

УДК 502.55:621.039.7

Лебедь О. О., ст. викл., Гасвський В. Р., к.т.н., доцент
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІКИ КОНЦЕНТРАЦІЇ РАДОНУ-222 В ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕННЯХ (КУХНЯХ) ПРИ СПАЛЕННІ ПОБУТОВОГО ГАЗУ

Визначена динаміка виходу радону-222 в побутові приміщення (кухні) при спаленні природного газу в місті Рівному в січні 2014 року. Обчислено коефіцієнт виходу радону з природного газу. *Ключові слова:* радон-222, об'ємна активність, коефіцієнт виходу радону.

Серед антропогенних забруднень біогеосистем виділяють наступні види забруднень: фізичне, механічне, біологічне, геологічне та хімічне. До фізичного забруднення відносять термічне (теплове), світлове, шумове, вібраційне, електромагнітне, іонізуюче забруднення. Одним із найважливіших видів антропогенного забруднення саме для України є іонізуюче забруднення, оскільки негативні наслідки аварії на ЧАЕС Україна долає вже впродовж 28 років. Крім цього, наша держава належить до країн з розвинутою ядерною енергетикою, а відтак, у ній формуються додаткові екологічні ризики. Основними і потенційними джерелами радіаційного забруднення в Україні є атомні (14 блоків) та теплові електростанції, підприємства з виробництва ядерного палива, підприємства з переробки ядерних відходів, місця захоронення відходів тощо. Крім того, наша країна є однією з найбагатших країн світу за покладами урану, які знаходяться в п'яти уранових провінціях (Карпатська, Волинсько-Подільська, Донецька, Кримсько-Причорноморська, Український щит), з яких видобувається щороку 500-800 тонн урану. Рівненська область і місто Рівне знаходяться в межах Українського щита і поклади ураніту (уранової руди) знаходяться зокрема під м. Рівне на глибині від 800 до 1200 м.

Таке значне промислове навантаження з боку ядерної галузі на біосистему та збільшена природна концентрація радіонуклідів в ній означає підвищений природний радіаційний фон України.

Небезпечним природним джерелом внутрішнього опромінення людини є газ **радон** [1]. Це радіоактивний газ без смаку і запаху, продукт радіоактивного розпаду радію і торію (члени родини урану). В даний час виявлено, що він присутній у багатьох приміщеннях на всіх континентах. Радон надходить з гірських порід, основ будинків і споруд та накопичується в підвалах і приміщеннях перших поверхів, особливо при їх недостатньої вентиляції, а також через тріщини та щілини в стінах і перекриттях надходить на інші поверхи. Джерелами радону також є будівельні матеріали, з яких побудовані будівлі та споруди.

Відомо, що річна еквівалентна доза від природних джерел в районах з нормальним радіоактивним фоном становить 0,60 мЗв/рік при зовнішньому опроміненні, в якій вклад елементів родини урану становить 0,090 мЗв/рік. При внутрішньому опроміненні річна еквівалентна доза становить 1,34 мЗв/рік, а вклад членів родини урану в ній – 0,954 мЗв/рік, причому вклад радону – 0,930 мЗв/рік. Якщо ж врахувати, що сумарна річна еквівалентна доза від зовнішнього і внутрішнього опромінення становить приблизно 1,952 мЗв/рік, то вклад в ній членів родини урану становить 52%, а радону – 46,7%.

Такий суттєвий вклад радону в природну радіоактивність визначає **актуальність і доцільність** обраної теми дослідження. Відомо, що більше ніж 75% часу людина проводить у приміщеннях (вдома, на роботі, у навчальних закладах, магазинах, медичних закладах тощо), тому до числа чинників, що істотно впливають на її здоров'я, відноситься ступінь екологічної безпеки (біопозитивності) середовища будівель, особливо житлових.

Метою наших досліджень було визначення динаміки об'ємної активності радону в житлових приміщеннях, зокрема – в кухні, і її залежність від інтенсивності згоряння побутового газу, провітрювання та висоти над поверхнею підлоги у цьому приміщенні.

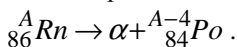
Об'єкт дослідження: радіоактивний газ радон-222.

