

FEATURES OF PLANNING OF THE STUDIES OF INDOOR AIR LEVELS WITHIN THE ACTION PLAN IMPLEMENTATION

Pavlenko T.O., Aksonov M.V., Fryziuk M.A., Operchuk A.P., Fedorenko O.V.

ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ РІВНІВ РАДОНУ У ПОВІТРІ БУДИНКІВ У РАМКАХ РЕАЛІЗАЦІЇ ПЛАНУ ДІЙ



Одним з першочергових завдань радонового плану дій в умовах обмеженого фінансового забезпечення є окреслення найбільш критичних регіонів щодо ступеня радононебезпеки.

Це завдання є співставним з процедурами оптимізації моніторингу, але має свої особливості. Процедури оптимізації, як правило, розглядаються у контексті аварійного опромінення або практичної діяльності. Обом

ситуаціям притаманні специфічні вимоги до обмеження додаткового опромінення населення, а система коригувальних заходів пов'язана або з контролем джерела опромінення, або з подоланням наслідків радіаційних аварій [1].

У ситуації існуючого опромінення первинні дослідження рівнів опромінення та оцінка радіаційних ризиків є критеріями для обґрунтування доцільності втручання з

¹ПАВЛЕНКО Т.О.,
¹АКСЬОНОВ М.В.,
¹ФРИЗЮК М.А.,
²ОПЕРЧУК А.П.,
¹ФЕДОРЕНКО О.В.

¹ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ, Україна

²ДУ «Центр громадського здоров'я МОЗ України», м. Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ РІВНІВ РАДОНУ У ПОВІТРІ БУДИНКІВ У РАМКАХ РЕАЛІЗАЦІЇ ПЛАНУ ДІЙ

¹Павленко Т.О., ¹Аксьонов М.В.,
¹Фризюк М.А., ²Оперчук А.П.,
¹Федоренко О.В.

¹ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ, Україна

²ДУ «Центр громадського здоров'я Міністерства охорони здоров'я України», м. Київ, Україна

Мета роботи. Обґрунтування методологічних аспектів дослідження радононебезпеки територій.

Матеріали та методи дослідження. Вимірювання рівнів радону-222 проводилися в опалювальний сезон методом пасивної трекової радонометрії з використанням в якості детектора нітрат-целюлозної плівки типу LR-115. Час експонування радонових накопичувачів становив 1-2 місяці. Після процедури хімічного травлення підраховували кількість треків ушкоджень на детекторах методом іскрового підрахунку.

Для визначення ефективності реєстрації (калібрування) треків детекторів їх експонували у радоновій атмосфері з відомою активністю радону. Радонова атмосфера, запатентована Інститутом громадського здоров'я НАМН України, є еталоном, акредитованим Національним органом стандартизації та акредитації України.

Результати. Виконано вимірювання радо-

ну-222 у повітрі понад 30000 житлових будинків. Встановлено, що середнє геометричне значення ЕРОА радону-222 для одноповерхових будинків сільського типу становило $52 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ (у термінах ОА – $130 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$); для квартир, розташованих на першому поверсі багатопверхівок – $40 (100) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, вище першого поверху – $23 (58) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ за стандартного відхилення – $62 (155) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, $48 (120) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ та $28 (70) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ відповідно. Встановлено, що у середньому по країні рівень нормативу для радону-222 у $100 (250) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ перевищується у 19% випадків, рівень $200 (500) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ – у 5,7% випадків. Визначено ефективні дози опромінення населення країни. Проаналізовано нерадіаційні фактори, які впливають на ефективність досліджень. Розроблено алгоритм оцінки ступеня радононебезпеки території, який передбачає аналіз структури житлового фонду, визначення найбільш типових інженерно-планувальних рішень будівель, вимірювання радону інтегральним методом, виявлення критичних типів будинків за результатами вимірювання рівнів радону, розрахунок радіаційних ризиків для населення від радону. Визначено основні вимоги до первинного моніторингу радону у контексті реалізації радонового плану дій.

Ключові слова: радон у будинках, ефективна доза, радіаційні ризики, алгоритм дій.

