

ОЦІНКА РИЗИКУ ЗАГРОЗИ ЗДОРОВ'Ю НАСЕЛЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА РАДІОНУКЛІДАМИ

Проаналізовано моделі оцінки ризику для здоров'я населення, який пов'язаний із забрудненням навколишнього середовища радіонуклідами. За методикою, що рекомендована Агентством із захисту навколишнього середовища США (EPA), оцінено ризик загрози здоров'ю населення від забруднення зони його природокористування радіонуклідами. Визначено величини індексу небезпеки, індивідуального і колективного ризиків та збитків від експозиції $Cs-137$ та $Sr-90$ до організму людини внаслідок споживання питної води, риби та грибів на випадок гіпотетичної значної радіаційної аварії.

Ключові слова: ризик, радіонукліди, модель оцінки ризику, експозиція, індекс небезпеки, індивідуальний ризик, колективний ризик.

Постановка проблеми. У світовій практиці прийнятність діяльності з використанням радіоактивних речовин та іонізуючого випромінювання прийнято оцінювати на основі аналізу ризику для людини [1]. У даний час в Україні в районах розташування радіаційно небезпечних об'єктів, у т. ч. атомних електростанцій (АЕС), розроблена і діє система радіаційного контролю, що включає елементи радіаційного моніторингу навколишнього середовища. Але програма і регламент такого контролю не ставить за мету оцінювання величини ризику.

Сьогодні накопичений величезний запас знань і даних моніторингу про вміст і поведінку радіонуклідів у різних екосистемах. Існує чимало математичних моделей, які відображають формування дози опромінення як при радіаційних аваріях на ядерних підприємствах, так і при їх безаварійній роботі [2-5]. Вони дають можливість прогнозувати рівні радіаційного забруднення, підвищуючи ефективність управління екологічною безпекою. Та оцінювання ризику від забруднення навколишнього середовища радіонуклідами не має широкого застосування.

Проте сучасна законодавча і нормативна база з радіаційного захисту населення України обґрунтовує необхідність оцінки ризику у районах розташування радіаційно небезпечних об'єктів. Це можна зробити, застосувавши теорію і моделі ризику, що, в свою чергу, дасть змогу отримати кількісний прогноз наслідків забруднення навколишнього середовища поллютантами.

Отже, була визначена *ціль роботи* – оцінка ризику загрози здоров'ю населення від забруднення навколишнього середовища радіонуклідами від АЕС.

Основними завданнями, що дали змогу досягнути поставленої цілі, є:

1) проаналізувати принципи і методичні підходи щодо аналізу й оцінки радіаційного ризику та підібрати методику;

2) на основі даних про результати дозиметричних і радіаційно-гігієнічних досліджень у районі Південно-Української АЕС [6] та розроблених автором концептуальних камерних моделей міграції радіонуклідів у системі біологічних ставків на прикладі Південно-Української АЕС [7,8] визначити основні чинники формування дози опромінення населення у районі досліджуваної АЕС та найбільш небезпечні консервативні варіанти забруднень цієї екосистеми;

3) виконати оцінити ризик загрози здоров'ю населення від основних дозоутворюючих чинників у районі Південно-Української АЕС.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Велику роботу з розробки підходів щодо аналізу та оцінювання екологічного ризику виконало Агентство з охорони навколишнього середовища США (ЕРА) у 1990-х рр. ЕРА систематизувало методи оцінювання екологічного ризику та розробило методики аналізу ризику впливу окремих чинників на навколишнє середовище, у т. ч. безпорогового характеру дії (радіонуклідів та хімічних канцерогенів) [9]. Також принципи та підходи щодо аналізу радіаційного ризику розроблялися російськими ученими і представлені в ряді робіт [10-13]. У звіті Національної академії наук США узагальнено результати досліджень впливу низьких рівнів радіації на здоров'я популяції [14]. Науковий комітет ООН із вивчення впливу ядерного випромінювання узагальнив результати досліджень щодо оцінювання ризику для здоров'я людини за впливу джерел іонізуючого випромінювання [15]. Розроблено різні моделі радіаційного впливу для оцінювання онкогенного ризику [16].

Так, на основі аналізу моделей оцінки ризику авторами була обрана *методика*, що рекомендована Агентством із захисту навколишнього середовища (США) [17].

Ця методика, зокрема, описує два методи розрахунку радіаційного ризику, пов'язаного з опроміненням:

1. Ризик від зовнішнього опромінення можна вирахувати як добуток потужності дози зовнішнього опромінення на час (рік). Тобто формула розрахунку ефективної дози опромінення має вигляд:

$$H = P \cdot T, \quad (1)$$

де P – потужність дози, мкЗв/год; T – час, год (у році приблизно 8760 годин).

