

## ВПЛИВ ЕКОЛОГО-ГРУНТОВИХ УМОВ НА ФОРМУВАННЯ РАДІАЦІЙНОЇ СИТУАЦІЇ НА ТЕРИТОРІЯХ, ЗАБРУДНЕНИХ УНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧАЕС

Б.С. Пристер<sup>1</sup>, В.А. Проневич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України

<sup>2</sup> Інститут агроекології і природокористування НААН

*Розглянуто особливості формування радіаційної ситуації в сільськогосподарському виробництві на територіях, забруднених унаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. На основі узагальнення післяаварійного досвіду здійснено оцінку ефективності систем контрзаходів, спрямованих на зниження рівня радіоактивного забруднення сільськогосподарської продукції. Сформульовано актуальні проблеми і завдання наукового супроводу виробництва сільськогосподарської продукції в зоні радіоактивного забруднення на віддалений після аварії період. Обґрунтовано, що використання сучасних технологій та ведення рентабельного сільськогосподарського виробництва є оптимальним способом реабілітації забруднених територій. Процеси природного відновлення не допоможуть найближчим часом нормалізувати радіаційну ситуацію, тому проведення спеціальних заходів на забруднених територіях залишається актуальним завданням і надалі.*

**Ключові слова:** радіоактивне забруднення, опромінення населення, наукові дослідження, торфові ґрунти, сільськогосподарські культури, природні пасовища, молоко корів.

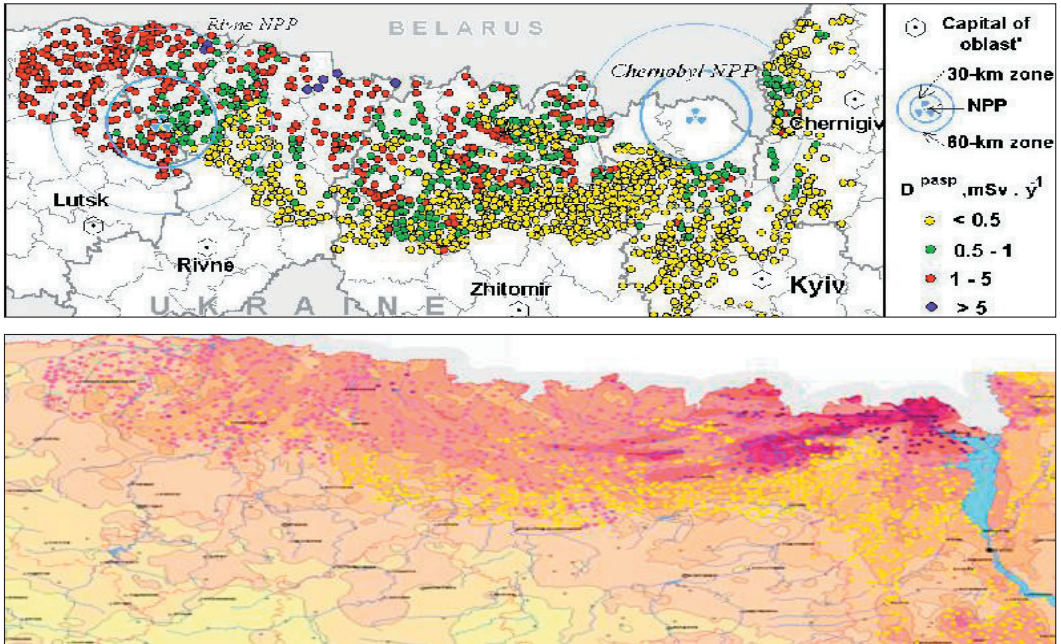
Аварія на Чорнобильській АЕС за своїми масштабами не мала аналогів у історії людства. Її наслідки вплинули на екологічний стан всього Європейського континенту. Тільки в Україні було забруднено радіонуклідами понад 5,4 млн га території 74 районів 12 областей, де проживало більше 3,2 млн населення, серед них понад 600 тис. дітей. Площа радіоактивно забруднених територій із щільністю понад 37 кБк/м<sup>2</sup> через 20 років після аварії (травень 2006 р.) становила 25,5 тис. км<sup>2</sup> [1], або 4,8% площі України. Щільність радіоактивних випадів змінювалася в широких межах: від безпечних до здатних зумовлювати біологічні ефекти, загибель біоти і бути небезпечними для здоров'я населення.