Предмет дослідження: визначення об'ємної активності радону-222 у побутових приміщеннях.

Постановка завдання. Для вирішення задачі досліджень необхідно:

1. Визначити в яких побутових приміщеннях вплив радону на людину найбільш негативний.
2. Провести дослідження по визначенню динаміки зміни об'ємної активності радону у вибраному побутовому приміщенні залежно від різноманітних фізичних впливів.
3. Визначити коефіцієнт виходу радону з побутового газу.
4. За отриманими даними зробити висновки на біопозитивність даного побутового приміщення по відношенню до радону-222.

Аналіз останніх досліджень. В природі радон зустрічається в трьох формах: у вигляді радону-222, радону-220 (називають – торон) та радону-219 (актинон). Всі ізотопи радону називають еманаціями, а вихід радону з різних тіл – його емануванням. Радон-222 приблизно в 20 разів вносить більший вклад у сумарну дозу опромінення ніж торон та актинон. Всі вони альфа-активні, розпад відбувається за схемою:



Період напіврозпаду радону дорівнює 3,825 дб, торону – 54,5 с, актинону 3,92 с.

Радон частково звільняється із земної кори, де він утворюється внаслідок розпаду радію і виходить в повітря, але його концентрація в повітрі суттєво відрізняється для різних точок земної кулі (табл. 1).

Таблиця 1

Середня концентрація радону-222 в повітрі для різних місцевостей

Назва місцевості	Середня концентрація радону-222 в повітрі, (Бк/м ³)
м. Цинцинатті (США)	9,6
Франція	9,3
м. Нью-Йорк (США)	4,8
Великобританія	3,3
м. Вашингтон (США)	2,9
Японія	2,1
Болівія	1,5
Філіппіни	0,3
Індійський океан	0,07
Маріанські острови	0,05
Маршалові острови	0,02
Каролінські острови	0,02
Середнє по планеті	2,0

Внаслідок того, що радон в 7,5 разів важчий за повітря він накопичується в низинах, підвальних приміщеннях, копальнях, на перших поверхах будинків, які слабо провітрюються (просочуючись через фундамент і підлогу з ґрунту або, рідше, вивільняючись із матеріалів, використаних в конструкції будинку). Отже, основну частину дози опромінення від радону людина одержує, перебуваючи в закритому, непровітрюваному приміщенні. У зонах з помірним кліматом концентрація радону в закритих приміщеннях у середньому приблизно у 8 разів вища, ніж на вулиці. Для тропічних країн подібні вимірювання не прово-

дилися; можна, однак, припустити, що, оскільки клімат там набагато тепліший і житлові приміщення відкритіші, концентрація радону всередині них не набагато відрізняється від його концентрації ззовні.

На думку американських лікарів [2], 3-4 людини з 1000 здорових загинуть від раку легенів, викликаного радоном, в тому випадку, якщо середня концентрація його в повітрі дорівнюватиме 25 Бк/м^3 . Якщо рівень концентрації радону в повітряному середовищі становить 200 Бк/м^3 , приречені захворіти на рак вже 3-4 людини зі 100.

Надходження радону з ґрунту в приміщення. Значний експериментальний матеріал по радону був зібраний НКДАР ООН (науковий комітет по дії атомної радіації) [3]. За його даними, наприкінці 70-х років будови, всередині яких концентрація радону в 5000 разів перевищувала середню його концентрацію ззовні, були виявлені у Швеції та Фінляндії. Так, наприклад, у Фінляндії були виявлені будинки, де радіоактивність в приміщеннях, зумовлена радоном води, має наступні значення: ванна кімната – 8500 Бк/м^3 , кухня – 3000 Бк/м^3 , житлові кімнати – 200 Бк/м^3 . У 1982 році, на час виходу останньої на той час доповіді НКДАР, будови з рівнями радіації, які в 500 разів перевищували типові значення на вулиці, були виявлені у Великобританії і США, а з того часу в обох країнах були виявлені приміщення з концентрацією радону, приблизно рівною його максимальній концентрації в житлових будинках скандинавських країн. При подальших обстеженнях такого роду виявляється все більше будинків з дуже високою концентрацією радону.

