

Радіаційне навантаження на робітників гранітних кар'єрів від техногенно-підсиленних джерел природного походження на півдні України

Л.І. Григор'єва

Чорноморський державний
університет
імені Петра Могили,
Миколаїв

Radiation load to workers of granite quarries from natural technogenically enhanced sources on the south of Ukraine

Цель работы: Определение эффективной дозы внутреннего облучения работников гранитных карьеров на юге Украины от ^{222}Rn с дочерними продуктами его распада (ДПР), учитывая двойственность поступления ^{222}Rn людям этой категории: с воздухом рабочих и жилых помещений, с питьевой водой, используемой на рабочем месте и дома, а также эффективной дозы внешнего облучения от техногенно-усиленных источников природного происхождения (ТУИПП).

Материалы и методы: Материалами служили результаты исследований мощности экспозиционной дозы, эквивалентной равновесной объемной активности ^{222}Rn в воздухе рабочих помещений и рабочих мест работников гранитных карьеров на юге Украины, а также в жилых помещениях этих специалистов, в питьевой воде. Определение эффективной дозы облучения человека проводилось по математическим моделям Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) и дозовым коэффициентам по рекомендациям Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН.

Результаты: Определена эффективная доза облучения людей, работающих на гранитных карьерах региона, в результате ингаляционного и перорального (с питьевой водой) поступления ^{222}Rn на рабочем месте и дома, а также эффективная доза внешнего облучения от ТУИПП.

Выводы: Специалисты гранитных карьеров получают двойственную дозовую нагрузку от ^{222}Rn (дома и на рабочем месте). Суммарная эффективная доза внутреннего облучения от поступления ^{222}Rn с воздухом рабочих и жилых помещений составляла в среднем $6,5 \pm 0,2$ мЗв/год⁻¹, а максимальные величины составляли около 15 мЗв/год⁻¹. Отмечена тенденция более высоких уровней дозы от ^{222}Rn для отдельных групп специалистов.

Ключевые слова: эффективная доза, ^{222}Rn , работники гран-карьер.

Мета роботи: Визначення ефективної дози внутрішнього опромінення робітників гранітних кар'єрів на півдні України від ^{222}Rn з дочірніми продуктами його розпаду, враховуючи двофакторність його надходження до людей цієї категорії: з повітрям робочих і житлових приміщень, з питною водою, яка використовується на робочому місці і вдома, а також ефективної дози зовнішнього опромінення від техногенно-підсиленних джерел природного походження (ТПДПП).

Матеріали і методи: Матеріалами виступали результати досліджень потужності експозиційної дози, еквівалентної рівноважної об'ємної активності ^{222}Rn у повітрі робочих приміщень і робочих місць основних груп працівників гранітних кар'єрів на півдні України, а також у житлових приміщеннях, у питній воді, яка споживається цими працівниками. Визначення ефективної дози опромінення людини здійснювалось за математичними моделями Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ) і дозових коефіцієнтів за рекомендаціями Наукового комітету з дії атомної радіації (НКДАР) ООН.

Результати: Визначена ефективна доза опромінення людей, які працюють на гранітних кар'єрах регіону, через інгаляційне і пероральне (з питною водою) надходження ^{222}Rn на робочому місці і вдома, а також ефективна доза зовнішнього опромінення від ТПДПП.

Висновки: Працівники гранітних кар'єрів отримують подвійне радіаційне навантаження від ^{222}Rn (вдома і на робочому місці). Сумарна ефективна доза внутрішнього опромінення від надходження ^{222}Rn з повітрям робочих і житлових приміщень та з питною водою становила, в середньому, $6,5 \pm 0,2$ мЗв/рік⁻¹, а максимальні величини склали близько 15 мЗв/рік⁻¹. Виявлена тенденція більш високих рівнів дози від ^{222}Rn для окремих груп працівників.

Ключові слова: ефективна доза, ^{222}Rn , працівники гранкар'єрів.

