

# ІМОВІРНІСТЬ ПЕРЕВИЩЕННЯ ДОЗОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАСЕЛЕННЯ НАРОДИЦЬКОГО РАЙОНУ ЗА ВЕЛИЧИНОЮ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПРИРОДНОГО ТРАВСТОЮ

О.М. Лукомський, М.В. Гранківський

*Житомирський національний агроекологічний університет*

*Наведено результати оцінювання ризику перевищення дозового навантаження на населення Народицького р-ну за величиною радіоактивного забруднення природного травостою залежно від ґрунтових умов. Встановлено дестабілізуючі чинники міграції радіонуклідів у системі «ґрунт — травостій». Одержані результати як базові можуть використовуватись для обґрунтування зміни статусу населених пунктів, визначення черговості реабілітації земель, планування та цілеспрямованого впровадження контр-заходів для виробництва екологічно безпечної сільськогосподарської продукції.*

**Ключові слова:** оцінка ризику, радіоактивне забруднення, травостій, продукція тваринництва, дестабілізуючі чинники.

Використання населенням забрудненої радіонуклідами сільськогосподарської продукції є одним з основних джерел його опромінення. Для зниження впливу іонізуючого випромінювання на людину потрібно впроваджувати науково обґрунтовану систему заходів з отримання сільськогосподарської продукції, вміст радіонуклідів у якій не повинен перевищувати встановлені допустимі рівні [1]. Підґрунтям для цього є виявлення основних закономірностей міграції радіонуклідів у системі «ґрунт – травостій – продукція» та виявлення основних дестабілізуючих чинників (показники агроекологічного стану ґрунтового покриву) цього процесу в системі «ґрунт – травостій».

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Зразки ґрунту відбирали за ДСТУ 4287:2004. У зразках ґрунту визначали суму ввібраних основ – за ДСТУ ISO 11260:2001; гідролітичну кислотність – за ГОСТ 26212-91; лужногідролізований азот – за ДСТУ ISO 10390:2007; рН сольової витяжки – за ДСТУ ISO 10390:2001; рухомий фосфор та обмінний калій – за ДСТУ 4405:2005; органічну речовину (гумус) – за ДСТУ 4289:2004; вміст важких металів (кадмій, свинець, ртуть) та мікроелементів (мідь, цинк, марганець, бор, молібден, кобальт) –

за ДСТУ ISO 4770:2007. Щільність радіоактивного забруднення ґрунту та питому активність травостою  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  – за ДСТУ ISO 10703:2001.

На основі контрольного рівня вмісту  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у молоці та м'ясі за допомогою формул, наведених у праці Б.С. Прістера та ін. [2], було проведено розрахунок межі допустимого надходження радіонуклідів у раціон сільськогосподарських тварин, їх середньої допустимої концентрації у кормах і допустимої щільності забруднення сільськогосподарських угідь для вирощування кормів, отримання продукції тваринництва.

Розрахунковий метод оцінки імовірності ризику перевищення дозового навантаження за варіацією значень його індикатора (радіоактивне забруднення природного травостою) наведено в праці М.Д. Гродзинського [3]. Виявлення дестабілізуючих чинників процесу міграції радіонуклідів у системі «ґрунт – травостій» проведено за допомогою контрольних карт Шухарта [4]. Статистичну обробку результатів отриманих експериментальних даних проводили за допомогою програми Microsoft Excel 2003.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За допомогою коефіцієнтів переходу ( $K_{II}$ ) у системі «раціон – продукція тваринництва» та добового споживання при-

родних трав (50 кг/голову) можливо теоретично розрахувати середню допустиму концентрацію (СДК) травостою (табл. 1), споживання якого не спричинить перевищення межі допустимого надходження (МДН), тобто перевищення ДР-2006.

Розрахунками встановлено, що СДК травостою (критичне значення –  $X_{max}$ ) для отримання яловичини в межах ДР-

2006 для  $^{137}\text{Cs}$  становить 100 Бк/кг та для  $^{90}\text{Sr}$  – 667 Бк/кг, для отримання молока – 200 та 400 Бк/кг відповідно.

