

УДК 615.849 - 614.7:613

Л. І. Григор'єва✉, Ю.А.Томілін

Чорноморський національний університет імені Петра Могили, вул. 68 Десантників, 10,
м. Миколаїв, 54003, Україна

ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ ПРАЦІВНИКІВ ГРАНІТОДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ ВІД РАДОНУ-222

Мета: визначення інтегральної величини річної ефективної дози від ^{222}Rn для працівників гранітодобувних підприємств та оцінка очікуваної за життя ефективної дози від ^{222}Rn .

Матеріал і методи: результати вимірювань потужності експозиційної дози зовнішнього опромінення, еквівалентної рівноважній об'ємній активності ^{222}Rn всередині робочих приміщень і на робочих місцях основних груп працівників гранітних кар'єрів Миколаївської області, результати досліджень ЕРОА ^{222}Rn в повітрі житлових приміщень цих працівників, результати досліджень вмісту ^{222}Rn у питній воді.

Результати та висновки. Працівники гранітних кар'єрів отримують подвійне радіаційне навантаження від ^{222}Rn за рахунок опромінення на робочому місці та вдома. Величина навантаження на робочих місцях від інгаляційного надходження ^{222}Rn з повітрям становила $(2,1 \pm 0,2)$ мЗв/рік (розкид 0,9–5,9), у житлових приміщеннях – $(4,1 \pm 0,2)$ мЗв/рік (розкид 1,8–5,9). Сумарна річна ефективна доза внутрішнього опромінення від надходження ^{222}Rn з повітрям до робочих і житлових приміщень та з питною водою склала в середньому $(6,5 \pm 0,2)$ мЗв/рік, а максимальна величина дорівнювала 20 мЗв/рік. Очікувана за життя доза хронічного опромінення від техногенно-підсиленних радіоактивних джерел природного походження для людей, які працюють на гранітних кар'єрах і при цьому мешкають в умовах підвищеного ризику від радону, складає в діапазоні значень 0,16–1,12 Зв. Результати досліджень вказують, що при оцінці ефектів, пов'язаних з опроміненням за рахунок ^{222}Rn для контингентів осіб, подібних обстеженому, необхідно враховувати всі джерела формування дози від цього радіонукліду.

Ключові слова: ефективна доза, радон-222, працівники гранітних кар'єрів.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2017. Вип. 22. С. 97–107.

L. Crygorieva✉, Yu. Tomilin

Petro Mohyla Black Sea National University, 10, 68 Marines street, Mykolayiv, 54003, Ukraine

Doses from radon-222 irradiation for workers of the granite mining industry

Objective: determining the integral value of annual effective dose from ^{222}Rn for workers of the granite mining industry and assessment for the expected life effective dose from ^{222}Rn .

Materials. Materials were the results of measurements of external exposure dose of radiation measurements equivalent equilibrium volume activity of ^{222}Rn in workrooms and workplaces of major groups of granite quarry workers Mykolaiv region, studies EROA ^{222}Rn air premises of these workers, research content ^{222}Rn in drinking water.

Results and conclusions. Granite quarry workers receive double radiation exposure of ^{222}Rn due to exposure in the workplace and at home. The load in the workplace due to inhalation of ^{222}Rn the air was (2.1 ± 0.2) mSv / year (variation 0.9–5.9) in a residential area – (4.1 ± 0.2) mSv/year (variation 1.8–5.9). The total annual effective dose from internal exposure from air flow and working premises and drinking water was on average (6.5 ± 0.2) mSv/year, equal to a maximum value of 20 mSv/year. The expected life for the chronic exposure dose of technological-naturally occurring radioactive sources for people who work in the granite quarries and, while living in high risk from radon is in the range of 0.16–1.12 Sv. The research results indicate that in assessing the effects associated with exposure due to radon-222 contingents persons such surveys must take into account all sources of this radionuclide dose.

Key words: effective dose, radon-222, granite quarry workers.

Problems of radiation medicine and radiobiology. 2017;22:97-107.

✉ Григор'єва Людмила Іванівна, e-mail: kafecobezpeka@ukr.net

ВСТУП

Визначення та оцінка рівнів опромінення людини від техногенно-підсилених радіоактивних джерел природного походження (ТПДПП) і, зокрема, від радону-222, давно визнане як актуальне завдання радіобіології. По-перше, це обумовлено розумінням того, що радон (^{222}Rn і ^{220}Rn) та продукти його розпаду є другою за значущістю після паління причиною виникнення раку легень [1, 2]. Радон є потужним чинником ризику розвитку онкологічної патології, саме радоном зумовлені 10 % усіх випадків раку легень [1–3]. Відомі дані щодо токсичної дії продуктів розпаду ^{222}Rn (^{210}Pb та ^{210}Bi) [4]. По-друге, це пов'язано з вимогами нової Директиви Ради 2013/59/Євратом, що встановлює основні стандарти безпеки для захисту від небезпеки від 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 [5]. Так, нова Директива розширює своє застосування на цілий ряд джерел і категорій опромінення, охоплює захист працівників на робочих місцях з радоном та природними радіоактивними матеріалами, а також населення, зокрема від радону в житлових приміщеннях. При цьому цілями нової Директиви є врахування останніх наукових розробок (наприклад, Публікації 103 МКРЗ), технологічного розвитку, а також накопиченого досвіду в забезпеченні радіаційної безпеки; регулюванні всіх джерел випромінювання, що піддаються регулюючому контролю, в тому числі – природних джерел; гармонізація числових критеріїв безпеки з новітніми міжнародними стандартами. Окремо у новій Директиві приділено увагу поліпшенню захисту працівників, що працюють з природними джерелами, робітників, які зазнають опромінення від радону, а ліміт дози для професійного опромінення має становити 20 мЗв/рік в будь-який окремий рік.

