

ДЕРЖАВНА УСТАНОВА  
“ІНСТИТУТ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ’Я ім. О.М. МАРЗЄЄВА НАМН УКРАЇНИ”

На правах рукопису

**ГЕРМАН ОЛЬГА ОЛЕКСАНДРІВНА**

УДК 613.648.4: 614.876

**НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОТИРАДОНОВИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ БУДІВЕЛЬ,  
РОЗТАШОВАНИХ НА РАДОНОНЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕРИТОРІЯХ УКРАЇНИ**

14.02.01 – гігієна та професійна патологія

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата біологічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державній установі "Інститут громадського здоров'я ім. О. М. Марзєєва НАМН України"

Науковий керівник: Доктор біологічних наук, професор  
**Павленко Тетяна Олександрівна**,  
ДУ "Інститут громадського здоров'я імені О. М. Марзєєва  
НАМН України", завідувача лабораторією радіаційного  
захисту

Офіційні опоненти: Доктор медичних наук, професор  
**Гаркавий Сергій Іванович**,  
Національний медичний університет імені О.О. Богомольця  
МОЗ України, завідувач кафедри комунальної гігієни та  
екології людини з секцією гігієни дітей та підлітків

Кандидат біологічних наук  
**Берковський Володимир Борисович**,  
ДУ "Національний науковий центр радіаційної медицини  
НАМН України", завідувач лабораторії дозиметрії  
внутрішнього опромінення

Захист відбудеться " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2016 року о \_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.604.01 у ДУ "Інститут громадського здоров'я ім. О. М. Марзєєва НАМН України" за адресою: 02660, м. Київ, вул. Попудренка, 50.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДУ "Інститут громадського здоров'я ім. О. М. Марзєєва НАМН України" за адресою: 02660, м. Київ, вул. Попудренка, 50.

Автореферат розісланий " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2016 року.

**Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
доктор біологічних наук**

**О. М. Литвиченко**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Радон у повітрі житлових приміщень є основним дозоформуючим фактором на території країн помірному клімату, а його внесок в сумарну дозу опромінення може сягати 75 % від загальної величини річної ефективної дози опромінення (НКДАР ООН, 2009). За останні 10 років було проведено більше 20 епідеміологічних досліджень щодо впливу радону на здоров'я людини. Результати цих досліджень були проаналізовані регіональними пулінговими дослідженнями (Darby S., 2005; Lubin J.H., 2006; Krewski D., 2006; Tomasek L., 2008; Marsh J.W., 2013), які поєднали отримані результати різних груп вчених з Європейських країн, США, Канади та Китаю. Висновки авторів призвели до переоцінки величини радіаційних ризиків, зумовлених цим джерелом (ICRP Publ. 115, 2013), а публікація 126 Міжнародної Комісії з Радіологічного Захисту (МКРЗ) (ICRP Publ. 126, 2015) уточнила порядок застосування нової системи радіологічного захисту щодо зменшення активностей радону в повітрі будинків.

Усвідомлення важливості даної проблеми привело до змін у ряді регламентів "Основних стандартів безпеки" Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) (BSS, 2014), які були доповнені вимогами щодо зменшення рівнів радону в житлових будівлях і на робочих місцях. Відповідні зміни були внесені і до Директиви Євратому (2013/59/Євратом, 2013), яка відмічає, що останні епідеміологічні дослідження свідчать про статистично значуще підвищення ризику раку легенів в результаті тривалого опромінення радоном та його дочірніми продуктами розпаду, якщо його активності в повітрі перевищують  $100 \text{ Бк м}^{-3}$ , та вимагає від всіх держав-членів Євросоюзу прийняття національних "Планів дій" по радону.

В Україні проблема радону вивчається з 1989 року. За цей час були розроблені методична та метрологічна бази вимірювань радону в повітрі житлових будинків (Павленко Т.О., 1996; Кравченко М.І., 1998; Аксьонов М.В., 2012). Проведено перші скринінгові дослідження рівнів радону в повітрі житлових будинків та створені відповідні бази даних (Лось І.П., 1991; Павленко Т.О., 1996, 2007), встановлені закономірності формування рівнів радону в будинках, які дозволили обґрунтувати та розробити вимоги до радіаційно-гігієнічних регламентів щодо активностей радону в повітрі приміщень, які було імплементовано в "Нормах радіаційної безпеки України" (НРБУ-97, 1997), зроблені оцінки виправданості втручання щодо радону в умовах України та обґрунтована концепція національної "радонової" програми (Сердюк А.М., 2007).

Проте, зменшення впливу радону на здоров'я населення – це не тільки моніторинг його активності в будинках, але й дієві санітарно-гігієнічні протирадонові заходи, які необхідно впроваджувати таким чином, щоб при мінімальних економічних витратах на їх реалізацію був отриманий максимальний ефект щодо зменшення активностей радону в приміщеннях.

Більшість країн світу розробляють власні комплекси протирадонових заходів у рамках національних планів дій, виходячи з геологічних особливостей ґрунтів, традиційних інженерно-планувальних рішень будинків, кліматичних умов тощо. Подібні дослідження в Україні не проводилися, тому ця проблема є безперечно актуальною в контексті обґрунтування та розробки національного плану дій щодо

зменшення доз опромінення від радону в повітрі приміщень відповідно до вимог сучасної нормативної бази, імплементованої в "Основних стандартах безпеки" МАГАТЕ (BSS, 2014) та Директивах Євратому (2013/59/Євратом, 2013).

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідних робіт ДУ "Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзєєва НАМН України": "Наукове обґрунтування реальних шляхів зменшення поточних доз опромінення населення в різних регіонах України" (державний реєстраційний номер 0104U002529); "Радіаційно-гігієнічна оцінка залишків видобутку та переробки корисних копалин з високим вмістом природних радіонуклідів" (державний реєстраційний номер 0110U001463); розділ "Проведення вимірювань середньорічної еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону-222 у повітрі приміщень" (державний реєстраційний номер 0111U009250) (Кіровоградська регіональна програма "Стоп-радон").

**Мета дослідження:** наукове обґрунтування, розробка та впровадження протирадонових заходів у будівлях, розташованих на радононебезпечних територіях України, для зменшення ризиків радіаційного впливу радону-222 на здоров'я дітей і дорослого населення.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1. Визначити рівні радону в підстеляючих ґрунтах і будівлях на радононебезпечних територіях України.
2. Визначити закономірності формування рівнів радону-222 в повітряному середовищі будівель за рахунок підстеляючих ґрунтів як основного джерела надходження радону до повітряного середовища будівель.
3. Науково обґрунтувати та розробити методи зниження рівнів радону в повітряному середовищі сільських будівель, типових для пілотних регіонів України.
4. Оцінити ефективність проведених санітарно-гігієнічних протирадонових заходів.

**Об'єкт дослідження:** закономірності формування рівнів радону в повітряному середовищі будівель для головного джерела його надходження – ґрунтів та величини радіаційних ризиків, обумовлені радоном.

**Предмет дослідження:** радіаційно-гігієнічні параметри стану повітря в приміщеннях і підстеляючих ґрунтах.

**Методи дослідження:** *аналітичний* - для узагальнення інформації щодо результатів наукових досліджень проблеми радону, його біологічного впливу на організм людини, методів його зменшення у повітрі житлових приміщень; *фізичні* - для дослідження рівнів вмісту радону у повітрі ґрунтів та житлових приміщень, а саме: метод пасивної трекової радонометрії для вимірювань радону в повітрі житлових приміщень; іскровий метод зчитування кількості треків; гамма-спектрометричний метод – визначення вмісту природних радіонуклідів в ґрунтах; метод радонової еманометрії – вимірювання активностей радону в ґрунтовому повітрі; *математичні* - для статистичної обробки та аналізу отриманих даних: дескриптивний, кореляційний, дисперсійний методи статистичного аналізу

результатів досліджень. Математичні моделі МКРЗ для розрахунку доз опромінення населення.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше встановлені закономірності формування рівнів радону в повітряному середовищі типових сільських будівель України в залежності від основного шляху надходження цього радіонукліда в повітря житлових приміщень – ґрунтів.

