

Почвоведение и агрохимия Soil science and agrochemistry

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-2-159-172
УДК 632.93:631:438:633.2.032

Научная статья / Research article

Эффективность комплекса защитных мероприятий при возделывании многолетних трав на радиоактивно загрязненных пойменных лугах

Н.Н. Бокатуро, А.А. Справцев, А.А. Асташина,
С.Н. Поцепай*, В.Ф. Шаповалов

Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Российская Федерация
*snpotsepai@yandex.ru

Аннотация. Изучено действие на радиационно загрязненных естественных кормовых угодьях агротехнических приемов в комплексе с агрохимическими мероприятиями в целях производства экологически чистых грубых кормов (сена), соответствующих действующим нормативам по удельной активности в них радионуклида цезий-137 (^{137}Cs). При этом определялись размеры транслокации ^{137}Cs в системе почва — растение. Наиболее высокая эффективность защитных мероприятий в рамках проводимых исследований получена на заливном лугу центральной поймы одной из рек Брянской области. Осуществлен расчет перехода ^{137}Cs из почвы в корм, а из кормов в животноводческую продукцию (молоко, мясо). Получено, что внесение полного минерального удобрения при соотношении в нем N:K равным 1:1,5 на фоне как поверхностного улучшения, так и коренной обработки почвы позволяет снижать интенсивность перехода ^{137}Cs в продукции животноводства, что соответственно уменьшает риск получения населением, потребляющим эту продукцию, опасной дозы внутреннего облучения, превышающей нормативный уровень радиационной безопасности.

Ключевые слова: грубые корма, многолетние травы, радионуклид ^{137}Cs , урожайность, минеральные удобрения, доза внутреннего облучения

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи:

Поступила в редакцию: 13 февраля 2020 г. Принята к публикации: 26 марта 2020 г.

Для цитирования:

Бокатуро Н.Н., Справцев А.А., Асташина А.А., Поцепай С.Н., Шаповалов В.Ф. Эффективность комплекса защитных мероприятий при возделывании многолетних трав на радиоактивно загрязненных пойменных лугах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 2. С. 159—172. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-2-159-172

© Бокатуро Н.Н., Справцев А.А., Асташина А.А., Поцепай С.Н., Шаповалов В.Ф., 2020.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Efficiency of complex protective measures in cultivating perennial grasses in radioactively contaminated floodplain meadows

Nikolay N. Bokatur, Aleksandr A. Spravtsev, Alina A. Astashina,
Svetlana N. Potsepai*, Viktor F. Shapovalov

Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russian Federation

*Corresponding author: snpotsepai@yandex.ru

Abstract. In a stationary, factorial experiment established in 1994 on radioactively contaminated natural floodplain fodder lands, the effect of cultural practices in combination with agrochemical measures was studied in order to produce organic feed (hay) which complies with the applicable standards of VP 13.5.13/06—01 in terms of specific activity of cesium in them — 137. The translocation sizes of ^{137}Cs in the soil-plant system were determined by a complex of agrotechnical and agrochemical measures. The highest effectiveness of protective counter-measures in the framework of the research was obtained with amelioration of the flood meadow. Transition of cesium-137 from the soil into the feed, and from the feed into the livestock products (milk, meat) was calculated. Application of full mineral fertilizer with a N:K ratio of 1:1.5 both against surface and root treatment reduces the ^{137}Cs transition into livestock production, that accordingly reduces the risk of a high internal irradiation dose to people consuming these products to the levels conforming radiation safety standards.

Key words: roughage fodder, perennial grasses, ^{137}Cs , yield, mineral fertilizers, internal irradiation dose

Conflicts of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Article history:

Received: 13 February 2020. Accepted: 26 March 2020

For citation:

Bokatur NN, Spravtsev AA, Astashina AA, Potsepai SN, Shapovalov VF. Efficiency of complex protective measures in cultivating perennial grasses in radioactively contaminated floodplain meadows. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(2):159—172. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-2-159-172

Введение

В Российской Федерации в достаточной степени значимым и относительно дешевым источником кормов для общественного поголовья сельскохозяйственных животных являются кормовые агроландшафты, для которых характерно большое биоразнообразие. Однако в основном массиве они низко продуктивны и мелиоративно не устроены [1, 2].

Следует также учитывать, что в результате глобальной катастрофы на Чернобыльской АЭС, 34 года со дня которой исполнилось в текущем году, радиоактивному загрязнению подверглись естественные кормовые угодья в Брянской области на площади, превышающей 490 тыс. га [3, 4]. Вследствие этого из хозяйственного оборота было выведено более 265 тыс. га сельскохозяйственных угодий [5—8]. Естественные сенокосы и пастбища на территории области занимают площадь

более 546 тыс. га, их продуктивность и без того, как правило, составляет величину, меньшую или равную 0,2 т/га сухого вещества [2]. Поэтому встала проблема реабилитации и использования загрязненных земель [9].

Комплексное проведение защитных мероприятий в условиях радиоактивного загрязнения способствует повышению продуктивности естественных кормовых угодий в 2...4 раза [9]. При этом эффект от применяемых на радиоактивно загрязненных сельхозугодьях минеральных удобрений напрямую зависит от форм, доз и содержания в них элементов питательных веществ, типа почв, ботанического состава травостоев, режима увлажнения почв и других условий [9, 10].

Установлено, что только при научно обоснованном применении расчетных доз минеральных удобрений возможно повышение продуктивности многолетних трав хорошего качества без снижения уровня плодородия почвы и риска загрязнения грунтовых вод и открытых водоприемников [10]. Получению максимального урожая как естественного, так и сеяного травостоя способствовало применение полного минерального удобрения при ведущей роли азота [10, 11].