Окремі території півдня України (центральна і північна території Миколаївської, Одеської, Херсонської та Кіровоградської областей) характеризуються присутністю в підстильному шарі гірських порід гранітоїдного складу, що сприяє широкому розвитку в регіоні гранітодобувної та гранітопереробної промисловостей [2–6]. З іншого боку, ці породи характеризуються підвищеним кларковим вмістом радіоактивних елементів ряду уран-радію, а, значить, і ^{222}Rn з дочірніми продуктами його розпаду (ДПР). За даними вітчизняних авторів [2, 6–8], сумарна річна доза від природних радіонуклідів в

INTRODUCTION

Identification and evaluation of exposure for a human from technological-reinforced naturally occurring radioactive sources (TRNORS), particularly from radon-222, has long been recognized as an actual problem of modern radiobiology. First, this is due to understanding that radon (^{222}Rn and ^{220}Rn) and its breakdown products are the second most important after smoking cause of lung cancer and is a significant factor in cancer risk for 10 % of all cancers of the lung, caused by radon [1–3] and known data on the toxic effect of the decay products of ^{222}Rn (^{210}Pb and ^{210}Bi) [4]. Secondly, due to the new requirements of 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 on other hand, the European Atomic energy Community and their countries-members of the other [5]. Thus, the new directive extends the application on a number of sources and exposure categories, covering the safety of workers at their workplace from radon and natural radioactive materials, particularly from radon in homes. This new Directive aims are the consideration of the latest scientific developments (eg ICRP Publication 103), technological development and experience in ensuring nuclear safety; regulation of all sources of radiation exposed to regulatory controls, including – natural sources; harmonization numerical safety criteria with the latest international standards. Separately, the new Directive paid attention to improving protection: employees working from natural sources, workers exposed to radiation from radon and dose limit for occupational exposure shall be 20 mSv/year in any single year.

Some areas of the south of Ukraine (the central and northern area of Mykolaiv, Odesa, Kherson and Kirovohrad regions) are characterized by the presence in the underlying layer of granitoid rocks that promotes wide development in the region granit mining and granit processing industry [2–6]. On the other hand, these rocks are characterized by a high content of clarke radioactive elements of uranium-radium series and, based on this, of ^{222}Rn with its products of disintegration (DPR). According to local authors [2, 6–8] total annual dose from natural radionuclides in Ukraine

Україні є значною і становить 6,15 мЗв/рік. За оцінками НКДАР ООН внесок радону з ДПР в дозу опромінення населення планети від природних джерел становить 54 % [9]. В Україні радон досягає 79 % (4,2 мЗв/рік) величини зазначеної дози і близько 60 % величини середньої ефективної дози від усіх джерел [10, 11].

З огляду на інтенсивний розвиток в цьому регіоні гранітодобувної і гранітопереробної промисловостей, а також уранодобувної галузі, одними з актуальних завдань радіаційної безпеки та радіаційної гігієни на цих територіях виступають питання, що стосуються техногенно підсиленого природного радіаційного фону, в першу чергу, опромінення ^{222}Rn . За результатами наших досліджень, ефективна доза від ^{222}Rn з ДПР для населення північних і центральних районів Миколаївщини становить 4–5 мЗв/рік [2–4], що збігається з результатами інших досліджень, отриманих у Запорізькій та Кіровоградській областях [7].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначення інтегральної величини річної ефективної дози від ^{222}Rn для працівників гранітодобувних підприємств та оцінка очікуваної за життя ефективної дози ^{222}Rn .

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліджувалися річна ефективна доза (РЕД) зовнішнього опромінення, а також внутрішнього опромінення від ^{222}Rn з ДПР на працівників гранітодобувної галузі на півдні України. У процесі досліджень встановлено, що працівники гранітних кар'єрів можуть зазнавати подвійного опромінення від ^{222}Rn : на виробництві та в житлових приміщеннях (рис. 1), тому для цієї категорії працівників дослідження з визначення сумарного радіаційного навантаження від ^{222}Rn зроблені як на робочому місці ($E_{222\text{Rn,work}}^{\text{ing}}$), так і вдома ($E_{222\text{Rn,home}}^{\text{ing}}$), з урахуванням споживання питної води ($E_{222\text{Rn,home}}^{\text{ing}}$, $E_{222\text{Rn,work}}^{\text{ing}}$).

Матеріалами виступали результати вимірювань потужності експозиційної дози (ПЕД), вимірювань еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) ^{222}Rn всередині робочих приміщень і на робочих місцях основних груп працівників (оператор дробильної установки, бурильник перфораторного буріння, каменяр, машиніст бульдозера, машиніст екскаватора) гранітний кар'єр (Первомайського гранітного і Первомайського гранітно-щебеневого кар'єрів, Олександрівського, Прибузького, Софіївського, Ново-Данилівського гранітних кар'єрів), результати досліджень ЕРОА ^{222}Rn в повітрі житлових приміщень цих працівників, результати досліджень вмісту ^{222}Rn у питній воді, яка споживається

is significant and is up to 6.15 mSv/year. According to UNSCEAR [9] the contribution of radon with daughter products of decay (DPD) to the dose of the world's population from natural sources is 54 %. In Ukraine radon reaches 79 % (4.2 mSv/year) values specified dose and about 60 % of the value of the average effective dose from all sources [10, 11].

Given the extensive development in these areas and in the region of granit mining and granite processing industry and uranium mining industry, one of the pressing issues of radiation safety and radiation hygiene in these areas are the issues relating technologically amplified natural background radiation, especially radiation ^{222}Rn . According to the results of our research [2–4] effective dose from ^{222}Rn with DPD to the northern and central areas of Mykolayiv is 4–5 mSv/year, which coincides with the results of other studies obtained in Zaporizhzhia, Kirovohrad region [7].

OBJECTIVE

Definition of annual ^{222}Rn effective dose for workers of granite mining and granite processing industries and evaluation of the life expected effective dose from ^{222}Rn for these workers.

MATERIALS AND METHODS

We studied the annual effective dose (AED) of external exposure and internal exposure of ^{222}Rn with DPD for workers of granite mining field in southern Ukraine. During the studies we found that workers may be subject to a double exposure of ^{222}Rn : at work and in residential areas (Figure 1), so for this category of workers the research for determination of the total radiation exposure of ^{222}Rn was made both at the workplace ($E_{222\text{Rn,work}}^{\text{ing}}$) and at home ($E_{222\text{Rn,home}}^{\text{ing}}$), taking into account the consumption of drinking water ($E_{222\text{Rn,home}}^{\text{ing}}$, $E_{222\text{Rn,work}}^{\text{ing}}$).