На основі отриманих даних про вміст радону в повітрі житлових приміщень та ґрунтах, комплексного аналізу конструктивних рішень типових українських будівель і геоморфологічних особливостей підстеляючих ґрунтів вперше науково обґрунтовано комплекс протирадонових заходів для існуючих односімейних будинків і типових будівель дитячих дошкільних і шкільних закладів.

**Теоретичне значення отриманих результатів.** Встановлена просторово-часова закономірність формування рівнів радону в повітрі типових будівель в залежності від основного шляху надходження цього радіонукліда – підстеляючих ґрунтів. Ця закономірність послужила теоретичною основою при обґрунтуванні напрямків радонозахисту для існуючих односімейних житлових будинків і типових будівель дитячих дошкільних і шкільних закладів.

**Практичне значення** результатів дослідження полягає у реалізації протирадонових заходів у 189 дитячих закладах, оцінки їх ефективності та розробці рекомендацій по їх вдосконаленню.

На основі матеріалів роботи створено науково-популярний буклет “Радон. Що потрібно знати, щоб забезпечити себе та свою сім’ю”, 2014.

Результати дослідження були використані при розробці матеріалів для програм науково-практичних семінарів, що проводилися з фахівцями практичних служб з метою підвищення кваліфікації, а також курсу лекцій для спеціалістів, аспірантів і слухачів. В цілому розроблено і прочитано 5 курсів лекцій на тему: радон (основи), вимірювання радону в ґрунтах, природні радіонукліди в воді, протирадонові заходи, картування радонового ризику.

**Впровадження результатів дослідження здійснено:**

*а) на галузевому рівні:* розроблено Методичні рекомендації МР 6.6.1. 6.2.-000-14 “Здійснення радіаційно-гігієнічного моніторингу установами Державної санітарно-епідеміологічної служби України”, 2014.

*б) на регіональному рівні:* матеріали дисертації щодо закономірностей формування рівнів радону в повітрі типових будівель в залежності від основного шляху надходження - підстеляючих ґрунтів та заходи зменшення рівнів радону в будинках, впроваджені у навчальний процес ННІ “Інститут геології” Київського національного університету ім. Тараса Шевченка під час викладання курсу “Ядерна геофізика”, 2014-16 роки (акт впровадження від 14.09.2016) та у роботу спеціалістів радіологічної лабораторії та відділу епідеміологічного нагляду та профілактики неінфекційних захворювань ДУ «Рівненський лабораторний центр МОЗ України» (акт впровадження від 10.02.2016).

**Особистий внесок здобувача.** Автором особисто виконаний патентно-інформаційний пошук і аналітичний аналіз літератури, визначена актуальність проблеми та мета роботи, розроблена програма досліджень, виконані конкретні теоретичні й експериментальні дослідження. Здобувач приймала особисту участь у всіх натурних і лабораторних дослідженнях, особисто виконувала розрахунок, аналіз, систематизацію, математичну та статистичну обробку даних, формувала рекомендації щодо проведення протирадонових заходів. Особистий внесок здобувача становить 80 % обсягу роботи.

Автор висловлює подяку керівнику та фахівцям лабораторії радіаційного захисту ДУ "Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України", Держсанепідслужбі України у Кіровоградській області, а також керівництву Кіровоградської обласної державної адміністрації та Шведського Управління Радіаційної Безпеки за консультативну та практичну підтримку в організації та проведенні вимірювань рівнів радону на об'єктах дослідження та впровадженні протирадонових заходів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційного дослідження були представлені та обговорені на: третьому Європейському конгресі Міжнародної Асоціації Радіаційного Захисту (IRPA), Гельсінкі, Фінляндія, 2010; науково-практичній конференції "Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (сьомі марзєєвські читання)", Київ, 2011; міжнародній конференції "Радіоекологія та радіоактивність в навколишньому середовищі", Барселона, Іспанія, 2014; науково-практичній конференції "Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (одиннадцяті марзєєвські читання)", Київ, 2015.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 20 робіт, в тому числі 5 статей у фахових наукових виданнях України, з яких 1 стаття опублікована самостійно; 5 статей в інших наукових журналах та збірниках, з них 3 – в закордонних реферованих журналах; 4 тез доповідей; 3 монографії; 1 навчальний посібник; 1 методичні рекомендації; 1 науково-популярний буклет.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація викладена на 160 сторінках друкованого тексту (основний текст – 138 сторінок), ілюстрована 21 рисунком, містить 38 таблиць, складається зі вступу, аналітичного огляду наукової літератури, опису матеріалів, методів і обсягів дослідження, трьох розділів власних досліджень, аналізу та узагальнення результатів, висновків, списку використаних джерел (всього 115 найменувань, із них українських та російськомовних – 20, 86 – англomовних, 9 – на інших іноземних мовах), 2 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Матеріали і методи дослідження.** Для досягнення мети та вирішення поставлених у роботі завдань була розроблена поетапна програма досліджень, згідно з якою був проведений комплекс теоретичних (аналіз і узагальнення даних вітчизняної та зарубіжної літератури щодо сучасного стану радонової проблеми), гігієнічних (санітарного обстеження та описування), інструментальних досліджень (визначення ЕРОА радону в повітрі, вимірювання об'ємної активності радону та вмісту природних радіонуклідів у ґрунті), математичних (моделювання протирадонових заходів в житлових будівлях і громадських спорудах, а також статистична обробка отриманих даних), обсяги яких наведено в табл. 1.

На першому етапі роботи на підставі аналізу літературних джерел визначена різноманітність ситуацій у різних країнах світу щодо джерел надходження радону в приміщення, проаналізовані результати досліджень рівнів радону в будинках різних країн світу, приведені найбільш вживані методи картування радонового потенціалу територій та сучасних методів зниження активності радону в будівлях. Проаналізовані сучасні роботи та публікації міжнародних організацій, які стосуються біологічної дії радону на організм людини, а також результати останніх епідеміологічних досліджень та їх висновки щодо величини радіаційних ризиків від радону для здоров'я людини.

Встановлено, що головним дозоформуєчим фактором на території України є радон у повітрі приміщень (більше 60 % від загальної дози опромінення від усіх джерел аварійного та неаварійного походження), а пріоритетним джерелом надходження радону в будинки – підстеляючий ґрунт, але дослідження ефективності протирадонових заходів в умовах України не проводилися. Наведені приклади міжнародного досвіду районування територій за радоновим потенціалом, виявлені відмінності в підходах до картування ризиків, розглянуті методики вибору та реалізації протирадонових заходів для різних типів будівель і будівельних матеріалів тощо.

Проведений аналіз результатів останніх пулінгових досліджень щодо впливу радону на здоров'я свідчить, що радон є однією з причин виникнення раку легенів у дорослих. Публікація 126 МКРЗ відмічає, що на теперішній час відсутні надійні епідеміологічні дані щодо впливу радону та його дочірніх радіонуклідів на дітей, але діти вважаються більш радіочутливими.

Виходячи з цього, МКРЗ не рекомендує використання спеціальних нормативів і коефіцієнтів ризику для дітей, але присутність дітей в будівлі повинна бути аргументом для першочергового здійснення санітарно-гігієнічних протирадонових заходів.

На підставі розглянутого матеріалу узагальнені висновки та окреслені невирішені проблеми, а також обґрунтовані методичні підходи і напрямки дисертаційної роботи, які визначили мету і завдання досліджень.