Соціальні наслідки аварії на ЧАЕС виявилися особливо важкими для населення Полісся, де сільськогосподарське виробництво є головним сектором економіки: природні ландшафти дають значну частку продукції, а доза опромінення сільського населення формується, в основному, внаслідок харчування продуктами власного виробництва.

Основні проблеми полягали в тому, що небезпека опромінення для сільського населення надходила через молоко і м'ясо корів, тобто продукти, які завжди складали основу їхнього харчування. Навіть через 30 років після аварії ця проблема залишається актуальною — 75–90% дози внутрішнього опромінення людини зумовлено споживанням молока і молочних продуктів, вироблених на радіоактивно забруднених територіях. У перші роки після аварії на ЧАЕС перевищення допустимих рівнів вмісту радіонуклідів у молоці сягало сотень разів і спостерігалось більш ніж у 1000 населених пунктах.

За період після аварії на ЧАЕС унаслідок природних процесів і під дією вжитих заходів рівні забруднення молока значно знизилися, кількість населених пунктів, де спостерігається перевищення вмісту радіонуклідів, на 2006 р. скоротилася до 200 [2]. На 2016 р. ця кількість зменшилася ще майже вдвічі, але у 30–70 населених пунктах уміст <sup>137</sup>Cs у молоці корів перевищує допустимий рівень у 2–8 разів.

Однією з принципових помилок у ході ліквідації наслідків Чорнобильської ава-



**Рис. 1.** Паспортна доза опромінення мешканців населених пунктів та щільність забруднення Українського Полісся

рії було прийняття за основний критерій радіаційної небезпеки показник щільності радіоактивного забруднення території, а не дозу опромінення людини. Це призвело до помилкових оцінок ситуації, насамперед на території Полісся, де просторовий розподіл дози внутрішнього опромінення значною мірою зумовлено екологічними чинниками, а не щільністю випадінь  $^{137}\text{Cs}$ .

У населених пунктах, віддалених на 300 км від ЧАЕС, на легких за механічним складом торфових ґрунтах, за рівнів забруднення нижче від  $15 \text{ Кі}/\text{км}^2$ , доза опромінення виявилася вищою, ніж поблизу епіцентру аварії на мінеральних ґрунтах (рис. 1) [2]. Найвища щільність радіоактивного забруднення  $^{137}\text{Cs}$  спостерігається в зоні м. Чорнобиля, але дози внутрішнього опромінення місцевого населення становлять менше  $0,5\text{--}1 \text{ мЗв}/\text{рік}$ . І навпаки, у зоні Полісся, де щільність забруднення становить  $1\text{--}5 \text{ Кі}/\text{км}^2$ , дози опромінення населення варіюють у межах  $1\text{--}5 \text{ мЗв}/\text{рік}$  і більше (ДР —  $1 \text{ мЗв}/\text{рік}$ ). У ґрунтово-екологічних умовах Полісся значення кое-

фіцієнтів переходу  $^{137}\text{Cs}$  із ґрунту в молоко змінюються у межах ( $\text{Бк}/\text{л}$  на  $1 \text{ кБк}/\text{м}^2$ ): від  $0,1$  — для чорноземів до  $3,0$  — для торфоболотних ґрунтів.

Отже, склад поглинених основ і реакція ґрунту виявляються одними з головних чинників, що визначають характер сорбції та міцність закріплення сорбованих продуктів поділу, до того ж головна роль належить кислотності розчину. Тобто носієм сорбційної здатності ґрунту щодо продуктів поділу є як мінеральна частина ґрунту (глинисті мінерали), так і його органічна речовина.

Мета роботи — вдосконалення радіаційного моніторингу, що дедалі ускладнюється внаслідок проникнення радіонуклідів чорнобильського походження в усі консервативні і тонкі структури навколишнього природного середовища.

#### МАТЕРІЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Моніторинг та дослідження стану радіоактивно забруднених земель, природних пасовищ, фауни і флори проведено

на території Полісся у КСП «Хлібороб», «Колос» Дубровицького р-ну Рівненської обл. за міжнародними чорнобильськими програмами ЕСР-5, ЕСР-9. На території господарств були підібрані пасовища з різними ґрунтовими відмінами та травостоєм, на яких випасалися молочні корови приватних господарств. Також закладено стаціонарні польові досліді, в процесі яких розроблялися заходи із зниження надходження  $^{137}\text{Cs}$  у пасовищні трави на різних типах ґрунтів: вивчали склад травосумішок на пасовищах та сінокосах, ефективність доз добрив та меліорантів, способи обробітку ґрунту тощо. Було досліджено надходження  $^{137}\text{Cs}$  у польові культури місцевих колективних та фермерських господарств.

