

Л.І. Григор'єва

Чорноморський державний  
університет  
ім. Петра Могили,  
Миколаїв

## Формування дози внутрішнього опромінення людини від скидів $^3\text{H}$ з АЕС

Forming internal exposure doses from effluents  
of  $^3\text{H}$  of atomic power plants

**Цель работы:** Определение размеров и реконструкция дозы облучения человека от  $^3\text{H}$ , поступающего со сбросами ЮУ АЭС в прилежащую водную систему, и установление параметров для оценки и прогнозирования уровней дозовой нагрузки на человека от  $^3\text{H}$ , сбрасываемого с ЮУ АЭС.

**Материалы и методы:** Материалами служили результаты радиометрии  $^3\text{H}$  в пробах воды из водной системы, прилегающей к ЮУ АЭС, за 1990–2004 гг. Радиометрию проводили жидкостно-сцинтилляционным методом на установках «БЕТА-2» и Quantulus-1020. Определение эффективной дозы облучения человека проводили на основе метода камерных моделей, прогнозирование — на основе принципа базовой радиологической характеристики и нормализованных величин.

**Результаты:** Определена величина эффективной дозы облучения человека от  $^3\text{H}$  при его сбросах с ЮУ АЭС и миграции по различным дозоформирующим цепям: через фильтрацию в подземных горизонтах, оросительную сеть, испарение с поверхности пруда-охладителя ЮУ АЭС.

**Выводы:** С помощью найденных величин дозовой цены сброса  $^3\text{H}$  с АЭС можно оценивать дозы облучения человека при произвольных уровнях загрязнения  $^3\text{H}$  технологических водоемов АЭС. Наиболее «ценным» (в единицах эффективной дозы облучения человека) является передвижение к человеку  $^3\text{H}$ , сброшенного с АЭС, по питьевой цепи миграции.

**Ключевые слова:** эффективная доза, дозовая цена, миграция  $^3\text{H}$ , АЭС.

**Мета роботи:** Визначення розмірів і реконструкція дози опромінення людини від  $^3\text{H}$ , який потрапляє у прилеглу водну систему зі скидами ПУ АЕС, та встановлення параметрів для оцінки і прогнозування рівнів дозового навантаження на людину від  $^3\text{H}$ , який скидається з АЕС.

**Матеріали і методи:** Як матеріал використовували результати радіометрії  $^3\text{H}$  у пробах води з водної системи, яка прилягає до ПУ АЕС, за 1990–2004 рр. Радіометрію  $^3\text{H}$  виконували рідинно-сцинтиляційним методом на установках «БЕТА-2» та Quantulus-1020. Визначення ефективної дози опромінення людини виконували на основі методу камерних моделей, прогнозування — на основі принципу базової радіологічної характеристики і нормалізованих величин.

**Результати:** Визначено величину опромінення людини від  $^3\text{H}$  при його скидах з ПУ АЕС і міграції за різними дозоформуєчими ланцюгами: через фільтрацію у підземних горизонтах, зрошувальну мережу, випаровування з поверхні ставка-охолоджувача ПУ АЕС.

**Висновки:** За допомогою визначених величин дозової ціни скиду  $^3\text{H}$  з АЕС можна оцінювати дози опромінення людини при різних рівнях вмісту  $^3\text{H}$  у технологічних водоймах АЕС. Найбільш «цінним» (в одиницях ефективної дози опромінення людини) є пересування до неї  $^3\text{H}$ , скинутого з АЕС, за питним ланцюгом.

**Ключові слова:** ефективна доза, дозова ціна, міграція  $^3\text{H}$ , АЕС.

Визначення, оцінка та прогнозування дози опромінення людини, яка мешкає на території, розташованій у безпосередній близькості до АЕС, є сьогодні актуальними, оскільки крім наукової значущості, мають великий громадський резонанс, головним чином, через негативне ставлення населення до атомної промисловості та віднесення усіх погіршень стану здоров'я людської популяції до впливу техногенних джерел іонізуючого випромінювання. Одним зі шляхів розв'язання цієї проблеми є визна-

чення та отримання можливості прогнозувати дозу опромінення людини від викидів і скидів радіоактивних речовин АЕС у нормальному режимі її експлуатації. В свою чергу, серед радіонуклідів, які скидаються АЕС у довкілля («станційних» радіонуклідів), все більшу увагу приділяють  $^3\text{H}$ , що зумовлене: а) його великою питомою вагою (до 60 %) у викидах АЕС [1]; б) високими міграційними властивостями  $^3\text{H}$  у водному середовищі, через що його відносять до найбільш радіаційно-небезпечних радіонуклідів, спроможних заб-

руднювати біосферу не лише у районі безпосереднього розміщення джерела, але й на значній відстані від нього [1–4]; в) різноманітністю біологічної дії  $^3\text{H}$  [4–6].

