

Л. І. Григор'єва<sup>1,\*</sup>, А. О. Алексєєва<sup>1</sup>, А. В. Коваль<sup>2</sup><sup>1</sup> Чорноморський національний університет імені Петра Могили МОН України, Миколаїв, Україна<sup>2</sup> Львівський державний університет безпеки життєдіяльності МОН України, Львів, Україна

\*Відповідальний автор: kafecobezpeka@ukr.net

**РОЗРАХУНОК ДОПУСТИМИХ РІВНІВ РАДІОНУКЛІДІВ У ЗРОШУВАЛЬНІЙ ВОДІ  
ПРИ ЗРОШЕННІ СПОСОБОМ ДОЩУВАННЯ**

За багаторічними радіоекологічними дослідженнями здійснено аналіз формування радіоекологічної ситуації на території екосистем зрошуваного землеробства, де зрошення здійснюється водами з басейнів річок Дніпро та Південний Буг. Показано вплив продувних та фільтраційних вод технологічних водойм з підвищеним вмістом <sup>137</sup>Cs і <sup>3</sup>H на формування радіоекологічної ситуації у водоймищах-резервуарах зрошувальних систем. За результатами натурного експерименту на сільськогосподарських угіддях Миколаївщини з вивчення переходу радіонуклідів у сільськогосподарські культури при зрошенні та за результатами польових досліджень на території цих екосистем зрошуваного землеробства розраховано допустимі рівні <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>106</sup>Ru, <sup>54</sup>Mn, <sup>58</sup>Co, <sup>110m</sup>Ag, <sup>65</sup>Zn, <sup>3</sup>H у зрошувальній воді при зрошенні способом дощування. Результати досліджень можуть доповнити нормативами радіаційної безпеки екологічні критерії якості зрошувальної води.

*Ключові слова:* радіаційна безпека, зрошувальна вода, допустимі рівні, сільськогосподарські культури.

**1. Вступ**

Для зрошення сільськогосподарських угідь джерелом водного забезпечення у світі виступають води різного походження: поверхневі (річкові, озерні, водосховищ), підземні, поворотні (стічні, що надходять з колекторно-дренажної мережі, тепло- та енергоцентралей, промислових підприємств). При цьому, незалежно від походження, усі води, що використовуються для зрошення, повинні відповідати загальній вимозі – не погіршувати властивостей ґрунтів та бути безпечними за вмістом токсичних та небезпечних речовин як для сільськогосподарської рослини, так і для людини.

Нормативи якості зрошувальних вод в Україні регламентуються рядом державних нормативно-технічних документів [1 - 4]. Однак вимоги до якості зрошувальної води за вмістом радіоактивних речовин в останніх відсутні, хоча сформульовані екологічні критерії мають їх передбачати [3, 4].

Разом з цим для зрошення на півдні України використовується вода з поверхневих водойм, яка може бути забруднена радіонуклідами через рідкі скиди Южно-Української (ЮУАЕС) та Запорізької АЕС (ЗАЕС) (9 енергоблоків), гірничодобувних і гірничопереробних комбінатів у Кіровоградській та Миколаївській областях, підприємств Криворізького гірничопромислового басейну та ін. На це вказують результати оцінки впливу діяльності ВП АЕС ДП «НАЕК «Енергоатом» на навколишнє середовище [5], дослідження присутності радіонуклідів у ставку-охолоджу-

вачі ЮУАЕС, р. Південний Буг, Каховському водосховищі [6]. На радіонуклідний склад поверхневих водойм можуть впливати рідкі скиди від АЕС Болгарії, Румунії, Угорщини, що розташовані в безпосередній близькості; скиди та відходи з природними радіонуклідами від підприємств нафтової, газової, вугільної промисловості і теплової енергетики. Державним гігієнічним нормативом [7] встановлено допустимі рівні вмісту у харчових продуктах тільки для <sup>137</sup>Cs та <sup>90</sup>Sr.

Метою досліджень є визначення необхідності доповнення екологічного критерію якості зрошувальної води критерієм радіаційної безпеки та розрахунок допустимих рівнів радіонуклідів у зрошувальній воді при зрошенні сільськогосподарських культур способом дощування.

**2. Методи дослідження**

Проаналізовано нормативно-технічні документи щодо критеріїв оцінки якості зрошувальної води в Україні [1 - 4].

Проаналізовано матеріали польових радіоекологічних досліджень в агроекосистемах низов'я басейну річок Південний Буг та Дніпро, магістральних каналів і водоймищ зрошувальних систем Дніпровського басейну (Інгулецької, Каховської, Краснознаменської), Південно-Бузького басейну (Південно-Бузької, Білоусівської) протягом 1985 - 2010 рр. [8, 9]. Також проаналізовано матеріали досліджень, виконаних авторами, при проведенні натурного експерименту з вивчення переходу радіонуклідів у сільськогосподарські культури (на експериментальних ділянках

© Л. І. Григор'єва, А. О. Алексєєва, А. В. Коваль, 2020

сільських господарств Миколаївської області з різними типами ґрунтів: чорноземів південних, чорноземів каштанових, чорноземів звичайних) [8], розробці нормативно-технічного документу [10], а також результати досліджень інших авторів [11 - 13].