Швидкість проникнення радону із землі в приміщення фактично визначається товщиною і цілісністю (тобто кількістю тріщин і мікротріщин) міжповерхових перекриттів. Цей висновок підтвердився при інспекції будинків, побудованих на регенованих після видобутку фосфатів землях у Флориді. В Чикаго, наприклад, в будинках, що стоять прямо на землі, з земляними підвалами, були зареєстровані концентрації радону, які в 100 разів перевищують його середній рівень ззовні будинку, хоча питома радіоактивність ґрунту була звичайна.

З усього вищесказаного випливає, що після закладення щілин в підлозі і стінах якогось приміщення концентрація радону там повинна зменшитися. Дослідження в цьому напрямку тривають, але деякі обнадійливі результати вже отримані. Особливо ефективний засіб зменшення кількості радону, що просочується через щілини в підлозі, – встановлення вентиляційних установок в підвалах. Крім того, еманування радону зі стін зменшується в 10 разів при облицюванні стін пластиковими матеріалами типу поліаміду, полівінілхлориду, поліетилену, після покриття стін шаром фарби на епоксидній основі або трьома

шарами олійної фарби. Навіть при обклеюванні стін шпалерами швидкість емісії радону зменшується приблизно на 30%.

Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) встановлюють наступні *середньорічні еквівалентні рівноважні об'ємні активності (ЕРОА) ізотопів радону-222 (радону) та радону-220 (торону) у повітрі будинків та приміщень, що будуються та реконструюються для постійного перебування людей. Ця величина повинна становити не більше 100 Бк/м³ (для радону) та 6 Бк/м³ (для торону). У повітрі приміщень, що експлуатуються, – 50 та 3 Бк/м³ відповідно.*

Проникнення радону в побутові приміщення з водою та побутовим газом. Радон добре розчиняється у воді і в розчиненому вигляді може переноситись водою. Концентрація радону в водопровідній воді надзвичайно мала, але вода з деяких джерел, особливо з глибоких колодязів або артезіанських свердловин, містить дуже багато радону. Такий високий вміст радону було виявлено, наприклад, у воді артезіанських колодязів у Фінляндії і США, в тому числі в системі водопостачання Гельсінкі, і приблизно в тій же концентрації у воді, що надходить в місто Хот-Спрінгс (шт. Арканзас). Найбільша зареєстрована питома радіоактивність води в системах водопостачання складає 10⁸ Бк/м³, найменша дорівнює нулю. За оцінками НКДАР ООН, серед усього населення Землі менше 1% жителів споживає воду з питомою радіоактивністю більш 10⁶ Бк/м³ і менше 10% п'ють воду з концентрацією радону, що перевищує 10⁵ Бк/м³.

При нагріванні розчинність радону у воді зменшується і він виділяється в газоподібному вигляді. В Канаді проводились дослідження по вимірюванню зміни концентрації радону при користуванні душовими приміщеннями. Так, при рівні об'ємної активності радону в ванній кімнаті 148 Бк/м³, після семихвилинного користування душем вона зростає до 4400 Бк/м³, а після 22-хвилинного – до 5500 Бк/м³.

Радон проникає в родовища природного газу, там накопичується і разом з газом попадає в кухонні приміщення, що призводить до збільшення його концентрації.

До значного підвищення концентрації радону всередині приміщень можуть призвести заходи, направлені на економію тепла. При герметизації будинків пластиковими вікнами і дверима провітрюваність їх зменшується, що призводить до збільшення рівня концентрації радону в приміщеннях. Згідно даних НКДАР ООН, у 1982 р. в Швеції, де будинки герметизують особливо ретельно, малоповерхова забудова і значна еманация радону з ґрунту, об'ємна активність радону в 30% бу-

динків перевищувала 100 Бк/м^3 , а в частці будинків від 0,01% до 0,1% складала від 1000 до 10000 Бк/м^3 .

Дослідження показали, що природний газ приносить в квартиру радіоактивність радону біля 3 кБк , вода – 4 кБк , зовнішнє повітря – 10 кБк , будівельні матеріали і ґрунт під будинком – 60 кБк за добу.