As the materials were taken: the measurement results of exposure dose (MED), measurements of equivalent equilibrium volume activity (EEVA) of ^{222}Rn inside workplaces of the major groups of workers (operator crushing plant, mason, machinist bulldozer, excavator driver) at granite quarry (Pervomaiskiy Granite Quarry and Pervomaiskiy Granite and Macadam Quarry, Oleksandrivskiy, Prybuzkiy, Sofiivskiy, Novo-Danylivskiy Granite Quarries); studies of EEVA ^{222}Rn in the air at home of these workers; studies of ^{222}Rn content in drinking water that consumed by these workers. EEVA ^{222}Rn measurements

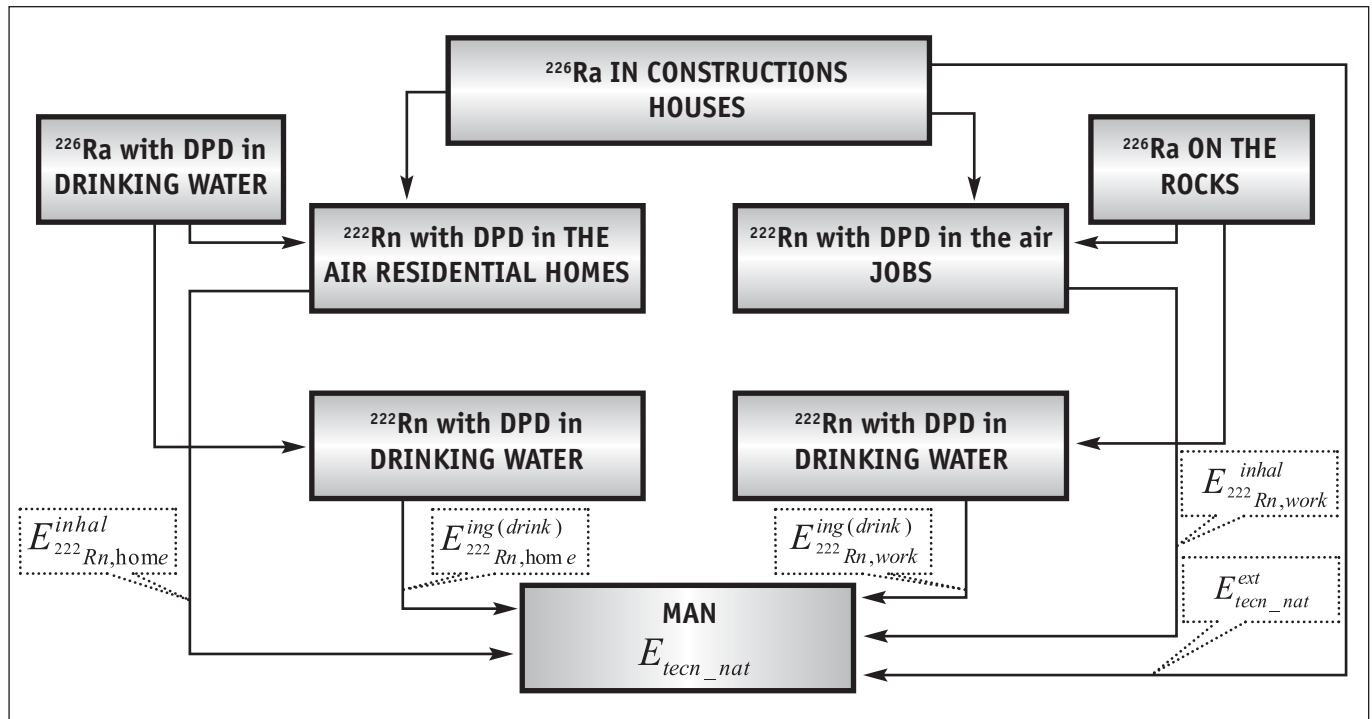


Рисунок 1. Блок-схема формування радіаційного навантаження від техногенно-підсилених джерел природного походження (ТПДПП) для працівників гранітних кар'єрів на півдні України.

$E_{222Rn,home}^{inhal}$, $E_{222Rn,work}^{inhal}$ – (РЕД) при інгаляційному шляху потрапляння ^{222}Rn і дочірніх продуктів радону (ДПР) з повітрям житлового і робочого приміщень відповідно;

$E_{222Rn,home}^{ing(drink)}$, $E_{222Rn,work}^{ing(drink)}$ – РЕД від потрапляння ^{222}Rn з питною водою вдома і на робочому місці відповідно;

$E_{tecn_nat}^{ext}$ – РЕД зовнішнього опромінення вдома;

E_{tecn_nat} – інтегральна РЕД зовнішнього і внутрішнього опромінення робітників гранітного кар'єру від ТПДППП.

Figure 1. Block diagram of the formation of radiation exposure from technological-reinforced naturally occurring radioactive sources (TRNORS), for workers of granite quarries in southern Ukraine.

$E_{222Rn,home}^{inhal}$, $E_{222Rn,work}^{inhal}$ – AED at inhalation of ^{222}Rn with DPD through with air at home and work areas, in accordance;

$E_{222Rn,home}^{ing(drink)}$, $E_{222Rn,work}^{ing(drink)}$ – AED at inhalation of ^{222}Rn with drinking water at home and work areas, in accordance;

$E_{tecn_nat}^{ext}$ – effective dose per year of external exposure at home;

E_{tecn_nat} – integrated effective dose per year of external and internal exposure from granite quarry workers for TRNORS.

цими працівниками. Вимірювання ЕРОА ^{222}Rn виконували методом пасивної трекової дозиметрії з експозицією детекторів у житлових приміщеннях 6–12 місяців, на робочих місцях – не менше 30 діб. У житлових приміщеннях трекові детектори встановлювали в місцях найбільшого перебування особи (вітальня, спальня), а на робочих місцях – в кабіні екскаватора, бульдозера, або розміщували на верхньому одязі фахівця.

Для підвищення достовірності результатів вимірювання, порівняння ефективності, чутливості і надійності засобів вимірювання на кожному робочому місці і в житлових приміщеннях використовували три типи детекторів: «Altras» фірми «Patras» (Німеччина), НЦ-детектори (Росія), детектори «DEGBAK» (Україна) на основі полікарбонатів типу СР-39, що характеризуються широким енергетичним інтерва-

were performed by passive dosimetry track with exposure detectors in dwellings during 6–12 months, in the workplace – at least 30 days. In the accommodation track detectors installed in areas of maximum stay of persons (living room, bedroom) and in the workplace – in the cab excavator, bulldozer, or placed on outerwear specialist.

To improve the reliability of measurement results, the comparing, sensitivity and reliability of measurements at each workplace and in homes were used three types of detectors: «Altras» firm «Patras» (Germany), SC detectors (Russia), detectors «DEGBAK» (Ukraine) based polycarbonates type CR – 39, characterized by a broad energy interval sensitivity to alpha radiation of

лом чутливості до альфа-випромінювання 0,1–20 MeV. Визначення вмісту ^{222}Rn у воді виконували гамма-спектрометричним методом за рівноважним вмістом гамма-випромінюючих ДПР. Всього виконано 95 вимірювань ЕРОА ^{222}Rn на робочих місцях працівників гранітних кар'єрів, така ж кількість – у їх житлових приміщеннях. На вміст ^{222}Rn у воді досліджено 87 джерел питної води в місцях проживання працівників гранітних кар'єрів, і 9 джерел питної води, яка споживається ними на гранітних кар'єрах (при цьому в кожному з таких питних джерел на гранітний кар'єр виконано від 3 до 6 аналізів).

