ISSN 2304-8336. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Вип. 23.

УДК 613.16:614.876:551.52

А. В. Куцак✉

Запорізький державний медичний університет, пр-т Маяковського, 26, м. Запоріжжя, 69035, Україна

ПРОБЛЕМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НАСЕЛЕННЯ, ЯКЕ ЗАЗНАЄ ОПРОМІНЕННЯ ВІД ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ (огляд літератури)

Проведено аналіз наукової літератури з метою узагальнення даних багаторічних досліджень опромінення населення природними джерелами іонізуючого випромінювання. З метою оцінки сучасного стану проблеми забезпечення радіаційного захисту населення України від природних джерел випромінювання проаналізовано наукові підходи і принципи теорії протирадіаційного захисту на прикладі рекомендацій провідних міжнародних організацій та вітчизняної специфіки обмеження опромінення від природних джерел. Висвітлено основні історичні етапи введення національних нормативів з обмеження опромінення людей за рахунок окремих природних джерел випромінювання. Наведено результати досліджень закордонних і вітчизняних учених щодо природної радіоактивності об'єктів довкілля і середовища життєдіяльності людини.

За даними Наукового комітету ООН з дії атомної радіації (НКДАР ООН), середньосвітова річна ефективна доза опромінення на душу населення від природних джерел складає 2,4 мЗв, що становить 46 % сумарної дози опромінення людини. В Україні доза від природних джерел опромінення становить 3,5 мЗв · рік$^{-1}$, що визначає 60 % сумарної дози опромінення населення.

За даними НКДАР ООН, середньосвітова річна доза опромінення людини від усіх чинників складає 5,2 мЗв · рік$^{-1}$. При цьому природна компонента з урахуванням техногенно-підсиленого фону вносить в сумарну дозу 4,2 мЗв · рік$^{-1}$, а в ній основною складовою є радон-222 – 1,5 мЗв · рік$^{-1}$. В Україні сумарна доза опромінення населення трохи більша і складає 5,9 мЗв · рік$^{-1}$, а внесок природної складової з урахуванням техногенно-підсиленого фону значно вищий і досягає 5,1 мЗв · рік$^{-1}$. Частка радону-222 в ній складає 2,4 мЗв · рік$^{-1}$.

Приділена увага переоцінці величини радіаційних ризиків, обумовлених радоном, що послужило основою для вдосконалення підходів, спрямованих на забезпечення радонобезпеки для населення. Радон є найбільш визначальним радіаційним фактором для населення, що потребує ретельного регулюючого контролю за допомогою державних програм.

Ключові слова: природна радіоактивність, опромінення населення за рахунок природних джерел випромінювання, радіаційна безпека населення, радонова проблема.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2018. Вип. 23. С. 49–60. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-49-60.

✉ Куцак Алла Валеріївна, e-mail: alla758@ukr.net

ISSN 2304-8336. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Вип. 23.

A. V. Kutsak✉

Zaporizhzhya State Medical University, 26 Mayakovsky ave., Zaporizhzhya, 69035, Ukraine

THE MODERN STATE OF PROBLEM OF PROVIDING RADIO PROTECTION OF UKRAINE'S POPULATION FROM NATURAL RELEASE SOURCES (review of literature)

The article focuses on a scientific literature review connected with data summarizing of long-term studies of population exposure to natural ionizing radiation sources. In order to assess the current state of the problem of ensuring radiation protection of the population of Ukraine from natural sources of radiation, the author analyzes the scientific approaches and principles of the theory of anti-radiation protection by examining the recommendations of leading international organizations and the domestic specifics of limiting irradiation from natural sources. Moreover, it highlights the main historical stages of the introduction of national regulations for limiting population exposure to certain natural radiation sources. Besides, the author presents research results of foreign and national scientists towards the natural radioactivity of environmental compartments and area of human habitation.

According to the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), an average annual effective radiation dose per capita from natural sources is 2.4 mSv that is 46 % of the total dose of human exposure. In Ukraine, a dose from natural radiation sources is 3.5 mSv per year that determines 60 % of the total dose of human exposure.

Reported by UNSCEAR an average annual dose of human exposure to all factors is 5.2 mSv, while the natural component with the technogenic enhanced background contributes 4.2 mSv per year to the total dose where there is radon-222 – 1.5 mSv per year. In Ukraine, the total dose of population exposure is rather more and is 5.9 mSv per year, while the natural component ratio with the technogenic enhanced background is notably higher and up to 5.1 mSv per year. Part of radon-222 is 2.4 mSv per year in it.

Attention is paid to the reassessment of the magnitude of radiation risks caused by radon, which served as the basis for improving approaches aimed at ensuring radon safety for the population. Radon is the most determining radiation factor for the population that requires careful regulatory control by government programs.

Key words: natural radioactivity, population exposure to natural radiation sources, radiation safety of the population, radon problem.

Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018;23:49-60. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-49-60.

Останніми роками в центрі постійної уваги населення і наукової громадськості знаходиться проблема радіації та її впливу на організм людини. В значній мірі це пов'язано з найважчою в історії атомної промисловості та енергетики аварією на Чорнобильській АЕС, внаслідок якої виникло стійке довготривале радіоактивне забруднення радіонуклідами цезію, стронцію і плутонію територій, повітря, природних вод, рослинного і тваринного світу [1]. В той же час, не заперечуючи впливу аварійних викидів на радіоактивність навколишнього середовища слід зазначити, що в наш час основним чинником опромінення населення є не Чорнобильська аварія, а природна радіоактивність, яка супроводжує людину на протязі всього життя.

Мета роботи – аналіз наукових підходів і принципів теорії протирадіаційного захисту на прикладі рекомендацій провідних міжнародних організацій та вітчизняної специфіки обмеження опромінення

In recent years, at the focus of the constant attention of the population and the scientific community is the problem of radiation and its impact on the human body. To a large extent this is due to the worst nuclear accident and power industry accident at the Chornobyl Nuclear Power Plant, which resulted in sustained long-term radioactive contamination of territories, air, natural waters, flora and fauna by radioactive cesium, strontium and plutonium [1]. At the same time, without denying the impact of emergency emissions on the radioactivity of the environment, it should be noted that in our time the main factor of exposure to the population is not the Chornobyl accident, but the natural radioactivity that accompanies the person throughout his life.

The objective of the work is to analyze scientific approaches and principles of the theory of radiation protection on the example of the recommendations of leading international organizations and the do-

ISSN 2304-8336. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Вип. 23.

від природних джерел з метою оцінки сучасного стану проблеми забезпечення радіаційного захисту населення України від природних джерел випромінювання.

