

УДК 631.438 (620.267+550.424)

PACS number(s): 28.41.Kw

## ТРАНСФОРМАЦІЯ $^{137}\text{Cs}$ та $^{90}\text{Sr}$ У СИСТЕМІ ГРУНТ–РОСЛИНА НА ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ГРУНТІ ПІД ВПЛИВОМ ДОБРІВ ТА МЕЛІОРАНТІВ

О. Ляшенко, О. Піскун, Ю. Христенко, В. Передрій, І. Солдаткіна

*Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України  
вул. Мурманська, 1, м. Київ-94, Україна  
e-mail: users@bpcl.kiev.ua*

Вивчено вплив низки агрохімічних чинників (мінеральні та органічні добрива, меліоранти) на накопичення рослинами та міграцію у ґрунті  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  протягом багаторічних (1989–2008 рр.) натурних досліджень. З'ясовано, що застосування мінеральних та органічних добрив за певними схемами дає підстави знизити накопичення радіонуклідів рослинами у 2–7 разів. При використанні земель як сільськогосподарських угідь (протягом 16 років) в орному шарі (0–15 см) піщаного дерново-підзолистого ґрунту залишається 93–98 радіоцезію та 88–97% радіостронцію від вмісту цих радіонуклідів у профілі ґрунту, тобто їх міграція за межі орного шару відповідно становила 2–7 та 3–12%. Застосовуючи високі дози макроелементів та меліорантів, можна знизити темпи міграції радіонуклідів у профілі ґрунту у 2–3 рази, обмежити кількість їх форм, доступних рослинам.

*Ключові слова:* радіонукліди, ґрунт, рослини, накопичення, міграція, органічні та мінеральні добрива.

У процесі робіт зі зменшення наслідків аварії на ЧАЕС ми провели багаторічні дослідження трансформації  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у системі ґрунт–рослина залежно від впливу низки чинників природного та штучного походження. Одним із результатів цих робіт було обґрунтування концепції нерозповсюдження радіонуклідів із земель зони впливу аварії на ЧАЕС як одного з підходів до вирішення проблем цих територій. Головними цілями концепції є:

- обмеження поширення радіонуклідів із забруднених земель;
- мінімізація збитку і дозових навантажень під час господарювання на землях зони впливу ЧАЕС;
- реабілітація забруднених радіонуклідами земель;
- розробка комплексу оперативних заходів на випадок аварійного забруднення земель радіонуклідами.

Більша частина територій, забруднених унаслідок аварії на ЧАЕС, представлена переважно легкими ґрунтами. У них порівняно висока рухливість радіонуклідів за різними каналами міграції, в тому числі і накопичення рослинами, тобто спрощене надходження радіонуклідів до трофічних ланцюгів людини.

У населення, яке мешкає на забруднених територіях, частка дозових навантажень, що формується за рахунок внутрішнього опромінення, тобто радіонуклідами, що

надходять до організму трофічним та інгаляційним шляхами, у часі постійно зростає. На даний час за рахунок внутрішнього опромінення залежно від умов може формуватися від 60 до 80% поглиненої дози. Зниження цих дозових навантажень можливе за рахунок зменшення вмісту радіонуклідів у рослинній сировині як одній із ланок трофічного шляху надходження радіонуклідів в організм людини.

Обмежити накопичення радіонуклідів рослинами можна багатьма шляхами. У своїх дослідженнях ми розглядали:

- спроби модифікації фізико-хімічних властивостей поверхневого та орного шарів ґрунту з метою підвищення їх фіксуючих параметрів;
- зміни поживного режиму ґрунту шляхом варіювання норм і співвідношення макро-, мікроелементів, меліорантів та органічних добрив;
- застосування агротехнічних прийомів (обробка ґрунту, способи внесення добрив, захоронення забрудненого шару ґрунту);
- вплив на рослини з метою спрямованих змін їх архітекτονіки та деяких фізіолого-біохімічних процесів, що впливають на динаміку вмісту в них радіонуклідів;
- врахування фактора диференційного нагромадження радіонуклідів різними рослинами під час організації системи землеробства на забруднених землях.

