

## ВИВЧЕННЯ РІВНІВ І СТРУКТУРИ ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ ВІД ПРИРОДНОЇ РАДІАЦІЇ

Канд. мед. наук А. В. КУЦАК<sup>1</sup>, доц. А. І. СЕВАЛЬНЄВ<sup>1</sup>,  
канд. мед. наук М. І. КОСТЕНЕЦЬКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Запорізький державний медичний університет,

<sup>2</sup> ДУ «Запорізький обласний лабораторний центр СЕС України», Україна

**Подано результати вивчення рівнів і структури доз опромінення населення від природних джерел випромінювання. Вимірювання радону-222 відбувалися методом пасивної трекової радонометрії у повітрі житлових будинків. Визначалися активність природних радіонуклідів у будівельних матеріалах, воді артезіанських свердловин, а також гамма-фон у приміщеннях і на відкритій території. Установлено, що сумарна середньорічна ефективна доза опромінення населення від основних джерел природного походження сягає 4,3 мЗв, що перевищує середньосвітовий показник майже в 1,8 разу.**

*Ключові слова:* джерела випромінювання, населення, природні радіонукліди, рівні та дози опромінення.

За даними Наукового комітету ООН по дії атомної радіації (НКДАР ООН), середньосвітова річна доза опромінення людини від усіх чинників становить 5,2 мЗв · рік<sup>-1</sup> [1]. При цьому природна компонента дорівнює 2,4 мЗв · рік<sup>-1</sup>, а в ній основною складовою є радон-222 — 1,5 мЗв · рік<sup>-1</sup>. В Україні сумарна доза опромінення населення становить 5,9 мЗв · рік<sup>-1</sup>, внесок природної складової значно вищий і досягає 3,5 мЗв · рік<sup>-1</sup> [2]. На частку радону-222 в ній припадає 2,4 мЗв · рік<sup>-1</sup>. У зв'язку з цим дуже важливою є інформація про основні чинники опромінення населення в окремих регіонах країни для розробки заходів щодо їх зниження. Ця проблема особливо актуальна для Запорізької області, де розташована найбільша в Європі Запорізька АЕС та високою є природна радіаційна складова за рахунок виходу скелястих порід урану і торію.

Метою роботи є дослідження на території Запорізької області існуючих рівнів гамма-фону на відкритій місцевості та в приміщеннях житлових будівель із подальшою оцінкою можливих доз опромінення населення від джерел природного походження.

Під час проведення дослідження використано дозиметричні, статистичні й розрахункові методи. Величина індивідуальної річної ефективної дози зовнішнього опромінювання населення визначалася за результатами вимірів потужності поглиненої дози гамма-випромінювання у повітрі на відкритій місцевості в контрольній точці населеного пункту і в житлових приміщеннях. Розрахунок сумарної дози зовнішнього опромінювання населення здійснювався згідно з методичними вказівками [3].

Відомо, що природний радіаційний фон формується двома компонентами — космічним випромінюванням і випромінюванням природних радіонуклідів, розсіяних в земній корі, ґрунті,

повітрі, воді та інших об'єктах навколишнього середовища, тому до сумарного значення дози зовнішнього опромінювання додається складова космічного випромінювання, внесок якої в ефективну дозу зовнішнього опромінювання населення становить 0,3 мЗв · рік<sup>-1</sup>.

Вимірювання радону-222 у повітрі приміщень ми здійснювали методом пасивної трекової радонометрії з використанням приладів Track 2010Z [4]. Дози опромінення від радону визначалися з урахуванням сучасних міжнародних рекомендацій щодо дозових коефіцієнтів та нових математичних моделей, запропонованих Міжнародною комісією по радіологічному захисту [5] та НКДАР ООН.

Для вимірювання рівня радіоактивності проб будівельних матеріалів та визначення вмісту радону-222 у питній воді застосовувався спектрометричний метод із використанням сцинтиляційного спектрометра енергій гамма-випромінювання СЕГ-001 «АКП-С» [6]. Питома активність радону-222 визначалася за гамма-випромінювання його дочірніх радіонуклідів — 214Pb та 214Bi шляхом усереднення за енергетичними лініями 0,351; 0,609; 1,764 MeV згідно з [7]. Вміст інших природних радіонуклідів у воді визначався згідно з методичними рекомендаціями [8].

