

ІНСТРУМЕНТ ЕКСПРЕС-ОЦІНКИ ІНТЕГРАЛЬНОГО ДОЗОВОГО РИЗИКУ ПРИ РАДІОЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНІЙ СИТУАЦІЇ

Представлено результати досліджень авторів у межах виконання двостороннього українсько-білоруського проекту Ukrainian State Fund for Fundamental Researches – Belarus Republican Fund for Fundamental Researches № 54.4/034-2013 для оптимізації перспективної оцінки дозового навантаження на населення при радіоекологічному моніторингу територій. На підставі результатів багаторічних радіоекологічних і дозиметричних досліджень на радіонуклідно забруднених територіях півдня України здійснено пошук апарату оперативного прогнозування дозового навантаження на людину на ранній та пізній стадіях післяаварійного періоду. Представлено метод визначення ефективного радіоекологічного ризику для післяаварійного періоду.

Ключові слова: радіоекологічний моніторинг, базова радіоекологічна характеристика, радіоекологічний ризик.

Представлены результаты исследований авторов в рамках выполнения двустороннего украинско-белорусского проекта Ukrainian State Fund for Fundamental Researches – Belarus Republican Fund for Fundamental Researches № 54.4/034-2013 для оптимизации перспективной оценки дозовой нагрузки на население при радиоэкологическом мониторинге территорий. На основании результатов многолетних радиоэкологических и дозиметрических исследований на радионуклидно загрязненных территориях юга Украины осуществлен поиск аппарата оперативного прогнозирования дозовой нагрузки на человека на ранней и поздней стадиях послеаварийного периода. Представлен метод определения эффективного радиоэкологического риска для послеаварийного периода.

Ключевые слова: радиоэкологический мониторинг, базовая радиоэкологическая характеристика, радиоэкологический риск.

The results of studies of the authors in the framework of the bilateral Ukrainian-Belarusian project Ukrainian State Fund for Fundamental Researches – Belarus Republican Fund for Fundamental Researches № 54.4/034-2013 to optimize prospective evaluation of radiation dose to the population in radioecological monitoring areas are presented. Based on the results of long-term radioecological and dosimetric studies on radionuclides contaminated territories south of Ukraine carried out searches for the operational forecasting of radiation dose per person for early and late stages of the disaster period. The method for determining the effective radioecological risk disaster period is presented.

Key words: radioecological monitoring, basic radiological characterization, radiological risk.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Сьогодні питання нормування антропогенного навантаження на довкілля розглядається не лише з боку санітарно-гігієнічних, а й екологічних принципів. Екологічний підхід до нормування впливу АЕС на біогеоценози, вирішення проблеми управління станом системи «АЕС – довкілля» вимагають накопичення такої інформації, яка може бути отримана в результаті організації та здійснення радіаційного екологічного моніторингу. Називаючи моніторинг радіаційним, не виключається питання про інші забруднювачі, які потрапляють з

АЕС у біогеоценози прилеглих до АЕС територій. Більше того, цією назвою підкреслюється необхідність спостережень й оцінок синергетичних ефектів, пов'язаних з одночасною дією на біогеоценози усіх видів забруднювачів, а можливо й побічних антропогенних дій, пов'язаних, наприклад, із дією сусідніх промислових або сільськогосподарських підприємств, «екологічний вантаж» нових населених пунктів, що з'явилися в регіоні АЕС, зокрема в результаті її оточення, та інші.

Врахування таких та інших додаткових факторів, які впливають на формування дозової ситуації на радіонуклідно забрудненій території, повинен

забезпечувати радіоекологічний моніторинг. Залежно від виду й потужності джерел, масштабів поширення радіоактивних речовин та характеру зумовленого ними забруднення довкілля сучасні підходи до організації моніторингу є різними. Проте в усіх випадках кінцева мета його – попередження негативної дії цього чинника на здоров'я населення, що досягається в результаті спостережень за вмістом радіоактивних речовин в об'єктах зовнішнього середовища (атмосферне повітря, ґрунт, вода, харчові продукти та інше); виявлення основних шляхів їх впливу на організми. Таким чином, кінцеві завдання радіаційно-екологічного моніторингу істотним чином

відрізняються від завдань інших типів екологічного моніторингу, бо вимагають відображення даних вимірів у дозове навантаження на людину та представників біоти. Тому основним завданням радіоекологічного моніторингу є визначення й прогнозування дозового навантаження на людину і населення. Він повинен забезпечувати регулярне оцінювання й прогнозування радіаційного стану середовища для прийняття управлінських рішень щодо радіаційної й радіоекологічної безпеки, визначення величин фактичних та очікуваних прогнозних індивідуальних і колективних доз опромінення (рис. 1).

