

НАКОПИЧЕННЯ ^{137}Cs В УРОЖАЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЗАЛЕЖНО ВІД ВПЛИВУ АГРОХІМІЧНИХ ЧИННИКІВ

О.В. Ступенко, П.І. Витриховський, В.В. Гірник

ННЦ «Інститут землеробства НААН»

Узагальнено результати багаторічних досліджень впливу систем удобрення та хімічної меліорації на перехід ^{137}Cs в урожай сільськогосподарських культур. Вивчено вплив дефіциту для рослин таких важливих елементів живлення, як магній та сірка, що забезпечують азотний, фосфорний та вуглеводний обмін в організмі рослин і визначають формування врожаю та його якості; вапнування та рівня забезпечення ґрунту фосфором і калієм, доз азотних добрив, внесених під час підживлення, на накопичення в них радіонуклідів.

Ключові слова: агрохімічні чинники, перехід ^{137}Cs , радіонукліди, питома активність, радіоактивно забруднений, сільськогосподарські угіддя.

До Чорнобильської катастрофи північна частина Київської обл. мала рівень забруднення ґрунту ^{137}Cs у межах 0,1–1,0 кБк/м² і ^{90}Sr – 0,04. Забруднення цими радіонуклідами деяких видів сільськогосподарської продукції становило відповідно: для овочів 0,4 і 3 Бк/кг, для зерна 0,1 і 5, для грибів 0,4 і 0,9 Бк/кг [1, 2]. Унаслідок Чорнобильської катастрофи територія України з рівнем забруднення радіонуклідами понад 1 Кі/км² становила 50000 км² (5 млн га), а з рівнями у межах 5–15 Кі/км² – 3250 км² (325000 га) [3]. Тільки у Київській обл. [4] радіонуклідами було забруднено 1,53 млн га сільськогосподарських угідь, з яких близько 60 тис. га були тимчасово виведені з господарського використання. Станом на січень 2004 р. у більш ніж 400 населених пунктах, розташованих у зоні Полісся, вироблена продукція мала вміст радіонуклідів, що перевищував допустимий рівень чинних на той час нормативів (НРБУ-97).

Так, за підрахунками через 60 років після аварії на ЧАЕС (у 2046 р.) площа забруднених ^{137}Cs земель буде становити 10% від усієї радіоактивно забрудненої території у 1986 р. [5]. Навіть через тривалий період після аварії радіоекологічна ситуація на забруднених територіях залишатиметься непростю, про що свідчать

численні результати досліджень [5], згідно з якими потужність експозиційної дози від випромінювання ^{137}Cs досягне доаварійного рівня лише через 65 років.

Радіоекологічна ситуація на кожній окремо взятій території змінюється під дією як природних, так і антропогенних чинників, і ці зміни можуть бути істотними. Вклад вторинного забруднення тільки внаслідок перенесення вітром часток ґрунту варіює в межах 4,0–16,3% [6].

Серед найголовніших завдань з подолання наслідків аварії на ЧАЕС є зниження доз внутрішнього опромінення населення, яке проживає на забруднених територіях, завдяки виробництву безпечної сільськогосподарської продукції. На практиці доведено, що головним напрямом у досягненні цього є підвищення рівня культури землеробства, а отже і продуктивності агроценозів та покращення якісних показників вирощеного врожаю [7–9].

Мета роботи – вивчення впливу вапнування та рівня забезпечення ґрунту фосфором і калієм, доз азотних добрив, внесених як підживлення, на накопичення в зелених кормах та сіні радіонуклідів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У процесі роботи використовували польовий та лабораторний методи досліджень. Обліки, спостереження, відбори проб

грунту і рослин проводили відповідно до затверджені робочої програми досліджень за загальноприйнятими методиками.