Постановка проблеми

Окремі території півдня України (центральна та північна території Миколаївської, Одеської, Херсонської і Кіровоградської областей) характеризуються присутністю у підстилаючому шарі гірських порід гранітоїдного складу, що сприяє широкому розвиненню у регіоні гранітодобувної і гранітопереробної промисловостей [1, 2]. З іншого боку, ці породи характеризуються підвищеним кларковим вмістом радіоактивних елементів урано-торієвого ряду, а отже пов'язані з проявами ^{222}Rn та дочірніх продуктів його розпаду (ДПР). За даними вітчизняних авторів [3–7], сумарна річна доза від природних радіонуклідів в Україні є немалою і складає $6,15 \text{ мЗв/рік}^{-1}$. За оцінками НКДАР ООН [7], внесок радону з ДПР у дозу опромінення населення планети від природних джерел становить 54 %. В Україні радон досягає 79 % ($4,2 \text{ мЗв}$) величини вказаної дози і близько 60 % величини середньої ефективної дози від усіх джерел [7].

Завдяки широкому розвиненню у цих районах регіону гранітодобувної і гранітопереробної галузей, а також запланованому введенню найближчим часом у регіоні підприємств уранодобувної галузі, одними з актуальних питань радіаційної безпеки і радіаційної гігієни регіону є такі, що стосуються техногенно-підсиленого природного радіаційного фону, в першу чергу, опромінення ^{222}Rn . За нашими дослідженнями [1, 2, 8] ефективна доза від ^{222}Rn з ДПР для населення північних та центральних районів Миколаївщини складає $4–5 \text{ мЗв/рік}^{-1}$, що збігається з результатами інших науковців, отриманих для Запорізької, Кіровоградської областей [7].

Мета досліджень полягала у встановленні рівнів сумарного радіаційного навантаження від ^{222}Rn на робітників підприємств гранітодобувної галузі.

Методика дослідження

Досліджувалися річна ефективна доза (РЕД) зовнішнього опромінення, а також РЕД внутрішнього опромінення від ^{222}Rn з ДПР працівників гранітодобувної галузі на півдні України. В процесі досліджень встановлено, що працівники гранітних кар'єрів можуть підлягати подвійному опроміненню від ^{222}Rn : на виробництві й у житлових приміщеннях (рис. 1.), тому для цієї кате-

горії працівників виконані дослідження з визначення сумарного радіаційного навантаження від ^{222}Rn : на робочому місці ($E_{222\text{Rn,work}}^{\text{ing}}$) і вдома ($E_{222\text{Rn,home}}^{\text{ing}}$), враховуючи споживання води ($E_{222\text{Rn,home}}^{\text{ing}}$, $E_{222\text{Rn,work}}^{\text{ing}}$).

Матеріалами виступали результати вимірювання потужності експозиційної дози (ПЕД), досліджень еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) ^{222}Rn у повітрі робочих приміщень та на робочих місцях основних груп працівників (оператор дробарки, бурильник перфораторного буріння, каменотес, машиніст бульдозера, машиніст екскаватора) гранкар'єрів (Первомайського гранітного і Первомайського гранітно-щебеневого кар'єрів, Олександрівського, Прибузького, Софіївського, Ново-Данилівського гранітних кар'єрів), результати досліджень ЕРОА ^{222}Rn у повітрі житлових приміщень цих робітників, результати досліджень вмісту ^{222}Rn у питній воді, яка використовується цими працівниками вдома і на гранкар'єрах. Вимірювання ЕРОА ^{222}Rn виконувалися 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 встановлювалися у місцях найбільшого перебування людини (вітальня, спальня), а на робочих місцях — у кабіні екскаватора, бульдозера, або розміщували на верхньому одязі фахівця.

Для підвищення достовірності результатів, порівняння ефективності, чутливості і надійності засобів вимірювання, на кожному робочому місці і в житловому приміщенні використовувалися три типи детекторів: Altras фірми Patras (Німеччина), НЦ-детектори (Росія), детектори DEGBAK (Україна) на основі полікарбонатів типу CP-39, які характеризуються широким енергетичним інтервалом чутливості до альфа-випромінювання $0,1–20,0 \text{ MeV}$. Усі типи детекторів були експоновані у радоновій камері м. Жовті Води з ЕРОА ^{222}Rn $963,9 \pm 9,6 \text{ Бк/м}^3$. Довірча границя основної похибки детекторів при $p = 0,99$ не перевищувала 11,2 %. Розкид показників між різними типами детекторів був у межах 5–10 %. Визначення вмісту ^{222}Rn у воді виконували гамма-спектрометричним методом за зрівноваженим вмістом гамма-випромінюючих ДПР. Всього виконано 95 вимірювань ЕРОА ^{222}Rn на робочих місцях фахівців гранкар'єрів, така ж кількість — у їхніх житлових приміщеннях. Вміст ^{222}Rn у воді досліджено у 87 джерелах питної води у місцях мешкання працівників гранітних кар'єрів, та в 9 джерелах питної води, яка використовується на гранітних кар'єрах (при цьому в кожному такому питному джерелі на гранкар'єрі виконано від 3 до 6 аналізів).