Імовірність ризику перевищення  $X_{max}$  для травостою варіює у межах 0,73–1 (табл. 2). За величиною імовірності ризику ґрунтовий покрив утворює такий спадний ряд: дерново-глейовий супіщаний ґрунт на водно-льодовикових відкладах, іноді на

Таблиця 1

**Межі допустимого надходження  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  з раціоном за певних рівнів умісту радіонуклідів у продуктах харчування [1, 2, 5]**

Продукт	Допустимий рівень вмісту радіонукліда в продукті харчування (ДР-2006), Бк/кг (л)		Коефіцієнт переходу в продукцію (КП), % від добового надходження		Межа допустимого надходження з раціоном тварин (МДН), кБк/раціон		Середня допустима концентрація радіонукліда в кормі (СДК), Бк/кг	
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
Молоко	100	20	1,0	0,10	10,0	20,0	200	400
Яловичина	200	20	4,0	0,06	5,0	33,3	100	667

Таблиця 2

**Імовірність ризику перевищення надходження радіонуклідів у продукцію тваринництва (молоко), за ДР-2006**

Назва ґрунту*	Параметри							Імовірність ризику перевищення ДР-2006 щодо молока ( $^{137}\text{Cs}$ ), %
	Питома активність травостою, Бк/кг**		Середньоквадратичне відхилення питомої активності, Бк/кг		Коефіцієнт варіації, %			
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$		
1	$\frac{70-887}{307}$	$\frac{9-27}{16}$	48,84	1,29	15,88	7,99	99	
2	$\frac{70-993}{262}$	$\frac{8-32}{14}$	64,71	1,62	24,66	11,34	73	
3	$\frac{128-993}{396}$	$\frac{9-32}{17}$	72,36	1,94	18,29	11,13	100	
4	$\frac{156-887}{431}$	$\frac{8-27}{18}$	48,88	1,32	11,33	7,49	100	
5	$\frac{74-887}{400}$	$\frac{9-26}{17}$	101,23	2,30	25,28	13,56	98	

*Примітка:* \* 1 – дерново-підзолистий піщаний, глейовий ґрунт сезонно-перезволожений, знижених, хвилястих рівнин і терас з неглибокими ґрунтовими водами, 2 – дерново-слабопідзолистий, глинисто-піщаний ґрунт на рихлих піщаних наносах, 3 – дерново-підзолистий піщаний ґрунт та його глеюваті відміни на водно-льодовикових відкладах підстелених мореною слабохвилястих, дренажних задровних рівнин, 4 – дерново-глейовий супіщаний ґрунт на водно-льодовикових відкладах, іноді на морені, 5 – торфоболотний ґрунт; \*\* у чисельнику – діапазон значень, у знаменнику – середнє арифметичне значення діапазону.

морені (1) > дерново-підзолистий піщаний ґрунт та його глеюваті відміни на водно-льодовикових відкладах підстелених мореною слабохвислястих, дренажних, зандрових рівнин (0,9966) > дерново-підзолистий піщаний, глейовий ґрунт сезонно-перезвожених, знижених, хвилястих рівнин і терас з неглибокими ґрунтовими водами (0,986) > торфоболотний ґрунт (0,976) > дерново-слабопідзолистий, глинисто-піщаний ґрунт на рихлих піщаних наносах (0,73).

Ймовірність перевищення ДР-2006 у яловичині радіонукліда  $^{137}\text{Cs}$  за вирощування ВРХ становить 100%, натомість ймовірність перевищення рівня  $^{90}\text{Sr}$  у молоці та яловичині – відсутня.

Основою родючості будь-якого типу ґрунту є запаси органічної речовини. Органічна речовина ґрунту є джерелом елементів живлення, а також регулятором структури, вбирної і водоутримної здатності, біологічної активності. В умовах радіонуклідного забруднення ґрунту особливо важливе значення має її абсорбційна функція. Так, першість належить функції зв'язування радіонуклідів, що запобігає їх надходженню у рослини. Крім того, ця функція також є важливою щодо сорбції токсичних речовин і важких металів та забезпечення санітарно-гігієнічних функцій ґрунту. У процесі проведених нами досліджень та їх аналізу встановлено, що середньозважений показник гумусу в зоні Полісся становить 1,26% (20,32% від оптимального значення) (табл. 3).

Забезпечення гумусом досліджуваних ґрунтів є (%): дуже низьким – 8,1, низьким – 85,9 та середнім – 5,0 від усієї території. За вмістом гумусу в ґрунті можна навести такий спадний ряд типів ґрунтів (%): дерново-слабопідзолистий, глинисто-піщаний на рихлих піщаних наносах (1,41) > дерново-підзолистий піщаний, глейовий сезонно-перезвожених, знижених, хвилястих рівнин і терас з неглибокими ґрунтовими водами (1,32) > дерново-підзолистий піщаний та його глеюваті відміни на водно-льодовикових відкладах підстелених мореною слабохвислястих, дренажних, зандрових рівнин (1,27) > дерново-гле-

йовий супіщаний на водно-льодовикових відкладах, іноді на морені (1,26) > торфоболотний ґрунт (1,23).

