

ПРИНЦИПИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРІОРИТЕТНИХ КОМПОНЕНТ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Розглянуто підходи до моделювання дози опромінення населення півдня України, яке сьогодні піддається впливу підвищеного природного фону та техногенних радіаційних факторів, що надходять у довкілля зі скидами і викидами з ядерних підприємств. Пріоритетними компонентами для моделювання дози для населення цієї території визначено ^{222}Rn і ^3H .

It had considered approaches to modelation of dose of south ukrainian's irradiation, which is influenced by high natural radiation and different factors, which pollute an environment. For this modelation was chosen ^{222}Rn and ^3H .

Вступ

Прогнозування ризиків негативних біологічних ефектів сьогодні посідає ключове місце у визначенні впливу тих чи інших радіаційних чинників на людину як при радіаційних аваріях [10], так і в нормальних умовах її життя [9, 12]. Це проводять, насамперед, через ретроспективну оцінку дози іонізуючого випромінювання, яку частіше здійснюють за допомогою камерних моделей.

Дослідженню дозових моделей опромінення людини в умовах радіаційних аварій присвячено багато робіт [1, 2, 10, 11]. В цих моделях, як правило, розглядаються шляхи опромінення людини від радіонуклідів (^{137}Cs , ^{90}Sr), які випали під час Чорнобильської трагедії та сьогодні ще відіграють вагомую роль в радіаційному навантаженні населення північно-центральної частини України. Крім цього, цікавість представляє моделювання дози опромінення людини, яка сьогодні в звичайних умовах відчуває на собі сумарний вплив техногенно-підсиленого природного фону та техногенних радіаційних чинників, що потрапляють в навколишнє середовище зі скидами та викидами ядерних

підприємств. Такий радіоекологічний стан характерний для територій півдня України, в тому числі для Миколаївської області [13, 14], яку і було обрано для дослідження дозових моделей радіаційного навантаження. Мета роботи полягала у визначенні пріоритетних (характерних для регіону) чинників іонізуючого випромінювання та в дослідженні шляхів їх надходження до організму людини.

Матеріали та методи дослідження

Дослідження проводилися в північних та центральних районах Миколаївської області. Радіометрія проб на вміст ^{222}Rn в атмосферному повітрі проводилося в науково-дослідній лабораторії "Ларані" [7], на вміст ^3H – у лабораторії зовнішньої дозиметрії ПУ АЕС [6]. Методи дослідження: рідинно-сцинтиляційна радіометрія ^3H , трекова радіометрія ^{222}Rn , математичні методи аналізу даних, визначення дози через камерні моделі.

Результати досліджень

Для моделювання дози іонізуючого випромінювання проведено аналіз чинників дозоутворення для районів Миколаївщини [3-5, 15]. Встановлено, що при середньому для області значенні сумарної дози опромінення людини $6,7 \pm 2,5$ мЗв/рік існує регіональний розподіл території за дозовим навантаженням на населення в залежності від виду радіаційного фактора. Так, для населення північних (Новобузький, Казанківський, Братський) районів області характерним чинником опромінення виступає природний ^{222}Rn , а населення центральних (Арбузинський, Вознесенський) районів області, крім “радонового” фактора, відчуває також вплив техногенного ^3H (який викидається у довкілля при роботі Південно-Української АЕС (табл.1). Через це пріоритетними компонентами при моделюванні іонізуючого випромінювання для населення регіону було обрано ^{222}Rn і ^3H .

Радонова складова дозового навантаження пов’язана з геологічними особливостями Миколаївської області, що проявляється в розломах корінних порід та у виході на поверхню землі гранітних пластів з високим вмістом природних радіонуклідів. Крім того, цьому сприяє також численне розгортання в цих районах видобувних та переробних граніт виробництв, що створює умови повсюдного використання гранітних порід у житловому та у виробничому будівництві і, таким чином, призводить до техногенної зміни природного фону і до накопичення у повітрі житлових та робочих приміщень ^{222}Rn – природного радіоактивного газу, який, за оцінками МКРЗ, є відповідальним за 10% від усіх захворювань на рак легенів [8].

Виділення тритієвої компоненти в якості характерного для регіону фактора техногенної дози обумовлено високою ймовірністю потрапляння ^3H у харчові ланцюжки людини внаслідок специфіки

надходження рідких скидів АЕС у водне середовище регіону (за ланцюгами “ставка-відстойники очисних споруд господарсько-фекальної каналізації ПУ АЕС – р. Арбузинка” (до середини 1993 р.) та “ставка-відстойники очисних споруд господарсько-фекальної каналізації ПУ АЕС – ставок-охолоджувач АЕС – р. Південний Буг” (після 1994 р.). Крім того, для цього регіону існує ще один шлях потрапляння ^3H у довкілля: з парами ставка-охолоджувача ПУ АЕС. Через те, що, як відомо, найбільша міграція цього радіонукліду до повітря відбувається саме за цим шляхом [16], то моделювання дозового навантаження від тритієвої компоненти повинно враховувати також і інгаляційний шлях потрапляння ^3H до організму людини.