При этом естественные кормовые угодья имеют более высокую степень загрязнения долгоживущими радионуклидами по отношению к агроценозам на пашне [12, 13]. Производство нормативно чистой продукции растениеводства в этих условиях является приоритетной задачей для сельхозпроизводителей, поскольку в формировании коллективных доз облучения в послеаварийный период преобладает внутренняя составляющая за счет продуктов питания, в которых удельная активность долгоживущих радионуклидов превышает санитарно-гигиенический норматив [14]. Комплекс реабилитационных мероприятий, осуществляемых при радиоактивном загрязнении сельхозугодий, в значительной степени понижает вероятность производства растениеводческой продукции с удельной активностью в ней радионуклида цезий-137 (^{137}Cs) до уровня или ниже санитарно-гигиенического норматива и уменьшает дозу общего облучения (суммарная доза внешнего и внутреннего облучения по норме радиационной безопасности не должна превышать 1000 мкЗв в год) [14, 15]. В этих условиях наибольший эффект обеспечивают мероприятия коренного улучшения в комплексе с агрохимическими, где особая роль отведена калийным удобрениям в дозах, превышающих ранее рекомендованные [15]. Применяя на практике комплексные защитные мероприятия в кормопроизводстве, можно снизить превышение концентрации радионуклидов в производимой продукции и значительно уменьшить риск превышения коллективной дозы [9].

Цель исследований — изучить и дать агроэкологическую оценку эффективности применения защитных мероприятий на радиоактивно загрязненных заливных лугах. Практической целью разработки и применения комплексных мер реабилитации земель является перевод сельхоз площадей из категории земель с высокой плотностью загрязнения в более низкую.

Материалы и методы исследования

Полевые опыты проводили на участке центральной поймы заливного луга реки Ипуть Новозыбковского района Брянской области, на аллювиально дерново-оглеянной песчаной почве. До закладки полевого опыта почва характеризовалась следующими показателями: содержание органического вещества (по Тюрину) 3,08...3,33 %, pH_{KCl} 5,2...5,6, подвижный фосфор и обменный калий (по Кирсанову) 620...840 и 173...180 мг/кг соответственно. Плотность загрязнения почвы радионуклидом ^{137}Cs составляла 559...867 кБк/м². В опыте изучали два фактора: 1) способы обработки почвы; 2) минеральные удобрения.

Агротехнические мероприятия включали поверхностную и коренную обработку почвы. Поверхностная обработка представлена дискованием дернины в двух направлениях под углом 90° дисковой бороной БДФ-2,4, коренная вспашка дернины обычным плугом ПЛН-3—35 на глубину пахотного слоя с последующим дискованием пласта бороной БДФ-2,4. Перед посевом многолетних трав почву прикатывали катками ЗКВГ-1,5. Травосмесь многолетних злаковых трав состояла из овсяницы луговой — 6,0 кг/га, двукисточника тростникового — 7 кг/га, лисохвоста лугового — 5,0 кг/га.

Формы применяемых в исследованиях минеральных удобрений представлены аммиачной селитрой (34,4 % N), суперфосфатом двойным (48 % P₂O₅), калием хлористым (56 % K₂O). Фосфорные удобрения полной дозой вносили весной после схода паводковых вод. Азотные и калийные дробно: половину расчетной дозы под первый укос, другую половину под укос отавы. Опыт заложен в трехкратной повторности с общей площадью опытной делянки 63 м², учетной — 24 м². Размещение делянок — рендомизированное, т. е. по случайному признаку. Первый укос многолетних трав осуществлялся в середине июня, урожай отавы учитывался в конце августа. Схема опыта включала следующие варианты применения удобрений:

- | | | |
|--|---|--|
| 1. Контроль (без удобрений); | 4. N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ ; | 7. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ ; |
| 2. P ₆₀ K ₉₀ ; | 5. N ₉₀ P ₆₀ K ₁₅₀ ; | 8. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₅₀ ; |
| 3. N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ ; | 6. P ₆₀ K ₁₂₀ ; | 9. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₈₀ . |

При проведении исследований руководствовались общепринятыми методиками [16—18]. Экспериментальные данные были подтверждены статистической обработкой методом дисперсионно-корреляционного анализа с использованием программ Microsoft Excel 7.0 и Statistica 7.0 (StatSoft, Inc, США).

Результаты и обсуждения

В среднем за четыре года исследований минимальная урожайность сена многолетних трав первого укоса с наибольшей удельной активностью в нем ^{137}Cs независимо от фона обработки почвы наблюдалась на контрольном варианте (табл. 1).