Провітрювання приміщень призводить до значного зменшення концентрації радону в повітрі. Так, вимірювання показали, що в закритому приміщенні за 18 годин об'ємна активність радону збільшиться з 120 Бк/м^3 до 650 Бк/м^3 . Відкриття вікон на 2-3 години знижувало активність до 120 Бк/м^3 .

Методика дослідження. Вимірювання об'ємної активності радону проводилось вимірювальним комплексом для моніторингу радону, торону і їх дочірніх продуктів "Альфарад плюс". Цей комплекс призначений для експресних вимірювань та неперервного моніторингу об'ємної активності (OA) радону-222 (^{222}Rn , діапазон вимірювань – $1 - 2 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^3$).

В якості побутового приміщення, в якому визначалась OA радону-222, була вибрана кухня і було поставлене завдання визначити динаміку зміни концентрації радону в ній в залежності від інтенсивності згоряння побутового газу при вентиляції приміщення, а також за її відсутності. Крім того, визначалась концентрація радону за відсутності вентиляції на поверхні підлоги та на висоті 1 м над нею.

Нами був вибраний режим роботи приладу "Циклический отбор проб воздуха", при якому комплекс проводить трьоххвилинну продувку робочої камери комплексу досліджувані повітрям, потім 20 хвилин комплекс визначає OA радону в цьому повітрі, після чого 1 хвилину комплекс переходить в режим очікування. Загалом такий цикл повторюється 6 разів (близько $2 \text{ год. } 18 \text{ хв.}$). Шість отриманих значень OA непогано визначають динаміку зміни концентрації радону в кухні.

Перед початком вимірювань кухня провітрювалась протягом 20 хвилин за допомогою притяжної вентиляції та відкриття вікна, після чого проводилось вимірювання комплексом початкового значення OA в кухні (OA_0). Для всіх проведених експериментів $OA_0 = 4 \pm 6 \text{ Бк/м}^3$.

Газ на газовій плиті запалювався одночасно з початком першого циклу вимірювань і виключався після закінчення шостого циклу.

Після виключення газу відкривалась кватирка на кухні і включалась витяжка над газовою плитою. У всіх проведених експериментах OA практично знижувалась до OA_0 за два цикли (46 хв.).

Результати експериментальних досліджень. Отримані результати представлені в таблиці 2.

В **першій серії** вимірювань комплекс розміщувався на висоті 1 м над поверхнею підлоги. Запалювалась одна (найбільша) конфорка газової плити. Початкові покази газового лічильника: 80,614 м³. Кінцеві покази газового лічильника: 81,371 м³. В **другій серії** вимірювань комплекс розміщувався на висоті 1 м над поверхнею підлоги. Запалювалось три конфорки газової плити. Початкові покази газового лічильника: 81,724 м³. Кінцеві покази газового лічильника: 83,240 м³. В **третій серії** вимірювань комплекс розміщувався на підлозі. Запалювалась одна конфорка (найбільша) газової плити. Початкові покази газового лічильника: 82,015 м³. Кінцеві покази газового лічильника: 82,772 м³.

Дані повторних експериментів практично повторюють дані таблиці 2.

Таблиця 2

Результати вимірювань*												
№ цик- лу	Перша серія				Друга серія				Третя серія			
	Т, °С	В, %	ОА, Бк/м ³	Δ, Бк/м ³	Т, °С	В, %	ОА, Бк/м ³	Δ, Бк/м ³	Т, °С	В, %	ОА, Бк/м ³	Δ, Бк/м ³
Запалювання газової конфорки												
1	21	49	10	7	20	48	20	13	22	48	13	8
2	25	56	18	14	24	57	38	20	26	53	22	15
3	27	56	43	22	27	56	75	30	28	54	40	23
4	28	54	49	24	30	52	105	41	29	57	56	27
5	28	52	60	27	32	49	140	49	30	53	75	30
6	30	50	75	31	34	45	145	50	31	49	90	41
Виключення газу, вентиляція кухні												
7	27	52	35	20	27	47	83	32	28	53	45	25
8	23	54	8	6	23	49	15	8	24	56	13	8

* – (В таблиці: Т – температура, В – відносна вологість, ОА – об'ємна активність радону-222, Δ – абсолютна похибка вимірювань).

Отримані результати добре ілюструються графіками, представленими на рис. 1-3.