## Етапи, методи та обсяг досліджень

№ з/п	Етап	Об'єкт	Методи	Обсяг
1	Вивчення світового досвіду щодо зменшення рівнів радону в повітрі будинків	Повітряне середовище житлових будівель і громадських споруд, ґрунт, захворюваність населення, протирадонові заходи	Аналіз даних літератури	115 джерел
2	Визначення ЕРОА радону в повітрі житлових приміщень, дитячих дошкільних закладів та шкіл, громадських будівель Кіровоградської та Одеської областей	Повітряне середовище житлових будівель і громадських споруд	Пасивної трекової радонометрії	368 вимірювань
3	Вимірювання об'ємної активності радону в ґрунтах Савранського району Одеської області та Кіровоградського району Кіровоградської області	Ґрунтове повітря, ґрунти	Еманацийна зйомка	Більше 1700 вимірювань
4	Дослідження вмісту природних радіонуклідів в ґрунтах Савранського району Одеської області та Кіровоградського району Кіровоградської області	Ґрунт	Гамма-спектрометричні вимірювання, вимірювання потужності дози	1688 вимірювань
5	Розробка та впровадження протирадонових заходів у будівлях шкіл і дошкільних навчальних закладів Кіровоградської області, оцінка їх ефективності	Повітряне середовище дитячих закладів	За математичними моделями МКРЗ Публікацій 55, 103, 115 і 126.	189 дитячих закладів

На другому етапі визначали рівні вмісту радону в повітрі житлових будинків, дитячих дошкільних закладів та шкіл у сільській місцевості. Вимірювання еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону-222 проводились методом пасивної трекової радонометрії з використанням нітрат-целюлозних плівок LR-115 (Kodak) з подальшим підрахунком треків на іскровому лічильнику треків



(згідно з методикою, затвердженою МОЗ України). Час експонування плівкового накопичувача становив не менше 30 діб в опалювальний період.

Радонові накопичувачі встановлювалися в приміщеннях на відстані не менше 1 м від можливих джерел надходження радону: будівельних конструкцій стін, підлоги, стелі, водопровідних та інших комунікацій, нагрівальних елементів, вікон і дверей. Для кожного досліджуваного об'єкта заповнювалися сертифікати вимірювань, в які заносилися дані експонування, адреса, характеристики будівлі та приміщень тощо. Інформація з сертифікатів заносилася до відповідних баз даних. Система гарантій якості вимірювань забезпечувалася еталоном одиниці активності радону в повітрі ("радоною атмосферою") та результатами процедур звірення із Шведським Агентством з радіаційного захисту.

На третьому етапі проведено вимірювання об'ємної активності радону та вмісту природних радіонуклідів у ґрунтах сільської місцевості. Дослідження ґрунтів складалося з вимірювань радону (еманаційна зйомка) та гамма-спектрометрії їх складу. Вимірювання природних радіонуклідів (ПРН) (калію-40, торію-232 і радію-226) виконувалися портативним гамма-спектрометром Exploranium GR-130 (США). В якості детектора в приладі використовується 0,07 літровий натрієвий детектор [NaI(Tl)] спеціальної конструкції для польових умов. Спектрометричні вимірювання ПРН проводилися приладом на поверхні ґрунту і на глибині 80 см. Отримані результати вимірювань заносилися до протоколу вимірювань, і в подальшому значення для окремих радіонуклідів на глибині 80 см перераховувалися з поправкою на 2л геометрію з урахуванням калібрувальних факторів. Калібрування приладу проводилося на калібрувальному майданчику геологічної служби, який має відомі характеристики радіонуклідного складу та статус первинного калібрувального джерела у Швеції. Контрольне стабілізуюче вимірювання приладу проводилося перед кожним спектрометричним вимірюванням калібрувальним джерелом цезію-137.

Радон в ґрунтовому повітрі також вимірювався на глибині 80 см. Для цього у ґрунт вбивалися металеві щупи, на які пригвинчуються вимірювальні прилади, оснащені помпою. Вимірювання проводилися радоновим еманометром Markus 10 виробництва фірми GammaData, Швеція. Після прокачування повітря одноканальний аналізатор приладу реєстрував альфа-випромінювання від полонію-218 та за визначеною активністю перераховував його значення в активності радону. Гарантії якості вимірювань еманометра Markus 10 забезпечуються калібруванням приладу у виробника 1 раз на 2 роки.

Усі виміряні дані заносилися до протоколу, куди ввійшли також координати точок вимірювання, дані про метеорологічні умови, вологість досліджуваного ґрунту, геоморфологічний склад ґрунту в точці вимірювання вмісту радону та ландшафтний опис земельної ділянки.

Четвертий етап передбачав наукове обґрунтування, розробку та впровадження протирадонових заходів у будівлях шкіл і дошкільних навчальних закладів. Для зменшення радону у будівлях розроблено рекомендації щодо кожного окремого будинку на основі методів ізоляції, зміни атмосферного тиску під будівлею, зміни системи потоків повітря у приміщеннях. Методи було адаптовано для клімату регіонів і враховуючи повітряні процеси у ґрунтах під будівлями у різні пори року.

Після впровадження протирадонових заходів було проведено контрольне вимірювання радону в опалювальний сезон.

Оцінку ефективності протирадонових заходів проводили на заключному етапі дисертаційного дослідження.

Картування радонового потенціалу досліджених територій виконувалось за шведськими методиками, що базуються на даних вимірювань природних радіонуклідів і радону в ґрунтовому повітрі в комбінації з геоморфологічними характеристиками ділянок територій.

При аналізі матеріалів досліджень використовувалися наступні математичні методи: для розрахунків первинних статистичних показників – дескриптивна статистика; виявлення відмінностей між групами факторів (наприклад, активність радону в ґрунті та активність радону в повітрі будинку) за допомогою параметричного та непараметричного критеріїв; встановлення взаємозв'язку між змінними (тип фундаменту, перекриття, тип підлоги тощо) за допомогою непараметричних методів; оцінка достовірності дії декількох факторів впливу на рівні радону в будинках та частки внеску дії фактора у зміну показників за допомогою дисперсійного аналізу. Для первинної підготовки таблиць та проміжних розрахунків використовувався пакет Microsoft Excel 2010. Основна частина математичної обробки виконувалась з використанням стандартного статистичного пакету "STATISTICA 10.0".

### **Результати досліджень та їх обговорення.**

**Гігієнічні дослідження та оцінка рівнів радону у повітрі будівель сільської місцевості і підстеляючих ґрунтах.** В ході виконання етапу дослідження, який передбачав визначення та гігієнічну оцінку рівнів радону в повітрі сільських житлових будинків, дитячих дошкільних закладів, загальноосвітніх шкіл та підстеляючих ґрунтах земельних ділянок, на яких розташовувалися ці будинки, були проведені вимірювання активностей радону у ґрунтовому повітрі та будинках Савранського району Одеської області та Кіровоградського району Кіровоградської області. Паралельно з вимірюваннями радону проводилися гамма-спектрометричні вимірювання концентрацій природних радіонуклідів у ґрунтах на поверхні земельних ділянок та на глибині 80 см. Для аналізу впливу активності радону у ґрунтовому повітрі, інженерно-планувальних особливостей будівель та типу ґрунтів (глина, супісок, пісок, суглинок тощо) на активності радону в повітрі будинків в опалювальний період у будинках були проведені вимірювання радону в повітрі житлових приміщень інтегральним методом – пасивними трековими детекторами.

