

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ АКТИВНОСТІ РАДОНУ ВНУТРІШНЬОБУДИНКОВОГО ПОВІТРЯ
м. РІВНОГО****М. О. Клименко, О. О. Лебедь**Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 36000, Україна.

Проаналізовано дані значень об'ємної активності радону у повітрі перших поверхів, напівпідвальних і підвальних приміщень протягом 24 годин з подальшим усередненням. Встановлено, що радон у повітря будинків надходить в основному з ґрунту і будівельних матеріалів стін, підлоги та стелі. Не виявлено вмісту Радону-220 (Торону) в повітрі досліджуваних приміщень. Середнє геометричне значення об'ємної активності Радону-222 у повітрі приміщень склало 200 Бк/м^3 з геометричним стандартним відхиленням $0,7865$. Середнє арифметичне значення об'ємної активності радону у повітрі цих же приміщень склало $262,5 \text{ Бк/м}^3$ зі стандартним відхиленням $194,4 \text{ Бк/м}^3$, що свідчить про значну варіабельності рівнів радону в повітрі житлових будинків на території міста Рівного. Середньорічна ефективна доза опромінення, що формується під час вдихання радону і дочірніх продуктів його розпаду населенням, яке проживає на перших поверхах будинків, становить $3,4 \text{ мЗв}$. Статистичний аналіз отриманих результатів показав, що значення еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону перевищують норми радіаційної безпеки для 100 Бк/м^3 – у 21%, а для 200 Бк/м^3 – у 2% приміщень.

Ключові слова: радон, об'ємна активність, приміщення, середньорічна ефективна доза, частота розподілу, імовірність опромінення.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА ВНУТРИДОМОВОГО ВОЗДУХА г. РОВНО**М. О. Клименко, О. О. Лебедь**Национальный университет водного хозяйства и природопользования
ул. Соборная, 11, г. Ровно, 36000, Украина.

Проанализированы данные значений объемной активности радона в воздухе первых этажей, полуподвальных и подвальных помещений в течение 24 часов с последующим усреднением. Установлено, что радон в воздух домов поступает в основном из почвы и строительных материалов стен, пола и потолка. Не выявлено содержания Радона-220 (Торона) в воздухе исследуемых помещений. Среднее геометрическое значение объемной активности Радона-222 в воздухе помещений составило 200 Бк/м^3 с геометрическим стандартным отклонением $0,7865$. Среднее арифметическое значение объемной активности радона в воздухе этих же помещений составило $262,5 \text{ Бк/м}^3$ со стандартным отклонением $194,4 \text{ Бк/м}^3$, что свидетельствует о значительной вариабельности уровней радона в воздухе жилых домов на территории города Ровно. Среднегодовая эффективная доза облучения, формируемая при вдыхании радона и дочерних продуктов его распада населением, проживающим на первых этажах домов, составляет $3,4 \text{ мЗв}$. Статистический анализ полученных результатов показал, что значение эквивалентной равновесной объемной активности радона превышает нормы радиационной безопасности жилищ для 100 Бк/м^3 – в 21%, а для 200 Бк/м^3 – в 2% помещений.

Ключевые слова: радон, объемная активность, помещения, среднегодовая эффективная доза, частота распределения, вероятность облучения.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Перед сучасним суспільством в його найближчій перспективі особливо гостро стануть проблеми екологічної безпеки навколишнього середовища, екологічно безпечного природокористування при зростаючому антропогенному навантаженні. Воно у великій мірі визначається зростаючим видобутком радіоактивних металів (урану, торію тощо), води з артезіанських скважин, природного газу та ін. Хоча в Україні антропогенний тиск на навколишнє середовище нижчий середньосвітового, він суттєво впливає на зміни в біогеосистемах. Серед антропогенних забруднень навколишнього середовища найшкідливішим за наслідками для людини є іонізаційне забруднення.

Іонізаційне забруднення навколишнього середовища в Україні відбувається внаслідок неконтрольованого виходу радіоізотопів під час експлуатації атомних електростанцій, в гірничодобувній промисловості, використання радіаційних матеріалів у медицині, видобутку води та газу тощо. Небезпечним джерелом, з точки зору зовнішнього та внутрішнього опромінення людини є газ радон [1]. Відомо, що річна ефективна доза від природних радіоактивних джерел в районах з нормальним радіоактивним фоном становить $0,60 \text{ мЗв/рік}$ при зовнішньому опроміненні,

в якій внесок елементів радіоактивної родини Урану становить $0,090 \text{ мЗв/рік}$. При внутрішньому опроміненні річна ефективна доза становить $1,34 \text{ мЗв/рік}$, а внесок членів родини Урану в ній – $0,954 \text{ мЗв/рік}$, причому внесок радону – $0,930 \text{ мЗв/рік}$. Якщо ж врахувати, що сумарна річна ефективна доза від зовнішнього і внутрішнього опромінення становить приблизно $1,952 \text{ мЗв/рік}$, то внесок в ній членів родини Урану становить 52%, а радону – 46,7% [2, 3].