Обстеження 202 житлових домів дало змогу зробити висновки, що надходження ^{222}Rn до організму людини, яка мешкає в північних районах Миколаївщини, здійснюється двома шляхами: через заковтування (при диханні) та з питною водою. Визначено, що на рівень активності ^{222}Rn в атмосферному повітрі впливають такі фактори, як інтенсивність екскаляції газу з будівельних конструкцій і ґрунту, умови самого приміщення (наявність вентиляції, дренажних систем, опалення приміщення, герметичність підлоги, т.ін.) [5]. Завдяки тому, що активність ^{222}Rn у повітрі приміщень до того ж носить сезонний характер, бо залежить від наявності або відсутності опалення в приміщенні, математичну модель інгаляційного надходження ^{222}Rn до організму людини протягом часу t можна представити наступним чином:

де f_1 – швидкість насичення ^{222}Rn приміщення, яке залежить від: E – екскаляція ^{222}Rn з будівельних конструкцій і з ґрунту, K – комбінований фактор умов середовища мешкання людини, B – вид

Таблиця 1
Доза іонізуючого випромінювання населення північних і центральних районів Миколаївської області

Райони	Від природних джерел, мЗв/рік						Від штучних джерел, мкЗв/рік			
	Рентген-процедури	Гама-фон приміщень	Гама-фон вулиці	При надходженні з їжею	^{222}Rn у повітрі	Сума	^{90}Sr	^{137}Cs	^3H	Сума
Північні	1,0	2,1	0,3	0,4	5,2	8,0	3,8	2,9	0,1	6,8
Центральні	1,0	1,8	0,3	0,4	4,9	7,4	4,3	3,1	2,1	9,5
Південні (контроль)	1,0	1,7	0,3	0,4	0,6	3,0	3,8	2,9	0,1	6,8

Примітка: наведено типові величини дози

будівельного матеріалу; V_1 – об'єм вимірюваної людини повітря протягом часу t .

За результатами обстежень біля 50 питних джерел у 17 населених пунктах області визначено, що на рівень активності ^{222}Rn в питній воді, крім активності у воді ^{226}Ra , впливають будівельні конструкції питного джерела (колодязя) та інтенсивність ексхалляції цього газу з ґрунту. Через це змодельовати травний шлях надходження ^{222}Rn до організму людини (з питною водою) можна наступним чином:

$$= V_2 \cdot F_2(E, B), \quad (2)$$

де F_2 – насичення ^{222}Rn питної води з підземних джерел, E – ексхалляція ^{222}Rn з будівельних конструкцій колодязя і з ґрунту, Бк/с, B – вид будівельного матеріалу колодязя, t – час, V_2 – об'єм

$$D_{Rn^{222}} = \text{ДЦ}_1 \cdot V_1 \cdot \int f_1(E, K, B) dt + \text{ДЦ}_2 \cdot V_2 \cdot F_2(E, B), \quad (3)$$

де ДЦ_1 – дозова ціна ^{222}Rn при інгаляційному його надходженні до організму людини, Зв/Бк; ДЦ_2 – дозова ціна радіонукліду r при травному шляху його надходження до організму людини, Зв/Бк.

де D_{H-3} – еквівалентна доза випромінювання ^{222}Rn ,

Зв; ДЦ_1 – дозова ціна ^{222}Rn при інгаляційному його надходженні до організму людини, Зв/Бк; ДЦ_2 – дозова ціна радіонукліду r при травному шляху його надходження до організму людини, Зв/Бк.

Попередньо проведена оцінка розмірів опромінення населення, яке мешкає в центральних і північних районах Миколаївської області, вказала, що величина опромінення людини за рахунок ^{222}Rn у повітрі житлових приміщень складає в середньому $5,8 \pm 0,6$ мЗв/рік; від ^{222}Rn у питній воді – $0,16 \pm 0,02$ мЗв/рік. При розгляді цих величин в якості потужностей доз можна бачити, що протягом життя (50-70 років) для людини, яка мешкає в цих місцевостях, за рахунок ^{222}Rn накопичуються “життєві” дози 0,3-1,0 Зв. Розрахунки доз для людей, які працюють до того ж на гранітних кар'єрах, з урахуванням 25-річної праці, “життєва” доза збільшується до 1,5 Зв, тобто до доз, які виходять вже з розряду “малих” (за визначенням, це дози розміром до 10-20 сЗв [8]).