Визначення РЕД зовнішнього опромінення людини від техногенно-підсиленого радіаційного фону ($E_{\text{tecn_nat}}^{\text{ext}}$) здійснено за результатами визначення ПЕД і, враховуючи час перебування людини на відкритій місцевості $2000 \text{ год} \cdot \text{рік}^{-1}$, у приміщенні — $4652 \text{ год} \cdot \text{рік}^{-1}$ [6]. Визначення ефективної дози від ^{222}Rn при його надходженні інгаляційним шляхом ($E_{222\text{Rn,home}}^{\text{inhal}}$, $E_{222\text{Rn,work}}^{\text{inhal}}$) і з питною водою ($E_{222\text{Rn,home}}^{\text{ing(drink)}}$, $E_{222\text{Rn,work}}^{\text{ing(drink)}}$) здійснено відповідно до математичних моделей МКРЗ [9] і даних доповіді НКДАР ООН [10]: дозові коефіцієнти інгаляційного надходження ^{222}Rn до людини при перебуванні у житловому приміщенні прийнято $0,042 \text{ мЗв/рік}^{-1}/\text{Бк/м}^3$, а на робочому місці — $0,016 \text{ мЗв/рік}^{-1}/\text{Бк/м}^3$. Дозовий коефіцієнт перорального надходження ^{222}Rn до людини з питною водою прийнято $1 \cdot 10^{-8} \text{ мЗв/Бк}^{-1}$ [10]. Значення РЕД $E_{222\text{Rn,work}}^{\text{inhal}}$ та $E_{222\text{Rn,home}}^{\text{inhal}}$ визначали спочатку для кар'єру, а потім зважували його за всіма кар'єрами. Значення сумарної річної ефективної дози опромінення працівників гранітних кар'єрів від техногенно-