Незважаючи на низку проведених фундаментальних досліджень щодо колоїдно-хімічних властивостей ґрунтів, проблема ґрунтової кислотності та її впливу на продуктивність агроєкосистем і досі залишається дискусійною. Кислотність неодноразово впливає на рухомість радіонуклідів у ґрунтах. Зі збільшенням кислотності підвищується інтенсивність надходження  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  до рослин [2]. Особливо складним залишається питання гідролітичної кислотності, підвищення якої може спричинити зростання коефіцієнта накопичення радіонуклідів рослинністю. Гідролітична кислотність досліджуваних ґрунтів варіює у межах 0,29–5,25, при середньозваженому показнику – 1,67 мг-екв/100 г ґрунту.

Рівень обмінної кислотності досліджуваних ґрунтів варіює у межах 4,3–5,8, при середньозваженому показнику – 4,8 одиниць рН. За рівнем кислотності ґрунти Житомирського Полісся розподіляються так (% від усієї території): сильнокислі – 20,62, середньокислі – 55,52, слабокислі – 20,59, близькі до нейтральних – 3,27.

У дерново-підзолистих ґрунтах азот значною мірою визначає продуктивність сільськогосподарських культур [2]. Будучи головним макроелементом в живленні рослин, азот за рівнем забезпеченості дерново-підзолистих ґрунтів є нижчим порівняно з  $\text{K}_2\text{O}$  і  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Найближчим резервом засвоюваних мінеральних форм є азот, що гідролізується лугом. Тому важливо мати достовірну інформацію про наявність такого азоту в ґрунтового покриві. Результати агрохімічного обстеження ґрунтів свідчать, що рівень їх забезпечення лужногідролізованим азотом є дуже низьким (середньозважений показник 52 мг/кг), у деяких типах ґрунтів цей показник варіював у межах 19–72 мг/кг ґрунту.

За результатами проведених досліджень встановлено, що 97,3% обстеженої території має дуже низький вміст рухомих сполук азоту, а решта – низький. Вміст лужногідролізованого азоту, як і інших еле-

Таблиця 3

Агроекологічна оцінка ґрунтового покриття відчужених територій Народицького району

Показники																			
N <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	рН		Гумус, %	Сума вмірених основ	Гідролітична кислотність	Вор (В)	Молюден (Мо)	Марганець (Мп)	Кобальт (Со)	Мідь (Сп)	Цинк (Zп)	Кадмій (Сд)	Свинцев (Рв)	Питома активність травостою, Бк/кг		Щільність забруднення ґрунту, Кі/км <sup>2</sup>	
			137Cs	90Sr												137Cs	90Sr		
мг/кг ґрунту														мг/кг ґрунту		мг/кг ґрунту			
<i>** Дерново-підзолистий піщаний, глейовий ґрунт сезонно-перезволожений знижених, хвилястих рівнин і терас з неглибокими ґрунтовыми водами</i>																			
19	4,0	13	4,3	0,88	0,2	0,48	0,32	0,034	21,3	0,36	0,36	0,36	0,33	0,11	3,2	70	9	0,54	0,03
72	35,0	49	5,8	2,13	13,4	5,25	1,71	0,174	68,3	1,45	0,85	0,85	0,63	0,37	5,2	887**	27	8,32	0,14
52	22,4	28	4,9	1,32	3,84	1,75	0,51	0,064	55,4	0,61	0,57	0,57	0,50	0,20	4,3	307	16	4,30	0,076
<i>Дерново-слабодізолистий, глинисто-піщаний ґрунт на рихлих піщаних наносах</i>																			
19	15	17	4,3	0,96	0,2	0,48	0,26	0,037	21,0	0,39	0,39	0,39	0,32	0,08	2,6	70	8	1,93	0,024
67	42	45	5,4	2,39	13,40	2,99	0,72	0,08	68,0	1,45	0,85	0,85	0,63	0,31	5,2	993	32	7,65	0,12
49	24	29	4,8	1,41	4,34	1,15	0,45	0,060	50,7	0,70	0,61	0,61	0,51	0,16	4,3	262	14	4,16	0,06
<i>Дерново-підзолистий піщаний ґрунт та його глеюваті відміни на водно-льодовикових відкладах підтеплених мореною слабодізолистих, дренажних, зандрових рівнин</i>																			
34	9	13	4,3	0,27	0,2	0,29	0,32	0,034	21,3	0,34	0,47	0,47	0,09	0,10	2,6	128	9	2,75	0,012
72	42	60	5,1	2,38	10,8	5,25	3,66	0,35	70,9	1,42	0,81	0,81	0,63	0,37	6,2	993	32	11,1	0,06
56	25	34	4,6	1,27	2,59	2,27	0,88	0,10	46,6	0,62	0,56	0,56	0,42	0,16	4,0	396	17	5,76	0,045
<i>Дерново-глеювий сугищаний ґрунт на водно-льодовикових відкладах, іноді на морені</i>																			
19	5,0	13,0	4,3	0,27	0,4	0,29	0,32	0,034	21,3	0,33	0,47	0,47	0,09	0,10	2,7	156	8	0,54	0,024
72	42,0	60,0	5,8	2,38	13,4	5,25	3,66	0,35	70,9	1,42	0,81	0,81	0,63	0,37	6,2	887	27	11,1	0,12
54	24,9	33,2	4,8	1,26	3,4	1,86	0,68	0,080	48,9	0,56	0,55	0,55	0,45	0,17	4,2	431	18	4,80	0,055
<i>Торфоболотний ґрунт</i>																			
34	9	8	4,3	0,27	0,2	0,61	0,26	0,047	21,0	0,38	0,39	0,39	0,15	0,08	2,7	74	9	1,36	0,012
72	42	60	5,2	2,13	10,8	5,25	2,88	0,27	70,9	1,06	0,77	0,77	0,63	0,37	6,2	887	26	8,32	0,09
54	23	31	4,8	1,23	3,26	2,00	0,57	0,069	51,7	0,53	0,55	0,55	0,48	0,17	4,1	400	17	3,59	0,040

