

Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет будівництва і архітектури

Лебедь Олександр Олександрович

УДК 711.4:502/504:005.34 (477.81) (043.2)

ОБҐРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ДЛЯ ЖИТЕЛІВ  
ВІД НАДХОДЖЕННЯ РАДОНУ ДО БУДИНКІВ М. РІВНЕ

21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі екології, технології захисту навколишнього середовища і лісового господарства Національного університету водного господарства та природокористування, м Рівне Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор сільськогосподарських наук, професор  
Клименко Микола Олександрович,  
Національний університет водного господарства  
та природокористування,  
завідувач кафедри екології, технології захисту  
навколишнього середовища і лісового господарства

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Адаменко Ярослав Олегович,  
Івано-Франківський технічний  
університет нафти і газу,  
завідувач кафедри екології

кандидат технічних наук,  
Охарєв Вячеслав Олександрович,  
Інститут телекомунікацій і глобального  
інформаційного простору НАН України,  
старший науковий співробітник

Захист дисертації відбудеться 23 грудня 2019 року о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.05 Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, ауд.466.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31 та на сайті [www.knuba.edu.ua](http://www.knuba.edu.ua).

Автореферат розісланий " 21 " листопада 2019 року.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

М.В.Суханевич

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Радонова безпека є актуальною в сучасному українському суспільстві. Завдяки радону людина отримує більше половини річної ефективної дози радіоактивного випромінювання.

За американськими даними радон викликає в США приблизно 21000 смертей на рік від хвороби на рак легенів, що робить його другою найважливішою причиною даної хвороби після паління.

Як свідчать численні дослідження в Україні та СНГ Васильєва А. В., Диденко П. И., Жуковського М. В., Крисяка Е. М., Лося І. П., Павленко Т. А. тощо високі концентрації радону у приміщеннях, де працюють або проживають люди, спричиняють їх захворюваність на рак легенів.

В останній час в зв'язку з прийняттям низки документів світових організацій, в яких формулюються нові жорсткіші умови щодо радіаційного забруднення територій проживання в Європі та світі, прописаних в Council Directive 2013/59/EURATOM (Council of the European Union, 2014) та ВООЗ (Zeeb & Shannoun, 2009), інтерес представляє вивчення радонових полів міст з великим скупченням населення. Ця директива повинна була бути втілена в національних законодавствах країн-членів ЄС до лютого 2018 року, що передбачає вирішення проблеми впливу експозиції радону на глобальний стан здоров'я населення Європи. Згідно неї, введено базовий рівень середньорічної концентрації радону  $300 \text{ Бк/м}^3$  для житлових приміщень та робочих місць, і державам-членам пропонується розробляти «плани дій щодо радону». та передбачається розробка методів і показників для вимірювання, а також оцінки концентрації радону.

В Україні великої уваги встановленню радонової небезпеки від надходження радону до повітря будинків в даний час не приділяється, моніторинг теж відсутній. Частково це питання вивчалось в дослідженнях з надходження радону в метро та будинки окремих промислових міст. Тому виникає необхідність у проведенні комплексних досліджень з вивчення проблеми надходження радону з ґрунту, концентрації його у повітрі будинків та встановленні екологічного ризику для населення, що проживає у містах радіаційного забруднення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано у відповідності бюджетної науково-дослідної роботи, яку виконують на кафедрі екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства Національного університету водного господарства та природокористування за темою «Охорона і раціональне використання природних ресурсів Полісся України» (№ ДР 0107V0004183, № ДР 0195V014579).

**Метою роботи** є обґрунтування оцінки екологічного ризику для жителів від надходження радону до будинків м. Рівне.

Для досягнення мети передбачалось виконання наступних завдань:

- провести геоінформаційний аналіз екологічного стану міста за концентрацією радону в повітрі будівель на підставі моніторингових досліджень;
- розробити шкалу кількісної і якісної оцінки екологічного ризику для жителів

- від надходження радону до будинків міста;
- здійснити аналіз захворюваності населення міста на рак;
  - запропонувати модель розрахунку ризиків захворюваності населення міста на рак легенів, спричинених радоном та розрахувати ці ризики і супутні параметри (скорочення життя, середній вік смерті, радіаційний збиток, тощо);
  - розробити рекомендації з питань ведення моніторингових досліджень та зниження екологічних ризиків від надходження радону для населення м. Рівне.

**Об’єкт дослідження** – явище надходження радону до будинків та формування індивідуального вимушеного екологічного ризику для населення м. Рівне.

**Предмет дослідження** – показники, які характеризують явища надходження радону до будинків та кількісну і якісну оцінку екологічного ризику для жителя міста.

**Методи дослідження.** Використовувались методи, а саме: теоретичних досліджень (аналізу та синтезу, аналогій, системного аналізу, моделювання) та емпіричних досліджень (експерименту, вимірювання, порівняння, статистичного опрацювання результатів досліджень, кореляційного аналізу).

**Наукова новизна одержаних результатів.** На підставі узагальнених даних вмісту радону у повітрі будинків міста:

- вперше на території міста встановлені зони підвищеного екологічного ризику; розроблена шкала кількісної і якісної оцінки екологічного ризику для жителів міста до будинків на підставі суттєвих відмінностей за показниками концентрації радону в ґрунтовому повітрі, внутрішньобудинковому повітрі та густини потоку радону з ґрунту; запропоновані заходи зі зниження екологічних ризиків для жителів ( на прикладі м. Рівне);
- удосконалено методики щодо визначення концентрації вмісту радону в атмосферному повітрі та воді, густини потоку радону з ґрунту; розрахунку екологічних ризиків (постійного пропорційного, Якобі, BEIR-IV та BEIR-VI у двох варіантах (AID та AIC)) з використанням експозиції ОА радону та дочірніх продуктів його розпаду; ризиків захворюваності та смертності населення міста на рак легенів у залежності від концентрації радону в повітрі приміщень та методику розрахунку індивідуального радіаційного збитку та потенційного радіаційного збитку населення міста.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає:

- у виділенні на території міста категорій екологічних ризиків і території перевищення концентрації радону у будинках. Рекомендовані для використання картосхеми територій з визначенням зон ризиків для проживання населення. Розроблені рекомендації та управлінські рішення з покращення екологічного стану міста;
- наукові і практичні результати досліджень впроваджено у навчальний процес у лекційних курсах фізики, основ екології, екологічної безпеки на кафедрах хімії та фізики, екології, ТЗНС та ЛГ НУВГП та кафедрі екологічної географії та туризму РДГУ, а також використовуються при виконанні

курсів та магістерських робіт;

– результати досліджень впроваджені НДІ «Проектреконструкція» м. Рівне при реконструкції обласного архіву та низкою будівельних ТОВ при будівництві об'єктів міста.

**Особистий внесок здобувача.** Автором здійснено інформаційний і ретроспективний аналіз стану вивчення проблеми впливу радону на здоров'я населення, визначено мету і завдання досліджень, методи та методики виконання фундаментальних і прикладних досліджень. Здобувачем особисто проведені лабораторні дослідження, систематизовано і узагальнено експериментальний матеріал, сформульовано науково обґрунтовані висновки. Особистий внесок автора в наукових роботах, опублікованих у співавторстві, деталізовано у переліку публікацій за темою дисертації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень на різних етапах доповідалися і обговорювалися та були схвалені на конференціях, зокрема Міжнародній інтернет - конференції молодих учених та студентів «Актуальні проблеми фундаментальних та прикладних досліджень», Луцьк, 2015 та 2016 рр., на VII, VIII та IX Міжнародні наукові конференції «Релаксаційні, нелінійні, акустооптичні процеси і матеріали» (РНАОПМ-2014, РНАОПМ-2016 та РНАОПМ-2018), Луцьк, 2014, 2016 та 2018 рр., на II Міжнародна наукова конференція «Актуальні проблеми фундаментальних наук», Луцьк, 2017р., на Науково-практичній конференції із міжнародною участю «Радіоекологія-2017», Київ, 2017р., ADVANCES OF SCIENCE: Proceedings of articles the international scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv, 28 September 2018.

**Публікації.** Результати досліджень і матеріали за темою дисертації опубліковані у 24 наукових працях, в т. ч. 1 монографії, 13 статтях, з них 5 – у міжнародній базі Web of Science, 3 – у міжнародній базі SCOPUS, 5 – у фахових наукових виданнях, 10 тезах – у збірниках міжнародних науково-практичних конференцій.

**Структура роботи.** Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, рекомендацій, списку використаної джерел (149 найменувань) та додатків. Робота викладена на 226 сторінках, що містять 156 сторінок основного тексту, 56 рисунків, 84 формули, 65 таблиць і 11 додатків.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність і доцільність обраної теми; визначено мету і завдання, об'єкт, предмет досліджень; описано методи дослідження, які використовувалися для розв'язування поставлених задач; розкрито наукову новизну та практичне значення одержаних результатів; обґрунтовано достовірність результатів дослідження; характеризувано апробацію і впровадження отриманих у ході дослідження результатів.