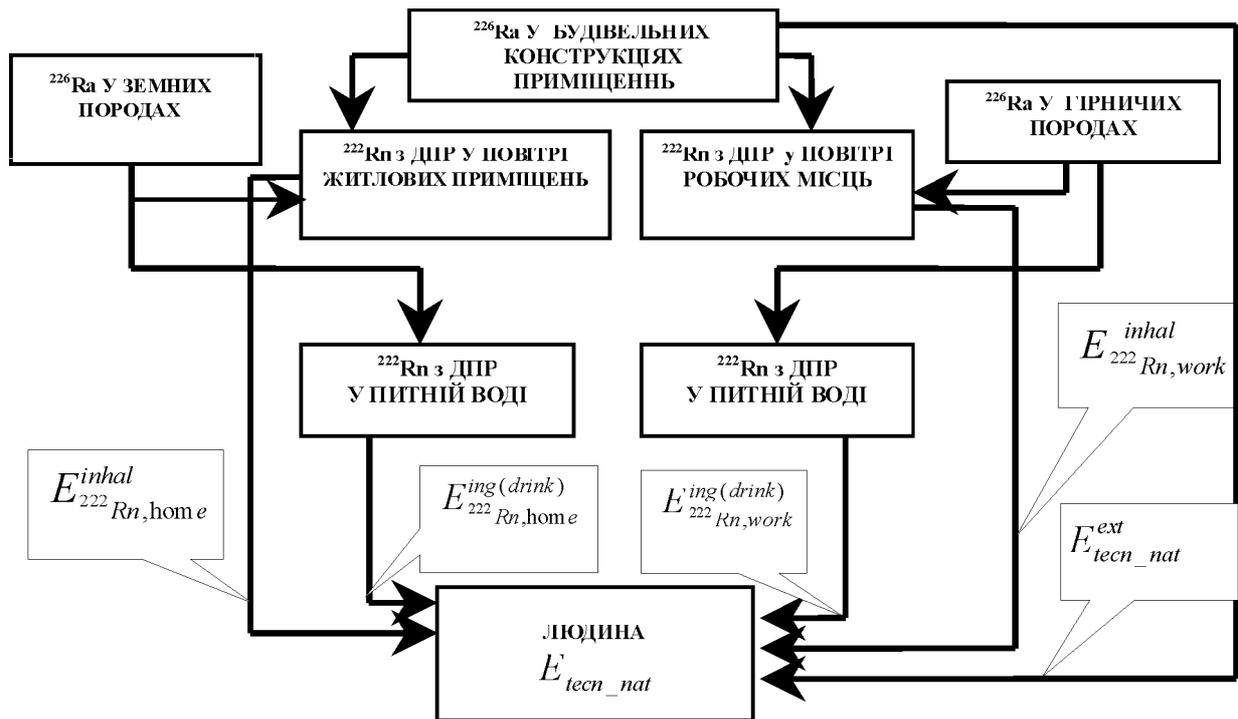


Рис. 1. Блок-схема формування радіаційного навантаження від техногенно-підсилених джерел природного походження (ТПДПП) для працівників гранітних кар'єрів на півдні України: $E_{222\text{Rn,home}}^{inhal}$, $E_{222\text{Rn,work}}^{inhal}$ — РЕД від інгаляційного надходження ^{222}Rn і ДПР з повітрям житлового та робочого приміщення відповідно; $E_{222\text{Rn,home}}^{ing(drink)}$, $E_{222\text{Rn,work}}^{ing(drink)}$ — РЕД від надходження ^{222}Rn з питною водою вдома і на робочому місці відповідно; $E_{tecn_nat}^{ext}$ — РЕД зовнішнього опромінення на робочому місці; E_{tecn_nat} — інтегральна РЕД зовнішнього і внутрішнього опромінення працівника гранкар'єру від ТПДПП

Fig. 1. A scheme of forming radiation load from technogenically enhanced natural sources (TENS) for workers of granite quarries on the south of Ukraine: $E_{222\text{Rn,home}}^{inhal}$, $E_{222\text{Rn,work}}^{inhal}$ — annual effective dose from inhalation of ^{222}Rn and daughter products with the air of dwelling and workplace, respectively; $E_{222\text{Rn,home}}^{ing(drink)}$, $E_{222\text{Rn,work}}^{ing(drink)}$ — annual effective dose from ^{222}Rn in the potable water at home and at the workplace, respectively; $E_{tecn_nat}^{ext}$ — annual effective dose from external exposure at the workplace; E_{tecn_nat} — integral annual effective dose of external and internal exposure of the workers of the quarry from TENS

підсилених джерел природного походження визначалося з врахуванням усіх його складових: $E_{222\text{Rn,home}}^{inhal}$, $E_{222\text{Rn,work}}^{inhal}$, $E_{222\text{Rn,home}}^{ing(drink)}$, $E_{222\text{Rn,work}}^{ing(drink)}$, $E_{tecn_nat}^{ext}$.

При статистичному опрацюванні результатів досліджень застосовано програму Statistica 6.0, при порівнянні середніх величин результатів досліджень (для великих вибірок) використано t -критерій Стьюдента за допомогою програми Statistica 6.0, MathCard 7.0.

Результати та їх обговорення

Середнє значення ПЕД на робочих місцях працівників Первомайського, Прибузького, Олександрівського, Ново-Данилівського гранітних кар'єрів склало 17 ± 3 мкР·год⁻¹. Рівні показників ПЕД у Софіївському гранітному кар'єрі становили в середньому 22 ± 2 мкР·год⁻¹, причому ПЕД на рівні $24-28$ мкР·год⁻¹ зареєстровано на робочих місцях екскаваторщика, дробильника, бурильника. У Ново-Данилів-

ському кар'єрі, де проводилися роботи з розкриття гранітних шарів, зареєстровано рівень ПЕД 35 мкР·год⁻¹. З огляду на середні значення ПЕД на робочих місцях та враховуючи час перебування людини на робочому місці 2000 год·рік⁻¹ [6], величина річної ефективної дози зовнішнього опромінення працівників гранкар'єрів на робочому місці ($E_{tecn_nat}^{ext}$) складала: на Первомайському, Прибузькому, Олександрівському, Ново-Данилівському гранітних кар'єрах в середньому $0,32 \pm 0,05$ мЗв·рік⁻¹; на Софіївському — $0,42 \pm 0,04$ мЗв·рік⁻¹.