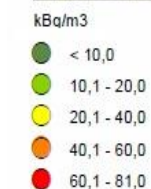
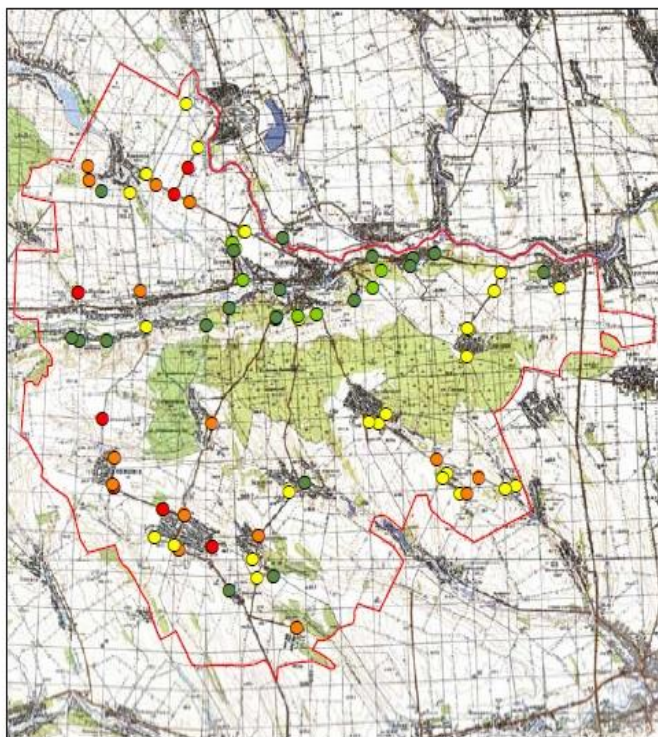
Аналіз результатів вимірювань встановив, що середні значення активностей радону в ґрунтовому повітрі для окремих населених пунктів варіювали від 14 до 40 кБк·м<sup>-3</sup> (рис. 1). Частотний розподіл активностей радону наближається до нормального.

Вміст радію-226, продуктом розпаду якого є радон, в різних типах ґрунтів варіював в межах 16-40 Бк·кг<sup>-1</sup> і практично не відрізнявся від середніх значень по дослідженій території України, що свідчить про транзитний характер потоку радону в ґрунтах (рис. 2).

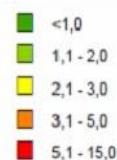
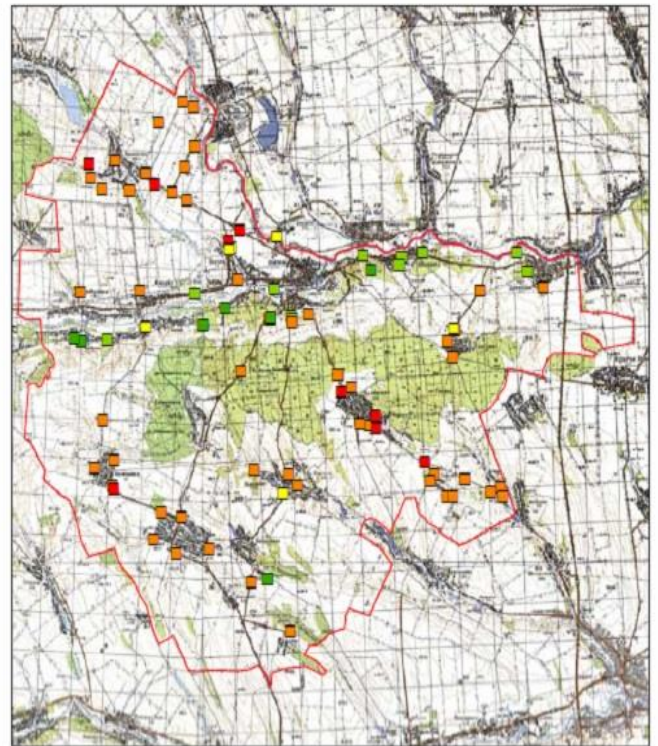
На рис. 3 приведено зведену карту радонового потенціалу, яка була створена на основі всього масиву даних, отриманих у Савранському районі. Дана карта включає інформацію про активності радону в ґрунтовому повітрі, концентрації радію в ґрунтах та їх геоморфологічні дані, а також ландшафтні характеристики окремих ділянок цієї території.

Для верифікації даної карти радонового потенціалу були проведені вимірювання ЕРОА радону в повітрі житлових будинків. Встановлено, що всі обстежені території умовно діляться на 2 категорії. Перша – з "нормальним" радоновим потенціалом. На цих ділянках переважають глини або суглинки, що перекриваються чорноземом потужністю до 1, іноді до 2 метрів. Потужність дози гамма-випромінювання на поверхні земельної ділянки іноді може бути вища за середню по регіону, а активності радону в будинках часто перевищують встановлений норматив щодо ЕРОА –  $100 \text{ Бк м}^{-3}$ .

Друга категорія земельних ділянок відносилася до територій з "низьким" радоновим потенціалом. Ґрунти на цих територіях були піщаними з низьким вмістом ПРН і, в першу чергу, радію-226. Активності радону в будинках на таких ділянках практично не перевищують установленого нормативу.



0 5 10 Kilometers



0 5 10 Kilometers

Рис. 1. Активності радону в ґрунтах Савранського району Одеської області

Рис. 2. Концентрації радію-226 в ґрунтах Савранського району Одеської області

Аналіз результатів вимірювань радону в повітрі житлових будинків обстежених регіонів встановив логнормальний характер частотного розподілу ЕРОА радону і значну варіабельність його рівнів. Так, середньгеометричне значення ЕРОА радону в будинках Савранського району Одеської області склало  $75 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  (рис. 4) при стандартному відхиленні  $54 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , для Кіровоградської області –  $108 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  і  $117 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , відповідно (рис. 5).

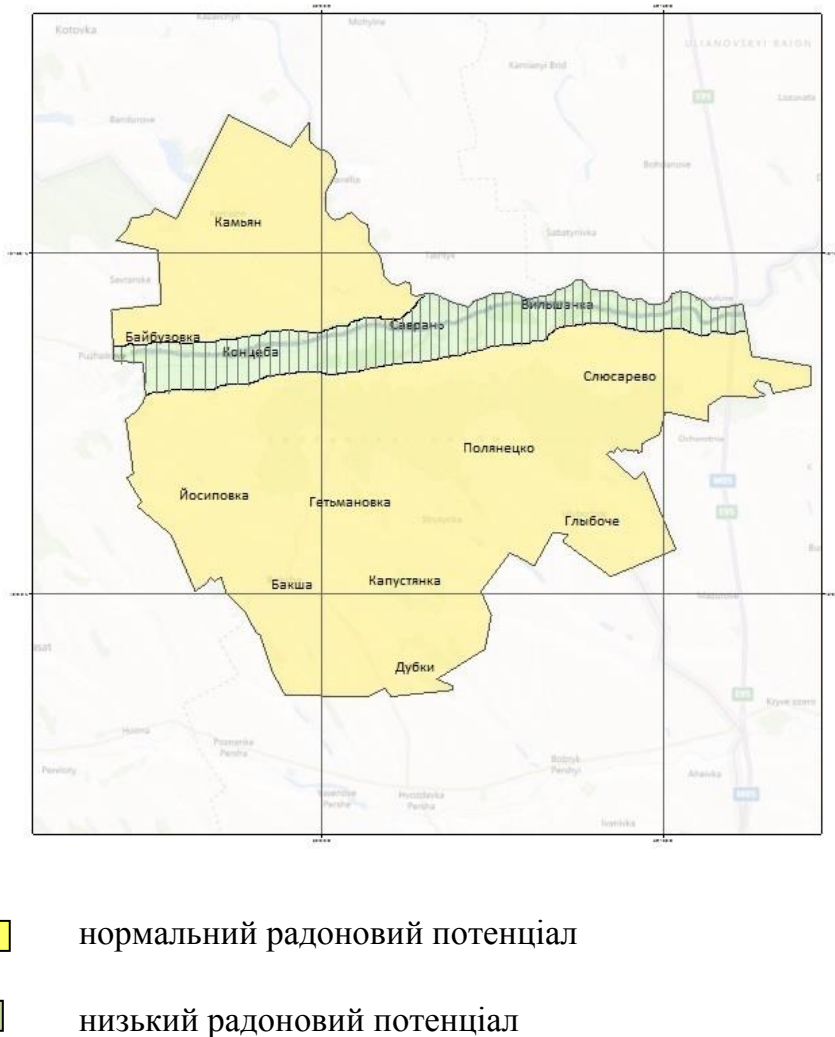
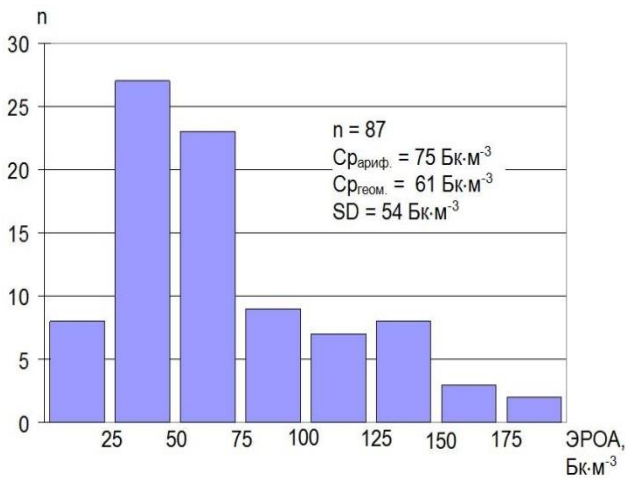