У **першому розділі** «Стан вивченості проблеми впливу радону на захворюваність населення» проведено аналіз стану вивчення проблеми у історичному аспекті та у сучасних вітчизняних і зарубіжних виданнях.

Проаналізовані наукові праці Георга Агріколи, Ф. Н. Haerting & W. Hesse, М. В. Жуковського, И. В. Ярмошенко, Ф. Е. Lundin, Jr. J. D. Voice, Н. Lubin, И. Н. Бекмана, Е. М. Крисяка, В. І. Уткина, А. М. Меркова, О. Axelson, Т. А. Кормановської, Д. В. Кононенко, А. А. Путилової, Г. К. Нуртаєвої, А. Н. Зинчука, Н. В. Загоруйко, Л. О. Іщенко, Публікації МКРЗ. Цими дослідженнями було встановлено, що збільшення концентрації радону та його ДПР у внутрішньому повітрі будинків призводить до росту онкологічних захворювань і, в першу чергу, раку легенів.

Одночасно судячи з праць С. М. Орел, М. С. Мальованого, Л. Д. Пляцука, В. М. Шмандія, В. П. Новікова, Я. О. Адаменка, М. О. Клименка, А. Б. Качинського, Н. В. Хохлова, Г. І. Рудько дані про надходження радону до будинків можуть бути використані при оцінці вимушеного екологічного ризику для жителів міст.

У цьому ж розділі проаналізовані основні фізико-хімічні властивості радону та механізми і шляхи надходження його (грунт, вода, будівельні матеріали, природний газ) до атмосфери та стоку в приміщення будинків, оцінено радонову небезпеку (в країнах світу) на регіональних та локальних рівнях.

У **другому розділі** «Об'єкти, методи та методики досліджень» охарактеризовано геологічну будову, рельєф, ґрунти, поверхневі та підземні води досліджуваної території. Зазначено об'єкт, методи та методики досліджень.

Встановлено, що геологічна будова на території міста представлена протерозойськими, палеозойськими, мезозойськими та кайнозойськими відкладами в межах Волино-Подільської плити на Рівненському лесовому плато. Ця Волино-Подільська плита є західним схилом Українського кристалічного щита (багатого покладами урану та радію), розбитого складною системою розломів по яких радон, що вивільняється при розпаді радію потрапляє в приповерхневі ґрунти. Основними ґрунтоутворюючими породами м. Рівного є леси, які добре концентрують радон. Горбистість місцевості та значне озеленення спричинюють низьку продуваемість, тому не спрацьовує принцип «аеродинамічної труби», що зумовлює скупчення радону в низинах.

Для проведення досліджень географічно місто було розбито сіткою на 48 тест-полігонів розмірами  $\approx 920 \times 920$  м<sup>2</sup> кожний, які охоплюють рекреаційні, житлові та антропогенно-навантажені райони, для географічної прив'язки і забезпечення однорідності вимірювань. Квадрати I-II (8 тест-полігонів) – північно-західна частина міста, III-IV (8) – північно-східна, V, IX, X (12) – південно-західна, VI, VII – центральна (8) та VIII, XI, XII (12) – південно-східна.

Для досягнення поставленої мети і завдань було сформовано концептуальну схему досліджень (рис. 1).



Рисунок 1 – Концептуальна схема наукових досліджень

**Матеріали та методи дослідження.** Більшість експериментів із вимірювання концентрації радону в повітрі будинків, воді, ґрунтовому газі базуються на використанні інтегральних методів вимірювання на основі твердотільних ядерних трекових детекторів. Наші вимірювання ОА радону в повітрі будинків, воді, ґрунтовому повітрі та ГПР з ґрунту базувались на електростатичному методі, реалізованому в радонетрі «Альфарад Плюс», який призначений для експресних вимірювань та неперервного моніторингу ОА Радону-222, що характеризуються більшою точністю вимірювань.

Вимірювання  $OA$  радону-222 базується на електростатичному осадженні іонів Полонію-218 із відібраної проби повітря на напівпровідниковий детектор.  $OA$  Радону-222 визначається за кількістю зареєстрованих  $\alpha$ -частинок під час розпаду атомів Полонію-218, які осіли на детектор.

Для вимірювання внутрішнього радону внутрішній насос приладу через кожних 20 хв. на протязі 3 хв. засмоктує повітря у вимірну камеру і визначає значення  $OA$ .

Вимірювальний комплекс дозволяє проводити неперервний моніторинг густину потоку Радону-222 з поверхні ґрунту в діапазоні  $(0-10^3) \text{ мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  з відносною похибкою  $\leq 30\%$  (рис. 2).

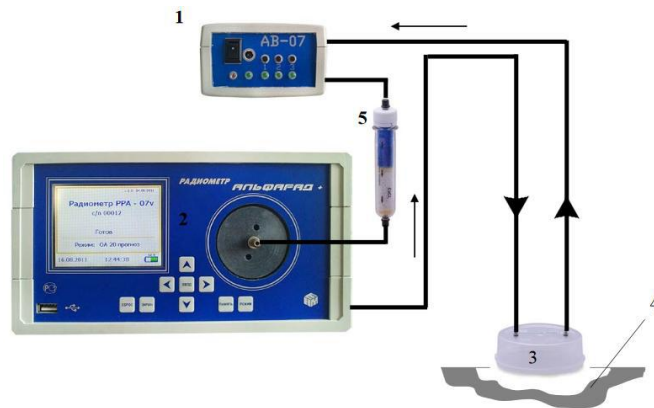


Рисунок 2 – Схема відбору проби повітря для визначення густини потоку радону з ґрунту. 1 – автономна повітродувка. 2 – блок вимірювання ГПП. 3 – накопичувальна камера. 4 – ґрунт. 5 – патрон-осушувач

Методика розрахунку ризику (ймовірності) виникнення радіаційно-індукованого опроміненням ДПР радону раку легенів протягом усього життя людини та додаткових характеристик популяції (очікуване скорочення тривалості життя, середній вік смерті, популяційний ризик) базувалась на використанні формули:

$$R = \int_0^{\infty} \lambda_0 \cdot p_0 \cdot K_{ERR} \cdot e^{-\int_0^t k_{let} \cdot \lambda_0 \cdot \mathcal{B}_{ERR} dt'} dt, \quad (1)$$

де  $R$  – ризик виникнення раку легенів, радіаційно-індукованого опроміненням ДПР радону;  $p_0$  – імовірність доживання до певного віку  $t$ ;  $\lambda_0$  – вік-специфічна частота захворюваності на рак легенів;  $K_{ERR}$  – коефіцієнт додаткового відносного ризику, розрахований залежно від вибраної моделі ризику;  $k_{let}$  – коефіцієнт летальності.

У третьому розділ «Визначення об'ємної активності радону ( $OA$ ) в будинках та густини потоку радону ( $ГПП$ ) з ґрунту на території міста» проведено аналіз існуючих математичних моделей динаміки активності радону в практично ізольованому приміщенні та обґрунтовано застосування моделі у вигляді диференціального рівняння першого порядку:



$$\frac{dOA}{dt} = S - \lambda_v OA - \lambda_{Rn} OA_{Rn}^{amm} \quad (2)$$

де функція  $S$  описує сумарне (дифузійне і конвективне) питоме надходження радону в одиничний об'єм приміщення,  $Bк/м^3 \cdot год$ ;  $\lambda_v$  – функція, що описує залежність коефіцієнта кратності повітрообміну (КПО) від часу,  $год^{-1}$ ;  $\lambda_{Rn} = 0,00755 год^{-1}$  – стала розпаду Радону-222;  $OA_{Rn}^{amm}$  – концентрація радону в зовнішньому повітрі,  $Bк/м^3$ . Показано, що дана математична модель задовільно описує динаміку надходження радону в приміщення та витоку з нього на прикладі добового вимірювання концентрації радону в конкретному приміщенні (рис. 3).

Запропонована математична модель динаміки активності радону в будинках проста, ефективна і дозволяє розраховувати радонові концентраційні поля в будь-яких закритих приміщеннях.

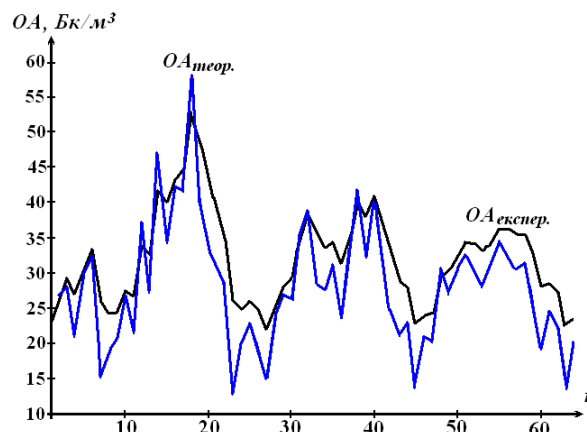


Рисунок 3 – Теоретичний опис динаміки надходження радону в приміщення за допомогою рівняння 2 та експериментальні дані добового вимірювання концентрації радону в ньому

Вимірювання концентрації радону в приміщеннях диференціювалось за їх розміщенням в будинках: підвальні, напівпідвальні, приміщення перших поверхів (у приміщеннях другого і вище поверхів не було виявлено жодного перевищення допустимої концентрації радону).