У представлених матеріалах ми розглянемо деякі підходи, пов'язані з обмеженням рухливості радіонуклідів у системі ґрунт–рослина за допомогою агрохімічних чинників.

Дослідження проводились у вегетаційних та натурних (зона відчуження ЧАЕС) умовах на піщаному дерново-підзолистому ґрунті. Результати, наведені у табл. 1 і 2, отримані у мікропольовому стаціонарі, закладеному в 1989 р. на полігоні ІБОНХ НАНУ у 30-км зоні ЧАЕС. Метою цих досліджень було вивчення впливу багаторічного застосування високих доз мінеральних добрив та меліорантів на трансформацію радіонуклідів у системі ґрунт – рослина. Схема стаціонару передбачала застосування за щорічним фоном добрив ( $\text{N}_{100} \text{P}_{100} \text{K}_{100} + \text{Ca}_{2,5} \text{ т/га}$ ) кожного четвертого року підвищених доз макроелементів:  $\text{P}_{500}$ ;  $\text{K}_{500}$ ;  $\text{Ca}_{10} \text{ т/га}$  та їх суми. Викладені нижче результати трансформації радіонуклідів в означеній системі – це вплив застосування цієї схеми досліду протягом 16 років.

Результати, отримані у цьому стаціонарі, свідчать про вагомий вплив розробленої схеми внесення добрив на трансформацію радіонуклідів у ґрунті та їх доступність рослинами. Як ілюстрацію ми розглянемо дані вегетаційного досліду з рослинами кукурудзи, проведеного за схемою, та на ґрунті, взятому з ділянок мікропольового досліду у 30 кілометровій зоні ЧАЕС (табл. 1). З метою оцінення величини поглинання радіонуклідів рослинами використовували вміст радіонуклідів у сухій речовині рослин та коефіцієнти накопичення  $K_n$  ( $K_n = \text{Бк/кг} \text{ рослинної маси} / \text{Бк/кг} \text{ ґрунту}$ ). Під впливом підвищених доз макроелементів коефіцієнти накопичення радіоцезію ( $K_{n\text{Cs}}$ ) рослинами кукурудзи суттєво знижувалися. При підвищеній дозі  $K$  та усіх трьох макроелементів зниження простежено у 4,3 та 3,5 раза порівняно з контролем. Підвищена доза  $\text{Ca}$  знижувала  $K_{n\text{Cs}}$  у 1,9 раза. І тільки у варіанті з підвищеною дозою фосфору накопичення  $^{137}\text{Cs}$  рослинами було на рівні контролю. Коефіцієнти накопичення радіостронцію ( $K_{n\text{Sr}}$ ) рослинами кукурудзи найбільше знижувалися у разі застосування підвищених доз усіх трьох ( $\text{P}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$ ) макроелементів – у 7,3 раза, у варіантах з підвищеними дозами  $\text{Ca}$  і  $\text{P}$  – у 5,6 і 2,8 раза, відповідно. Практично не впливали на поглинання  $^{90}\text{Sr}$  рослинами підвищені дози калію. Викладені результати в якісному відношенні загалом відповідають наявним результатам щодо впливу добрив та меліорантів на рухливість

$^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у системі ґрунт–рослина, але отримані ефекти кількісно суттєво перевищують відомі дані літературних джерел [1–4]. Це, на наш погляд, пов'язано із багаторічним систематичним застосуванням підвищених доз макроелементів і, як наслідок, спрямованим підсиленням отриманих ефектів у часі.

Таблиця 1

Вплив тривалого застосування підвищених доз макроелементів на накопичення  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  рослинами кукурудзи (вегетаційний дослід)

№	Схема дослідів	Кукурудза, фаза цвітіння, суха речовина				Рослина	Ґрунт
		$^{137}\text{Cs}$		$^{90}\text{Sr}$			
		Бк/кг	Кн.	Бк/кг	Кн.	$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$	
1	Контроль (К) $\text{N}_{100}\text{P}_{100}\text{K}_{100}\text{Ca}_{2,5}$ т/га	3390	0,365	1380	0,512	0,4	0,3
2	К + $\text{K}_{500}$	686	0,084	1130	0,477	1,6	0,3
3	К + $\text{P}_{500}$	3420	0,464	788	0,187	0,2	0,6
4	К + $\text{Ca}_{10}$ т/га	1440	0,190	383	0,092	0,3	0,6
5	К + $\text{P}_{500}\text{K}_{500}\text{Ca}_{10}$ т/га	883	0,103	257	0,071	0,3	0,4