© Павленко Т.О., Аксьонов М.В., Фризюк М.А., Оперчук А.П., Федоренко О.В. СТАТТЯ, 2020



боку держави і завжди здійснюються на популяційному рівні. У контексті опромінення радоном доцільним критерієм є середньорічна ефективна доза (ЕД). Для оцінки цієї величини вимірюються середньозважені величини активностей радону у будинках та за їхньою величиною проводиться картування радонових ризиків чи потенціалів територій. Такий підхід пов'язаний переважно з масштабами досліджень: коли йдеться про радон – це десятки-сотні тисяч вимірювань. Тому перший етап реалізації плану дій – це оптимізація первинного скринінгового дослідження радону у повітрі приміщень житлових та громадських будинків.

Більшість країн на першому етапі досліджень радону запровадили картування його рівнів [2, 5]. У подальшому ці карти доповнювалися і використовувалися для інформування населення про радонові потенціали територій [6, 7].

Другий етап попередніх досліджень радону – це аналіз наявності чинників нерадіаційної природи, які потенційно можуть впливати на реалізацію захисних заходів (демографічна ситуація, соціально-економічні чинники тощо). Суперпозиція цих чинників і буде підґрунтям для визначення та окреслення радонових потенціалів територій і встановлення пріоритетності подальших досліджень.

Метою роботи є обґрунтування методологічних аспектів дослідження територій щодо їхнього ступеня радоннебезпечності.

Матеріали та методи досліджень. Вимірювання рівнів радону-222 проводились у повітрі житлових будинків відповідно до вимог «Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97)» [8] методом пасивної трекової радонометрії з використанням як

детектора нітрат-целюлозної плівки типу LR-115 (Kodak). Радонові накопичувачі (радонометри) розміщувались у спальнях або дитячих кімнатах та експонувались протягом 1-2 місяців. Після завершення експонування радонометри доставлялися до лабораторії, де вилучені детектори після процедури хімічного травлення обраховувалися на кількість треків ушкоджень методом іскрового підрахунку. Чутливість методу за 30-добової експозиції становить 8-10 Бк·м⁻³ [9].

Для забезпечення системи гарантій якості вимірювань проводили калібрування детекторів (визначали ефективність реєстрації) шляхом експонування певної партії радонометрів у радоновій атмосфері з відомою об'ємною активністю (ОА) радону, яка має статус робочого еталону одиниці ОА радону-222. Для підтвердження коректності результатів вимірювань було проведено процедури звіряння з Шведською агенцією з протирадіаційного захисту (м. Стокгольм) та Національним інститутом радіологічних наук (Японія, м. Чіба).

Згідно з вимогами НРБУ-97 нормованою величиною є значення середньорічної еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону 222 у повітрі приміщень. Для будівель, які експлуатуються з постійним перебуванням людей, рівень обов'язкових дій не має перевищувати величину 100 Бк·м⁻³ [8].

ЕРОА радону-222 у повітрі приміщень визначали за формулою 1:

$$A_{Rn} = \frac{N_0 - \bar{N}_\phi}{\varepsilon_{Rn} \cdot t} \cdot K_\varepsilon \cdot F_{Rn}, \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}, \quad (1)$$

де N_0 – кількість треків експонованого детектора, трек·см⁻² (визначається як середнє значення з трьох вимірювань); N_ϕ – власний

фон певної партії НЦ плівки, трек·см⁻²;

ε_{Rn} – ефективність реєстрації детектора з певної партії НЦ плівки у радоновій атмосфері (значення наведено у паспорті на трековий детектор), трек·см⁻²·Бк⁻¹·м⁻³·доба⁻¹;

t – час експонування, доба;

K_ε – поправочний коефіцієнт, що враховує відхилення від режиму травлення та підрахунку;

F_{Rn} – коефіцієнт рівноваги між радоном та його ДПР (рекомендоване МКРЗ значення – 0,4 [10]).

Середньорічне значення ЕРОА радону-222 розраховували як середнє значення результатів вимірювань, проведених у теплий та холодний періоди року. Для регіонів, в яких тривалість теплового (ТТ) та холодного (ТХ) періодів року істотно відрізняються, середньорічне значення ЕРОА радону-222 у повітрі приміщень розраховували за формулою 2:

$$\bar{A}_{екв,рп} = \frac{A_{еквТ} \cdot T_T + A_{еквХ} \cdot T_X}{T_T + T_X}, \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}, \quad (2)$$

де $A_{еквТ}$ та $A_{еквХ}$ – значення ЕРОА радону-222, отримані вимірюваннями у теплий та холодний періоди року, відповідно, Бк·м⁻³.

Дослідження співвідношення ЕРОА радону-222 «зима-літо» для різних регіонів країни наведено у роботі [11].