Підвальні приміщення (досліджено 185 приміщень) характеризуються широкою варіабельністю концентрації радону (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення  $OA$  радону у повітрі підвальних приміщень

$OA$ , $Bк/м^3$	Кількість приміщень	$OA$ , $Bк/м^3$	Кількість приміщень	$OA$ , $Bк/м^3$	Кількість приміщень
100 - 150	3	400 - 450	17	700 - 750	3
150 - 200	9	450 - 500	13	750 - 800	3
200 - 250	17	500 - 550	12	800 - 850	2
250 - 300	32	550 - 600	11	850 - 900	2
300 - 350	26	600 - 650	6	900 - 950	3
350 - 400	20	650 - 700	3	950 - 1000	3

Середнє геометричне значення  $OA$  для підвальних приміщень склало  $365 \text{ Бк/м}^3$ , що значно перевищує будівельні норми ( $100 \text{ Бк/м}^3$  – для новобудов і  $200 \text{ Бк/м}^3$  – для будинків, що експлуатуються тривалий час). Були зафіксовані окремі підвальні приміщення житлового фонду, в яких значення  $OA$  досягали  $(966 \pm 193) \text{ Бк/м}^3$ .

Значення  $OA$  радону в напівпідвальних приміщеннях (досліджено 215 приміщень) наведені в таблиці 2.

Середнє геометричне значення  $OA$  для напівпідвальних приміщень склало  $161 \text{ Бк/м}^3$ .

Таблиця 2 – Значення  $OA$  радону у повітрі напівпідвальних приміщень

$OA$ , $\text{Бк/м}^3$	Кількість приміщ.	$OA$ , $\text{Бк/м}^3$	Кількість приміщ.	$OA$ , $\text{Бк/м}^3$	Кількість приміщ.
0 - 50	3	300 - 350	6	600 - 650	4
50 - 100	20	350 - 400	6	650 - 700	2
100 - 150	78	400 - 450	4	700 - 750	2
150 - 200	38	450 - 500	7	750 - 800	2
200 - 250	23	500 - 550	4	800 - 850	1
250 - 300	10	550 - 600	4	850 - 900	1

Для приміщень перших поверхів (досліджено 200 приміщень) значення  $OA$  радону наведені в таблиці 3.

Середньоарифметичне значення  $OA$  по всіх досліджуваних будинках склало  $262,5 \text{ Бк/м}^3$  за стандартного відхилення  $194,4 \text{ Бк/м}^3$ , середнє геометричне –  $200 \text{ Бк/м}^3$  за геометричного стандартного відхилення  $\sigma = 0,7865$ .

Таблиця 3 – Значення  $OA$  радону у внутрішньобудинковому повітрі приміщень перших поверхів

$OA$ , $\text{Бк/м}^3$	К-сть приміщ.	Відносна кількість приміщень	$OA$ , $\text{Бк/м}^3$	К-сть приміщ.	Відносна кількість приміщень
0 - 50	21	0,105	400 - 450	3	0,015
50 - 100	52	0,260	450 - 500	4	0,020
100 - 150	51	0,255	500 - 550	2	0,010
150 - 200	25	0,125	550 - 600	3	0,015
200 - 250	20	0,100	600 - 650	2	0,010
250 - 300	6	0,030	650 - 700	1	0,005
300 - 350	4	0,020	700 - 750	1	0,005
350 - 400	4	0,020	750 - 800	1	0,005

Наші вимірювання показали, що частотний розподіл  $OA$  радону в повітрі житлових приміщень перших поверхів будинків Рівного носить логнормальний характер, тому були визначені статистичні параметри розподілу для  $OA$  дочірніх продуктів ізотопів радону: математичне сподівання ( $OA_{\text{geom}}$ ) для  $OA$ ,

геометричне стандартне відхилення  $OA$  та прогнозоване максимальне значення  $OA_{max}$ . Середнє геометричне значення  $OA$  для житлових приміщень перших поверхів Рівного складало  $127 \text{ Бк/м}^3$  [95% ДІ: 118-137] з геометричним стандартним відхиленням  $\sigma = 0,7987$ ; середнє арифметичне –  $145,6 \text{ Бк/м}^3$ , максимальне (на рівні  $3\sigma$ ) –  $714 \text{ Бк/м}^3$ . З отриманих значень визначено, в якій частці житла значення  $OA$  радону перевищують певні вибрані рівні. Одні із таких рівнів мають значення  $OA_{geom} = 400 \text{ Бк/м}^3$  та  $200 \text{ Бк/м}^3$ . Для діапазону значень  $OA$  від  $400 \text{ Бк/м}^3$  до  $714 \text{ Бк/м}^3$  6,6% житла мають значення концентрації радону в цьому діапазоні. Для діапазону значень  $OA$  від  $200 \text{ Бк/м}^3$  до  $714 \text{ Бк/м}^3$  – 27% житла мають значення концентрації радону в цьому діапазоні.

Результати вимірювання концентрації  $OA$ , отримані у всіх досліджених приміщеннях (600 приміщень) наведені в таблиці 4 і гістограмі (рис. 4).

Таблиця 4 – Значення  $OA$  радону у внутрішньобудинковому повітрі всіх досліджуваних приміщень

$OA$ , $\text{Бк/м}^3$	Кількість приміщ.	Відносна кількість приміщень	$OA$ , $\text{Бк/м}^3$	Кількість приміщ.	Відносна кількість приміщень
0 - 50	24	0,04	500 - 550	18	0,03
50 - 100	72	0,12	550 - 600	18	0,03
100 - 150	132	0,22	600 - 650	12	0,02
150 - 200	72	0,12	650 - 700	6	0,01
200 - 250	60	0,1	700 - 750	6	0,01
250 - 300	48	0,08	750 - 800	6	0,01
300 - 350	36	0,06	800 - 850	3	0,005
350 - 400	30	0,05	850 - 900	3	0,005
400 - 450	24	0,04	900 - 950	3	0,005
450 - 500	24	0,04	950 - 1000	3	0,005

Середньоарифметичне значення  $OA$  по всіх досліджуваних будинках складало  $262,5 \text{ Бк/м}^3$  за стандартного відхилення  $194,4 \text{ Бк/м}^3$ , середнє геометричне –  $200 \text{ Бк/м}^3$  за геометричного стандартного відхилення  $\sigma = 0,7865$ , значення  $3\sigma$  становить  $1420 \text{ Бк/м}^3$ .

По тест-полігонам середні значення  $OA$  радону у досліджуваних приміщеннях представлені на рис 5.

Представлені результати 144 вимірювань густини потоку радону ( $ГПР$ ) з ґрунтів м. Рівного в період 2013-2016 років. (табл. 5). Виміряні значення  $ГПР$  знаходяться у достатньо широких межах: від  $16 \text{ мБк/м}^2 \cdot \text{с}$  до  $173 \text{ мБк/м}^2 \cdot \text{с}$ .

Характерною особливістю вимірювання  $ГПР$  у місті є те, що не спостерігалось значної варіації вимірюваних значень  $ГПР$  в залежності від зміни атмосферного тиску (значення  $ГПР$  варіювались в діапазоні 5%), температури повітря (10%), температури ґрунту (10%). Для різних сезонів (весна, літо, осінь) та років коливання  $ГПР$  для конкретних точок вимірювання

становили близько 10%.

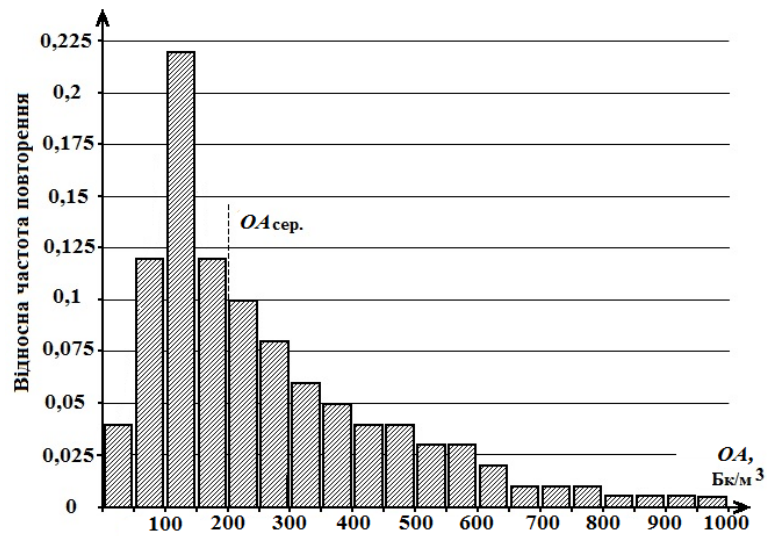


Рисунок 4 – Гістограма «відносна кількість досліджуваних приміщень –  $OA$  радону в них».  $OA_{\text{сеп}}$  – середнє геометричне значення  $OA$  для всіх досліджуваних приміщень