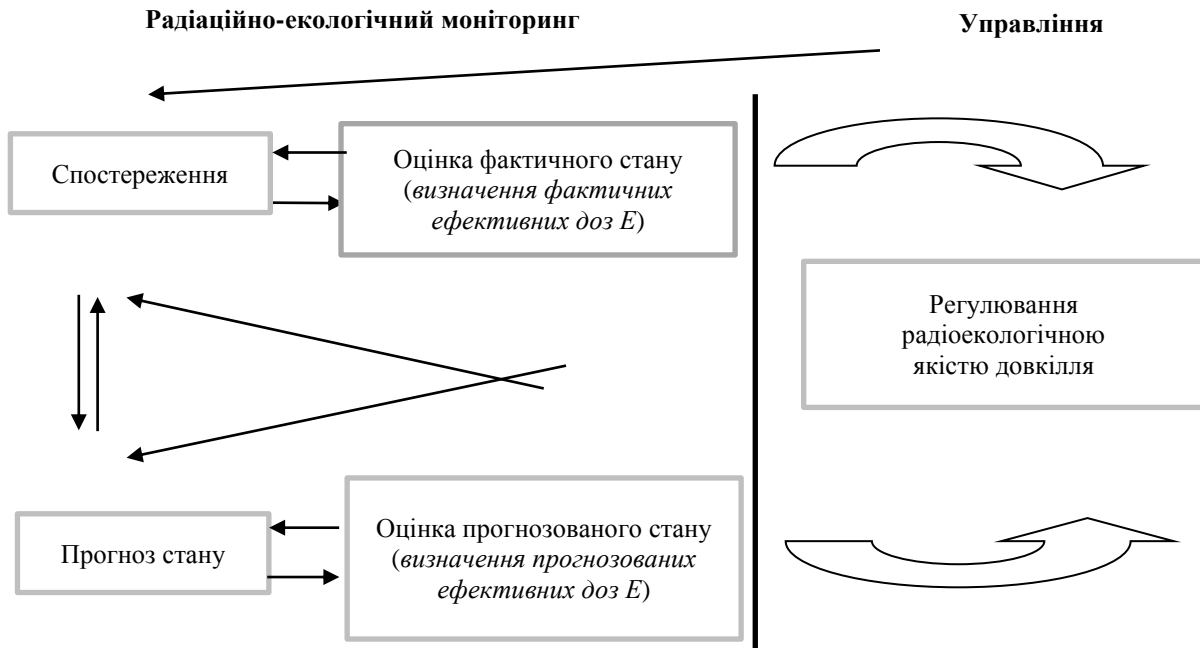


Рис. 1. Роль радіоекологічного моніторингу в системі управління якістю навколишнього середовища

Це визначає необхідність пошуку способів оптимізації визначення дозового навантаження на населення в системі радіаційно-екологічного моніторингу. **Метою досліджень**, представлених у статті, є аналіз методів організації та невирішених питань при організації радіаційно-екологічного моніторингу, а також пошук апарату оперативного прогнозування дозового навантаження на людину на ранній та пізній стадіях після аварійного періоду. Робота виконувалась у межах госпдоговірної НДР 0113U005721 та кафедральної НДР 0113U005721.

Матеріали досліджень. Використано матеріали радіоекологічних і радіаційно-гігієнічних досліджень авторів на території півдня України [1], матеріали досліджень, представлених у наукових звітах [2; 3].

Результати досліджень та їх обговорення

Методичні підходи та невирішені питання при організації радіаційно-екологічного моніторингу довкілля. Забезпечення радіаційної безпеки населення внаслідок радіонуклідного забруднення навколишнього середовища сьогодні у всіх країнах досягається виконанням державних вимог санітарно-гігієнічного законодавства. Зокрема, в Україні ці вимоги висвітлені в низці законодавчих актів, якими регламентуються:

- умови розміщення об'єктів, що є потенційними джерелами забруднення зовнішнього середовища радіоактивними речовинами;
- використання ядерних вибухів у промислових цілях;
- видалення та знешкодження радіоактивних відходів;
- допустимі рівні вмісту радіоактивних речовин в об'єктах навколишнього середовища;
- межі допустимого надходження та утримання радіонуклідів в організмі людини, а також межі доз опромінення для окремих осіб і всього населення.