Значення річної ЕД опромінення за рахунок радону-222 у повітрі житлових приміщень розраховувалося за математичними моделями МКРЗ [10] за формулою 3:

$$\bar{E}_{Rn} = 5,56 \cdot 10^{-6} \cdot 7000 \cdot 1,1 \cdot \bar{A}_{екв,рп} = 0,043 \cdot \bar{A}_{екв,рп}, \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}, \quad (3)$$

де $5,56 \cdot 10^{-6}$ – коефіцієнт перерахунку, $\text{мДж} \cdot \text{м}^{-3}$; 7000 – референтний час перебування людини у житлових приміщеннях на рік, год.; 1,1 – дозовий коефіцієнт для населення, $\text{мЗв} \cdot (\text{мДж} \cdot \text{год} \cdot \text{м}^{-3})^{-1}$; $A_{\text{екв,пр}}$ – середнє значення ЕРОА радону-222 у повітрі житлових приміщень, $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$.

За новою системою радіологічного захисту населення від радону, яка ґрунтується на сучасних підходах, постульованих у Публікації 103 МКРЗ [12, 13], доцільно встановлювати похідні референтні рівні у термінах ОА радону у повітрі.

Рекомендовано встановити верхню межу для похідного референтного рівня у житлі $300 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$. ОА радону $300 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ у повітрі житлових будинків відповідає річ-

ній дозі близько 10 мЗв [14].

Для аналізу результатів досліджень використовувалися стандартні методи статистичного аналізу даних.

Результати та обговорення. Вимірювання ЕРОА радону-222 проводились у повітрі житлових будинків різних регіонів України. Загалом здійснено понад 30 тисяч вимірювань.

Рівні радону у повітрі будинків. Аналізом результатів досліджень встановлено, що частотний розподіл активностей радону у повітрі будинків має логнормальний характер (рисунок).

Середнє геометричне значення ЕРОА радону-222 для одноповерхових будинків сільського типу склало $52 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ (у термінах ОА – $130 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$), для квартир, які розташовані на першому поверсі багатоповерхових будинків – $40 (100) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, вище першого поверху – $23 (58) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$. Стандартне відхилення ЕРОА радону-222 для першого типу будинків становить $62 (155) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, другого типу – $48 (120) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, третього типу – $28 (70) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$. Встановлено, що основні параметри розподілу прак-

тично не змінилися зі збільшенням кількості вимірювань.

Аналізом результатів досліджень встановлено, що у середньому по країні рівень нормативу для радону-222 $100 (250) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ перевищується у 19% випадків, $200 (500) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ – у середньому перевищується у 5,7% випадків, ймовірність наявності будинків з ЕРОА радону-222 понад $400 (1000) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ становила 0,01%.

У таблиці 1 наведено основні статистичні параметри щодо ЕРОА радону-222. Для порівняння наведено відсоток будинків, де було зафіксовано перевищення ЕРОА радону у $50 (125) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, $100 (250) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ та $200 (500) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$.

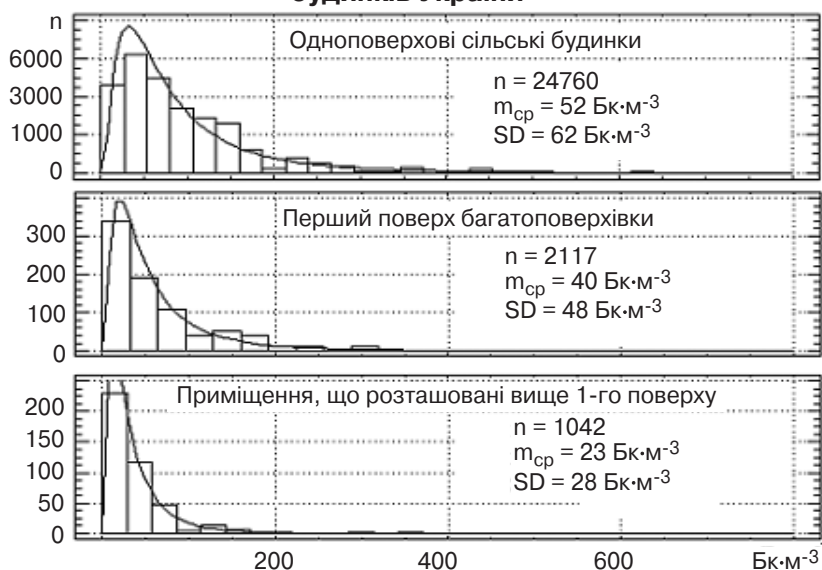
Методологічні підходи до оптимізації моніторингу радону. За результатами досліджень було розраховано середньорічні ЕД опромінення населення від радону. Встановлено, що найбільші дози отримує сільське населення країни. Якщо проаналізувати частотний розподіл ЕД опромінення, обумовлених цим джерелом, то на першому етапі до когорти осіб з підвищеними дозами можна віднести 0,01% сільського населення, тобто близько 400 тисяч осіб, які отримують середньорічні ЕД понад $20 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$.