У процесі життєдіяльності людина постійно вдихає повітря, у якому присутній радон, і він неминуче надходить у легені. Унаслідок інертності радон майже весь після вдихання швидко видихається. Однак, більша частина його радіоактивних дочірніх продуктів розпаду (ДПР) («активний наліт») після вдихання відкладається в дихальних шляхах легенів. Завдяки відносно малим періодам напіврозпаду ДПР радону епітеліальні клітини легеневої тканини отримують значну дозу опромінення до видалення ДПР шляхом абсорбції в кров або перенесення частинок у травну систему. Два з декількох його короткоживучих дочірніх продуктів, Полоній-218 і Полоній-214, випускають α -частинки, поглинена енергія яких домінує в дозі, що припадає на легені, на відміну від системних органів і шлунково-кишкового тракту, дози опромінення яких є невисокими. Як наслі-

док, еквівалентна доза опромінення легенів уносить більше 95% у величину ефективної дози, обумовленої інгаляцією ДПП радону [4].

Крім того, радіаційне ушкодження молекул ДНК може викликати порушення функцій генів, які здійснюють контроль розмноження і диференціювання – пухлинну трансформацію з подальшим ростом пухлини. Оскільки максимальні дози від ДПП Радону припадають на епітелій сегментарних бронхів, саме в них переважно локалізуються і розвиваються пухлини. Серед різновидів раку легенів, що викликаються радоновим опроміненням, частіше від інших діагностуються аденокарцинома, лусковидна карцинома й саркома лімфатичних вузлів.

Існують певні проблеми, пов'язані з визначенням особливостей формування доз опромінення населення від ізотопів Радону та їх дочірніх продуктів розпаду у конкретних умовах місцевості. Це пов'язано з багатьма факторами, зокрема, геологічно-геофізичні характеристики територій більшості міст вивчені недостатньо, і для багатьох міст відсутній статистичний матеріал за вмістом радону та його ДПП у повітрі, ґрунті, воді. У результаті залишаються недослідженими просторово-часові закономірності розподілу радону на території міста і, як наслідок, виявляється неоціненним масштаб радіаційної небезпеки радону на окремо обраній території. Як приклад можна привести місто Рівне.

Мета досліджень полягала у дослідженні об'ємної активності радону (ОА) у внутрішньобудинковому повітрі міста.

Досягнення мети передбачало виконання наступних завдань:

- вимірювання ОА радону у повітрі перших поверхів, напівпідвальних і підвальних приміщень;
- встановлення частоти розподілу ОА радону у внутрішньобудинковому повітрі;
- розрахунку середньорічної ефективної дози опромінення населення.

Об'єкт дослідження – процес надходження радону у приміщення житлового фонду міста.

Предмет дослідження – показники об'ємної активності радону та середньої ефективної дози.

Методи та методики досліджень. У наших експериментах вимірювання об'ємної активності (ОА) радону проводилось у 600 приміщеннях перших поверхів, напівпідвальних та підвальних приміщень житлового та виробничого фонду м. Рівне в 2015-17 роках за допомогою радонметра «Альфарад Плюс», який призначений для експресних вимірювань та неперервного моніторингу ОА Радону-222 (діапазон: (1–2000000) Бк/м³) і кількості розпадів Полонію-216 (діапазон: (0,001–100) імн/с), а також еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону та торону в повітрі житлових та робочих приміщень і на відкритому повітрі. Вимірювання ОА Радону-222 базується на електростатичному осадженні іонів Полонію-218 із відібраної проби повітря на напівпровідниковий детектор. ОА Радону-222 визначається за кількістю зареєстрованих α - частинок під час розпаду атомів Полонію-218, які осіли на детектор. Градування приладу проводилося згідно методики [5].

Для досліджень були виділені наступні типи будівель: сільські будинки, будинки міського типу і будівлі соціально-побутового призначення, які мають конструктивні відмінності. Оскільки значення ОА всередині приміщень можуть коливатись у десятки разів протягом доби нами проводились вимірювання в кожному приміщенні протягом 24 годин з подальшим усередненням.