Використовували загальноприйняті методи польових, вегетаційних і лабораторних досліджень. Контроль вологості ґрунту, гідрохімічного складу води і агрохімічного складу ґрунтів здійснювали з використанням загальноприйнятих уніфікованих методів (Лур'є, 1973; Русин, 1990), питому радіоактивність  $^{137}\text{Cs}$  і форми його вмісту у пробах ґрунтів визначали гамма-спектрометричними, радіометричними, радіохімічними і радіоекологічними методами (Марей та ін., 1990). Статистичну обробку отриманих даних проводили за загальноприйнятими методиками статистичного аналізу.

Комп'ютерне опрацювання результатів досліджень проводили за допомогою програм BioStat 2008, MS Excel 2007 з надбудовою AtteStat 12.1.7 і Origin Pro v8.5.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Функціонування радіонуклідів у торфових ґрунтах і їх перехід у рослини вивчено не повною мірою, хоча відомо, що за вирощування на таких ґрунтах овочів, особливо картоплі, питома активність  $^{137}\text{Cs}$  в урожаї може досягти рівня ДР-2006, а іноді й перевищувати ці нормативи [1].

Встановлено, що на торфовому ґрунті спостерігалось інтенсивне надходження  $^{137}\text{Cs}$  у зелену масу однорічних трав (вівсяно-горохової сумішки). Мінеральні, орга-

нічні добрива та вапняк помітно впливають на зниження переходу  $^{137}\text{Cs}$  із ґрунту в багаторічні трави. На дерново-підзолистому ґрунті найменший коефіцієнт переходу (КП — 0,35–0,82) відзначено після внесення сапропелю у дозі 60 т/га. Майже такі самі величини КП були після внесення калійних, фосфорно-калійних та комплексу мінеральних добрив. Лише у двох варіантах досліді — після внесення фосфорних і калійних добрив разом з мікродобривами ( $\text{CuSO}_4$  — 25 кг/га) та із застосуванням глинування у дозі 100 т/га з фосфорними і калійними добривами та вапняком — питома активність радіонукліда у сумішці відповідала вимогам допустимих рівнів (547 та 628 Бк/кг відповідно).

Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у бульбах картоплі у всіх варіантах, зокрема й на контролі, була нижчою від допустимих рівнів. Найменша питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у бульбах — 39 Бк/кг (КП — 0,20) спостерігалась після глинування в дозі 100 т/га разом з фосфорними і калійними добривами та вапняком за глибокого обробітку ґрунту.

За вирощування жита озимого на торфовому ґрунті надходження  $^{137}\text{Cs}$  у зерно було значно інтенсивнішим, ніж за вирощування на дерново-підзолистому ґрунті, хоча щільність забруднення  $^{137}\text{Cs}$  торфового ґрунту значно менша (8,6 та 5,2 Кі/км<sup>2</sup> відповідно). Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у зерні жита на торфовому ґрунті була у межах 530–659 Бк/кг, що в 4,5–5,4 раза більше, ніж на дерново-підзолистому. Найменшим був перехід  $^{137}\text{Cs}$  у зерно за поєданого використання фосфорних і калійних добрив та мікродобрив. Питома активність радіонукліда у зерні за такого удобрення була у межах 169–267 Бк/кг (КП — 0,88–1,39).

Доведено, що серед екологічних чинників, які впливають на доступність засвоєння рослинами радіонуклідів, основну роль відіграють властивості ґрунту. Тому необхідним є розроблення і вдосконалення моделей поведінки радіонуклідів у системі «ґрунт – рослина» для прогнозування та управління радіаційною ситуацією [3]. Значення екстрапольованих на нульовий момент часу коефіцієнтів переходу  $\text{Cs}^+$ ,

Таблиця 1

**Значення екстрапольованих на момент радіоактивного випадіння коефіцієнтів переходу TF(0)  $^{137}\text{Cs}$ , кг/м<sup>2</sup>**