За отриманими даними можна визначити коефіцієнт виходу радону з побутового газу. Якщо V_g – об'єм газу, який спалюється під час досліду (м³), а A – активність радону, визначена в досліді (Бк), то можна визначити коефіцієнт виходу радону з побутового газу:

$$\eta = \frac{A}{V_g} . \quad (1)$$

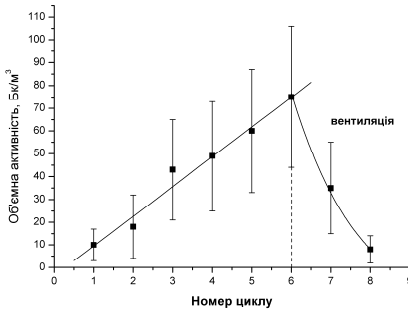


Рис. 1. Результати першої серії вимірювань

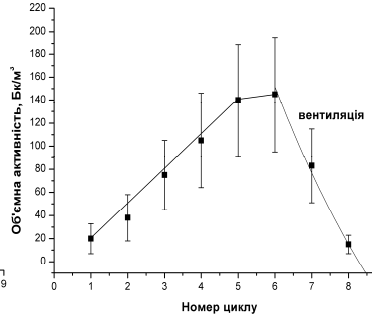


Рис. 2. Результати другої серії вимірювань

Цей коефіцієнт визначає активність, яка створюється в приміщенні при спаленні побутового газу об'ємом 1 м^3 .

Оскільки

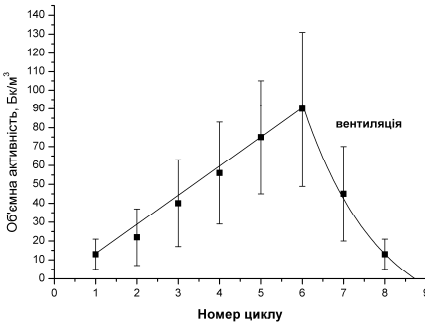


Рис. 3. Результати третьої серії вимірювань

$A = (OA - OA_0) \cdot V_k$, де V_k – об'єм побутового приміщення ($V_k = 16,4 \text{ м}^3$), то формулу (1) можна переписати у вигляді:

$$\eta = \frac{(OA - OA_0) \cdot V_k}{V_g} \quad (2)$$

Для першої серії вимірювань коефіцієнт виходу радону

є $\eta_1 = 1536 \frac{\text{Бк}}{\text{м}^3}$, для другої

серії – $\eta_2 = 1524 \frac{\text{Бк}}{\text{м}^3}$, для третьої – $\eta_3 = 1862 \frac{\text{Бк}}{\text{м}^3}$. Середнє значення

коефіцієнту виходу радону при згорянні побутового газу становить

$$\eta_c = 1641 \frac{\text{Бк}}{\text{м}^3}.$$

Аналіз отриманих результатів. Проведені експерименти по визначенню динаміки зміни об'ємної активності радону-222 в побутових приміщеннях (кухнях) при спалюванні природного газу в плитах свідчать про наступні факти:

1) Біопозитивність перевіреного побутового приміщення низька. В ізольованому приміщенні об'ємом $16,4 \text{ м}^3$ при згорянні $0,757 \text{ м}^3$ природного газу за дві години об'ємна активність, а значить і концентрація, радону-222 зростає приблизно в 37,5 разів в порівнянні з його середньою концентрацією на вулиці.

2) Інтенсивне провітрювання кухонь за допомогою витяжки та відкритої квартирки зменшує концентрацію радону-222 практично до вуличної в середньому за 40-50 хвилин.

3) Виявлена практично прямопропорційна залежність між об'ємом спаленого газу і об'ємною активністю радону в повітрі кухні. Двократне зростання об'єму спаленого газу практично призводить до двократного збільшення концентрації радону в кухні (при тривалості згорання – біля 2 годин). Цей результат демонструють серії експериментів 1 і 2.

4) Стабілізація концентрації радону-222 в 5 та 6 циклах 2 серії експериментів свідчить, на наш погляд, про масопереніс надлишкового радону через щілини в дверях, вікнах та через витяжну систему.