Результати досліджень відносно розповсюдження  $^3\text{H}$  у поверхневих водоймах та підземних питних джерелах у районі Південноукраїнської (ПУ) АЕС частково висвітлено у наших попередніх працях [4, 7–9], де встановлено, що за час експлуатації АЕС відбулися певні зміни у «третієвому» навантаженні на водну систему регіону. Ці зміни стосувалися підвищення рівня  $^3\text{H}$  у поверхневих водах регіону ще на початку 90-х років, пов'язаного з фільтрацією радіонукліда зі ставка-охолоджувача і ставків-відстійників АЕС та з великими об'ємами скиду каналізаційних вод АЕС після очищення у прилеглі річкові маловодні системи. Використання вод цих поверхневих водойм для потреб зрошення сільськогосподарських культур, характерного для ведення сільського господарства на півдні України, створило умови потрапляння «станційного»  $^3\text{H}$  до продуктів харчування людини. Фільтрація крізь підземні водоносні горизонти сприяла також підвищенню рівня  $^3\text{H}$  у підземних водах, розташованих нижче за природним стоком від ставків-відстійників [4, 8]. Це створило умови потрапляння «станційного»  $^3\text{H}$  до водних джерел, які людина використовує для задоволення питних потреб. Крім цього відомо, що через надходження забруднених підігрітих вод у непроточні водоймища для охолодження, відбувається найбільша міграція  $^3\text{H}$  до повітря [1], а це, в свою чергу, спричиняє інгаляційну складову дози опромінення людини від цього радіонукліда.

Зазначене свідчить про необхідність досліджень відносно формування дозового навантаження на людину від  $^3\text{H}$ , який потрапляє у довкілля зі скидними водами АЕС. Мета досліджень полягала у розробці камерної моделі формування дози опромінення людини від  $^3\text{H}$ , який надходить до водної системи зі скидами АЕС, реконструкції цієї дози за період експлуатації станції та встановленні параметрів, що сприятимуть реалізації можливості оцінки і прогнозування рівнів дозового навантаження на людину від «станційного»  $^3\text{H}$ .

## Методика дослідження

Матеріалами досліджень були обрані результати радіометрії  $^3\text{H}$  у пробах води з поверхневих водойм та підземних джерел (відповідно до схеми на рис. 1) за 1983–2004 рр., виконаної автором у Миколаївській науково-дослідній лабораторії з проблем радіаційної безпеки «Ларані» [10], а також підсумки досліджень лабораторії зовнішньої дозиметрії ПУ АЕС протягом 2000–2005 рр. [11–18]. Підготовку проб для радіометрії  $^3\text{H}$  виконували шляхом їх подвійної перегонки з  $\text{KMnO}_4$  [19, 20]. Радіометрію  $^3\text{H}$  виконували на рідинно-сцинтиляційній установці «БЕТА-2» у безкалійних кюветках Optifase з використанням рідинного сцинтилятора Optifase Hisafe-3 (мінімально-детектована активність  $^3\text{H}$  — 10 Бк/л), а також на радіометричній установці Quantulus-1020 (мінімально-детектована активність  $^3\text{H}$  — 3 Бк/л) методом рідинно-сцинтиляційного аналізу [19, 20].

Визначення ефективної дози опромінення людини виконано за методикою, викладеною у НТД «Безопасность» [21]. Для оцінки і прогнозування рівнів дозового навантаження від  $^3\text{H}$  застосовано методологію, яка базується на багатокамерних моделях [22], та принцип нормалізованої ефективної дози [23, 24].

## Результати та їх обговорення

На підставі результатів досліджень потрапляння  $^3\text{H}$  у прилеглі до ПУ АЕС водній системі [4, 7, 8] основними дозостворюючими шляхами міграції  $^3\text{H}$  у районі розташування Південноукраїнської АЕС є такі:

його надходження у прилеглі водні системи через ланцюги: рідкі скиди АЕС — ставки-відстійники — ставок-охолоджувач — річка Південний Буг; рідкі скиди АЕС — ставки-відстійники — дренажні води — річки Арбузинка і Мертвовід;

фільтрація  $^3\text{H}$  з технологічних водойм АЕС (ставка-охолоджувач, ставки-відстійники) через підземні водоносні горизонти;

випаровування (evaporation)  $^3\text{H}$  з дзеркала ставка-охолоджувача і наступне його осадження з опадами і туманами.

Блок-схему формування дозового навантаження на людину при потраплянні «станційного»  $^3\text{H}$  в довкілля з рідкими скидами ПУ АЕС можна представити у вигляді блок-схеми (рис. 2).

На підставі цього доза опромінення людини від  $^3\text{H}$ , який потрапляє у довкілля з рідкими скидами АЕС, може бути сформована:

через питну воду з підземних джерел — цей шлях зумовлений потраплянням радіонукліда у підземні водні джерела через міграцію  $^3\text{H}$  з