Радон в повітря будинків надходить в основному з ґрунту та будівельних матеріалів стін, підлоги, стелі. Перенесення радону з ґрунту в будівлі залежить від декількох параметрів:

- складу ґрунту (хімічний склад, геологія, вологість і проникність для радону);
- ОА радону в ґрунті;
- різниці тиску між повітрям у будинку і зовнішнім атмосферним повітрям, між ґрунтовим повітрям і зовнішнім атмосферним повітрям і між ґрунтовим повітрям і повітрям нижніх приміщень будинку;
- площі будівлі, що стикається з ґрунтом;
- герметичності зовнішньої оболонки будівлі, включаючи наявність тріщин, трубопроводів, кабельних каналів, тощо, особливо в підлогах і фундаментах будівлі [6].

Вимірювання Радону-222 в приміщеннях, розміщених на поверхх вище першого, систематично не проводились, оскільки вибіркові вимірювання в окремих помешканнях показали, що значення ОА радону в них набагато менші від нормативних. Це пояснюється тим, що радон в 7,5 разів важчий за повітря і в основному накопичується в підвалах та перших поверхх будинків.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Наявність Радону-220 (Торону) в жодній із вимірювальних проб повітря приміщень виявлено не було.

Результати дослідження ОА радону внутрішньобудинкового повітря показані в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення ОА радону у внутрішньобудинковому повітрі

ОА, Бк/м ³	Кількість приміщень
0 - 50	24
50 - 100	72
100 - 150	132
150 - 200	72
200 - 250	60
250 - 300	48
300 - 350	36
350 - 400	30
400 - 450	24
450 - 500	24
500 - 550	18
550 - 600	18
600 - 650	12
650 - 700	6
700 - 750	6
750 - 800	6
800 - 850	3
850 - 900	3
900 - 950	3
950 - 1000	3

Максимальні значення OA Радону-222 зафіксовані в досліджуваних приміщеннях становлять близько 1000 Бк/м^3 (рис. 1).

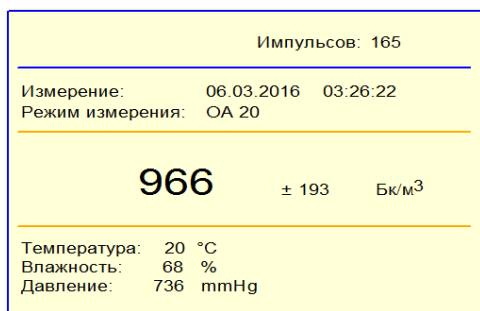


Рисунок 1 – Покази екрана комплексу «Альфарад Плюс» з максимальними значеннями OA Радону-222 зафіксовані в приміщеннях м. Рівне у досліджуваний період

Для підвальних приміщень і житла перших поверхів нами було встановлено, що в службових приміщеннях у вечірній і нічний час середні величини OA нижчі, ніж удень, коли спостерігається інтенсивніше переміщення людей із частим відкриванням дверей на вулицю. Типовий приклад наведено на рис. 2.

Середнє геометричне значення OA у цьому приміщенні в період із 18 год. вечора до 6 год. ранку склало $15,75 \text{ Бк/м}^3$, у період із 6 год. ранку до 18 год. вечора – $20,01 \text{ Бк/м}^3$, а в середньому за добу – $17,81 \text{ Бк/м}^3$.

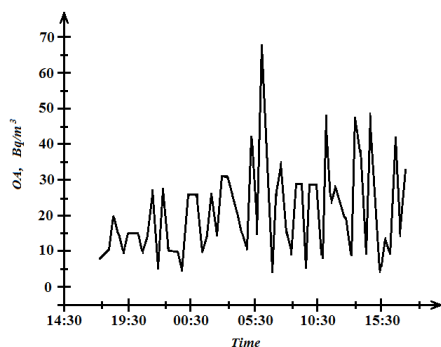


Рисунок 2 – OA радону в службовому приміщенні (науково-дослідна лабораторія прикладних наук РДГУ, напівпідвальне приміщення без вікон)

У повітрі службових приміщень, де відбувається цілодобовий цикл роботи, не спостерігається різка відмінність в значеннях OA радону. Наприклад, в одному з таких приміщень середнє геометричне значення OA за добу склало $56,69 \text{ Бк/м}^3$.

Житлові приміщення характеризуються широкою варіабельністю концентрації радону. На рис. 3 показана динаміка OA радону в підвальному приміщенні одноповерхового будинку сільського типу (вул. Винниченка, 10, підвал із земляною підлогою площею приблизно $1,5 \times 1,5 \text{ м}^2$, розміщений під житловою кімнатою з входом із цієї кімнати).

