

УДК 633.367.1.:631.442.1:631.527.4.5:118.3

DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2022-1-26-35>

АККУМУЛЯЦИЯ РАДИОНУКЛИДА В ГИБРИДНОМ МАТЕРИАЛЕ ЖЕЛТОГО ЛЮПИНА

М.Г. Драганская, доктор сельскохозяйственных наук

И.К. Саввичева, доктор сельскохозяйственных наук

П.Ю. Лищенко, научный сотрудник

*Новозыбковская СХОС – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»
243020, Россия, Брянская область, Новозыбковский округ, пос. Опытная станция
ngsos-vniia@yandex.ru*

RADIONUCLIDE ACCUMULATION IN HYBRID MATERIAL OF YELLOW LUPINE

M.G. Draganskaya, Doctor of Agricultural Sciences

I.K. Savvicheva, Doctor of Agricultural Sciences

P.Yu. Lishchenko, Researcher

*Novozybkov Agricultural Experimental Station – branch of Federal Williams Research Center
of Forage Production and Agroecology
243020, Russia, Bryansk region, Novozybkov district, p. Opytnaya stantsiya
ngsos-vniia@yandex.ru*

В 90-х годах прошлого столетия в селекционных питомниках Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции были отобраны образцы люпина желтого с относительно низкой концентрацией цезия-137 в семенах и зеленой массе: 4-83, СН-1408, 52-87-2113, сорт Кастрычник и др. Они были привлечены в гибридные комбинации и получены номера 1-00-2-9, 1-02 и 10-04, 7-09, 8-12, которые неоднократно использовались в качестве родительских форм в скрещиваниях последних лет. Исследования показали возможность получения положительных результатов по блокировке аккумуляции цезия-137 на ранних стадиях селекционного процесса, что способствует сохранению ценного материала для дальнейшего изучения при гибридизации и создании сортов желтого люпина с максимально низким содержанием ^{137}Cs в конечной продукции. За 2018–2019 гг. выявлены сортообразцы гибридного происхождения люпина желтого со стабильно низким накоплением цезия-137 в зерне независимо от плотности загрязнения почвы: 5-14-11 (112 и 243 Бк/кг), 5-12-92 (206 и 221 Бк/кг), 13-10-96 (270 и 243 Бк/кг), 15-10-7212 (235 и 271 Бк/кг). Несмотря на более высокую плотность загрязнения почвы (13–33%), в 2019 г. в гибридном материале 2-08-57, 4-08-116, 11-10-65 и 12-10-66 снизилась концентрация ^{137}Cs в зерне на 13–63% при опосредованном участии в скрещиваниях сортообразцов, отобранных в 1994–1996 гг. В 2020 г. анализ 13 образцов показал существенное снижение аккумуляции цезия-137 в зерне, до 61–136 Бк/кг, независимо от снижения (8–34%) или повышения (5–46%) плотности загрязнения почвы относительно 2018–2019 гг., а также урожайности зерна. Стабильности по содержанию цезия-137 в зеленой массе не получено: в 2018 г. из 60 проб 12 сортообразцов укладывались в норматив по сухому веществу (400 Бк/кг), в 2019 г. они отсутствовали в результате низкой урожайности зеленой массы. Образцы 5-12-92, 5-14-11, 13-10-96, 4-08-116 и др. были включены в скрещивания в качестве

родительских форм, а полученное потомство проходит испытание в гибридных и селекционных питомниках с целью исследований по блокировке накопления ^{137}Cs в зерне желтого люпина. Установлено, что в течение трех лет самое низкое содержание радионуклида в зерне желтого люпина получено у образцов 5-12-92 и 5-14-11, с которыми будут заложены семеноводческие питомники испытания потомств.

Ключевые слова: люпин желтый, родительские формы, гибриды, цезий-137, аккумуляция, блокировка.