Реальне усвідомлення науковою громадськістю необхідності найпильнішого аналізу рівнів природного опромінення населення прийшло лише з введенням у практику радіаційного захисту поняття ефективної дози як міри оцінки несприятливих наслідків опромінення. Введення цього фундаментального поняття сучасної радіаційної гігієни в кінці минулого століття призвело до того, що всі види випромінювання стали розглядатися за своїм впливом в єдиному контексті, незалежно від їх походження. Це викликало різке зростання інтересу до досліджень природної радіоактивності об'єктів довкілля і середовища життєдіяльності людей, розгортання масштабних національних програм з вивчення рівнів природного опромінення населення в різних країнах. Практично одночасно з виходом Публікації 39 МКРЗ (1984 р.) [2] в різних країнах стали вводитися національні нормативи з обмеження опромінення населення за рахунок окремих природних джерел випромінювання.

В Україні в 1987 році фахівці НДІ загальної і комунальної гігієни ім. О.М. Марзєєва за участю фахівців Ленінградського НДІ радіаційної гігієни підготували методичні рекомендації [3], основним результатом використання яких у практиці було виявлення в Україні кар'єрів з видобутку щебеню з підвищеним вмістом природних радіонуклідів і призупинення їх використання для будівництва житлових та громадських будівель (Орліковського Полтавської області, Токівського, Постепнянського, Мар'їнського, Усть-Кам'янського Дніпропетровської області і Березівського Житомирської області).

За відсутності в СРСР нормативів вмісту радону в повітрі приміщень, в Україні у 1989 році було розпочато роботи щодо створення вимірювальної бази (включаючи еталон радонової атмосфери). Паралельно були проведені перші декілька сотень вимірювань [4]. У 1990 році у відповідності з рекомендаціями Всесоюзного наукового центру радіаційної медицини АМН СРСР в Україні був встановлений жорсткий рівень контролю (в термінах НРБУ-97 – рівень дій) радону – 100 Бк · м$^{-3}$. Практично це перший гігієнічний норматив радону на території України, встановлений на основі результатів власних вимірювань. В 1991 році в Україні видаються республіканські будівельні норми (РБН-365-91), які встановили допустимі рівні радіаційних параметрів

mestic specificity of the restriction of radiation from natural sources in order to assess the current state of the problem of radiation protection of Ukraine's population from natural sources of radiation.

The real awareness of the scientific community about the need for the most thorough analysis of the levels of natural radiation of the population came only with the introduction of the concept of effective dose in the practice of radiation protection as a measure of evaluation of the adverse effects of radiation. The introduction of this fundamental notion of modern radiation hygiene at the end of the last century has led to the fact that all types of radiation began to be considered for their influence in a single context, regardless of their origin. This caused a sharp increase in interest to the research of natural radioactivity of environmental objects and the environment of human life, the deployment of large-scale national programs of study the levels of natural radiation exposure in different countries. Almost simultaneously with the 39 ICRP Publications (1984) [2], the national standards were introduced in various countries to limit exposure to the population at the expense of certain natural sources of radiation.

In Ukraine in 1987, specialists of the SRI of General and Communal Hygiene name O.M. Marseev, with the participation of specialists from the Leningrad SRI of Radiation Hygiene, prepared methodological recommendations [3], the main result of which use in practice was the detecting quarries with the production of gravel with high content of natural radionuclides in Ukraine and suspending their use for the builsing of residential and public buildings (Orlikovsky of Poltava region, Tokyvskiy, Postepnyansky, Mariinsky, Ust-Kamenskogo of Dnipropetrovsk region and Berezivsky of Zhytomyr region).

In the absence in the USSR of radon standards in the air of the premises, in 1989, in Ukraine, was begun work of the creation of a measuring base (including the Radon atmosphere standard). In parallel, the first few hundred measurements were carried out [4]. In 1990, in accordance with the recommendations of the All-Union Research Center for Radiation Medicine of the USSR Academy of Medical Sciences, a strict level of control (in terms of NRBU-97 – level of action) of radon was set at 100 Bq · m^{-3} in Ukraine. This is practically the first hygienic norm of radon in Ukraine, which was established on the basis of the results of its own measurements. In 1991, Republican construction norms (RBN-365-91) which established acceptable

ISSN 2304-8336. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Вип. 23.

в будівництві і визначили порядок проведення їх контролю [5]. В подальшому Україна самостійно вела нормування радіаційних параметрів в цій сфері, найбільш вагомий національний документ – НРБУ-97 [6].

За даними звіту Наукового Комітету з дії атомної радіації Організації Об'єднаних Націй (НКДАР ООН) [7], розрахованими для середніх значень параметрів джерел іонізуючого випромінювання, річна ефективна доза опромінення населення, яке проживає в районах з помірним кліматом, від природних джерел складає 2,4 мЗв (більше як 60 % складає радон).

За даними НКДАР ООН, вітчизняних і зарубіжних науковців у сумарній дозі опромінення населення провідну роль відіграє природна компонента (табл. 1).

levels of radiation parameters in construction and determined the order of their control were issued in Ukraine[5]. Subsequently, Ukraine self-regulated the radiation parameters in this area, the most important national document – NRBU-97 [6].

According to the report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) [7], calculated for the average values of ionizing radiation sources parameters, the annual effective dose of radiation from natural sources of the population living in temperate climates is 2.4 mSv (more than 60 % is radon).

According to UNSCEAR data of domestic and foreign scientists in the total dose of the population a major role play the natural component (Table 1).

Таблиця 1

Ефективні дози опромінення населення, обумовлені джерелами іонізуючого випромінювання (мЗв·рік$^{-1}$)

Table 1

Effective radiation dose of the population, caused by sources ionizing radiation (mSv·year^{-1})

Джерела опромінення Sources of irradiation	НКДАР [7] UNSCEAR	США [8] USA	Україна [9] Ukraine
Природні джерела / natural sources::	2,4	3,1	3,5
- зовнішнє опромінення / external irradiation	0,9	0,5	1,1
- внутрішнє опромінення (в т. ч. радон) / internal irradiation (including radon)	1,5	2,6	2,4
Техногенно-підсилений природний фон / technogenically-reinforced natural background	1,8	1,9	1,6
Медичне опромінення / medical exposure	0,4	3,0	0,5
Професійне опромінення / occupational exposure	0,6	–	0,3
Всього / total	5,2	6,2	5,9

Середньозважена сумарна ефективна доза опромінення населення України, обумовлена природними джерелами, складає 3,5 мЗв · рік$^{-1}$, причому істотна частка цієї дози формується за рахунок радону-222 в повітрі приміщень – 2,4 мЗв · рік$^{-1}$ [9].