В окремих випадках значні ЕД опромінення може отримувати міське населення, наприклад у регіонах, де розвинута видобувна промисловість – містах Кривий Ріг і Кропивницький. Такі міста розташовуються поряд з шахтами, а інколи і над старими виробками шахт.

Окрім того, вони мають специфічну житлову забудову, яка формувалася у 60-70-ті роки минулого століття, переважно так звані «хрущовки».

Дослідженнями встановлено, що рівні радону-222 у таких будинках не лише на

Частотний розподіл ЕРОА радону-222 у повітрі будинків України



Примітка: n – кількість будинків;
 m_{cp} – середнє геометричне значення ЕРОА радону-222;
 SD – стандартне відхилення ЕРОА радону-222.

Рисунок 1

FEATURES OF PLANNING OF THE STUDIES OF INDOOR AIR LEVELS WITHIN THE ACTION PLAN IMPLEMENTATION

**¹Pavlenko T.O., ¹Aksonov M.V.,
¹Fryziuk M.A., ²Operchuk A.P.,
¹Fedorenko O.V.**

¹SI «O.M. Marzieiev Institute for Public Health, NAMSU», Kyiv, Ukraine

²SI «Public Health Centre of Ukraine, Ministry of Public Health of Ukraine», Kyiv, Ukraine

Objective: Our aim was to substantiate the methodological aspects of the study of the radon hazard of the territories.

Materials and methods: The measurements of the radon-222 levels were carried out with the help of the passive track radonometry method in the heating season. Cellulose nitrate film of LR-115 type was used as a detector. The time of the exposure of radon accumulators made up 1-2 months. After the chemical etching procedure, the detectors were counted for the number of damage tracks by the method of spark counting. To establish the registration efficiency of the track detectors (calibration), they were exposed in the radon atmosphere with a known radon activity. The radon atmosphere, patented by the Institute of Public Health, is a calibration source accredited by the National Body of Standardization and Accreditation of Ukraine.

Results: Indoor radon-222 measurements were performed in more than 30 thousands

buildings. The indoor radon-222 EEVA geometric mean for rural houses was found to be $52 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ (for gas radon, this value is $130 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$), for apartments located on the ground floor of multi-storied buildings – $40 (100) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, above the ground floor – $23 (58) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ with a standard deviation of $62 (155) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, $48 (120) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ and $28 (70) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, correspondently.

The national average level of the standard for radon-222 of $100 (250) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ was found to be exceeded in 19% of cases, the level of $200 (500) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ – in 5.7% of cases.

Effective radiation doses for the population of the country have been determined. Non-radiation factors, affecting the effectiveness of studies, have been analyzed.

The algorithm for the assessment of the radon risk degree for the territory has been developed. It includes the analysis of the structure of housing resources, determination of the most typical engineering-and-planning solutions for buildings, integral method of radon measurement, identification of the critical types of buildings based on the measurements of radon levels, calculation of radiation risks from radon for the population.

The basic requirements for the primary radon monitoring in the context of the action plan implementation have been identified.

Keywords: indoor radon, effective dose, radiation risks, algorithm for actions.

перших поверхах, але й у квартирах, розташованих вище першого поверху, можуть сягати $200-350 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, тобто ЕД їхніх мешканців становлять $8-13 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$ [15, 16].

Території таких населених пунктів мають бути віднесеними до категорії радононебезпечних, тому будівлі у них необхідно досліджувати першочергово. У такому випадку до планів первинного обстеження необхідно вносити вимірювання не лише на перших поверхах багатопверхових будинків, але й на поверхах, розташованих вище.

Таким чином, основною задачею аналізу попередніх досліджень є визначення критичних груп населення, які потенційно можуть отримувати дози опромінення, неприйнятні щодо рівнів

радіаційно-гігієнічних регламентів. Реалізація програм ремедіації щодо радону-222 у будинках для цієї групи дасть максимальну ефективність як за дозовим критерієм, так і за соціально-економічними наслідками втручання.