**Влияние комплекса защитных мероприятий при сенокосном использовании
злаковых травостоев (2015–2018 гг.)**

Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	НСР ₀₅	
1-й укос												
Дискование дернины	Урожайность, т/га	1,52	3,12	5,11	5,41	5,70	3,69	6,11	6,70	7,11	Общая – 0,55. Обр. почвы – 0,19. Удобрений – 0,22	
	Удельная активность, Бк/кг	Сено	3358	481	1116	686	369	350	460	300	242	Общая – 84. Обр. почвы – 27. Удобрений – 59
		Молоко	165	23	52	14	18	16	22	14	11	
		Мясо	673	96	218	139	73	68	91	58	49	
	Доза внутреннего облучения, мкЗв	713	101	240	150	79	72	95	60	49		
Вспашка двухъярусным плугом	Урожайность, т/га	1,58	3,19	5,26	5,58	6,48	3,56	6,73	6,85	7,24		
	Удельная активность, Бк/кг	Сено	2250	348	816	471	254	230	226	219	214	
		Молоко	118	16	39	22	12	11	16	13	10	
		Мясо	446	69	161	93	52	45	72	56	43	
Доза внутреннего облучения, мкЗв	545	75	166	96	52	48	74	61	45			
2-й укос (отава)												
Дискование дернины	Урожайность, т/га	0,49	1,40	2,67	2,81	3,13	1,69	3,30	3,50	3,78	Общая – 0,13 Обр. почвы – 0,05 Удобрений – 0,03	
	Удельная активность, Бк/кг	Сено	3196	360	849	496	281	385	325	254	110	Общая – 110 Обр. почвы – 36 Удобрений – 76
		Молоко	158	19	44	23	12	12	18	17	12	
		Мясо	639	73	169	98	53	48	73	62	48	
	Доза внутреннего облучения, мкЗв	680	70	152	108	57	53	52	52	50		
Вспашка двухъярусным плугом	Урожайность, т/га	0,52	1,43	2,62	2,78	3,14	1,66	3,44	3,53	3,82		
	Удельная активность, Бк/кг	Сено	2181	351	784	470	262	243	362	283	241	
		Молоко	108	17	38	23	12	11	14	13	12	
		Мясо	434	69	153	96	53	48	51	69	48	
Доза внутреннего облучения, мкЗв	459	65	163	101	54	50	48	45	43			

Примечание. Расшифровка вариантов показана в методах исследования.

Table 1

Influence of a complex protective measures during hay use of cereal grass stands (2015–2018)

Variant		1	2	3	4	5	6	7	8	9	LSD ₀₅	
1st hay cutting												
Disking turf	Yield, t/ha	1.52	3.12	5.11	5.41	5.70	3.69	6.11	6.70	7.11	Total –0.55. Tillage –0.19. Fertilizers –0.22	
	Specific Activity, Bq / kg	Hay	3358	481	1116	686	369	350	460	300	242	Total – 84. Tillage –27. Fertilizers – 59
		Milk	165	23	52	14	18	16	22	14	11	
		Meat	673	96	218	139	73	68	91	58	49	
Dose of internal radiation, μ Sv		713	101	240	150	79	72	95	60	49		
Plowing with double-dig plow	Yield, t/ha	1.58	3.19	5.26	5.58	6.48	3.56	6.73	6.85	7.24		
	Specific Activity, Bq / kg	Hay	2250	348	816	471	254	230	226	219	214	
		Milk	118	16	39	22	12	11	16	13	10	
		Meat	446	69	161	93	52	45	72	56	43	
Dose of internal radiation, μ Sv		545	75	166	96	52	48	74	61	45		
2nd hay cutting (aftergrass)												
Disking turf	Yield, t/ha	0.49	1.40	2.67	2.81	3.13	1.69	3.30	3.50	3.78	Total – 0.13 Tillage – 0.05 Fertilizers – 0.03	
	Specific Activity, Bq / kg	Hay	3196	360	849	496	281	385	325	254	110	Total – 110 Tillage – 36 Fertilizers – 76
		Milk	158	19	44	23	12	12	18	17	12	
		Meat	639	73	169	98	53	48	73	62	48	
Dose of internal radiation, μ Sv		680	70	152	108	57	53	52	52	50		
Plowing with double-dig plow	Yield, t/ha	0.52	1.43	2.62	2.78	3.14	1.66	3.44	3.53	3.82		
	Specific Activity, Bq / kg	Hay	2181	351	784	470	262	243	362	283	241	
		Milk	108	17	38	23	12	11	14	13	12	
		Meat	434	69	153	96	53	48	51	69	48	
Dose of internal radiation, μ Sv		459	65	163	101	54	50	48	45	43		

Note. Explanation of the options is shown in the research methods.

В среднем за годы исследований урожайность сена первого укоса на контрольном варианте по фону поверхностной обработки почвы составила 1,52 т/га, по фону коренного улучшения — в среднем 1,58 т/га. Важным результатом является факт, что удельная активность ^{137}Cs в сене первого укоса при поверхностном улучшении лугов была выше в сравнении с коренным улучшением.

Внесение фосфорно-калийного удобрения $\text{P}_{60}\text{K}_{45}$ и $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ способствовало снижению удельной активности ^{137}Cs в сене первого укоса многолетних трав на фоне поверхностного улучшения в 7,0...9,6 раза, по фону коренного улучшения от 6,5 до 6,3 раза относительно контроля. Полученный корм по уровню удельной активности в нем ^{137}Cs соответствовал санитарно-гигиеническому нормативу ВП 13.5. 13/06—01 (400 Бк/кг), но урожайность сена в этих вариантах была относительно невысокой и составляла в среднем в зависимости от способа обработки дернины 3,12...3,69 и 3,19...3,56 т/га соответственно.

Внесение азотного удобрения в дозе 30 кг/га д.в. на фоне фосфорно-калийного способствовало повышению урожайности сена травосмеси и одновременно увеличивалась удельная активность ^{137}Cs в нем в 2 или более раз относительно фосфорно-калийного фона. Внесение калия в дозах K_{60} и K_{75} совместно с азотно-фосфорным удобрением $\text{N}_{45}\text{P}_{60}$ способствовало уменьшению удельной активности ^{137}Cs в урожае сена как по фону дискования почвы, так и по фону коренной обработки в сравнении с вариантом $\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{45}$ в 1,6...3,0 и 1,7...3,2 раза соответственно. Полученный корм в этом варианте по уровню в нем удельной активности ^{137}Cs соответствовал нормативу.