Рис. 3 Карта радонового потенціалу для Савранського району Одеської області

**Вивчення закономірностей формування рівнів радону в сільських житлових будинках у залежності від його активності в підстеляючих ґрунтах.** В ході проведених досліджень проаналізовано біля 20 параметрів, які можуть впливати на рівні радону в повітрі житлових будинків.

На підставі результатів дисперсійного і кореляційного аналізу залежностей рівнів радону в повітрі типових сільських будівель від його активностей в підстеляючих ґрунтах, а також геоморфологічних особливостей територій та інженерно-планувальних рішень будівель були встановлені стійкі залежності рівнів радону від наступних факторів: типу будинку (будівельних матеріалів, з якого його

зведено, та конструкції фундаменту) ( $F = 8,23$ ;  $p < 0,001$ ); типу вентиляції будинку, тобто наявності або відсутності примусової вентиляції ( $F = 11,95$ ;  $p < 0,001$ ); типу підстиляючого ґрунту під будинком ( $F = 3,65$ ;  $p = 0,003$ ).



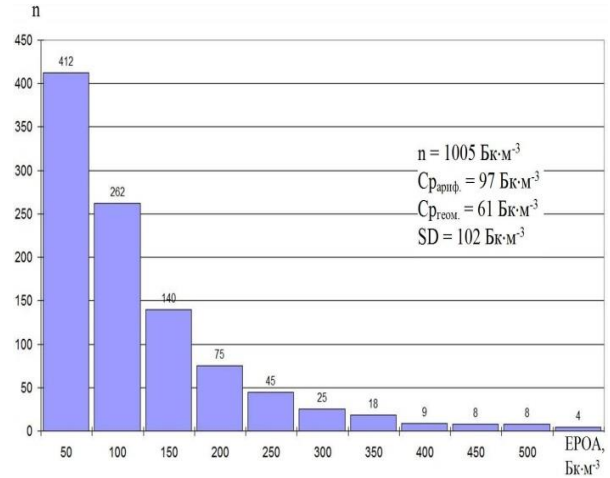
$n$  – кількість будівель;

$Sr_{ариф}$  – середньоарифметичне значення ЕРОА радону-222;

$Sr_{геом}$  – середньгеометричне значення ЕРОА радону-222;

$SD$  – стандартне відхилення

Рис. 4. Частотний розподіл ЕРОА радону-222 в повітрі будівель Савранського району Одеської області



$n$  – кількість будівель;

$Sr_{ариф}$  – середньоарифметичне значення ЕРОА радону-222;

$Sr_{геом}$  – середньгеометричне значення ЕРОА радону-222;

$SD$  – стандартне відхилення

Рис. 5. Частотний розподіл ЕРОА радону-222 в повітрі будівель Кіровоградського району Кіровоградської області

Кореляційний аналіз залежностей рівнів радону в будинках від концентрації радону в ґрунтовому повітрі встановив, що на ступінь проникнення радону в повітря будинків достовірно впливали два параметри: система вентиляції приміщень ( $F = 11,97$ ,  $p < 0,001$ ) та тип ґрунту ( $F = 3,65$ ,  $p = 0,003$ ). Ці параметри безпосередньо пов'язані зі швидкістю надходження радону в повітряне середовище будівлі і в подальшому визначали вибір типу протирадонових заходів.

Визначений алгоритм вибору протирадонових заходів, який передбачає три послідовні етапи. Перший етап – це вимірювання радону у ґрунтовому повітрі та гамма-спектрометричні дослідження вмісту ПРН з наступним геоморфологічним аналізом їх складу.

Другий – аналіз конструктивних особливостей будинку та пошук джерел надходження радону у будинок (пошук щілин у перекриттях, підлозі, у місцях підводу комунікацій, визначення виду вентиляції, кратності повітрообміну тощо).

Третій етап – вибір протирадонових заходів, які відповідають вимогам конструктивних та інженерно-планувальних особливостей будинку. Для визначення ефективності протирадонових заходів на досліджених територіях були відібрані

типові сільські будинки, які відрізнялися за конструктивними та інженерно-планувальними рішеннями.

**Наукове обґрунтування, розробка та впровадження протирадонових заходів.** Дані проведених досліджень дозволили встановити, що на протирадонові заходи для сільських будинків впливають, насамперед, конструктивні рішення, а саме: для будівель без фундаменту, будівель з фундаментом та будівель з повітряним простором між фундаментом та підлогою.

В залежності від радіологічних та конструктивних параметрів власникам кожного дослідженого будинку було надано рекомендації по захисту від радону. У розділі приведений перелік усереднених рекомендацій.

Окремо були розроблені протирадонові заходи для 189 будинків дитячих закладів Кіровоградщини. Протирадонові заходи в цих закладах здійснювалися в рамках регіональної програми "Стоп-радон". При огляді об'єктів було встановлено, що всі будинки можна розділити на 2 типи: одноповерхові будівлі з цегли без підвалів та типові двоповерхові будинки, збудовані в 1970-1990 рр., з технічним поверхом, через який заведені всі комунікації.

Отже, основними характеристиками для всіх типів будинків, в яких, за даними первинного обстеження, був значно перевищений існуючий норматив для радону, є погана ізоляція ґрунту, довготривала відсутність ремонтних робіт і, як наслідок, присутність великих щілин у підлозі, а також порушений режим вентиляції або повна її відсутність.

Аналіз всіх вхідних параметрів будинків дозволив розробити та реалізувати на практиці комплекс протирадонових заходів. Рекомендації стосувались вентиляційних систем, ізоляції та герметизації підлоги та простору під підлогою, герметизації всіх підведених до будинків комунікацій тощо. Для випадків, коли ЕРОА радону в 10 і більше разів перевищували гігієнічний норматив, було рекомендовано змінити тиск повітря під будівлею по відношенню до атмосферного тиску всередині приміщень.

По закінченню робіт було проведено повторні вимірювання активностей радону в повітрі житлових приміщень та за їх результатами проведено аналіз ефективності виконаних робіт.