Культура	Тип ґрунту			
	Торфоболотний	Дерново- підзолистий	Сірий лісовий	Черноземи
Природні трави	223	29	10	–
Сіяні трави	95	5,8	4,9	3,3
Конюшина	–	4,7	–	1,9
Люцерна	–	4,0	2,1	1,7
Кукурудза	39	2,5	1,7	1,3
Капуста	–	3,5	2,2	1,4
Томати	–	2,5	2,0	0,89
Огірки	–	2,6	1,8	1,4
Цибуля	–	1,9	–	0,58
Буряки	12	1,8	0,52	0,83
Картопля	8,0	1,1	0,74	0,39
Пшениця озима	–	1,1	0,61	0,21
Ячмінь	7,4	0,85	0,83	0,50
Жито	7,1	0,76	0,55	–

які характеризують біологічні особливості рослин, значно відрізняються для різних типів ґрунтів (табл. 1).

Встановлено, що ефективність агрохімічних заходів, яка оцінюється за відносним зниженням надходження  $^{137}\text{Cs}$  і за порівнянням з контрольними варіантами, не зменшується з плином часу і залежить від ступеня відмінності вихідних значень агрохімічних показників ґрунтів (до вжиття відповідного контраходу) від їх оптимальних значень: чим більше розходження, тим вищою є очікувана ефективність контраходу.

Як свідчать дослідження орного шару ґрунтів, унаслідок процесів вертикальної міграції радіонуклідів перехід їх через плужну підшову є незначним. Навіть в дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах, де швидкість вертикальної міграції радіонуклідів є максимальною, близько 90% валового запасу  $^{137}\text{Cs}$  та 75% —  $^{90}\text{Sr}$  містяться в орному горизонті 0–25 см. Загалом, через 30 років після аварії на ЧАЕС основна частка цих радіонуклідів концентрується в корене-вмісному шарі ґрунту і інтенсивно включається в біологічний кругообіг.

Після аварії на ЧАЕС зниженню накопичення  $^{137}\text{Cs}$  рослинами сприяли біогео-

хімічні процеси фіксації. Через 5–10 років після радіоактивних випадінь їх внесок скоротився, натомість істотно зріс внесок радіоактивного розпаду. Останніми роками (третій період після аварії на ЧАЕС) зменшення накопичення  $^{137}\text{Cs}$  рослинами переважно визначається розпадом радіонукліда. Систематизація результатів досліджень свідчить, що найефективнішим заходом зі зниження накопичення  $^{137}\text{Cs}$  (у 4–16 разів) продукцією рослинництва є глибока оранка та поліпшення якості лук і пасовищ (табл. 2).

В Україні за минуле десятиліття в сільськогосподарському виробництві для отримання радіоактивно безпечної продукції було вжито контраходів на 10% менше від потреби (табл. 3). Кількість населених пунктів з річною дозою опромінення населення вище 1 мЗв, починаючи з 1994 р., знижується доволі повільно і, в основному, завдяки процесам природної реабілітації ґрунтів.

Коефіцієнт всмоктування  $^{137}\text{Cs}$  із шлунково-кишкового тракту у кров великої рогатої худоби (ВРХ) становить близько 70% від кількості, що надійшла в організм тварини. На величину коефіцієнта всмоктування впливають такі чинники, як вид

Таблиця 2

**Зменшення радіоактивного забруднення продукції рослинництва  
внаслідок проведення контрзаходів, рази**

Контрзаходи		<sup>137</sup> Cs		<sup>90</sup> Sr	
		Ґрунти			
		мінеральні	органічні	мінеральні	органічні
Вапнування, 4–6 т/га		1,5–3,0	1,5–2,0	1,5–2,6	–
Внесення NPK		1,5–2,0	1,5–3,0	0,8–1,2	–
Гній, 50 т/га		1,5–3,0	–	1,2–1,5	–
Вапнування + NPK		1,8–2,7	2,5–4,0	–	–
Цеоліт		1,5–2,5	–	1,5–1,8	–
Оранка, 35–40 см		8–12	10–16	2,0–3,0	–
Поліпшення лук і пасовищ	корінне	1,5–9,0	4–16	1,5–3,5	3,0–5,3
	поверхнєве	2–3	2–14	2,0–2,5	3,0–5,0