Для оцінки доз опромінення населення від природної радіації було проаналізовано існуючі рівні гамма-фону на відкритій місцевості та у приміщеннях житлових будівель. Усереднені результати щоденних вимірів потужності поглиненої дози у повітрі на відкритій місцевості, що проведені в процесі радіаційно-гігієнічного моніторингу, у період 2010–2014 рр. подано в табл. 1. Таким чином, усереднена за п'ять років потужність поглиненої дози у повітрі на відкритій місцевості становила 11,3 мкР · год<sup>-1</sup>.

Таблиця 1

Усереднені рівні гамма-фону на відкритій місцевості в контрольній точці (мкР · год<sup>-1</sup>) за період 2010–2014 рр.

Рік	Кількість вимірів	D±σ
2010	252	11,59±0,13
2011	249	11,48±0,09
2012	251	10,89±0,12
2013	254	11,20±0,15
2014	251	10,40±0,15
Разом	1257	11,30±0,13

Паримітка. D – поглинена доза. Те саме в табл. 2.

Аналіз рівнів гамма-фону в приміщеннях будинків показав (табл. 2), що усереднена величина потужності поглиненої дози гамма-випромінювання в повітрі приміщень дещо більше вимірної величини на відкритій місцевості й становить у середньому 12,2 мкР · год<sup>-1</sup>.

Для оцінки доз опромінення населення від природних радіонуклідів у питній воді проведено аналіз природної радіоактивності води і розраховано дози опромінення. Рівень дії для радону-222 у джерелах господарсько-питного водопостачання становить 100 Бк·л<sup>-1</sup> [9]. Оскільки Запорізька область розміщена на чотирьох геологічних утвореннях – Українському кристалічному щиті, Приазовській гряді, Кінсько-Ялинській і Причорноморській западинах – отримані результати досліджень об'єднано в чотири групи (табл. 3).

Аналіз результатів досліджень підтвердив, що вміст радону в підземних джерелах питного водопостачання області в місцях залягання Українського кристалічного щита найбільший – 48,2 Бк·л<sup>-1</sup>. Природно, що і річна доза опромінення, яку отримує населення за рахунок питної

Таблиця 2

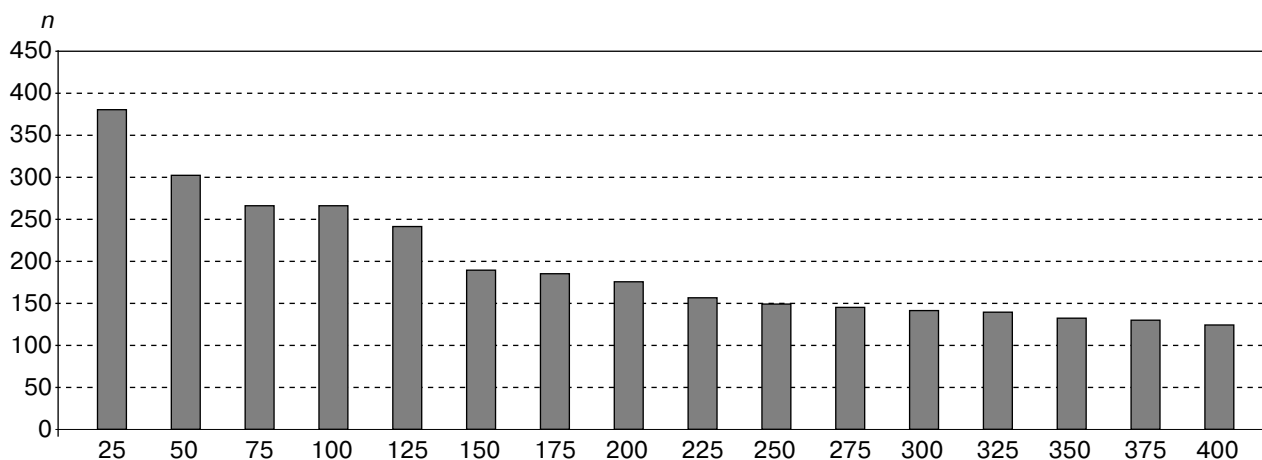
Усереднені рівні потужності поглиненої дози у будинках (мкР · год<sup>-1</sup>) за період 2010–2014 рр.