Безумовно, найбільша частка опромінення населення припадає на природний радіаційний фон [10], який формується двома компонентами – космічним випромінюванням і випромінюванням природних радіонуклідів, розсіяних у земній корі, ґрунті, повітрі, воді та інших об'єктах довкілля. Крім того, сюди відносять і технологічно змінений радіаційний фон антропогенного походження, який формується в результаті діяльності людини. Причиною підвищення такого фону є, наприклад, будівельні матеріали, викиди теплових електростанцій, використання природного газу в побуті, використання деяких мінеральних добрив тощо [11].

Природні радіонукліди в будівельних матеріалах створюють дозу зовнішнього і внутрішнього опромінення людей. При цьому доза зовнішнього оп-

The weighted average effective dose of irradiation of the population of Ukraine, caused by natural sources, is 3.5 mSv · year^{-1}, with a significant proportion of this dose being formed at the expense of radon-222 in the air of the premises – 2.4 mSv · year^{-1} [9].

Naturally, the largest part of exposure of the population comes from the natural radiation background [10], which is formed by two components – cosmic radiation and radiation of natural radionuclides scattered in the earth's crust, soil, air, water and other objects of the environment. In addition, here is also the technologically altered radiation background of anthropogenic origin, which is formed as a result of human activity. The reason of increase of this background is, for example, building materials, emissions from thermal power stations, the use of natural gas in everyday life, the use of certain mineral fertilizers, etc. [11].

Natural radionuclides in building materials create a dose of external and internal radiation of people. In this case, the dose of external irradia-

ISSN 2304-8336. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Вип. 23.

ромінення істотно залежить від концентрації гамма-випромінювачів, що входять до сімейств радію-226 (^{226}Ra), торію-232 (^{232}Th), а також калію-40 (^{40}K), присутніх у будівельних матеріалах і конструкціях житлових та громадських будівель [12]. Внутрішнє опромінення людини обумовлене перш за все вмістом радію-226 в огороджуваних конструкціях житлових приміщень (стіни, підлога, стеля), що є джерелом радіоактивного газу радону-222 та його короткоіснуючих продуктів розпаду.

Найменшу питому активність має деревина (нижче 1 Бк · кг$^{-1}$). Високу питому активність мають граніти, туфи, пемза (200–400 Бк · кг$^{-1}$), алюмосилікатна цегла, доменний шлак, зольний пил. Активність бетону залежно від вихідних компонентів (піску і цементу), як правило, в 30–50 разів більша, ніж активність деревини. У зв'язку з цим рівні гамма-фону в дерев'яних, цегляних та панельних спорудах різні і становлять 0,10–0,12; 0,13–0,25; 0,12–0,35 мкГр · год$^{-1}$, відповідно [8].

За результатами вимірювань проб мінеральної будівельної сировини встановлено, що вміст природних радіонуклідів у сировині 12 % кар'єрів України перевищує рівень 370 Бк · кг$^{-1}$ (нормативну величину), що не дає можливості використання її в житловому будівництві. Визначено, що середньозважена за структурою житлового фонду ефективна доза опромінення населення від природних радіонуклідів у будівельних матеріалах становить 0,23 мЗв · рік$^{-1}$, а максимальні значення доз опромінення досягають 1 мЗв · рік$^{-1}$ [13, 14].

У табл. 2 приведені результати досліджень вмісту природних радіонуклідів у будівельних матеріалах України [14].

tion significantly depends on the concentration of gamma emitters belonging to the families of radium-226 (^{226}Ra), thorium-232 (^{232}Th), and potassium-40 (^{40}K) present in building materials and structures of residential and public buildings [12].

The internal radiation of man is primarily due to the content of radium-226 in enclosed constructions of residential premises (walls, floor, ceiling), which is the source of radon-222 radioactive gas and its short-lived decay products.

The least specific activity have wood (less than 1 Bq · kg^{-1}). High specific activity have granites, tuffs, pumice (200–400 Bq · kg^{-1}), aluminosilicate brick, blast furnace slag, ash dust. The activity of concrete, depending on the initial components (sand and cement), is usually 30–50 times greater than the activity of wood. In this regard, the levels of gamma background in wooden, brick and panel buildings are not the same and are 0,10–0,12; 0.13–0.25; 0.12–0.35 μGy · h^{-1}, respectively [8].

According to the results of the measurements-1 samples of mineral construction materials, it was found that the content of natural radionuclides in the raw materials of 12 % of Ukrainian quarries exceeds the level of 370 Bq · kg^{-1} (normative value), which prevents its use in housing construction. It is determined that the average weighted by structure of the housing stock an effective dose of radiation from the population of natural radionuclides in building materials is 0.23 mSv · year^{-1}, and the maximum values of irradiation doses reach 1 mSv · year^{-1} [13, 14].

In Table 2 the results of studies on the content of natural radionuclides in Ukrainian building materials are presented [14].

Таблиця 2

Вміст природних радіонуклідів у будівельних матеріалах України

Table 2

The content of natural radionuclides in building materials of Ukraine

Вид матеріалу Type of material	Питома активність, Бк·кг$^{-1}$ Specific activity, Bq·kg^{-1}			Ефективна питома активність, Бк·кг$^{-1}$ Effective specific activity, Bq·kg^{-1}
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	
Щебінь / cubes	36,6	79,3	971	223
Гранітний відсів / granite discharge	43,0	118,2	1171	297,3
Гравій керамзитовий / keramzite gravel	37,0	28,0	658	130
Бетон / concrete	25,0	36,0	380	106
Вапно / lime	58,0	44,0	139	127
Цегла / Brick	44,0	51,0	704	171
Глина / clay	41,0	78,0	574	204
Пісок / sand	12,0	33,0	165	68
Кахель керамічний / ceramic tile	89,0	102	680	280
В середньому / in average	49,0	53,0	496	162

ISSN 2304-8336. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Вип. 23.

В той же час, слід зазначити, що ряд регіонів України мають великі родовища нерудних матеріалів, розташованих в зоні Українського кристалічного щита, які містять високий вміст природних радіонуклідів, що вимагає постійного радіаційного контролю [15].

Залежно від геологічних і гідрогеологичних умов у різних районах Землі створюються умови для формування широкого спектру фонових концентрацій радону. Разом з районами зі зниженими фоновими концентраціями радону у водах є території з дуже високим, «ураганним» вмістом радону. Такі території виявлені в Бразилії, Індії, Канаді. Відомі джерела з високими концентраціями радону в Ірані. Підвищеними фоновими концентраціями радону характеризуються скандинавські країни [16].

В Україні середньозважена величина концентрації радону в підземних водах для регіонів, розташованих в зоні Українського кристалічного щита дорівнює 261 Бк · $л^{-1}$, для районів, що розташовані поза цим масивом – 37 Бк · $л^{-1}$ [17, 18].