Таблиця 3

**Зменшення радіоактивного забруднення продукції тваринництва  
внаслідок проведення контрзаходів, рази**

Контрзаходи		<sup>137</sup> Cs		<sup>90</sup> Sr
		молоко	м'ясо	молоко
<i>Ветеринарні</i>				
Застосування Cs-зв'язувальних препаратів		1,5–6,0	1,5–2,1	
Використання сорбентів		5,0	4,5	1,5
<i>Зоотехнічні</i>				
Передзабійна відгодівля «чистими» кормами		–	2,0–15	
Кормові добавки		1,2–1,5	1,5–3,1	1,3–1,5
Раціональне використання сінокосів і пасовищ		1,5–15	3,0–4,0	
Підбір кормів		2,0	30	

і ступінь перетравності корму, вік і фізіологічний стан тварин, проте їх частка становить всього кілька відсотків. На основі досліджень підтверджено три ефективних і принципово різних шляхи зменшення вмісту радіонуклідів у молоці і м'язовій тканині (м'ясі) тварин [4].

*Перший спосіб* — зменшення надходження радіонукліда в організм тварин шляхом зниження його вмісту в раціоні живлення. Змінюючи склад раціону, можна в 3–5 разів зменшити концентрацію радіонуклідів у молоці та м'ясі.

*Другий спосіб* — переведення радіонукліда в рубці жуйних тварин з іонного стану в зв'язаний до надходження в тонкий кишечник за допомогою сорбентів, запобігаючи його всмоктуванню в кров.

*Третій спосіб* полягає в передзабійній, переважно тристадійній, відгодівлі тварин радіоактивно безпечними кормами.

Доведено, що за відгодівлі тварин «чистими» кормами впродовж 40–60 діб основна частка <sup>137</sup>Cs виводиться з організму, а вміст радіонуклідів у м'язах зменшується в 6–10 разів. Із додаванням сорбен-



тів ефективність цього заходу підвищується [5].

Молоко є критичним дозоутворювальним продуктом харчування для населення, а тому зниження рівня його забруднення — одне з першочергових завдань виробників продукції тваринництва. Лучна і пасовищна рослинність накопичує в надземній біомасі значно більшу кількість радіонуклідів порівняно з культурами польових сівозмін, що зумовлено їх підвищеною концентрацією в дернині. Щільнокущові злаки (костриця, тонконіг) накопичують в 1,5–3 рази більше  $^{137}\text{Cs}$ , ніж кореневищні — пирій повзучий, стоколос безостий, кунічник повзучий тощо.

Встановлено, що у зеленій масі пасовищних трав найпоширеніших видів питома активність  $^{137}\text{Cs}$  була найнижчою за їх зростання на дерново-підзолистому ґрунті (табл. 4). Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у зеленій масі рослин, що зростали на торфових ґрунтах, була у 5–10 разів вищою, ніж у тих, що зростали на підзолистих. Коефіцієнти переходу радіонукліда в трави різних видів різняться вдвічі і більше. За величи-

ною коефіцієнтів переходу на дерново-підзолистому ґрунті вивчені види рослин розподілились у такий спадаючий ряд: перстач гусячий — тонконіг болотний — конюшина лучна і повзуча — пирій повзучий. На торфовому ґрунті коефіцієнти переходу в середньому були у 4 рази вищі порівняно з мінеральним дерново-підзолистим ґрунтом. Бобові компоненти у складі пасовищного корму мали в 1,5–4,0 рази вищу питому активність  $^{137}\text{Cs}$  у зеленій масі, ніж злакові [6].

Високі коефіцієнти переходу спостерігаються на пасовищах, розміщених на торфовому та торфоболотному ґрунтах урочищ Став та Озеро. В урочищі Став для тонконога болотного та перстачу гусячого коефіцієнти переходу становили 77,6 та 78,4 ((Бк/кг)/(кБк/м<sup>2</sup>)) відповідно; у всіх інших видах трав коефіцієнти переходу варіювали у межах 34,3–53,1; найнижчим цей показник був у рослин, що зростали на дерново-підзолистому і лісовому ґрунтах (1,3–19,7 та 4,2–11,3 відповідно).