За роки проведення досліджень на нашому полігоні (1989–2008 рр.) коефіцієнти накопичення радіоцезію рослинами (культурними та дикоросами) знизились від інтервалу десяти долі одиниці – десятки одиниць до інтервалу соті долі одиниці – одиниці. Динаміка змін коефіцієнтів накопичення радіостронцію рослинами протилежна – вони збільшилися від сотих-десятих часток одиниці після аварії до інтервалу десяти долі одиниці – десятки одиниць на сьогодні. Останніми роками коефіцієнти накопичення радіостронцію рослинами, зазвичай, суттєво перевищують відповідні показники радіоцезію для деяких дикоросів – у десятки разів. Для культурних рослин це перевищення, зазвичай, менш суттєве, у нашому досліді на контролі воно змінювалось в межах 1,4–2,8 разів. На дослідних варіантах ці показники залежали від змін певних параметрів ґрунту під впливом добрив та меліорантів у часі. Так, при підвищеній дозі калію простежено різке зниження поглинання рослинами радіоцезію і відсутність впливу на радіостронцій,  $\text{Kn}_{\text{Sr}}$  був вищий у 5,7 разів  $\text{Kn}_{\text{Cs}}$ . У варіанті з підвищеною дозою фосфору, в якому  $\text{Kn}_{\text{Cs}}$  був на рівні контролю, а  $\text{Kn}_{\text{Sr}}$  суттєво знижувався,  $\text{Kn}_{\text{Cs}}$  перевищував  $\text{Kn}_{\text{Sr}}$  у 2,5 раза.

Співвідношення  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  в орному шарі ґрунту варіювало у межах 0,3–0,6, тобто активність  $^{90}\text{Sr}$  становила 30–60% від активності  $^{137}\text{Cs}$ . У рослинах цей показник змінювався у ширшому інтервалі (0,2–1,6), що свідчить про неоднозначність впливу добрив та меліорантів на накопичення радіонуклідів рослинами.

Розроблена схема внесення добрив під сільськогосподарські культури на забруднених землях суттєво змінювала також міграційні можливості радіонуклідів у ґрунті (табл. 2).

Дані, отримані у мікропольовому досліді, свідчать, що на шістнадцятий рік проведення дослідів в орному шарі ґрунту (0–15 см) зосереджено 92,8–98,1% радіоцезію та 88,4–96,6% радіостронцію від вмісту цих радіонуклідів у 0–45 см шарі ґрунту. Тобто за 16 років за межі орного шару ґрунту перейшло, залежно від варіанту, 1,9–7,2%

радіоцезію та 3,4–11,6% радіостронцію. У наступному шарі ґрунту (15–25 см) вміст радіонуклідів зменшується на порядок з коефіцієнтами 4–7 для  $^{137}\text{Cs}$  та 2–3 для  $^{90}\text{Sr}$ . У подальших шарах ґрунту зниження вмісту радіонуклідів відбувається більш поступово (у 2–7 разів до глибини 45 см). І далі по профілю, вміст радіонуклідів стабілізується на рівні 10–20 Бк/кг. Обидва радіонукліди впевнено детектуються на метровій глибині. Із застосованих макроелементів високі дози Р та К практично не вплинули на процент міграції  $^{137}\text{Cs}$  за межі орного шару ґрунту, відповідно, 2,7 і 3,1% проти 3,0% на контролі. Підвищені дози Са збільшили міграцію  $^{137}\text{Cs}$  у 2,5 раза. Застосування всіх трьох макроелементів разом знизило перехід  $^{137}\text{Cs}$  за межі орного шару ґрунту у 1,6 раза.

Таблиця 2  
Вплив тривалого застосування підвищених доз макроелементів на розподіл  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у профілі дерново-підзолистого ґрунту (полігон, 2005 р.)