In the 90s of the last century, in the breeding nurseries of the Novozybkov Agricultural Experimental Station, samples with a relatively low concentration of cesium-137 in the seeds and green mass of yellow lupine were selected: 4-83, SN-1408, 52-87-2113, variety Kastrыchnik, etc. They were involved in hybrid combinations and received numbers 1-00-2-9, 1-02 and 10-04, 7-09, 8-12, which have been repeatedly used as parental forms in crosses in recent years. Studies have shown the possibility of obtaining positive results in blocking the accumulation of cesium-137 at the early stages of the breeding process, which contributes to the preservation of valuable material for further study during hybridization and the creation of yellow lupine varieties with the lowest possible content of ^{137}Cs in the final product. For 2018–2019 varieties of hybrid origin of yellow lupine with a consistently low accumulation of cesium-137 in the grain were identified, regardless of the density of soil pollution: 5-14-11 (112 and 243 Bq/kg), 5-12-92 (206 and 221 Bq/kg), 13-10-96 (270 and 243 Bq/kg), 15-10-7212 (235 and 271 Bq/kg). Despite the higher density of soil contamination by 13–33% in 2019, in the hybrid material 2-08-57, 4-08-116, 11-10-65 and 12-10-66, the concentration of ^{137}Cs in grain decreased by 63% with indirect participation in crosses of variety samples selected in 1994–1996. In 2020, the analysis of 13 samples showed a significant decrease in the accumulation of cesium-137 in grain to 61–136 Bq/kg, regardless of the decrease (8–34%) or increase (5–46%) in the density of soil contamination relative to 2018–2019, as well as grain yield. Stability in terms of the content of cesium-137 in the green mass was not obtained: in 2018, out of 60 samples, 12 variety samples fit into the standard for dry matter (400 Bq/kg), in 2019 they were absent due to the low yield of green mass. Accessions 5-12-92, 5-14-11, 13-10-96, 4-08-116, etc. were included in crosses as parental forms, and the resulting offspring are being tested in hybrid and breeding nurseries for the purpose of research on blocking the accumulation of ^{137}Cs in yellow lupine grain. It has been established that within three years the lowest radionuclide content in yellow lupine grain was obtained from samples 5-12-92 and 5-14-11, with which seed nurseries for testing offspring will be established.

Keywords: yellow lupine, parental forms, hybrids, cesium-137, accumulation, blocking.

Введение. На первых этапах исследований после аварии на ЧАЭС у культурных растений отмечалась межвидовая разница в 10–30 раз по аккумуляции радионуклидов, связанная с продолжительностью вегетационного периода, характером распределения корневой системы и другими биологическими свойствами [1–6]. Опытным путем были выявлены различия и по сортам различных культур: озимая рожь Новозыбковская 150 меньше накапливала ^{137}Cs , чем Пуховчанка; ячмень Гонор в 1,6 раза меньше, чем Московский 2; люпин Бы-

строрастиющий 4 в 1,5 раза меньше Кристалла; картофель Невский в 1,4 раза меньше, чем Темп [7].

Люпин желтый является культурой с максимальной аккумуляцией радионуклида в конечной продукции, как после аварии, так и 32 года спустя. Вероятно, это связано, во-первых, с азотфиксацией клубеньковыми бактериями, так как азот провоцирует поступление цезия-137 в растения [8; 9]. Во-вторых, корневая система люпина имеет большую удельную поверхность корневых волосков, плотность их зарядов и ей доступна

трудноусвояемая вода, содержащая долю адсорбированного катиона ^{137}Cs , увеличивающая его биовынос, т. е. содержание радионуклида в зеленой массе и зерне [10]. Также она способна поднимать из глубоких горизонтов такие элементы питания как фосфор и калий. При недостатке калия в песчаных почвах поступление цезия-137 в растения люпина вполне объяснимо, так как ^{137}Cs является аналогом калия [11].

Исследования, проведенные в 1994–1996 гг. в Новозыбковском опорном пункте ВНИИ люпина, показали, что межсортовые различия у желтого люпина по накоплению радиоцезия как в зеленой массе, так и в зерне достигали 1,3–3,0 раза [12; 13]. Выделен ряд образцов со сниженным накоплением цезия, которые были вовлечены в гибридизацию. Изучение полученного гибридного материала в изменившихся климатических условиях и в отдаленном от аварии радиационном фоне позволило выделить исходный материал, в котором малое накопление радионуклида обусловлено генетическими факторами и который будет использован для создания кормовых сортов желтого люпина и реабилитации культуры в условиях радиационного загрязнения.

В 2018 г. между ФГБНУ ВНИИ РАЭ (Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, г. Обнинск) и Новозыбковской СХОС – филиалом ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» был заключен договор о научно-техническом сотрудничестве на проведение мониторинга миграционных процессов радионуклида в системе «почва — растение» в отдаленный период после аварии на ЧАЭС.

Согласно договору НСХОС предос-

тавила ФГБНУ ВНИИ РАЭ по 60 сопряженных образцов почвы, сухой зеленой массы и зерна, отбираемых с каждой деланки в 2018–2019 гг., и по 13 номеров в 2020 г.