Рік	Кількість вимірів	D±σ
2010	302	13,30±0,11
2011	136	12,29±0,13
2012	71	11,14±0,23
2013	214	12,70±0,12
2014	125	11,70±0,11
Разом	848	12,2±0,14

води зі свердловин, розташованих у зоні його залягання, достатньо висока і може становити понад 700 мкЗв на рік. Доза опромінення населення, яке використовує воду із свердловин інших геологічних утворень, у 4–6 разів менша. Отже, тільки при значному перевищенні нормативу радону у воді його внесок у дозу опромінення може бути порівняним із внеском радону, який надходить із ґрунту або будівельних матеріалів.

У рамках дослідження було обстежено 693 житлових будинків. Радонометри (пасивні трекові детектори) експонувалися в приміщеннях упродовж місяця в опалювальний сезон. За результатами аналізу вимірювань радону в повітрі приміщень житлових будівель встановлено, що частотний розподіл еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону-222 у повітрі має логнормальний характер (рисунок), тому в табл. 4 наведено середньгеометричне значення активності для кожного району.

Основні статистичні дані про ЕРОА радону-222 у повітрі житлових приміщень, середньозважені по окремих районах, а також результати аналізу



Частотний розподіл еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону-222 у повітрі житлових приміщень Запорізької області: n – кількість житлових будинків; n = 693, m<sub>ср</sub> – середньгеометричне значення еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону; m<sub>ср</sub> = 46 Бк · м<sup>-3</sup>; SD – стандартне відхилення еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону; SD = 71 Бк · м<sup>-3</sup>

## Природна радіоактивність води і дози опромінення населення Запорізької області

Геологічне утворення	Радій-226		Уран-238		Радон-222		Сумарна ЕД, мкЗв
	питома активність, Бк·кг	ЕД, мкЗв	питома активність, Бк·кг	ЕД, мкЗв	питома активність, Бк·кг	ЕД, мкЗв	
Український кристалічний щит	0,41	492,0	0,71	68,2	48,2	144,6	704,8
Приазовська гряда	0,01	12,0	0,4	38,4	37,8	113,4	163,8
Кінсько-Ялинська западина	0,04	48,0	0,33	31,7	15,5	46,5	126,2
Причорноморська западина	0,03	36,0	0,49	47,0	11,4	34,2	117,2

Таблиця 4

Основні статистичні параметри еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону у повітрі приміщень житлових будівель у районах Запорізької області (Бк · м<sup>-3</sup>)

Райони	Середнє геометричне ЕРОА <sup>222</sup> Rn	Стандартне відхилення ЕРОА <sup>222</sup> Rn	Максимальне значення ЕРОА <sup>222</sup> Rn	Процент перевищення нормативу
				100 Бк · м <sup>-3</sup>
Василівський	37	64	398	8
Вільнянський	54	54	230	20
Гуляйпольський	112	56	244	62
Запорізький	40	33	163	7
Куйбишевський	74	63	395	30
Мелітопольський	40	19	98	0
Михайлівський	56	36	172	15
Новомиколаївський	47	40	195	18
Оріховський	97	60	267	53
Пологівський	55	43	203	20
Токмакський	89	108	549	43
Чернігівський	36	28	125	5

відповідності рівнів радону діючій нормативній базі (відсоток зафіксованого перевищення нормативу для існуючих будівель – 100 Бк · м<sup>-3</sup> [9]) наведено у табл. 4.

Як бачимо, вміст радону-222 у повітрі приміщень, розташованих у різних районах, відрізняється в кілька разів. Так, найбільші величини зареєстровано в Гуляйпольському, Оріховському і Токмакському районах. Діапазон значень ЕРОА радону-222 в повітрі житлових приміщень цих районів становив від 89 до 112 Бк · м<sup>-3</sup>. Найменші значення зафіксовано у Чернігівському, Василівському, Запорізькому, Мелітопольському районах (36–40 Бк · м<sup>-3</sup>). Іншими словами, показники активності радону в повітрі приміщень житлових будівель відрізняються у 2–3 рази.

Установлено, що найбільш радононебезпечними територіями Запорізької області є Гуляйпольський (62% будівель не відповідають вимогам нормативної бази), Оріховський (53%) і Токмакський (43%) райони, а найбільш благополучним є Мелітопольський.

Усі будівельні матеріали, які виготовляються із викопної сировини, мають ту чи іншу природну радіоактивність. Ефективна питома активність природних радіонуклідів у будматеріалах і відходах виробництва підприємств Запорізької області в основному варіює у межах від 65 до 335 Бк · кг<sup>-1</sup>, а радіоактивність вогнетривкої цегли перевищує допустимий норматив у 10 разів (табл. 5).