2. Ризик, пов'язаний з внутрішнім опроміненням при надходженні радіонуклідів з повітрям та / або з їжею і водою, можна визначити на основі активності радіонуклідів, які потрапили в організм людини за певний час.

Так, повна активність радіонукліда розраховується за формулою:

$$A = a \cdot M \cdot t, \text{ Бк} \quad (2)$$

де a – питома активність радіонукліда у повітрі, воді або їжі, M – маса повітря, води та / або їжі надійшла в організм людини за рік, t – час (кількість років).

Викликана цієї активністю ефективна доза внутрішнього опромінення H становитиме:

$$H = A \cdot E, \text{ Зв}, \quad (3)$$

де E – дозовий коефіцієнт даного радіонукліда, запропонований МАГАТЕ.

Після обчислення величини дози внутрішнього опромінення H можна розрахувати значення індивідуального радіаційного ризику r за формулою:

$$r = H \cdot r_E \quad (4)$$

де r_E – коефіцієнт індивідуального радіаційного ризику.

Цей коефіцієнт характеризує скорочення тривалості періоду повноцінного життя в середньому на $\beta = 15$ років на один стохастичний випадок смертельного захворювання. Прийнято такі значення: $r_E = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ люд}^{-1} \text{ Зв}^{-1}$ для виробничого опромінення (для персоналу), $r_E = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ люд}^{-1} \text{ Зв}^{-1}$ для населення.

Індивідуальним ризиком можна знехтувати, якщо r не перевершує $10^{-6} \text{ люд}^{-1} \text{ рік}^{-1}$. Верхня межа допустимого індивідуального радіаційного ризику дорівнює $5 \cdot 10^{-5} \text{ люд}^{-1} \text{ рік}^{-1}$. Значення r , які перевищують цей рівень, слід вважати неприпустимими.

Коллективний радіаційний ризик дорівнює:

$$R = r_E \cdot K, \quad (5)$$

де K – колективна доза опромінення, яка розраховується за формулою $K = N \cdot H$, люд Зв.

Коллективний радіаційний ризик показує кількість випадків прояву стохастичних (соматичних-канцерогенних) і генетичних (спадкових) серйозних, як правило, смертельних захворювань.

Результати. Результати численних досліджень, узагальнені у ряді публікацій [6, 18-20], свідчать про те, що джерелами загроз на АЕС є:

- 1 – атмосферний викид радіоактивних речовин;
- 2 – вода, що використовується в системі охолодження АЕС;
- 3 – рідкі радіоактивні відходи;
- 4 – тверді радіоактивні відходи.

Відповідно, чинниками, що формують радіаційну обстановку, дозові навантаження і ризику для населення у районі розташування АЕС при будь-якому режимі її роботи, є:

1. Розсіювання радіоактивних речовин;
 - аерозольні осадки;
 - надходження в атмосферу вентиляційного повітря, забрудненого радіоактивними речовинами;
2. Скиди охолоджувальної води у водойми;
 - виділення пари та газу у повітряне середовище;
3. Скиди рідких радіоактивних відходів у результаті технологічних промивань системи охолодження;
 - скиди рідких радіоактивних відходів у водойму-охолоджувач;
4. Наявність та накопичення радіоактивних відходів;
 - забруднення ґрунту і води.

Річна індивідуальна доза опромінювання у районах розташування АЕС України в основному формується трьома шляхами: інгаляційним (з вдиханням радіонуклідів), внаслідок зовнішнього опромінювання (β , γ) та пероральним (від забруднених радіонуклідами продуктів харчування та питної води).

Для АЕС України відносні внески в дозу опромінення продуктів харчування й інгаляції зростають із збільшенням відстані – від 80 до 92 % від надходження радіонуклідів із продуктами харчування і від 5 до 7 % – від інгаляційного шляху. Відносний внесок від хмари викиду в дозу зовнішнього опромінювання становить від 15 до 1 % на відстанях від 2 до 100 км. Внесок решти шляхів внутрішнього і зовнішнього опромінювання – менше 1 % [1].

Це говорить про те, що основним шляхом дозоутворення у районах розташування АЕС України, які працюють у штатному режимі, є трофічні ланцюги типу:

1. Повітря – людина;
2. Повітря – ґрунт – рослини + с/г тварини – продукти харчування – людина;
3. Повітря – ґрунт – ґрунтові води – поверхневі води – риба + питна вода – людина;
4. Повітря – ґрунт – ґрунтові води – питна вода – людина;
5. Поверхневі води – біота + питна вода – людина.