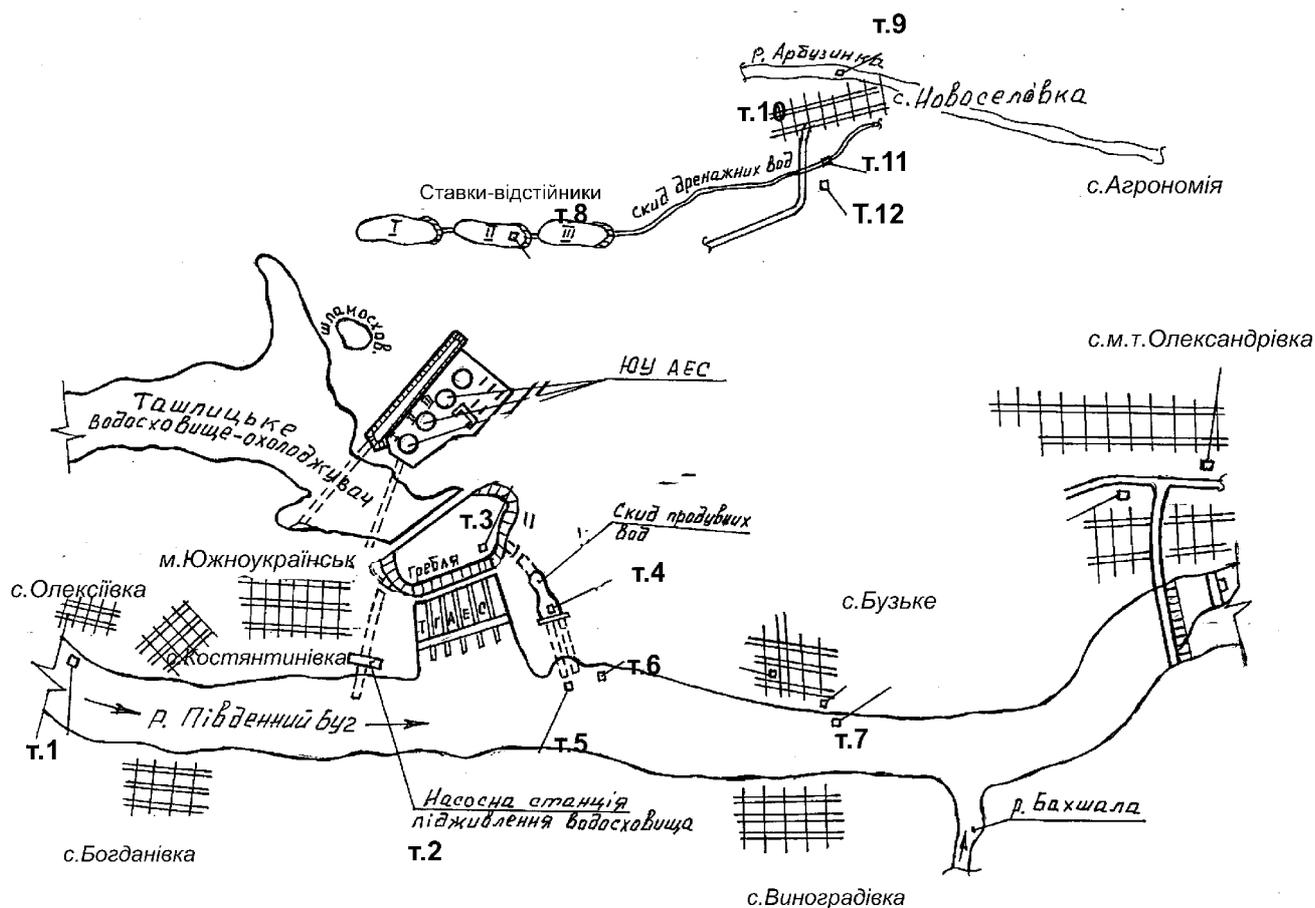


Рис. 1. Схема місць відбору проб води поверхневих водойм для радіометрії  $^3\text{H}$  у районі ПУ АЕС: т. 1 – р. Південний Буг, поблизу с. Олексіївки; т. 2 – р. Південний Буг, насосна станція підживлювання ставка-охолоджувача; т. 3 – ставок-охолоджувач, паводковий водоскид біля шлюзу водоймища; т. 4 – нижче фільтруючої дамби на паводковому випуску вод; т. 5 – р. Південний Буг, скид продувних вод ставка-охолоджувача; т. 6 – р. Південний Буг, контрольний створ (500 м від т. 4.); т. 7 – р. Південний Буг поблизу с. Бузьке (7 км нижче т. 4.); т. 8 – ставок-відстійник ГФК ПУ АЕС; т. 9 – р. Арбузинка поблизу с. Новоселівки, вище скидного каналу; т. 10 – р. Арбузинка поблизу с. Новоселівки, скид дренажних вод; т. 11 – р. Арбузинка, поблизу с. Новоселівки, 1 км нижче т. 9

Fig. 1. Scheme of the sites of water sample collection from superficial water reservoirs for  $^3\text{H}$  radiometry in the district of South Ukrainian Atomic Power Plant (SUAPP), т. 1 – the Southern Bug near the village of Oleksiyivka, т. 2 – the Southern Bug, pumping plant for replenishment of cooler pond, т. 3 – cooler pond, flood spillway at the sluice, т. 4 – lower the filtering dike of the flood spillway, т. 5 – the Southern Bug, spillway of blowdown water of cooler pond, т. 6 – the Southern Bug, controlling dam (500 m away from т. 4.), т. 7 – the Southern Bug, near the village of Buske (7 km lower т. 4.), т. 8 – setting pond of household and fecal water of SUAPP, т. 9 – the river of Arbuzynka near the village of Novoselivka upper the spillway canal, т. 10 – the river of Arbuzynka near the village of Novoselivka spillway of the drainage water, т. 11 – the river of Arbuzynka near the village of Novoselivka 1 km lower т. 9

фільтраційними водами ставка-охолоджувача АЕС (або ставків-відстійників АЕС);

споживання сільськогосподарських рослин, які накопичили  $^3\text{H}$  — цей шлях зумовлений потраплянням радіонукліда в рослини через зрошувальну воду або завдяки переносу парів  $^3\text{HNO}$  зі ставка-охолоджувача та аерозольного осадження  $^3\text{H}$  на листя рослин чи на ґрунт; вдихання парів окису  $^3\text{H}$  при їх випаровуванні зі ставка-охолоджувача ПУ АЕС.