У Республіці Білорусь створена національна система нормативно-правового регулювання у сфері використання атомної енергії, ядерної та радіаційної безпеки з ієрархічною структурою, що включає документи різного рівня (законодавчі акти Президента Республіки Білорусь, постанови Уряду, республіканські органи державного управління і т. ін.). Що стосується найбільш важливих документів, правову основу розвитку ядерної та радіаційної безпеки в Республіці Білорусь складають: Закон Республіки Білорусь № 122-3 від 05 січня 1998 р. «Про радіаційну безпеку населення», який визначає засади правового

регулювання в галузі забезпечення радіаційної безпеки населення і спрямований на створення умов, що забезпечують охорону життя і здоров'я людей від шкідливого впливу іонізуючого випромінювання. Цей нормативний правовий акт встановлює:

- основні принципи забезпечення радіаційної безпеки;
 - основні межі доз опромінення на території Республіки Білорусь у результаті впливу джерел іонізуючого випромінювання;
 - основні заходи щодо забезпечення радіаційної безпеки;
- а також містить:
- загальні вимоги до оцінки стану радіаційної безпеки;
 - обов'язки користувача джерел іонізуючого випромінювання щодо забезпечення радіаційної безпеки;
 - вимоги до забезпечення радіаційної безпеки при впливі радону і гамма-випромінювання природних радіонуклідів;
 - при виробництві харчових продуктів і споживанні питної води;
 - при медичному опроміненні;
 - при поводженні з радіоактивними відходами;
 - при радіаційній аварії.

Закон Республіки Білорусь № 426-3 від 30 липня 2008 р. «Про використання атомної енергії» регулює відносини, пов'язані з розміщенням, проектуванням, спорудженням, введенням в експлуатацію, експлуатацією, обмеженням експлуатаційних характеристик, продовженням терміну експлуатації та виведенням з експлуатації ядерної установки і (або) пункту зберігання, а також відносини, пов'язані з поводженням з ядерними матеріалами при експлуатації ядерної установки і (або) пункту зберігання, відпрацьованими ядерними матеріалами та (або) експлуатаційними радіоактивними відходами, та інші відносини у сфері використання атомної енергії. Також діє низка міжнародних договорів, конвенцій, угод, до яких приєдналася Республіка Білорусь та їх ратифікувала.

Потрібно зазначити, що за кількістю ядерних реакторів Україна посідає дев'яте місце у світі та п'яте в Європі. Всі реактори – з водо-водяними реакторами (ВВЕР). В Україні діють 4 атомні електростанції з 15 енергоблоками, одна з яких, Запорізька АЕС, з 6 енергоблоками загальною потужністю в 6000 МВт є найпотужнішою в Європі. За останніми роками відсоток ядерної енергетики складає 48 % від усього виробництва електроенергії в Україні.

У Білорусі будується перша Білоруська АЕС, яка складатиметься з двох енергоблоків сумарною потужністю до 2400 МВт. Місце її розміщення – Островецький майданчик Гродненської області. Для білоруської АЕС обраний російський проект «АЕС-2006» з ВВЕР третього покоління (це вдосконалені реактори підвищеної безпеки і надійності). Цей проект відповідає сучасним міжнародним вимогам з ядерної та радіаційної безпеки. Особливістю проекту АЕС-2006 є нова реакторна установка з додатковими

системами безпеки. За таким же проектом у Російській Федерації будуються Балтійська АЕС, Нововоронезька АЕС-2 і Ленінградська АЕС-2. Подібна станція вже експлуатується в Китаї – перша черга Тяньваньської АЕС, яка визнана експертами МАГАТЕ однією з кращих у світі за параметрами безпеки.

Відповідно до сучасних уявлень та міжнародної практики, радіоекологічний моніторинг повинен бути орієнтований на забезпечення радіаційної безпеки людини на соціально прийнятному рівні [4]. Соціально прийнятний рівень безпеки передбачає, що ризик від ядерних технологій і радіоактивного забруднення довкілля не повинен бути істотним додатком до сумарного ризику, якому піддана людина і середовище її існування у процесі життєдіяльності суспільства.

Сьогодні, на тлі поступового виходу глобальних радіоактивних забруднень на стаціонарний рівень, знизилася актуальність моніторингу глобальних випадіннь, разом із цим зросла значущість завдань із розвитку моніторингу об'єктів ядерно-промислового комплексу і забруднених радіонуклідами територій. Ці завдання, за сучасним розумінням [5; 6], повинні включати різноманітні гілки моніторингу: моніторинг навколишнього середовища в районах розташування підприємств ядерного паливного циклу та інших радіаційно-небезпечних об'єктів; моніторинг територій із підвищеними техногенними рівнями радіонуклідів у довкіллі, які сформувалися під час минулої діяльності радіаційно-небезпечних об'єктів, аварій, випробувань ядерної зброї; моніторинг для готовності до аварійних ситуацій з викидами радіоактивності в навколишнє середовище, в тому числі з трансграничним перенесенням радіоактивності, з урахуванням можливості нових радіаційних загроз, які пов'язані з радіаційними інцидентами, котрі можуть здійснюватися з терористичною метою; моніторинг глобальної зміни радіоактивності навколишнього середовища внаслідок техногенної діяльності.