Польові дослідження з вивчення впливу агрохімічних та агротехнічних чинників на перехід ¹³⁷Cs з ґрунту в рослини проводили впродовж 1988–2006 рр. на виведених з обробітку землях с. Пухів Поліського р-ну Київської обл., що характеризуються дерново-підзолистим супіщаним ґрунтом зі щільністю забруднення ¹³⁷Cs у межах 370–444 кБк/м² (10–12 Кі/км²). Кислотність однієї з двох дослідних ділянок (рН) – 5,4–5,7, а іншої (після вапнування) – 6,7–7,1, вміст рухомого фосфору за Кірсановим – 77–81 мг/кг, обмінного калію – 46–61 мг/кг ґрунту, щільність забруднення ¹³⁷Cs – 407–444 кБк/м². У досліді шляхом внесення розрахункових доз добрив сформовано середній – 100 мг/кг, підвищений – 150 та високий – 200 мг/кг рівні забезпеченості ґрунту фосфором і калієм окремо та у поєднанні з азотом у дозах 60 та 90 кг/га.

Було вивчено 13 варіантів удобрення у трьох повтореннях на двох фонах кислотності ґрунту, облікова площа кожної ділянки –

10 м², загальна – 16 м². Висівали сільськогосподарські культури, що відносяться до критичних за рівнем накопичення радіонукліда. Питому активність ¹³⁷Cs у пробах визначали на гамма-спектрометрі АМА-03-Ф4 зі сцинтиляційним детектором, похибка вимірювань становить ±15%.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Показники обліку врожаю сіна сумішки багаторічних злакових трав (табл. 1) засвідчили, що з трьох макроелементів у першому мінімумі перебував азот.

Найвищі врожаї сіна сумішки злакових трав у досліді одержували у варіантах з внесенням 60 і 90 кг/га азоту за підживлення навесні на фоні середнього, підвищеного та високого забезпечення ґрунту рухомими формами фосфору і калію. На ґрунті без проведення вапнування, але за внесення 60 кг азоту, врожайність сіна була в межах 34,5–37,7 ц/га, а за внесення 90 кг азоту – 44,3–51,3 ц/га.

На провапнованому ґрунті врожайність сіна за внесення 60 кг азоту варіювала у межах 35,5–39,5 ц/га, а за внесення 90 кг азоту – 49,7–56,4 ц/га.

Таблиця 1

Урожайність сіна сумішки багаторічних злакових трав, вирощених на радіоактивно забруднених дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах у 1988–2006 рр., ц/га

Варіант	Урожайність, ц/га					
	не вапнований ґрунт			провапнований ґрунт		
	1-й укіс	2-й укіс	разом за два укоси	1-й укіс	2-й укіс	разом за два укоси
Без добрив	11,2	9,2	20,4	9,4	8,9	18,3
K ₁₀	11,3	9,7	21,0	10,8	9,2	20,0
K ₁₅	10,8	9,5	20,3	10,5	9,5	20,0
K ₂₀	10,1	9,9	20,0	10,7	9,4	20,4
P ₁₀	12,4	10,7	23,1	11,5	11,3	22,8
P ₁₅	13,5	10,6	24,1	12,7	11,8	24,5
P ₂₀	13,6	11,0	24,6	13,0	11,4	24,4
P ₁₀ K ₁₀ + N ₆₀	19,9	14,6	34,5	16,9	18,6	35,5
P ₁₅ K ₁₅ + N ₆₀	21,0	15,2	36,2	17,3	19,9	37,2
P ₂₀ K ₂₀ + N ₆₀	21,7	16,0	37,7	17,8	21,7	39,5
P ₁₀ K ₁₀ + N ₉₀	24,5	19,8	44,3	25,3	24,4	49,7
P ₁₅ K ₁₅ + N ₉₀	25,7	21,5	47,2	25,9	26,1	52,0
P ₂₀ K ₂₀ + N ₉₀	29,1	22,2	51,3	27,0	29,4	56,4

Питома активність одержаного в досліді врожаю сіна (табл. 2) була істотно нижчою порівняно з попередніми роками досліджень, що зумовлено процесами авто-реабілітації та впливу чинників, розглянутих у досліді.