Узагальнюючи результати дослідження вмісту  $^3\text{H}$  у підземних водних джерелах [3], ефективна доза від  $^3\text{H}$  через ланцюг: питна вода — людина мала таку диференціацію:

для населення, яке мешкає у районі, розташованому вище водоймища, куди скидалися забруднені  $^3\text{H}$  води, вона не перевищувала  $0,16 \text{ мкЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$ ;

для населення, яке мешкає на території до 10 км нижче за природним стоком від ставка-охолоджувача ПУ АЕС, — до  $0,27 \text{ мкЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$ ;

для населених пунктів, розташованих нижче за природним водним стіканням зі ставків-відстійників госпфекалій (ГФК) ПУ АЕС —  $0,25-0,60 \text{ мкЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$ , максимальні значення становили  $2,0-2,2 \text{ мкЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$ .

Узагальнення результатів дослідження вмісту  $^3\text{H}$  у зрошуваних сільськогосподарських куль-

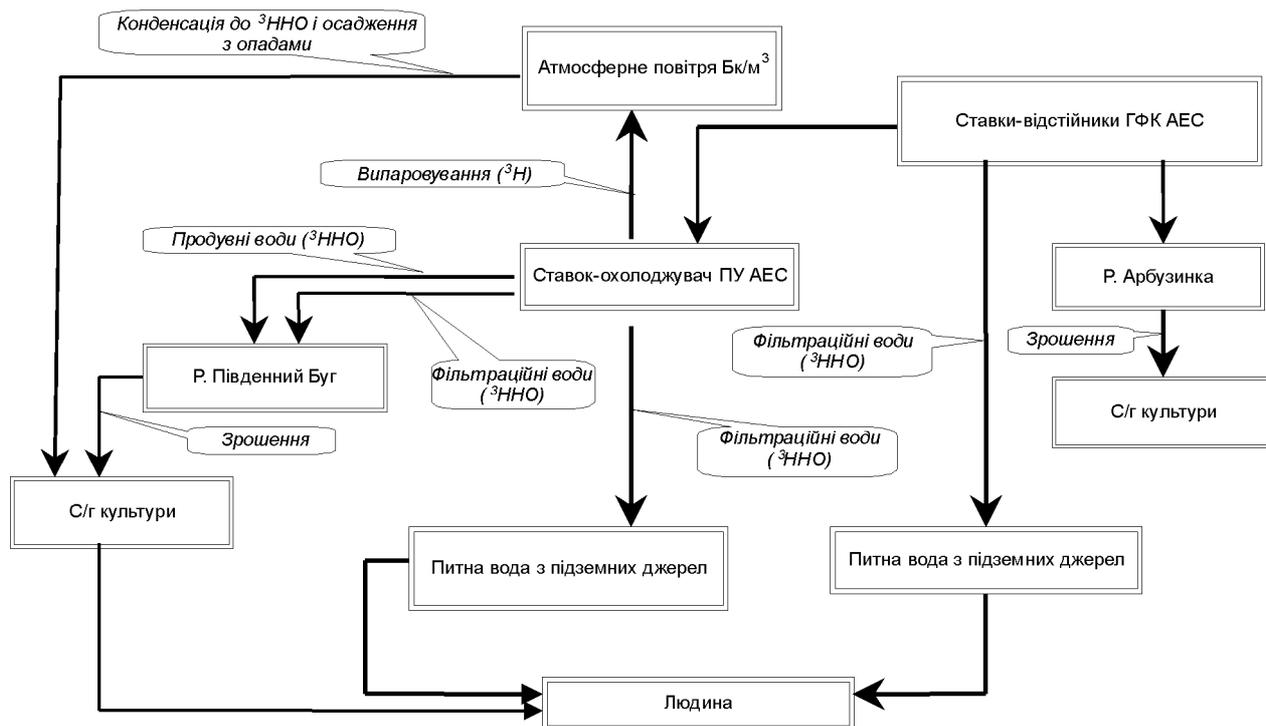


Рис. 2. Блок-схема міграції «станційного»  $^3\text{H}$  у довкіллі у районі ПУ АЕС  
 Fig. 2. Scheme of migration of plant  $^3\text{H}$  in the environment near SUAPP

турах при використанні води річок Південний Буг, Арбузинка - Мертвовід [9] показало, що формування дози внутрішнього опромінення від потрапляння  $^3\text{H}$  до людини цим шляхом відбувається під впливом різноманітних факторів, з яких головним є вміст радіонукліда у воді водоймищ зрошувальної системи. Величина ефективної дози опромінення людини від  $^3\text{H}$  за цим ланцюгом його міграції змінилася від  $7 \text{ мкЗв} \times \text{рік}^{-1}$  у 1991 р. — до  $0,4 \text{ мкЗв} \times \text{рік}^{-1}$  у 2004 р. Встановлено також, що потрапляння до людини цього радіонукліда «через зрошування» відбувається не лише при споживанні відповідних сільськогосподарських культур, а також й інгаляційним шляхом — при вдиханні окису тритію ( $^3\text{HNO}$ ) безпосередньо під час проведення зрошувальних робіт: через розбрикування зрошувальної води та вторинне пилоутворення з поверхні ґрунту.

