

## ПРОГНОЗУВАННЯ МІГРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДІВ У СИСТЕМІ ВОДА - ГРУНТ – РОСЛИНА В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ

*Г.П. Перепелятніков, кандидат біологічних наук,*

*Г.М. Каштан, науковий співробітник*

*Український науково-дослідний інституту цивільного захисту МНС України*

*Прогнозовано накопичення радіонуклідів у чорноземному глинистому ґрунті зрошуваних угідь за довгострокового використання для зрошення забрудненої  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  води і час, після якого на зрошуваних угіддях надходження радіонуклідів в урожай кореневим шляхом буде однакове з надходженням із води.*

**Ключові слова:** *чорнозем, зрошення,  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$ , урожай, прогноз надходження, кореневий і водний шляхи, забруднення ґрунту.*

Сільське господарство Півдня України значну частину продукції вирощує на зрошуваних землях. Для цього широко використовується найбільша водна артерія країни – ріка Дніпро. Водні ресурси Дніпра забезпечують 64% потреб країни у воді, з них на сільське господарство припадає близько 30 % [1,5].

Пряме радіоактивне забруднення ґрунтів зрошуваних угідь південних регіонів України аварійними викидами ЧАЕС через значну відстань від місця аварії було несуттєвим. Однак за рахунок горизонтального змиву осілих на водозбірні території радіонуклідів і подальшого їх транспорту по гідрографічних мережах, спостерігалось значне забруднення р. Дніпро, вода якої використовується для зрошення [3,8,9]. Оскільки багаторічне зрошення сільськогосподарських угідь водою, яка містить радіонукліди, призводить до нагромадження їх у ґрунті, то в таких умовах одночасно з водним шляхом надходження радіонуклідів в урожай сільськогосподарських культур все більшого значення набуватиме кореневий шлях. Тому накопичення радіонуклідів у ґрунті зрошуваних угідь зумовлює необхідність розробки

прогнозу часу вирівнювання кореневого і водного шляхів їх надходження в урожай сільськогосподарських культур при довготривалому зрошенні угідь водою, яка містить радіонукліди.

**Мета досліджень** – розробити прогноз надходження  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  радіонуклідів з води у чорноземний глинистий ґрунт зрошуваних угідь Півдня України для будь-якого періоду їх використання та часу вирівнювання кореневого і водного шляхів надходження в урожай сільськогосподарських культур.

**Матеріали та методи досліджень.** Польові дослідження проводили в умовах зрошення і богари: на Північному Кавказі в модельних дослідах на ділянках площею  $6 \text{ м}^2$ , де  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  вносили у воду, яку використовували для зрошення, та у ґрунт, а на Півдні України - на виробничих посівах. Повторність дослідів три - шестиразова. Вміст радіонуклідів у зразках визначали радіометричними і радіохімічними методами за загальноприйнятими методиками [4]. Статистичну обробку одержаних даних проводили за загальноприйнятими в агрохімічних і екологічних дослідженнях методами аналізу [2].

Методичні підходи, що пропонуються для розробки прогнозу часу вирівнювання кореневого і водного шляхів їх надходження в урожай сільськогосподарських культур при довготривалому зрошенні угідь водою, яка містить радіонукліди, такі.

З використанням одержаних автором в експериментальних дослідженнях коефіцієнтів надходження радіонуклідів в урожай сільськогосподарських культур водним (*Кв*) і кореневим (*Кн*) шляхами можна, після порівняння питомих концентрацій радіонукліду, що надійшов в урожай різними шляхами, розрахувати питому його концентрацію у ґрунті, при якій буде спостерігатися рівновага в їх накопиченні.

Визначення тривалості зрошення угідь, після чого буде спостерігатися вирівнювання кореневого і водного шляхів їх надходження в урожай сільськогосподарських культур, можна провести порівнянням питомої

концентрації радіонуклідів у ґрунті, розрахованої через коефіцієнти їх надходження з прогнозними значеннями надходження з води в ґрунт зрошуваних угідь.

**Результати досліджень та їх обговорення.** З використанням даних, одержаних у багаторічних дослідженнях на Північному Кавказі, за розробленою автором формулою [6,7] проведено прогноз надходження  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  з води в чорноземний глинистий ґрунт зрошуваних угідь на будь-який період вирощування різних культур, які зрошуються дощуванням водою з питомою концентрацією радіонуклідів у ній 1 Бк/л (табл. 1). Показано, що максимальне забруднення ґрунту  $^{90}\text{Sr}$  буде спостерігатися через 60-80 років, а  $^{137}\text{Cs}$  – через 200 років використання зрошувальної системи. Після цього вміст радіонуклідів у ґрунті буде знаходитись у динамічній рівновазі між надходженням їх з водою та втратами, пов'язаними з їх фізичним розпадом, виносом з урожаєм та міграцією за межі кореневмісного шару ґрунту. Результати прогнозу дозволяють стверджувати, що в разі використання для зрошення води, яка містить радіонукліди з тривалим періодом напіврозпаду, важливо проводити довготривалий (десятки і сотні років) радіоекологічний моніторинг (табл. 1).