Варіанти дослідів	Шар ґрунту, см	Вміст радіонуклідів, сухий ґрунт					
		$^{137}\text{Cs}$			$^{90}\text{Sr}$		
		Бк/кг	% від суми	% міграції за межі орного шару	Бк/кг	% від суми	% міграції за межі орного шару
Контроль (К) $\text{N}_{100}\text{P}_{100}\text{K}_{100}\text{Ca}_{2,5}$ т/га	0-45	11753	100,0	3,0	2783	100,0	11,6
	0-15	11400	97,0		2460	88,4	
	15-25	228	1,9		161	5,8	
	25-35	86	0,8		102	3,7	
	35-45	39	0,3		60	2,2	
К + $\text{K}_{500}$	0-45	14657	100,0	3,1	3537	100,0	6,1
	0-15	14200	96,9		3320	93,9	
	15-25	369	2,5		144	4,1	
	25-35	68	0,5		52	1,5	
	35-45	20	0,1		21	0,5	
К + $\text{P}_{500}$	0-45	12235	100,0	2,7	4397	100,0	8,8
	0-15	11900	97,3		4010	91,7	
	15-25	224	1,8		310	7,1	
	25-35	83	0,7		57	1,3	
	35-45	28	0,2		20	0,4	
К + $\text{Ca}_{10}$ т/га	0-45	13477	100,0	7,2	4864	100,0	5,6
	0-15	12500	92,8		4590	94,4	
	15-25	732	5,4		153	3,2	
	25-35	213	1,6		71	1,5	
	35-45	32	0,2		50	0,9	
К + $\text{P}_{500}\text{K}_{500}\text{Ca}_{10}$ т/га	0-45	12035	100,0	1,9	5746	100,0	3,4
	0-15	11800	98,1		5550	96,6	
	15-25	171	1,8		82	1,4	
	25-35	47	0,4		65	1,1	
	35-45	14	0,1		49	0,9	

Вплив схеми досліджу на міграцію радіостронцію був більш суттєвий. На контролі за межами орного шару ґрунту знаходилось 11,6%  $^{90}\text{Sr}$  від визначеного у профілі. Внесення високих доз К, Р та Са знижувало цей показник, відповідно, у 1,9; 1,3 та 2,1 разів. Внесення високих доз усіх макроелементів разом знижувало вихід  $^{90}\text{Sr}$  за межі орного шару ґрунту у 3,4 раза.

За роки спостережень рухливість у ґрунті та доступність рослинам у наших дослідках  $^{90}\text{Sr}$  підвищувалась, а  $^{137}\text{Cs}$  знижувалась. На шістнадцятий рік досліджу на контролі частка переходу за межі орного шару ґрунту  $^{90}\text{Sr}$  перевищувала цей показник для  $^{137}\text{Cs}$  у 3,9 разів. Загалом, у досліді співвідношення цих показників залежно від варіанту становило 1,8–3,7 раза, і тільки у варіанті з підвищеною дозою Са міграція  $^{137}\text{Cs}$  була вищою у 1,3 раза порівняно з  $^{90}\text{Sr}$ , що зумовлено суттєвим, але протилежним за напрямом впливом Са на рухливість цих радіонуклідів у ґрунті.

Застосована схема досліджу впливала також на стан радіонуклідів у ґрунті. Залежно від частки рухомих чи доступних (водорозчинні та обмінні) форм радіонуклідів у ґрунті суттєво змінюються параметри їх перерозподілу у системі ґрунт–рослина. З орного шару ґрунту у водну витяжку переходили радіонукліди у кількості 0,01–0,03% від їх загального вмісту. У сольову витяжку переходило 0,1–4,1%  $^{90}\text{Sr}$  та 1,7–3,1%  $^{137}\text{Cs}$ . Про вплив макроелементів на вміст водорозчинних форм радіонуклідів судити важко, бо їх активності межували з чутливістю апаратури. Вміст обмінних форм радіонуклідів суттєво змінювався залежно від схеми досліджу. На контролі вміст обмінних радіонуклідів становив 3,1–4,1%. Застосування підвищених доз макроелементів знижувало цей показник для  $^{137}\text{Cs}$  у 1,4–1,8, а для  $^{90}\text{Sr}$  у 10–20 разів. Тобто, за допомогою підвищених доз макроелементів кількість доступного радіоцезію можна суттєво, а радіостронцію дуже суттєво зменшувати.