Разом з цим організація радіоекологічного моніторингу включає декілька рівнів отримання даних, котрі відрізняються за терміном та детальністю отриманої інформації: алармовий, скринінговий, базовий та дослідницький моніторинг [4], але за змістом включає: моніторинг джерела забруднення, моніторинг об'єктів навколишнього середовища, моніторинг зовнішніх факторів (рис. 2).

Саме похідні характеристики викиду радіонуклідних токсикантів (кількість викинутого тепла, приземна активність радіонуклідів, щільність випадіннь) та природно-екологічні умови (кліматично-метеорологічні умови, біогенні радіонукліди, біотоп) визначають ті труднощі, з якими пов'язують неможливість швидкої орієнтації в радіаційній ситуації за результатами моніторингу. З іншого боку, як показано на рисунку, їх можна об'єднати в групу факторів, які визначають радіоекологічний (еколого-дозовий) ризик від певного джерела та шукати методи оперативного його визначення для перспективної оцінки радіоекологічної (дозової) ситуації.

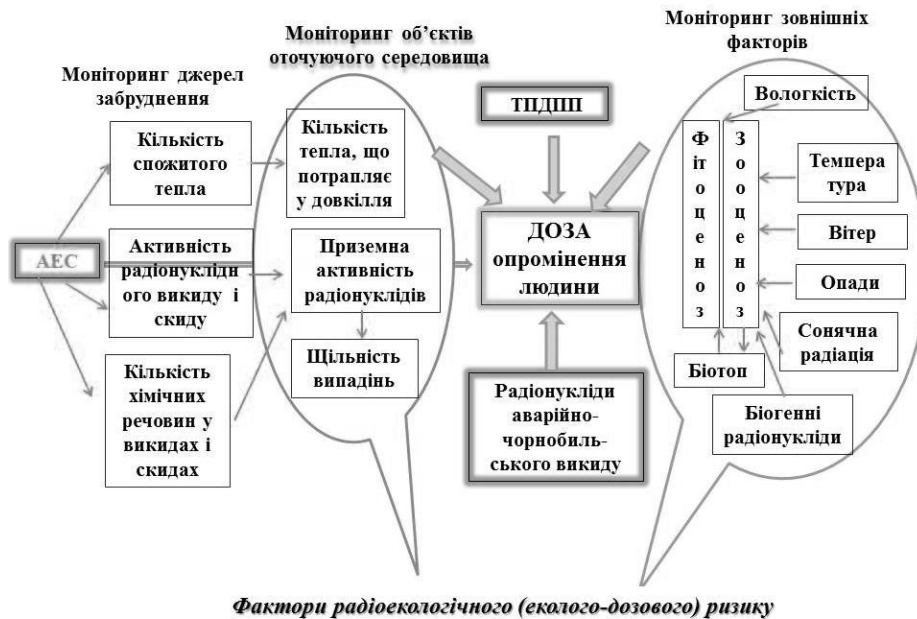


Рис. 2. Структурна схема радіаційного екологічного моніторингу в районі АЕС

Перспективний аналіз радіоекологічної ситуації через визначення радіоекологічного ризику. Для оперативної орієнтації у формуванні дозової ситуації нами пропонується використовувати метод, який заснований на визначенні показника, який ми пропонуємо називати радіоекологічним ризиком джерела випромінювання: **радіоекологічний ризик (або інтегральний еколого-дозовий ризик) R_{ω} джерела випромінювання ω** – це ефективна доза опромінення від певного джерела, нормалізована на вміст (приведена до одиниці вмісту) радіонуклідного полуюнта в об'єкті довкілля, який стоїть на початку дозоформуєного ланцюга. Одиницею вимірювання R_{ω} виступає $\text{Зв}(\text{Бк}/\text{м}^3)^{-1}$ – при потрапленні радіонуклідів у довкілля через їх викиди в атмосферне повітря; $\text{Зв}(\text{Бк}/\text{л})^{-1}$ – при потрапленні радіонуклідів у довкілля через їх скиди у водні об'єкти т. ін.