Натурний експеримент було поставлено на території трьох господарств Миколаївщини: у зоні ґрунтів «чорноземи південні», «чорноземи каштанові», «чорноземи звичайні», на яких вирощувалися озима пшениця («Безоста-1»), люцерна («Херсонська-1»), буряк («Бордо-237»), кукурудза («ВІР-42МВ»), томати («Волгоградські»), огірки («Ніженські») і капуста («Амагер») [8]. У процесі вегетації сільськогосподарських культур для кожної з них виконувався увесь агротехнологічний комплекс робіт (щодо сівби, міжрядкової обробки, внесення добрив і знищення бур'янів) згідно із складеними технологічними картами; строки та об'єми зрошення – відповідно до встановлених норм (табл. 1).

**Таблиця 1. Зрошувальні норми нетто (способом дощування) для головних сільськогосподарських культур Миколаївської області, тис. м<sup>3</sup>/га [14]**

Культура	Дощування
Озима пшениця	3,0
Буряк	4,1
Багаторічні трави	5,1
Картопля	2,6
Томати, овочі	4,8

Експериментальне зрошення здійснювалося за допомогою спеціальної установки «Інгул» із середньоструйними дощувальними апаратами «Роса-1», для розбризкування способом дощування на експериментальних ділянках спеціально приготовлених розчинів радіоактивних речовин (<sup>134,137</sup>Cs, <sup>89,90</sup>Sr, <sup>106</sup>Ru, <sup>54</sup>Mn, <sup>58</sup>Co, <sup>110m</sup>Ag, <sup>65</sup>Zn). Вибір цих радіонуклідів обумовлений присутністю їх у викидах та скидах АЕС. Повністю методу експерименту викладено у [8].

Польові радіоекологічні дослідження виконувалися на сільськогосподарських угіддях зрошувальних систем півдня України, джерелом водного живлення яких виступали річки Дніпро та Південний Буг з притоками та русловими водоймищами. Для кожного зрошуваного масиву досліджувалися на вміст радіонуклідів: 1) проби води з магістральних каналів та з водоймищ системи; з річок, водами яких наповнюються водоймища цих зрошувальних систем – Інгулець, Дніпро, Південний Буг, Арбузинка, Мертвовод, а також з водоймищ – джерел радіонуклідного забруднення (ставок-охолоджувач ЮУАЕС, ЗАЕС); 2) проби ґрунту; 3) проби сільськогоспо-

дарських культур (озима пшениця, люцерна, морква, буряк, томати, огірки), що вирощувалися на зрошуваних угіддях. Досліджено також хімічний склад води, що надходила на зрошувані ділянки. Повні результати досліджень представлені в монографії [9].

За результатами натурального експерименту і матеріалами польових досліджень вивчали зміни вмісту радіонуклідів у сільськогосподарських культурах, вирощених в умовах зрошення, залежно від їхнього вмісту у зрошувальній воді, що дало змогу визначити коефіцієнти переходу радіонуклідів у сільськогосподарські культури: коефіцієнт переходу радіонуклідів зі зрошувальної води  $KP_{1i}$  ( $10^{-3}$  (Бк/кг вологої маси)/(Бк/м<sup>2</sup> угідь)) – співвідношення між питомою радіоактивністю біомаси (Бк/кг вологої маси) і надходженням радіоактивності на одиницю площі зрошуваних сільськогосподарських угідь (кБк/м<sup>2</sup>);  $KP_{2i}$  ( $10^{-3}$  (Бк/кг вологої маси)/(Бк/м<sup>2</sup> угідь)) – співвідношення між питомою радіоактивністю біомаси (Бк/кг) і поверхневою радіоактивністю ґрунту (кБк/м<sup>2</sup>). Враховуючи ці коефіцієнти переходу та відповідно до [14] надходження радіонуклідів і до людини, можна визначити

$$P = \sum_i \sum_j (KP_{1ij} \cdot N_j + KP_{2ij} \cdot C_{soil_i}) \cdot \Delta_{ij} \cdot M_j \cdot b,$$

де  $P$  – річне надходження радіонуклідів до організму людини при споживанні сільськогосподарських культур, вирощених в умовах зрошення, Бк/рік;  $N_j$  – норма зрошення сільськогосподарської культури  $j$ , л/м<sup>2</sup> (див. табл. 1);  $C_{soil_i}$  – поверхнева активність радіонукліда  $i$  у ґрунті, Бк/м<sup>2</sup>;  $M_j$  – споживання дорослою людиною продукту харчування, виробленого із сільськогосподарської культури  $j$ , кг/рік.

За результатами експерименту та польових досліджень значення коефіцієнта  $KP_{2i}$  виявилися близькими для різних зрошуваних масивів і в даному дослідженні не використовуються.

На підставі визначених коефіцієнтів переходу  $KP_{1i}$  здійснено розрахунок допустимих рівнів радіонуклідів у зрошувальній воді через представлену авторами формулу з використанням кінетичних моделей транспорту радіонуклідів у травному тракті людини:

$$CC_i = \frac{H}{R_i \cdot \sum_j (KP_{1ij} \cdot N_j \cdot M_j)},$$

де  $CC_i$  – контрольний рівень радіонукліда  $i$  у воді, Бк/л;  $H$  – границя ефективної дози,  $1 \cdot 10^{-5}$  Зв/рік;  $R_i$  – дозова ціна радіонукліда  $i$ , Зв/Бк; усі інші позначення наведено вище.