Визначення РЕД зовнішнього опромінення людини від техногенно-підсиленого радіаційного фону здійснено за результатами визначення ПЕД і з огляду на час перебування людини на відкритій місцевості. Визначення ефективної дози від ^{222}Rn при його надходженні інгаляційним шляхом і з питною водою здійснено відповідно до математичних моделей МКРЗ [12] і даних доповіді НКДАР ООН [13]: дозу на одиницю інгаляційного надходження ^{222}Rn до людини при перебуванні в житловому приміщенні прийнято $0,042 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}/\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, а на робочому місці – $0,016 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}/\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$. Дозу на одиницю надходження ^{222}Rn з питною водою прийнято $1\cdot 10^{-8} \text{ мЗв}\cdot\text{Бк}^{-1}$ [12], річний обсяг споживання питної води – 800 л [11]. Середнє значення РЕД визначали спочатку для певного кар'єра, а потім, як середньозважене, для всіх кар'єрів. Величину сумарної річної ефективної дози опромінення працівників гранітних кар'єрів від техногенно-підсилених джерел природного походження, визначалося з урахуванням всіх його складових.

При статистичній обробці результатів досліджень застосована програма STATISTICA 6.0. При порівнянні середніх величин результатів досліджень (для великих вибірок) використаний t-критерій Стьюдента за допомогою програми STATISTICA 6.0, MathCard 7.0.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Середнє значення ПЕД на робочих місцях працівників Первомайського, Прибузького, Олександрівського, Ново-Данилівського гранітних кар'єрів склало $(17 \pm 3) \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$. Показники ПЕД у Софіївському гранітному кар'єрі становили рівні, в середньому, $(22 \pm 2) \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$, причому ПЕД на рівні 24–28 $\text{мкР}\cdot\text{год}^{-1}$ зареєстровано на робочих місцях екскаватора, дробильника, бурильника. В Ново-Данилівському кар'єрі, де проводилися роботи з розкриття гранітних шарів, зареєстрований рівень ПЕД $35 \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$. Виходячи з середніх значень ПЕД на робочих місцях та враховуючи час перебування людини на робочому місці

0.1–20 MeV. Determination of ^{222}Rn in water was performed with gamma-spectrometric method for equilibrium content of gamma-emitting DPD. Totally were made 95 measurements of EEVA of ^{222}Rn at workplace of the experts at granite quarries. The same amount was made in their homes. About ^{222}Rn were studied 87 water sources of drinking water habitats of granite quarry workers, and 9 sources of drinking water consumed by them in granite quarries (with each of these sources for drinking water were performed from 3 to 6 analyzes).

Definitions of EDY of human external irradiation from technological-reinforced background radiation amplified made by results of definition EDR and considering the time of human being in the open. The definition of effective dose from ^{222}Rn when it arrives by inhalation and with drinking water made according to mathematical models of the ICRP [12] and data report UNSCEAR [13] dose per unit of inhalation of ^{222}Rn to person when staying in an apartment 0,042 premises taken $\text{mZv}\cdot\text{year}^{-1} / \text{Bk}\cdot\text{m}^{-3}$, and in the workplace – $0.016 \text{ mZv}\cdot\text{year}^{-1} / \text{Bk}\cdot\text{m}^{-3}$. The dose per unit flow of ^{222}Rn in drinking water taken $1\cdot 10^{-8} \text{ mZv}\cdot\text{Bk}^{-1}$ [12], the annual consumption of drinking water – 800 liters [11]. Average EDY originally determined for a quarries, and then as the weighted average of all quarries. The value of total annual effective dose of granite quarry workers from technogenic sources of reinforced natural origin, determined with all its components.

In the statistical analysis of the results applied research program STATISTICA 6.0. When comparing the averages results of research (for large samples) used t-Student test using STATISTICA 6.0., MathCard 7.0.

RESULTS AND DISCUSSION

Average EDR value at the workplaces of workers of Pervomaiskiy, Prybuzkiy, Novo-Danylivskiy granite quarries was $(17 \pm 3) \mu\text{R}\cdot\text{year}^{-1}$. Value of $(22 \pm 2) \mu\text{R}\cdot\text{year}^{-1}$ was a EDR performance in Sofiiivskiy Granite Quarry, EDR in a range of 24–28 $\mu\text{R}\cdot\text{year}^{-1}$ was registered at a workplace excavator and driller. The EDR registered 35 $\mu\text{R}\cdot\text{year}^{-1}$ in the Novo-Danylivskiy Granite Quarry where work was carried out to reveal the layers of granite. The value of annual effective dose of external radiation workers in the granite quarries workplace amounted to Pervomaiskiy,

2000 год·рік⁻¹ [12], величина річної ефективної дози зовнішнього опромінення працівників гранітних кар'єрів на робочому місці становила: на Первомайському, Прибузькому, Олександрівському, Ново-Данилівському гранітних кар'єрах, в середньому, (0,32 ± 0,05) мЗв/рік; на Софіївському – (0,42 ± 0,04) мЗв/рік.

У таблиці 1 наведено статистичні характеристики (середньоарифметичне значення зі стандартним відхиленням, медіана, мода, мінімальне і максимальне значення) результатів вимірювань ЕРОА ²²²Rn для кожного кар'єра. Як видно з таблиці 1, майже для всіх гранітних кар'єрів характерний широкий інтервал розкиду даних. У Софіївському гранітному кар'єрі майже всі вимірювання ЕРОА ²²²Rn становили значення вище 100 Бк·м⁻³, що пояснює більш високі показники медіанного та модального середніх значень ЕРОА ²²²Rn, отриманих для цього кар'єра по відношенню до аналогічних показників для інших кар'єрів. Коефіцієнт варіації результатів визначення ЕРОА ²²²Rn у цьому кар'єрі також виявився високим (~44 %) через широкий інтервал розкиду даних. Середньозважена по кар'єрах величина ЕРОА ²²²Rn на робочих місцях становила (129 ± 2) Бк·м⁻³.