Якщо ризик визначається для встановлення річної ефективної дози опромінення людини, то це позначається як **річний радіоекологічний (еколого-дозовий) ризик $r_{\omega,1T}^* = r_{\omega}^*$** , якщо для очікуваної за життя людини – це виступатиме **очікуваним за життя людини радіоекологічним (еколого-дозовим) ризиком $R_{\omega,70T}^*$** .

При надходженні у довкілля суміші радіонуклідів, як часто відбувається в аварійних умовах, встановлювали базовий радіонуклід BR (або декілька) – який мав більшу вагомість у формуванні сумарної дози та в об'ємі викиду (скиду), та визначали поставарійний ефективний радіоекологічний ризик ($r_{post-accident}^*$) як зважену суму відповідних радіоекологічних ризиків за окремими радіонуклідами:

$$r_{post-accident}^* = r_{post-accident}^{BR} + \sum_{i \neq BR} r_{post-accident}^i \cdot \frac{r_{post-accident}^i}{r_{post-accident}^{BR}}$$

У результаті n -камерна модель формування дозового навантаження на людину може бути згорнута в 3-камерну: джерело викидів радіонуклідів – базовий об'єкт довкілля – людина.

Потрібно зазначити, що принцип приведення (нормалізації) дозового навантаження використовувався при оперативній орієнтації в рівнях радіаційного навантаження на населення, постраждалого внаслідок аварії на ЧАЕС, коли як такі коефіцієнти виступали ефективні дози, нормалізовані на щільність випадіння радіонуклідів; цей принцип також використовувався в узагальненій доповіді НКДАР ООН при аналізі даних аварії на ЧАЕС.

У запропонованому методі нормалізацію пропонується здійснювати за базовою радіоекологічною характеристикою (BRD), при визначенні якої виходить з таких принципів:

– цей показник повинен характеризувати радіонуклідне забруднення об'єкта довкілля, що стоїть на початку дозоформувального ланцюга,

– цей показник повинен враховувати інші чинники, які модифікують вплив радіаційного забруднення цього об'єкта на людину.

Формування дозового навантаження на людину в поставарійний період $E_{post-accident}^*$ має різні дозоформувальні фактори на первинній ранній стадії поставарійного періоду (коли діє уся суміш викинутих радіонуклідів), та на пізній (коли залишаються діяти середньо- та довгоживучі радіонукліди):

$$E_{post-accident}^* = E_{early_post-accident}^* + E_{later_post-accident}^* \quad (1)$$

де $E_{early_post-accident}^*$ – ефективна доза на ранній стадії поставарійного періоду, Зв ;

$E_{later_post-accident}^*$ – ефективна доза на пізній стадії поставарійного періоду, Зв .

Радіоекологічний (еколого-дозовий) ризик на ранній стадії післяаварійного процесу. За представленими в попередніх наших роботах результатами ретроспективного визначення ефективної дози від «аварійно-чорнобильських» радіонуклідів показано, що в перший післяаварійний рік основний внесок у дозу внутрішнього опромінення через інгаляцію і заковтування «аварійно-чорнобильських» радіонуклідів здійснював радіоактивний йод (^{131}I), а в подальшому – радіоцезій (^{137}Cs). Це обґрунтовало вибір ^{131}I базовим радіонуклідом BR на ранній стадії аварійного періоду, а ^{137}Cs – відповідно для віддаленого періоду.

На підставі проведених у південному регіоні України та висвітлених у нашій монографії [1] результатів дослідження формування радіаційного навантаження на людину при інгаляційному ($E_{chem,1986}^{inhal}$) та пероральному ($E_{chem,1986}^{ing}$) шляхах надходження «аварійно-чорнобильських» радіонуклідів у 1986 р., за базову радіоекологічну характеристику прийнято вміст реперного радіонукліду ^{131}I у повітрі (C_{131I}^{air}).

Ефективний радіоекологічний ризик $r_{early_post-accident}^{*inhal}$, який діагностує інгаляційну складову радіаційного навантаження на людину на ранній стадії післяаварійного періоду становить $(0,006 \pm 0,003) \cdot 10^{-3}$ Зв на $1 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ ^{131}I у повітрі, а ефективний радіоекологічний ризик, що діагностує харчову складову радіаційного навантаження на людину на ранній стадії післяаварійного періоду $r_{early_post-accident}^{*ing}$, дорівнює $(0,001 \pm 0,0005) \cdot 10^{-3}$ Зв на $1 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ ^{131}I у повітрі.