Внесение азотного удобрения совместно с фосфорно-калийным в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ увеличивало удельную активность ^{137}Cs в сене многолетних трав относительно варианта $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ на фоне поверхностной обработки почвы в 1,31 раза, на фоне коренной обработки почвы — в 1,10 раза. Калийные удобрения в дозах K_{75} и K_{90} , внесенные совместно с $\text{N}_{60}\text{P}_{60}$ при соотношении N:K, равном 1:1,25 и 1:1,5, уменьшали потребление ^{137}Cs травостоем многолетних трав первого укоса, снижая удельную активность в зависимости от фона обработки дернины соответственно в 1,33...1,65 и 1,83...1,87 раза относительно норматива. Максимальная урожайность сена первого укоса независимо от способа обработки почвы была отмечена при внесении полного минерального удобрения при соотношении в нем N:P:K, равном 1:1:1,5 (вариант $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$), при этом полученный урожай сена по удельной активности ^{137}Cs в корме соответствует санитарно-гигиеническому нормативу ВП 13.5. 13/06—01.

Переход радиоцезия из почвы [11] в урожай сена второго укоса многолетних трав в зависимости от проводимых реабилитационных комплексных мероприятий практически не отличается от принципа их влияния на поступление ^{137}Cs в урожае сена многолетних трав первого укоса.

Удельная активность ^{137}Cs в сене второго укоса на контрольном варианте при коренном способе обработки почвы была в 1,3 раза меньше, чем при поверхностном. Увеличение дозы калия как при отдельном внесении (вар. 2, 6), так и в составе азотно-калийного удобрения уменьшали удельную активность ^{137}Cs в сене многолетних трав второго укоса. Во втором укосе наибольшая урожайность сена

мятликовых трав 3,77...3,85 т/га независимо от фона с удельной активностью в нем ^{137}Cs отмечена при применении под второй укос азотно-калийного удобрения $\text{N}_{60}\text{K}_{90}$ (соотношение N:K, равное 1:1,5).

Расчет транслокации радиоцезия в продукции животноводства при кормлении животных сеном многолетних трав первого укоса свидетельствует о том, что для гарантированного получения молока на уровне санитарно-гигиенического норматива при содержании ^{137}Cs (100 Бк/л) при поверхностной обработке дернины, а также и при проведении коренного улучшения необходимо вносить весной под первый укос многолетних трав полное минеральное удобрение в дозе $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$, под второй — $\text{N}_{60}\text{K}_{90}$.

В условиях стойлового содержания животных скармливание грубых кормов (сена), выращенных по данной технологии при двухукосном использовании, гарантирует получение мясной продукции на уровне санитарно-гигиенического норматива (160 Бк/кг).

Проведенные исследования подтверждают, что доза внутреннего облучения от потребления животноводческой продукции (молоко, мясо) не превышает 1000 мкЗв в год в том случае, когда корма произведены на радиоактивно загрязненных пойменных лугах при условии проведения комплекса защитных мероприятий, включающего обязательное применение поверхностного или коренного способа обработки почвы, формирование сеяных травостоев многолетних трав и внесение азотно-фосфорного калийного удобрения $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ весной после схода паводковых вод под первый укос и $\text{N}_{60}\text{K}_{90}$ под урожай отавы. Использование кормов, соответствующих санитарно-гигиеническому нормативу по удельной активности в них ^{137}Cs , гарантирует получение экологически безопасной продукции животноводства, потребляя которую проживающее на данной территории население получит годовую дозу внутреннего облучения менее 1000 мкЗв.

Результаты лабораторных и аналитических исследований свидетельствуют о том, что способы обработки почвы оказали слабое влияние на относительное содержание основных макроэлементов в сене первого укоса (табл. 2).

Таблица 2

Содержание макроэлементов в сене многолетних трав в зависимости от способов обработки почвы и минеральных удобрений (среднее за 2015–2018 гг.)

Вариант	Воздушно-сухое вещество, %					Соотношение элементов		
	N	P	K	Ca	Mg	Ca:Mg	Ca:P	K:(Ca+Mg)
Поверхностное улучшение (1-й укос)								
Контроль	1,62	0,23	1,62	0,51	0,40	1,3	2,2	1,8
$\text{P}_{60}\text{K}_{45}$	1,65	0,28	1,69	0,53	0,38	1,4	1,9	1,9
$\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{45}$	2,26	0,32	1,73	0,55	0,35	1,6	1,7	1,9
$\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	2,34	0,34	1,75	0,58	0,30	1,9	1,7	2,0
$\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{75}$	2,40	0,36	1,81	0,61	0,28	2,2	1,7	2,0
$\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	1,86	0,31	1,70	0,53	0,38	1,4	1,7	1,9
$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	2,35	0,36	1,78	0,56	0,34	1,6	1,6	2,0
$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{75}$	2,42	0,38	1,86	0,58	0,28	2,1	1,5	2,2