Як видно з рис. 3, концентрація OA радону в цьому приміщенні варіюється протягом доби в триразовому діапазоні, досягаючи максимальних значень уночі. Середнє геометричне значення в приміщенні за вимірювальний період склало $636,5 \text{ Бк/м}^3$

(середнє арифметичне – $658,2 \text{ Бк/м}^3$, стандартне відхилення – $208,3 \text{ Бк/м}^3$).

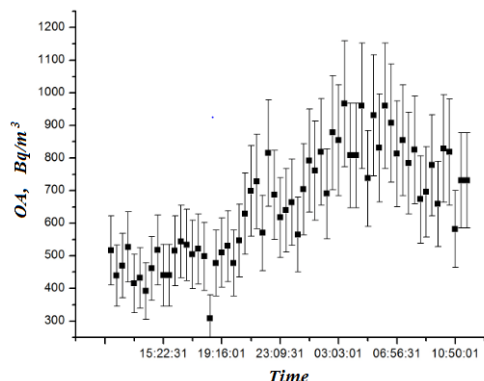


Рисунок 3 – Динаміка OA радону в підвалі житлового будинку сільського типу в м. Рівне протягом доби в березні 2016 року

Значення OA для вимірюваних приміщень м. Рівне наведені у гистограмі рис. 4.

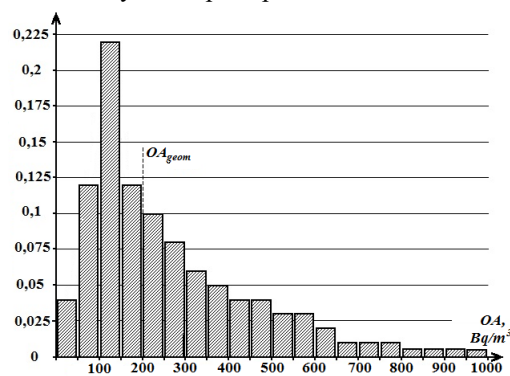


Рисунок 4 – Гістограма «відносна кількість досліджуваних приміщень – OA радону в них», OA_{geom} – середнє геометричне значення OA

Користуючись методикою [7], у результаті обробки вимірювань радону в повітрі житлових будинків м. Рівне встановили, що частотний розподіл об'ємних активностей радону (OA) в повітрі житлових будинків носить логнормальний характер (рис. 5) із густиною розподілу

$$P(OA) = \frac{1}{OA \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\ln \frac{OA}{OA_{geom}}\right)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

де OA_{geom} – середнє геометричне значення об'ємної активності в досліджуваних приміщеннях

$$OA_{geom} = \sqrt[n]{\prod_i OA_i}, \quad (2)$$

де OA_i – середнє за вимірюваний проміжок часу значення OA в кожному з n приміщень, σ – параметр розподілу (геометричне стандартне відхилення)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i \left(\ln \frac{OA_i}{OA_{geom}}\right)^2}{n-1}} = 0,7865. \quad (3)$$

Середньоарифметичне значення OA по вимірюваних будинках склало $262,5 \text{ Бк/м}^3$ за стандартного відхилення $194,4 \text{ Бк/м}^3$, що свідчить про значну варіабельності рівнів радону в повітрі житлових будинків на території міста Рівного.

Із рис. 4 нами були визначені статистичні параметри розподілу для OA дочірніх продуктів ізотопів радону: математичне сподівання (OA_{geom}) для OA , геометричне стандартне відхилення OA (σ) та прогнозоване максимальне значення OA_{max} , які показані на рис. 5. Як останній параметр розглянуто значення на рівні порогової величини густини ймовірності відповідного відхилення від максимуму розподілу на відстані 3σ («правило трьох сигм»).

Аналіз параметрів розподілу за гістограмою рис. 4 показав, що рівень у 100 Бк/м^3 за OA перевищено у 86% випадків, а 200 Бк/м^3 – 50% випадків, ці ж значення за $EPOA$ (приймаючи за коефіцієнт рівноваги значення $F_{Rn} = 0,4$) перевищено для 100 Бк/м^3 – у 21%, а для 200 Бк/м^3 – у 2% приміщень.