Референтними значеннями прийнято максимальні за 2007 - 2017 рр. величини споживання продуктів харчування населенням Миколаївської області [15 - 19], кг/рік: хліб – 125, молоко і молочні продукти – 602, м'ясо і м'ясопродукти – 42, картопля – 154, овочі, фрукти – 150. Припущено, що населення споживає продукти харчування, а худоба фураж – лише зі зрошуваних угідь. Вміст радіонуклідів у тваринній продукції розраховано за коефіцієнтами переходу радіонуклідів з добового раціону молочної худоби в молоко і в м'ясо [14], при цьому об'єм добового споживання корму молочною худобою взято за даними Миколаївського виробничого об'єднання «Еліта» [19]: у зимовий період близько 29 кг, з яких силос – 20, комбікорм, сіно люцерни – 9; у літній період близько 46 кг, з яких люцерна та різні трави – 40, комбікорм – 6.

### 3. Результати та обговорення

За матеріалами польових радіоекологічних досліджень в агроекосистемах низов'я басейну річок Південний Буг та Дніпро, магістральних каналів і водоймищ зрошувальних систем Дніпровського басейну (Інгулецької, Каховської, Краснознаменської), Південно-Бузького басейну (Південно-Бузької, Білоусівської) протягом 1985 - 2010 рр. визначено, що формування радіаційної ситуації на території зрошуваних масивів пов'язане з природничо-гідрологічними умовами регіону, річковими стоками «аварійно-чорнобильських» радіонуклідів, стічними водами Криворізького гірничопромислового басейну і викидами та скидами «станційних» радіонуклідів ЮУАЕС та ЗАЕС [9]. В основному, вміст радіонуклідів у зрошувальній воді визначався вмістом цих радіонуклідів у річковій воді, якою наповнюються водоймища і канали зрошувальних систем. Так, забруднення  $^{90}\text{Sr}$  дніпровської води позначилося на підвищенні його вмісту у воді Інгулецької зрошувальної системи: протягом 1987 - 1997 рр. амплітуда коливань вмісту цього радіонукліда у зрошувальній воді становила  $80 \div 400$  мБк/л (при тому, що у період до Чорнобильської аварії вміст  $^{90}\text{Sr}$  у воді рееструвався на рівні  $4 \div 7$  мБк/л). Вплив винесення до р. Інгулець забруднених  $^{137}\text{Cs}$  і мінералізованих вод з Криворізького гірничопромислового басейну (у районі водозабору зрошувальної системи вміст цього радіонукліда був від 2 до 10 разів вищим за його вміст у дніпровській воді  $3 \div 6$  мБк/л) позначився на рівні вмісту цього радіонукліда у зрошувальній воді ( $12 \div 15$  мБк/л).

Детальний аналіз процесів надходження  $^{137}\text{Cs}$  у Південно-Бузьку зрошувальну систему дозво-

лив виявити два шляхи. Перший шлях – це пересування радіонукліда за течією р. Південний Буг під час дощів та танення снігу через змив радіонукліда із забруднених після аварії на ЧАЕС території північних регіонів України і Миколаївської області. Разом з гідрологічними особливостями цієї ділянки річки (наявністю порогів) і присутністю в річці значних обсягів біоорганічної маси це створювало умови до затримання  $^{137}\text{Cs}$  водяними компонентами річки. Другий шлях – це винесення радіонукліда з продувними водами ставка-охолоджувача. Цьому процесу сприяла низька сорбція  $^{137}\text{Cs}$  водяними компонентами водоймища через високу мінералізацію води останнього [9]. За другим шляхом у р. Південний Буг з продувними та фільтраційними водами ставка-охолоджувача ЮУАЕС виносився також  $^3\text{H}$ : різниця в активностях  $^3\text{H}$  між цими водними об'єктами становила 10 - 25 разів (у р. Південний Буг вище випуску продувних вод не перевищувала  $7 \div 10$  Бк/л, у ставку-охолоджувачі становила в різні роки від 100 до 250 Бк/л) [8].

Водним джерелом Білоусівської зрошувальної системи є річка Мертвовод (притока р. Південний Буг) та Арбузинка (притока р. Мертвовод). Для цього масиву основний шлях надходження радіонуклідів пов'язаний з фільтраційними водами з очисних споруд ЮУАЕС. Так, протягом 10 років (до 1993 р.) відбувалося пряме надходження до р. Арбузинка рідких скидів ЮУАЕС, після їхнього відстоювання та очищення в біоставках господарсько-фекальної каналізації ЮУАЕС. Каналізаційні води містили  $^3\text{H}$  у концентрації від 1500 - 2000 Бк/л у 1985 - 1990 рр. до 700 Бк/л у 1993 р., а  $^{137}\text{Cs}$  – на рівні 0,04 - 0,1 Бк/л. Завдяки значній перевазі обсягу каналізаційних вод (11 млн  $\text{м}^3$ /рік) над річковими (6 млн  $\text{м}^3$ /рік) перші відігравали переважну роль у формуванні річкового стоку р. Арбузинка. Це призвело до забруднення  $^{137}\text{Cs}$  і  $^3\text{H}$  води та водяних компонентів річки на далекій відстані від місця скиду і відповідним чином позначилося на вмісті цих радіонуклідів у воді Білоусівської зрошувальної системи:  $^{137}\text{Cs}$  за час спостережень коливався від 0,03 до 0,08 Бк/л,  $^3\text{H}$  – від 600 Бк/л у 1990 р. до 100 Бк/л у 1993 р. [8].

Аналіз результатів радіоекологічних досліджень проб ґрунту з угідь цих зрошувальних систем показав, що депонування радіонуклідів у ґрунті відбувалося пропорційно вмісту їх у зрошувальній воді та вимиванню радіонуклідів з верхнього шару ґрунту в нижні за рахунок дощів, талих вод і перерозподілу в результаті орання. Але динаміка цих процесів мала особливості для екосистем зрошуваного землеробства.