Однією з актуальних загальносвітових проблем протирадіаційного захисту населення є опромінення радоном і продуктами його розпаду у будинках [9, 19–22]. Радон – це інертний газ, який є продуктом розпаду радію-226, що в свою чергу утворюється в результаті розпаду урану-238. Період напіврозпаду радону складає 3,8 дня. Радон не має смаку і запаху, важчий за повітря. Результати досліджень [23–25], які проводились у Канаді, країнах Північної Європи, Австрії, Англії, Італії, США довели, що в більшості будинків першою з головних причин підвищеного вмісту радону є висока ексхаляція радону з ґрунту [26] і другою – будівельні матеріали з підвищеним вмістом радію-226, з яких побудовані будинки [27, 28].

Обʼємна активність радону в помешканнях для різних країн розрізняється через відмінності в геології, кліматі, будівельних матеріалах, технології будівництва, крім того мають значення конструктивні особливості будівель. Встановлено, що на перших поверхах будівель у приміщеннях без вентиляції концентрація радону в декілька разів більша, ніж на верхніх поверхах [28].

За даними звіту НКДАР ООН, високі рівні зовнішнього опромінення в будинках (95–115 нГр · $рік^{-1}$) виявлено в Угорщині, Китаї, Албанії, Португалії, Австрії, Швеції, Іспанії, Ірані. Низькі рівні (< 40 нГр · $рік^{-1}$) виявлено в Новій Зеландії, Ісландії, США [7].

At the same time, it should be noted that a number of regions of Ukraine have large deposits of nonmetallic materials located in the zone of the Ukrainian crystalline shield, which contain high levels of natural radionuclides, which requires constant radiation control [15].

Depending on the geological and hydrogeological conditions in different parts of the Earth, conditions for the formation of a wide spectrum of background concentrations of radon are created. Together with areas with reduced background concentrations of radon in the waters, there are territories with very high, «hurricane» radon content. Such areas are found in Brazil, India, Canada. Known sources with high concentrations of radon in Iran. Scandinavian countries are characterized by increased background concentrations of radon [16].

In Ukraine, the average weighted concentration of radon in underground waters for regions located in the zone of the Ukrainian crystalline shield is 261 Bq · l^{-1}, for the areas located outside this array – 37 Bq · l^{-1} [17, 18].

One of the actual global problems of radiation protection of the population is irradiation with radon and products of its collapse in buildings [9, 19–22]. Radon is an inert gas, which is a decay product of radium-226, which in turn is formed as a result of the decay of uranium-238. The half-life of radon is 3.8 days. Radon has no taste and no smell, heavier than air. The results of research [23–25] conducted in Canada, Italy, the Nordic countries, Austria, England, and the United States have shown that in most homes, the first major cause of high radon content is the high excretion of radon from the soil [26] and the second – building materials with a high content of radium-226, of which houses were built [27, 28].

The voluminous activity of radon in dwellings for different countries differs because of differences in geology, climate, building materials, construction technology, in addition, the design features of buildings are significant. It was established that on the first floors of buildings in rooms without ventilation, the concentration of radon is several times higher than on the upper floors [28].

According to the UNSCEAR report, high levels of external exposure in homes (95–115 nGy · y^{-1}) were detected in Hungary, China, Albania, Portugal, Austria, Sweden, Spain, and Iran. Low levels (< 40 nGy · y^{-1}) were detected in New Zealand, Iceland, USA [7].

ISSN 2304-8336. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Вип. 23.

В Україні дослідження рівнів вмісту радону в повітрі приміщень були розпочаті ще в 1989 році. В ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О. М. Марзєєва НАМН України» створена методична і метрологічна база вимірювань радону. На базі «радонової атмосфери», яка була атестована як робочий еталон, була розроблена і реалізована на практиці система гарантій якості вимірів радону. Ефективність даної системи була підтверджена процедурами звірення зі Шведським агентством радіаційної безпеки (м. Стокгольм) і Національним інститутом радіаційного захисту Японії (м. Чіба) [29]. Паралельно була розроблена нормативна база, яка обмежила вплив цього чинника на здоров'я населення і визначила вимоги до системи контролю цього джерела.

У табл. 3 приведені середньорічні ефективні дози для різних регіонів України при 80 % часі перебування в приміщеннях.

In Ukraine, the study of levels of radon content in the air was started in 1989. Methodical and metrological base of measurements of radon was established in the O. M. Marseev «Institute of Public Health» of the National Academy of Sciences of Ukraine. On the basis of the «radon atmosphere», which was certified as a working standard, a system of guarantees of the quality of radon measurements was developed and implemented in practice. The effectiveness of this system was confirmed by the procedures of the Swedish Radiation Safety Agency (Stockholm) and the National Institute for Radiation Protection in Japan (Chiba) [29]. In parallel, a regulatory framework was developed that limited the impact of this factor on public health and defined the requirements for the control system of this source.

In the Table 3 shows the average annual effective dose for different regions of Ukraine if you are 80 % of the time in the room.

Таблиця 3

Середньорічні ефективні дози від радону при 80% часі перебування в приміщенні для різних регіонів України

Table 3

Average annual effective doses of radon at 80 % of the time of stay indoors for different regions of Ukraine

Область Oblast	Доза, мЗв Dose, mSv	Населення, млн чол. People, million people	Область Oblast	Доза, мЗв Dose, mSv	Населення, млн чол. People, million people
Вінницька / Vinnytsia	4,8	1,85	Львівська / Lviv	2,2	2,74
Волинська / Volyn	2,2	1,07	Миколаївська / Mykolaiv	2,2	1,32
Дніпропетровська / Dnipropetrovsk	3,1	3,77	Одеська / Odesa	4,8	2,55
Донецька / Donetsk	4,8	5,06	Полтавська / Poltava	2,2	1,71
Житомирська / Zhytomyr	2,2	1,46	Рівненська / Rivne	3,1	1,19
Закарпатська / Zakarpattia	2,2	1,29	Сумська / Sumy	2,2	1,37
Запорізька / Zaporizhzhia	5,2	2,04	Тернопільська / Ternopil	3,1	1,17
Івано-Франківська / Ivano-Frankivsk	2,2	1,46	Харківська / Kharkiv	2,2	3,02
Київська / Kyiv	2,2	4,49	Херсонська / Kherson	5,2	1,25
Кіровоградська / Kirovograd	4,8	1,2	Хмельницька / Khmelnytskyi	2,2	1,49
Кримська АР Autonomous Republic of Crimea	2,2	2,55	Черкаська / Cherkasy	5,2	1,48
			Чернівецька / Chernivtsi	2,2	0,94
Луганська / Luhansk	2,2	2,71	Чернігівська / Chernihiv	3,9	1,32

В результаті проведених досліджень було встановлено, що середньозважена за структурою житлового фонду доза опромінення населення України за рахунок радону в повітрі приміщень оцінюється величиною 2,4 мЗв на рік. Проте, варіабельність середньозважених ефективних доз на рівні окремих регіонів країни досить значна і складає від 2–3 разів на рівні окремих областей до порядку на рівні районів [9].