Окончание таблицы 2

Вариант	Воздушно-сухое вещество, %					Соотношение элементов		
	N	P	K	Ca	Mg	Ca:Mg	Ca:P	K:(Ca+Mg)
$N_{60}P_{60}K_{90}$	2,45	0,44	1,90	0,61	0,24	2,5	1,5	2,2
Коренное улучшение (1-й укос)								
Контроль	1,64	0,24	1,65	0,52	0,40	1,3	2,2	1,8
$P_{60}K_{45}$	1,68	0,28	1,72	0,54	0,36	1,5	1,9	1,9
$N_{45}P_{60}K_{45}$	2,28	0,34	1,78	0,56	0,34	1,6	1,6	2,0
$N_{45}P_{60}K_{60}$	2,36	0,36	1,80	0,58	0,30	1,9	1,6	2,0
$N_{45}P_{60}K_{75}$	2,42	0,38	1,83	0,61	0,28	2,2	1,6	2,0
$P_{60}K_{60}$	1,88	0,32	1,75	0,54	0,36	1,5	1,7	1,9
$N_{60}P_{60}K_{60}$	2,36	0,36	1,82	0,56	0,32	1,8	1,6	2,1
$N_{60}P_{60}K_{75}$	2,46	0,38	1,88	0,60	0,28	2,1	1,6	2,1
$N_{60}P_{60}K_{90}$	2,49	0,41	1,93	0,62	0,24	2,6	1,6	2,2
Поверхностное улучшение (2-й укос)								
Контроль	1,42	0,24	1,58	0,52	0,39	1,3	2,2	1,7
K_{45}	1,53	0,29	1,62	0,54	0,38	1,4	1,9	1,7
$N_{45}K_{45}$	1,69	0,35	1,65	0,56	0,36	1,6	1,6	1,8
$N_{45}K_{60}$	1,95	0,38	1,69	0,57	0,32	1,8	1,5	1,9
$N_{45}K_{75}$	2,38	0,39	1,72	0,61	0,28	2,2	1,6	1,9
K_{60}	1,55	0,33	1,68	0,54	0,38	1,4	1,6	1,8
$N_{60}K_{60}$	2,20	0,36	1,73	0,61	0,36	1,7	1,7	1,8
$N_{60}K_{75}$	2,27	0,38	1,83	0,64	0,30	2,1	1,7	1,9
$N_{60}K_{90}$	2,33	0,39	1,96	0,64	0,28	2,3	1,6	2,1
Коренное улучшение (2-й укос)								
Контроль	1,44	0,25	1,60	0,52	0,40	1,3	2,1	1,7
K_{45}	1,54	0,29	1,68	0,54	0,38	1,4	1,9	1,8
$N_{45}K_{45}$	1,71	0,36	1,72	0,57	0,34	1,7	1,6	1,9
$N_{45}K_{60}$	1,96	0,38	1,73	0,58	0,28	2,1	1,5	2,0
$N_{45}K_{75}$	2,39	0,40	1,76	0,60	0,26	2,3	1,5	2,0
K_{60}	1,53	0,30	1,59	0,52	0,38	1,4	1,7	1,9
$N_{60}K_{60}$	2,20	0,34	1,75	0,62	0,36	1,7	1,8	1,8
$N_{60}K_{75}$	2,26	0,38	1,85	0,63	0,28	2,2	1,7	2,0
$N_{60}K_{90}$	2,32	0,40	1,92	0,64	0,26	2,5	1,6	2,1

Table 2

Content of macronutrients in hay of perennial grasses, depending on tillage methods and mineral fertilizers (average for 2015–2018)

Variant	Air-dry matter, %					Ratio of elements		
	N	P	K	Ca	Mg	Ca:Mg	Ca:P	K:(Ca+Mg)
Simplified improvement (1 st hay cutting)								
Control	1.62	0.23	1.62	0.51	0.40	1.3	2.2	1.8
$P_{60}K_{45}$	1.65	0.28	1.69	0.53	0.38	1.4	1.9	1.9
$N_{45}P_{60}K_{45}$	2.26	0.32	1.73	0.55	0.35	1.6	1.7	1.9
$N_{45}P_{60}K_{60}$	2.34	0.34	1.75	0.58	0.30	1.9	1.7	2.0
$N_{45}P_{60}K_{75}$	2.40	0.36	1.81	0.61	0.28	2.2	1.7	2.0
$P_{60}K_{60}$	1.86	0.31	1.70	0.53	0.38	1.4	1.7	1.9
$N_{60}P_{60}K_{60}$	2.35	0.36	1.78	0.56	0.34	1.6	1.6	2.0