Необхідно відзначити, що прогнозні значення забруднення ґрунту зрошуваних угідь, які розраховували з використанням одержаних на Північному Кавказі експериментальних даних, добре узгоджуються із фактичними даними забруднення зрошуваних ґрунтів Півдня України після аварії на ЧАЕС.

Для визначення періоду використання зрошувальної системи, після якого кількісне надходження в рослини  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  з ґрунту зрівняється з некореневим зі зрошувальної води при поливі дощуванням, необхідно застосовувати формули розрахунку коефіцієнтів ґрунтового надходження ( $KH$ ) і з води ( $Kв$ ) (табл. 2). Це дозволить визначити питому активність ( $P_i$ )  $^{90}\text{Sr}$  чи  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунті, при якій питома концентрація радіонукліду в урожаї буде однаковою.

1. Прогноз забруднення чорноземного глинистого ґрунту зрошуваних дощуванням угідь після довготривалого вирощування культур з різною зрошувальною нормою за вегетацію  
(питома концентрація радіонуклідів у воді 1 Бк/л)

Тривалість поливів, роки	Вміст радіонуклідів у верхньому 30-сантиметровому шарі ґрунту, Бк/кг							
	Озима пшениця - один полив за вегетацію		Кукурудза - три поливи за вегетацію		Капуста - шість поливів за вегетацію		Люцерна - три поливи за вегетацію	
	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs
1	0,16	0,16	0,50	0,49	0,99	0,90	0,49	0,49
2	0,32	0,31	0,95	0,97	1,91	1,40	0,95	0,96
3	0,46	0,46	1,40	1,45	2,75	2,35	1,40	1,40
4	0,59	0,60	1,80	1,90	3,55	2,75	1,80	1,85
5	0,71	0,74	2,15	2,30	4,30	3,40	2,10	2,30
6	0,83	0,88	2,50	2,75	4,95	4,15	2,45	2,70
7	0,93	1,00	2,80	3,20	5,55	4,65	2,75	3,15
8	1,00	1,15	3,10	3,60	6,15	5,25	3,00	3,55
9	1,10	1,30	3,35	3,95	6,70	5,85	3,30	3,90
10	1,20	1,40	3,60	4,30	7,20	6,40	3,55	4,30
20	1,80	2,40	5,30	7,60	10,40	11,20	5,10	7,50
30	2,10	3,20	6,10	10,10	11,90	14,80	5,90	10,00
40	2,20	3,80	6,50	11,90	12,50	17,50	6,20	11,80
50	2,20	4,30	6,65	13,30	12,80	19,60	6,30	13,20
60	<b>2,30</b>	4,60	6,75	14,40	13,00	21,00	<b>6,40</b>	14,20
70	2,30	4,90	<b>6,80</b>	15,20	13,00	22,30	6,40	15,00
80	2,30	5,10	6,80	15,90	<b>13,10</b>	23,10	6,40	15,60
90	2,30	5,20	6,80	16,20	13,10	23,80	6,40	16,00
100	2,30	5,30	6,80	16,80	13,10	24,30	6,40	16,40
200	2,30	<b>5,60</b>	6,80	<b>17,60</b>	13,10	<b>25,70</b>	6,40	<b>17,40</b>
300	2,30	5,60	6,80	17,60	13,10	25,70	6,40	17,40

2. Значення коефіцієнтів надходження <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в урожаї сільськогосподарських культур, вирощених при зрошенні дощуванням на глинистому ґрунті

Культура	$Kв, n \cdot 10^{-2} (\sigma \leq \pm 30\%, n=480)$		$KH (\sigma \leq \pm 30\%, n=288)$	
	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs
Озима пшениця, зерно	2,9	24	0,02	0,001
Кукурудза, зерно	0,2	47	0,002	0,0018
Люцерна, сіно	64	920	0,13	0,022
Капуста, качан	24	120	1,55	0,065

Примітка:  $Kв$  (Бк/кг маси вологості урожаю)/(Бк/л води);

$KH$  (Бк/кг повітряно-сухої маси урожаю)/(Бк/кг повітряно-сухої маси ґрунту)

Вміст радіонукліду в урожаї (Бк/кг) при водному ( $A_{yв}$ ) та ґрунтовому ( $A_{yг}$ ) надходженні можна визначити за відповідними формулами:

$$A_{yв} = Kв \times C, \quad (1)$$

$$A_{yг} = KH \times P, \quad (2)$$

де  $C$  – питома концентрація радіонукліду у воді, Бк/л;

$P$  – питома концентрація радіонукліду в орному горизонті (0-30 см) ґрунту, Бк/кг.