Методика исследований. Исследования проводились в селекционных питомниках испытания потомств гибридного материала в 2018–2020 гг. с учетом требований «Методики полевого опыта» Б.А. Доспехова. Почва дерново-подзолистая песчаная с содержанием гумуса 1,0–1,2% (по Тюрину), подвижного фосфора 200–250 и обменного калия 50–70 мг/кг (по Кирсанову) при слабокислой реакции почвенного раствора. Мониторинг за загрязненностью почвы, семян и зеленой массы желтого люпина проводился с гибридным материалом НСХОС и родительскими формами спустя 34 года после аварии на ЧАЭС. Содержание цезия ^{137}Cs в почвенных и растительных образцах измеряли полупроводниковым гамма-спектрометром Canberra с программным обеспечением Genie-2000 по количественному анализу спектров «mode: force-http – s» PRP.

Закладка питомников происходила на полях № 3, № 4 и № 9 лаборатории селекции и семеноводства Новозыбковской СХОС – филиала ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». Проводилась она во второй декаде апреля: ручной посев коллекционного и питомника гибридизации, селекционного питомника второго года (СП-2) на 2,5 м² с нормой 60 шт./м²; контрольного питомника (КП), предварительного и конкурсного сортоиспытания (ПСИ и КСИ) — на 5 м² ручной сеялкой с нормой 1 млн семян/га.

Размещение деланок систематическое, повторность 2–4-кратная, предшественник — озимая рожь. Обработка

почвы состояла из осеннего дискования стерни легкими дисками с последующей (через две–три недели) зяблевой вспашкой. Весной поле бороновали для закрытия влаги, вносили $P_{20}K_{90}$ по д. в. в виде борофоски и хлористого калия под культивацию, перед посадкой прикатывали кольчатыми катками или доминатором в один–два следа в зависимости от состояния почвы.

Отбор проб зеленой массы, почвы и зерна проводили по общепринятой методике: «Методические указания ВИУА по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. II. Анализ растений» (М., 1976).

Метеоусловия 2018–2020 гг. были крайне неблагоприятными, но отличные между собой: апрель и май 2018 г., а также две декады июня оказались засушливыми, тогда как в третьей декаде июня и июле шли дожди ливневого характера, что привело к снижению температуры и процесса фотосинтеза. В 2019–2020 гг. — апрель сухой, ливневые осадки наблюдались в первой и третьей декаде мая (2019 г.). Во время цветения (первая декада июня) было сухо, и главная кисть зацветала утром и заканчивала цветение двух–трех мутовок в один день, т. е. вечером. Последующие осадки июня и июля не смогли исправить положение: на главной кисти оформились бобы в двух–трех мутовках, без завязи бобов на боковых побегах.

Возможность проанализировать образцы, начиная с гибридных питомников F_3 – F_4 , что значительно облегчает процесс отбора образцов желтого люпина с нормативной загрязненностью ^{137}Cs в зерне и зеленой массе, является целью наших исследований.

Результаты исследований. ВНИИ

РАЭ в 2018 г. проанализировал 60 сопряженных образцов желтого люпина с целью выделения гибридных форм (F_1 – F_7) с предельно низким накоплением радиоцезия. Отобраны номера, у которых в качестве родительских (прародительских) форм в селекционный процесс были вовлечены образцы 4-83, СН-1408, 52-87-2113, 1477-1-17 и сорт Кастрычник с блокировкой ^{137}Cs в конечной продукции желтого люпина, выявленные в 1994–1996 гг. (табл. 1).

Номер 4-83 со стабильно низкой аккумуляцией радиоцезия-137 привлекался в скрещивание (мать) при создании сорта желтого люпина Новозыбковский 100. Данный сорт в качестве материнской формы участвовал в получении номеров 5-10-84 и 15-10-7212, у которых накопление ^{137}Cs в среднем составило: в зерне — 313 и 253 Бк/кг, зеленой массе — 414 и 731 Бк/кг. Данный номер 4-83 по линии отца сформировал образцы 1-02, 8-12, 7-09, которые, также по отцовской линии, привлекались в гибридные комбинации 13-10-96, 7-13-65 и 3-12-148 при содержании цезия-137 в зерне 256, 216, 178 Бк/кг и превышении норматива в 2,2 раза в зеленой массе.

В номерах 11-10-65, 3-12-148 и 7-13-65 в качестве отцовской формы в селекционном процессе использовался номер СН-1408, что дополнительно положительно сказалось на снижении концентрации ^{137}Cs в зерне.