Отож, тривале застосування підвищених доз макроелементів суттєво впливало на міграційні можливості радіонуклідів у ґрунті. Рухливість  $^{137}\text{Cs}$  під їх впливом як підвищувалася, так і знижувалася,  $^{90}\text{Sr}$  – тільки знижувалася. На контролі міграція за межі орного шару ґрунту  $^{137}\text{Cs}$  становила 3,0%, а  $^{90}\text{Sr}$  – 11,6% від вмісту цих радіонуклідів у профілі 0–45 см, тобто міграція  $^{90}\text{Sr}$  переважала відповідний показник для  $^{137}\text{Cs}$  у 3,7 раза. У дослідних варіантах за межами орного шару ґрунту знаходилось 1,9–7,2  $^{137}\text{Cs}$  та 3,4–8,8%  $^{90}\text{Sr}$ .

Якщо розглядати вплив агрохімічних чинників на трансформацію радіонуклідів у системі ґрунт–рослина, то не можна не зупинитись на впливі на ці процеси органічних добрив, які у низці випадків можуть переважати вплив від застосування мінеральних добрив [4]. У наших мікропольових дослідках вивчали вплив гною, торфу та омиленого талового пеку (ОТП) на трансформацію  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у системі ґрунт–рослина (табл. 3 і 4). Як своєрідний стандарт органічних добрив використовували коров'ячий гній – одне з кращих органічних добрив, але на жаль на сьогодні дуже дефіцитне, та торф, який як добриво значно поступається гною, але запаси якого в Україні дуже великі і він може широко використовуватися як добриво та модифікатор процесів трансформації радіонуклідів у ґрунтах. У двох останніх варіантах схем досліджу дію гною та торфу намагалися підсилити застосуванням ОТП (омиленого талового пеку), який за нашими результатами суттєво обмежує рухливість радіостронцію у системі ґрунт–рослина [5–8].

У табл. 3 представлені результати впливу гною та ОТП на накопичення рослинами кукурудзи  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ . Середній вміст  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунті цих дослідів становив 3 798 та 13 425 Бк/кг, відповідно, тобто активність радіостронцію у ґрунті становила приблизно третину активності радіоцезію (відношення  $^{90}\text{Sr} / ^{137}\text{Cs}$  дорівнювало 0,28).

У рослинах це відношення варіювало у межах 1,7–3,8, що свідчить про відповідну різницю у швидкості накопичення рослинами радіонуклідів. На контролі  $\text{K}_{\text{Sr}}$  були більше  $\text{K}_{\text{Cs}}$  у 13,5 разів, в досліді – у 6–8 разів. Усі досліджувані фактори суттєво обмежували накопичення радіонуклідів рослинами. Внесення у ґрунт ОТП знижувало  $\text{K}_{\text{Sr}}$  у 1,7,  $\text{K}_{\text{Cs}}$  – у 3,8 раза. Внесення у ґрунт гною знижувало відповідні показники у 3,1 та 5,3 разів, сумісне застосування цих інгредієнтів – у 2,6 та 4,4 разів.

Таблиця 3

Вплив органічних добрив на накопичення  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  рослинами (30-км зона ЧАЕС, мікропольові досліді, 2007 р.)

Схема досліді	Кукурудза						
	$^{137}\text{Cs}$			$^{90}\text{Sr}$			$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$
	Бк/кг	% від конт-ролю	Кн	Бк/кг	% від конт-ролю	Кн	
Контроль (К) $\text{N}_{100}\text{P}_{100}\text{K}_{100}\text{Ca}_{2,5}$ т/га	3770	100,0	0,28	14300	100,0	3,77	3,8
К + ОТП	2240	59,4	0,17	3750	26,2	0,99	1,7
К + гній 50 т/га	1150	30,5	0,09	2710	19,0	0,71	2,4
К + ОТП + Гній 50 т/га	1440	38,2	0,11	3250	22,7	0,86	2,3

У табл. 4 наведені результати досліді, проведеного за аналогічною схемою, але гній замінений на торф.