Аналогічним чином визначено ефективний радіоекологічний ризик забруднення території у перший післяаварійний рік в одиницях щільності радіонуклідних випадінь ρ_{137Cs} , $\text{Зв} / \text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$ (базовим радіонуклідом при цьому взято ^{137}Cs): $r_{early_post-accident}^{*ing} = (3,2 \pm 1,5) \cdot 10^{-6}$ Зв на $1 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2}$ ^{137}Cs . Це цілком відповідає й раніше отриманим результатам досліджень [7].

При такому підході формування дозового навантаження на ранній стадії післяаварійного періоду $E_{early_post-accident}^*$ можна представити у вигляді:

$$E_{early_post-accident}^* = r_{early_post-accident}^{*inhal} \cdot C_{131I}^{air} + r_{early_post-accident}^{*ing} \cdot \rho_{137Cs} \quad (2)$$

Радіоекологічний (еколого-дозовий) ризик на пізній стадії післяаварійного процесу. За представленими в попередніх наших роботах результатами визначення дозового навантаження на населення південного регіону України та результатами оцінки базових радіаційних характеристик можна визначити величини радіоекологічного (еколого-дозового) ризику для населення на пізній стадії після аварійного процесу, який зумовлений локальним затриманням аварійний радіонуклідів ^{137}Cs , ^{90}Sr на землях, де випасають молочну худобу та де знаходяться джерела питної води.

Базовою радіоекологічною характеристикою ($BRD_{later-accident}^{ing}$) при цьому виступають: активність ^{137}Cs у верхньому шарі ґрунту пасовищ (ρ_{137Cs} , $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$) та коефіцієнт переходу ^{137}Cs за ланцюгом «ґрунт пасовищ – кормові рослини – молоко» для населеного пункту j ($K_{137Cs,j}$, $\text{м}^2 \cdot \text{л}^{-1}$). Крім цього, у $BRD_{later-accident}^{ing}$ внесено параметр μ , який враховує час утримання молочної худоби в різних умовах: в умовах випасу на пасовищі та в умовах стійлового годування: $BRD_{later-accident}^{ing} = \rho_{137Cs} \cdot \mu$.

При проведенні безпосередніх розрахунків дані щодо величини коефіцієнту $K_{137Cs,j}$ можна брати з літературних джерел, а для Південного Степу зокрема можна використовувати величини $(0,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{л}^{-1}$, отримані за даними радіометрії проб ґрунту і трав'яної рослинності, відібраних у 1992-1993 рр., 1996 р. та 1999 р. Обчислений аналогічним чином

коефіцієнт $K_{137Cs,j}$, за даними радіометрії молока в 1986 р., показав величини на рівні $(2,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{л}^{-1}$, тобто у 3 рази більші ніж на середній та пізній стадіях післяаварійного періоду. Це можна пояснити тим, що на ранній стадії після аварійного періоду забруднення трав'яної рослинності відбувається переважно аерозольним шляхом, а у більш пізні роки – в основному через ґрунт. Параметр μ , з урахуванням організаційно-економічних змін ведення сільськогосподарської діяльності на початку 90-х років минулого століття, дорівнював $0,70 \pm 0,12$ (до цього часу цей показник складав $0,25 \pm 0,05$).

У результаті отримано, що ефективний радіоекологічний ризик забруднення території на пізній стадії післяаварійного періоду $r_{later_post-accident}^{*ing}$ в одиницях щільності радіонуклідних випадінь ($\text{Зв} / \text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$) може бути представлений експоненціальною часовою залежністю: $r_{later_post-accident}^{*ing} = r_{early_post-accident}^{*ing} \cdot e^{-0,235t}$. Для територій південного регіону України він змінюється від $(3,2 \pm 1,5) \cdot 10^{-6}$ (у 1986 р.) до $0,42 \pm 0,11 \cdot 10^{-6}$ (у 2007 р.) $\text{Зв} / \text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$ ^{137}Cs .

При такому підході формування дозового навантаження на пізній стадії післяаварійного періоду $E_{later_post-accident}^*$ можна представити у вигляді:

$$E_{later_post-accident}^* = r_{later_post-accident}^{*inhal} \cdot C_{131I}^{air} + r_{later_post-accident}^{*ing} \cdot \rho_{137Cs} \quad (3)$$

Верифікація результатів моделювання здійснена, використовуючи результати:

- визначення $E_{later_post-accident}^*$ за (1) при її стохастизації методом статистичного експерименту;
- визначення $E_{later_post-accident}^*$ відповідно до (3) за даними натурних досліджень із різних особистих та колективних господарств Миколаївської області.