Було проаналізовано величини активності радону-222 у повітрі приміщень житлових будинків залежно від будівельних матеріалів. Перевищення було зафіксовано в цегляних будівлях (максимальне значення ЕРОА радону – 624 Бк · м<sup>-3</sup>), будівлях із ракушняку (549 Бк · м<sup>-3</sup>) і будівлях із саману (508 Бк · м<sup>-3</sup>).

Середньозважена по 11 районах ефективна доза опромінення від радону в повітрі приміщень Запорізької області – 3,3 мЗв · рік. Однак на рівні окремих районів ця величина варіювала від 2,0 до 5,4 мЗв · рік. Аналіз вимірювань показав, що в середньому 24% будівель Запорізької області

Таблиця 5

**Природні радіонукліди в будматеріалах і відходах виробництва підприємств, розташованих у Запорізькій області**

Матеріал	Питома активність, Бк · кг <sup>-1</sup>			АЕ, Бк · кг <sup>-1</sup>
	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	
Бетонна суміш	48	36	341	114
Цегла силікатна	34	32	227	96
Цегла керамічна	51	47	346	108
Цегла вогнетривка	259	253	95	601
Цегла шамотна	27	65	90	119
Цегла магнезійна	18	27	106	65
Плитка керамічна	56	71	655	174
Плитка тротуарна	80	56	120	80
Золобетон	83	90	400	233
Шлакобетон	112	102	610	292
Шлак доменний	54	20	115	90
Шлак мартенівський	62	23	144	104
Золошлак ДРЕС	120	117	760	335

не відповідають вимогам нормативу вмісту радону-222 в повітрі приміщень.

Розрахована сумарна доза опромінення населення області за рахунок зовнішнього опромінення у приміщеннях і на відкритій місцевості — 0,64 мЗв на рік (табл. 6), при цьому 80% цієї дози визначає опромінення в приміщеннях. Аналіз доз опромінення за рахунок радону-222 показав, що через дихання у приміщеннях населення області отримує дозу 3,3 мЗв · рік<sup>-1</sup>, а при вживанні води — 0,13 мЗв · рік<sup>-1</sup>.

Таким чином, сумарна середньорічна ефективна доза опромінення населення Запорізької області від усіх основних джерел природного походження становить 4,3 мЗв, тобто перевищує середньосвітовий показник майже в 1,8 рази і є на 19,4% більшою, ніж у середньому по країні [1, 2]. Найбільшу частку (76,0%) в цій дозі займає радон-222. Керована компонента сумарної дози природного походження за рахунок будматеріалів, питної води, радону-222 у повітрі житлових приміщень дорівнює 89,7%.

Проведене дослідження дало змогу зробити такі висновки.

Установлено, що сумарна середньорічна ефективна доза опромінення населення від основних джерел природного походження сягає 4,3 мЗв, що перевищує середньосвітовий показник майже в 1,8 рази і на 19,4% більше за середньоукраїнський. Найбільшу частку становить радон-222 — 76%.

За рахунок природної радіації, усередненої за період 2010–2014 рр., потужність поглиненої дози в повітрі на відкритій місцевості становила 11,3 мкР · год<sup>-1</sup>. Рівні гамма-фону, виміряні в приміщеннях будинків, дорівнюють 12,2 мкР · год<sup>-1</sup>. Визначено, що сумарна доза опромінення населення області за рахунок зовнішнього опромінення у приміщеннях і на відкритій місцевості — 0,64 мЗв на рік, при цьому 80% цієї дози визначає опромінення в приміщеннях.

Рівень радону-222 в повітрі приміщень житлових будинків варіює від 36 до 112 Бк · м<sup>-3</sup>. Відсоток перевищень нормативу згідно з НРБУ для житлових приміщень (100 Бк · м<sup>-3</sup>) становить від 5 до 62% залежно від району. Визначено, що в середньому 24% будівель області не відповідають вимогам нормативу. Середньозважена ефективна доза опромінення становила 3,3 мЗв · рік<sup>-1</sup>, на рівні окремих районів цей показник варіює від 2 до 5,4 мЗв · рік<sup>-1</sup>.