Внесок дози, яку отримує людина при водокористуванні, за найбільш консервативними припущеннями (усе водоспоживання – зі скидного каналу), не перевищує 0,14 % [20]. Однак через те, що скидання є практично єдиною можливістю виходу істотних матеріальних мас за територію АЕС, то доцільним є дослідження ризиків від експозиції *Cs-137* та *Sr-90* до організму людини внаслідок споживання забруднених радіонуклідами продуктів харчування та питної води.

Розрахунок ризику від радіонуклідів для мешканців населеного пункту у кількості 100 тис. чоловік здійснювали для випадку, коли природокористування у районі АЕС здійснюється протягом 10 років. У розрахунках використали небезпечні консервативні варіанти забруднень в екосистемах внаслідок аварійних викидів АЕС (табл. 1). Визначали величини індексу безпеки, індивідуального і колективного ризиків та збитків від експозиції *Cs-137*

та *Sr-90* до організму людини з продуктами харчування та питною водою, відповідно, за формулами 2 - 5. У розрахунках використали оцінку вартості 1 людЗв в Україні у 4 тис. у.о. відповідно до закону України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку».

Результати розрахунку ризиків для мешканців розглядуваного населеного пункту від питної води, споживання риби та грибів, забруднених *Cs-137* та *Sr-90* у жорстко аварійному варіанті за 10 років зведені у таблицю 1.

Таблиця 1

*Результати розрахунку ризику для населення від забруднення зони природокористування АЕС *Cs-137* та *Sr-90* за 10 років (для консервативних значень активності радіонуклідів при аварійних викидах)*

Види ризику	Найменування радіонукліда	Питома активність радіонукліда,	Ефективна доза, Зв	Індивідуальний ризик, осіб	Колективна доза, людЗв	Колективний радіаційний ризик, осіб	Збиток, у.о.
Ризик від питної води	<i>Cs-137</i>	5 Бк/л	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	470	34,3	$1,88 \cdot 10^6$
	<i>Sr-90</i>	10 Бк/л	0,06	$0,44 \cdot 10^{-2}$	6000	438	$24,00 \cdot 10^6$
Ризик від споживання риби	<i>Cs-137</i>	100 Бк/кг	$7,28 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-6}$	7,28	0,39	$2,91 \cdot 10^6$
	<i>Sr-90</i>	25 Бк/кг	$1,12 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-6}$	11,2	0,82	$0,04 \cdot 10^6$
Ризик від споживання грибів	<i>Cs-137</i>	10000 Бк/кг	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$18,98 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^3$	189,8	$10,4 \cdot 10^6$
	<i>Sr-90</i>	4000 Бк/кг	$64,0 \cdot 10^{-4}$	$4,67 \cdot 10^{-4}$	640,0	46,72	$2,56 \cdot 10^6$

Висновки:

1. Результати обчислень підтверджують існування ризику загрози здоров'ю населення від споживання води та продуктів харчування у досліджуваній зоні природокористування, яка зазнає впливу АЕС (мова йде про значну аварію). Найбільші відносні внески в дозу опромінення населення від питної води, забрудненої *Sr-90*, та від споживання грибів, забруднених *Cs-137*. Найменший ризик для здоров'я населення становить споживання риби.

2. Застосований метод розрахунку ризику ефективний і дає необхідні прогнози.

Список літератури:

1. **Лисиченко Г. В.** Методологія оцінювання екологічних ризиків: монографія / Г. В. Лисиченко, Г. А. Хміль, С. В. Барбашев. – Одеса : Астропринт, 2011. – 368 с.
2. **Кутлахмедов Ю. О.** Основи радіоекології : навч. посіб. / Ю. О. Кутлахмедов, В. І. Корогодін, В. К. Кольтовер // за ред. В. П. Зотова. – К. : Вища шк., 2003. – 319 с.
3. **Войцехович О. В.** Управління якістю поверхневих вод у зоні впливу аварії на Чорнобильській АЕС : монографія / О. В. Войцехович // Серія „Радіація і вода”. – К.: Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, 2001. – 136 с.
4. **Георгиевский В. Б.** Экологические и дозовые модели при радиационных авариях : монография / В. Б. Георгиевский. – К. : Наукова думка, 1994. – 237 с.
5. **Дайменд С.** Мир вероятностей / С. Дайменд. – М., 1990. – 365 с.
6. **Григор'єва Л. І.** Формування радіаційного навантаження на Людину в умовах півдня України: чинники, прогнозування, контрзаходи : монографія / Л. І. Григор'єва. – Миколаїв : вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2009. – 332 с.