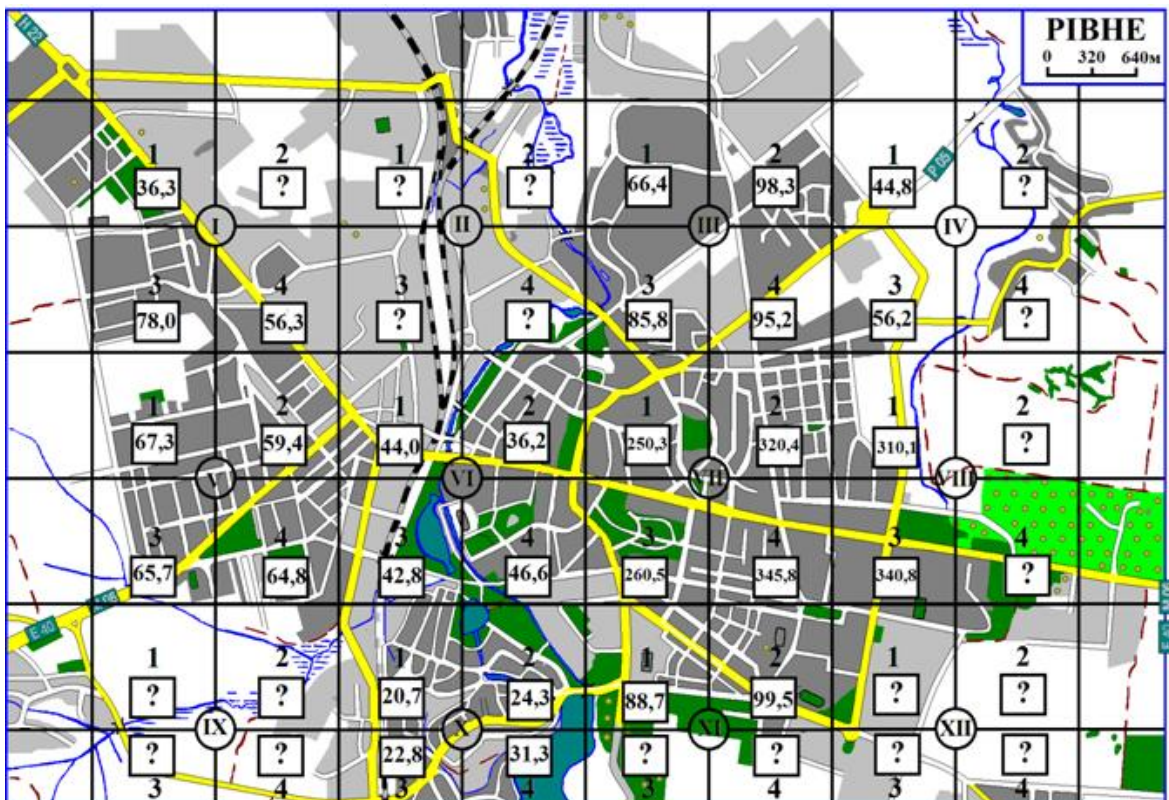
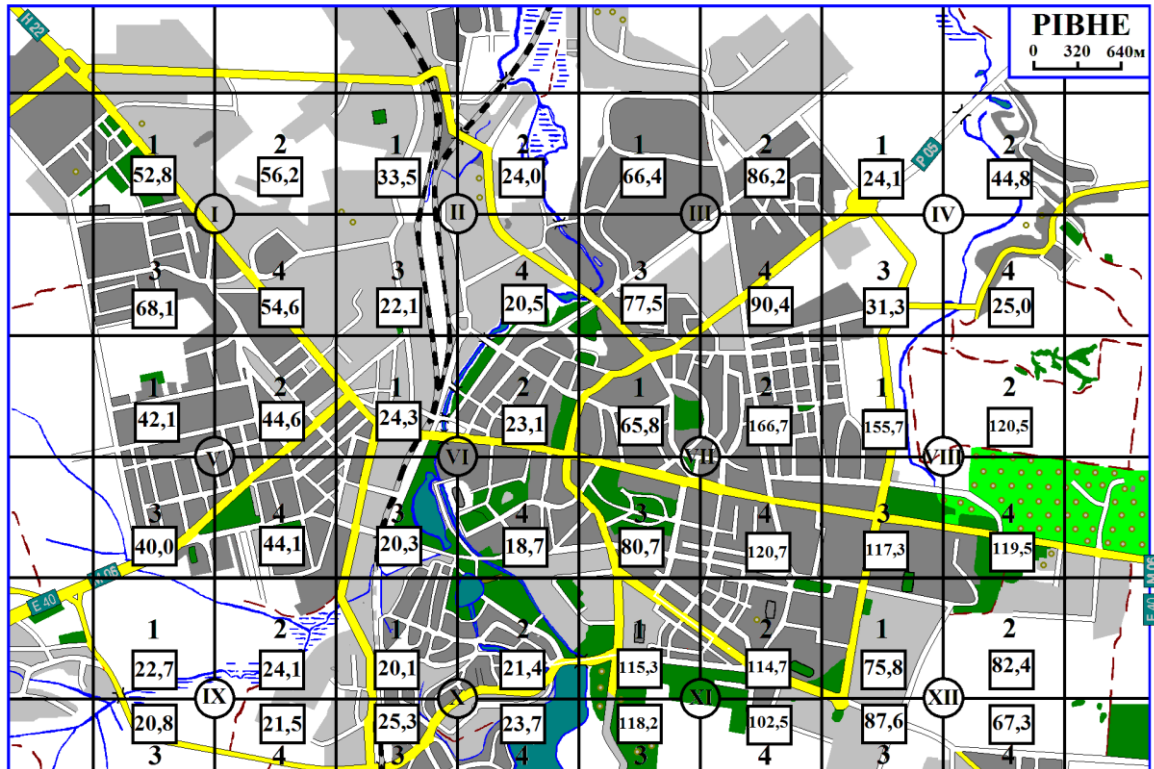


Рисунок 5 – Середні внутрішньобудинкові значення  $OA$  радону (в  $Bq/m^3$ ) для тест-полігонів міста Рівне

Таблиця 5 – Статистика ГПР (в  $\text{мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ) з ґрунтів м. Рівне

Тип визначення	К-сть	Ар. середнє	Геом. середнє	Середнє квадр. відхилення	Медіана	Макс	Мін
ГПР з ґрунтів	144	$70 \pm 7$	60	41	62	173	16

Рисунок 6 – Середні значення ГПР (в  $\text{мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ) з ґрунтів тест-полігонів м.

За даними вимірювань встановлені середні значення ГПР з ґрунтів міста для вибраних тест-полігонів (рис. 6). Близько третини площі міста характеризується густиною потоку радону з ґрунту, яка перевищує будівельні норми  $30 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ . Найбільші значення ГПР зафіксовані в районі вулиці Кобзарської між вулицями Центральної Ради та Бориса Степанишина, у районі вулиці Карнаухова (7 корпус НУВГП) та парку «Пагорб слави».

На підставі результатів визначення ОА, ГПР з ґрунту та отриманих даних по рівню захворюваності та смертності населення від раку легенів нами розроблена шкала кількісної і якісної оцінки вимушеного екологічного ризику для жителів міста (табл. 6).

В четвертому розділі «Визначення впливу радону на підвищення ризику захворюваності на рак легенів населення» проаналізовано вплив експозиції радону на ріст ризику захворюваності на рак легенів населення м. Рівне. Визначено, що за структурою смертності смертність від новоутворень займає у місті стійке друге місце серед інших причин (22-24%). За відносною кількістю хворих на злоякісні новоутворення в трахеї, бронхах та легенях Рівненська область співмірна з такими територіями-рекордсменами Росії як Алтайський

край та Курганська область (Кормановська, 2007).

Таблиця 6 – Кількісна і якісна оцінка вимушеного екологічного ризику для жителів міст

Рівень екологічного ризику			
Низький	Середній	Вищий від середнього	Високий
Об'ємна активність радону, Бк/м <sup>3</sup>			
0-50	50-100	100-200	Більше 200
Густина потоку радону з ґрунту, мБк/(м <sup>2</sup> ·с)			
0-25	25-50	50-75	Більше 75

Кількість хворих на злоякісні новоутворення у трахеї, бронхах, легенях у 2011-2015 роках у Рівненській області подана в таблиці 7.