Формування дози внутрішнього опромінення через ці шляхи характерне для людей, задіяних у польових та агротехнічних роботах на поливних землях. Ефективна доза внутрішнього опромінення людини від  $^3\text{H}$  через розбрикування зрошувальної води за період спостережень 1990–2004 рр. склала від 10 до 25, через вторинне пилоутворення — від 5 до  $35 \text{ мкЗв} \times \text{рік}^{-1}$ .

Інгаляційну складову дози опромінення від  $^3\text{H}$  при його випаровуванні з поверхні ставка-охолоджувача ПУ АЕС обчислено для людей, які можуть перебувати у цьому районі тривалий час — рибалок, спортсменів (які займаються греблею) та інших. Враховуючи середньостатистичні дані тривалості перебування людини у районі ставка-охолоджувача АЕС: при рибному лові (з розрахунку перебування людини 2 рази на тиждень по 8 годин на добу протягом 5 місяців) — 320 годин (0,037 року); при спортивних заняттях (по 2 години щоденно протягом 6 місяців) — 360 годин (0,041 року); річного об'єму вдихання повітря:  $7,3 \times 10^6 \text{ л}$  [13], через що річний об'єм вдихання парів  $^3\text{H}$  складе: при рибному лові —  $2,67 \times 10^5 \text{ л}$ , при спортивних заняттях —  $3,12 \times 10^5 \text{ л}$ , середньорічна величина ефективної інгаляційної дози від  $^3\text{H}$  складе: для рибалок  $0,007 \pm 0,001$ , для спортсменів —  $0,009 \pm 0,001 \text{ мкЗв} \times \text{рік}^{-1}$ ; сорбція  $^3\text{H}$  крізь шкіру відповідальна за величину ефективної дози  $0,0162 \pm 0,0010 \text{ мкЗв} \times \text{рік}^{-1}$ .

Прогнозування рівнів ефективної дози опромінення людини  $D_{\text{H,upcast}}^{\text{inhal(ing)}}$  від потрапляння  $^3\text{H}$  з рідкими скидами ПУ АЕС у прилеглі водні системи можливе при встановленні параметрів

переходу від радіаційних характеристик чинника опромінення (технологічних водоймищ ПУ АЕС) — до ефективної дози опромінення людини. Для такого переходу запропоновано використовувати величини дозових цін  $e_{3H,upcast}^{inhal(ing)}$ , які становлять ефективні дози опромінення людини, нормалізовані за одиницею вмісту  $^3H$  у технологічній водоймі (ставку-охолоджувачі чи ставках-відстійниках ПУ АЕС):

$$D_{3H,upcast}^{inhal(ing)} = e_{3H,upcast}^{inhal(ing)} \cdot F_{3H}, \quad (1)$$

де  $F_{3H}$  — показник забруднення  $^3H$  об'єкта довкілля як ланки дозового ланцюга (в даному випадку представляє собою вміст  $^3H$  у технологічній водоймі).

При визначенні  $e_{3H,upcast}^{inhal(ing)}$  для кожного із встановлених ланцюгів потрапляння  $^3H$  до людини зі скидними водами АЕС (технологічні водойми АЕС — питна вода — людина; технологічні водойми АЕС — зрошувальна вода — людина; ставок-охолоджувач АЕС — атмосферне повітря — людина) розроблено дозиметричні моделі і встановлено їх параметри:

$$e_{3H,upcast}^{inhal(ing)}(t) = \frac{1}{F_{3H}} \cdot e_{3H}^{inhal(ing)} \cdot BRD_{3H,upcast}^{inhal(ing)} \cdot \int_t [C_{upcast}^{3H}(t) \cdot \omega(t)] dt, \quad (2)$$

де  $e_{3H,ing}^{inhal}$  — дозова ціна потрапляння  $^3H$  до людини інгаляційним (inhal) чи пероральним (ing) шляхом, Зв/Бк;  $BRD_{3H,upcast}^{inhal(ing)}$  — базова радіологічна характеристика інгаляційного чи перорального шляху потрапляння  $^3H$  до людини через скиди (upcast) радіонукліда у прилеглі

водні системи;  $C_{upcast}^{3H}(t)$  — нормалізована за  $BRD_{3H,upcast}^{inhal(ing)}$  функція вмісту  $^3H$  в атмосферному повітрі, питній воді чи продуктах харчування;  $\omega(t)$  — об'єм вдихання повітря чи споживання питної води (продуктів харчування) за час  $t$ , л (кг) — взято з [25].