Виходячи з малості вибірок даних по кожному робочому місцю (оператор дробильної установки, бурильник перфораторного буріння, каменотес, машиніст бульдозера, машиніст екскаватора), на кожному гранітному кар'єрі (n = 24), проаналізовано величини середніх значень активності ²²²Rn на цих робочих місцях, отриманих з усіх кар'єрів. Значуща різниця між середніми значеннями ЕРОА ²²²Rn отримана для робочого місця оператора дробарки {(137 ± 28) Бк·м⁻³, n = 19}, бурильника перфораторного буріння {(160 ± 69) Бк·м⁻³, n = 19}, каменотеса {(171 ± 53) Бк·м⁻³, n = 19) по відношенню до робочого місця машиніста екскаватора {(96 ± 35) Бк·м⁻³, n = 13) та машиніста бульдозера {(86 ± 25) Бк·м⁻³, n = 16). Вважаємо, що надалі потрібно про-

Прыбузкий, Oleksandrivskiy, Novo-Danylivskiy granite quarries, on average, (0.32 ± 0.05) mSv/year; in Sofiivskiy – (0.42 ± 0.04) mSv/year (based on 2000 hour·year⁻¹ – the average values of the EDR in the workplace and considering the time of human presence in the workplace).

Table 1 shows the statistical characteristics (mean value of the standard deviation, median, mode, minimum and maximum values) EEVA of ²²²Rn measurement results for each quarry. As can be seen from Table 1, almost all granite quarries have a wide range of spread data. In Sofiivskiy Granite Quarry almost all measurement values were EEVA of ²²²Rn above 100 Bk·m⁻³, which explains the higher rates of median and modal ²²²Rn EEVA average values, obtained for this career against the similar indicators for other quarries. The coefficient of variation results EROA determining ²²²Rn in this career was also high (~ 44 %) spread across a wide range of data. On career average value EEVA of ²²²Rn in the workplace was (129 ± 2) Bk·m⁻³.

Based on the small size of data sample for each workplace, namely the operator crushing plant, driller, mason, machinist bulldozer, excavator driver on each granite quarry (n = 24), the average values of the ²²²Rn activity in those workplaces derived from all quarries were analyzed. Significant difference between the mean values was obtained the for EEVA ²²²Rn operator station crushers {(137 ± 28) Bk·m⁻³, n = 19}, driller {(160 ± 69) Bk·m⁻³, n = 19}, stonemason {(171 ± 53) Bk·m⁻³, n = 19}, comparatively to the workplace of excavator driver {(96 ± 35) Bk·m⁻³, n = 13} and bulldozer {(86 ± 25) Bk·m⁻³, n = 16}. We believe that future research should be continued

Таблиця 1

Основні статистичні характеристики результатів вимірювань ЕРОА ²²²Rn на робочих місцях працівників гранітних кар'єрів (Бк·м⁻³).

Table 1

Basic statistical characteristics of measurement results of EEVA ²²²Rn at workplaces of granite quarry workers (Bk·m⁻³).

Гранітний кар'єр / granite quarry	n	M ± SD	Me	Mo	Max	Min
Первомайський гранітний кар'єр / Pervomaiskiy Granite Quarry	15	136 ± 24	124	138	220	85
Первомайський гранітно-щебеновий кар'єр / Pervomaiskiy Granite and Macadam Quarry	15	124 ± 46	118	133	190	50
Олександрівський гранітний кар'єр / Oleksandrivskiy Granite Quarry	16	110 ± 34	118	120	160	86
Прибузький гранітний кар'єр / Prybuzkiy Granite Quarry	15	156 ± 48	133	152	310	84
Софіївський гранітний кар'єр / Sofiivskiy Granite Quarry	22	196 ± 86	160	184	355	58
Ново-Данилівський гранітний кар'єр / Novo-Danylivskiy Granite Quarry	12	110 ± 36	118	116	240	58

Таблиця 2

Основні статистичні характеристики результатів вимірювань ЕРОА ²²²Rn у житлових приміщеннях працівників гранітних кар'єрів (Бк·м⁻³).

Table 2

Basic statistical characteristics of measurement results of EEVA ²²²Rn in a residential area of granite quarry workers (Bk·m⁻³).

Гранітний кар'єр / granite quarry	n	M ± SD	Me	Mo	Max	Min
Первомайський гранітний кар'єр / Pervomaiskiy Granite Quarry	15	108 ± 30	98	112	120	55
Первомайський гранітно-щебеновий кар'єр / Pervomaiskiy Granite and Macadam Quarry	15	123 ± 12	102	125	160	45
Олександрівський гранітний кар'єр / Oleksandrivskiy Granite Quarry	16	88 ± 10	86	102	160	45
Прибузький гранітний кар'єр / Prybuzkiy Granite Quarry	15	83 ± 10	87	96	120	55
Софіївський гранітний кар'єр / Sofiiivskiy Granite Quarry	22	127 ± 34	117	132	230	75
Ново-Данилівський гранітний кар'єр / Novo-Danylivskiy Granite Quarry	12	87 ± 19	88	94	180	65

довжити дослідження щодо виявлення певних груп працівників гранітних кар'єрів, що зазнають підвищеного радонового навантаження на робочому місці.

Результати досліджень ЕРОА ²²²Rn у житлових приміщеннях працівників гранітних кар'єрів наведені в таблиці 2.

Значуща різниця між середніми значеннями активності ²²²Rn у житлових приміщеннях отримана для персоналу Первомайського гранітного, Первомайського гранітно-щебенового та Софіївського гранітних кар'єрів. При цьому, за нашими спостереженнями, підвищені величини ЕРОА ²²²Rn характерні для будівель із бетонних конструкцій та поширеної у сільській місцевості глини (саману); таких, що мають гранітний фундамент, не мають вентиляційних підвальних приміщень, а також приміщень, де вентиляція або відсутня, або була недостатньою. В будинках з хорошою вентиляцією житлового приміщення, а також підпільного простору, ЕРОА ²²²Rn була низькою. Слід відзначити, що для працівників Первомайського гранітного, Первомайського гранітно-щебенового і Софіївського гранітного кар'єрів середні величини активності радону знаходилися на рівні нормативів для існуючих будинків – 100 Бк·м⁻³ [12]. Середньозважена по кар'єрах величина ЕРОА ²²²Rn у житлових приміщеннях становила (96 ± 2) Бк·м⁻³.

Результати досліджень вмісту ²²²Rn у питній воді, що використовується робітниками гранітних кар'єрів (колязья, свердловини) (табл. 3), свідчили про перевищення 100 Бк·л⁻¹ (ДР ²²²Rn у питній воді [12]) в деяких питних джерелах. Як видно з таблиці 3, максимальні значення ²²²Rn виявлено в артезіанській воді на території Софіївського кар'єру – (345 ± 17) Бк·л⁻¹. Високі значення вмісту ²²²Rn у питній воді відзначено також для підземних джерел з Олександрівського гранітного кар'єру. На підставі отриманих даних вважаємо, що необхідно додатково провести дослідження вмісту

to identify the specific groups of workers of granite quarry exposed to elevated radon load in the workplace.