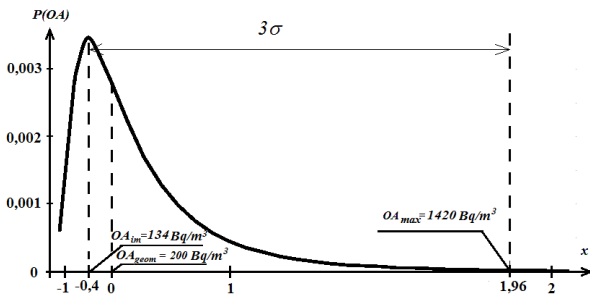


Рисунок 5 – Густина розподілу ймовірності $P(OA)$ значень OA радону в повітрі досліджуваних приміщень м. Рівне. $x = \ln(OA/OA_{geom})$, OA_{im} – найбільш ймовірне значення OA , OA_{geom} – середнє геометричне значення OA , OA_{max} – прогнозоване максимальне значення OA

Виходячи з розрахунків і приймаючи за коефіцієнт рівноваги таке ж значення F_{Rn} середньорічне значення $EPOA$ дочірніх продуктів ізотопів радону в повітрі приміщень на території міста за [7] можна прийняти рівним 80 Бк/м^3 , що в 2,5 раза менше нормативної величини (200 Бк/м^3), прийнятої в НРБУ-97 [9] для приміщень в експлуатованих житлових і громадських будівлях. Прогнозоване максимально можливе значення $EPOA$ за результатами наших вимірювань оцінюється величиною, що не перевищує 570 Бк/м^3 ($OA=1420 \text{ Бк/м}^3$).

Отримані статистичні показники дозволили оцінити ймовірність реєстрації значень $EPOA$ понад 200 Бк/м^3 за формулою:

$$\omega(A) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{200}^{568} \frac{e^{-\frac{(\ln(A/A_{geom}))^2}{2\sigma^2}}}{A} dA, \quad (4)$$

де A – еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону ($EPOA$), A_{geom} – середнє геометричне значення $EPOA$ радону ($EPOA_{geom} = 80 \text{ Бк/м}^3$), $\sigma = 0,7865$, $A = 568 \text{ Бк/м}^3$ відповідає $OA = 1420 \text{ Бк/м}^3$.

Для приміщень, розташованих на перших, напівпідвальних і підвальних поверхах будинків м. Рівне,

це значення ймовірності становить близько 11,56 %. Отже, підвищений вміст радону в будинках є досить характерним для досліджуваного регіону.

Найбільша питома вага значень $EPOA$ радону понад 100 Бк/м^3 встановлена в підвальних приміщеннях. У підвалах зареєстровано і найбільшу кількість значень $EPOA$ радону вище 100 Бк/м^3 , що необхідно враховувати під час розміщення об'єктів соціального призначення в підвальних і цокольних поверхах будівель.

Спостерігається залежність між вмістом радону в підвалах і житлових приміщеннях, які знаходяться над ними. Це пов'язано з різними конструктивними особливостями будівель і якістю виконаних будівельних робіт, від яких залежить надходження в житлові приміщення радону. Через зношення конструкцій, появу тріщин у стиках між перекриттями необхідне постійне спостереження за рівнями $EPOA$ радону після здачі будинків в експлуатацію.

За питомою вагою виявлених будівель з $EPOA$ радону вище за норматив 100 Бк/м^3 будинки можна розташувати в наступному порядку: будинки сільського типу, будівлі соціально-побутового призначення, будівлі міського типу (перші поверхи).

Середньорічна ефективна доза опромінення, що формується під час вдихання радону і дочірніх продуктів його розпаду населенням, яке проживає на перших поверхах будинків м. Рівного, становить згідно з [10]:

$$H_{eff} = 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot (OA_{Rn})_{cep} = 3,4 \text{ мЗв} \quad (5)$$

приймаючи коефіцієнт рівноваги між радоном і його ДПП рівним 0,4 і час, який проводить людина в приміщенні, – 7000 годин на рік. Тут $(OA_{Rn})_{cep} = 200 \text{ Бк/м}^3$ – середнє геометричне значення OA радону в повітрі приміщення, Бк/м^3 . Для середньорифметичного значення $(OA_{Rn})_{cep} = 262,5 \text{ Бк/м}^3$ це значення – $H_{eff} = 4,46 \text{ мЗв}$. Та частка населення, що проживає в будинках із максимальними вимірними нами значеннями близько $OA_{Rn} = 1000 \text{ Бк/м}^3$ отримують за рік відповідну дозу – $H_{eff} = 17 \text{ мЗв}$, узагалі ж за нашими розрахунками (рис. 4) окремі люди за рахунок радону та його ДПП за рік можуть отримати дозу:

$$H_{eff} = 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot 1420 = 24,14 \text{ мЗв}.$$

Залежність ймовірного рівня потужності ефективної дози від опроміненням радоном на території м. Рівне (всередині приміщень будинків) подана на рис. 6.