**Оцінка ефективності протирадонових заходів.** Оцінку ефективності протирадонових заходів здійснювали на підставі повторних результатів вимірювань та аналізу зниження активностей радону в повітрі сільських шкіл і дошкільних закладів. На рис. 6 приведені середньозважені значення ЕРОА радону в повітрі шкіл і дошкільних закладів сільських населених пунктів Кіровоградської області до і після проведення протирадонових заходів.

Результати вимірювань радону в повітряному середовищі дитячих закладів і їх аналіз засвідчили, що рівні ЕРОА радону в 189 школах були зменшені на 49 %. При цьому ефективність санітарно-гігієнічних протирадонових заходів варіювала від 10 % до 70 %. Так, у школах Новоархангельського району, де повністю було виконані всі рекомендації, активності радону зменшилися у 5 разів, Ульяновському та Олександрівському районах – в 2,8 разів, у закладах м. Кіровоград – у 3,2 разів.

Повторні вимірювання також встановили, що у 4 школах рівні ЕРОА радону збільшилися у порівнянні з початковими значеннями. Розслідування причин

показало, що в цих школах були допущені помилки та відхилення від технології при виконанні протирадонових заходів.

Кількісні характеристики ефективності проведених протирадонових заходів в контексті зменшення ризиків виникнення раку легенів наведені в таблиці 2.

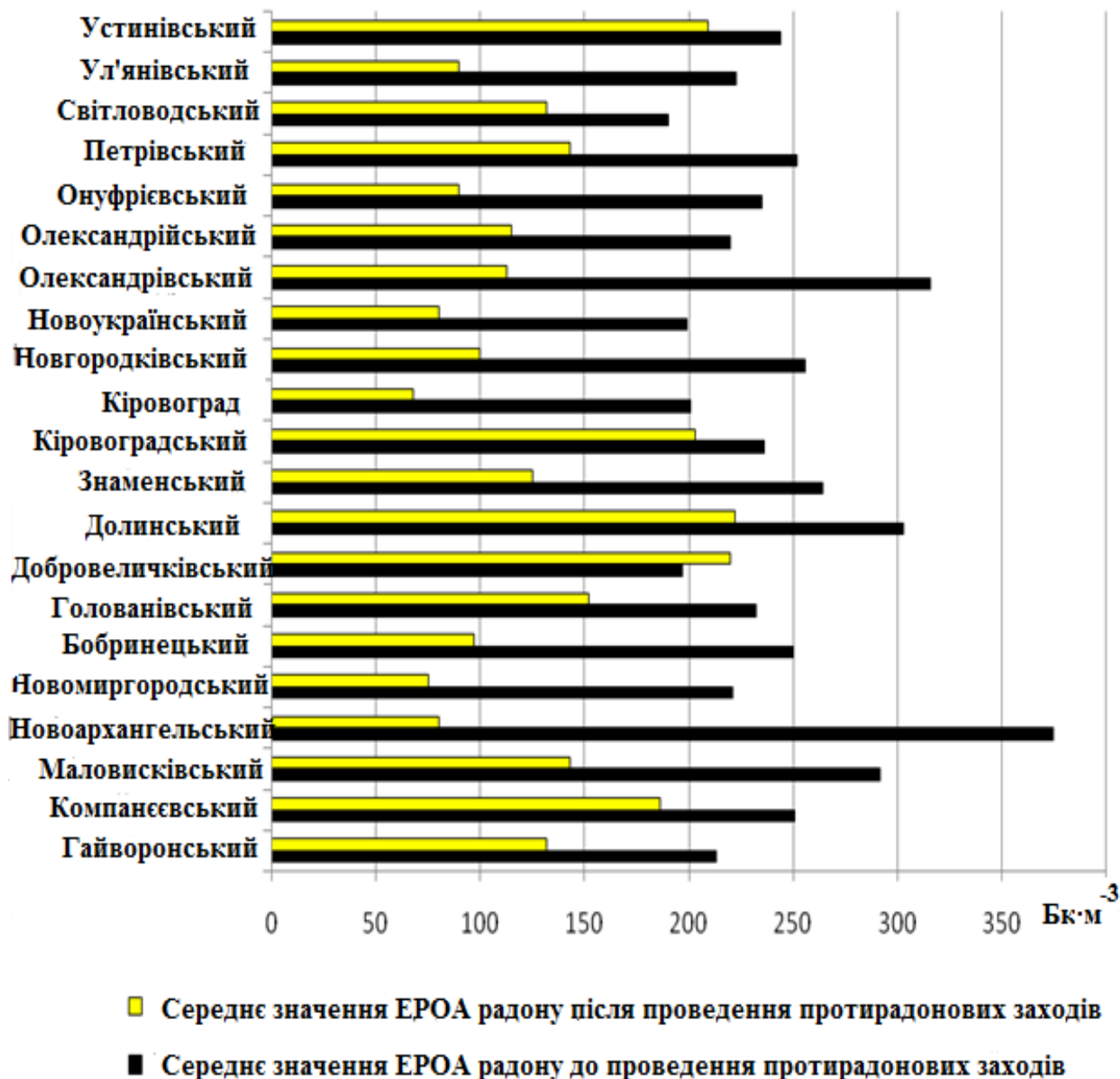


Рис. 6. Середні рівні ЕРОА радону в школах і дошкільних закладах в сільських населених пунктах Кіровоградської області.

**Оцінка ефективності протирадонових заходів (ПЗ)  
в контексті радіаційних ризиків**

Район	Кількість дітей шкільного віку	Кількість дітей в школах, де проведено ПЗ	Відсоток зменшення величини радіаційних ризиків
Бобринецький	4097	100	61
Гайворонський	4644	125	-9
Голованівський	4152	100	35
Добровеличківський	5439	100	-18
Долинський	5230	50	27
Знам'янський	5103	275	53
м. Кіровоград	35508	250	66
Кіровоградський	4835	100	15
Компаніївський	4823	100	26
Маловисківський	4823	150	51
Новгородківський	2228	75	61
Новоархангельський	3305	75	79
Новомиргородський	4208	200	66
Новоукраїнський	6243	50	60
Олександрівський	4126	150	64
Олександрійський	17329	75	47
Онуфріївський	2474	150	62
Петрівський	3051	100	44
Світловодський	8559	50	41
Ульяновський	3618	75	60
Устинівський	1747	75	14
В цілому			48

### ВИСНОВКИ

В дисертації на основі теоретичного узагальнення та експериментального комплексного дослідження радіаційно-гігієнічних параметрів повітря приміщень і підстеляючих ґрунтів виявлені закономірності формування рівнів радону в повітрі типових сільських будівель України для його основного джерела надходження –



підстеляючого ґрунту, а також оцінена ефективність протирадонових заходів для типових шкіл в контексті зменшення радіаційних ризиків для дітей і відповідного їм рівня онкозахворюваності.

1. Встановлено, що середні значення активностей радону в повітрі різних типів ґрунтів радононебезпечних територій України варіювали від 14 до 40  $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-3}$ . Концентрації радію-226 в різних типах ґрунтів варіювали від 16 до 41  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  і практично не відрізнялися від середніх значень по Україні, що свідчить про транзитний характер основного потоку радону. Середньгеометричне значення ЕРОА радону в будинках Савранського району Одеської області склало 75  $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  при стандартному відхиленні 54  $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , для Кіровоградської області – 108  $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  та 117  $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , відповідно.

2. Доведено стійкі залежності рівнів радону від геоморфологічних особливостей ґрунтів та конструктивно-планувальних рішень будівель, а саме: типу будинку, який обумовлений методами будівництва і конструкцією фундаменту ( $F=8,23$ ;  $p<0,001$ ); виду вентиляції будинку, тобто наявності або відсутності примусової вентиляції ( $F=11,95$ ;  $p<0,001$ ); типу підстеляючих ґрунтів під будинком ( $F=3,65$ ;  $p=0,003$ ). Доведена кореляційна залежність активностей радону в повітрі будинків від двох параметрів: системи вентиляції приміщень ( $F = 11,97$ ,  $p < 0,001$ ) і типу ґрунту ( $F = 3,65$ ,  $p = 0,003$ ). Ці параметри безпосередньо пов'язані зі швидкістю надходження радону в повітря будівлі і визначають вибір типу протирадонових заходів.