Таблиця 7 – Кількість хворих на злоякісні новоутворення в трахеї, бронхах, легенях у 2011-2015 роках у Рівненській області

Роки	Взято на облік у звітному році	З кількості хворих з вперше встановленим діагнозом (гр. 1) мали стадію захворювання			Перебуває на обліку на кінець року	З них перебувають на обліку з часу встановлення діагнозу 5 та більше років
		I-II	III	IV		
2011	267	52	132	70	600	278
2012	238	37	121	72	596	287
2013	276	90	81	81	645	290
2014	233	71	82	70	628	294
2015	218	60	71	70	633	299

Проведений кореляційний аналіз залежності захворюваності на рак легенів населення міста в 2013-2016 рр. (ЗН) у кількості осіб від ОА радону в будинках і ГПР з ґрунту показав, що:

$$ЗН = 0,0368 \cdot ОА + 3,5389 \quad (3)$$

з коефіцієнтом детермінації  $R^2 = 0,4001$  та

$$ЗН = 2,0031 \cdot ГПР + 14,421 \quad (4)$$

з коефіцієнтом детермінації  $R^2 = 0,5770$ .

В роботі обґрунтовано вибір моделей ризиків захворюваності на рак легенів, спричинені радоном. Розрахунок ризику захворюваності на рак легенів, спричинені радоном для жителів міста Рівне проводився за моделями: **постійного відносного ризику, GSF (модель Якобі), BEIR (IV, EAD, EAC).**

В основі розрахунків ризику за цими моделями лежить визначення експозиції радону в житлі.

Розрахунок додаткового відносного індивідуального пожиттєвого ризику  $R$  для двох реперних значень  $ОА$  для жителів міста показано на рис. 7 і 8.

Розрахунки показують що, за постійної експозиції радону в житлі з  $OA = 200 \text{ Бк/м}^3$  верхній рівень прийняттого індивідуального ризику (межа індивідуального ризику – ймовірність смерті  $10^{-3} \text{ рік}^{-1}$ ) для жителів Рівного настає приблизно в 35 років.

Якщо вважати, що деяка кількість населення м. Рівне проживає все життя в будинках, де  $OA = 1420 \text{ Бк/м}^3$ , то верхній рівень прийняттого індивідуального ризику настає вже в 20 років.

Наші розрахунки очікуваного скорочення тривалості життя жителів міста за різними моделями приведені в таблицях 8 та 9.

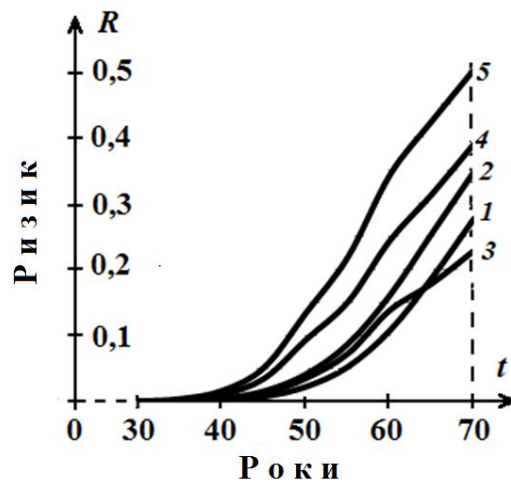


Рисунок 7 – Залежність відносного індивідуального пожиттєвого додаткового ризику  $R$  від часу експозиції  $t$  при пожиттєвій експозиції радону в будівлі з  $OA = 1420 \text{ Бк/м}^3$  для моделей: 1 – постійного відносного ризику; 2 – Якобі; 3 – BEIR-IV; 4 – EAD; 5 – EAC

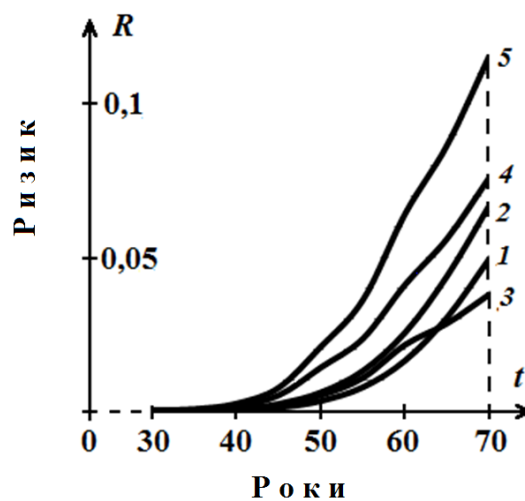


Рисунок 8 – Залежність відносного індивідуального пожиттєвого додаткового ризику  $R$  від часу експозиції  $t$  при пожиттєвій експозиції радону в будівлі з  $OA = 200 \text{ Бк/м}^3$  для моделей: 1 – постійного відносного ризику; 2 – Якобі; 3 – BEIR-IV; 4 – EAD;

Таблиця 8 – Очікуване скорочення тривалості життя населення м. Рівне (в роках) за експозиції радону з  $OA = 200 \text{Бк}/\text{м}^3$  протягом життя для різних моделей ризику, що базуються на статистичних даних 2014-2015рр.

Рік	Модель ризику				
	Постійний ризик	Якобі	BEIR-IV	EAD	EAC
2014	1,87	2,34	1,24	2,52	3,74
2015	1,92	2,48	1,32	2,66	3,96

Середній вік смерті від радіогенного раку легенів залежно від вибраної моделі ризику та статистичних даних смертності за 2014-15рр. приведений в таблиці 10.

Таблиця 9 – Очікуване скорочення тривалості життя населення м. Рівне (в роках) за експозиції радону з  $OA = 1420 \text{Бк}/\text{м}^3$  протягом життя для різних моделей ризику, що базуються на статистичних даних 2014-2015рр.

Рік	Модель ризику				
	Постійний ризик	Якобі	BEIR-IV	EAD	EAC
2014	8,56	10,34	7,00	11,60	14,74
2015	8,89	10,71	7,34	12,04	15,20

Таблиця 10 – Очікуваний середній вік смерті  $\bar{a}$  населення м. Рівне (в роках) від раку легенів, індукованого радоном за експозиції радону з  $OA = 200 \text{Бк}/\text{м}^3$  протягом життя для різних моделей ризику, що базуються на статистичних даних 2014-2015рр.

Рік	Модель ризику				
	Постійний ризик	Якобі	BEIR-IV	EAD	EAC
2014	65,0	64,4	63,4	63,0	63,0
2015	65,0	64,4	63,4	63,0	63,0

Враховування синергічної взаємодії тютюнопаління та інгаляції радону показує наступні результати залежності відносного індивідуального пожиттєвого додаткового ризику  $R$  від часу експозиції  $t$  для курців за пожиттєвої експозиції радону в будівлі (рис. 9).

У таблиці 11 наведені розрахунки очікуваного скорочення тривалості життя курців м. Рівне за експозиції радону з  $OA = 200 \text{Бк}/\text{м}^3$  протягом життя для різних моделей ризику, що базуються на статистичних даних 2014-2015рр.



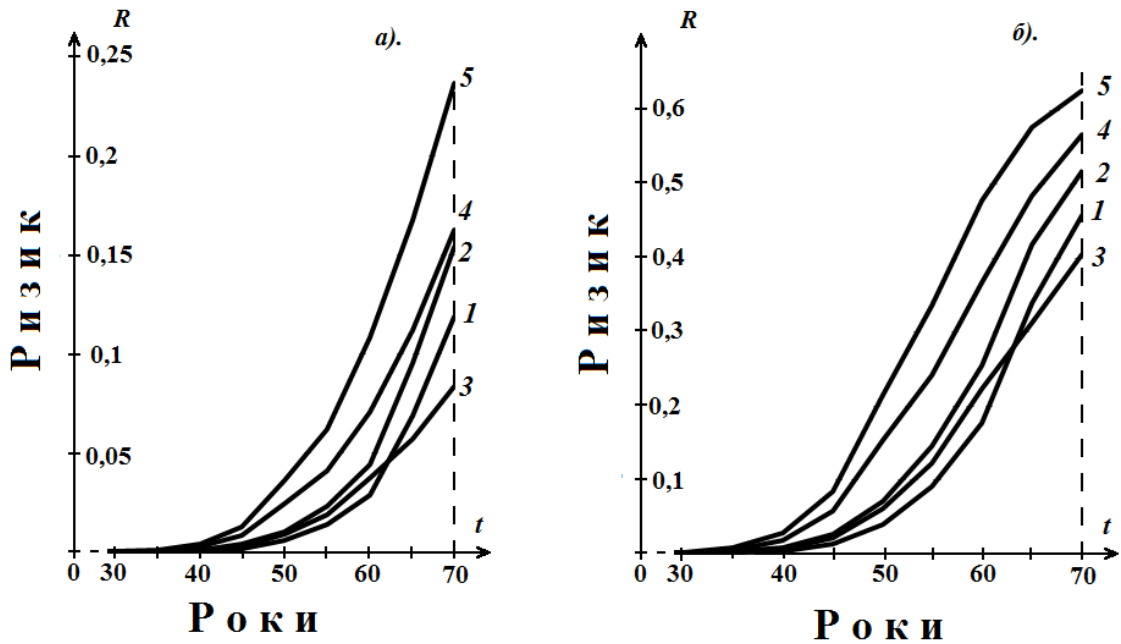


Рисунок 9 – Залежність відносного індивідуального пожиттєвого додаткового ризику  $R$  в 2015 році від часу експозиції  $t$  для курців за пожиттєвої експозиції радону в будівлі з а)  $OA = 200 \text{ Bq/m}^3$  і б)  $OA = 1420 \text{ Bq/m}^3$  для моделей: 1 – Постійного відносного ризику; 2 –Якобі; 3 – BEIR-IV; 4

Таблиця 11 – Очікуване скорочення тривалості життя курців м. Рівне (в роках) за експозиції радону з  $OA = 200 \text{ Bq/m}^3$  протягом життя для різних моделей ризику, що базуються на статистичних даних 2014 - 2015 рр.