Одержане у всіх варіантах сіно за рівнем забруднення ¹³⁷Cs було придатним для годівлі ВРХ без обмежень. Найсильнішим чинником впливу на зниження рівня питомої активності одержаного врожаю було визнано умови мінерального живлення рослин. На фоні без застосування вапнування, за досягнення середнього рівня забезпечення ґрунту рухомими формами калію, порівняно з контролем без добрив спостерігалось зниження забруднення сіна в 1,8 раза, а за підвищеного та високого рівнів – відповідно в 2,4 і 3,1 раза. На провапнованому фоні кратність зниження забруднення врожаю від досягнення середнього, підвищеного та високого рівнів забезпечення ґрунту калієм порівняно з контролем (без добрив) була дещо нижчою, що становить відповідно 1,4, 1,8 і 2,3 раза.

Оптимізація забезпечення ґрунту рухомими сполуками фосфору і калію одночасно сприяла незначному підвищенню врожайності сіна як без застосування вапнування, так і на провапнованому фоні, однак в останньому варіанті ця тенденція проявлялась чіткіше.

Внесення азотних добрив у дозах 60 і 90 кг/га як підживлення на фоні середнього, підвищеного та високого рівнів забезпечення рухомими сполуками фосфору і калію не сприяло зростанню питомої активності ¹³⁷Cs у врожаї сіна порівняно з контролем (без добрив).

Умови мінерального живлення рослин впливають не тільки на продуктивність сільськогосподарських культур, але і на якість одержаного врожаю, зокрема на рівень його радіоактивного забруднення. Так, внесення збалансованих доз макро- і мікроелементів сприяє зростанню продуктивності культур, і зрештою, зменшенню питомої активності ¹³⁷Cs в їх урожаї (табл. 1–3).

На сьогодні в Україні ще недостатньо вивчено вплив таких важливих елементів

Таблиця 2

Питома активність сумішки багаторічних злакових трав, вирощених на радіоактивно забруднених дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах у 1988–2006 рр., Бк/кг

Варіант	1-й укіс		2-й укіс		Середнє	
	Ґрунт					
	не вапнований	провапнований	не вапнований	провапнований	не вапнований	провапнований
Без добрив	367	286	246	105	307	196
K ₁₀	166	197	220	161	193	179
K ₁₅	136	117	146	129	141	123
K ₂₀	89	81	109	93	99	87
P ₁₀	310	226	188	124	249	175
P ₁₅	280	264	224	159	252	212
P ₂₀	224	215	201	189	213	202
P ₁₀ K ₁₀ + N ₆₀	189	86	172	110	181	98
P ₁₅ K ₁₅ + N ₆₀	154	88	130	94	142	91
P ₂₀ K ₂₀ + N ₆₀	147	39	160	84	154	62
P ₁₀ K ₁₀ + N ₉₀	106	54	252	182	179	118
P ₁₅ K ₁₅ + N ₉₀	103	101	189	162	146	132
P ₂₀ K ₂₀ + N ₉₀	74	49	184	147	129	98

Таблиця 3

Урожайність та питома активність льону та люпину вузьколистого, вирощеного на радіоактивно забруднених дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах у 1988–2006 рр.

№ варіанта	Варіант	Урожайність льону, ц/га		Питома активність ¹³⁷ Cs в урожаї льону, Бк/кг		Урожайність люпину вузьколистого, ц/га			Питома активність ¹³⁷ Cs в урожаї люпину вузьколистого, Бк/кг		
		Соломка	Насіння	Соломка	Насіння	Зелена маса	Зерно	Солома	Зелена маса	Зерно	Солома
1	Без добрив	38	3,8	17	<10	78	18,0	23,0	765	510	441
2	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	53	6,6	16	–	460	23,2	30,6	448	153	302
3	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀ + Mg ₁₀	52	6,8	22	–	168	23,6	31,9	345	224	234
4	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀ + S ₁₀	61	6,5	21	–	200	25,6	34,8	240	146	310
5	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀ + Mg ₁₀ S ₁₀	59	6,9	14	–	228	27,2	38,4	347	217	145
6	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀ + Mg ₂₀ S ₂₀	62	6,9	14	–	256	28,0	38,9	327	87	244
7	Екоплант, 2 ц/га	40	3,1	21	–	104	22,8	32,4	842	149	261
8	Екоплант, 2 ц/га + N ₆₀ P ₉₀	52	6,5	14	–	132	26,0	36,0	444	134	122
НІР ₀₅ , ц/га		–	–	–	–	12,8	1,9	2,7	–	–	–