У табл. 1 наведені основні статистичні характеристики (середньоарифметичне значення зі стандартним відхиленням, медіана, мода, мінімальне і максимальне значення) результатів вимірювань ЕРОА ^{222}Rn для кожного кар'єру.

Як можна побачити з табл. 1, майже для всіх гранкар'єрів характерним був широкий інтервал розкиду даних. Для Первомайського, Прибузького, Софіївського гранкар'єрів наявна близькість величин середньоарифметичного і модального значень, що свідчило про високу ймовірність середньоарифметичного значення активності ^{222}Rn . Для Ново-Данилівського гранкар'єру отримано близькість усіх трьох середніх характеристик, що свідчило про добру згрупованість результатів навколо середньоарифметичного значення. У Софіївському гранкар'єрі майже усі вимірювання ЕРОА ^{222}Rn склали рівні вище $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, що пояснює дещо вищі величини показників медіанного і модального середніх значень ЕРОА ^{222}Rn , отриманих для цього кар'єру, відносно аналогічних показників для інших кар'єрів. Коefіцієнт варіації результатів ЕРОА ^{222}Rn у цьому кар'єрі також виявився високим ($\sim 44\%$) через широкий інтервал розкиду даних. Середньозважена за всіма кар'єрами величина ЕРОА ^{222}Rn на робочих місцях становила $129 \pm 2 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$.

Виходячи з малості вибірок даних по кожному робочому місцю (оператор дробарки, бурильник перфораторного буріння, каменотес, машиніст бульдозера, машиніст екскаватора) на кожному гранкар'єрі ($n = 2\div 4$), були проаналізовані величини середніх значень $\bar{X} \pm S\bar{X}$ активності ^{222}Rn на цих робочих місцях, отриманих за усіма кар'єрами ($n = 13\div 20$). Значима різниця ($\rho \leq 0,05$) між середніми величинами ЕРОА ^{222}Rn отримана для робочого місця оператора дробарки ($137 \pm 28 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, $n = 19$), бурильника перфораторного буріння ($160 \pm 69 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, $n = 19$), каменотеса ($171 \pm 53 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, $n = 19$) по відношенню до робочого місця машиніста екскаватора ($96 \pm 35 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, $n = 13$) та машиніста бульдозера ($86 \pm 25 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, $n = 16$). Вважаємо, що в подальшому необхідно продовжити дослідження щодо виявлення груп працівників гранкар'єрів, які отримують підвищене «радионове» навантаження на робочому місці.

У табл. 2 наведено результати досліджень ЕРОА ^{222}Rn у житлових приміщеннях працівників гранітних кар'єрів.

Таблиця 1

Основні статистичні характеристики результатів вимірювань ЕРОА ^{222}Rn на робочих місцях працівників гранітних кар'єрів ($\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$)
Main statistical characteristics of ЕРОА ^{222}Rn measurement at the workplace of the workers of granite quarries ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)

Робоче місце працівника, гранітний кар'єр	n	$\bar{X} \pm S\bar{X}$	Середнє		Значення	
			медіанне	модальне	максимальне	мінімальне
Первомайський	15	136 ± 24	124	138	220	85
Первомайський гранітно-щебінковий кар'єр	15	124 ± 46	118	133	190	50
Олександрівський	16	110 ± 34	118	120	160	86
Прибузький	15	156 ± 48	133	152	310	84
Софіївський	22	196 ± 86	160	184	355	58
Ново-Данилівський	12	110 ± 36	118	116	240	58

Таблиця 2

Основні статистичні характеристики результатів вимірювань ЕРОА ^{222}Rn у житлових приміщеннях працівників гранкар'єрів ($\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$)
Main statistical characteristics of ЕРОА ^{222}Rn measurement in dwellings of the workers of granite quarries ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)