7. Бевза А. Г. Моделирование миграции радионуклидов в системе биологических ставок атомной электростанции / А. Г. Бевза, Ю. О. Кутлахмедов // Вісник НАУ. – 2011. – № 4. – С. 127-132.
8. Бевза А. Г. Управление экологической безопасностью работы биоставков на примере атомной электростанции / А. Г. Бевза, Ю. О. Кутлахмедов // Экология / Ecology–2011: III Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю, 21-24 вересня, 2011. – Вінниця : ВНТУ, 2011. Том 1. – С. 1-3.
9. **U.S. Environmental Protection Agency.** Risk assessment methodology, environmental impact statement for NESHAPS Radionuclides. – US EPA 520/1 – 89–005, 1989. – P.
10. Ваганов П. А., Манг-Сунг Им. Экологические риски : учебное пособие / П. А. Ваганов, Манг-Сунг Им. – Изд-е 2-е. – СПб: Изд-во С.-Петербург. ун.-та, 2001. – 152 с.
11. Анализ риска по данным радиоэкологического мониторинга / Крышев И. И., Сазыкина Т. Г., Крышев А. И., Санина К. Д. // Атомная энергия. – Т. 106, вып. 6. – 2009. – С. 332-339.
12. Блинова Л. Д., Душин В. Н. Разработка методологических подходов к оценке риска для населения и окружающей среды при эксплуатации радиационно-опасных объектов в нормальном режиме; сравнительная оценка риска / Тр. радиевого ин-та им. В. Г. Хлопкина, т. Ч. – 2003. – С. 92-105.
13. Киселев А. В. Оценка риска здоровью / А. В. Киселев, К. Б. Фридман. – СПб: Дейта, 1997. – 100 с.
14. **National Academy of Sciences.** The effects of populations of exposure to low levels of ionizing radiation. BEIR V. – Washington, D.C.: Nat. Acad. Press, 1990. – P.
15. **United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.** Sources, effects and risks of ionizing radiation. New York: United Nat., 1998.
16. **International Atomic Energy Agency.** Methods for estimating the probability of cancer from occupational radiation exposure: Technical Report. – Vienna^ IAEA. – TECDOC-870. – 1996.
17. **Kolluru R. V.** Health Risk Assessment: Principles and Practices // Risk Assessment and Management Handbook. For Environmental, Health, and Safety Professionals. – New York, 1996. – P. 123-151.
18. Анализ радиационной и экологической безопасности окружающей среды в районах расположения АЭС Украины: Отчет о НИР (промежуточ.) / Укр НИИ экологич. проблем. Харьков, 2007. – 301 с.
19. Павленко Т. А. Существующие дозы облучения населения Украины / Т. А. Павленко, И. П. Лось // Ядерна та радіаційна безпека. – Т. 12. – Вип. 1. – 2009. – К.: «Основа-Принт». – С. 18-22.
20. **Общие положения** обеспечения безопасности атомных станций // НП 306.1.02/1.034-2000. – Киев, 2000. – 256 с.

А.Г. Бевза

ОЦЕНКА РИСКА УГРОЗЫ ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РАДИОНУКЛИДАМИ

Проанализированы модели оценки риска для здоровья населения, связанного с загрязнением окружающей среды радионуклидами. По методике, рекомендованной Агентством по защите окружающей среды США (EPA), оценен риск угрозы здоровью населения от загрязнения зоны его природопользования радионуклидами. Определены величины индекса опасности, индивидуального и коллективного рисков, а также убытков от экспозиции *Cs-137* и *Sr-90* в организм человека в результате потребления питьевой воды, рыбы и грибов на случай гипотетической значительной радиационной аварии.

Ключевые слова: риск, радионуклиды, модель оценки риска, экспозиция, индекс опасности, индивидуальный риск, коллективный риск.

RISK ASSESSMENT OF POPULATION HEALTH THREAT FROM RADIONUCLIDE ENVIRONMENTAL POLLUTION

Models of population health risk assessment connected with the radioactive pollution of environment are analyzed. According to the method recommended by the US Environment Protection Agency risk of population health threat from the pollution of their nature management zone is assessed. Values of the damage index, individual and collective risks, and economical losses from human organism exposition to *Cs-137* and *Sr-90* as a result of consumption of drinking water, fish and mushrooms in case of hypothetical significant radiation accident are determined.

Key words: risk, radionuclides, risk assessment model, exposition, threat index, individual risk, collective risk.