Сорт Кастрычник по отцовской линии участвовал в создании номера 20-87-1644, от которого по материнской линии получен номер 5-12-92, а по отцовской — 5-14-11 при концентрации ^{137}Cs в зерне в отдаленный период после аварии соответственно 216 и 178 Бк/кг, в зеленой массе — 543 и 572 Бк/кг.

1. Родительские формы и гибридный материал

Гибридный образец	♀ (мать)	♂ (отец)
4-08-107	1477-1-17 белоцветковый, и. о. из сорта Брянский 6	Детер белоцветковый, и. о. из сорта Брянский 6
5-10-84 (Н)	Н-100 (4-83 (3-82 × Нарочанский) × 30-80 (R6022 × 21-76))	Дружный 165 (Афус × Академический 1) × Быстрорастущий 4)
11-10-65	52-87-2113 (R6022 (Афус × Рефуза) × БСХА-387)	Надежный 1а (АИФ 1779, и. о. из Г 23-96 × (СН 40/93 × СН-1408))
13-10-96	Надежный 1а	1-02 (2556 × 4-83 (3-82 × Нарочанский))
15-10-7212	Н-100 (4-83(3-82 × Нарочанский) × 30-80 (R6022 × 21-76))	Смесь пыльцы сортов Дружный 165, Надежный и Престиж
3-12-148	Надежный 2с, и. о. из Надежного 1а	7-09 (Н-100 (4-83 × 30-80) × СН-1408)
5-12-92	20-87-1644 (07-17 (Б-4 × Б-81) × Кастрычник)	10-04 (Ипутский × 52-87-2113)
7-13-65	Дружный 165 (R6022 (Афус × Академический 1) × Б-4)	F ₁ 8-12 (СН-1408 × 2-08-48 (Н-100 (4-83 × 30-80)))
5-14-11	17-00-5-4-4-4 (1-89 белоцветковый × 3-89 белоцветковый) × 240)	20-87-1644 (07-17 (Б-4 × Б-81) × Кастрычник)

Примечание: R6022 — Афус × Рефуза; 21-76 — Дружный 165 (Афус × Академический 1) × Б-4; 2556 — и. о. из СН-1408; 240 — и. о. из Дружный 165; Б-4 — Быстрорастущий 4; Б-81 — Быстрорастущий 81.

Отмечено, что белоцветковая форма люпина желтого (1477-1-17) способствовала снижению накопления цезия-137 в гибридных образцах 4-08-107 и 5-14-11 как в зерне, так и зеленой массе.

Образцы комбинаций скрещивания 2014 г. показали низкую концентрацию радионуклида в зерне — от 103 до 287 Бк/кг, в зеленой массе — от 260 до 524 Бк/кг. В скрещивания привлекали сорта и образцы в комбинациях 3–14 в качестве материнской и 4–14 отцовской формы — сорт Новозыбковский 100; 7–14 (мать) и 8–14 (отец) — белоцветковая форма 1477-1-17; 17–14 (мать) и 18–14 (отец) — номер 52-87-2113. Полученный гибридный материал будет высеян в селекционном питомнике первого года для дальнейшего изучения.

Спустя 20 лет после аварии на ЧА-

ЭС, по многолетним сопоставимым величинам между плотностью загрязнения почвы и аккумуляцией ¹³⁷Cs в различных культурах была установлена как обратная зависимость (70%), так и прямая (30%) [7].

Изучение гибридного материала спустя 34 года показало так же не абсолютную зависимость накопления цезия-137 в зерне от плотности загрязнения почвы.

В 2018 г. гибридные номера 13-10-96, 11-10-65 и 3-12-148 при одинаковой урожайности зерна, но с повышением плотности загрязнения почвы от первого номера к последнему на 16–46%, аккумулялировали цезия-137 меньше на 6–41%. Данный вывод подтверждается высоким отрицательным коэффициентом корреляции ($r = -0,602$) между плотностью за-

грязнения почвы и накоплением цезия-137 в зерне. Влияние плотности загрязнения почвы на накопление ^{137}Cs в зерне этих номеров в 2019 г. разнопланово: при одинаковой ее величине и меньшей на 14% под первыми двумя образцами концентрация одного порядка — 243–248 Бк/кг, в то время как при 17% снижении плотности загрязнения под номерами 3-12-148 и 5-10-84 она выросла на 22–25%. У гибридов 5-12-92 и 5-14-11 установлена прямая зависимость снижения содержания ^{137}Cs в зерне от плотности загрязнения почвы в 2018 г., а в 2019 г. концентрация радионуклида в них зависела больше от урожайности, чем от плотности загрязнения, на что указывает положительная связь «урожайность —

цезий-137» в зерне: $r = 0,671$.