живлення, як магній та сірка, що беруть участь в азотному, фосфорному та вуглеводному кругообігу в організмі рослин, на безпосереднє формування врожаю та його якості. Щоб з'ясувати вплив магнію та сірки на врожайність культур у ланці сівозміни та питому активність радіонуклідів у певних частинах їх продукції, вирощували льон-довгунець та люпин вузьколистий.

Обліки врожаю соломки льону (табл. 3) засвідчили, що внесені добрива мали істотний вплив на врожайність як соломки, так і насіння льону. Найвищу врожайність соломки в досліді (59–62 ц/га) було одержано за внесення N₆₀P₉₀K₁₂₀ та додатково – магнію і сірки у формі сульфатів у дозах 10 і 20 кг/га. Приріст урожаю порівняно з внесенням лише азоту, фосфору і калію становив 0,6–0,9 ц/га, а порівняно з контролем без добрив – 10,1–24,0 ц/га. Відповідно і урожайність насіння в цих варіантах була найвищою, хоча вплив внесення магнію та сірки проявлявся дещо слабкіше.

Вивчення дії комплексного безазотного добрива Екоплант свідчить, що за внесення

його в дозі 2 ц/га врожайність соломки льону була на рівні контролю без добрив, і лише за додаткового внесення N₆₀P₈₀ урожайність як соломки, так і насіння льону була на рівні варіанта з внесенням рекомендованої дози мінеральних добрив.

Питома активність ¹³⁷Cs в урожаї льону була невисокою і становила 14–22 Бк/кг соломки, а питома активність насіння не перевищувала 10 Бк/кг.

Отже, вміст ¹³⁷Cs в урожаї льону, що надходить в рослину кореневим шляхом, не може слугувати перешкодою для відновлення вирощування цієї культури в зоні Полісся на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах із щільністю забруднення їх радіонуклідом у межах 370–444 кБк/м².

Вирощування за цією схемою удобрення люпину вузьколистого засвідчило, що внесені добрива впливали як на врожайність люпину вузьколистого, так і на питому активність ¹³⁷Cs в урожаї культури.

Найвищу врожайність зеленої маси люпину на початок фази цвітіння (256 ц/га)

було зафіксовано у варіанті з внесенням $N_{60}P_{90}K_{120}$ та додаванням $Mg_{20}S_{20}$. Збільшення цього показника порівняно з внесенням лише $N_{60}P_{90}K_{120}$ становив 96 ц/га. Внесення сірки виявилось ефективнішим, ніж внесення магнію. Аналогічні тенденції спостерігалися і щодо врожайності зерна та соломи люпину вузьколистого.

Визначення питомої активності ^{137}Cs в урожаї люпину вузьколистого, як і інших його видів, свідчить, що культурі властиво підвищене накопичення радіонуклідів.

Вивчення показників питомої активності ^{137}Cs у зеленій масі люпину за використання варіантів удобрення 1–3, 7, 8 (табл. 3) свідчить про непридатність продукції для годівлі тварин.

Рівень питомої активності зерна люпину в усіх варіантах істотно перевищував допустимі санітарні норми (ДР-2006) – 50 Бк/кг.

Тому на дерново-підзолистому супіщаному ґрунті зі щільністю забруднення понад 370 кБк/км² люпин вузьколистий можна вирощувати на насіння або використовувати як сидерат.