Рік	Модель ризику				
	Постійний ризик	Якобі	BEIR-IV	EAD	EAC
2014	3,83	4,79	2,58	4,97	7,03
2015	4,08	5,08	2,76	5,28	7,41

У п'ятому розділі «Рекомендації зі зниження екологічного радонового вимушеного ризику населення м. Рівне» запропоновані заходи щодо зменшення радонового навантаження на населення міста. Визначено, що контроль показників радонового ризику повинен бути розділеним за (окремо) густиною потоку радону з ґрунту на територіях, де планується житлова забудова і за об'ємною активністю радону в повітрі будинків, що експлуатуються деякий час і сформульовані вимоги до вимірної апаратури та до методик проведення вимірювань даних параметрів.

Для будівництва промислових та цивільних об'єктів пропонується низка проектних та будівельних заходів при проектуванні систем протирадонового захисту і рекомендується використовувати оптимальні технічні рішення або їх поєднання в залежності від конкретних умов (різні типи будинків – індивідуальне або колективне житло, цегляний, дерев'яний або інший будинок,

тощо):

**За низького надходження ГПР з ґрунту** (до  $25 \text{ мБк/м}^2 \cdot \text{с}$ ) в залежності від проекту: для багатоквартирних будинків з бетонованим підвалом глибиною до 3 м – природна вентиляція підвальних приміщень із заглибленням до 3 м (вентиляційні отвори в цокольних стінах, що забезпечують кратність повітрообміну в зимовий час не менше  $0,5 \text{ год}^{-1}$ ); для багатоквартирних будинків з бетонованим підвалом глибиною до 5 м – примусова вентиляція підвальних приміщень (система примусової приточно-витяжної вентиляції, що забезпечують кратність повітрообміну в зимовий час не менше  $1,0 \text{ год}^{-1}$ ). Для будинків приватного сектору – просочення (формування до 5 шарів крупнозернистого піску товщиною до 5 см з наступним просоченням пропонованою рідиною). Кожний шар повинен затвердіти перед формуванням нового; для будинків приватного сектору значної площі – покриття (захисний шар з бетону, або захисний шар з цементно-піщаного розчину, або покриття з мастичного матеріалу, вирівнюючий шар з цементно-піщаного розчину, бетонна підготовка).

**За середнього надходження ГПР з ґрунту** (від  $25 \text{ мБк/м}^2 \cdot \text{с}$  до  $50 \text{ мБк/м}^2 \cdot \text{с}$ ) в залежності від проекту: для багатоквартирних будинків з бетонованим підвалом – покриття (захисний шар з бетону, захисний шар з цементно-піщаного розчину, покриття з мастичного матеріалу, вирівнюючий шар з цементно-піщаного розчину, бетонна підготовка) – до 3 м; мембрана (захисний шар з бетону, захисний шар з цементно-піщаного розчину, 1-2 шари рулонного гідроізоляційного матеріалу, вирівнюючий шар з цементно-піщаного розчину, бетонна підготовка) – до 5 м; для будинків приватного сектору невеликої площі – покриття (захисний шар з бетону, захисний шар з цементно-піщаного розчину, покриття з мастичного матеріалу, вирівнюючий шар з цементно-піщаного розчину, бетонна підготовка); для будинків приватного сектору значної площі – бар'єр + покриття (суцільна монолітна плита з тріщиностійкого залізобетону, захисний шар з цементно-піщаного розчину, 2-3 шари мастичного матеріалу, вирівнюючий шар з цементно-піщаного розчину, бетонна підготовка).

**За вищого від середнього надходження ГПР з ґрунту** (від  $50 \text{ мБк/м}^2 \cdot \text{с}$  до  $75 \text{ мБк/м}^2 \cdot \text{с}$ ) в залежності від проекту: для багатоквартирних будинків з бетонованим підвалом – бар'єр + мембрана (покриття) + колектор радону + депресія колектора шляхом природної витяжки ґрунтового газу (суцільна монолітна плита з монолітного залізобетону, захисний шар з цементно-піщаного розчину, 2-3 шари рулонного гідроізоляційного матеріалу (або обмазувального матеріалу), вирівнюючий шар з цементно-піщаного розчину, стяжка з худого бетону, шар гравію + витяжні труби, піщана підсипка); для будинків приватного сектору – бар'єр + мембрана (покриття) + колектор радону + депресія колектора шляхом природної витяжки ґрунтового газу (суцільна монолітна плита з монолітного залізобетону, захисний шар з цементно-піщаного розчину, 2-3 шари рулонного гідроізоляційного матеріалу (або обмазувального матеріалу), вирівнюючий шар з цементно-піщаного розчину, стяжка з худого бетону, шар гравію + витяжні труби, піщана

підсипка).

**За високого надходження ГПР з ґрунту** (більше  $75 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ) – пропонується не проводити забудову.

Для будинків, що вже експлуатуються запропонована низка пасивних та активних радонозахисних заходів, в залежності від знаходження будинку у відповідному тест-полігоні міста з відповідним рівнем вмісту радону в повітрі будинків.

**За низького вмісту радону в повітрі** (до  $50 \text{ Бк}/\text{м}^3$ ) рекомендується здійснювати: провітрювання приміщень перших поверхів через квартирки не менше 2 годин на добу; ізоляція підлоги підвалу за допомогою просочування, покриття або мембран.

**За середнього** (від  $50 \text{ Бк}/\text{м}^3$  до  $100 \text{ Бк}/\text{м}^3$ ) доцільно проводити: герметизацію щілин, швів, стиків і комунікаційних отворів; ізоляцію підлоги першого поверху за допомогою мембран; ізоляцію підлоги підвалу за допомогою просочування або покриття; природне вентиляювання підвальних приміщень.

**За вмісту радону вище середнього** (від  $100 \text{ Бк}/\text{м}^3$  до  $200 \text{ Бк}/\text{м}^3$ ) необхідно проводити: герметизацію щілин, швів, стиків і комунікаційних отворів; ізоляцію підлоги першого поверху та підвалу за допомогою мембран; примусове вентиляювання підвальних приміщень.

**За високого вмісту радону в повітрі** (більше  $200 \text{ Бк}/\text{м}^3$ ) рекомендується: перший поверх використовувати під магазини, заклади громадського харчування, склади тощо; всі перші поверхи і підвали приміщення повинні бути обладнані примусовою вентиляцією: ізоляцію підлоги першого поверху та підвалу здійснювати за допомогою мембран.

## ВИСНОВКИ

У дисертації розв'язано актуальну науково-прикладну задачу з вирішення проблеми оцінювання екологічних ризиків за показниками концентрації радону в атмосферному повітрі будинків, яка дозволяє знизити віддалені в часі наслідки радонового опромінення населення (на прикладі м. Рівне).

В результаті узагальнення даних теоретичних і експериментальних досліджень отримані наступні найбільш вагомі результати.

1. Обґрунтована методика оцінки екологічного ризику жителів міста Рівне на основі моніторингових даних концентрацій радону в будинках і густини його потоку з ґрунту та розрахована величина цього ризику за різними моделями, враховуючи кумулятивну дію радону та тютюнопаління, на основі чого запропоновані будівельні заходи зі зниження екологічного ризику.

2. На основі проведеного аналізу наукових досліджень встановлено, що населення, яке проживає в країнах Європи (враховуючи і Україну) отримує середні потужності ефективної дози на рівні від  $8,0$  до  $9,6 \text{ мЗв}/\text{рік}$ , у тому числі за рахунок інгаляції радону –  $(6 - 7,88) \text{ мЗв}/\text{рік}$ , а в Україні від  $6,0$  до  $7,0 \text{ мЗв}/\text{рік}$ ,  $72\%$  якої також зумовлено радоном і продуктами його розпаду.

3. Установлено, що об'ємна активність радону в повітрі підвальних, напівпідвальних приміщень та перших поверхів будинків описується логнормальним законом розподілу. Середньоарифметичне значення  $OA$  при цьому склало  $262,5 \text{ Бк/м}^3$  за стандартного відхилення  $194,4 \text{ Бк/м}^3$ , медіанне значення –  $200 \text{ Бк/м}^3$ , за геометричного стандартного відхилення –  $0,7865$ , прогнозоване максимальне значення на основі «правила трьох сигм» становить  $1420 \text{ Бк/м}^3$ . При цьому рівень  $100 \text{ Бк/м}^3$  за  $OA$  у приміщеннях міста перевищувало в 86% випадків, а  $200 \text{ Бк/м}^3$  – 50% випадків. 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  $3,4 \text{ мЗв}$ .