У середньому в країні рівень 100 Бк·м$^{-3}$ (радіаційно-гігієнічний регламент) перевищено у 19 % випадків, а 200 Бк · м$^{-3}$ – у 5,7 % випадків [9].

As a result of the conducted research it was found that the average weighted by structure of the housing stock dose of radiation of the population of Ukraine at the expense of radon in the air of the premises is estimated at 2.4 mSv per year. However, the variability of weighted average effective doses at the level of individual regions of the country is quite significant and ranges from 2 to 3 times at the level of individual regions to the order of the district level [9].

On average, in the country, the level of 100 Bq · m^{-3} (radiation and hygiene regulations) was exceeded in 19 % of cases, and 200 Bq · m^{-3} – in 5.7 % of cases [9].

ISSN 2304-8336. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Вип. 23.

Методичні основи обмеження опромінення людини за рахунок радону в різних країнах схожі і багато в чому співпадають з рекомендаціями міжнародних організацій, але кількісне значення нормативів, роль державних структур у вирішенні цієї проблеми істотно відрізняються.

В останні роки радонова проблема набула ще більшого значення. Так, в 2007 р. вийшла у світ нова «радонова» Публікація 103 МКРЗ [30], що замінила Публікацію 60 МКРЗ «Радіаційний захист», рекомендації якої лежать в основі національних нормативів усіх країн, в тому числі й України.

Публікація 103 МКРЗ рекомендує рівні дій для ЕРОА радону-222 в житлових приміщеннях – 600 Бк · м$^{-3}$ та 1500 Бк · м$^{-3}$ – на робочих місцях. Крім того, Публікація 103 МКРЗ збільшила в 1,8 раза радіаційні ризики для населення для ситуації опромінення радоном.

Розвиток ядерної енергетики, пов'язаних з нею нових технологій, а також аварія на ЧАЕС призвели до збільшення радіаційного фону. На території України у формуванні радіаційного фону за рахунок техногенно-підсилених джерел беруть участь підприємства нафтової, газової, вугільної промисловості і теплової енергетики. При їх експлуатації відбувається помітний перерозподіл природних радіонуклідів (урану, торію, продуктів їх розпаду і ^{40}K) в природному середовищі [31, 32].

В Україні відходи з підвищеним вмістом природних радіонуклідів сьогодні не контролюються. Це відноситься не лише до виробництва фосфатів, але й до переробки залізної руди, золи теплових електростанцій. Водночас в індустріальному будівництві, де використовуються відходи інших підприємств, здійснюється контроль тільки кінцевої продукції [33].

За даними Наукового комітету ООН з дії атомної радіації, середньосвітова річна доза опромінення людини від усіх чинників складає 5,2 мЗв · рік$^{-1}$ [34]. При цьому природна компонента з урахуванням техногенно-підсиленого фону вносить в сумарну дозу 4,2 мЗв · рік$^{-1}$, а в ній основною складовою є радон-222 – 1,5 мЗв · рік$^{-1}$.

В Україні сумарна доза опромінення населення трохи більша і складає 5,9 мЗв · рік$^{-1}$ [35], а внесок природної складової з урахуванням техногенно-підсиленого фону значно вище і досягає 5,1 мЗв · рік$^{-1}$. Частка радону-222 в ній складає 2,4 мЗв · рік$^{-1}$.

У 2009 році Міжнародна комісія з радіологічного захисту (МКРЗ) опублікувала заяву по радону, в якій національним регулюючим органам рекомен-

The methodological framework for limiting human radiation at the expense of radon in different countries is similar and largely in line with the recommendations of international organizations, but the quantitative significance of norms, the role of state structures in solving this problem vary significantly.

Radon problem has become even more important in recent years. Thus, in 2007, a new «radon» ICRP Publication 103 [30] was issued, which replaced the ICRP Publication 60 «Radiation Protection», recommendations of which are the basis of the national standards of all countries, including Ukraine.

ICRP publication 103 recommends the action levels for EROA radon-222 as 600 Bq · m^{-3} in residential areas and 1500 Bq · m^{-3} in a workplace. The radiation risks to population from radon irradiation were increased by 1.8 times there too.

The development of nuclear power engineering, the associated new technologies, and the Chernobyl accident have led to an increase in radiation background. On the territory of Ukraine, in the formation of the radiation background at the expense of technogenically-strengthened sources involved enterprises of the oil, gas, coal industry and thermal energy. During their operation, there is a noticeable redistribution of natural radionuclides (uranium, thorium, products of their decomposition and potassium-40) in the natural environment [31, 32].

In Ukraine, waste with high levels of natural radionuclides is not monitored today. This applies not only to the production of phosphates, but also to the processing of iron ore, ashes of thermal power plants. At the same time, in industrial construction, where waste from other enterprises is used, only final products are monitored [33].

According to the UNSCEAR, the average annual dose of human radiation from all factors is 5.2 mSv · year^{-1} [34]. In this case, the natural component, taking into account the technogenically-enhanced background, makes a total dose of 4.2 mSv · year^{-1}, and the main component is radon-222 – 1.5 mSv · year^{-1}.

In Ukraine, the total radiation dose of the population is slightly higher and is 5.9 mSv · year^{-1} [35], and the contribution of the natural component, taking into account the technogenically-strengthened background, is much higher and reaches 5.1 mSv · year^{-1}. The share of radon-222 in it is 2.4 mSv · year^{-1}.

In 2009, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) issued a radon application, in which the national regulatory

ISSN 2304-8336. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Вип. 23.

довано посилити в два рази нормативи з об'ємної активності (ОА) радіоактивного газу в житлах. У 2010 році МКРЗ була випущена Публікація 115 «Ризик виникнення раку легень при опроміненні радоном і продуктами його розпаду» [36], в якій проведена переоцінка показників номінального ризику захворюваності на рак легень при опроміненні радоном. У 2011 році, вперше в практиці протирадіаційного захисту, в Міжнародні стандарти радіаційної безпеки (BSS) МАГАТЕ було впроваджено вимоги до обмеження опромінення радоном [37].

У 2014 р. в Публікації 126 МКРЗ «Радіологічний захист від опромінення радоном» [38] була викладена сучасна методологія регулювання радонової проблеми, в основу якої покладено принцип оптимізації в управлінні радоновим ризиком.