Отже, видовий склад пасовищної рослинності істотно впливає на надходження

Таблиця 4

**Ботанічний склад та питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у травостой природних пасовищ КСП «Хлібороб» та «Колос» ( $n = 10$ ,  $\delta \leq \pm 30\%$ )**

Пасовище	Види рослин	Пасовищні трави		Питома активність $^{137}\text{Cs}$ , кБк/кг маси	КП $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг кБк/м <sup>2</sup>
		маса, г/м <sup>2</sup>	вміст, %		
Лісове на дерново-підзолистому ґрунті (57,4 кБк/м <sup>2</sup> )	Травостій, усього	300	100		
	Пирій повзучий	85,0	28,3	0,38	6,6
	Костриця червона	116,0	38,7	0,24	4,2
	Тонконіг лучний	79,0	26,4	0,55	9,6
	Тонконіг болотний	10,0	3,30	0,65	11,3
	Різотрав'я	10,0	3,30		
Лучне на торфоболотному ґрунті, урочище Озеро (180,8 кБк/м <sup>2</sup> )	Травостій, усього	344	100		
	Тимофіївка лучна	190	55,2	7,70	42,6
	Конюшина лучна	26,0	7,60	13,0	71,9
	Тонконіг лучний	69,0	20,0	6,90	38,2
	Перстач гусячий	52,0	15,1	9,10	50,3
	Костриця червона	4,00	1,20	6,70	37,1
	Різотрав'я	3,00	0,90		

радіонукліда до організму тварин та, зрештою, на його вміст у продукції. Змінюючи склад трав, можна значною мірою знизити вміст радіонуклідів у молоці.

Перевищення допустимих рівнів вмісту  $^{137}\text{Cs}$  найчастіше відбувається в молоці ВРХ приватних господарств. Це свідчить, що у разі заболочення місцевості та високого заліснення території профілактичні заходи, спрямовані на зниження рівнів забруднення молока в індивідуальних господарствах, вчасно не проводились, і саме ці райони найбільше страждають внаслідок весняної повені. Тому коефіцієнти переходу  $^{137}\text{Cs}$  у трави та молоко корів у 10–25 разів були вищими, ніж у громадському тваринництві.

Так, найвищим був показник питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у молоці, одержаному від корів, що випасалися на пасовищах з торфовими ґрунтами. Слід зауважити, що травостій також мав найвищий рівень радіоактивної забрудненості  $^{137}\text{Cs}$  — 9,82 кБк/кг (табл. 5). На лісовому та лучному пасовищах на дерново-підзолистому ґрунті показник активності  $^{137}\text{Cs}$  у молоці був нижчим і більше вирівняним у часі; у молоці корів, яких випасали в урочищі Заплава, цей показник становив 45–93 Бк/кг, в урочищі Став — 315–920 Бк/кг. Крім того, на міграцію  $^{137}\text{Cs}$  чітко прослідко-

вується вирішальний вплив ґрунтових відмін.

Максимальні коефіцієнти переходу  $^{137}\text{Cs}$  у молоко були зафіксовані за випасання корів у лісових масивах, де відзначається висока забрудненість пасовищної рослинності. Коефіцієнти переходу  $^{137}\text{Cs}$  з пасовищного корму в молоко на всіх пасовищах варіювали у межах 0,7–1,2. Споживання такого молока спричинило підвищені дози внутрішнього опромінення населення. З огляду на високі рівні радіоактивного забруднення кормів, нами проведено дослідження ефективності застосування хімічних та природних сорбентів у тваринництві.

Для зв'язування  $^{137}\text{Cs}$  в організмі тварин і переведення його в нерозчинну форму використовували препарати та мінеральні сорбенти — гексаціанофератні болюси, хумоліт, цеоліт, збагачені сорбентами комбікорми та сольові брикети [7]. Встановлено, що одноразове введення в рубець дійних корів приватного сектора с. Міляч гексаціанофератних болюсів (Норвегія) у кількості трьох одиниць на одну тварину знижувало рівні забруднення молока з 430–560 до 190–260 Бк/л упродовж 90 днів (рис. 2).

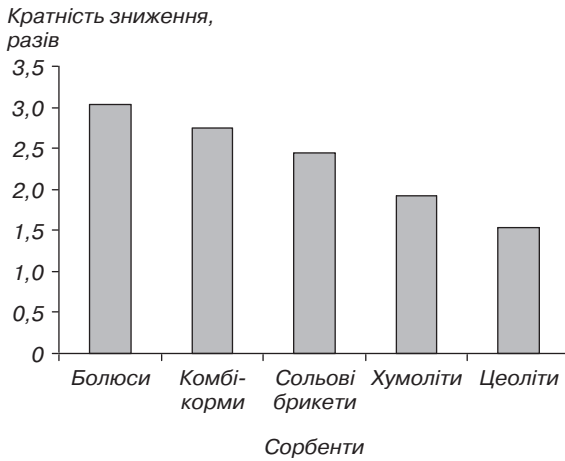
За одноразового введення двох гексаціанофератних болюсів дійним коровам при-