4. Обґрунтована, за результатами аналізу даних надходження радону до будинків та густини потоку радону з ґрунту, яка змінюється в діапазоні від  $16 \text{ мБк/м}^2 \cdot \text{с}$  до  $173 \text{ мБк/м}^2 \cdot \text{с}$ , шкала кількісної і якісної оцінки екологічного ризику для жителів міста від низького до високого рівня із значенням об'ємної активності ( $OA$ ) в повітрі будинків: низький – до 50; середній – до 100; вищий за середній – до 200; високий – більше  $200 \text{ Бк/м}^3$  та показники густини потоку радону з ґрунту: низький – до 25; середній – до 50; вищий за середній – до 75; високий – більше  $75 \text{ мБк/м}^2 \cdot \text{с}$ .

5. Підтверджено, що для розрахунку ризику захворюваності населення міста на рак легенів, спричиненого радоном, найбільш доцільно використовувати моделі пропорційного відносного ризику, Якобі, BEIR-IV та BEIR-VI (у двох варіантах). Величина додаткового відносного індивідуального ризику захворюваності на рак легенів, спричинений радоном, розрахована за цими моделями, за пожиттєвої експозиції радону з  $OA = 200 \text{ Бк/м}^3$  становить від 4 до 11%, а за  $OA = 1420 \text{ Бк/м}^3$  – від 20 до 50%.

6. Установлено, що очікуване скорочення тривалості життя населення м. Рівне за експозиції радону з  $OA = 200 \text{ Бк/м}^3$  в середньому становить 2,95 року залежно від вибраної моделі, а за  $OA = 1420 \text{ Бк/м}^3$  – 12,44 року, тоді як очікуваний середній вік смерті населення м. Рівне від раку легенів, індукованого радоном за експозиції радону з  $OA = 200 \text{ Бк/м}^3$  становить 63,8 року залежно від вибраної моделі, а за  $OA = 1420 \text{ Бк/м}^3$  – 63,2 року.

7. Доведено, що тютюнопаління збільшує значення додаткового відносного індивідуального пожиттєвого ризику захворюваності на рак легенів, спричиненого радоном, за пожиттєвої експозиції радону з  $OA = 200 \text{ Бк/м}^3$  його значення для курців віком 70 років становить від 8 до 24%, а за  $OA = 1420 \text{ Бк/м}^3$  – від 40 до 61%, а очікуване скорочення тривалості життя курців м. Рівне за експозиції радону з  $OA = 200 \text{ Бк/м}^3$  становить у середньому 5,76 року залежно від вибраної моделі, а за  $OA = 1420 \text{ Бк/м}^3$  – 17,01 року, тоді як очікуваний середній вік смерті курців м. Рівне від раку легенів, індукованого радоном, за експозиції

радону з  $OA = 200 \text{ Бк/м}^3$  становить у середньому 63,1 року залежно від вибраної моделі, а за  $OA = 1420 \text{ Бк/м}^3$  – 62,9 року.

8. Розрахований індивідуальний радіаційний збиток населенню м. Рівне від раку легенів, індукованого радоном за експозиції радону з  $OA = 200 \text{ Бк/м}^3$  протягом життя для різних моделей ризику становить від 0,7 до 1,8 року, а для населення, яке знаходиться при експозиції радону  $OA = 1420 \text{ Бк/м}^3$ , становить від 3,9 до 7,5 року та популяційний радіаційний збиток населенню м. Рівного за рахунок середньої пожиттєвої експозиції радону з  $OA = 200 \text{ Бк/м}^3$  становить 193 люд.-років за колективної ефективної дози 193 люд.-Зв на рік. Частка населення, яка проживає в будинках, де ЕРОА перевищує значення НРБУ-97  $200 \text{ Бк/м}^3$ , отримує колективну ефективну дозу 9,6 люд.-Зв, що еквівалентне популяційному радіаційному збитку 9,6 люд.-років.

### ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У ПРАЦЯХ:

*Наукові праці, в яких опубліковані наукові результати дисертації*

1. Лебедь О.О. Радон: моніторинг та геоекологічний аналіз його впливу на екосистему міста Рівного [Монографія] / О.О. Лебедь, В. О. Мислінчук, О.А. Андреев (Вчена рада РДГУ, протокол № 12 від 29.12.2016р.) // Видавництво Рівне: РМАНУМ, 2017. – 208с.
2. Halyan V.V. EPR of  $\gamma$ -induced defects and their effects on the photoluminescence in the glasses of the  $\text{Ag}_{0.05}\text{Ga}_{0.05}\text{Ge}_{0.95}\text{S}_2\text{-Er}_2\text{S}_3$  system / V.V. Halyan, A.A. Konchits, B.D. Shanina, S.V. Krasnovyd, A.H. Kevshyn, O.O. Lebed, M.V. Shevchuk, A.V. Bodnaruk, V.O. Yukhymchuk // Radiation Physics and Chemistry, 2015. Volume 15, Pages 189-195.
3. Kityk I.V. Laser stimulated piezo-optics of -irradiated  $(\text{Ga}_{55}\text{In}_{45})_2\text{S}_{300}$  and  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$  single crystals / I.V. Kityk, V.O. Yuhymchuk, A. Fedorchuk, V.V. Halyan, I.A. Ivashchenko, I.E. Oleksieyuk, M.A. Skoryk, G. Lakshminarayana, O.O. Lebed, A.M. El-Naggar, M. Piasecki // Journal of Alloys and Compounds, 2017. Pages 265-271.
4. Kityk I.V.  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$  single crystal: novel material for detection of  $\gamma$ -radiation by photoinduced nonlinear optical method / I.V. Kityk, V.V. Halyan, A.H. Kevshyn, O.O. Lebed, I.A. Ivashchenko, I. D. Olekseyuk, G. Lakshminarayana, M. Piasecki // Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2017. DOI 10.1007/s 10854-017-7262-2.
5. Lebed O.O. Effect of Radon on oncological morbidity of the population: comparative analysis of some region of Ukraine and France / O.O. Lebed, M.O. Klimenko, A.V. Lysytsya, V.O. Myslinchuk // Ukrainian Journal of Ecology, 2018. Vol. 8, No. 1, pp 585-595. doi: 10.15421/2017\_25.
6. Lebed O.O. Measurement of radon concentration in soil gas of the city of Rivne (Ukraine) / O.O. Lebed, A.V. Lysytsya, V.O. Myslinchuk, A.M. Pryshchepa, O.Y. Dejneka // Ukrainian Journal of Ecology, 2018. Vol. 8, No. 4, pp 158-164.

7. Lebed O.O. Radon in the spring water of the Zdolbuniv Region / O.O. Lebed, V.O. Myslinchuk, S.S. Trusheva, Y.M. Mandyhra, A.V. Lysytsya // *Ukrainian Journal of Ecology*, 2018. Vol. 8, No. 3, pp 82-89.
8. Lebed O.O. Radon ecology danger and the ways of its minimization in Rivne City (Ukraine) / O.O. Lebed, M.O. Klymenko, V.O. Myslinchuk, L.V. Hladun, A.V. Lysytsya // *Ukrainian Journal of Ecology*, 2019. Vol. 9, No. 2, pp 43-50.
9. Lebed O.O. Impact of radon exposure upon dynamics of mortality rate from lung cancer for population of Rivne city, Ukraine / O.O. Lebed, S.S. Trusheva, A.V. Lysytsya // *Ukrainian Journal of Ecology*, 2019. Vol. 9, No. 1, pp 25-34.
10. Клименко М.О. Математична модель динаміки радону в практично ізольованому приміщенні / М.О. Клименко, О.О. Лебедь, В.А. Мащенко // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №3 (123), 2017. – С. 41-48.
11. Клименко М.О. Дослідження об'ємної активності радону внутрішньобудинкового повітря м. Рівного / М.О. Клименко, О.О. Лебедь // *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, №3/2017 (104). – ч.1. – С.124-129.
12. Лебедь О.О. Радонометрія природних водних джерел Здолбунівського району Рівненщини / О.О. Лебедь, В.О. Мислінчук, А.М. Прищепа // *Вісник НУВГП, серія «Сільськогосподарські науки»*. Випуск 1 (69). Рівне, 2015. С. –172-180.
13. Лебедь О.О. Визначення залежності об'ємної активності радону від висоти в житлових будинках м. Рівного / О.О. Лебедь, О.Ю. Дейнека, А.В. Рибалко, Є.А. Попова / *Вісник НУВГП, серія «Технічні науки»*, Випуск 3 (47). Рівне, 2009. С. 131-138.
14. Лебедь О.О. Визначення об'ємної активності радону в повітрі підвальних приміщень / О.О. Лебедь, М.О. Клименко // *Збірник статей Науково-практичної конференції «Радіоекологія-2017» із міжнародною участю*, м. Київ, 2017. С. 127 - 129.  
*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації*
15. Галян В.В. Фотолюмінесценція та ЕПР дефектів, індукованих  $\gamma$ -опроміненням в стеклах системи  $(100-x)\text{Ag}_{0,05}\text{Ga}_{0,05}\text{Ge}_{0,95}\text{S}_2 - x\text{Er}_2\text{S}_3$  / В.В. Галян, А.А. Кончиць, Б.Д. Маніна, В.О. Юхимчук, О.О. Лебедь, С.В. Красновид, А.Г. Кевшин, М.В. Шевчук // *Матеріали VII Міжнародної конференції «Релаксаційні, нелінійні й акустооптичні процеси та матеріали»*, Луцьк, 2014. С. 113-115.
16. Лебедь О.О. Визначення концентрації радону-222 в природних джерелах води Здолбунівського району Рівненщини / О.О. Лебедь, В.О. Мислінчук // *Матеріали Міжнародної інтернет - конференції молодих учених та студентів «Актуальні проблеми фундаментальних та прикладних досліджень»*, Луцьк, 2015. С. 73-74.
17. Лебедь О.О. Динаміка надходження Радону-222 в житлові приміщення / О.О. Лебедь, В.О. Мислінчук, О.Д. Кочергіна // *Матеріали Міжнародної інтернет - конференції молодих учених та студентів «Актуальні проблеми фундаментальних та прикладних досліджень»*, Луцьк, 2016. С. 56-57.