3. Встановлено, що метод картування радонових ризиків може використовуватися як інструмент оптимізації радіаційного захисту населення від радону при оцінці радононебезпечності ділянок, виділених під будівництво та при виборі протирадонових заходів.

4. Доведено, що найбільш ефективними протирадоновими заходами для сільського житлового фонду є: ізоляція підстеляючих ґрунтів від внутрішнього простору приміщень з паралельною заміною систем вентиляції в будівлі. Ці заходи носять одноразовий характер і практично не вимагають додаткових витрат на електроенергію.

5. Встановлено, що залежно від обсягів і повноти виконаних рекомендацій ефективність протирадонових заходів склала 49 %, а на рівні окремих районів варіювала від 20 до 80 %. Визначено фактори, які вплинули на ефективність контрзаходів, а саме: помилки при оцінках величини потоку радону, невірні розрахунки потужності вентиляційних систем, порушення при виконанні будівельних робіт.

## ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. При виборі протирадонових заходів повинні враховуватися тип ґрунту, як показник доступності ґрунтового повітря, та конструктивні особливості фундаменту будинку і перекриттів.

2. На стадії планування протирадонових заходів необхідно обов'язково проводити комплекс вимірювань активностей радону в ґрунтовому повітрі й

оцінювати геоморфологічні особливості ґрунту разом з аналізом конструктивних особливостей будівлі.

3. Досвід реалізації протирадонових заходів довів гостру необхідність підготовки фахівців з протирадонових заходів (радонових консультантів) та організації науково-просвітницької роботи з населенням.

## **СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **У наукових фахових виданнях України ( особистий внесок здобувача):**

1. Герман О. Картирование радонового риска - необходимый инструмент в области радиационной защиты населения / О. Герман, Т. Павленко // Гігієна населених місць: Зб. наук. праць. - 2008. - № 51. - С. 302-306. *(збір та аналіз наукових публікацій, участь у написанні статті).*

2. Вимоги до організації просвітницької роботи з населенням щодо радіаційних ризиків опромінення / Т. О. Павленко, М. В. Аксьонов, М. А. Фризюк, О. І. Турос, О. О. Герман // Гігієна населених місць : Зб. наук. праць. - 2011. - № 57. - С. 276-280. *( збір та аналіз наукових публікацій, участь у написанні статті).*

3. Герман О. Вивчення досвіду картування радононебезпечних територій у пілотному савранському районі Одеської області / О. Герман // Довкілля та здоров'я. - 2013. - № 1 (64). - С. 26-29.

4. Методи протирадонового захисту будівель (огляд) / Т. О. Павленко, М. В. Аксьонов, М. А. Фризюк, О. І. Турос, О. О. Герман // Гігієна населених місць : Зб. наук. праць. - 2012. - № 60. - С. 218-222 *(збір та аналіз наукових публікацій, участь у написанні статті).*

5. Павленко Т. А. Основные принципы новой системы противорадиационной защиты / Т. А. Павленко, О. А. Герман, В. Ф. Рязанцев // Довкілля та здоров'я. - 2011. - № 1 (56). - С. 17-22. *(аналіз наукових публікацій, участь у написанні статті).*

### **у наукових фахових виданнях інших держав та наукометричних виданнях України**

6. The Ukrainian pilot project "Stop Radon" / Т. Pavlenko, О. German, М. Frizyuk, N. Aksenov, А. Operchuyuk // Nuclear Technology & Radiation Protection. - 2014. - Vol. 29, No. 2. - P. 142-148. *(участь у польових роботах – вимірювання радону в ґрунтах, гамма-спектрометрія ґрунтів, аналіз результатів вимірювань, складання карт радонового потенціалу, участь у написанні статті).*

7. NORM Assessment at Gas and Oil Fields in Ukraine / Т. Pavlenko, М. Aksyonov, О. German, М. Friziuk, Е. Fedorenko, А. Mikhajlenko // Energy, Environmental and Structural Engineering Series N 25 : Latest trends in energy, environment and development. - Salerno : WSEAS Press, 2014. - P. 213-216. *(Аналіз літературних джерел, участь у написанні статті).*

8. Касьяненко А. А. Радон и радоновая опасность / А. А. Касьяненко, В. Р. Ахмедзянов, О. А. Герман // Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сб. науч. тр. Вып. 5. Ч.2. - М. : РУДН, 2005. - С.71-73. *(аналіз літературних джерел та результатів вимірювань, участь у написанні статті).*

9. Чунихин Л. Классификационные признаки для картирования радонового риска на территории Гомельской и Могилёвской областей Республики Беларусь / Л. Чунихин, А. Карабанов, А. Беляшов, Д. Дроздов, О. Герман // Вестник Львовского Университета. - 2010. - № 45. - С. 70-77. *(аналіз літературних джерел, участь у написанні статті)*

**в інших наукових виданнях**

10. Goldammer Wolfgang. Review of Legislation and Regulatory Framework in Ukraine with Regard to Environmental Radiation Monitoring / Wolfgang Goldammer, Borislava Batandjieva, Oleg Nasvit, Olga German // Publication of SSM. - 2009. – 140 p. *(порівняльний аналіз українського законодавства з міжнародними вимогами, рекомендації, участь у написанні статті).*

11. Åkerblom Gustav. Radon in dwellings in the Republic of Kalmykia. Results from the National Radon Survey 2006-2007 / Gustav Åkerblom, Ivan Stamat, Olga German // Publication of SSM. - 2009. – 40 p. *(участь у польових роботах – вимірювання радону в ґрунтах, гамма спектрометрія ґрунтів, аналіз результатів вимірювань, складання карт радонового потенціалу, участь у написанні статті).*

12. Ek Britt-Marie. Radon mapping in Savran region Odessa Oblast, Ukraine / Britt-Marie Ek, Olga German // SGU-rapport 2012:9 Diarie-nr: 08-221/2010. – 45 p. *(участь у польових роботах – вимірювання радону в ґрунтах, гамма спектрометрія ґрунтів, аналіз результатів вимірювань, участь у написанні публікації)*

13. Практикум по курсу "Радиоэкология": Радон и его дочерние продукты распада / А. А. Касьяненко, В. Р. Ахмедзянов, А. Г. Платонов, О. А. Герман. - М. : РУДН, 2004. – 127 с. *(методичний розділ щодо вимірювань радону).*

14. Ukrainian Experience of Monitoring of Radiation Exposure of Population Determined by Building Materials / Andrey Serdyk, Tatyana Pavlenko, Ivan Los, Olga German, Nikolay Aksenov // Processing of Third European IRPA Congress. -Helsinki, Finland, 2010. - P. 1070-1077. *(аналіз літературних джерел, участь у написанні статті).*

15. Підготовка фахівців для проведення просвітницької роботи з населенням щодо радіаційних ризиків / Т. О. Павленко, М. В. Аксьонов, М. А. Фризюк, О. А. Герман // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (сьомі марзеєвські читання) : Зб. тез наук.-практ. конф. Вип. 57. - К., 2011. - С. 276-280.

16. Ukrainian experience of public exposure to NORM in building materials / T. Pavlenko, O. German, I. Los, N. Aksyonov // Radiation protection – science, safety and security : Third European IRPA Congress : Book of Abstracts. 14–18 June 2010, Helsinki, Finland. – IRPA NSFS, 2010. – S06–06. – P. 121.