Питома активність  $^{90}\text{Sr}$  в орному шарі ґрунту з угідь Інгулецької зрошувальної системи, при по-

ступовому зменшенні від 20 ÷ 40 Бк/кг у 1987 - 1988 рр. до 3 ÷ 4 Бк/кг у 2000 - 2010 рр., залишилася майже вдвічі вищою за активність  $^{90}\text{Sr}$  у ґрунті Південно-Бузької та Білоусівської зрошувальних систем. Якщо основна частина (до 60 %)  $^{90}\text{Sr}$  у ґрунті зрошуваних угідь наприкінці 1980-х років зосереджувалася у верхньому орному шарі, то у 2000 - 2010 рр. ситуація змінилася:

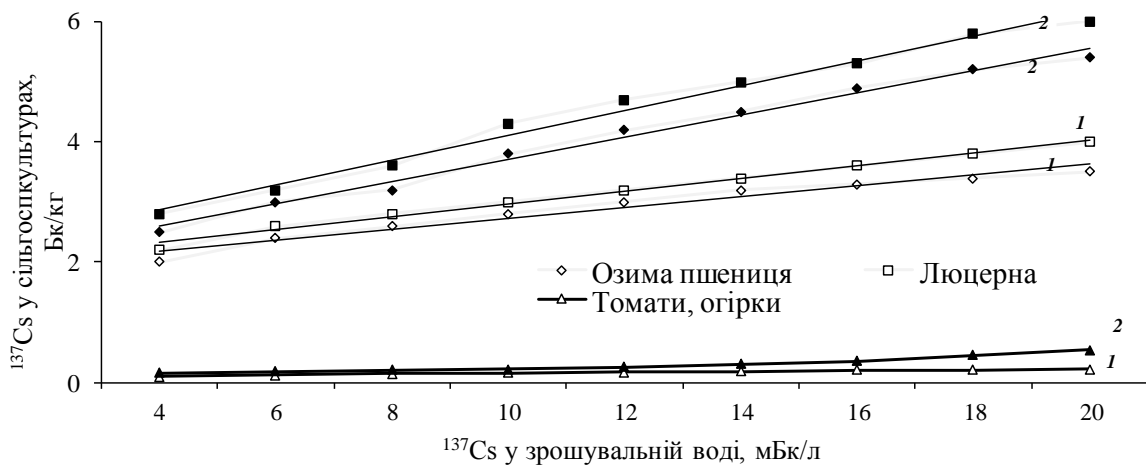
забруднення  $^{90}\text{Sr}$  ґрунту Південно-Бузької та Білоусівської зрошувальних систем мало відрізнялася з глибиною (10 - 60 см), не перевищуючи 1 - 2 Бк/кг;

в умовах Інгулецької зрошувальної системи відбулося накопичення  $^{90}\text{Sr}$  у верхньому шарі 0 - 20 см та у шарі 50 - 60 см;

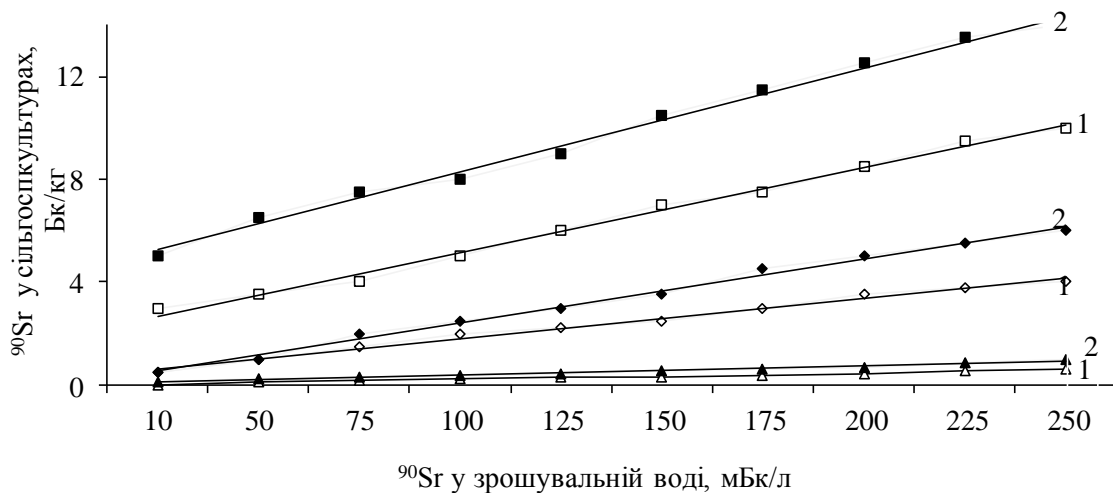
більш високі рівні (у 1,5 - 2,0 рази) питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунті протягом усього часу характерні для Південно-Бузької зрошувальної системи;

вміст  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунті Білоусівської зрошувальної системи та його зміни з часом схожі зі станом, характерним для Південно-Бузької зрошувальної системи.