The results of studies EROA ²²²Rn in a residential area of granite quarry workers shows in Table 2.

Based on the data in Table 2 there are significant difference between the average values of ²²²Rn activity in residential areas obtained for personnel of Pervomaiskiy Granite Quarry, Pervomaiskiy Granite and Macadam Quarry and Sofiiivskiy Granite Quarry. However, according to our observations the value EEVA of ²²²Rn increased in buildings built from concrete structures, or widespread in rural clay; buildings having a granite foundation, and also at the buildings where ventilation facilities either absent or was inadequate. And in homes with good ventilation of premises and underground space EEVA of ²²²Rn was low. It should be noted that experts of Pervomaiskiy and Sofiiivskiy Granite Quarries, Pervomaiskiy Granite and Macadam Quarry averages were radon activity level standards for existing buildings – 100 Bk·m⁻³ [12]. On quarries average value EEVA ²²²Rn in a residential area was 96 ± 2 Bk·m⁻³.

The research results of ²²²Rn content in the water used by the workers of granite quarries (wells) (Table 3) showed exceeding 100 Bk·l⁻¹ (NORM of ²²²Rn in drinking water [12]) in some drinking water sources. As shown in Table 3, the maximum values of ²²²Rn found in artesian aquifer in the territory of Sofiiivskiy Granite Quarry – (345 ± 17) Bk·l⁻¹. High values of ²²²Rn content in the water was also noted for underground sources of Oleksandrivsky Granite Quarry. Based on these data we believe that it is necessary to conduct research in

Таблиця 3

Вміст ^{222}Rn у питній воді з артезіанських свердловин та колодязів гранітних кар'єрів (Бк·л⁻¹).

Table 3

Content of ^{222}Rn in drinking water from artesian wells and wells of granite quarries (Bk·l⁻¹).

Місце відбору / sampling point	Джерело питної води / source of drinking water	n	M ± SD
Софіївський гранітний кар'єр / Sofiivskiy Granite Quarry	Артезіанська скважина (25 м) / artesian well (25 m)	3	345 ± 17
	Колодязь (5 м) / well (5 m)		165 ± 15
Олександрівський гранітний кар'єр / Oleksandrivskiy Granite Quarry	Колодязь (6 м) / well (6 m)	4	104 ± 5
	Артезіанська скважина (25 м) / artesian well (25 m)	4	74 ± 19
	Артезіанська скважина (50 м) / artesian well (50 m)	3	44 ± 3
Прибузький гранітний кар'єр / Prybuzkiy Granite Quarry	Артезіанська скважина (30 м) / artesian well (30 m)	6	55 ± 5
	Артезіанська скважина (42 м) / artesian well (42 m)	4	23±5
Ново-Данилівський водогін / Novo-Danilivskiy water supply	Артезіанська скважина (25 м) / artesian well (25 m)	5	20±5
Казанківський водогін / Kazankivskiy water supply	Артезіанська скважина (25 м) / artesian well (25 m)	3	19±9

^{222}Rn у джерелах питної води на всіх гранітних кар'єрах для отримання більшої кількості даних і розробки рішення, де саме потрібно забезпечувати працівників привізною водою. За результатами наших досліджень (n = 87) вміст ^{222}Rn у питній воді, споживаній цими фахівцями вдома, склав у середньому (50 ± 18) Бк·л⁻¹.

На підставі результатів визначення ЕРОА ^{222}Rn у повітрі робочих (табл. 1) та житлових приміщень (табл. 2) працівників гранітних кар'єрів обчислені річні ефективні дози внаслідок інгаляційного шляху надходження ^{222}Rn на робочому місці і вдома та сумарні дози від інгаляційного надходження ^{222}Rn на гранітному кар'єрі і вдома (табл. 4).

За даними таблиці 4, маємо, що величина дозового навантаження для робітників гранітних кар'єрів від

addition ^{222}Rn content in drinking water at all granite quarries to get more information and develop solutions where necessary to ensure that workers use imported water. The results of ^{222}Rn in drinking water consumed by these experts home was on average 50 ± 18 Bk·l⁻¹ (n = 87).

Based on the definition of ^{222}Rn EEVA in the air of working places and homes of the granite quarries staff (Table 1, 2) an annual effective dose due to inhalation flow ^{222}Rn in the workplace and at home and total dose from inhalation of ^{222}Rn at house and granite quarries was calculated (tab. 4).

According to the Table 4 a value of dose accumulation for granite quarries workers from ^{222}Rn at

Таблиця 4

Річна ефективна доза (РЕД) від ^{222}Rn для працівників гранітних кар'єрів (мЗв/рік).

Table 4

Annual effective dose (AED) from ^{222}Rn for granite quarry workers (mSv/year).

Гранітний кар'єр / granite quarry	n	РЕД на робочому місці AED at workplace			РЕД вдома AED at home			Інтегральна РЕД Untegrated AED		
		M ± SD	Max	Min	M ± SD	Max	Min	M ± SD	Max	Min
Первомайський гранітний кар'єр Pervomaiskiy Granite Quarry	15	2,2 ± 0,3	3,5	1,4	4,5 ± 0,4	5,0	2,3	6,7 ± 0,6	8,5	3,7
Первомайський гранітно-щебеневий кар'єр Pervomaiskiy Granite and Macadam Quarry	15	2,0 ± 0,2	2,5	0,8	5,2 ± 0,5	7,0	1,8	7,2 ± 0,7	9,5	2,6
Олександрівський гранітний кар'єр Oleksandrivskiy Granite Quarry	16	1,8 ± 0,4	2,4	1,1	3,7 ± 0,4	6,7	1,8	5,5 ± 0,5	9,1	2,9
Прибузький гранітний кар'єр Prybuzkiy Granite Quarry	15	2,5 ± 0,4	5,0	1,1	3,5 ± 0,4	5,0	2,8	6,0 ± 0,6	10,0	3,9
Софіївський гранітний кар'єр Sofiivskiy Granite Quarry	22	3,2 ± 0,6	5,9	1,8	5,3 ± 1,4	9,7	3,2	8,7 ± 3,4	15,6	5,0
Ново-Данилівський гранітний кар'єр Sofiivskiy Granite Quarry	12	1,8 ± 0,4	3,8	0,9	3,7 ± 0,8	7,6	2,7	5,5 ± 1,9	11,4	3,8

^{222}Rn вдома є більшою за величину дози на робочому місті.

Значущу різницю між середніми значеннями сумарної річної дози від ^{222}Rn отримано для працівників Софіївського гранітного кар'єру, Первомайського гранітного і Первомайського гранітно-щебеневого кар'єрів по відношенню до працівників кар'єрів, де зареєстровано нижчі величини сумарного навантаження від ^{222}Rn (Олександрівського та Ново-Данилівського).