Таблиця 4

Вплив органічних добрив на накопичення  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  рослинами (30-км зона ЧАЕС, мікропольові досліді, 2007 р.)

Схема досліді	Кукурудза						
	$^{137}\text{Cs}$			$^{90}\text{Sr}$			$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$
	Бк/кг	% від конт-ролю	Кн	Бк/кг	% від конт-ролю	Кн	
Контроль (К) $\text{N}_{100}\text{P}_{100}\text{K}_{100}\text{Ca}_{2,5}$ т/га	2660	100,0	0,20	7600	100,0	2,00	2,9
К + ОТП	2100	78,9	0,16	44109	58,0	1,16	2,1
К + торф 50 т/га	1160	43,6	0,09	5610	73,8	1,48	4,8
К + ОТП + торф 50т/га	877	33,0	0,07	2770	36,5	0,72	3,2

Загалом, у якісному плані результати близькі до отриманих для гною. Різниця у кількісних показниках (результати для гною більш виражені) та деяких особливостях. Як і в попередньому досліді,  $\text{K}_{\text{Sr}}$  суттєво перевищували  $\text{K}_{\text{Cs}}$ , на контролі у 10 разів, у досліді у 7–16 разів. Внесення в ґрунт ОТП знижувало Кн радіоцезію та радіостронцію, відповідно, у 1,3 та 1,7 разів, торфу – у 2,2 та 1,4 разів, їх суми – у 2,9 та 2,8 разів. Отримані результати різняться від попередніх меншим впливом схеми досліді на

показники, які вивчалися, наближенням результатів, отриманих для  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ , появою синергізму у впливі на накопичення радіонуклідів рослинами при застосуванні ОТП разом з торфом.

Отже, застосування органіки, згідно зі схемою досліджу, знижувало Кн радіонуклідів рослинами у 1,7–5,3 разів. Вплив органічних добрив на накопичення рослинами радіостронцію був суттєвіший порівняно з радіоцезієм. Серед вивчених факторів, що обмежують поглинання радіонуклідів, найбільше впливав гній, далі гній + ОТП і найменше ОТП у першій серії дослідів та торф + ОТП, торф, ОТП у другій серії дослідів (див. табл. 3 і 4, відповідно). Не було отримано очікуваного синергізму у зниженні накопичення радіонуклідів рослинами у четвертому варіанті при застосуванні гною разом із ОТП. У схемі з торфом найбільший ефект отриманий під час сумісного застосування торфу та ОТП. Коефіцієнти накопичення радіостронцію у цих дослідях переважали відповідні показники радіоцезію у 6–14 разів.

Результати проведених досліджень свідчать про широкі можливості цілеспрямованих змін трансформації радіонуклідів у системі ґрунт–рослина у разі застосування мінеральних добрив, меліорантів та органічних добрив з метою впливу на такі параметри, як накопичення та винесення рослинами радіонуклідів, їх міграцію у профілі ґрунту. Тобто, застосовуючи стандартні агрохімічні чинники, можна суттєво обмежувати радіаційне навантаження, пов'язане із трофічним ланцюгом накопичення радіонуклідів у населення, яке вимушене проживати та господарювати на землях зони впливу аварії на ЧАЕС.