Різниця у величинах питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у зрошувальній воді та в ґрунті відповідним чином вплинула на рівні активності радіонуклідів у сільськогосподарських культурах. Так, більш високі показники накопичення радіонуклідів (особливо  $^{137}\text{Cs}$ ) зі зрошувальної води притаманні сільськогосподарським культурам з угідь Південно-Бузької зрошувальної системи (рис. 1). За вмістом  $^3\text{H}$  у сільськогосподарських культурах, як і в зрошувальній воді, відзначилася Білоусівська зрошувальна система. Кореляційно-регресійний аналіз зв'язку між забрудненням  $^3\text{H}$  води Білоусівської зрошувальної системи та його активністю в сільськогосподарських культурах показав, що зрошувані культури вміщують у собі від 70 до 90 %  $^3\text{H}$  зрошувальної води (рис. 2).



а



б

Рис. 1. Взаємозв'язок між активністю  $^{137}\text{Cs}$  (а) та  $^{90}\text{Sr}$  (б) у зрошуваних сільськогосподарських культурах та у воді Інгулецької (1) і Південно-Бузької (2) зрошувальних систем.

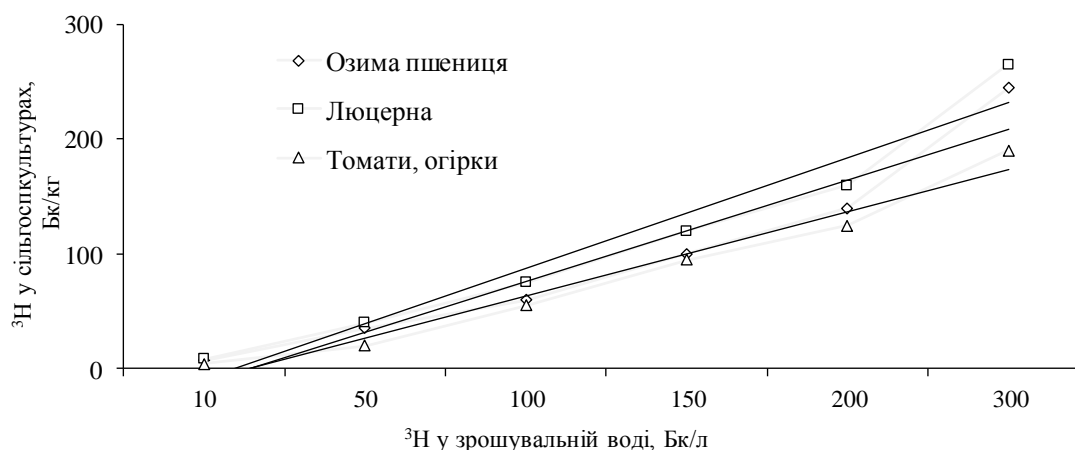


Рис. 2. Взаємозв'язок між активністю  $^3\text{H}$  у зрошуваних сільськогосподарських культурах та у воді Білоусівської зрошувальної системи.

Ці радіоекологічні дослідження дали підставу для пошуку механізму регулювання і обмеження вмісту радіонуклідів у зрошувальній воді.

Базуючись на термінології нормативно-технічних документів [3, 4], можна сформулювати екологічний критерій вмісту радіоактивних речовин у зрошувальній воді: якість води для зрошення встановлюється з урахуванням необхідності забезпечення безпечного радіаційно-гігієнічного стану й охорони навколишнього середовища від забруднення. Аналогічним чином оцінку якості води для зрошення за цим критерієм можна визначити як таку, що проводиться з метою попередження радіаційного впливу на компоненти природного середовища та здоров'я людини. Таким чином, екологічний критерій вмісту радіоактивних речовин у зрошувальній воді, як і інші екологічні критерії [3, 4], має дві складові: перша – радіаційно-екологічна – це забезпечення екосистеми від надмірного забруднення, яке впливало б на стійкість і надійність екосистеми (радіоекологічна безпека зрошуваль-

них вод); друга – радіаційно-гігієнічна – це забезпечення здоров'я людини (радіаційна безпека зрошувальних вод). Перша частина цього критерію має передбачати екосистемні принципи оцінки надійності агроекосистеми зрошуваного землеробства та застосування радіоекологічних підходів до оцінки якості зрошувальної води. Друга частина заснована на радіаційно-гігієнічних принципах і передбачає забезпечення радіаційної безпеки продукції зрошуваного землеробства.

Нами розраховано допустимі рівні радіонуклідів у зрошувальній воді за радіаційно-гігієнічними принципами. За результатами натурного експерименту з вивчення переходу радіонуклідів у сільськогосподарські культури, який було поставлено на експериментальних ділянках сільських господарств Миколаївської області, визначено  $k_{1i}$  для радіонуклідів  $^{134,137}\text{Cs}$ ,  $^{89,90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{110m}\text{Ag}$ ,  $^{58}\text{Co}$ . Величини цих коефіцієнтів переходу наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Коефіцієнти переходу радіонуклідів  $k_{1i}$  у сільськогосподарські культури зі зрошувальної води при зрошенні способом дощування (результати натурного експерименту)

Сільськогосподарська культура	$^{89}\text{Sr}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{58}\text{Co}$	$^{60}\text{Co}$	$^{54}\text{Mn}$	$^{65}\text{Zn}$	$^{110m}\text{Ag}$	$^{106}\text{Ru}$
Озима пшениця (зелена маса)	23,1	20,1	8,0	9,0	36,0	36,0	16,7	35,9	18,0	1,4
Озима пшениця (зерно)	4,0	4,0	2,0	2,0	11,0	11,0	9,0	32,0	0,5	1,4
Люцерна (зелена маса)	7,0	7,0	6,0	6,0	4,0	4,0	3,0	25,0	0,8	0,7
Буряк, морква (коренеплоди)	0,8	0,8	1,0	1,0	2,5	2,5	4,0	2,0	0,4	0,2
Картопля (коренеплоди)	0,7	0,7	1,1	1,1	2,5	2,5	4,0	3,0	0,4	0,2
Томати, огірки (плоди)	1,5	1,5	1,0	1,0	0,6	0,6	0,2	3,0	–	0,2

Примітка. Коефіцієнт варіації 50 %.