Необхідно зауважити, що оцінки колективних доз опромінення не можна використовувати як критерій для процедур оптимізації. Ілюстрацією до цього твердження є аналіз доз опромінення населення на регіональному рівні. На рисунку 2 представлено результати аналізу ЕД опромінення від радону-222 у повітрі житлових будинків Київської області на рівні окремих районів, а на рисунку 3 – відповідні колективні дози опромінення населення цього регіону. З

рисунка 2 видно, що максимальні ЕД опромінення отримує населення південних районів області: Рокитнянського, Богуславського, Таращанського, Володарського, Тетіївського. Але якщо Рокитнянський та Богуславський райони і за ефективними, і за колективними дозами опромінення мешканців потрапляють до категорії найбільш небезпечних, то за колективною дозою до цієї категорії можна також віднести і Броварський, Вишгородський та Бориспільський райони, населення яких отримує ЕД у середньому вдвічі менші дози порівняно з населенням південних районів (рис. 2 і 3).

Таким чином, використання колективних доз як параметра під час оптимізації може

Ще одна специфічна ознака, на яку варто звернути увагу – це тип будинків. Аналіз результатів вимірювань встановив наявність для кожного регіону типових радононебезпечних будинків. Так, для центральних областей країни – це саман-

ні будинки, для південних – будинки з черепашника тощо. Для прикладу у таблиці 2 наведено дані щодо перевищення нормативу у типових будинках окремих районів Київської області. Якщо загалом по Київській області для одноповерхових сіль-

Таблиця 1
Основні статистичні дані щодо вмісту радону-222 у повітрі одноповерхових будинків сільського типу

Область	Середнє геометричне ЕРОА/ОА, Бк·м ⁻³	Стандартне відхилення ЕРОА/ОА, Бк·м ⁻³	Відсоток перевищень ЕРОА, Бк·м ⁻³		
			50	100	200
Вінницька	41 / 103	71 / 178	42,9	22,6	5,8
Волинська	13 / 33	11 / 28	0,9	0,2	0,0
Дніпропетровська	75 / 188	97 / 243	69,8	41,9	13,8
Житомирська	42 / 105	66 / 165	45,3	18,3	3,8
Запорізька	46 / 115	71 / 178	49,6	21,4	5,3
Кіровоградська	29 / 73	82 / 205	33,3	14,8	3,7
Київська	30 / 75/	63 / 158	30,4	13,4	3,4
Миколаївська	36 / 90	98 / 245	35,9	13,6	9,7
Одеська	32 / 80	68 / 170	26,9	11,8	1,7
Полтавська	24 / 60	43 / 108	21,4	9,6	1,3
Рівненська	14 / 35	26 / 65	8,6	2,8	0,3
Сумська	19 / 48	28 / 70	10,9	3,4	0,7
Тернопільська	85 / 213	107 / 268	71,3	42,6	15,5
Херсонська	106 / 265	102 / 255	88,3	53,3	16,7
Черкаська	64 / 160	84 / 210	64,9	36,9	8,9
Чернігівська	21 / 53	29 / 73	8,1	1,2	0,2

значно вплинути на програми моніторингу радону, передусім на його вартість. Це пов'язане з тим, що варіабельність рівнів радону на рівні населених пунктів може становити до двох порядків. Наприклад, якщо визначити кількість будинків, в яких необхідно провести вимірювання, а потім реалізувати протирадонові заходи, то для Броварського та Бориспільського районів їхня кількість становитиме близько 200 будинків, для Рокитнянського району – вже майже 3200, а для Богуславського – 5200 будинків. Тобто ефективніше на першому етапі концентрувати усі ресурси на тих регіонах, де будуть вищими середньозважені ЕД опромінення, а не колективні дози, за якими розраховуються радіаційні ризики.

Рисунок 2

Середньозважені дози опромінення населення Київської області



Рисунок 3

Колективні дози опромінення населення Київської області



Примітка: * – офіційно населення було відселене.

**ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ
ИССЛЕДОВАНИЙ УРОВНЕЙ РАДОНА
В ВОЗДУХЕ ЗДАНИЙ В РАМКАХ
РЕАЛИЗАЦИИ ПЛАНА ДЕЙСТВИЙ**

**¹Павленко Т.А., ¹Аксенов Н.В.,
¹Фризюк М.А., ²Оперчук А.П.,
¹Федоренко Е.В.**

¹ГУ «Институт общественного здоровья
им. А.Н. Марзеева НАМН Украины»,
г. Киев, Украина

²ГУ «Центр общественного здоровья
Министерства здравоохранения Украины»,
г. Киев, Украина

Цель работы. Обоснование методологических аспектов исследования радоноопасности территорий.

Материалы и методы исследования.

Измерения уровня радона-222 проводились в отопительный сезон методом пассивной трековой радонометрии с использованием в качестве детектора нитрат-целлюлозной пленки типа LR-115. Время экспонирования радоновых накопителей составляло 1-2 месяца. Детекторы после процедуры химического травления обсчитывались по количеству треков поврежденных методом искрового счета.

Для определения эффективности регистрации трековых детекторов (калибровки) их экспонировали в радоновой атмосфере с известной активностью радона. Радоновая атмосфера, запатентованная в Институте общественного здоровья НАМН Украины, является эталоном, аккредитованным Национальным органом стандартизации и аккредитации Украины.

Результаты. Выполнены измерения радона-222 в воздухе более 30 тысяч жилых зданий. Установлено, что среднее геометрическое значение ЭРОА радона-222 для одноэтажных домов сельского типа составило $52 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ (в терминах ОА – $130 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$), для квартир, расположенных на первом этаже многоэтажных домов – $40 (100) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, выше первого этажа – $23 (58) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, при стандартном отклонении – $62 (155) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, $48 (120) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ и $28 (70) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ соответственно.

Установлено, что в среднем по стране уровень норматива для радона-222 в $100 (250) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ превышает в 19% случаев, уровень $200 (500) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ – в 5,7% случаев.

Определены эффективные дозы облучения населения страны. Проанализированы нерадиационные факторы, влияющие на эффективность исследований.

Разработан алгоритм оценки степени радоноопасности территории, который включает анализ структуры жилищного фонда, определение наиболее типичных инженерно-планировочных решений зданий, измерения радона интегральным методом, выявление критичных типов зданий по результатам измерений уровней радона, расчета радиационных рисков населения от радона.

Определены основные требования к первичному мониторингу радона в контексте реализации радонового плана действий.

Ключевые слова: радон в домах, эффективная доза, радиационные риски, алгоритм действий.

ських будинків перевищення радіаційно-гігієнічного регламенту зафіксовано у 13% випадків, то для цегляних будинків перевищення становить 15%, для дерев'яних – 12%, для саманних – 43%. Але на рівні окремих районів, залежно від превалюючої структури житлового фонду, ці співвідношення варіюють у дуже широких межах.

Так, для північних районів Київської області критичним типом є цегляні будинки. Для Переяслав-Хмельницького району лише в 1% будинків такого типу зафіксоване підвищені рівні радону-222. Для Рокитнянського району ця величина склала 45%, для Таращанського – 31%. Саманні будинки на півночі не

зустрічаються, а от на півдні області (це критичний тип будівель) перевищення сягає 75%.

Для кожного регіону країни традиційні інженерно-планувальні рішення будинків будуть істотно відрізня-

Таблиця 2

**Відповідність будинків різних типів вимогам
радіаційно-гігієнічних регламентів**

Район	Дерев'яні		Цегляні		Саманні	
	Кількість будинків	% перевищень 250 Бк·м ⁻³	Кількість будинків	% перевищень 250 Бк·м ⁻³	Кількість будинків	% перевищень 250 Бк·м ⁻³
Богуславський	181	45	336	38	32	53
Бородянський	362	7	213	10	0	0
Обухівський	58	12	105	20	4	75
Переяслав-Хмельницький	134	3	317	1	0	0
Рокитнянський	184	64	489	45	28	75
Таращанський	83	22	323	31	7	29
Київська обл.	2916	12	4732	15	169	43

Висновки

1. Встановлено, що для дослідження територій щодо їхнього ступеня радоннебезпечності методологія моніторингу радону має передбачати аналіз структури житлового фонду та визначення найбільш типових інженерно-планувальних рішень будівель для обраного регіону, визначення найбільш радоннебезпечних типів будівель за результатами досліджень рівнів радону, а також розрахунок ефективних доз та радіаційних ризиків населення, яке мешкає на цих територіях.

2. Вимірювання рівнів радону належить проводити інтегральними методами за єдиними протоколами. Організація досліджень має обов'язково забезпечити систему гарантій якості вимірювань – процедури звіряння між лабораторіями, які беруть участь у проведенні вимірювань.