1. Гулякин И.В. Радиоактивные продукты деления в почве и растениях / И.В. Гулякин., Е.В. Юдинцева. – М. : Госатомиздат, 1962. – 276 с.
2. Докл. III-го Всесоюзного науч.-техн. совещания по итогам ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. – Зеленый мыс, 1992. – Т. 1, Ч. 1. – 186 с.
3. Чернобыльская катастрофа / под ред. В.Г.Барьяхтара. – К. : Наукова думка, 1995. – 559 с.
4. Досвід подолання наслідків Чорнобильської катастрофи в сільському та лісовому господарстві – 20 років після аварії на ЧАЭС: Збірн. доп. п'ятої Міжнар. конф. – Житомир, 2006. – 318 с.
5. Кухар В.П. Концепція нерозповсюдження радіонуклідів із земель зони впливу аварії на ЧАЭС та приклади її реалізації в дослідженнях ІБОНХ НАНУ / В.П. Кухар, О.М. Ляшенко, О.В. Піскун, Ю.С. Христинко // Досвід подолання наслідків Чорнобильської катастрофи в сільському та лісовому господарстві – 20 років після аварії на ЧАЭС: Тез. доп. Міжнар. конф. Житомир. – 2006. – С. 111–115.
6. Кухар В.П. Обґрунтування та розробка технології фіксації радіонуклідів в орному шарі ґрунту / В.П. Кухар, О.М. Ляшенко. – Наука, Чорнобиль-98: Тез. доп. наук.-практ. конф. – Київ, 1999. – 37 с.
7. Кухарь В.П. Некоторые подходы к ограничению выноса растениями  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  из дерново-подзолистой почвы / В.П. Кухарь, А.Н. Ляшенко, А.В. Пискун и др. // Радиационное наследие XX века и восстановление окружающей среды: Тез. докл. Междунар. конф. – Москва, 2000. – С. 103–104.
8. Кухар В.П. Порівняльне вивчення деяких схем обмеження переходу до рослин радіостронцію з дерново-підзолистого ґрунту / В.П. Кухар, О.М. Ляшенко, Ю.С. Христенко та ін. // П'ятнадцять років Чорнобильської катастрофи. Досвід подолання: Тез. доп. Міжнар. конф. – Київ, 2001. – 190 с.

**TRANSFORMATION OF  $^{137}\text{Cs}$  AND  $^{90}\text{Sr}$  IN THE SOIL-PLANT SYSTEM ON THE SOD-PODZOL SOIL UNDER THE INFLUENCE OF FERTILIZERS AND AMELIORANTS****O. Liashenko, O. Piskun, Yu. Hrystenko, V. Peredrij, I. Soldatkina**

*The Institute of bioorganic chemistry and petrochemistry (IBOPS NAS of Ukraine)  
Murmanska, 1, Kyiv-94, Ukraine  
e-mail: users@bpci.kiev.ua*

Influence of the number of agrochemical factors (such as mineral and organic fertilizers and ameliorants) on the plants' accumulation and migration of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  during long-term field observation was investigated. It was found out that usage of mineral and organic fertilizers under certain schemes allowed to make the plants' accumulation of radionuclide 2–7 times less. While using soils as agricultural lands (for 16 years) 93–98% of radiocesium and 88–97% of radiostrontium content in topsoil is left i.e. its migration outside the topsoil was 2–7% and 3–12%, respectively. By the use of large doses of macroelements and ameliorants it is possible to slow down the migration of radionuclides 2–3 times and to limit the quantity of its forms accessible for plants.

*Key words:* radionuclides, soil, plant, accumulation, migration, mineral and organic fertilizers.

**ТРАНСФОРМАЦІЯ  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  В СИСТЕМЕ ПОЧВА–РАСТЕНІЕ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВІ ПІД ВЛИВАННЯМ УДОБРЕНЬ І МЕЛІОРАНТІВ****А. Ляшенко, А. Пискун, Ю. Христенко, В. Передрий, І. Солдаткіна**

*Інститут біоорганічної хімії і нафтехімії НАН України  
ул. Мурманская, 1, м. Київ-94, Україна  
e-mail: users@bpci.kiev.ua*

Изучали влияние ряда агрохимических факторов (минеральные и органические удобрения, мелиоранты) на накопление растениями и миграцию в почве  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в многолетних (1989–2008) натурных исследованиях. Установлено, что применение минеральных и органических удобрений по определенным схемам позволяет снизить накопление радионуклидов растениями в 2–7 раз. При сельскохозяйственном использовании земель (на протяжении 16 лет) в пахотном слое (0–15 см) песчаной дерново-подзолистой почве остается 93–98% радиоцезия и 88–97% радиостронция от содержания этих радионуклидов в профиле почвы, то есть их миграция за границы пахотного горизонта составляла 2–7% и 3–12%. Используя высокие дозы удобрений и мелиорантов, можно снизить темпы миграции радионуклидов в профиле почвы в 2–3 раза, существенно ограничить количество доступных для растения форм.

*Ключевые слова:* радионуклиды, почва, растения, поглощение, миграция, органические и минеральные удобрения.

Стаття надійшла до редколегії 17.11.2009  
Прийнята до друку 07.06.2010