Примітка: \*\* – (див. прим. до табл. 2).

ментів живлення, зумовлено легким гранулометричним складом ґрунту та низьким вмістом гумусу.

У найбільш розповсюджених типах ґрунтів досліджуваної зони загальний вміст фосфору варіює у межах 0,04–0,22%, а його валові запаси в метровому шарі становлять: 3,8 т/га — у дерново-підзолистих ґрунтах та 12–22 т/га — у чорноземах типових і звичайних [2]. Результати агрохімічного обстеження ґрунтів свідчать, що вони мають дуже низький рівень забезпечення рухомих фосфором — середньозважений показник становить 23 мг/кг. Вміст рухомого фосфору варіював у межах 4–42 мг/кг ґрунту, зокрема: 31,5% — низький та 68,5% — дуже низький рівні забезпечення від обстеженої території.

Важливою характеристикою якості ґрунтів, що плануються під реабілітацію, є вміст обмінного калію, зі збільшенням вмісту якого в ґрунтах інтенсивність накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах зменшується, але зворотної лінійної залежності між цими величинами не виявлено. Чинником дискримінації  $^{137}\text{Cs}$  відносно калію з переходом із ґрунту в рослини є сильніша сорбція твердою фазою ґрунту радіонукліда порівняно з мікроелементом. Зменшення обмінних форм калію уповільнює процес утворення обмінних форм радіонуклідів, а зменшення співвідношення обмінного калію до валого процесу — утворення водорозчинних форм  $^{90}\text{Sr}$  [2].

Результати агрохімічного обстеження ґрунтового покриву свідчать, що вся площа угідь має дуже низький (78,0%) та низький (22,0%) рівні забезпечення обмінним калієм. Середньозважений показник обмінного калію становить 30 мг/кг із значним діапазоном варіювання — 8–60 мг/кг ґрунту.

Рівень забезпеченості рослин елементами живлення значною мірою залежить від наявності у ґрунті мікроелементів у доступній формі [2, 5].

Встановлено, що ґрунти досліджуваної території є значно біднішими на рухомі форми міді, цинку, кобальту, молібдену, ніж бору та марганцю. Фактичний серед-

ньозважений вміст рухомих форм мікроелементів до оптимальних їх показників стосовно бору становить 35,3%, молібдену — 43,3, марганцю — 165,3, кобальту — 5,6, міді — 36,7, цинку — 31,3%. Загалом, результати досліджень свідчать, що 0–20-см шар ґрунтів характеризується: низьким вмістом цинку, міді, молібдену, кобальту, середнім — бору, середнім та високим — марганцю.

Токсичність важких металів щодо рослин переважно визначається вмістом їх мобільних сполук, а не валовою кількістю у ґрунті. Оскільки найбільшу небезпеку становлять рухомі форми важких металів, то важливого значення набуває показник варіювання цих сполук.