Гранітний кар'єр	n	$\bar{X} \pm S\bar{X}$	Середнє		Значення	
			медіанне	модальне	максимальне	мінімальне
Первомайський	15	108 ± 30	98	112	120	55
Первомайський гранітно-щебінковий кар'єр	15	123 ± 12	102	125	160	45
Олександрівський	16	88 ± 10	86	102	160	45
Прибузький	15	83 ± 10	87	96	120	55
Софіївський	22	127 ± 34	117	132	230	75
Ново-Данилівський	12	87 ± 19	88	94	180	65

З огляду на дані табл. 2 маємо, що значуща різниця ($p \leq 0,05$) між середніми значеннями активності ^{222}Rn у житлових приміщеннях отримана для фахівців Первомайського гранітного, Первомайського гранітно-щєбінкового та Софіївського гранкар'єрів по відношенню до інших кар'єрів. При цьому, за нашими спостереженнями, підвищені величини ЕРОА ^{222}Rn були характерними для споруд, які побудовані або з бетонних конструкцій, або з дуже поширеної у сільській місцевості глиняної цегли (саману), які до того ж мали гранітний фундамент, не мали вентильованих підвальних приміщень, а також в яких вентиляція приміщень була або відсутньою, або недостатньою. А в будівлях з доброю вентиляцією житлового приміщення, а також підбудинкового простору, ЕРОА ^{222}Rn була низькою. Слід відзначити, що для фахівців Первомайського гранітного, Первомайського гранітно-щєбінкового, Софіївського гранітного кар'єрів середні величини активності радону були на рівні нормативів для наявних будівель — $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ [6]. Середньозважена за кар'єрами величина ЕРОА ^{222}Rn у житлових приміщеннях складала $96 \pm 2 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$.

Результати досліджень вмісту ^{222}Rn у воді, яку споживають робітники гранітних кар'єрів (колодязь, свердловини) (табл. 3), свідчили, що вміст ^{222}Rn у деяких питних водних джерелах перевищував $100 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ (ГДК ^{222}Rn у питній воді за НРБУ-97/Д2000 [6]). Як видно з таблиці 3, максимальні значення ^{222}Rn виявлено в артезіанській воді на території Софіївського гранітного кар'єру ($345 \pm 17 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$). Високі значення вмісту ^{222}Rn у питній воді відмічені

також для підземних джерел з Олександрівського гранітного кар'єру. На підставі отриманих даних вважаємо, що необхідно додатково провести дослідження вмісту ^{222}Rn у питних джерелах питної води на всіх гранкар'єрах для отримання більшої кількості даних і виявлення, де саме потрібно забезпечувати працівників привізною (бутильованою) водою. За нашими дослідженнями ($n = 87$) вміст ^{222}Rn у питній воді, яку споживають ці спеціалісти вдома, складає, у середньому, $50 \pm 18 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$.

На підставі результатів визначення ЕРОА ^{222}Rn у повітрі робочих і житлових приміщень працівників гранітних кар'єрів (див. табл. 1, 2) обчислено річні ефективні дози за інгаляційним шляхом надходження ^{222}Rn до людини на робочому місці ($E_{^{222}\text{Rn,work}}^{\text{inhal}}$) і вдома ($E_{^{222}\text{Rn,home}}^{\text{inhal}}$) та сумарну дозу від інгаляційного надходження ^{222}Rn вдома і на гранкар'єрі ($E_{^{222}\text{Rn-home}}^{\text{inhal}} + E_{^{222}\text{Rn-work}}^{\text{inhal}}$) (табл. 4). За даними табл. 4 маємо, що величина дозового навантаження для працівників гранкар'єрів від ^{222}Rn вдома ($E_{^{222}\text{Rn,home}}^{\text{inhal}}$) є більшою за величину $E_{^{222}\text{Rn,work}}^{\text{inhal}}$. Це пояснюється прийнятими МКРЗ [1] даними відносно спеціальних величин, за якими визначають річну ефективну дозу від інгаляційного надходження ^{222}Rn до людини вдома і на робочому місці:

різними величинами інгаляційної експозиції * дочірніх продуктів розпаду ^{222}Rn : в одиницях робочого рівня WLM (Working Level Month) тривалий вплив радону з концентрацією