Прийняття нових рекомендацій МКРЗ матиме наслідком зміну міжнародної, а потім і національної нормативної бази [39] у даній сфері.

ВИСНОВКИ

1. З метою узагальнення даних щодо рівнів опромінення населення за рахунок природних джерел випромінювання проведено аналіз закордонної і вітчизняної наукової літератури.
2. За даними НКДАР ООН середньосвітова річна ефективна доза опромінення на душу населення від природних джерел складає 2,4 мЗв, що становить 46 % сумарної дози опромінення людини. В Україні доза від природних джерел опромінення становить 3,5 мЗв · рік$^{-1}$, що визначає 60 % сумарної дози опромінення населення.
3. За даними НКДАР ООН середньосвітова річна доза опромінення людини від усіх чинників складає 5,2 мЗв · рік$^{-1}$. При цьому природна компонента з урахуванням техногенно-підсиленого фону вносить в сумарну дозу 4,2 мЗв · рік$^{-1}$, а в ній основною складовою є радон-222 – 1,5 мЗв · рік$^{-1}$.
4. В Україні сумарна доза опромінення населення складає 5,9 мЗв · рік$^{-1}$, а внесок природної складової з урахуванням техногенно-підсиленого фону досягає 5,1 мЗв · рік$^{-1}$. Частка радону-222 в ній складає 2,4 мЗв · рік$^{-1}$. Радон є найбільш визначальним радіаційним фактором для населення, що потребує особливої уваги і ретельного регулюючого контролю за допомогою державних програм.

Перспективи подальших наукових досліджень

Проаналізувати радіоекологічний стан середовища життєдіяльності населення Запорізької області, виз-

authorities were recommended to double the norms for volume activity (OA) of radioactive gas in homes. In 2010, the ICRP issued Publication 115 «The risk of developing lung cancer when irradiated with radon and products of its disintegration» [36], in which a reassessment of the indicators of the nominal risk of lung cancer incidence when irradiated with radon was performed. In 2011, for the first time in the practice of radiation protection, IAEA requirements for limiting radon exposure were introduced into the International Radiation Safety Standards (IWA) [37].

In 2014, the ICRP publication 126 «Radiological radiation protection by radon» outlined a modern methodology for regulating the radon problem, which is based on the principle of optimization in the management of radon risk.

Adoption of the new ICRP recommendations will result in a change in the international, and then national, regulatory framework [39] in this area.

CONCLUSIONS

1. In order to generalize data on the levels of radiation exposure of the population at the expense of natural sources of radiation, an analysis of foreign and domestic scientific literature has been carried out.
2. According to the UNSCEAR, the average annual effective dose of radiation for each person from natural sources is 2.4 mSv, which is 46 % of the total dose of human exposure. In Ukraine, the dose from natural sources of exposure is 3.5 mSv · year^{-1}, which determines 60 % of the total dose of radiation exposure.
3. According to UNSCEAR, the average annual dose of human radiation from all factors is 5.2 mSv · year^{-1}. In this case, the natural component, taking into account the technogenically-enhanced background, makes a total dose of 4.2 mSv · year^{-1}, and the main component is radon-222 – 1.5 mSv · year^{-1}.
4. In Ukraine, the total radiation dose of population is 5.9 mSv · year^{-1}, and the contribution of the natural component, taking into account the technogenically-strengthened background reaches 5.1 mSv · year^{-1}. The share of radon-222 in it is 2.4 mSv · year^{-1}. Radon is the most important radiation factor for the population, which needs special attention and thorough regulatory control through state programs.

Prospects for further research

To analyze the radioecological state of the living environment of the population of Zaporozhye region, to

ISSN 2304-8336. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Вип. 23.

начити основні джерела радіоактивного забруднення території, рівні і структуру доз опромінення населення за рахунок природної радіації та оцінити дозове навантаження на населення.

determine the main sources of radioactive contamination of the territory, the level and structure of radiation dose of the population due to natural radiation and to estimate the dose load on the population.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Національна доповідь України. Київ : КІМ, 2011. 356 с.
2. ICRP Publication 39. Principles for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation. Vienna : Pergamon, 1984. 15 p. (*Annals of the ICRP.* 1984. Vol. 14, no. 1).
3. Радиационно-гигиеническая оценка стройматериалов, используемых в гражданском строительстве УССР : метод. реком. К., 1987. 20 с.
4. Аксенов Н. В., Фризюк М. А. Система контроля содержания 222Rn в воздухе помещений. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. статей. II міжнар. наук.-практич. конф. (Алушта, 11-15 вересня, 2006 р.). Т. 1. Харків : Райдер, 2006. С. 139-143.
5. Республіканські будівельні норми. Положення про радіаційний контроль на об'єктах будівництва та підприємництва будіндустрії і будматеріалів України. ПБН-356/91 / Держбуд України. Київ, 1991.
6. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97): ДГН 6.6.1. 6.5.00198 / Комітет з питань гігієнічного регламентування МОЗ України. Офіц. вид. Київ, 1998. 135 с. (Державні гігієнічні нормативи).
7. UNSCEAR 2000. Effects of Radiation on the Environment; Report to the General Assembly with Scientists Annex / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York : UN, 2000. 842 p.
8. UNSCEAR 1993. Sources and effects of ionizing radiation : Report to the General Assembly with Scientific Annexes / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York : UN, 1993. 218 p.
9. Павленко Т. О. Радіаційно-гігієнічна оцінка доз опромінення населення України від техногенно-підсилених джерел природного походження : дис. ... докт. біол. наук : 14.02.01. Київ, 2010. 253 с.
10. Оценка природной радиоактивности объектов окружающей среды : метод. реком. Киев, 1987. 18 с.
11. Кузин А. М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли. М. : Наука, 1991. 117 с.
12. Павленко Т. О., Аксьонов М. В., Фризюк М. А. Будівельні матеріали як джерело доз опромінення населення України. Вестник гигиены и эпидемиологии. 2007. Т. 11, № 1. С. 94-96.
13. Аксьонов М. В., М. А. Фризюк Опромінення населення України від будівельної мінеральної сировини. *Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов (Казантип. Эко. 2007)* : сб. науч. статей XV междунар. науч.-практ. конф. (Щелкино, 4-8 июня, 2007 г.). Харьков, 2007. Т. 1. С. 7-11.
14. Павленко Т. О., Аксьонов М. В., Фризюк М. А. Оцінка ефективних доз опромінення людини від будівельних матеріалів та мінеральної сировини. Гігієна населених місць. 2007. Вип. 50. С. 253-256.
15. Радиоактивность строительных материалов / А. В. Горицкий, Т. М. Лихтарева, И. П. Лось, В. П. Сабалдырь. Київ : Будівельник, 1990. 38 с.