Перевірку надійності такого моделювання здійснено методом стохастичного прогнозування (невизначеністю при цьому характеризуються ρ_{137Cs} , $K_{137Cs,j}$, μ , а також деякі їх похідні). При стохастичному прогнозуванні взято середні значення цих параметрів в межах границі їх змін, визначених за результатами проведених досліджень. Здійснюючи 100 випробувань моделі при параметрах, значення яких випадковим чином вибиралися з їхніх інтервалів змін, отримуємо результати визначення ефективної дози $E_{post-accident}^*$ у вигляді статистичних характеристик, які порівнюємо з результатами обчислення за даними натурних досліджень. Результати перевірки збіжності визначення річної

ефективної дози $E_{later_post-accident}^*$ за моделлю та за даними натурних досліджень для південно-західних районів України свідчили, що майже всі статистичні характеристики результатів визначення річної ефективної дози опромінення людини $E_{later_post-accident}^*$ були близькими між собою: наприклад, середнє значення $8,2 \pm 2,1$ ($6,4 \pm 2,5$) $мкЗв \cdot рік^{-1}$; медіанне значення $7,6$ ($7,8$) $мкЗв \cdot рік^{-1}$; модальне значення $7,4$ ($7,1$) $мкЗв \cdot рік^{-1}$. Таким чином, верифікація показала результати, які добре узгоджуються між собою.

Гістограму розподілу результатів моделювання наведено на рис. 4.

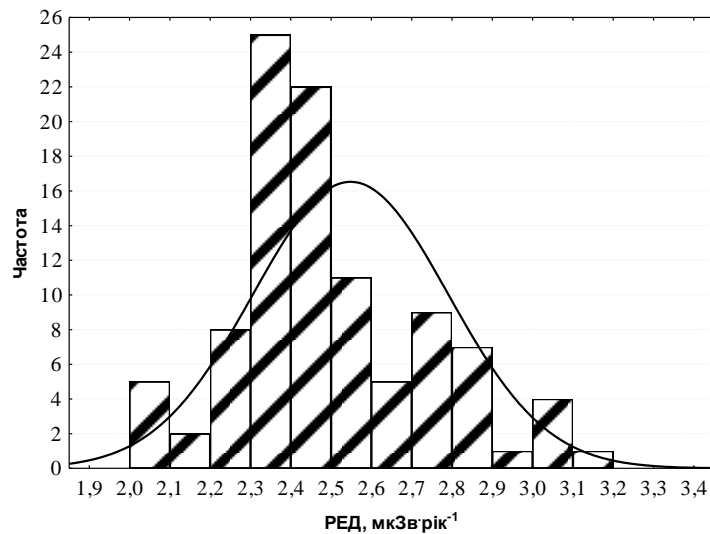


Рис. 3. Гістограма розподілу результатів стохастичного прогнозування річної ефективної дози (РЕД)

$E_{later_post-accident}^*$ на ранній стадії післяаварійного періоду для північно-західних районів Миколаївської області

Як видно з цього рисунка, цей розподіл результатів моделювання формування дозового навантаження від радіонуклідів «аварійно-чорнобильського» походження наближується до нормального закону розсіювання даних. Певні відхилення від нормального розподілу можна пояснити значною варіабельністю вихідних параметрів моделі.

Висновки. Системний аналіз методів проведення радіоекологічного моніторингу територій в Україні та Білорусі свідчив, що визначення рівнів дозового навантаження на людину, яка мешкає на території, що зазнає хронічного впливу радіонуклідних полутантів, потребує проведення моніторингу джерел забруднення, моніторингу об'єктів навколишнього середовища та моніторингу зовнішніх впливових факторів. Це вимагає систематичних трудомістких досліджень, супроводжується втратою часу та іншими незручностями.

Здійснено пошук апарату оперативного прогнозування дозового навантаження на людину як у нормальних умовах роботи АЕС, так і на випадок аварійної ситуації. Для оперативної орієнтації у формуванні дозової ситуації пропонується введення показника радіоекологічного ризику джерела

випромінювання, який визначається як *ефективна доза опромінення від певного джерела, приведена до одиниці вмісту радіонуклідного полутанта в об'єкті довкілля, який стоїть на початку дозоформуального ланцюга.*

У запропонованому методі нормалізацію пропонується здійснювати за базовою радіоекологічною характеристикою (BRD), яка повинна характеризувати радіонуклідне забруднення об'єкта довкілля, що стоїть на початку дозоформуального ланцюга, повинна враховувати інші чинники, які модифікують вплив радіаційного забруднення цього об'єкта на людину.