Таблиця 5

**Накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у молоці корів за випасання на пасовищах КСП «Хлібороб» ( $n = 10$ ,  $\delta \leq \pm 30\%$ )**

Тип пасовища та місцевість	Щільність забруднення ґрунту, кБк/м <sup>2</sup>	Молоко		Травостій*		A, Кі/км <sup>2</sup> **
		$^{137}\text{Cs}$ , Бк/л	КП	$^{137}\text{Cs}$ , кБк/кг	КП	
Лучне на дерново-підзолистому ґрунті, урочище Заплава	287	70 (45–93)	0,24	0,820	2,8	11,1
Лісове на дерново-підзолистому ґрунті, с. Міляч	70	400 (180–630)	5,7	8,37	120	0,5
Лучне на осушеному торфовищі, урочище Став	172	600 (315–920)	3,5	9,82	57	0,8
Лучне на торфоболотному ґрунті, урочище Озеро	112	280 (157–500)	2,5	6,03	54	1,1

Примітка: \* — повітряно-суха маса, \*\* — щільність забруднення ґрунту, за якої вміст  $^{137}\text{Cs}$  у молоці відповідає нормативу.



**Рис. 2.** Ефективність сорбентів за зниженням вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у молоці корів, середнє у КСП «Колос» та «Хлібороб» ( $n = 50$ ,  $\delta \leq \pm 30\%$ )

ватного сектора с. Лугове рівень забруднення молока радіонуклідами знижувався з 700–1050 до 335–375 Бк/л. Сорбенти на основі фероцину сприяли зниженню вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у молоці корів у 2,4–3,0 рази, тоді як хумоліти і цеоліти дещо менше — в 1,5–2,8 раза. Ефективним способом зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  в організм людини є переробка молока, завдяки чому концентрація радіонуклідів у молоці знижується у 2–6 разів (табл. 6).

Отже, усі перелічені заходи забезпечили можливість отримання сільськогосподарської продукції, що відповідає державним стандартам, майже на всіх забруднених після аварії на ЧАЕС територіях України, де допускається проживання населення.

## ВИСНОВКИ

Завдяки 30-літньому глибокому науковому вивченню розподілу радіоактивних забруднень, поведінки радіонуклідів

Таблиця 6

### Зменшення радіоактивного забруднення продукції за переробки молока, рази

Продукт	Зниження концентрації $^{137}\text{Cs}$
Сметана	1,2–1,3
Сир кисломолочний	1,1–1,4
Сир твердий	2,4
Масло	3,6–5,6

у взаємопов'язаних середовищах і прогнозу їх міграції нині можливо розробляти і реалізовувати найбільш обґрунтовані управлінські рішення щодо поліпшення радіаційної ситуації. Використання сучасних технологій та ведення рентабельного сільськогосподарського виробництва є оптимальним способом реабілітації забруднених територій.

Вжиття спеціальних заходів у населених пунктах, де зафіксовано споживання молока і деяких інших продуктів з перевищенням нормативу за вмістом  $^{137}\text{Cs}$ , повинні стати пріоритетними для досягнення рівня їх радіологічної безпеки. Розроблені технології дають можливість надавати адресну допомогу населенню та вживати заходів на забруднених територіях у віддалений період після аварії на ЧАЕС.

Як показує аналіз, процеси природної реабілітації не допоможуть найближчим часом нормалізувати радіаційну ситуацію, тому проведення контрзаходів на забруднених територіях залишається актуальним і досі. Пріоритет повинен бути відданий контрзаходам у тваринництві, які характеризуються значно вищою економічною ефективністю.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Чернобыльская катастрофа: эффективность мер защиты населения, опыт международного сотрудничества. Энергетика и электрификация / Б.С. Пристер, Р.М. Алексахин, В.Г. Бебешко и др.; [под ред. Б.С. Пристера]. — К., 2007. — 100 с.
2. Про стан подолання наслідків Чорнобильської катастрофи в Україні за 2006–2007 роки: Національна доповідь України / МНС України. — К., 2008. — 185 с.
3. Фурдичко О.І. Агроекологічні аспекти охорони навколишнього природного середовища на засадах збалансованого розвитку / О.І. Фурдичко, О.І. Лавров, В.В. Конішук // Агроекологічний журнал. — 2010. — № 2. — С. 5–11.