End of Table 2

Variant	Air-dry matter, %					Ratio of elements		
	N	P	K	Ca	Mg	Ca:Mg	Ca:P	K:(Ca+Mg)
N ₆₀ P ₆₀ K ₇₅	2.42	0.38	1.86	0.58	0.28	2.1	1.5	2.2
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	2.45	0.44	1.90	0.61	0.24	2.5	1.5	2.2
Amelioration (1 st hay cutting)								
Control	1.64	0.24	1.65	0.52	0.40	1.3	2.2	1.8
P ₆₀ K ₄₅	1.68	0.28	1.72	0.54	0.36	1.5	1.9	1.9
N ₄₅ P ₆₀ K ₄₅	2.28	0.34	1.78	0.56	0.34	1.6	1.6	2.0
N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀	2.36	0.36	1.80	0.58	0.30	1.9	1.6	2.0
N ₄₅ P ₆₀ K ₇₅	2.42	0.38	1.83	0.61	0.28	2.2	1.6	2.0
P ₆₀ K ₆₀	1.88	0.32	1.75	0.54	0.36	1.5	1.7	1.9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2.36	0.36	1.82	0.56	0.32	1.8	1.6	2.1
N ₆₀ P ₆₀ K ₇₅	2.46	0.38	1.88	0.60	0.28	2.1	1.6	2.1
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	2.49	0.41	1.93	0.62	0.24	2.6	1.6	2.2
Simplified improvement (2 nd hay cutting)								
Control	1.42	0.24	1.58	0.52	0.39	1.3	2.2	1.7
K ₄₅	1.53	0.29	1.62	0.54	0.38	1.4	1.9	1.7
N ₄₅ K ₄₅	1.69	0.35	1.65	0.56	0.36	1.6	1.6	1.8
N ₄₅ K ₆₀	1.95	0.38	1.69	0.57	0.32	1.8	1.5	1.9
N ₄₅ K ₇₅	2.38	0.39	1.72	0.61	0.28	2.2	1.6	1.9
K ₆₀	1.55	0.33	1.68	0.54	0.38	1.4	1.6	1.8
N ₆₀ K ₆₀	2.20	0.36	1.73	0.61	0.36	1.7	1.7	1.8
N ₆₀ K ₇₅	2.27	0.38	1.83	0.64	0.30	2.1	1.7	1.9
N ₆₀ K ₉₀	2.33	0.39	1.96	0.64	0.28	2.3	1.6	2.1
Amelioration (2 nd hay cutting)								
Control	1.44	0.25	1.60	0.52	0.40	1.3	2.1	1.7
K ₄₅	1.54	0.29	1.68	0.54	0.38	1.4	1.9	1.8
N ₄₅ K ₄₅	1.71	0.36	1.72	0.57	0.34	1.7	1.6	1.9
N ₄₅ K ₆₀	1.96	0.38	1.73	0.58	0.28	2.1	1.5	2.0
N ₄₅ K ₇₅	2.39	0.40	1.76	0.60	0.26	2.3	1.5	2.0
K ₆₀	1.53	0.30	1.59	0.52	0.38	1.4	1.7	1.9
N ₆₀ K ₆₀	2.20	0.34	1.75	0.62	0.36	1.7	1.8	1.8
N ₆₀ K ₇₅	2.26	0.38	1.85	0.63	0.28	2.2	1.7	2.0
N ₆₀ K ₉₀	2.32	0.40	1.92	0.64	0.26	2.5	1.6	2.1

В значительной мере элементный состав сена первого укоса в среднем за три года определялся действием доз применяемых удобрений. В среднем за четыре года опытов на контрольном варианте содержание общего азота в сене в зависимости от вида агротехнических мероприятий изменялось в пределах 1,62...1,64 %.

В сене второго укоса отавы содержание общего азота в контрольном варианте при поверхностной обработке дернины было на уровне 1,42, при коренной — 1,44 %. По применяемым системам удобрения в зависимости от фона обработки почвы содержание общего азота в сене первого укоса изменялось от 1,62 до 2,45 и от 1,64 до 2,49 %, и соответственно в сене второго укоса — от 1,42 до 2,23 и от 1,44 до 2,32 %.

При поверхностной обработке почвы содержание фосфора в урожае сена первого укоса по рассматриваемым вариантам опыта варьировало в пределах 0,23...0,44 %, при коренном улучшении — от 0,24 до 0,41, в сене второго укоса в зависимости от способа обработки дернины содержание фосфора было на уровне 0,24...0,39 и 0,25...0,40 %.

В среднем содержание калия в урожае сена злакового травостоя первого укоса в зависимости от фона обработки дернины по вариантам опыта составляло 1,62...1,90 и 1,65...1,93 %, а в сене многолетних трав второго укоса его содержание изменялось соответственно с 1,58 до 1,92 %, не превышая зоотехнический норматив (3,0 %). Независимо от способов обработки дернины содержание магния в урожае сена злакового травостоя как первого, так и второго укосов не превышало оптимального значения, изменяясь по вариантам опыта от 0,40 до 0,24 %. Минеральные удобрения, следовательно, способствовали снижению содержания магния в корме.

В среднем содержание кальция в сене многолетних трав первого и второго укосов повышалось под влиянием действия минеральных удобрений и независимо от способа обработки дернины составляло 0,51...0,62 %, оставаясь на уровне зоотехнического оптимума. В среднем соотношение кальция и магния урожая сена злакового травостоя первого и второго укосов изменялось от 1,3 до 2,5 и от 1,3 до 2,6 соответственно, не превышая норматива (2–3:1). Отношение Ca:Mg в сене многолетних трав при вспашке дернины ярусным плугом по вариантам опыта в первом укосе изменялось от 1,3 до 2,3, а во втором — от 1,3 до 2,5. В среднем за годы проведения опыта соотношение между кальцием и фосфором (Ca:P) в урожае сена первого укоса по фону поверхностной обработки дернины изменялось по вариантам опыта от 1,3 до 2,3, в сене второго укоса составляло 1,5...2,2, а по фону коренной обработки соотношение Ca:P составляло 1,6...2,2 при оптимуме. Соотношение Ca:P в сене второго укоса многолетних трав при поверхностной обработке почвы составляло 1,5...2,2, при коренной — 1,5...2,1.

Отмечено снижение соотношения кальция к фосфору под влиянием возрастающих доз минеральных удобрений.

Установлено, что в контрольном варианте как первого так и второго укосов многолетних трав и при применении фосфорно-калийных удобрений независимо от способа обработки дернины отношение калия к сумме кальция и магния (K : Ca+Mg) в сене было меньше оптимального значения (2,2). При применении последовательно возрастающих доз калийного удобрения в составе NPK соотношение калия к сумме кальция и магния (K : Ca+Mg) приближалось или соответствовало нормативу независимо от фона обработки почвы.

С. Томпсон [19], например, считает, что приспособительные свойства растений к радиационному загрязнению достаточно высоки, а их различные части (корни или

стебель) зависят от баланса поддержки химическими элементами минерального происхождения, что подтверждает адекватность комплекса проведенных нами исследований. В [20] также обращается внимание на возможности естественного процесса рекомбинации и самоочищения растительности от радиационного загрязнения.