Середньозважена за кар'єрами річна ефективна доза від інгаляційного надходження ^{222}Rn з повітрям робочих місць складала $(2,1 \pm 0,2)$ мЗв/рік, при розкиді від 0,9 до 5,9 мЗв/рік; середньозважена за кар'єрами річна ефективна доза від інгаляційного надходження ^{222}Rn з повітрям житлових приміщень складала $(4,1 \pm 0,2)$ мЗв/рік, при розкиді від 1,8 до 9,7 мЗв/рік.

За отриманими результатами досліджень вмісту ^{222}Rn у воді з підземних джерел питної води річна доза від ^{222}Rn складала: у Прибузькому і Ново-Данилівському гранітних кар'єрах $(0,02 \pm 0,01)$ мЗв/рік; в Олександрівському гранітному кар'єрі – близько 0,04 мЗв/рік, а в Софіївському гранітному кар'єрі досягала 0,15 мЗв/рік. Середнє значення річної ефективної дози від надходження ^{222}Rn з питною водою вдома становило $(0,05 \pm 0,01)$ мЗв/рік.

У підсумку, сумарна річна ефективна доза опромінення робітників гранітних кар'єрів за інгаляційним і пероральним шляхами (за середньозваженими показниками) складала $(6,2 \pm 0,6)$ мЗв/рік.

Величину очікуваної за життя ефективної дози для працівників гранітних кар'єрів від ТПДПП $E_{\text{tecn-nat},70,T}$, які проживають в умовах підвищеного ризику опромінення від ^{222}Rn , розраховували для референтної тривалості життя людини 70 років [11], як суму доз, одержуваних вдома і на роботі: очікувана за 70-річний період життя людини доза хронічного опромінення від ТПДПП в житлових приміщеннях $E_{\text{tecn-nat},70,T}^{\text{home}}$ для радононосних територій складала 0,06–0,92 Зв.

Очікуване радіаційне навантаження від ТПДПП на виробництві (очікувану професійну дозу) $E_{\text{tecn-nat},70,T}^{\text{work}}$ визначали, виходячи з середнього часу роботи на виробництві 25–30 років: величина дози становила 0,1–0,2 Зв. Сума цих величин дає очікувану за життя ефективну дозу від ТПДПП для працівників гранітних кар'єрів у 0,16–1,12 Зв.

ВИСНОВКИ

1. Геологічні особливості півдня України – наявність розломів корінних порід і вихід гранітних пластів на поверхню, численне розгортання підприємств з видобутку та переробки граніту як для потреб будівництва,

home is greater than the value of dose at a workplace.

Significant difference () between the mean values of total annual dose from ^{222}Rn obtained for workers of Sofiivskiy Granite Quarry, for Pervomaiskiy Granite Quarry and Pervomaiskiy Granite and Macadam Quarry employees – in relation to the pits, where registered lower levels of the total load of ^{222}Rn (Oleksandrivskiy and Novo-Danylivskiy).

Average annual effective dose for quarries from inhalation of ^{222}Rn with air was (2.1 ± 0.2) mSv/year, at emission from 0.9 to 5.9 mSv/year; the average annual effective dose for quarries from inhalation of ^{222}Rn with air was (4.1 ± 0.2) mSv/year, at emission from 1.8 to 9.7 mSv/year.

According to the research results of ^{222}Rn in underground sources of drinking water its annual dose ^{222}Rn was: (0.02 ± 0.01) mSv/year in Pribuzkyi and Novo-Danylivskiy Granite Quarries; about 0,04 mSv/year – in Oleksandrivskiy Granite Quarry, up to 0,15 mSv/year – in Sofiivskiy Granite Quarry. Average annual effective dose from ^{222}Rn in drinking water at home was (0.05 ± 0.01) mZv/year.

Summing up all the values obtained we found that the total annual effective dose of radiation for granite quarries workers by inhalation and orally (by average weight) was 6.2 ± 0.6 mSv / year.

The magnitude of the expected life effective dose for granite quarry workers from TRNORS $E_{\text{tecn-nat},70,T}$, live in high-risk exposure of ^{222}Rn , was calculated for the reference length of human life about 70 years [11] as the sum of doses received at home and at work, specifically the expected chronic exposure dose of TRNORS for the 70 years of human lifelenth in homes $E_{\text{tecn-nat},70,T}^{\text{home}}$ for ^{222}Rn areas was 0.06–0.92 Sv.

Expected radiation load of TRNORS in production (expected occupational dose) $E_{\text{tecn-nat},70,T}^{\text{work}}$ was determined based on the average duration of the production of 25–30 years: the dose was 0.1–0.2 Sv. The sum of these values gives the expected effective dose of TRNORS for the life for granite quarry workers is 0.16–1.12 Sv.

CONCLUSIONS

1. The geological features of the South Ukraine – the presence of faults bedrock of granite and output layers to the surface, and a large deployment of enterprises extracting and processing

так і для отримання урану, призводять до формування техногенно зміненого природного радіаційного фону і підвищеного навантаження на людину від природних джерел радіації, в першу чергу від радону-222. Встановлено, що працівники гранітних кар'єрів зазнають подвійного навантаження від ^{222}Rn на робочому місці і вдома. Ефективна доза від інгаляційного надходження ^{222}Rn з повітрям робочих місць становила $(2,1 \pm 0,2)$ мЗв/рік (при розкиді від 0,9 до 5,9 мЗв). Середньозважена за кар'єрами річна ефективна доза від інгаляційного надходження ^{222}Rn з повітрям житлових приміщень складала $(4,1 \pm 0,2)$ мЗв/рік (при розкиді від 1,8 до 9,7 мЗв). Сумарна річна ефективна доза внутрішнього опромінення від надходження ^{222}Rn з повітрям до робочих і житлових приміщень та з питною водою складала у середньому $(6,5 \pm 0,2)$ мЗв/рік, а максимальна величина дорівнювала 20 мЗв/рік.

2. Очікувана за життя доза хронічного опромінення від ТПДПП для людей, які працюють на гранітних кар'єрах і при цьому мешкають в умовах підвищеного ризику від радону, складає в діапазоні значень 0,16–1,12 Зв.

3. Результати досліджень вказують, що при оцінці ефектів, пов'язаних з опроміненням за рахунок радону-222 для контингентів осіб, подібних до обстеженого, необхідно враховувати всі джерела формування дози від цього радіонукліда.