Примітка. * — це інтеграл за часом від суми потенційних енергій альфа-випромінювання короткоіснуючих ДПР радону в одиниці об'єму повітря [1]

Таблиця 3

Вміст ^{222}Rn у питній воді з артезіанських скважин і колодязів гранітних кар'єрів ($\text{Бк}\cdot\text{л}^{-1}$)
 ^{222}Rn amount in potable water from artesian wells and wells of granite quarries ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)

Місце відбору	Джерело питної води	n (кількість вимірювань у певному джерелі)	$\bar{X} \pm S\bar{x}$
Софіївський гранкар'єр	Артезіанська свердловина 25 м	3	345 ± 17
- " -	Колодязь 5 м	4	165 ± 15
Олександрівський гранкар'єр	Колодязь 6 м	4	104 ± 5
- " -	Артезіанська свердловина 25 м	4	74 ± 19
- " -	Те ж 50м	3	44 ± 3
Прибузький гранкар'єр	- " - 30м	6	55 ± 5
- " -	- " - 42 м	4	23 ± 5
Ново-Данилівський водопровід	- " - 25 м	5	20 ± 5
Казанківський водовід	- " - 25 м	3	19 ± 9

Річна ефективна доза від ^{222}Rn для працівників гранітних кар'єрів (мЗв·рік⁻¹)
 Annual effective dose from ^{222}Rn for the workers of granite quarries (mSv·year⁻¹)

Гранітний кар'єр	n	Річна ефективна доза на робочому місці			Річна ефективна доза вдома			Сумарна річна ефективна доза		
		X ± Sx	Значення		X ± Sx	Значення		X ± Sx	Значення	
			макси-мальне	міні-мальне		макси-мальне	міні-мальне		макси-мальне	міні-мальне
Первомайський	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-щебінковий	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	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	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	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	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

1 Бк·м⁻³ призводить до річної експозиції у житловому приміщенні $4,4 \cdot 10^{-3}$ WLM, на робочому місці — $1,26 \cdot 10^{-3}$ WLM;

різною тривалістю перебування людини у робочому (2000 год·рік⁻¹) і житловому (7000 год·рік⁻¹) приміщеннях.

Значуща різниця ($p \leq 0,05$) між середніми значеннями сумарної річної дози від ^{222}Rn отримана для працівників Софіївського гранітного кар'єру по відношенню до решти кар'єрів, для працівників Первомайського гранітного і Первомайського гранітно-щебінкового гранкар'єрів — по відношенню до кар'єрів, де зареєстровані більш низькі рівні сумарного радіаційного навантаження від ^{222}Rn (Олександрівського і Ново-Данилівського).

Узагальнюючи за кар'єрами, маємо, що середньозважена за кар'єрами річна ефективна доза від інгаляційного надходження ^{222}Rn з повітрям робочих місць ($E_{^{222}\text{Rn,work}}^{\text{inhal}}$) складала $2,1 \pm 0,2$ мЗв·рік⁻¹, при розкиді від 0,9 до 5,9 мЗв·рік⁻¹; середньозважена за кар'єрами річна ефективна доза від інгаляційного надходження ^{222}Rn з повітрям житлових приміщень ($E_{^{222}\text{Rn,home}}^{\text{inhal}}$) складала $4,1 \pm 0,2$ мЗв·рік⁻¹, при розкиді від 1,8 до 9,7 мЗв·рік⁻¹.

За отриманими результатами досліджень вмісту ^{222}Rn у воді з підземних джерел питної води РЕД від ^{222}Rn ($E_{^{222}\text{Rn,work}}^{\text{ing(drink)}}$) складала: у Прибузькому і Ново-Данилівському гранітних кар'єрах $0,02 \pm 0,01$ мЗв·рік⁻¹; в Олександрівському гранкар'єрі — близько $0,04$ мЗв·рік⁻¹, а у Софіївському гранкар'єрі $E_{^{222}\text{Rn,work}}^{\text{ing(drink)}}$ досягала $0,15$ мЗв·рік⁻¹. Середнє значення річної

ефективної дози від надходження ^{222}Rn з питною водою вдома ($E_{^{222}\text{Rn,home}}^{\text{ing(drink)}}$) складало $0,05 \pm 0,01$ мЗв·рік⁻¹.