В [11] пропонується розраховувати H_{eff} (в мЗв/рік) за формулою:

$$H_{eff} = 0,01579 \cdot \left((A_{Rn}^{6y\lambda})_{cep} + 4 \cdot (A_{Rn}^{6y\delta})_{cep} \right), \quad (6)$$

де $(A_{Rn}^{6y\lambda})_{cep}$ – середнє значення $EPOA$ радону у відкритому повітрі, $(A_{Rn}^{6y\delta})_{cep}$ – середнє значення $EPOA$ радону у внутрішньобудинковому повітрі.

Для $(OA_{Rn})_{cep} = 200 \text{ Бк/м}^3$ з (6) можна отримати $H_{eff} = 6,36 \text{ мЗв}$. Відповідно ефективні дози для інших значень $(OA)_{cep}$ будуть також приблизно в два рази вищі ніж отримані за допомогою (5).

У подальших розрахунках середнє геометричне значення OA – OA_{geom} , середньорифметичне зна-

чення $OA - OA_{ar}$, максимальне вимірне значення $OA - OA_{вум}$ та максимальне можливе значення $OA - OA_{max}$ будемо вважати реперними значеннями OA , відносно яких будемо проводити всі подальші розрахунки.

Отримані дані за формулою (5) для H_{eff} збігаються із одержаними в [12], де для Рівненської області наведений діапазон за H_{eff} від 3,2 до 4,2 мЗв. На жаль, у [12] не враховані результати опромінення ДПП радону населення, що проживає в будинках із зафіксованими нами $OA_{Rn} = 1000 \text{ Бк/м}^3$ і потенційно можливими $OA_{Rn} = 1420 \text{ Бк/м}^3$.

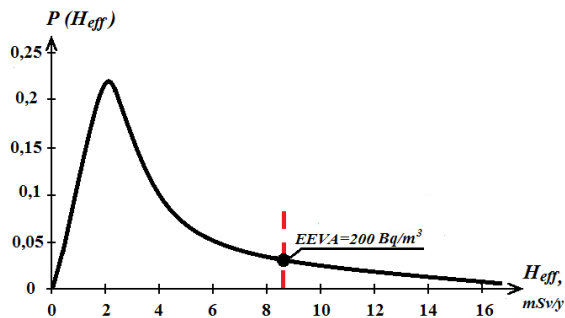


Рисунок 6 – Залежність ймовірності опромінення всередині приміщень перших поверхів м. Рівне від індивідуальної ефективної дози за рахунок радону в них

Результати досліджень корисно порівняти з аналогічно проведеними іншими дослідниками в інших місцевостях. Так, в [13] встановлені закономірності процесів надходження й накопичення радону і його ДПП в житлових будинках гірського регіону озера Іссик-Куль, який характеризується значною ексхалацією радону. Вимірювання проводились у міських квартирах і сільських будинках загальною кількістю 1130. У 73 міських і 306 сільських будинках вимірювання проводилися протягом року, як у літній період, так і в зимовий період.

Для населення Іссик-Кульської області визначена потужність ефективної дози опромінення від природних джерел випромінювання (за винятком радону) – $1,7 \text{ мЗв/рік}$. Домінуючий внесок у цю величину вносять зовнішнє іонізуюче випромінювання в житлових будинках – $0,8 \text{ мЗв/рік}$ і гамма-випромінювання гірських порід на відкритій місцевості – $0,3 \text{ мЗв/рік}$. Визначено середні значення ЕРОА радону (для міських будинків – 82 Бк/м^3 , для сільських – 74 Бк/м^3) і торону (для міських – $3,1 \text{ Бк/м}^3$, для сільських – $7,3 \text{ Бк/м}^3$) та розраховані параметри логнормального розподілу.

Порівняння даних [13] з нашими дослідженнями показує значне перевищення показників потужності радонових полів м. Рівного над аналогічними значеннями Іссик-Кульської області Киргизстану, що очевидно свідчить про набагато вищу загрозу онкологічних захворювань легенів жителів нашого регіону.

ВИСНОВКИ:

1. Середнє геометричне значення об'ємної активності Радону-222 у досліджуваних приміщеннях складо 200 Бк/м^3 з геометричним стандартним відхиленням $0,7865$, середнє арифметичне значення об'ємної

активності радону у повітрі цих же приміщень складо $262,5 \text{ Бк/м}^3$ зі стандартним відхиленням $194,4 \text{ Бк/м}^3$, що свідчить про значну варіабельності рівнів радону в повітрі житлових будинків на території міста Рівного.