Загалом, рівень варіювання (мг/кг ґрунту) вмісту кадмію вимірюється в діапазоні 0,08–0,37 (при середньозваженому показнику 0,17), свинцю — 2,6–6,2 (при 4,1).

Слід зауважити, що контрольні карти Шухарта можуть застосовуватися у двох видах завдань: під час аналізу стану міграції (зазвичай за минулий період) з метою виявлення дестабілізуючих впливів (чинників); у процесі спостереження за поточним станом міграції чи зупинками її для регулювання процесу у разі потреби. Також попутно можна виявляти дестабілізуючі чинники.

Так, було встановлено, що основними дестабілізуючими чинниками є вміст рухомого фосфору, реакція ґрунтового розчину та, зрідка, наявність в ґрунтах певних рівнів мікроелементів (для торфоболотного ґрунту — молібдену та бору, для дерново-підзолистого піщаного, глейового ґрунту сезонно-перезволожених знижених, хвилястих рівнин і терас з неглибокими ґрунтовими водами — кадмію). Тобто зростання впливу цих чинників неминуче призведе до інтенсифікації процесу міграції  $^{137}\text{Cs}$  у системі «ґрунт — природний травостій». «Критичними» для процесу міграції  $^{137}\text{Cs}$  у природний травостій є рівні вмісту рухомого фосфору менше 25 мг/кг, рН — менше 5,0, вміст молібдену — менше 0,28 мг/кг та бору — менше 0,45 мг/кг.

## ВИСНОВКИ

Оцінка ризику перевищення дозового навантаження на населення за величиною радіоактивного забруднення природного травостою зони безумовного (обов'язкового) відселення Народицького р-ну свідчить, що молоко, вміст радіонуклідів у якому не перевищує ДР-2006, можна отримати на дерново-слабопідзолистому, глинисто-піщаному ґрунті (73%), на решті розглянутих ґрунтових відмінах імовірність

перевищення допустимих рівнів становить 100%.

Яловичину, якість якої за вмістом радіонуклідів відповідає ДР-2006, можливо отримати на всіх ґрунтових відмінах, за умови годівлі тварин перед забоєм упродовж 45–60 днів радіоактивно безпечними кормами.

Під час розроблення контрзаходів на досліджуваних територіях слід враховувати встановлені дестабілізуючі чинники міграції радіонуклідів у системі «ґрунт – травостій».

## ЛІТЕРАТУРА

1. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді (ДР-2006). — К.: Чорнобильінформ, 2006. — 24 с.
2. *Прістер Б.С.* Последствия аварии на Чернобыльской АЭС для сельского хозяйства Украины / Б.С. Пристер. — К.: Изд-во ЦПЕР в АПК, 1999. — 104 с.
3. *Гродзинський М.Д.* Стійкість геосистем до антропогенних навантажень: Монографія / М.Д. Гродзинський. — К.: Лікей, 1995. — 233 с.
4. Контроль качества продукции в машиностроении. — М.: Издательство стандартов, 1990. — 88 с.
5. *Корнеев Н.А.* Снижение радиоактивности в растениях и продуктах животноводства / Н.А. Корнеев, А.Н. Сироткин, Н.В. Корнеева. — М.: Колос, 1977. — 208 с.

## REFERENCES

1. *Dopustymi rivni vmistu radionuklidiv  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  u produktakh kharchuvannia ta pytnii vodi (DR-2006): Derzhavni hihienichni normatyvy* [Acceptable levels of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in food and drinking water (DR-2006): Public hygiene standards]. Kyiv: Chornobyl-inform, 2006, 24 p. (in Ukrainian).
2. *Prister B.S. (1999). Posledstviya avarii na Chernobylskoy AES dlya selskogo khozyaystva Ukrainy* [Consequences of the Chernobyl accident for agriculture Ukraine]. Kiev: Izd-vo TsPYeR v APK Publ., 104 p. (in Russian).
3. *Hrodzinskyi M.D. (1995). Stiikist heosystem do antropohennykh navantazhen: Monohrafiia* [Resistance to anthropogenic geosystems loads: Monograph]. Kyiv: Likei Publ., 233 p. (in Ukrainian).
4. *Kontrol kachestva produktsii v mashinostroenie* [Quality control of production in mechanical engineering]. Moscow: Izdatelstvo standartov Publ., 1990, 88 p. (in Russian).
5. *Korneev N.A., Sirotkin A.N., Korneeva N.V. (1977). Snizhenie radioaktivnosti v rasteniyakh i produktakh zhivotnovodstva* [The decline of radioactivity in plants and animal products]. Moscow: Kolos Publ., 208 p. (in Russian).