Кореляційний аналіз вивчення значущості впливу визначених чинників на розмір “життєвої” дози опромінення вказав, що умови середовища мешкання людини (параметр H) роблять чималий внесок ($r^2=0,84$). Тобто можна вважати, що наявність вентиляції у приміщенні, герметизація

стін, підлоги, наявність дренажу є, крім ексхалляції газу з будівельних конструкцій та з ґрунту, визначальним фактором рівня ^{222}Rn у приміщенні, а значить і величини “життєвої” дози людини, що мешкає в будівлях, R, t і т.д. (Синим R, V вмістом природних радіонуклідів у її конструкціях.

При моделюванні дози від ^3H враховуємо, що надходження ^3H з повітрям (C) і з раціоном харчування людини ($f_i(C, B)$) є функціями шляхів надходження ^3H до навколишнього середовища та визначаються міграційними здібностями радіонукліду, процесами його розсіювання і переміщення у просторі:

$$= \dots, \quad (4)$$

$$= \dots, \quad (5)$$

де C^{aa} – концентрація ^3H у повітрі, Бк/л; D_{3H} – дозова ціна ^3H при i шляху його потрапляння до організму,

газоаерозольних викидах до атмосфери, Бк/м³; $C^{вип.}$ – концентрація ^3H у парах водойми-охолоджувача АЕС, Бк/м³; $C^{ск.}$ – концентрація ^3H у скидних водах АЕС, Бк/л; $C^{фільтр.}$ – концентрація ^3H у фільтраційних підземних водах, Бк/л.

Зробивши певні спрощення, загальний вираз математичної моделі дозового навантаження на людину від ^3H можна представити у вигляді

$$(6)$$

де D_{H-3} – еквівалентна доза іонізуючого випромінювання ^3H ; $f_i(C, B)$ – функція, яка визначає вміст ^3H у продуктах споживання, в питній воді та в атмосферному повітрі в залежності від стану умов середовища мешкання людини; C – вміст ^3H у навколишньому середовищі за існуючими в регіоні шляхами, Бк; B – комбінований фактор, який враховує міграційні процеси ^3H в об'єктах довкілля, ДЦ_i – дозова ціна ^3H при i шляху його потрапляння до організму.

Таким чином, задача моделювання дозового навантаження на людину від ^3H зводиться до визначення функцій $f_i(C, B)$, які враховують існуючі сьогодні шляхи надходження ^3H до навколишнього середовища. Такими шляхами для населення Миколаївщини сьогодні є: газоаерозольні викиди ПУ АЕС, рідкі скиди забруднених ^3H вод з ПУ АЕС до водоймищ, фільтрація ^3H з підземними водами з ставка-охолоджувача АЕС, надходження до атмосфери насичених ^3H парів ставка-охолоджувача ПУ АЕС.

Враховуючи лише водний шлях розповсюдження радіонукліду у навколишньому середовищі, попередні оцінки величини дозового

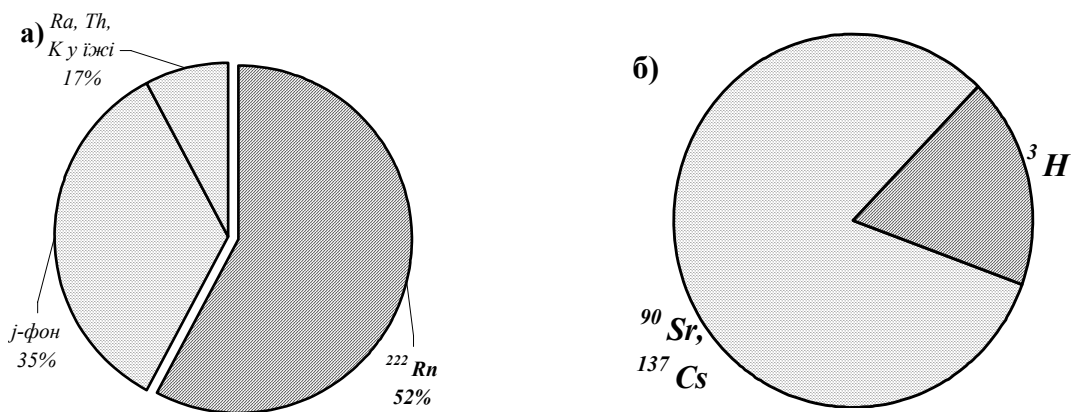


Рис. 1. Внесок ^{222}Rn у “природну” (а), ^3H – у техногенну (б) дозу опромінення людини для населення північно-центрального району Миколаївщини (наведено типовий розподіл)

навантаження від ^3H на населення центральних районів Миколаївщини дали величини 0,16-0,40 мкЗв/рік. Визначальним фактором величини дози за цим шляхом розповсюдження ^3H в довкіллі виступав фактор B , який визначає міграційні процеси ^3H у водному середовищі (за чи проти природного стоку від ставка-охолоджувача та ставків-біоочищення ПУ АЕС мешкає людина). Наведені оцінки не враховують інгаляційного шляху надходження ^3H до людини, при моделюванні яких може змінитися географія дози.