4. Radioecological aspects of radiosorbents application and their place in the system of countermeasures on the contaminated territory of Ukraine / B.S. Prister, G.A. Bogdanov, V.A. Pronevych et al. — Luxembourg: European Communities, 1996. — 320 p.
5. *Desmet G.M.* Chemical speciation and bioavailability of elements in the environment and their relevance to radioecology / G.M. Desmet, L.R. Van Loon, B.J. Howard // *The science of total environment*. — 1991. — No. 100. — P. 105–124.
6. *Проневич В.А.* Накопичення та міграція  $^{137}\text{Cs}$  в ґрунтах і рослинах природних пасовищ в умовах Волинського Полісся України / В.А. Проневич, С.Т. Вознюк, Н.І. Веремеєнко // *Вісник НУВГП: Зб. наукових праць*. — Рівне, 2012. — Вип. 2 (34). — Ч. 1. — С. 21–28.
7. Проблемы применения контрмер в сельском хозяйстве Украины после аварии на Чернобыльской АЭС / Б.С. Пристер, Ю.А. Иванов, Л.В. Перепелятникова, В.А. Проневич // *Вісник аграрної науки*. — 1996. — № 1. — С. 74–81.

## REFERENCES

1. Prister B.S., Aleksakhin R.M., Bebesko V.G. (2007). *Chernobyl'skaya katastrofa: effektivnost mer zashchity naseleniya, opyt mezhdunarodnogo sotrudnichestva. Energetika i elektrifikatsiya* [The Chernobyl catastrophe: the effectiveness of measures to protect the population, experience in international cooperation. Energy and Electrification]. Kiev, 100 p. (in Russian).
2. *Pro stan podolannya naslidkiv Chornobyl's'koyi katastrofy v Ukrayini za 2006–2007 roky: Natsional'na dopovid' Ukrayiny. MNS Ukrayiny* [On the state of the Chornobyl disaster in Ukraine for 2006–2007: National Report of Ukraine. Ministry of Emergency Situations of Ukraine]. Kyiv, 2008. 185 p. (in Ukrainian).
3. Furdychko O.I., Lavrov O.I., Konishchuk V.V. (2010). *Ahroekologichni aspekty okhorony navkolyshn'oho prirodnoho seredovyscha na zasadakh zbalansovanoho rozvytku* [Agroecological aspects of environmental protection on the basis of sustainable development]. *Ahroekologichnyy zhurnal* [Agroecological journal]. No. 2, pp. 5–11 (in Ukrainian).
4. Prister B.S., Bogdanov G.A., Pronevych V.A. (1996). Radioecological aspects of radiosorbents application and their place in the system of countermeasures on the contaminated territory of Ukraine. Luxembourg: European Communities Publ., 320 p. (in English).
5. Desmet G.M., Van Loon L.R., Howard B.J. (1991). Chemical speciation and bioavailability of elements in the environment and their relevance to radioecology. *The science of total environment*. No. 100, pp. 105–124 (in English).
6. Pronevych V.A., Voznyuk S.T., Veremeyenko N.Y. (2012). *Nakopychennya ta mihratsiya  $^{137}\text{Cs}$  v hruntakh i roslinakh pryrodnykh pasovyschch v umovakh Volyn's'koho Polissya Ukrayiny* [Accumulation and migration of  $^{137}\text{Cs}$  in the soil and plants, natural pastures in terms of Volyn Polissya Ukraine]. *Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya: zbirnyk naukovykh prats'* [Proceedings of the National University of Water and Environment Collected Works]. Rivne, vol. 2 (34), part. 1, pp. 21–28 (in Ukrainian).
7. Prister B.S., Ivanov Yu.A., Perepelyatnikova L.V., Pronevich V.A. (1996). *Problemy primeneniya kontrmer v selskom khozyaystve Ukrainy posle avarii na Chernobyl'skoy AES* [Problems of application countermeasures agricultural sector in Ukraine after the accident at Chernobyl Nuclear Power Plant]. *Visnyk agrarnoi nauki* [Journal of Agricultural Science]. No. 1, pp. 74–81 (in Russian).