5) Не виявлений вплив температури та вологості в приміщенні на інтенсивність виходу радону-222 при згорянні природного газу. Ймовірно, що такої залежності не існує.

6) В даній роботі **вперше** було **визначено** коефіцієнт виходу радону з природного газу, який використовувався в м. Рівному в січні 2014 року.

Висновки та рекомендації. На основі аналізу отриманих результатів можна зробити наступні висновки та дати деякі рекомендації:

1. Аналіз сучасного рівня екологічної безпеки показав, що на даний час в Україні недостатньо уваги приділяється питанню контролю і оцінці іонізаційного забруднення, пов'язаного з виділенням радіоактивного радону-222 в житлових приміщеннях і, зокрема, в кухнях при згорянні побутового газу.

2. В зв'язку з цим, житлово-експлуатаційним управлінням м. Рівного необхідно створювати умови, за яких опромінення людей у житлових та виробничих приміщеннях не повинно перевищувати відповідних нормативів, затверджених в установленому порядку.

3. Проводити постійний моніторинг вмісту радону-222 та радону-220 в природному газі, який експлуатується в житлових приміщеннях і приймати цей газ в експлуатацію тільки з урахуванням вмісту радону в ньому та його рівня гамма-випромінювання.

4. Вважаємо за необхідне у тариф вартості побутового газу закладати складову, пов'язану з концентрацією в ньому радіоактивного радону.

5. На побутовому рівні рекомендуємо приготування їжі на газових плитах виконувати завжди при включеній витяжній вентиляції та відкритій квартирці вікна.

6. В зв'язку зі збільшеною концентрацією радону біля поверхні підлоги рекомендуємо обмеження присутності дітей на кухні під час приготування їжі.

7. Пропонується повторити подібні дослідження в м. Рівному влітку та спеціалізованими лабораторіями інших міст.

1. Визначення залежності об'ємної активності радону від висоти в житлових будинках м. Рівного [Текст] / Лебедь О. О., Дейнека О. Ю., Рибалко А. В., Попова Є. А. // Вісник НУВГП. – Випуск 3 (47). – Рівне, 2009. 2. Несмеянов А. Н. Прошлое и настоящее радиохимии / А. Н. Несмеянов. – Л. : Химия, 1985. – 168 с. 3. Радиация. Дозы, эффекты, риск. – М. : Мир, 1990. – 80 с. 4. ГОСТ 30108-94 "Материалы и výrobы будівельні. Визначення питомої ефективної активності природних радіонуклідів" [Текст]. – Введ. 1995-01-01. – М. : МНТКС, 1994. – 32 с. 5. Флора Л. Журнал „L'Informatore del Marmista" [Текст]: пер. з італ. / Флора Л. – № 468. – 2001. – С. 39-40. 6. Радиационный фон помещений [Текст] / Крисюк Э. М., Титов В. К., Лучин И. А., Лашков Б. П. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – С. 120. 7. Пархоменко В. И. Радиоактивность различных строительных материалов [Текст] / Пархоменко В. И., Еркин В. Г., Лебедев О. В., Балонов М. И. // Радиационная гигиена. – Ленинград, 1980. – № 9. – С. 22–28.

Рецензент: к.т.н., с.н.с. Яцков М. В. (НУВГП)

Lebed A. A., Senior Lecturer, Hayevskiy V. R., Candidate of Engineering, Associate Professor (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

DETERMINATION OF THE DYNAMICS OF RADON-222 IN THE LIVING ROOM (KITCHEN) AT NATURAL GAS BURNING

Defined exit dynamics of Radon-222 in domestic premises (kitchen) with natural gas combustion in town Rivne in January 2014. Calculated release rate of Radon from natural gas.

Keywords: Radon-222, volume activity, rate of release of Radon.

Лебедь А. А., ст. преподаватель, Гаевский В. Р., к.т.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИКИ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА-222 В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ (КУХНЯХ) ПРИ СЖИГАНИИ БЫТОВОГО ГАЗА

Определена динамика выхода радона-222 в бытовые помещения (кухни) при сжигании природного газа в городе Ровно в январе 2014 года. Вычислен коэффициент выхода радона из природного газа.

***Ключевые слова:* радон-222, объемная активность, коэффициент выхода радона.**