Тоді, прирівнявши  $A_{yв}$  і  $A_{yз}$ , шукану питому активність ґрунту ( $P$ ) можна визначити за такою формулою:

$$P_i = \frac{Kв \cdot C}{KH}, \quad (3)$$

де  $P$  - питома концентрація радіонукліду в орному шарі (0-30 см) ґрунту, Бк/кг;

$Kв$  - коефіцієнт надходження радіонукліду з води в рослини, (Бк/кг урожаю) і Бк/л води (див. табл. 2);

$KH$  - коефіцієнт надходження радіонукліду з ґрунту в рослини, Бк/кг урожаю і Бк/кг ґрунту (див. табл. 2).

Після обчислення питомої активності орного горизонту ґрунту за формулою 3, та порівняння одержаних результатів з даними табл. 1, можна визначити час, після якого кількість надходження радіонуклідів в урожай сільськогосподарських культур ґрунтовим і водним шляхами буде однаковою. Прогнозні розрахунки за вищезгаданою методикою і для південних регіонів зрошення України здійснені для умовної постійної концентрації  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  в зрошувальній воді рівній 1 Бк/л.

Проведені розрахунки і аналіз одержаних результатів дозволяють стверджувати, що через деякий час після початку зрошення водою, яка містить  $^{90}\text{Sr}$ , починає переважати ґрунтовий шлях його надходження, тоді як для  $^{137}\text{Cs}$  протягом 200 років переважатиме водний (некореневий). Після формування завдяки поливам максимальної щільності забруднення ґрунту  $^{90}\text{Sr}$ , в умовах зрошення ґрунтове надходження цього радіонукліду в надземну масу люцерни зрівняється з водним надходженням вже через 1 рік зрошення, а при мінімальному забрудненні ґрунту тільки через 5 років (рис. 1).

На рисунку відрізок ( $Z$ ) указує на тривалість поливів (роки), після яких настає рівновага між водним і ґрунтовим шляхами надходження  $^{90}\text{Sr}$  в урожай люцерни, яка вирощувалася після культур, що формують мінімальну щільність забруднення ґрунту ( $a$ ), і після культур, що формують максимальну щільність ( $b$ ).

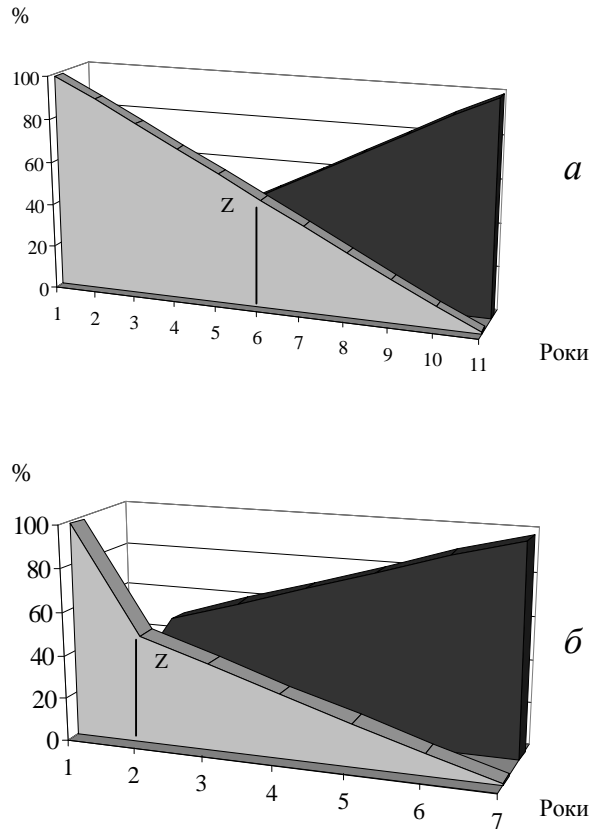


Рис. 1 – Динаміка надходження  $^{90}\text{Sr}$  в урожай люцерни після мінімального (а) і максимального (б) формування щільності забруднення ним ґрунту із поливної води (□ - водний шлях надходження; ■ - ґрунтовий шлях надходження).

При цьому на глинистих ґрунтах рівновага надходження  $^{90}\text{Sr}$  різними шляхами у качани капусти буде спостерігатися, відповідно, через 1 і 5 років зрошення, у надземну масу кукурудзи – через 5-10 років, а у зерно озимої пшениці і кукурудзи – через 15-20 років.

### Висновки

1. Проведено прогностичний розрахунок надходження радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  з води до ґрунту зрошуваних угідь на будь-який період використання радіоактивної води з питомою концентрацією 1 Бк/л. Показано, що максимальне забруднення ґрунту  $^{90}\text{Sr}$  буде спостерігатися через 60-80 років, а  $^{137}\text{Cs}$  – через 200 років використання зрошувальної системи.