2. Середньорічна ефективна доза опромінення, що формується під час вдихання радону і дочірніх продуктів його розпаду населенням, яке проживає на перших поверхах будинків, становить від $3,4$ до $6,36 \text{ мЗв}$ за різними оцінками при середніх геометричних значеннях об'ємної активності; для населення, що проживає в будинках з максимальними вимірними значеннями в 1000 Бк/м^3 дане значення становить 17 мЗв (або відповідно більше приблизно в 2 рази за цими ж оцінками); для максимально можливих значень об'ємної активності в будинках – $24,14 \text{ мЗв}$ (те ж саме).

3. Статистичний аналіз отриманих результатів показав, що значення еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону перевищують норми радіаційної безпеки для будинків, у яких дане значення становить 100 Бк/м^3 – у 21%, а для 200 Бк/м^3 – у 2% приміщень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Несмеянов А.Н. Прошлое и настоящее радиохимии. – Л.: Химия, 1985. – 168 с.
2. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 157 с.
3. Визначення залежності об'ємної активності радону від висоти в житлових будинках м. Рівного / О.О. Лебедь, О.Ю. Дейнека, О.В. Рибалко, Є.А. Попова // Рівне: Вісник НУВГП, Серія «Технічні науки». – Випуск 4 (48). – 2009. – С. 131–138.
4. ICRP Publication 115. Lung Cancer Risk from Radon end Progeny and Statement on Radon. – New York: Pergamon Press. – 2010. – 64 p. – (Annals of the JCRP. – 2010.v/40/1).
5. Градування детектора радону «Альфарад Плюс» / О.О. Лебедь, В.О. Мислінчук, І.В. Левчун // Луцьк: Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції «Релаксаційні, нелінійні, акустооптичні процеси і матеріали (РНАОПМ-2016)». – 2016. – С. 13–14.
6. Обследование уровней накопления радона в жилых зданиях города Екатеринбург / И. Ярмошенко, А. Онищенко, М. Жуковский // Вопросы радиационной безопасности. – 2010. – №3(59). – С. 62–69.
7. Трифонова Т.А., Ширкин Л.А. Радиационный риск и ущерб здоровью от радонового облучения в помещениях городских зданий // Владимир: Сборник материалов II юбилейной научно-практической конференции «Экология Владимирского региона». – 2008. – С. 6–19.
8. ICRP, 1993. Protection against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2). Русский перевод: Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат. 1995. – 78 с.
9. НРБУ-97 «Норми радіаційної безпеки України». – Введ. 1998-01-01. – Державні гігієнічні нормативи. – Київ: Відділ поліграфії Українського центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1997. – 121 с.

10. Жуковский М.В., Ярмошенко И.В. Радон: измерение, дозы, оценка риска. – Екатеринбург : УрО РАН, 1997. – 231 с.

11. Нуртаева Г.К. Исследование влияния ионизирующего излучения радона на организм человека // Международный журнал фундаментальных и прикладных исследований. – 2016. – № 3. – С. 203–206.

12. Павленко Т.О. Рівні радону в повітрі будинків України // Довкілля та здоров'я. – 2007. – № 2. – С. 22–25.

13. Термечикова Р.Б., Жуковский М.В. Результаты радоновых исследований в Иссык-Кульской области Киргизии. – Екатеринбург, X Международный экологический симпозиум «Урал атомный, Урал промышленный 2002»: тезисы докладов. – 2002. – С. 186–188.

INVESTIGATION OF RADON VOLUMETRIC ACTIVITY OF THE INTERIOR APARTMENT AIR IN RIVNE

M. Klimenko, O. Lebed

National University of Water and Environmental Engineering
vul. Soborna, 11, Rivne, 26000, Ukraine.

Purpose. To investigate radon volumetric activity of the interior apartment air in Rivne. **Methodology.** Measuring of radon volumetric activity has been implemented in 600 apartments of the ground floors, semi-basements and basement apartments of Rivne housing and industrial space in the years from 2015 till 2017 with the help of "Alfarad Plus" radonimeter within 24 hours for every apartment with further medium. **Results.** Average geometric value of Radon-222 volumetric activity in the apartments under investigation made up 200 Bk/m³ with geometric standard error 0,7865, average arithmetical value of radon volumetric activity in the air of the same apartments made up 262,5 Bk/m³ with standard error 194,4 Bk/m³. Average annual dose of irradiation formed in the process of radon and subsidiary products of its dissolution inhaled by inhabitants living on the ground floors of the houses makes up from 3,4 to 6,36 m³v according to different valuation under average geometric values of volumetric activity. The value of equivalently balanced radon volumetric activity exceed the rate of radioactive safety in houses where the given value makes up 100 Bk/m³ – in 21 per cent, and 200 Bk/m³ in 2 per cent apartments. **Originality.** Investigation and appropriate calculations have been made in Rivne for the first time. **Practical value.** The dimensions of radon field interior apartment of the ground floors, semi-basements and basement apartment of housing and industrial space in Rivne have been defined.