Сравнивая результаты исследований за два года, следует отметить различное влияние как урожайности, так и плотности загрязнения почвы на аккумуляцию цезия-137 в гибридных образцах. Повышенная загрязненность почвы в 2019 г. на 52 и 15% под гибридными номерами 4-08-107 и 11-10-65 не увеличила содержание ^{137}Cs в зерне люпина, наоборот, наблюдалось снижение на 36 и 33% относительно 2018 г. При одинаковой плотности загрязнения почвы в 2018–2019 гг. под образцом 5-10-84 концентрация радионуклида в зерне в 2019 г. повысилась на 37%, что связано со снижением урожайности зерна на 40% (табл. 2).

2. Содержание ^{137}Cs в зерне и зеленой массе гибридов

№ пп	Гибрид	Цезий-137, Бк/кг						Урожай, ц/га			
		почва		зерно		зеленая масса		зерно		зеленая масса	
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
1	4-08-107	1283	1954	390	248	440	792	7,1	7,0	364	100
2	5-10-84 (Н)	1767	1726	265	362	240	595	13,0	7,9	390	104
3	11-10-65	1748	2015	367	246	465	725	6,1	5,5	149	133
4	13-10-96	1490	1692	270	243	944	800	8,0	6,9	221	123
5	15-10-7212	1908	1735	235	271	760	702	11,3	6,9	288	100
6	3-12-148	1874	1631	230	303	565	1013	6,4	7,5	159	77
7	5-12-92	2010	1721	221	206	443	643	9,2	4,0	174	86
8	7-13-65	1726	1845	199	234	450	665	9,3	7,1	195	150
9	5-14-11	1725	1790	112	243	320	824	9,0	5,2	280	130

Выявлено, что у 44% гибридов загрязнение зерна происходило за счет низкой урожайности, у 33% — с повышением плотности загрязнения почвы, у 11% гибридных образцов снизились и плотность загрязнения почвы, и урожай зерна, и содержание ^{137}Cs и у 11% наблюдался процесс меньшей (на 33%) аккумуляции ^{137}Cs при одинаковой уро-

жайности и повышенной загрязненности почвы.

Анализ данных за 2020 г. показал, что концентрация цезия-137 в зерне семи (или 54%) образцов (12-10-66, 5-10-84, 11-10-65, 13-10-96, 15-10-7212, 3-02-1-17, 5-14-11) уменьшилась до 61–114 Бк/кг за счет снижения плотности загрязнения почвы (поле № 9) в среднем в 1,2 раза в

сравнении с 2018–2019 гг. Меньшая аккумуляция ^{137}Cs у 23% гибридов (5-12-92, 3-12-148, 17-10-78) связана не только

с низкой загрязненностью участка, но и с ростом урожайности относительно предыдущих лет (табл. 3).

3. Содержание ^{137}Cs в зерне сортообразцов за 2018–2020 гг.

Сортообразец	Цезий-137, Бк/кг						Урожай зерна, ц/га		
	почва			зерно					
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
12-10-66	2020	1650	1340	314	272	61	8,5	5,9	6,8
5-10-84 (Н)	1767	1726	1460	265	362	97	13,0	7,9	13,9
11-10-65	1748	2015	1470	367	246	91	6,1	5,5	6,4
13-10-96	1490	1692	1370	270	243	61	8,0	6,9	7,8
15-10-7212	1908	1735	1590	235	271	114	11,3	6,9	8,2
3-12-148	1874	1631	1420	230	303	136	6,4	7,5	12,1
5-12-92	2010	1721	1560	221	206	108	9,2	4,0	12,5
5-14-11	1725	1790	1430	112	243	74	9,0	5,2	8,5
3-02-1-17	1385	1610	1460	390	305	80	7,3	8,2	5,7
17-10-72	1900	1967	1470	280	292	118	8,9	7,5	12,8
Дружный 165	1062	1862	1550	340	393	91	7,1	6,9	8,4
Надежный	1132	1790	1570	385	300	107	8,3	7,4	9,1
Новозыбковский 100	1140	1751	1470	390	385	87	10,7	7,3	9,4

Стабильности по содержанию цезия-137 в зеленой массе не получено. Если в 2018 г. из 60 проб 12 отличались близким или нормативным его накоплением, то в 2019 г. их не оказалось. Все исследуемые гибридные образцы увеличили аккумуляцию радионуклида в 1,4–3,5 раза (табл. 2).