Список літератури

1. UNSCEAR 2006. Effects of Ionizing Radiation: Report to the General Assembly with Scientific Annexes / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.— N. Y.: UN, 2008.— 334 p.
2. Павленко Т. О. Радіаційно-гігієнічна оцінка доз опромінення населення України від техногенно-підсиленних джерел природного походження: дис.

Таблиця 6  
**Річна доза опромінення населення Запорізької області від джерел природного походження (мЗв)**

Найменування	Доза	%	Україна [2]
Гамма-фон у приміщеннях (будматеріали)	0,49	11,2	0,5
Гамма-фон на відкритій місцевості	0,15	3,4	0,15
Космічне опромінення	0,3	6,9	0,3
Опромінення <sup>222</sup> Rn у приміщеннях	3,3	76	2,4
Природні радіонукліди в питній воді	0,13	3,0	0,15
Разом	4,3	100	3,5

Керована компонента сумарної дози природного походження за рахунок будматеріалів, питної води, радону-222 в повітрі житлових приміщень сягає 89,7%.

- на здобуття наук. ступеня д-ра біол. наук; спец. 14.02.01 / Т. О. Павленко.— К., 2010.— 253 с.
3. Оценка доз облучения групп населения, подвергающихся повышенному облучению за счет природных источников ионизирующего излучения: метод. указ. МУ 2.6.1.2397–08.— М., 2008.— 20 с.
4. Вимірювання концентрації радону-222 у повітрі

www.imj.kh.ua

- будинків методом пасивної трекової радонометрії з використанням приладу «Track 2010Z»: метод. вказ. з методів контролю. МВК 6.6.2.-063-2000.— К.: МОЗ України, 2000.— 21 с.
5. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards // IAEA Safety Standards Series No. GSR.— Vienna: IAEA, 2011.— 303 p.
  6. Определение активности естественных радионуклидов в объектах окружающей среды: метод. пособ.— К., 1992.— 56 с.
  7. Методика измерения гамма-излучающих радионуклидов или активности проб, содержащих смесь радионуклидов с использованием аттестованного гамма-спектрометра МВИ 4/86. Госкомитет по стандартам. НПО «ВНИИ метрологии им. Д. И. Менделеева».— М., 1986.— 8 с.
  8. Радиационный контроль питьевой воды методом радиохимического анализа. МР 2.6.1.0064-12.— М., 2012.— 89 с.
  9. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97): ДГН 6.6.1.6.5.00198 / Комітет з питань гігієнічного регулювання МОЗ України.— Офіц. вид.— К., 1998.— 135 с.
  10. *Мурашко В. О.* Радіаційно-гігієнічний контроль у будівництві: навч. посіб. / В. О. Мурашко, М. І. Костенецький, Г. Т. Грибіненко.— К., 2009.— 31 с.

### ИЗУЧЕНИЕ УРОВНЕЙ И СТРУКТУРЫ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПРИРОДНОЙ РАДИАЦИИ

А. В. КУЦАК, А. И. СЕВАЛЬНЕВ, М. И. КОСТЕНЕЦКИЙ

Представлены результаты изучения уровней и структуры доз облучения населения от природных источников излучения. Измерения радона-222 проводились методом пассивной трековой радонометрии в воздухе жилых домов. Определялись активность природных радионуклидов в строительных материалах, воде артезианских скважин, а также гамма-фон в помещениях и на открытой территории. Установлено, что суммарная среднегодовая эффективная доза облучения населения от основных источников природного происхождения достигает 4,3 мЗв, что превышает среднемировой показатель почти в 1,8 раза.

*Ключевые слова:* источники излучения, население, природные радионуклиды, уровни и дозы облучения.

### STUDY OF THE LEVELS AND STRUCTURE OF DOSES OF POPULATION EXPOSURE DUE TO NATURAL RADIATION SOURCES

A. V. KUTSAK, A. I. SEVALNIEV, M. I. KOSTENETSKYI

The article presents the results of investigation of the levels and structure of radiation exposure doses due to natural radiation sources. Measurement of radon-222 was carried out by passive track radonometry in the air of houses. The activity of natural radionuclides in construction materials, water of artesian wells, as well as gamma background in the premises and in the open area were determined. It was established that the total annual average effective dose of radiation from the population of the main sources of natural origin reached 4.3 mSv, which exceeded the average world index by almost 1.8 times.

*Key words:* radiation sources, population, natural radionuclides, exposure levels and doses.

Надійшла 19.05.2017