Key words: radon, volumetric activity, apartment, average annual dose, distribution rate, irradiation probability

REFERENCES

1. Nesmeyanov, A.N. (1985), "Proshloye i nastoyashcheye radiokhimiya" [Past and Present of Radiochemistry], *Khimiya, Lviv*.

2. Kozlov, V.F. (1987), "Spravochnik po radyatsyonnoy bezopasnosti" [Reference-book of Radioactive Safety], *Enerhoatom yzdat, Moscow, Russia*.

3. Lebed, O.O. (2009), "Vyznachennya zalezhnosti ob'yemnoyi aktyvnosti radonu vid vysoty v zhytlovykh budynkakh m. Rivnoho" [Values of Radon Volumetric Activity Dependence on the Height of Residential Buildings in Rivne] *Visnyk NUWEE, Seriya «Tekhnichni nauky»*. – Iss. 4 (48). – pp. 131–138.

4. ICRP Publication 115. Lung Cancer Risk from Radon end Progeny and Statement on Radon (2010), New York: Pergamon Press. – p. 64 – (Annals of the JCRP. – 2010.v/40/1).

5. Lebed, O.O. (2016), "Hradyuyuvannya detektora radonu «Alfarad Plus»" [Graduating of Radon Detector «Alfarad Plus»], *Materialy VIII Mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsiyi «Relaksatsiyini, neliniyni, akustooptychni protsesy i materialy, Lutsk (RNAOPM-2016)»*. – pp. 13–14.

6. Yarmoshenko, Y.V. (2010), "Obsledovanye urovnej nakoplenyya radona v zhylyh zdanyyah horoda Ekaterynburha" [Radon accumulation levels research in residential buildings of Yekaterinburg] *Voprosi radyatsyonnoy bezopasnosti*. – №3(59). – pp. 62–69.

7. Trifonova, T.A. (2008), "Radiacionnyy risk i ushherb zdorov'ju ot radonovogo obluchenija v pomeshhenijah gorodskih zdaniy" [Radiation risk and health damage of Radon exposure in urban building rooms] *Sbornik materialov II jubilejnoj nauchno-*

prakticheskoy konferentsii «Ekologija Vladimirskogo regiona», *Vladimir*, pp. 6–19.

8. ICRP (1993), Protection against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2).

9. *NRBU-97 «Normy radiatsiyanoi bezpeky Ukrainy»* [Standards of Radioactive Safety in Ukraine]. Vved. 1998-01-01, *Derzhavni hihiyenichni normatyvy. Viddil polihrafii Ukrainskoho tsentru derzhsanepidnahlyadu MOZ Ukrainy, Kyiv*, p.121.

10. Zhukovskiy, M.V. (1997), "Radon: izmereniye, dozy, otsenka riska" [Measuring, Dosage, Risk Evaluation] *UrO RAN, Yekaterinburg*, p. 231.

11. Nurtayeva, G.K. (2016), "Issledovaniye vliyaniya ioniziruyeshchego izlucheniya radona na organizm cheloveka" [Investigation of Radon Ionic Irradiational Impact on Human Organism], *Mezhdunarodnyy zhurnal fundamentalnykh i prikladnykh issledovaniy*. – № 3. – pp. 203–206.

12. Pavlenko, T.O. (2007), "Rivni radonu v povitri budynkiv Ukrainy" [Radon Levels in the Air of Residential Buildings of Ukraine], *Dovkillya ta zdorov'ya*. – №2. – pp. 22–25.

13. Termekichikova, R.B. (2002), "Rezultaty radonovykh issledovaniy v Issyk-Kul'skoj oblasti Kirgizii" [The Results of Radon Research in the Issyk-Kul Region of Kirgizstan] *X Mezhdunarodnyy jekologicheskij simpozium «Ural atomnyj, Ural promyshlennyj 2002»: tesis dokladov*, *Yekaterinburg*, pp. 186-188.

Стаття надійшла 06.06.2017.