Такие гибриды как 4-08-107 и 11-10-65 увеличили содержание ^{137}Cs в зеленой массе на 80% и 56% за счет роста загрязненности почвы в 2019 г. В результате снижения урожайности зеленой массы в этом же году, больше накопили радионуклида гибриды 3-12-148, 5-12-92, 7-13-65, 5-14-11 и 5-10-84 относительно 2018 г. Загрязненность зеленой массы была незначительно снижена у гибридов 13-10-96 и 15-10-7212 и не зависела ни от содержания радионуклида в

почве, ни от урожайности, однако сама абсолютная величина была выше норматива в 2,0 и 1,7 раза.

Среди родительских форм по аккумуляции ^{137}Cs в зерне более устойчивыми оказались сорта: Дружный 165, Надежный, Новозыбковский 100, при большей плотности загрязнения почвы на 54–57% (2019 г.) относительно 2018 г. она осталась на одном уровне. Образцы под номерами 5–9 откликнулись на более высокое загрязнение почвы увеличением цезия-137 в зерне в 1,2–1,8 раза, что подтверждается отрицательным коэффициентом корреляции: $r = -0,803$ (табл. 4).

Концентрация радионуклида в зеленой массе родительских форм в 2018 г. близка к нормативу (334–510 Бк/кг), тогда как в 2019 г. она увеличилась по сортам в 2,4–3,7 раза (№ 1–4), по сортооб-

разцам (№ 5–9) в 3,0–3,9 раза за счет роста загрязненности почвы в 1,2–1,7 раза и снижения урожайности зеленой массы в 1,4–2,5 раза (табл. 4).

4. Содержание цезия-137 и урожайность родительских (прародительских) форм

№ пп	Сортообразец	Цезий-137, Бк/кг						Урожай, ц/га			
		почва		зерно		зеленая масса		зерно		зеленая масса	
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
1	Дружный 165	1062	1852	340	393	440	1096	7,1	6,9	250	100
2	Надежный	1132	1790	385	300	334	1225	8,3	7,4	240	120
3	Новозыбковский 100	1140	1751	390	385	510	1242	10,7	7,3	290	140
4	Кастрычник	1031	1769	330	483	430	1107	4,4	6,5	170	120
5	52-87-2113	1417	1598	172	315	490	1488	9,7	5,3	220	125
6	17-00-5-444	1500	1776	257	340	410	1349	9,0	4,6	210	130
7	20-87-1644	1421	1690	271	486	459	1594	8,4	6,7	190	100
8	1477-1-17	1360	1788	240	322	400	1558	9,9	5,5	220	110
9	СН-1408	1400	1706	220	298	390	1301	9,4	7,8	240	124

За годы исследований (2018–2020) плотность загрязнения почвы цезием-137 варьировала от 7 до 13,7 Ки/км² по полям севооборотов (№ 3, 4 и 9).

В севообороте № 3 (2018 г.) она колебалась от 7 до 13,6 Ки/км², а аккумуляция ¹³⁷Cs в зерне от минимального 112 Бк/кг у образцов 5-14-11 и 5-12-92 до максимального 390 Бк/кг у 3-02-1-17, сортов Надежный и Новозыбковский 100 (385–390 Бк/кг).

На поле севооборота № 4 (2019 г.) уровень загрязнения почвы выше 10,8–13,7 Ки/км². При этом обнаружено низкое содержание в зерне радиоцезия у образцов 5-12-92 (206 Бк/кг), 243–246 Бк/кг у 5-14-11, 13-10-96 и 11-10-65 и неизменное у сортов Дружный 165, Новозыбковский 100 (393–385 Бк/кг).

В 2020 г. (севооборот № 9) плотность загрязнения почвы 10–11 Ки/км², а уровень аккумуляции цезия-137 в зерне люпина составил от 61 до 136 Бк/кг, т. е. ниже нормативного показателя (200 Бк/кг) в 3,3 и 1,5 раза. Следовательно, 80% изу-

чаемого материала желтого люпина снизило концентрацию цезия-137 в зерне за счет меньшей плотности загрязнения почвы.

Закключение. В отдаленный период после аварии на ЧАЭС концентрация радионуклида в конечной продукции люпина желтого поровну зависела как от плотности загрязнения почвы, так и уровня урожайности за счет биологического разбавления.