ВИСНОВКИ

Результати проведених досліджень на виведених з сільськогосподарського використання землях Київського Полісся свідчать, що внаслідок припинення внесення органічних та сирих мінеральних добрив (каїніти, сільвініти) рослини можуть відчувати слабкий дефіцит магнію та сірки. Їх внесення сприятиме підвищенню врожайності культур, а отже і зменшенню питомої активності ^{137}Cs в урожаї.

Вимірювання питомої активності ^{137}Cs у певних складових врожаю льону, люпину вузьколистого і сіна сумішки багаторічних злакових трав свідчить, що за використання сучасних технологій вирощування на радіоактивно забруднених дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах зі щільністю забруднення 370–444 кБк/м² можна одержувати врожай цих культур, що відповідає санітарно-гігієнічним нормативам (ДР-2006). Зелену масу та сіно сумішки багаторічних злакових трав можна використовувати як корм для тварин, а люпин вузьколистий як зелене добриво та вести його насінництво.

ЛІТЕРАТУРА

1. Радіаційно-екологічні аспекти використання забруднених земель у віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС / О.І. Дутов, В.П. Ландін, А.О. Мельничук, О.І. Гриник // Агроекологічний журнал. – 2015. – № 1. – С. 115–120.
2. Радіаційний стан зони відчуження / В.В. Деревець, Ю.П. Іванов, С.В. Казаков та ін. // Бюл. зони відчуження. – 1999. – № 13. – С. 9–19.
3. Чорнобильська катастрофа / За ред. В.Г. Барягара. – К.: Наукова думка. – 1996. – 576 с.
4. Радіаційна ситуація на сільськогосподарських угіддях Київської області та заходи щодо зниження негативної дії наслідків Чорнобильської катастрофи: Методичні рекомендації / За ред. П.П. Надточія. – К., 2000. – 94 с.
5. Герменчук М.Г. Динамика радиационной обстановки: анализ и прогноз по результатам многолетнего мониторинга на территории республики Беларусь / М.Г. Герменчук // Третий з'їзд з радіа-

- ційних досліджень (Київ, 21–23 травня 2003 р.). – К., 2003. – С. 285.
6. Архипова Т.С. Оценка эффективности различных агротехнических мероприятий по снижению перехода ^{137}Cs в травостой пастбищ / Т.С. Архипова, Т.Б. Усачева // I Всесоюзный радиобиологический съезд. – Пушино, 1989. – Т. 2. – С. 409.
7. Досвід подолання наслідків Чорнобильської катастрофи (сільське та лісове господарство) / П.П. Надточій, А.С. Малиновський, А.О. Можар та ін. – К.: Світ, 2003. – С. 37.
8. Сайко В.Ф. Землеробство на радіоактивно забруднених землях / В.Ф. Сайко, П.І. Витриховський, О.В. Ступенко // Вісник аграрної науки. – 2011. – № 4. – С. 56–59.
9. Фурдичко О.І. Якість і безпечність сільськогосподарської продукції в контексті продовольчої безпеки України / О.І. Фурдичко, О.С. Дем'янюк // Агроекологічний журнал. – 2014. – № 1. – С. 7–12.

REFERENCES

1. Dutov O.I. Landin V.P., Melnychuk A.O., Hrynyk O.I. (2015). *Radiatsiino-ekolohichni aspekty vykorystannia zabrudnennykh zemel u viddalenyi period*

- pislia avarii na Chornobylskii AES* [Radiation and environmental aspects of contaminated land in the remote period after the accident at the Chernobyl