Для експрес-оцінки інтегрального дозового ризику при радіаційно-екологічному моніторингу територій поблизу АЕС встановлено базові радіоекологічні характеристики та базові радіонукліди на ранній та пізній стадіях післяаварійного періоду:

- на ранній стадії – базовими радіо-екологічними характеристиками виступають вміст радіонуклідів у повітрі та поверхнева активність радіонуклідів на ґрунті; базовими (реперними) радіонуклідами визнано ^{131}I , ^{137}Cs ;
- на пізній стадії – базовими радіоекологічними характеристиками виступають поверхнева активність

радіонуклідів у ґрунті та коефіцієнт переходу ^{137}Cs за ланцюгом «ґрунт пасовищ – кормові рослини – молоко»; базовими (реперними) радіонуклідами визнано ^{137}Cs .

Визначені величини середньорічного радіоекологічного ризику на ранній стадії післяаварійного періоду: $(0,006 \pm 0,003) \cdot 10^{-3}$ Зв на $1 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ ^{131}I у повітрі; $(3,2 \pm 1,5) \cdot 10^{-6}$ Зв на $1 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2}$ ^{137}Cs , а також

визначена експоненціальна часова залежність радіоекологічного ризику для пізньої стадії післяаварійного періоду (зі швидкістю зниження $e^{-0,235t}$ на $1 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2}$ ^{137}Cs) – можуть бути запропоновані для експрес-оцінки інтегрального дозового ризику в умовах радіоекологічно-небезпечної ситуації, пов'язаної з викидом радіонуклідних полютантів при аваріях на АЕС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Григор'єва Л. І. Формування радіаційного навантаження на людину в умовах півдня України: чинники, прогнозування, контрзаходи : монографія / Л. І. Григор'єва, Ю. А. Томілін. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2009. – 370 с.
2. Використання моделей оцінки радіоекологічного ризику та моделей біодозиметричної оцінки для оптимізації еколого-дозиметричного моніторингу територій при аваріях на ядерних об'єктах : Звіт з НДР (пром. за 2013 р.) // НІНРТЕБ ЧДУ імені Петра Могили. – 2013. – 46 с.
3. Використання моделей оцінки радіоекологічного ризику та моделей біодозиметричної оцінки для оптимізації еколого-дозиметричного моніторингу територій при аваріях на ядерних об'єктах : Звіт з НДР (закл. за 2013 р.) // НІНРТЕБ ЧДУ імені Петра Могили. – 2013. – 44 с.
4. Сазыкина Т. Г. К вопросу об оптимизации радиационного мониторинга окружающей среды на основе методологии анализа риска / Т. Г. Сазыкина, И. И. Крышев // Проблемы радиозологии и пограничных дисциплин. – Вып. 13. – 2010. – С. 33–52.
5. Крышев А. И. Оценка допустимого содержания радионуклидов в почве по уровням радиационного риска для населения с учетом целей землепользования / А. И. Крышев, К. Д. Бадалян, Т. Г. Сазыкина, И. И. Крышев // Проблемы радиозологии и пограничных дисциплин. – Вып. 8. – Екатеринбург, 2006. – С. 174–195.
6. Крышев В. И. Экологическая безопасность ядерно-экологического комплекса России / В. И. Крышев, Е. П. Рязанцев. – Москва, 2000.
7. Георгиевский В. Б. Экологические и дозовые модели при радиационных авариях : монографія / В. Б. Георгиевский. – К. : Наукова думка, 1994. – 237 с.

Рецензент: Кутлахмедов Ю. О., д. б. н., професор;
Петрук В. Т., д. т. н., професор.

© Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А.,
Григор'єв К. В., Огородник А. М.,
Кльосова А. О., Хомченко І. О., 2014

Дата надходження статті до редколегії 01.04.2014 р.

ГРИГОР'ЄВА Людмила Іванівна – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри біології та екологічної безпеки Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: радіаційна гігієна та дозиметрія, оцінка еколого-техногенного та радіаційного ризику, біологічні методи очищення екосистем.

ТОМІЛІН Юрій Андрійович – доктор біологічних наук, професор, директор Інституту радіаційної та екологічної безпеки Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: екологічна та радіаційна безпека техногенно-навантажених територій, біологічні методи очищення екосистем, автоматизовані системи радіаційного контролю.

ОГОРОДНИК Анна Миколаївна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри біології та екологічної безпеки Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: пошук методів зменшення тиску на довкілля від екологічних полютантів.

ГРИГОР'ЄВ Костянтин Володимирович – магістрант Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: радіоекологічна та екологічна безпека територій.

КЛЬОСОВА Анна Олександрівна – викладач кафедри біології та екологічної безпеки Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: проблеми моніторингу та оцінки екологічної безпеки територій.

ХОМЧЕНКО Ірина Олександрівна – студентка кафедри біології та екологічної безпеки Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, м. Миколаїв.