3. За результатами попередніх досліджень встановлено, що середнє геометричне значення ЕРОА радону-222 для одноповерхових будинків сільського типу становило $52 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ (у термінах ОА – $130 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$), для квартир, які розташовані на першому поверсі багатопверхових будинків – $40 (100) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, вище першого поверху – $23 (58) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$. Стандартне відхилення ЕРОА радону 222 для першого типу будинків становить $62 (155) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, другого типу – $48 (120) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$, третього типу – $28 (70) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$.

4. У середньому по країні рівень нормативу для радону-222 $100 (250) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ перевищується у 19% випадків, $200 (500) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ – у 5,7% випадків, імовірність наявності будинків з ЕРОА радону-222 понад $400 (1000) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ становить 0,01%.

5. Встановлено, що найбільші дози від радону-222 отримує сільське населення країни. Близько 400 тисяч

осіб (0,01% сільського населення) отримують дози понад $20 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. ICRP Publication 101b.

The Optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process. *Annals of the ICRP*. 2006. Vol. 36 (3). P. 69-104.

2. Barnet I., Pacherova P., Smyckova L. Aktualizovane mapy radonoveho indexu Ceske republiky v meritku 1 : 50 000. *Zpravy o geologickych vyzkumech v roce 2012*. 2012. 45. P. 156-161.

3. EPA. Radon map of England. URL : <https://www.ukradon.org/information/ukmaps> (Mode of access : 15.05.2019).

4. EPA. Radon map of Switzerland. URL : <https://www.bag.admin.ch/bag/en/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/radon/radongebiete-ch.html> (Mode of access : 15.05.2019).

5. Gruber V., Bossew P., De Cort M., Tollefsen T. The European map of the geogenic radon potential. *J. Radiol. Prot.* 2013. Vol. 33 (1). P. 51-60. doi: 10.1088/0952-4746/33/1/51.

6. Radon Risk Mapping: JRC leading efforts to harmonise European map of radon levels. URL : <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/radon-risk-mapping-jrc-leading-efforts-harmonise-european-map-radon-levels-7372> (Mode of access : 15.05.2019).

7. Bossew P., Tollefsen T., Cinelli G., Gruber V., De Cort M. Status of the European Atlas of Natural Radiation. *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2015. Vol. 167 (1-3). P. 29-36. doi:10.1093/rpd/ncv216

8. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) : Державні гігієнічні нормативи. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. К., 1998. 135 с.

9. Вимірювання концентрації радону-222 у повітрі

тися навіть на рівні однієї області. На першому етапі досліджень необхідно враховувати цю закономірність і, плануючи первинний моніторинг, максимально охопити вимірюваннями усі типи будинків.

Таким чином, алгоритм оцінки радоннебезпечності території має складатися з таких кроків:

□ аналізу структури житлового фонду і визначення найбільш типових інженерно-планувальних рішень будинків та за їхніми результатами визначення найбільш радоннебезпечних типів будівель, які мають бути досліджені першочергово;

□ вимірювання рівнів радону-222 у повітрі будинків інтегральними методами з часом експонування не менше 30 діб в опалювальний сезон (вимірювання мають проводитися за випадковим принципом відбору будинків з максимальним охопленням усієї території регіону досліджень);

□ визначення величини ЕД опромінення населення;

□ аналізу наявності інших факторів нерадіаційної природи, які можуть впливати на рівні опромінення населення (наприклад, наявність шахт або кар'єрів);

□ визначення радіаційних ризиків населення.

Виявлення будівель та територій з підвищеними рівнями радону-222 дозволить запровадити ефективну систему захисних заходів для зменшення опромінення радоном населення у рамках Державного плану дій.

будинків методом пасивної трекової радонометрії з використанням приладу «Track 2010Z» : методичні вказівки з методів контролю (МБК 6.6.2.-063-2000) / МОЗ України. К., 2000. 21 с.

10. ICRP Publication 65. Protection against Radon-222 at Home and at Work. *Annals of the ICRP*. 1994. Vol. 23 (2). P. 1-78.

11. Pavlenko T.A., Los I.P., Aksenov N.V. Exposure Doses due to Indoor Rn-222 in Ukraine and Basic Directions for Their Decrease. *Radiat. Measur.* 1997. Vol. 28 (1-6). P. 733-738.