REFERENCES

1. [Twenty-five years of the Chernobyl disaster. National report of Ukraine]. Kyiv: KIM; 2011. 356 p. Ukrainian
2. ICRP Publication 39. Principies for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation. Vienna: Pergamon; 1986. 15 p. (Annals of the ICRP. 1986;14(1).
3. [Radiation-hygienic assessment of building materials used in civil engineering of the Ukrainian SSR: guidelines]. Kyiv; 1987. 20 p. Russian.
4. Aksenov NV, Frizyuk MA. [Monitoring system for 222Rn content in indoor air]. In: [Environmental safety: problems and solutions: a collection of scientific articles. II International Scientific and Practical Conference; 2006 Sep 11-15; Alushta, Ukraine]. Vol. 1. Kharkiv: Rayder; 2006. p. 139-43. Russian.
5. Derzhbud Ukrainy. [Republican construction standards. Regulation on radiation control at the construction and business facilities of the building industry and building materials of Ukraine. PBN-356/91]. Kyiv; 1991. Ukrainian.
6. Committee on Hygienic Regulation of the Ministry of Health of Ukraine. [Norms of radiation safety of Ukraine (NRBU-97): DGN 6.6.1. 6.5.00198]. Kyiv; 1998. 135 p. (State Hygiene Standards). Ukrainian.
7 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000. Effects of Radiation on the Environment; Report to the General Assembly with Scientists Annex. New York: UN; 2000. 842 p.
8 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 1993. Sources and effects of ionizing radiation: Report to the General Assembly with Scientific Annexes. New York: UN; 1993. 218 p.
9. Pavlenko TO. [Radiation and hygienic estimation of doses of radiation of the population of Ukraine from technogenically-enhanced sources of natural origin] [dissertation]. Kyiv; 2010. 253 p. Ukrainian.
10. [Estimation of natural radioactivity of objects of the environment: methodical recommendations]. Russian.
11. Kuzin AM. [Natural background radiation and its significance for the Earth's biosphere]. Moscow: Nauka; 1991. Russian.
12. Pavlenko TO, Aksionov MV, Friziuk MA. [Building materials as a source of radiation doses of the population of Ukraine]. Vestnik gigieny i epidemiologii. 2007;11(1):94-6. Ukrainian.
13. Aksionov MV, Friziuk MA. [Radiation of the population of Ukraine from construction mineral raw materials]. In: Ekologiya i zdorovie cheloveka. Okhrana vozdushnogo i vodnogo basseinov. Utilizatsiya otkhodov (Kazantip. Eko. 2007): collection of scientific articles of the XV international scientific-practical conference; 2007

ISSN 2304-8336. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Вип. 23.

16. Радон в подземных водах как источник риска для здоровья населения / М. Чаславски, П. Данихелка, Л. Кржиж и др. *Геоэкол. Инж. геол. Гидрогеол. Геокриол.* 2010. № 3. С. 270-275.

17. Бузинний М. Г. Природна радіоактивність питної води свердловин на території України. *Гігієнічна наука та практика на рубежі століть* : матеріали 14 з"їзду гігієністів України (Дніпропетровськ, 19-21 травня 2004 р.). Дніпропетровськ : Арт-Прес, 2004. Т. II. С. 308-310.

18. Костенецкий М. И., Севальнев А. И. Радиоактивность питьевой воды подземных источников и дозы облучения населения. *АКВА Украина* - 2005 : материалы III международного Водного Форума. Киев, 2005. С. 229-232.

19. Семинский К. Ж., Бобров А. А. Радоновая активность разнотипных разломов земной коры (на примере Западного Прибайкалья и Южного Приангарья). *Геология и геофизика.* 2009. Т. 50, № 8. С.881-896.

20. Спивак А. А., Сухоруков М. В., Харламов В. А. Особенности эманации радона с глубиной. Докл. РАН. 2008. Т. 420, № 6. С. 825-828.

21. Проблема радону-222 в Україні / І. П. Лось, Т. О. Павленко, М. В. Аксьонов, М. А. Фризюк. *Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (треті марзєєвські читання)* : зб. тез доп. наук.-практ. конф. (Київ, 24-25 травня 2007 р.). Київ, 2007. Вип. 7. С. 31-32.

22. Павленко Т. Уровни радона в воздухе жилых зданий Украины. *Довкілля та здоров'я.* 2007. № 2. С. 22-25.

23. Anomalously high radon concentrations in dwellings located on permeable glacial sediments / A. V. Sundal, C. L. Jensen, K. Anestad, T. Strand. *J. Radiol. Prot.* 2007. Vol. 27. P. 287-298.

24. Kendall G. M., Phipps A. W. Effective and organ doses from thoron decay products at different ages. *J. Radiol. Prot.* 2007. Vol. 27. P. 427-435.

25. Bossew P., Lettner H. Investigation on indoor radon in Austria. Part 1 : Seasonality of indoor radon concentration. *J. Envir. Radioact.* 2007. Vol. 98, Iss. 3. P. 329-345.

26. Tokonami S. Summary of dosimetry (radon and thoron) studies. *Intern. Congress Series.* 2005. Vol. 1276. P. 151-154. doi: 10.1016/j.ics.2004. 09.056

27. Almgren S., Isaksson M., Barregard L. Gamma radiation doses to people living in Western Sweden. *J. Envir. Radioact.* 2008. Vol. 99, Iss. 2. P. 394-403.

28. Natural radioactivity in common building contraction and radiation shielding materials / R. G. Sonkawade, K. Kant, S. Maralitkar et al. *Atmospheric Environment.* 2008. Vol. 42, Iss. 9. P. 2254-2259. doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.11.037.

29. Аксенов Н. В. Гарантии качества измерений радона-222 в воздухе помещений. *Гігієна населених місць.* 2007. Вип. 50. С. 253-256.

30. ICRP Publication 103. Recommendation of the International Commission on Radiobiological Protection. *Ann. ICRP.* 2007. Vol. 37 (2-4).

31. Лось И. П., Павленко Т. А. Ограничение облучения техногенно-усиленными источниками природного происхождения. *Довкілля та здоров'я.* 2003. № 1(24). С. 49-54.

Jun 4-8; Shchelkino, Ukraine. Kharkiv; 2007. Vol. 1. p. 7-11. Ukrainian.

14. Pavlenko TO, , Aksionov MV, Friziuk MA. [Estimation of effective doses of human radiation from building materials and mineral raw materials]. Gigiena naselenykh mists. 2007;50:253-6. Ukrainian.