Результати визначення коефіцієнтів переходу  $k_{1i}$  за даними багаторічних польових досліджень [8] на зрошуваних масивах трьох систем (Інгулецької, Південно-Бузької, Білоусівської) для радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^3\text{H}$  наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Коефіцієнти переходу радіонуклідів  $k_{11}$  у сільськогосподарські культури зі зрошувальної води (результати польових досліджень)

Сільськогосподарська культура	Зрошувальна система								
	Інгулецька			Південно-Бузька			Білоусівська		
	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^3\text{H}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^3\text{H}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^3\text{H}$
Озима пшениця (зелена маса)	16,1	8,1	–	6,5	20,5	–	6,8	21,0	2,0
Озима пшениця (зерно)	4,0	4,0	–	5	10,0	–	6	12,0	0,2
Люцерна (зелена маса)	6,5	7,0	–	6,5	11,5	–	7,0	26,0	1,7
Буряк, морква (коренеплоди)	0,8	1,0	–	1,8	2,2	–	1,9	2,5	1,2
Картопля (коренеплоди)	0,8	1,1	–	1,3	1,8	–	1,3	1,8	1,5
Томати, огірки (плоди)	1,8	1,5	–	2,5	2,0	–	2,5	2,0	1,3

Примітка. Коефіцієнт варіації 50 %.

З табл. 3 видно, що коефіцієнти переходу радіонуклідів у зрошувані сільськогосподарські культури відрізнялися до 2 - 3 разів між зрошувальними масивами. Це пояснюється різним мінеральним складом води для досліджених зрошувальних систем і встановленим за нашими дослідженнями впливом мінералізації зрошувальної води на перехід радіонуклідів у сільськогосподарські культури [20]: для більш мінералізованих вод (загальна мінералізація більше 2000 мг-екв/л) Інгулецької зрошувальної системи, у порівнянні з водами Південно-Бузької системи (загальна мінералізація не більше 800 мг-екв/л), коефіцієнти переходу радіонуклідів у зрошувані сільськогосподарські культури виявилися більш низькими.

У цілому дані табл. 2 і 3 показали схожість величин коефіцієнтів переходу радіонуклідів у сільськогосподарські культури, вирощені в умовах зрошення, що отримано в умовах натурального експерименту та при польових дослідженнях.

Результати розрахунку допустимих концентрацій радіонуклідів у зрошувальній воді, які отримано при використанні в розрахунку максимальних значень коефіцієнтів переходу  $k_{11}$ , наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Величини допустимих концентрацій радіонуклідів у воді, що використовується для зрошення сільськогосподарських угідь способом дощування

Радіонуклід	Бк/л	Радіонуклід	Бк/л
$^{89}\text{Sr}$	0,15	$^{54}\text{Mn}$	44
$^{90}\text{Sr}$	0,25	$^{58}\text{Co}$	20
$^{134}\text{Cs}$	0,70	$^{60}\text{Co}$	8
$^{137}\text{Cs}$	1,00	$^{65}\text{Zn}$	1,0
$^{110}\text{Ag}$	6,0	$^{106}\text{Ru}$	38
$^3\text{H}$	387	–	–

Виходячи з методики розрахунку ці рівні мають забезпечувати неперевищення границі річної ефективної очікуваної дози опромінення населення 1 мЗв за рахунок внутрішнього опромінення від суміші радіонуклідів  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,

$^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^3\text{H}$ , що надходять протягом року в організм людини з продуктами харчування, які отримано із сільськогосподарських культур, вирощених в умовах зрошення способом дощування.

Таким чином, ці визначені величини гранично-допустимих концентрацій радіонуклідів у зрошувальній воді можуть бути підставою для оцінки якості зрошувальних вод за радіаційно-гігієнічними принципами і доповнити екологічні критерії якості цих вод. Тобто регламентуючий документ [3] може бути доповнено нормативами для оцінки якості зрошувальної води за показником вмісту радіонуклідів: 1) оцінку якості зрошувальної води за показником вмісту радіонуклідів здійснюють з метою попередження радіаційного впливу на компоненти агроєкосистеми та забезпечення радіаційної безпеки сільськогосподарської продукції рослинництва, тваринництва, врожаю; 2) гранично-допустимі концентрації радіонуклідів у зрошувальній воді (при зрошенні способом дощування) наведено у табл. 4.

#### 4. Висновки

1. У чинних державних нормативно-технічних документах відсутні нормативи як щодо радіоекологічної безпеки води, яка використовується для зрошення сільськогосподарських культур.

2. Надходження радіонуклідів у сільськогосподарські культури, які вирощуються при зрошенні з використанням води відкритих водойм, можливе через змив із забруднених територій; надходження зі стічними водами Криворізького гірничопромислового басейну, з продувними та фільтраційними водами технологічних водоймищ АЕС. Вміст радіонуклідів у зрошуваних сільськогосподарських культурах визначається в основному їхнім вмістом у зрошувальній воді.