12. ICRP Publication 103. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*. 2007. 37 (2-4). P. 1-332.

13. ICRP Publication 126. Radiological Protection against Radon Exposure. *Annals of the ICRP*. 2014. Vol. 43 (3). P. 1-73.

14. ICRP Publication 137. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. *Annals of the ICRP*. 2017. Vol. 46 (3/4). P. 1-486. doi: 10.1177/0146645317734963.

15. Іщенко Л.О. Радіаційно-гігієнічне обстеження житлових приміщень Криворізького залізорудного регіону. *Гігієна населених місць : зб. наук. пр.* К., 2008. Вип. 52. С. 256-260.

16. Іщенко Л.О. Рівні дозових навантажень від радону у житлових приміщеннях м. Кривого Рогу. *Вестник гигиены и эпидемиологии*. 2008. Т. 12. № 1. С. 119-122.

REFERENCES

1. ICRP Publication 101b. The Optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process. *Annals of the ICRP*. 2006 ; 36 (3) : 69-104.

2. Barnet I., Pacherova P., Smyckova L. Aktualizovane mapy radonoveho indexu

Ceske republiky v meritku 1 : 50 000. *Zpravy o geologických výzkumech v roce 2012*. 2012 ; 45 : 156-161.

3. EPA. Radon Map of England. URL : <https://www.ukradon.org/information/ukmaps> (Mode of access : 15.05.2019).

4. EPA. Radon Map of Switzerland. URL : <https://www.bag.admin.ch/bag/en/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/radon/radongebiete-ch.html> (Mode of access : 15.05.2019).

5. Gruber V., Bossew P., De Cort M. and Tollefsen T. *J. Radiol. Prot.* 2013 ; 33 (1) : 51-60. doi: 10.1088/0952-4746/33/1/51.

6. Radon Risk Mapping: JRC Leading Efforts to Harmonise European Map of Radon Levels. URL : <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/radon-risk-mapping-jrc-leading-efforts-harmonise-european-map-radon-levels-7372> (Mode of access : 15.05.2019).

7. Bossew P., Tollefsen T., Cinelli G., Gruber V. and De Cort M. *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2015; 167 (1-3) : 29-36. doi:10.1093/rpd/ncv216

8. Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97) : Derzhavni hihienichni normatyvy DHNK 6.6.1.-6.5.001-98. [Norms of Radiation Safety of Ukraine (NRSU-97) : State Hygienic Standards. SHS 6.6.1.-6.5.001-98]. Kyiv; 1998 : 135 p. (in Ukrainian).

9. Ministry of Public Health of Ukraine. Vymiriuvannia kontsentratsii radonu-222 u povitri budynkiv metodom pasyvnoi trekovoi rado-nometrii z vykorystanniam pryladu «Track 2010Z» : metodychni v-kazivky z metodiv kontroliu (МБК 6.6.2.-063-2000). [Measurement of the Indoor Radon-222 Concentration by the Method of Passive

Track Radonometry with «Track 2010Z» Device : Guidance on Control Methods (GCM 6.6.2.-063-2000)]. Kyiv ; 2000 : 21 p. (in Ukrainian).

10. ICRP Publication 65. Protection against Radon-222 at Home and at Work. *Annals of the ICRP*. 1994; 23 (2) : 1-78.

11. Pavlenko T.A., Los I.P. and Aksenov N.V. *Radiat. Measur.* 1997 ; 28 (1-6) : 733-738.

12. ICRP Publication 103. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*. 2007 ; 37 (2-4) : 1-332.

13. ICRP Publication 126. Radiological Protection against Radon Exposure. *Annals of the ICRP*. 2014 ; 43 (3) : 1-73.

14. ICRP Publication 137. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. *Annals of the ICRP*. 2017 ; 46 (3/4) : 1-486. doi: 10.1177/0146645317734963.

15. Ishchenko L.O. Radiatsiino-hihiienichne obstezhennia zhytlovykh prymishchen Kryvorizkoho zal-izorudnoho rehionu [Radiation-Hygienic Examination of the Residential Premises in Kryvyi Rih Iron Ore Region]. *Hihiiena naselenykh mist : zb. nauk. prats.* Kyiv ; 2008 ; 52 : 256-260 (in Ukrainian).

16. Ishchenko L.O. *Vestnik gigieny I epidemiologii*. 2008. Т. 12. № 1. С. 119-122 (in Ukrainian).

Надійшло до редакції 15.06.2019