У 11% гибридного материала наблюдалось постоянство по аккумуляции ¹³⁷Cs, что указывает на возможность создания сортового материала с блокировкой цезия-137 в конечной продукции кормового желтого люпина.

Выделенные в 1994–1996 гг. образцы желтого люпина с нормативным содержанием цезия-137 и полученный при скрещивании гибридный материал с их участием способствовали снижению ¹³⁷Cs в зерне у номеров: 13-10-96, 15-10-7212, 5-12-92, 5-14-11.

Таким образом, по результатам трех-

летних исследований установлено, что образцы 5-12-92 и 5-14-11 меньше всего содержали в зерне ^{137}Cs при любой плотности загрязнения почвы (9,7–13,6 Ки/км²) и при разной урожайности зерна (4,0–12,5 ц/га). Данные образцы будут направлены для прохождения испытания в семеноводческих питомниках.

Литература

1. Такунов И.П., Саввичева И.К. К вопросу о возделывании люпина на почвах, загрязненных радионуклидами ^{137}Cs , ^{134}Cs // Биологический и экономический потенциал люпина и пути его реабилитации : сб. науч. тр. – Брянск, 1997. – С. 152–156.
2. Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф. Продуктивность пашни и реабилитация песчаных почв. – Брянск : Изд-во БСХА, 2006. – 432 с.
3. Белова Н.В., Драганская М.Г., Санжарова Н.И. Влияние органических удобрений на биологическую подвижность ^{137}Cs в почве // Плодородие. – 2004. – № 5. – С. 35–38.
4. Влияние минеральных удобрений на продуктивность и качество люпина желтого, возделываемого на песчаных почвах в условиях радиоактивного загрязнения / Л.А. Воробьева, В.Б. Коренев, В.М. Никифоров, Г.Л. Яговенко, Т.В. Яговенко // Агрохимический вестник. – 2019. – № 3. – С. 45–48.
5. Современные проблемы радиологии в сельскохозяйственном производстве : монография / Н.М. Белоус, И.Н. Белоус, С.А. Бельченко, Н.Н. Дубенок [и др.]; под общ. ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань : ФГОУ ВПО РГТУ, 2010. – С. 7–44.
6. Об оценке образцов люпина желтого по аккумуляции в растениях радиоактивного цезия / И.К. Саввичева, М.Г. Драганская, П.Ю. Лищенко, В.В. Чаплыгина // Кормопроизводство. – 2012. – № 2. – С. 32–33.
7. Белоус Н.М., Драганская М.Г., Бельченко С.А. Системы удобрений и реабилитации песчаных почв. – Брянск, 2010. – 223 с.
8. Тулина А.С. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах, загрязненных ^{137}Cs : дис. ... канд. с.-х. наук. – Пушкино, 2002. – 147 с.
9. Моисеев И.Т., Агапкина Г.И., Рерих Л.А. Изучение поведения ^{137}Cs в почвах и его поступления в сельскохозяйственные культуры в зависимости от различных факторов // Агрохимия. – 1994. – № 2. – С. 103–108.
10. Влияние сельскохозяйственных культур на показатели биовыноса ^{137}Cs / С.М. Пакшина, Н.М. Белоус, В.Ф. Шаповалов, Е.В. Смольский, Д.М. Ситнов // Ukrainian Journal of Ecology. – 2017. – Т. 7, № 2. – С. 184–190.
11. Влияние систем удобрений на урожайность зерна люпина узколистного Брянский 123, его качество и накопление в нем ^{137}Cs / Ф.В. Моисеенко, Н.М. Белоус, Л.А. Воробьева, Л.П. Харкевич // Состояние и перспективы развития люпиносеяния в XXI веке : тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Брянск, 2001. – С. 142–144.
12. Такунов И.П. Люпин в земледелии России. – Брянск : Придесенье, 1996. – 372 с.
13. Эффективность технологий возделывания сельскохозяйственных культур в севооборотах юго-запада Нечерноземной зоны России / Н.М. Белоус, М.Г. Драганская, И.Н. Белоус, С.А. Бельченко. – Брянск : Изд-во Брянской ГСХА, 2012. – 240 с.

References

1. Takunov I.P., Savvicheva I.K. K voprosu o vozdelevanii lyupina na pochvakh, zagryaznennykh radionuklidami ^{137}Cs , ^{134}Cs [On the issue of lupine cultivation on soils contaminated with radionuclides ^{137}Cs , ^{134}Cs]. *Biologicheskii i ekonomicheskii potentsial lyupina i puti ego reabilitatsii* [Biological and economic potential of lupine and ways of its rehabilitation]. Bryansk, 1997, pp. 152–156.