3. Визначено коефіцієнти переходу  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^3\text{H}$  у сільськогосподарські культури зі зрошувальної води при зрошенні способом дощування за ре-

зультатами натурального експерименту і результатами польових досліджень. Різниця між величинами коефіцієнтів переходу, отриманих експериментальним шляхом і в результаті польових досліджень, визначалася впливом мінералізації зрошувальної води: для зрошувальної води більшої мінералізації коефіцієнти переходу нижчі.

4. Представлено величини допустимих рівнів  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^3\text{H}$  у зрошувальній воді при зрошенні сільськогосподарських культур способом дощування, які можуть бути використані як нормативи радіаційної безпеки зрошувальної води.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ВНД 33-5.5-02-97. Якість води для зрошення. Екологічні критерії (Харків: Державний комітет України по водному господарству, 1998) 15 с.
2. ДСТУ 2730-94. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії (К.: Держстандарт України, 1994) 14 с.
3. ДСТУ 7286:2012. Якість природної води для зрошення. Екологічні критерії (К.: Мінекономрозвитку України, 2013) 14 с.
4. ДСТУ 7591:2014. Зрошення. Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії (К.: Держстандарт України, 2015) 16 с.
5. Поточний звіт про стан радіаційної безпеки та оцінку впливу діяльності ВП АЕС ДП «НАЕК «Енергоатом» на навколишнє середовище у 2017 році (К., 2016) 31 с.
6. Матеріали з обґрунтування безпеки продовження терміну експлуатації енергоблоків «1,2 ВП «Запорізька АЕС» у понадпроектний строк (К., 2015) 46 с.
7. ДГН 6.6.1.1-130-2006. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді. Затверджено Наказом МОЗ України № 256 від 3 травня 2006 р. Зареєстровано в МЮУ за № 845/12719 17 липня 2006 р.
8. Л.І. Григор'єва, Ю.А. Томілін. *Радіоекологічні та радіобіологічні аспекти зрошуваного землеробства півдня України* (Миколаїв: Видавничий центр МДГУ ім. Петра Могили, 2006) 264 с.
9. Ю.А. Томілін, Л.І. Григор'єва. *Радіонукліди у водних екосистемах південного регіону України: міграція, розподіл, накопичення, дозове навантаження на людину і контрзаходи* (Миколаїв: Видавничий центр МДГУ ім. Петра Могили, 2008) 225 с.
10. Временные рекомендации по контрольным (допустимым) концентрациям (КК) радионуклидов в воде, используемой для полива сельхозугодий в районах АЭС. Утверждено Минздрав СССР от 14.01.1988 г.
11. Є.В. Козленко. Вплив умов формування води Інгулецької зрошувальної системи на агрономічні та екологічні показники її якості. *Зрошуване землеробство* 56 (2011) 164.
12. О.П. Майдебуря, Р.А. Вожегова, І.М. Гудков. Міграція радіонуклідів на зрошуваних ґрунтах півдня України. *Зрошуване землеробство* 59 (2013) 136.
13. А.Н. Якименко. Оценка качества воды Киевского водохранилища по показателям радиационной безопасности. *Химия и технология воды* 35 (2013) 341.
14. Р.М. Бархударов и др. Рекомендации по расчету уровней возможного поступления радионуклидов населению с продуктами питания, полученными на поливных угодьях при использовании воды водоема-охладителя для нужд орошения (К., 1988) 7 с.
15. Дані споживання продуктів харчування у 2007 р. (Миколаїв: Миколаївське статистичне управління, 2007) 10 с.
16. Дані споживання продуктів харчування у 2010 р. (Миколаїв: Миколаївське статистичне управління, 2010) 9 с.
17. Дані споживання продуктів харчування у 2011 р. (Миколаїв: Миколаївське статистичне управління, 2011) 9 с.
18. Дані споживання продуктів харчування у 2017 р. (Миколаїв: Миколаївське статистичне управління, 2017) 10 с.
19. Звіт про виробництво продукції тваринництва, кількість сільськогосподарських тварин і забезпеченість їх кормами (Миколаїв, ВО «Еліта», 2010) 27 с.
20. Л.І. Григор'єва. Якість зрошувальної води: підходи до розробки радіаційно-гігієнічних критеріїв. *Зб. наук. праць Одеської держ. академії технічного регулювання і якості* 2(7) (2015) 9.

Л. І. Григор'єва<sup>1,\*</sup>, А. А. Алексєєва<sup>1</sup>, А. В. Коваль<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Черноморський національний університет імені Петра Могили МОН України, Николаев, Україна

<sup>2</sup> Львівський державний університет безпеки життєдіяльності МОН України, Львів, Україна

\*Ответственный автор: kafecobezpeka@ukr.net

### РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО УРОВНЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЕ ПРИ ОРОШЕНИИ СПОСОБОМ ДОЖДЕВАНИЯ

По результатам многолетних радиоэкологических исследований осуществлен анализ формирования радиоэкологической обстановки на территории экосистем орошаемого земледелия, где орошение осуществляется



водами из бассейнов рек Днепр и Южный Буг. Показано влияние продувочных и фильтрационных вод технологических водоемов с повышенным содержанием  $^{137}\text{Cs}$  и  $^3\text{H}$  на формирование радиоэкологической обстановки в водоемах-резервуарах оросительных систем. По результатам натурального эксперимента на сельскохозяйственных угодьях Николаевщины по изучению перехода радионуклидов в сельскохозяйственные культуры при орошении и результатам полевых исследований на сельскохозяйственных угодьях этих экосистем орошаемого земледелия определены допустимые уровни  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^3\text{H}$  в оросительной воде. Результаты исследований могут дополнить экологические критерии качества оросительной воды нормативами содержания радиоактивных веществ.