Заключение

Доказано, что при радиационном загрязнении естественных кормовых угодий проведение комплекса защитных мероприятий, включающих агротехнические и агрохимические приемы, позволяют выращивать нормативно чистые корма по удельной активности в них основного дозообразующего радионуклида ^{137}Cs , соответствующей санитарно-гигиеническому нормативу ВП 13,5 13/06—01. Установлено, что под действием внесения азотных удобрений в сене многолетних трав увеличивалась удельная активность ^{137}Cs в кормах, в то время как применение калийных удобрений в последовательно увеличивающихся дозах способствовало уменьшению его удельной активности. Производство экологически чистых грубых кормов с удельной активностью ^{137}Cs , не превышающей санитарно-гигиенический норматив (400 Бк/кг), на фоне как поверхностного, так и коренного улучшения естественных кормовых угодий при двухукосном использовании сеяных мятликовых трав вполне достижимо благодаря применению минерального удобрения $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ под первый укос и $\text{N}_{60}\text{K}_{90}$ под второй укос. Это в свою очередь обеспечивает получение экологически безопасной животноводческой продукции (молока, мяса).

Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что воздействие минеральных удобрений на изменение элементного состава сеяных многолетних травостоев проявляется в качестве основополагающего фактора повышения качества производимых кормов на радиоактивно загрязненных кормовых угодьях.

Библиографический список

1. Косолапов В.М., Трофимов И.А. Проблемы и перспективы развития кормопроизводства // Кормопроизводство. 2011. № 2. С. 4—7.
2. Кутузова А.А., Привалова К.Н. Приоритетные направления лугопастбищного кормопроизводства // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 2012. № 2. С. 56—58.
3. 20 лет Чернобыльской катастрофы: взгляд в будущее: национальный доклад Украины. Киев: Атика, 2006. 238 с.
4. Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия: Информация ГК АЭ СССР, подготовленная для совещания в МАГАТЭ (Вена, 25—29 августа 1986 г.).
5. Санжарова Н.И., Панов А.В., Исамов Н.Н., Прудников П.В. Защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве: к 30-летию аварии на ЧАЭС // Агрохимический вестник. 2016. № 2. С. 5—9.
6. Белоус Н.М. Социально-экономическое развитие районов Брянской области, пострадавшей от Чернобыльской катастрофы // Вестник Брянской ГСХА. 2013. № 4. С. 41—48.
7. Панов А.В., Фесенко С.В., Алексахин Р.М. Эффективность мероприятий, направленных на снижение доз облучения жителей сельских населенных пунктов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиэкология. 2001. Т. 41. № 6. С. 682—694.
8. Аверин В.С., Подоляк А.Г. Роль защитных мероприятий для снижения доз облучения населения и получения нормативно чистой сельскохозяйственной продукции // Белорусское сельское хозяйство. 2010. № 4(96). С. 18—22.
9. Шаповалов В.Ф., Плющиков В.Г., Белоус Н.М., Курганов А.А. Разработка комплекса мероприятий по коренному улучшению естественных кормовых угодий, загрязненных радионуклидом цезия-137 // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. 2014. № 1. С. 13—20. doi: 10.22363/2312-797X-2014-1-13-20

10. Панферов Н.В. Эффективность длительного внесения минеральных удобрений на пойменных пастбищах // Кормопроизводство. 2008. № 3. С. 9—12. doi: 10.22363/2312-797X-2014-1-13-20
11. Анишина Ю.А. Элементный состав корма одновидовых посевов многолетних трав при разном уровне минерального питания // Вестник БГСХА. 2011. № 5. С. 20—24.
12. Подольяк А.Г., Тимофеев С.Ф., Персикова Т.Ф. Переход цезия-137 и стронция-90 в травостой низинных лугов на торфяно-болотных почвах // Агрехимия. 2004. № 11. С. 63—70.
13. Чесалин С.Ф. Влияние комплексного применения агротехнических и агрохимических мероприятий на показатели качества сена многолетних трав // Вестник Брянской ГСХА. 2013. № 4. С. 10—17.
14. Поцепай С.Н., Справцев А.А., Харкевич Л.П., Бельченко С.А., Шаповалов В.Ф. Приемы поверхностного и коренного улучшения кормовых угодий в условиях радиоактивного загрязнения // Агрехимический вестник. 2019. № 4. С. 58—62. doi: 10.24411/0235-2516-2019-10061
15. Смольский Е.В., Харкевич Л.П., Чесалин С.Ф., Божин И.А., Бокатуро Н.Н. Эффективность мероприятий по улучшению продуктивности сенокосов // Агрехимический вестник. 2015. № 5. С. 25—28.
16. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Часть 1. М.: ВИУА, 1975. 167 с.
17. Методические указания по определению естественных радионуклидов в почвах и растениях. М.: ЦИНАО, 1985. 22 с.
18. Фокин А.Д., Лурье А.А., Трошин С.П. Сельскохозяйственная радиология. СПб.: Лань, 2011. 416 с.
19. Stuart Thompson. Why plants don't die from cancer? // The conversation. 21 June 2019. Режим доступа: <https://theconversation.com/why-plants-dont-die-from-cancer-119184>.
20. Georgieva M., Rashydov N.M., Hajduch M. DNA damage, repair monitoring and epigenetic DNA methylation changes in seedlings of Chernobyl soybeans // DNA Repair. 2017. Vol. 50. Pp. 14—21. doi: 10.1016/j.dnarep.2016.12.002