Додаючи усі отримані величини РЕД внутрішнього опромінення працівників гранкар'єрів ($E_{^{222}\text{Rn,home}}^{\text{inhal}}$, $E_{^{222}\text{Rn,work}}^{\text{inhal}}$, $E_{^{222}\text{Rn,home}}^{\text{ing(drink)}}$, $E_{^{222}\text{Rn,work}}^{\text{ing(drink)}}$), отримуємо, що сумарна річна ефективна доза опромінення робітників гранітних кар'єрів за інгаляційним і пероральним шляхами надходження ^{222}Rn (за середньозваженими показниками) становила $6,2 \pm 0,6$ мЗв·рік⁻¹.

ВИСНОВКИ

1. Річна ефективна доза зовнішнього опромінення від ТПДПП для працівників гранітних кар'єрів складала в середньому: на Первомайському, Прибузькому, Олександрівському, Ново-Данилівському гранітних кар'єрах, $0,32 \pm 0,05$ мЗв·рік⁻¹; на Софіївському — $0,42 \pm 0,04$ мЗв·рік⁻¹.

2. Середньозважена за кар'єрами величина ЕРОА ^{222}Rn на робочих місцях становила 129 ± 2 Бк·м⁻³. Середньозважена за кар'єрами величина ЕРОА ^{222}Rn у житлових приміщеннях складала 96 ± 2 Бк·м⁻³.

3. Відзначена тенденція більш високих рівнів ЕРОА ^{222}Rn на робочих місцях таких працівників, як оператор дробарки, бурильник перфораторного буріння, каменотес.

4. Працівники гранітних кар'єрів отримують подвійне радіаційне навантаження від ^{222}Rn (на робочих місцях і вдома). Середньозважена за кар'єрами величина радіаційного наван-

таження від інгаляційного надходження ^{222}Rn з повітрям робочих місць складала $2,1 \pm 0,2 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$ (при розкиді від 0,9 до 5,9 $\text{мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$). Середньозважена за кар'єрами величина радіаційного навантаження від інгаляційного надходження ^{222}Rn з повітрям житлових приміщень складала $4,1 \pm 0,2 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$ (при розкиді від 1,8 до 9,7 $\text{мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$). Сумарна ефективна доза внутрішнього опромінення від надходження ^{222}Rn з повітрям робочих і житлових приміщень та з питною водою становила, в середньому, $6,5 \pm 0,2 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$, а максимальні величини складала близько $15 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Література

1. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А. // *Наук. вісн. Волинського національного ун-ту ім. Лесі Українки*. — №1. — 2008. — С. 291–294.
2. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А. *Формування радіаційного навантаження на людину в умовах півдня України: чинники, прогнозування, контрзаходи: Монографія*. — Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2009. — 370 с.
3. Лось І.П., Павленко Т.А. // *Довкілля та здоров'я*. — 2003. — Вип. 1. — С. 49–54.
4. Лось І.П., Михайлов О.В., Байда Л.К., Костенко А.І., Грицак Л.П. // *Гигиена населенных мест*. — К., 2000. — Вип. 36, ч. 1. — С. 30–37.
5. Лось І.П., Осадча О.М. // *Наукові записки. Серія: Біол. та екол.* — Т. 18. — 2006. — С. 63–66.
6. *Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97/2000Д)*. — К.: МОЗ України, 2000. — 135 с.
7. Павленко Т.А., Лось І.П. // *Ядерна та радіаційна безпека*. — № 1. — 2009. — С. 18–22.
8. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А. // *Вісн. пробл. біол. і мед.* — 2008. — Вип.1. — С. 70–74.
9. ICRP Publication 65 (*Annals of the ICRP Vol. 23 № 2*) *Protection against radon-222 at Home and at Work*. — Vienna: Pergamon, 1994. — 78 p.
10. *Effects of Radiation on the Environment. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR (2000) Report to the General Assembly with Scientific Annex*. — New York: UN, 2000.

Надходження до редакції 04.01.2010.

Прийнято: 19.03.2010.

Адреса для листування:

Григор'єва Людмила Іванівна,
Чорноморський державний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, Миколаїв, 54003, Україна