*Ключевые слова:* радиационная безопасность, оросительная вода, нормативы, сельскохозяйственные культуры.

L. I. Grygorieva<sup>1,\*</sup>, A. O. Alekseeva<sup>1</sup>, A. V. Koval<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

<sup>2</sup> Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

\*Corresponding author: kafecobezpeka@ukr.net

### CALCULATION OF THE ACCEPTABLE RADIONUCLIDE LEVEL IN IRRIGATION WATER DURING IRRIGATION BY THE METHOD OF RAIN

According to the results of many years radioecological studies, the analysis was performed of the formation of radioecological environment on the territory of irrigated agriculture ecosystems where irrigation is carried out by water from the basins of the Dnieper and Southern Bug rivers. Influence of the purging and filtration waters of technological reservoirs with high content of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^3\text{H}$  on the formation of radioecological situation in reservoirs of irrigated agriculture ecosystems is shown. According to the results of a full-scale experiment on the study of the transition of radionuclides to agricultural crops under irrigation and on the results of field studies on the agricultural lands of this irrigation ecosystems in the south of Ukraine, the permitted levels of  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^3\text{H}$  in irrigation water were determined. The results of studies can supplement the environmental criteria of the quality of irrigation water standards of the content of radioactive substances.

*Keywords:* radiation safety, irrigation water, norms, agricultural crops.

#### REFERENCES

1. Departmental Normative Document 33-5.5-02-97. Water quality for irrigation. Environmental criteria (Kharkiv: State Committee of Ukraine for Water Management, 1998) 15 p. (Ukr)
2. State Standard of Ukraine 2730-94. Quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria (Kyiv: State Standard of Ukraine, 1994) 14 p. (Ukr)
3. State Standard of Ukraine 7286:2012. Quality of natural water for irrigation. Environmental criteria (Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine, 2013) 14 p. (Ukr)
4. State Standard of Ukraine 7591:2014. Irrigation. Water quality for drip irrigation systems. Agronomic, environmental and technical criteria (Kyiv: State Standard of Ukraine, 2015) 16 p. (Ukr)
5. Current Report on the Radiation Safety State and Environmental Impact Assessment of NPP of SE "Energoatom" in 2017 (Kyiv, 2016) 31 p. (Ukr)
6. Materials for substantiation of safety extension of the lifetime of power units of "1.2 Zaporizhzhya NPP" beyond the project deadline (Kyiv, 2015) 46 p. (Ukr)
7. State Hygiene Standards 6.6.1.1-130-2006. Allowable levels of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  radionuclides in food and drinking water. Approved by the Ministry of Health of Ukraine by Decree No. 256 of May 3, 2006. Registered by the Ministry of Justice of Ukraine under No. 845/12719 on July 17, 2006. (Ukr)
8. L.I. Grygorieva, Yu.A. Tomilin. *Radioecological and Radiobiological Aspects of Irrigated Agriculture in the South of Ukraine* (Mykolaiv: Petro Mohyla Mykolaiv State University Publishing Center, 2006) 264 p. (Ukr)
9. Yu.A. Tomilin, L.I. Grygorieva. *Radionuclides in Aquatic Ecosystems of the Southern Region of Ukraine: Migration, Distribution, Accumulation, Dose Loading on Humans and Countermeasures* (Mykolaiv: Petro Mohyla Mykolaiv State University Publishing Center, 2008) 225 p. (Ukr)
10. Temporary recommendations for control (permissible) concentrations (CC) of radionuclides in the water used for irrigation of farmland in the areas of the nuclear power plant. Approved by the USSR Ministry of Health on 14.01.1988 (Rus)
11. E.V. Kozlenko. Influence of water formation conditions of Ingulets irrigation system on agronomic and ecological indicators of its quality. *Zroshuvane Zemlerobstvo* 56 (2011) 164. (Ukr)
12. O.P. Maidebura, R.A. Vozhegova, I.M. Gudkov. Radionuclide migration on irrigated soils of southern Ukraine. *Zroshuvane Zemlerobstvo* 59 (2013) 136. (Ukr)



13. A.N. Yakimenko. Estimation of water quality of the Kiev reservoir by indices of radiation safety. [Journal of Water Chemistry and Technology 35 \(2013\) 189.](#) (Rus)
14. R.M. Barkhudarov et al. Recommendations on calculating the levels of possible receipt of radionuclides in the population with food obtained in irrigated lands using water from a reservoir-cooler for irrigation purposes (Kyiv, 1988) 7 p. (Rus)
15. Food Consumption Data in 2007 (Mykolaiv: Mykolaiv Statistical Office, 2007) 10 p. (Ukr)
16. Food Consumption Data in 2010 (Mykolaiv: Mykolaiv Statistical Office, 2010) 9 p. (Ukr)
17. Food Consumption Data in 2011 (Mykolaiv: Mykolaiv Statistical Office, 2011) 9 p. (Ukr)
18. Food Consumption Data in 2017 (Mykolaiv: Mykolaiv Statistical Office, 2017) 10 p. (Ukr)
19. Report on the production of livestock products, the number of farm animals and their supply of feed (Mykolaiv, Elita, 2010) 27 p. (Ukr)
20. L.I. Grigoryeva. Irrigation water quality: approaches to the development of radiation and hygiene criteria. [Scientific Papers of Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality 2\(9\) \(2016\) 6.](#) (Ukr)

Надійшла / Received 30.07.2019