2. За допомогою запропонованої формули проведено прогностичне обчислення часу, після якого кількісне надходження радіонуклідів в урожай сільськогосподарських культур ґрунтовим і водним шляхами буде однаковим.

В той час, як для  $^{137}\text{Cs}$  протягом 200 років переважатиме водний (некореневий) шлях надходження, для  $^{90}\text{Sr}$  період рівноваги спостерігатиметься від 1-го до 20-ти років, залежно від зрошувальної норми, яку використовують для різних культур у сівозмінах.

3. При використанні для зрошення води, яка містить радіонукліди з тривалим періодом напіврозпаду, важливо проводити тривалий (протягом десятків і сотень років) радіоекологічний моніторинг.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дорогунцов С.И. Проблемы экологической оптимизации водопользования в бассейне Днепра и пути их решения/ Дорогунцов С.И., Хвесик М.А., Паламарчук М.Н. //Материалы Межд. научн. конф. “Проблемы экологической оптимизации землепользования и водохозяйственного строительства в бассейне р. Днепр”- К., 25-27 марта 1992. - К.: СОПС Украины АН Украины, 1992. – С. 8 – 13.

2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта/ Б.А. Доспехов - М.: Колос, 1965. – 423 с.

3. Лось И.П. Радиация и вода: опыт обеспечения радиологической защиты в управлении качеством воды после аварии на Чернобыльской АЭС/Лось И.П., Войцехович О.В., Шепелевич К.И. - К.: Випол, 2001.-104 с.

4. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / [Марей А.Н., Белицкий А.С., Бархударов Р.М. и др.]; под общ. ред. А.Н. Марей и А.С. Зыковой.– М.: Вторая типография МЗ СССР, 1980. –336 с.

5. Паламарчук М.Н. Особенности территориального размещения водопользования в бассейне р. Днепр. / М.Н. Паламарчук // Материалы Межд. научн. конф. “Проблемы экологической оптимизации землепользования и водохозяйственного строительства в бассейне р. Днепр”. – К., 25-27 марта 1992. К.: СОПС Украины АН Украины, 1992.- С. 31-36.

6. Перепелятников Г.П. К вопросу радиационной ситуации на орошаемых землях/ Г.П.Перепелятников // Проблемы сельскохозяйственной радиологии: Сб. науч. трудов УкрНИИСХР. - К.:1993. - Вып. 3. - С. 111-115.

7. Перепелятников Г.П. О радиологической ситуации и её прогнозе на угодьях, орошаемых водой р. Днепр/ Г.П.Перепелятников // Радиобиологический съезд.- К., 20-25 сентября 1993. – Пушино: Пушинский научный центр, 1993. Часть 3. – С. 408.

8. Радиоактивное загрязнение окружающей среды / [Гайдар О.Е., Косовец А.А., Табачный Л.Я. и др.] //В кн. 20 лет Чернобыльской катастрофы. Взгляд в будущее. Национальный доклад Украины. -К.: Аттика, 2006. – С. 11 – 32.

9. Радиоэкология водных объектов зоны влияния аварии на Чернобыльской АЭС/ [Войцехович О.В., Шестопапов В.Д., Насвит О.И. и др.] (Мониторинг радиоактивного загрязнения природных вод Украины). [Под общ. ред. Войцеховича О.В.]. –К.:Чернобыльинтеринформ, 1997. – Т. 1. – 308 с.



## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В СИСТЕМЕ ВОДА - ПОЧВА – РАСТЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ**

*Перепелятников Г.П., Каштан Г.М.*

*Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты  
МЧС Украины*

*Разработан прогноз накопления радионуклидов в черноземной глинистой почве орошаемых угодий при долгосрочном использовании для орошения воды, которая содержит  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Проведено прогнозирование времени, после которого на орошаемых угодьях поступление радионуклидов в урожай корневым путем будет одинаковым с поступлением из воды.*

*Ключевые слова: чернозем, орошение,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , урожай, прогноз поступления, корневой и водный пути, загрязнение почвы.*

## **PREDICTION MIGRATIONS RADIONUCLIDES IN THE WATER - SOIL - PLANT IN THE IRRIGATION**

*Perepelyatnikov G.P., Kashtan G.M.*

*Ukrainian Scientific - Research Institute for Civil Protection of the Ministry of  
Ukraine for Emergencies*

*A forecast of radionuclide accumulation in the black earth clay soil irrigated with long-term use of irrigation water containing  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ . A prediction of the time after which the irrigated lands of radionuclide in the crop root path will be the same with the arrival of the water.*

*Key words: black soil, irrigation,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ , harvest, forecast revenue, the root and water ways, soil contamination.*