Подяка

Автори висловлюють глибоку подяку фахівцям Миколаївської науково-дослідної лабораторії радіаційної безпеки населення (НДЛ «Ларані») МОЗ України за участь у проведенні багаторічних досліджень на різних об'єктах Миколаївської області при виконанні НДР «Розробка заходів щодо зниження дозового навантаження від радону на населення регіону» (договір № 28-117 з управлінням охорони здоров'я Миколаївської облдержадміністрації).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А. Доза випромінювання ^{222}Rn в окремих районах півдня України. Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Луцьк, 2008. № 1. С. 291-294.
2. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А. Сумарна доза іонізуючого випромінювання від компонент природного і штучного походження для населення півдня України. Вісник проблем біології і медицини. 2008. Вип. 1. С. 70-74.
3. Картирование территории Николаевской области по суммарной дозовой нагрузке на население : Отчет о НИР (промеж.) Никол. науч.-исслед. лабор. по проблемам радиационной безопасности населения «Ларани». № 5197/1. Николаев, 2000. 58 с.
4. Лось И. П., Павленко Т. А. Существующие дозы облучения населения Украины. Ядерная та радіаційна безпека. 2009. № 1. С. 18-22.

granite for construction purposes as well as for uranium, are responsible for the formation of technologically modified natural background radiation and high load per person from natural sources, primarily from radon-222. Established that granite quarry workers are under double burden of ^{222}Rn : at work and at home. The effective dose from inhalation of ^{222}Rn with air was (2.1 ± 0.2) mSv (at emission from 0.9 to 5.9 mSv). Average for quarries annual effective dose from inhalation of ^{222}Rn with the air of premises amounted to (4.1 ± 0.2) mSv (at emission from 1.8 to 9.7 mSv). The total annual effective dose from internal exposure to air flow ^{222}Rn working and residential and drinking water was, on average (6.5 ± 0.2) mSv, and the maximum value – 20 mSv.

2. The expected lifetime dose for chronic exposure of TRNORS for people who work in the granite quarries and, while living in high risk area from radon is in the range of 0.16–1.12 Sv.

3. The research results indicate that in assessing the effects associated with exposure due to radon-222 for population groups of persons similar to surveyed ones all the sources of this radionuclide dose should be taken into account.

Acknowledgment

The authors express deep gratitude to those skilled specialists of Mykolaiv research laboratory of radiation safety population (SRL «Larani») Ministry of Health of Ukraine, who took part in long-term research on various objects of Mykolaiv region in carrying GDR «Development of measures to reduce the dose accumulation of radon on the population region «(№28-117 agreement with the Department of health Mykolayiv regional administration).

REFERENCES

1. Grigorieva LI, Tomilin YuA. [Dose radiation ^{222}Rn in parts of southern Ukraine]. *Naukovyi Visnyk Volyn's'koho Natsional'nogo Universitetu imeni Lesi Ukrainky*. 2008;(1):291-4. Ukrainian.
2. Grigorieva LI, Tomilin YuA. [Total dose of ionizing radiation from component of natural and artificial origin for population of the south of Ukraine]. *Visnyk problem biolohii i medytsyny*. 2008;(1):70-4. Ukrainian.
3. Nikolaev Scientific-research laboratory for problems of public radiation safety. [Mapping the territory of Nikolaev region in terms of total dose load on the population: Research report (interm.)]. № 5197/1. Nikolaev; 2000. 58 p. Ukrainian.

5. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013. URL: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/CELEX-32013L0059-EN-TXT.pdf>.
6. Pavlenko T. A., Los I. P., Aksenov N. V. Ignor - Rn levels and irradiation doses in the territory of the Ukraine. Radiat. Meas. 1996. Vol. 26. P. 585-591.
7. Лось І. П., Павленко Т. А. Ограничение облучения человека техногенно-усиленными источниками природного происхождения. Довкілля та здоров'я. 2003. Вип. 1. С. 49-54.
8. Лось І. П., Михайлов О. В., Байда Л. К., Костенко А. І., Грицак Л. П. Порівняльний аналіз сумарних колективних та ретроспективних відновлених діапазонів доз опромінення населення, що постраждало від аварії на ЧАЕС. Гігієна населених місць. Київ, 2000. Вип. 36, Ч. 1. С. 30-37.
9. Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты. Доклад НКДАР ООН за 1994 г. на Генеральной Ассамблее. Нью-Йорк : НКДАР ООН, 2008. Т. 1-2.
10. Лось І. П., Осадча О. М. Основні напрями розробки національної протирадонової програми. Наукові записки. Серія : Біологія та екологія. 2006. Т. 18. С. 63-66.
11. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). URL: <http://rb.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2011/12/NRBU97.pdf>
12. ICRP Publication 65 (Annals of the ICRP Vol. 23 № 2) Protection against Radon-222 at home and at work. Vienna: Pergamon, 1994. 78 p.
13. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects of radiation on the environment. UNSCEAR (2008) Report of the United Nations Scientific Committee on General Assembly with Scientific Annex. New York : UN, 2008.
4. Pavlenko TA, Los' IP. [Existing irradiation dose population of Ukraine]. Yaderna ta radiatsiina bezpeka. 2009;(1):18-22. Ukrainian.
5. 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>.
6. Pavlenko TA, Los' IP, Aksenov NV. Ignor - Rn levels and irradiation doses in the territory of the Ukraine. Radiat Meas. 1996;(260):585-91.
7. Los' IP, Pavlenko TA. [Limitation of human exposure technologically-enhanced naturally occurring sources]. Dovkillia i Zdorovia. 2003;(1):49-54. Ukrainian.
8. Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects. Report UNSCEAR 1994 at the General Assembly. Part. 1-2. New York: UNSCEAR; 2008.
9. Los' IP, Mikhailov AO, Bayda LK, Kostenko AI, Hrycak LP. [Comparative analysis of total collective and retrospective recovered bands doses to the population affected by the Chernobyl accident]. Hihiena naselenykh mist'. 2000;36(1):30-7. Ukrainian.
10. Los' IP, Osadcha OM. [Main directions of development of national antiradone program]. Naukovi zapysky; serii Biologia ta Ecologia. 2006;(180):63-6. Ukrainian.
11. [Norms of Radiation Safety of Ukraine (NRSU - 97)] [Internet]. Available from: <http://rb.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2011/12/NRBU97.pdf>. Ukrainian.
12. ICRP Publication 65 (Annals of the ICRP Vol. 23 № 2) Protection against Radon-222 at home and at work. Vienna: Pergamon; 1994. 78 p.
13. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Effects of radiation on the environment. UNSCEAR (2008) Report of the United Nations Scientific Committee on General Assembly with Scientific Annex. New York: UN; 2008.

Стаття надійшла до редакції 14.06.2017

Received: 14.06.2017