- nuclear power plant]. *Ahroekologichnyi zhurnal* [Agroecology journal]. No. 1, pp. 115–120 (in Ukrainian).
2. Derevets V.V., Ivanov Yu.P., Kazakov S.V., Marchenko V.I., Doroshenko L.A. (1999). *Radiatsiyni stan zony vidchuzhennia* [Radiation Exclusion Zone]. *Biul. zony vidchuzhennia* [Bul. exclusion zone]. No. 13, pp. 9–19 (in Ukrainian).
 3. Bariakhtar V.H. (1996). *Chornobylska katastrofa* [The Chernobyl disaster]. Kyiv: Naukova dumka Publ., 576 p. (in Ukrainian).
 4. Nadtochii P.P. (2000). *Radiatsiina sytuatsiia na silskohospodarskykh uhiddiakh Kyivskoi oblasti ta zakhody shchodo znyzhennia nehatychnoi dii naslidkiv Chornobylskoi katastrofy: Metodichni rekomendatsii* [The radiation situation in agricultural land in Kyiv region and measures to reduce the negative impact of the consequences of the Chernobyl disaster: Guidelines]. Kyiv, 94 p. (in Ukrainian).
 5. Germenchuk M.G. (2003). *Dinamika radiatsionnoy obstanovki: analiz i prognos po rezultatam mnogoletnego monitoringa na territorii respubliki Belarus* [The dynamics of the radiation situation analysis and forecast on the results of long-term monitoring in the republic of Belarus]. *Tretiy zizd z radiatsiynikh doslidzen, Kyiv, 21–23 travnya 2003 r.* [Third Congress of Radiation Research, Kyiv, 21–23 May 2003]. Pp. 285 (in Ukrainian).
 6. Arkhipova T.S., Usacheva T.B. (1989). *Otsenka effektivnosti razlichnykh agrotekhnicheskikh meropriyatiy po snizheniyu perekhoda ^{137}Cs v travostoy pastbishch* [Evaluating the effectiveness of various technical measures to reduce the transition of ^{137}Cs in the pasture sward]. *I Vsesoyuznyy radiobiologicheskii sezd* [I radiobiological Union Congress]. Pushchino. Vol. 2, p. 409 (in Russian).
 7. Nadtochii P.P., Malynovskiy A.S., Mozhar A.O. (2003). *Dosvid podolannia naslidkiv Chornobylskoi katastrofy (silse ta lisove hospodarstvo)* [Experience of Chernobyl (agriculture and forestry)]. Kyiv: Svit Publ., p. 37 (in Ukrainian).
 8. Saiko V.F., Vytrykhovskiy P.I., Stupenko O.V. (2011). *Zemlerobstvo na radioaktyvno zabrudnenykh zemliakh* [Agriculture in contaminated land]. *Visnyk ahromoi nauky* [Bulletin of Agricultural Science]. No. 4, pp. 56–59 (in Ukrainian).
 9. Furdychko O.I., Demianiuk O.S. (2014). *Yakist i bezpechnist silskohospodarskoi produktsii v konteksti prodovolchoi bezpeky Ukrainy* [The quality and safety of agricultural products in the context of food security of Ukraine]. *Ahroekologichnyi zhurnal* [Agroecology journal]. No. 1, pp. 7–12 (in Ukrainian).

УДК 616.181.351:519.677

РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ СЕЛІТЕБНИХ ТЕРИТОРІЙ У РЕГІОНІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Г.М. Чоботько

Інститут агроекології і природокористування НААН

Наведено результати аналізу та встановлено закономірності виявлення критичних екосистем і чинників, що визначають дозове навантаження на населення території Українського Полісся, забрудненої радіонуклідами внаслідок аварії на ЧАЕС.

Ключові слова: радіоекологічний моніторинг, критичні екосистеми, радіонукліди, трофічні ланцюги, щільність радіоактивного забруднення.

Наслідки Чорнобильської катастрофи ліквідовуються вже 30 років, проте і досі продовжується осмислення й узагальнення одержаних результатів. Радіоактивний слід від аварії на ЧАЕС формувався в складних умовах і тому важко піддавався коректному математичному моделюванню. Викид радіоактивних речовин відбувався впродовж тривалого часу з різних частин

активної зони реактора, з різним ступенем вигорання палива і, зрештою, із різним радіонуклідним складом. Фізико-хімічні властивості радіонуклідів, що потрапили в атмосферу, змінювалися залежно від часу викиду. Метеорологічні умови, що також змінювалися впродовж часу, зумовили складність і неоднорідність радіоактивного забруднення території як за рівнем забруднення, так і за радіонуклідним складом.

© Г.М. Чоботько, 2016