15. Goritskyi AV, Likhtareva TM, Los IP, Sabaldyr VP. [Radioactivity of building materials]. Kyiv: Budivelnyk; 1990. 38 p. Russian.

16. Chaslavski M, Danikhelka P, Krzhizh L, Sukhankova Ya, Pashkovsky IS. [Radon in groundwater as a source of public health risk]. Geoekologia. Inzhenernaia geologia. Gidrogeologia. Geokriologia. 2010;(3):270-5). Russian.

17. Buzynnyi MG. [Natural radioactivity of drinking water wells on the territory of Ukraine]. In: Gigiienichna nauka ta praktyka na rubezhi stolit': materialy 14 z'izdu gigiienistiv Ukrainy. Dnipropetrovs'k: Art-Pres; 2004. p. 308-10. Ukrainian.

18. Kostenetskyi MI, Sevalnev AI, editors. [Radioactivity of drinking water from underground sources and exposure doses to the population]. In: AKVA Ukraine: Proceedings of the III International Water Forum. Kyiv, 2005. p. 229-232. Russian.

19. Seminskii KZh, Bobrov AA. [Radon activity of heterogeneous faults of the earth's crust (on the example of the Western Baikal and Southern Angara region]. Geologiya i geofizika. 2009;50(8):881-96. Russian.

20. Spivak AA, Sukhorukov MV, Kharlamov VA. [Features of radon emanation with depth]. RAS reports. Doklady Rossiiskoi Akademii Nauk. 2008;420(6):825-8. Russian.

21. Los IP, Pavlenko TO, Aksonov MV, Frizyuk MA. [The problem of radon-222 in Ukraine]. In: Aktualni pytannia gigiieny ta ekologichnoi bezpeky Ukrainy (treti marzieievski chytannia a collection of abstracts of scientific-practical conference reports; 2007 May 24-25; Kyiv, Ukraine. Kyiv; 2007. Iss. 7. p. 31-2. Ukrainian.

22. Pavlenko T. [Radon levels in the air of residential buildings in Ukraine]. Dovkillia ta zdorov'ia. 2007;(2):22-5. Ukrainian.

23. Sundal AV, Jensen CL, Anestad K, Strand T. Anomalously high radon concentrations in dwellings located on permeable glacial sediments. J Radiol Prot. 2007;27:287-98.

24. Kendall GM, Phipps AW. Effective and organ doses from thoron decay products at different ages. J Radiol Prot. 2007;27:427-35.

25. Bossew P, Lettner H. Investigation on indoor radon in Austria. Part 1: Seasonality of indoor radon concentration. J Envir Radioact. 2007;98(3):329-45].

26. Tokonami S. Summary of dosimetry (radon and thoron) studies. Intern. Congress Series. 2005;1276:151-54. doi: 10.1016/j.ics.2004.09.056.

27. Almgren S, Isaksson M, Barregard L. Gamma radiation doses to people living in Western Sweden. J Envir Radioact. 2008;99(2):394-403.

28. Sonkawade RG, Kant K, Maralitkar S, Kumar R, Ramola RC. Natural radioactivity in common building contraction and radiation shielding materials. Atmospheric Environment. 2008;42(9):2254-9. doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.11.037.

ISSN 2304-8336. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Вип. 23.

32. Оцінка вмісту природних радіонуклідів в індустріальних залишках підприємств / Т. О. Павленко, М. В. Аксьонов, Н. Д. Шабуніна та ін. *Довкілля та здоров'я.* 2015. № 1. С. 21-24.

33. Павленко Т. О. Обмеження опромінення техногенно-підсиленими джерелами природного походження: рівні опромінення, регламенти, рекомендації. *Гігієнічна наука та практика на рубежі століть* : матеріали 14 з'їзду гігієністів України. Дніпропетровськ : Арт-Прес, 2004. Т. II. С. 343-345.

34. UNSCEAR 2006. Effects of Ionizing Radiation: Report to the General Assembly with Scientific Annexes / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York : UN, 2008. 334 p.

35. Павленко Т. О. Радіаційно-гігієнічна оцінка доз опромінення населення України від техногенно-підсилених джерел природного походження : автореф. дис... к. б. н. : 14.02.01. Київ, 2010. 39 с.

36. ICRP Publication 115. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon // Ann. ICRP. 2010. Vol. 40, no. 1. 64 p.

37. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR. Vienna : IAEA, 2011. 303 p.

38. Публикация 126 МКРЗ. Радиологическая защита от облучения радоном. М., 2015. 92 с.

39. Тарасюк О. Є. Наукове обґрунтування оптимальних обсягів нормативної бази в галузі радіаційної гігієни : автореф. дис. ... к. м. н. Київ, 2010. 20 с.

29. Aksenov NV. [Guarantees for the quality of radon-222 measurements in indoor air]. Gigiiena naselenykh mists. 2007;50:253-6. Russian.

30. ICRP Publication 103. Recommendation of the International Commission on Radiobodical Protection. Ann ICRP. 2007;37(2-4).

31. Los IP, Pavlenko TA. [Limitation of exposure to man-caused sources of natural origin]. Dovkillia ta zdorov'ia. 2003;(1):49-54. Russian.

32. Pavlenko TO, Aksenov MV, Shabunina ND, Friziuk MA, Narasiuk OYe, Kovtoniuk NL, et al. [Assessment of the content of natural radionuclides in industrial residues of the enterprises]. Dovkillia ta zdorov'ia. 2015;(1):21-4. Ukrainian.

33. Pavlenko TO. [Limitation of radiation by technogenically-enhanced sources of natural origin: radiation levels, regulations, recommendations]. In: Gigiienichna nauka ta praktyka na rubezhi stolit': materialy 14 z'izdu gigiienistiv Ukrainy. Dnipropetrovs'k: Art-Pres; 2004. Vol. II. P. 343-5. Ukrainian.

34. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2006. Effects of ionizing radiation : Report to the General Assembly with Scientific Annexes. New York: UN; 2008. 334 p.

35. Pavlenko TO. [Radiation and hygienic estimation of doses of radiation of the population of Ukraine from technogenically-enhanced sources of natural origin] [the dissertation author's abstract]. Kyiv; 2010. 39 p. Ukrainian.

36. ICRP Publication 115. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. Ann ICRP. 2010;40(1). 64 p.

37. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR. Vienna: IAEA; 2011. 303 p.

38. ICRP, 2014. Radiological protection against radon exposure. ICRP Publication 126. Ann ICRP. 2014;43(3).

39. Tarasiuk, O.E. [Scientific substantiation of the optimum volumes of normative base in the field of radiation hygiene] [the dissertation author's abstract]. Kyiv; 2010. 20 p. Ukrainian.

Стаття надійшла до редакції 08.06.2018 *Received: 08.06.2018*