17. Radon study in Ukraine / Т. О. Павленко, N. V. Aksenov, О. А. German, М. А. Frizyuk // The 9 International Symposium on the Natural Radiation Environment : Book abstracts (Hirosaki, Japan, 22 -26 September, 2014). – Hirosaki University, 2014. – P. 77.

18. Дослідження вмісту радону-222 в повітрі приміщень загального призначення та житлових будинках Кіровоградської області / Т. О. Павленко, С. В. Протас, М. В. Аксьонов, О. О. Герман, А. П. Оперчук, Ю. М. Брюм // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (одинадцяті марзеєвські читання,

2015 р.) : Зб. тез доп. наук.-практ. конф. Вип. 15 (Київ, 8-9 жовтня 2015 р.) ; МОЗУ ; НАМНУ ; ДУ "ІГМЕ НАМНУ" ; ДВНЗ "Івано-Франківський нац. мед. університет". – Івано-Франківськ, 2015. – С. 37-39.

19. Здійснення радіаційно-гігієнічного моніторингу установами Державної санітарно-епідеміологічної служби України. МР 6.6.1. 6.2.-000-14 : Метод. рекомендації / Державна санітарно-епідеміологічна служба України. – К., 2014. – 22 с. (Павленко Т. О., Аксьонов М. В., Фризьок М. А., Герман О. О., Костенецький М. І., Севальнев А. І., Куцак А. В., Протас С. В., Оперчук А. П.) (*наукове обґрунтування вимог до визначення рівнів радону в будинках*)

20. Радон. Что нужно знать, чтобы обезопасить себя и свою семью? : Буклет / Т.А. Павленко , М. А. Фризьок, Н. В. Аксенов, О. А. Герман (разработан при финансовой поддержке Шведского агентства по радиационной защите (SSM)). – К. : Интерпресс ЛТД, 2014. – 6 с. (*підготовка матеріалів та розробка буклету*)

## АНОТАЦІЯ

*Герман О. Наукове обґрунтування протирадонових заходів для будівель, розташованих на радононебезпечних територіях України. - Рукопис.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 14.02.01 – гігієна та професійна патологія (біологічні науки). – ДУ "Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України", м. Київ, 2016.

Дисертація присвячена науковому обґрунтуванню вибору санітарно-гігієнічних протирадонових заходів для типових сільських будинків з метою зменшення радіаційних ризиків населення України від радону-222 в повітрі приміщень.

На прикладі комплексних досліджень житлових будинків та приміщень дитячих закладів щодо вмісту радону і природних радіонуклідів у ґрунтах в роботі проведено комплексний аналіз впливу цих факторів на формування активностей радону в повітрі сільських будівель. Встановлені стійкі залежності рівнів радону від типу будинку, конструкції фундаменту, типу вентиляції, геоморфології ґрунтів. За результатами складені карти радонового потенціалу. На базі отриманих закономірностей були обрані протирадонові заходи, проведена оцінка їх ефективності, оцінені відповідні радіаційні ризики для здоров'я дітей, розроблені рекомендації щодо протирадонових заходів для типових сільських будинків.

**Ключові слова:** радон, будинки, карта радонового потенціалу, радіаційні ризики, санітарно-гігієнічні противорадонові заходи.

## АННОТАЦИЯ

*Герман О.А. Научное обоснование противорадоновых мероприятий для зданий, расположенных на радоноопасных территориях Украины. – Рукопись.*

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 14.02.01 – гигиена и профессиональная патология (биологические науки). – ГУ "Институт общественного здоровья им. А.Н. Марзеева НАМН Украины", г. Киев, 2016.

Диссертация посвящена научному обоснованию выбора санитарно-гигиенических противорадоновых мероприятий для типичных сельских зданий с целью уменьшения радиационных рисков населения от радона-222 в воздухе помещений.

На примере комплексных исследований активностей радона в воздухе жилых зданий и помещениях детских учреждений, а также содержания естественных радионуклидов в грунтах проведен комплексный анализ влияния этих факторов на формирование уровней радона в воздухе сельских зданий. Определены устойчивые зависимости уровней радона от типа здания, конструкции фундамента, типа вентиляции, геоморфологических свойств грунтов. По результатам исследований созданы карты радонового потенциала. На основании полученных закономерностей были выбраны противорадоновые мероприятия, проведена оценка их эффективности, оценены соответствующие радиационные риски для здоровья детей, разработаны рекомендации по комплексу противорадоновых мероприятий для типовых сельских зданий.

**Ключевые слова:** радон, здания, карта радонового потенциала, радиационные риски, санитарно-гигиенические противорадоновые мероприятия.

## SUMMARY

*Olga German "Scientific justification of radon remediation measures for buildings situated in the radon prone territories of Ukraine" -. Manuscript.*

Ph.D thesis of dissertation for academic degree in 14.02.01 – "hygiene and professional pathology" (biological sciences). – State Institution "O.M. Marzeyev Institute for Public Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, 2016.

This thesis paper justifies the optimal radon remediation methods of radon-222 activity reduction in the indoor air of the typical Ukrainian buildings and verifies the radon risk mapping tool.

The analysis of the major influencing factors on radon activity indoors is based on the complex investigation of private rural homes as well as educational establishments for children in the selected pilot regions. The following parameters were included in the analysis: indoor radon concentration, construction and engineering characteristics of the buildings, radon and NORM concentrations in soil. The mathematic methods of analysis proved that radon indoor activity is strongly dependent on the building itself, i.e. number of floors and foundation construction, type of ventilation and surrounding ground conditions

(type of ground and soil). Based on the gamma spectrometric, gamma rate, radon activity concentration measurements in ground and geo-morphological characteristics of the territory the radon prone area map was developed for the Savran' pilot district in Odessa Oblast, using the obtained measurements data. The radon prone area map identified radon areas with normal and low radon risk. These conclusions were verified by indoor radon measurements during the heating season.

Radon remediation measures were adjusted and recommended for specific Ukrainian conditions. The recommended remediation was implemented in several educational establishments for children in Kirovograd Oblast. Using the radon health risk assessment for the children that spend their time in the affected nurseries of schools prioritization for remediation actions was performed and motivated. The recommended remedial actions were performed in the frame of a regional project and supported by the regional government.

A second set of indoor radon measurements in Kirovograd region was carried out in the remediated buildings and the efficiency of the remedial actions was assessed based on the comparison of the annual radon activity and the radon health risks for children prior and after the remediation.

The last chapter of the thesis work is focused on recommendations for successful implementation of the National Radon Action Plan for Ukraine. The two most important are:

1. The ground and soil characteristics as a measure of air availability for the indoor volume in combination with the construction characteristics of the buildings, must be considered for the choice of radon remedial measures. For this purpose, radon activity measurements in ground must be performed and analyzed combined with the analysis of construction parameters of each building in question at the stage of remediation planning.
2. One of the important learnings of the remedial project performed in Kirovograd region proved the urgent need of education and training of radon experts that are tasked to plan and perform the remedial work as well as experts involved into public radon risk communication.

The results of the Ph.D thesis were used for development of the following documents:

1. Methodology for Radiation Hygiene Monitoring Programme (MP 6.6.1.6.2.-000.14) published by the Ministry of Health of Ukraine in 2014.
2. Education and training material for 5 series of lectures performed in Odessa and Kirovograd oblast: radon basics, radon measurements, natural radioactivity in water, radon mapping and radon remediation.
3. Education materials for Geological Faculty students at the National Taras Shevchenko University (2014-2016).
4. Instructions for the sanitary epidemiological supervision at SE "Rovno laboratory center of the Ministry of Health".
5. Radon risk communication publication "Radon. What one needs to know to protect oneself and family" published 2014.

**Key words:** radon, buildings, radon prone area map, radon risks, radon remediation.