1. Визначимо  $e_{3H,upcast}^{inhal(ing)}$  для ланцюга: технологічні водойми АЕС — питна вода — людина. Дозову ціну скидів  $^3H$  з АЕС для нього позначимо  $e_{3H,upcast}^{dr-w}$ , Зв×рік<sup>-1</sup>/Бк×л<sup>-1</sup>.

Через те, що основним джерелом потрапляння  $^3H$  у підземні водоносні горизонти цього району є технологічні водойми АЕС (ставка-охолоджувач чи ставки-відстійники), до яких після очищення потрапляють скидні води АЕС, то як  $BRD_{3H,upcast}^{inhal(ing)}$  у цьому випадку буде розглядатися вміст  $^3H$  —  $C^{3H,p-cool}$  у ставка-охолоджувачі АЕС, Бк/л або  $C^{3H,p-bio}$  — у ставка-відстійника АЕС, Бк/л. Визначення нормалізованої функції  $C_{upcast}^{3H}(t)$ , яка в даному випадку становитиме «питну» функцію по відношенню до певної технологічної водойми (ставка-охолоджувача  $p\_cool$ , ставка-відстійника  $p\_bio$ ):

$$C_{3H,upcast}^{dr-w}(t) = C^{3H,dr-w}(t) / C^{3H,p-cool}(t) \quad \text{або}$$

$$C_{3H,upcast}^{dr-w}(t) = C^{3H,dr-w}(t) / C^{3H,p-bio}(t)$$

(де  $C^{3H,dr-w}(t)$  — вміст  $^3H$  у питному підземному джерелі, Бк×л<sup>-1</sup>) здійснено за результатами досліджень, що відображено на рис. 3. При цьому використано результати досліджень

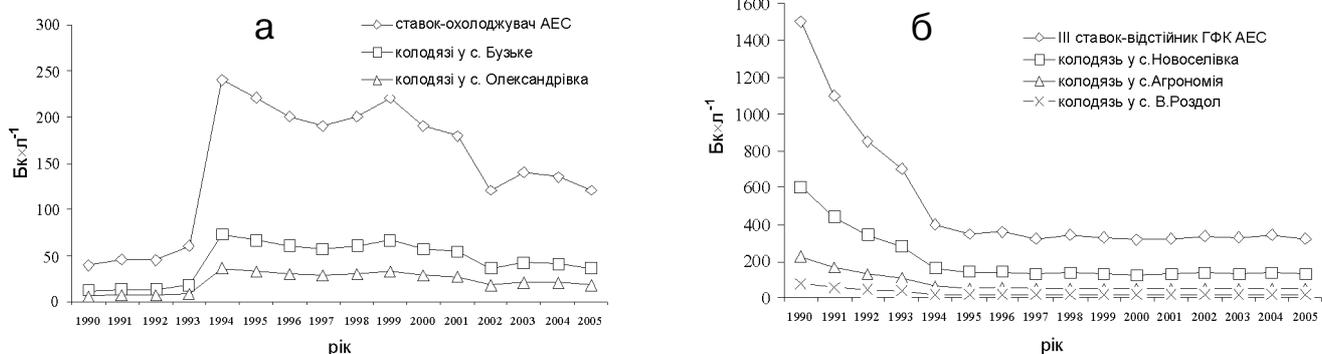


Рис. 3. Динаміка вмісту  $^3H$  у питних підземних джерелах, розташованих нижче за природним стоком від технологічних водойм ПУ АЕС: а — від ставка-охолоджувача, б — від ставка-відстійника

Fig. 3. The changes of  $^3H$  amount in underground potable water sources located lower the natural run-off from the technological water reservoirs of SUAPP: a — from cooler pond of the power plant, б — from setting pond of the power plant

вмісту  $^3\text{H}$  у підземних водних джерелах, найближче розташованих за річковим і підземним стоком до ставка-охолоджувача АЕС (с. Бузьке — 7 км, с. Олександрівка — 10 км) або — до ставків-відстійників АЕС (с. Новоселівка — 3 км, с. Агрономія, с. В. Роздол — 10–15 км).

Обчислена таким чином величина ефективної дози внутрішнього опромінення людини через питну воду, нормалізованої на вміст  $^3\text{H}$  у технологічних водоймищах ПУ АЕС  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{dr-w}}$ , склала діапазон значень  $(0,5-2,0)\times 10^{-9}$   $\text{Зв}\times\text{рік}^{-1}/\text{Бк}\times\text{л}^{-1}$ , де верхні межі з діапазону дають оцінку ефективної дози для питних підземних джерел, розташованих на відстані до 5 км за природним стоком від технологічного водоймища, а нижні — для відстані 6–15 км.

2. Визначимо  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{inhal(ing)}}$  для ланцюга: ставок-охолоджувач АЕС — атмосферне повітря — людина. Дозову ціну скидів  $^3\text{H}$  з АЕС за цим ланцюгом позначимо  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{evap}}$ ,  $\text{Зв}\times\text{рік}^{-1}/\text{Бк}\times\text{л}^{-1}$ .

