камеры на карте мира. URL: <https://narodmon.ru/>.
17. Стеблюк М. І. Цивільна оборона : підручник. Київ : Знання, 2006. 487 с.
18. Руденко В. М. Математична статистика. Київ : Центр учбової літератури, 2012. 304 с.
12. Verkhovna Rada of Ukraine. Law of 08.02.1995 No. 39/95-BP [On the Use of Nuclear Energy and Radiation Safety]. *Holos Ukrainy*. 1995 Apr 13. Ukrainian.
13. [Radiation Safety Standards of Ukraine (RSSU-97)]. Kyiv: Ministry of Health of Ukraine; 1997. 121 p. Ukrainian.
14. Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution No. 973 of 04.06.1999 [On the Procedure for Developing Regional Programs for Protecting the Population from the Influence of Ionizing Radiation]. *Ofitsiyniy visnyk Ukrainy*. 1999;(23):62. Art 1051, Act 7774/1999. Ukrainian.
15. [Dosimeter-radiometer MKS-08-01 Gm «DKS-96». Instruction manual]. AZhAH.412152.002 RE. Zheltye vody: LLC «NPP «TETRA»; 2015. 16 p. Russian.
16. [Internet project «Narodnyj Monitoring» – weather and private sensors and web cameras on the world map] [Internet]. Available from: <https://narodmon.ru/>. Russian.
17. Stebliuk MI. [Civil Defense: Textbook]. Kyiv: Znannia; 2006. 487 p. Ukrainian.
18. Rudenko VM. [Mathematical statistics. Training manual]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury; 2012. 304 p. Ukrainian.

## ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

**Суховірська Людмила Павлівна** – кандидат педагогічних наук, виконуюча обов'язки завідувача кафедри медичної фізики та інформаційних технологій № 2 Донецького національного медичного університету, член Лабораторії дидактики фізики, технологій та професійної освіти Інституту педагогіки НАПН України у Центральноукраїнському державному педагогічному університеті імені Володимира Винниченка, м. Кропивницький

**Лунгол Ольга Миколаївна** – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри медичної фізики та інформаційних технологій № 2 Донецького національного медичного університету, член Лабораторії дидактики фізики, технологій та професійної освіти Інституту педагогіки НАПН України у Центральноукраїнському державному педагогічному університеті імені Володимира Винниченка, м. Кропивницький

**Соменко Дмитро Вікторович** – кандидат педагогічних наук, завідувач лабораторіями методики викладання фізики кафедри фізики та методики її викладання Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка, м. Кропивницький

**Гуменюк Катерина Володимирівна** – інженер-радіолог, відповідальна особа за радіаційну безпеку в ТОВ «Український центр томотерапії», м. Кропивницький

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Liudmyla P. Sukhovirska** – PhD (pedagogical sciences), Acting Head of the Chair of Medical Physics and Information Technologies No.2 of Donetsk National Medical University, Member of the Laboratory of didactics of physics, technologies and professional education of the Institute of Pedagogy of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine at the Centralukrainian Volodymyr Vynnychenko State Pedagogical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

**Olha M. Lunhol** – PhD (pedagogical sciences), Senior Lecturer of the Chair of Medical Physics and Information Technologies No.2 of the Donetsk National Medical University, Member of the Laboratory of didactics of physics, technologies and professional education of the Institute of Pedagogy of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine at the Centralukrainian Volodymyr Vynnychenko State Pedagogical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

**Dmytro V. Somenko** – PhD (pedagogical sciences), Head of the Laboratory of Physics teaching methods of the Chair of Physics and Methods of its teaching of Centralukrainian Volodymyr Vynnychenko State Pedagogical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

**Kateryna V. Humeniuk** – Radiologist engineer, responsible person for radiation safety at the Limited liability company «Ukrainian tomotherapy centre», Kropyvnytskyi, Ukraine