2. Belous N.M., Shapovalov V.F. Produktivnost' pashni i reabilitatsiya peschanykh pochv [Arable land productivity and rehabilitation of sandy soils]. Bryansk, 2006, 432 p.
3. Belova N.V., Draganskaya M.G., Sanzharova N.I. Vliyanie organicheskikh udobreniy na biologicheskuyu podvizhnost' ^{137}Cs v pochve [Effect of organic fertilizers on the biological mobility of ^{137}Cs in soil]. *Plodorodie [Fertility]*, 2004, no. 5, pp. 35–38.
4. Vorobeva L.A., Korenev V.B., Nikiforov V.M., Yagovenko G.L., Yagovenko T.V. Vliyanie mineral'nykh udobreniy na produktivnost' i kachestvo lyupina zheltogo, vozdeleyvaemogo na peschanykh pochvakh v usloviyakh radioaktivnogo zagryazneniya [The effect of mineral fertilizers on the productivity and quality of yellow lupine cultivated on sandy soils under conditions of radioactive contamination]. *Agrokhimicheskiy vestnik [Agrochemical Bulletin]*, 2019, no. 3, pp. 45–48.
5. Belous N.M., Belous I.N., Belchenko S.A., Dubenok N.N. et al. Sovremennyye problemy radiologii v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Modern problems of radiology in agricultural production : monograph]. Ed.: Yu.A. Mazhaisky. Ryazan, 2010, pp. 7–44.
6. Savvicheva I.K., Draganskaya M.G., Lishchenko P.Yu., Chaplygina V.V. Ob otsenke obraztsov lyupina zheltogo po akumulatsii v rasteniyakh radioaktivnogo tseziya [On the assessment of samples of yellow lupine by the accumulation of radioactive cesium in plants]. *Kormoproizvodstvo [Fodder production]*, 2012, no. 2, pp. 32–33.
7. Belous N.M., Draganskaya M.G., Belchenko S.A. Sistemy udobreniy i reabilitatsii peschanykh pochv [Fertilization and rehabilitation systems for sandy soils]. Bryansk, 2010, 223 p.
8. Tulina A.S. Agroekologicheskie aspekty primeneniya azotnykh udobreniy na dernovo-podzolistykh pochvakh, zagryaznennykh ^{137}Cs [Agroecological aspects of the use of nitrogen fertilizers on soddy-podzolic soils contaminated with ^{137}Cs : Dis. ... Candidate Sci. (Agr.)]. Pushchino, 2002, 147 p.
9. Moiseev I.T., Agapkina G.I., Rerikh L.A. Izuchenie povedeniya ^{137}Cs v pochvakh i ego postupleniya v sel'skokhozyaystvennyye kul'tury v zavisimosti ot razlichnykh faktorov [Study of the behavior of ^{137}Cs in soils and its entry into agricultural crops depending on various factors]. *Agrokhiymiya [Agrochemistry]*, 1994, no. 2, pp. 103–108.
10. Pakshina S.M., Belous N.M., Shapovalov V.F., Smolskiy E.V., Sitnov D.M. Vliyanie sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na pokazateli biovynosa ^{137}Cs [Rates of ^{137}Cs leaching by various crop plants]. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2017, vol. 7, no. 2, pp. 184–190.
11. Moiseenko F.V., Belous N.M., Vorobeva L.A., Kharkevich L.P. Vliyanie sistem udobreniy na urozhaynost' zerna lyupina uzkolistnogo Bryanskiy 123, ego kachestvo i nakoplenie v nem ^{137}Cs [Influence of fertilizer systems on grain yield of narrow-leaved lupine Bryansky 123, its quality and accumulation of ^{137}Cs in it]. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya lyupinoseyaniya v XXI veke* [Status and development prospects of lupine sowing in the 21st century : theses Int. scientific-practical. Conf.]. Bryansk, 2001, pp. 142–144.
12. Takunov I.P. Lyupin v zemledelii Rossii [Lupine in Russian agriculture]. Bryansk, Pridesenie Publ., 1996, 372 p.
13. Belous N.M., Draganskaya M.G., Belous I.N., Belchenko S.A. *Effektivnost' tekhnologiy vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v sevooborotakh yugo-zapada Nechernozemnoy zony Rossii* [Efficiency of cultivation technologies in crop rotations in the South-West of the Non-Chernozem Zone of Russia]. Bryansk, 2012, 240 p.