Величину  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{evap}}$  знаходимо, використовуючи дані, наведені вище. Результати визначення  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{evap}}$  склали величини:  $0,037\times 10^{-9}$   $\text{Зв}\times\text{рік}^{-1}/\text{Бк}\times\text{л}^{-1}$  для рибалок (виходячи з тривалості перебування їх у районі ставка-охолоджувача АЕС близько 320 годин на рік);  $0,044\times 10^{-9}$   $\text{Зв}\times\text{рік}^{-1}/\text{Бк}\times\text{л}^{-1}$  — для спортсменів (з огляду на тривалість перебування їх у районі ставка-охолоджувача АЕС близько 360 годин на рік).

3. Визначимо  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{inhal(ing)}}$  для ланцюга: технологічні водойми АЕС — зрошувальна вода — людина. Дозову ціну скидів  $^3\text{H}$  з АЕС за цим ланцюгом позначимо  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{ir}}$ ,  $\text{Зв}\times\text{рік}^{-1}/\text{Бк}\times\text{л}^{-1}$ .

Оскільки за формування дози опромінення людини за цим ланцюгом відповідають, як показано вище, два шляхи: трофічний (зрошувальна вода — сільськогосподарські рослини (сільськогосподарська продукція) — людина), та інгаляційний (зрошувальна вода — ґрунт — атмосферне повітря — людина), величину  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{inhal(ing)}}$  визначено для обох шляхів міграції радіонукліда. Як  $BRD_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{inhal(ing)}}$  у даному випадку виступають: вміст  $^3\text{H}$  у зрошувальній воді  $C^3\text{H},\text{ir-w}$ ,  $\text{Бк}\times\text{л}^{-1}$  та  $k_{\text{ir-w}}^3\text{H}$  — коефіцієнт переходу  $^3\text{H}$  зі зрошувальної води у сільськогосподарську

рослину,  $\text{Бк}\times\text{кг}^{-1}/\text{Бк}\times\text{м}^2$  Величина ефективної дози опромінення людини, нормалізованої на  $1\text{Бк}\times\text{л}^{-1}$   $^3\text{H}$  у ставку-охолоджувачі ПУ АЕС,  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{ir}}$  склала:

$(0,2-0,8)\times 10^{-9}$   $\text{Зв}\times\text{рік}^{-1}/\text{Бк}\times\text{л}^{-1}$  — через споживання людиною зрошуваних сільськогосподарських рослин;

$(1,0-2,0)\times 10^{-9}$   $\text{Зв}\times\text{рік}^{-1}/\text{Бк}\times\text{л}^{-1}$  — через вторинне пилоутворення;

$(1,0-3,0)\times 10^{-9}$   $\text{Зв}\times\text{рік}^{-1}/\text{Бк}\times\text{л}^{-1}$  — через розбризкування води при зрошуванні сільськогосподарських культур.

Враховуючи всі попередні результати, величина ефективної дозової ціни внутрішнього опромінення людини через скиди  $^3\text{H}$  з ПУ АЕС у прилеглу водну систему  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{inhal(ing)}}$  дорівнює  $(2,6 \pm 0,7)\times 10^{-9}$   $\text{Зв}\times\text{рік}^{-1}/\text{Бк}\times\text{л}^{-1}$ . Це дає можливість здійснювати прогнозу оцінку радіаційної ситуації та дози опромінення людини від  $^3\text{H}$  при скидах радіонукліда з ПУ АЕС: для цього достатньо здійснити радіометрію проб води технологічного водоймища (ставка-охолоджувача  $C^3\text{H},\text{p-cool}$ , ставка-відстійника  $C^3\text{H},\text{p-bio}$ ) і за виразом (1), використовуючи величини ефективної дозової ціни  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{inhal(ing)}}$ , отримуємо орієнтовну оцінку величини ефективної дози опромінення людини внаслідок винесення  $^3\text{H}$  з рідкими скидами АЕС у водні системи регіону і пересування його за усіма можливими ланцюгами;

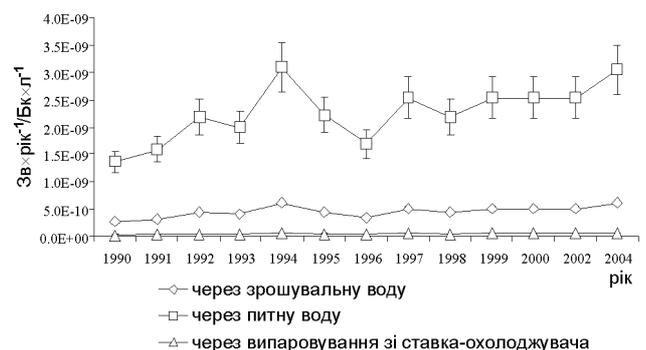


Рис. 4. Дозова ціна скидів  $^3\text{H}$  з ПУ АЕС для різних шляхів потрапляння до людини: через зрошувальну воду  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{ir}}$ , питну воду  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{dr-w}}$ , випаровування з поверхні ставка-охолоджувача  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{evap}}$

Fig. 4. Dose value of the  $^3\text{H}$  dumping of SUAPP for various ways of getting to the human organism: via the irrigation water  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{ir}}$ , via potable water  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{dr-w}}$ , evaporation from the surface of cooler pond  $e_{^3\text{H},\text{upcast}}^{\text{evap}}$

порівнювати «дозову цінність» різних чинників опромінення людини та радіаційні ситуації від одного джерела на різних територіях. Так, за визначеними величинами «дозової цінності» скидів  $^3\text{H}$  у прилеглу до ПУ АЕС водну систему можна диференціювати визначені ланцюги міграції  $^3\text{H}$  (технологічні водойми АЕС — питна вода — людина; технологічні водойми АЕС — зрошувальна вода — людина; ставок-охолоджувач АЕС — атмосферне повітря — людина) (рис. 4).