18. Лебедь О.О. Градування детектора радону «Альфарад Плюс» / О.О. Лебедь, В.О. Мислінчук, І.В. Левчун / Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції «Релаксаційні, нелінійні, акустооптичні процеси і матеріали» (РНАОПМ-2016), Луцьк, 2016. С. 13-14.
19. Галян В.В. Локальна структура та кінетика парамагнітних дефектів, індукованих  $\gamma$  - опроміненням в стеклах системи  $(100-X)Ag_{0.05}Ga_{0.05}Ge_{0.95}S_{2-(X)}Er_2S_3$  / В.В. Галян, А.А. Кончиць, Б.Д. Маніна, В.О. Юхимчук, О.О. Лебедь, С.В. Красновид, А.Г. Кевшин, М.В. Шевчук // Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції «Релаксаційні, нелінійні, акустооптичні процеси і матеріали» (РНАОПМ-2016), Луцьк, 2016. С. 88-90.
20. Лебедь О.О. Визначення об'ємної активності радону в повітрі напівпідвальних приміщень міста Рівного / О.О. Лебедь, В.О. Мислінчук // Актуальні проблеми фундаментальних наук: матеріали II Міжнар. наук. конф. – Луцьк: ПФ “Вежа - Друк”. 2017. С. 63-65.
21. Галян В.В. Вплив  $\gamma$ -опромінення на спектри фотолюмінесценції монокристалу  $(Ga_{54.59}In_{44.66}Er_{0.75})_2S_{300}$  / В.В. Галян, І.А. Іващенко, І.Д. Олексеюк, О.О. Лебедь, А.Г. Кевшин, М.В. Шевчук, О.М. Новосад, А.Б. Тимошук // Актуальні проблеми фундаментальних наук: матеріали II Міжнар. наук. конф. – Луцьк: ПФ “Вежа - Друк”. 2017. С. 33.
22. Лебедь О.О. Районування міста Рівне за величиною густини потоку радону з ґрунту / О.О. Лебедь // Матеріали IX Міжнародної наукової конференції «Релаксаційно, нелінійно, акустооптичні процеси і матеріали»: Луцьк, ПФ “Вежа - Друк”. 2018. С. 125-127.
23. Лебедь О.О. Визначення об'ємної активності радону в житлі / О.О. Лебедь, В.О. Мислінчук // Матеріали IX Міжнародної наукової конференції «Релаксаційно, нелінійно, акустооптичні процеси і матеріали»: Луцьк, ПФ “Вежа - Друк” 2018. С. 127-129.
24. Лебедь О.О. Радонова небезпека населених пунктів, розміщених на Українському кристалічному щиті / О.О. Лебедь, О.Д. Кочергіна, В.О. Мислінчук // ADVANCES OF SCIENCE: Proceedings of articles the international scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv, 28 September 2018 [Electronic resource]. pp 325-331.

## АНОТАЦІЯ

*Лебедь О. О.* Обґрунтування оцінки екологічного ризику для жителів від надходження радону до будинків м. Рівне. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». – Київський національний університет будівництва і архітектури міністерства освіти і науки України, Київ, 2019.

Дисертаційна робота присвячена актуальній проблемі оцінки та прогнозування техногенного навантаження на екосистему міста Рівне від радонового забруднення приміщень. Результати роботи пройшли достатню

апробацію та були впроваджені.

В результаті проведених досліджень запропоновано новий підхід з вирішення проблеми оцінювання екологічних ризиків урбоєкосистеми за показниками концентрації радону в атмосферному повітрі приміщень, яка дозволяє знизити віддалені в часі наслідки радонового опромінення населення міста Рівного та захворюваності і смертності його від раку легенів.

Одержано експериментальні результати об'ємної активності радону в повітрі підвальних, напівпідвальних приміщень та перших поверхів будинків густини потоку радону з ґрунтів для різних тест-полігонів міста і на їх основі розраховано додатковий відносний індивідуальний ризик захворюваності на рак легенів, спричинений радоном, очікуване скорочення тривалості життя, очікуваний середній вік смерті, індивідуальний та популяційний радіаційний збиток населення міста. Розраховані ці ж параметри з урахуванням мультиплікативної взаємодії вдихання радону та фактора тютюнопаління.

Для тест-полігонів міста запропонована низка заходів при будівництві будинків і їх експлуатації в залежності від низьких, середніх чи високих значень густини потоку радону з ґрунту будівельної ділянки чи об'ємної активності радону в будинку.

Ключові слова: екологічна безпека, радонова експозиція, математична модель, додатковий відносний ризик, тест-полігон, об'ємна активність, густина потоку радону, ексхаляція.

## АННОТАЦІЯ

*Лебедь А. А.* Обоснование оценки экологического риска для жителей от поступления радона в дома г. Ровно. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 21.06.01 «Экологическая безопасность». – Киевский национальный университет строительства и архитектуры Министерства образования и науки Украины, Киев, 2019.

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме оценки и прогнозирования техногенной нагрузки на экосистему города Ровно от радонового загрязнения помещений. Результаты работы прошли достаточную апробацию и были внедрены.

В результате проведенных исследований предложен новый подход по решению проблемы оценки экологических рисков урбоэкосистемы по показателям концентрации радона в атмосферном воздухе помещений, которая позволяет снизить отдаленные во времени последствия радонового облучения населения города Ровно, заболеваемости и смертности его от рака легких.

Получены экспериментальные результаты объемной активности радона в воздухе подвальных, полуподвальных помещений и первых этажей зданий плотности потока радона из почвы для различных тест-полигонов города и на их основе рассчитан дополнительный относительный индивидуальный риск заболеваемости раком легких, вызванный радоном, ожидаемое сокращение продолжительности жизни, ожидаемый средний возраст смерти,



индивидуальный и популяционный радиационный ущерб населению города. Рассчитаны эти же параметры с учетом мультипликативной взаимодействия вдыхания радона и фактора курения.

Для тест-полигонов города предложен ряд мероприятий при строительстве зданий и их эксплуатации в зависимости от низких, средних или высоких значений плотности потока радона из почвы строительного участка или объемной активности радона в здании.

Ключевые слова: экологическая безопасность, радоновая экспозиция, математическая модель, дополнительный относительный риск, тест-полигон, объемная активность, плотность потока радона, эксхалация.

## ABSTRACT

*O. Lebed.* Substantiation of assessment of ecological risk for inhabitants from the receipt of radon to the houses of the city of Rivne. – On the rights of manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) for specialty 21.06.01 – «Ecological Safety». – Kyiv National University of Construction and Architecture Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

The thesis is devoted to the topical issues of estimation and predictive modelling of man-caused load on the ecosystem of the city of Rivne from premises radon pollution. The results of the scientific work were sufficiently tested and implemented.

A new approach to solution of the urbo ecosystem environmental risk assessment problem was suggested, it takes into consideration the indoor radon concentration indexes and allows to reduce the long-term consequences of radon irradiation of Rivne population, its pulmonary cancer rate and mortality.

Results obtained from the investigation of radon volume activity in the basements, semibasements, on the ground floors of premises, radon flux density from the earth for various testing area of the city make it possible to estimate the additional multiplicative interaction cancer rate caused by radon irradiation, forecast the reduction in life expectancy, mean age of death, individual and community radiological losses of the city population. The same data are estimated taking into consideration multiplicative interaction of radon inhaling and tobacco smoking.

A number of measures were suggested for building construction and operation, depending on very low, low, medium or high values of the radon flux density from the earth or radon volumetric activity in the building.

Key words: ecological safety, radon exposure, mathematical model, additional relative risk, testing area, volumetric activity, radon flux density, exhalation