Аналіз результатів натурних досліджень вказав, що для населення центральних та північних районів Миколаївської області ^{222}Rn є відповідальним за більше 50% від загальної дози опромінення природними чинниками (рис. 1, а), а ^3H зумовлює додаткове опромінення (до 20%) від штучних джерел радіації (рис. 1, б). Тобто населення центральних і північних районів Миколаївщини, поряд з чималою дозою від ^{222}Rn , отримує ще дозу від антропогенного ^3H .

Тому радоново-третієва доза опромінення є характерною особливістю опромінення населення

цього регіону та потребує свого дослідження і моделювання.

Висновки

1. Характерною особливістю опромінення населення центральних і північних районів Миколаївщини є радоново-третієва доза: ^{222}Rn є відповідальним за більше 50% від загальної дози опромінення природними чинниками, а ^3H зумовлює додаткове штучне опромінення (до 20%).
2. Моделювання дозового навантаження на людину від ^{222}Rn для населення Миколаївщини потребує врахування усіх існуючих шляхів: інгаляційного (при диханні), травного (з питною водою).
3. Величина “життєвої” дози від ^{222}Rn для мешканців центральних і північних районів Миколаївщини, в першу чергу, залежить від умов середовища проживання людини.
4. Моделювання дозового навантаження на

Література

1. Войцицький В.М., Хижняк С.В. Основні критерії визначення біологічної ефективності зовнішнього та внутрішнього опромінення // Матеріали наук.-практ. конференції “Парадигми сучасної радіобіології”. – К., 2004. – С. 4.
2. Георгиевский М.В. Экологические и дозовые модели при радиационных авариях. – Київ: Наукова думка, 1994. – 202 с.
3. Григор’єва Л.І. Регламентация дозового навантаження людини, яка живе і працює в умовах підвищених концентрацій радону у приміщеннях // Матеріали міжнародної наукової конференції – Одеса: ОДАХ, 1999. – С. 57.
4. Григор’єва Л.І., Томілін Ю.А. Динаміка розповсюдження тритію у водному середовищі навколо ПУ АЕС // Матеріали VIII наук.-мет. конф. “Людина та навколишнє середовище”, Одеса, 2002. – С. 42-44.
5. Григор’єва Л.І., Томілін Ю.А., Рожков І.М. Опромінення ^{222}Rn і захворюваність населення Миколаївщини // Зб. наук. праць IV міжнар. науково-практичної конференції “Культура і здоров’я”. – Херсон: ХДУ, 2004. – С. 272-276.
6. Звіти лабораторії зовнішньої дозиметрії ПУ АЕС за 1999-2004 рр.
7. Картирование территории Николаевской области по суммарной дозовой нагрузке на население: Отчет о НИР (промеж.) / Никол. науч.-исслед. лабор. по проблемам радиационной безопасности населения “Ларани” – № 5197/1. – Николаев, 1997. – 46 с.
8. Калмиков Л.З. Міжнародні основні стандарти радіаційної безпеки: Огляд літератури // Український Радіологічний

- журнал. – 1996. – № 4 – С. 365-368.
9. Кравець А.П., Слинявчук Г.Д. Проблема малих доз і її різні аспекти // Матеріали наук.-практ. конференції “Парадигми сучасної радіобіології”. – К., 2004. – С. 30.
 10. Кравець О.П., Гродзинський Д.М. Екологічний прогноз розвитку радіаційної ситуації в Україні та формуванні доз людини від внутрішнього опромінення // Гігієна населених місц. – Вип. 36, ч. 1. – К., 2000. – С. 306-320.
 11. Кравець О.П., Гродзинський Д.М., Павленко Ю.О. Проблеми реконструкції та прогнозу доз від інкорпорованих радіонуклідів // Матеріали III з'їзду з радіаційних досліджень (радіоекологія і радіобіологія). – К.: Фітосоціоцентр, 2003. – С. 393.
 12. Пресс-конференція Е.Б.Бурлаковой, И.И.Пелевиной, В.А.Шевченко и А.И.Газиева “Балканский синдром: мнение российских ученых”.
 13. Томілін Ю.А. Радіоекологічні аспекти півдня України // Збірник наукових праць III з'їзду з радіаційних досліджень, Київ, 2003. – С. 342.
 14. Томілін Ю.А. Радіоекологічні проблеми Миколаївщини // Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції “Наука і освіта 2003”. – Т. 17. Екологія. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2003. – С. 46-47.
 15. Томілін Ю.А., Григор'єва Л.І., Дозове навантаження на населення від ^3H , який надходить в навколишнє середовище з рідкими скидами ПУ АЕС // Матеріали наук.-практ. конференції “Парадигми сучасної радіобіології”. – К., 2004. – С. 60