## ВИСНОВКИ

1. Визначено ефективну дозу опромінення людини від  $^3\text{H}$  через потрапляння рідких скидів ПУ АЕС у прилеглу водну систему різними шляхами пересування до людини: через питну, зрошувальну воду, випаровування з поверхні ставка-охолоджувача АЕС.

2. Встановлено дозові ціни скидів  $^3\text{H}$  з ПУ АЕС, що уможлиблює оцінку радіаційної ситуації у формі, максимально адаптованій до її сприйняття. Найціннішим, з боку формування величини дози опромінення людини від скидів  $^3\text{H}$  з АЕС, є пересування радіонукліда питним ланцюгом.

3. За допомогою визначених величин дозових цін скидів  $^3\text{H}$  з АЕС можна оцінювати дози опромінення людини при довільних рівнях забруднення  $^3\text{H}$  технологічних водоймищ АЕС, а також прогнозувати очікувану за життя людини дозу опромінення.

У подальшому планується дослідити і оцінити рівні ефективної дози опромінення людини від потрапляння  $^3\text{H}$  у довкілля з газоаерозольними викидами і рідкими скидами ПУ АЕС, визначити колективну дозу від викидів і скидів  $^3\text{H}$  з АЕС та оцінити радіаційний ризик для населення, яке мешкає у зоні впливу викидів і скидів радіоактивних речовин з АЕС.

## Література

1. Телушкіна Е. Л. Тритий во внешней среде вблизи предприятий ядерного топливного цикла // Гиг. и санитар. — 1983. — № 3. — С. 62–65.
2. Егоров Ю.А., Казаков С.В. Радиационный экологический мониторинг в регионе АЭС // Радиационная безопасность и защита АЭС. — Вып. 9. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — С. 49.
3. Романов Г.И. Поведение в окружающей среде и биологическое действие трития // Итоги науки и техники. Радиационная биология. — М., 1983. — Т. 4. — С. 3–26.

4. Томілін Ю.А., Григор'єва Л.І. Радіонукліди у водних екосистемах південного регіону України: міграція, розподіл, накопичення, дозове навантаження на людину і контрзаходи: Монографія. — Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2008. — 320 с.
5. Журавлев В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ. — М., 1990. — 75 с.
6. Муксимова К.Н., Воронин В.С. Отдаленные последствия хронического действия окиси трития // Биологические эффекты малых доз радиации. — М., 1983. — С. 70–73.
7. Григор'єва Л.І. // Наук. праці. — 2007. — Т. 73. — Вип. 60. — 2007. — Миколаїв: МДГУ. — С. 66–71.
8. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А. // УРЖ. — 1999. — Т. VII, вип. 4. — С. 433–437.
9. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А. Радіоекологічні та радіобіологічні аспекти зрошувального землеробства півдня України: Монографія. — Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2006. — 264 с.
10. 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.
11. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС (за 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 гг.) // Звіт ПУ АЕС, м. Южноукраїнськ. — 2001–2005 рр. — 75 с.
12. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС: Отчет ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 1999. — 23 с.
13. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС: Отчет ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 2000. — 28 с.
14. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС: Отчет ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 2001. — 24 с.
15. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС: Отчет ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 2002. — 27 с.
16. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС: Отчет ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 2003. — 26 с.
17. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС: Отчет ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 2004. — 25 с.
18. Отчет по радиационной обстановке в районе расположения ЮУ АЭС: Отчет ЛВД ОРБ ОП ЮУ АЭС. — 2005. — 29 с.
19. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды // Под ред. А.Н. Марья, А.С. Зыковой. — М., 1980. — 336 с.
20. Рысьев О.А., Жарков А.В., Долгирев Е.И. Сцинтилляционный метод измерения трития в биологии и медицине. — М.: Атомиздат, 1987. — 136 с.
21. Методы расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучения окружающего населения // НТД «Безопасность в атомной энергетике». — Т. 1. — ч. 1. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 112 с.
22. Кутлахмедов Ю.О. та ін. Основи радіоекології: Навч. посіб. / Ю.О. Кутлахмедов, В.І. Корогодін, В.К. Кольтовер // За ред. В.П. Зотова — К.: Вища шк., 2003. — 319 с.
23. Георгиевский В.Б. Экологические и дозовые модели при радиационных авариях: Монография. — К.: Наук. думка, 1994. — 237 с.
24. Ковган Л., Ліхтарьов І. // Ядер. и радиац. безоп. — 2004. — Т. 7, вып. 3. — С. 13–25.
25. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ–97). — К.: МОЗ України, 1998. — 135 с.

Надходження до редакції 21.10.2009.

Прийнято 12.11.2009.

Адреса для листування:

Григор'єва Людмила Іванівна,  
Чорноморський державний університет ім. Петра Могили,  
вул. 68 Десантників, 10, Миколаїв, 54003, Україна