References

1. Kosolapov VM, Trofimov IA. Problems and prospects of forage production development. *Fodder production*. 2011; (2):4—7. (In Russ.)
2. Kutuzova AA, Privalova KN. Priority lines of development of meadow-pasture fodder production. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2012; (2):56—58. (In Russ.)
3. 20 let Chernobyl'skoi katastrofy: vzglyad v budushchee: natsional'nyi doklad Ukrainy [20 years of the Chernobyl disaster: a look into the future: national report of the Ukraine]. Kiev: Atika publ.; 2006. (In Russ.)
4. Avariya na Chernobyl'skoi AES i ee posledstviya: Informatsiya GK AE SSSR, podgotovlennaya dlya soveshchaniya v MAGATE [Accident at the Chernobyl nuclear power plant and its consequences: Information from the GK AE of the USSR prepared for the meeting at the IAEA. 1986. (In Russ.)
5. Sanzharova NI, Panov AV, Isamov NN, Prudnikov PV. Protective and rehabilitation countermeasures in agriculture: to the 30th anniversary of the Chernobyl NPP accident. *Agrochemical herald*. 2016; (2):5—9. (In Russ.)
6. Belous NM. Socio-economic Development of the Regions of the Bryansk region affected by the Chernobyl disaster. *Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2013; (4):41—48. (In Russ.)
7. Panov AV, Fesenko SV, Aleksakhin RM. Effectiveness of measures aimed at reducing radiation doses to residents of rural settlements in the remote period after the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Radiation Biology. Radioecology*. 2001; 41(6):682—694. (In Russ.)
8. Averin BC, Podolyak AG. The Role of Protective Measures to Reduce Radiation Doses to the Population and Obtain Normatively Clean Agricultural Products. *Belorusskoe selskoe hosiaystvo*. 2010; (4):18—22. (In Russ.)
9. Shapovalov VF, Plyushchikov VG, Belous NM, Kurganov AA. Development of a set of measures to radically improve the natural root land contaminated by radionuclide cesium-137. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2014; (1):13—20. (In Russ.) doi: 10.22363/2312-797X-2014-1-13-20
10. Panferov N.V. Efficiency of long-term application of mineral fertilizers in floodplain pastures. *Fodder production*. 2008; (3):9—12. (In Russ.)
11. Anishina YA. Elemental composition of the feed of single-species crops of perennial grasses at different levels of mineral nutrition. *Vestnik of Bryansk state agricultural academy*. 2011; (5):20—24. (In Russ.)
12. Podolyak AG, Timofeev SF, Persikova TF. Cesium-137 and strontium-90 transfer to grass stands on peat-bog soils of lowland meadows. *Agrohimia*. 2004; (11):63—70. (In Russ.)
13. Chesalin SF. Influence of integrated application of agrotechnical and agrochemical measures on the quality indicators of hay of perennial grasses. *Vestnik of Bryansk state agricultural academy*. 2013; (4):10—17. (In Russ.)

14. Potsepai SN, Spravtsev AA, Kharkevich LP, Belchenko SA, Shapovalov VF. Methods of surface and radical improvement of forage lands under radiation contamination. *Agrochemical Herald*. 2019; (4):58–62. (In Russ.) doi: 10.24411/0235–2516–2019–10061
15. Smolski VE, Kharkevich LP, Chesalin SF, Bozhin IA, Bokaturо NN. Effectiveness of measures to improve productivity of hayfields. *Agrochemical Herald*. 2015; (5):25–28. (In Russ.)
16. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu issledovaniy v dlitel'nykh opytakh s udobreniyami. Chast' 1* [Methodological Guidelines for Research in Long-term Experiments with Fertilizers. Part 1]. Moscow: VIUA publ.; 1975. (In Russ.)
17. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu estestvennykh radionuklidov v pochvakh i rasteniyakh* [Guidelines for the Determination of Natural Radionuclides in Soils and Plants]. Moscow: TsINAO publ.; 1985. (In Russ.)
18. Fokin AD, Lurie AA, Troshin SP. *Sel'skokhozyaistvennaya radiologiya* [Agricultural Radiology]. St. Petersburg: Lan' publ.; 2011. (In Russ.)
19. Thompson S. Why plants don't die from cancer? *The conversation UK*. 21 June 2019. Available from: <https://theconversation.com/why-plants-dont-die-from-cancer-119184>.
20. Georgieva M., Rasydyov N.M., Hajduch M. DNA damage, repair monitoring and epigenetic DNA methylation changes in seedlings of Chernobyl soybeans. *DNA Repair*. 2017; 50:14–21. doi: 10.1016/j.dnarep.2016.12.002

Об авторах:

Бокатуро Николай Николаевич — аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, Брянский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 243365, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2 а; e-mail: bgsha@bgsha.com

Справцев Александр Анатольевич — аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, Брянский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 243365, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2 а; e-mail: bgsha@bgsha.com

Асташина Алина Александровна — аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, Брянский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 243365, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2 а; e-mail: bgsha@bgsha.com

Поцепай Светлана Николаевна — аспирант кафедры агрономии, селекции и семеноводства, Брянский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 243365, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2 а; e-mail: snpotsepai@yandex.ru

Шаповалов Виктор Федорович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, Брянский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 243365, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2 а; e-mail: bgsha@bgsha.com

About authors:

Bokaturо Nikolay Nikolaevich — Postgraduate Student, Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University, 2a, Sovetskaya st., Kokino vil., Vygonichsky district, Bryansk Region, 243365, Russian Federation; e-mail: bgsha@bgsha.com

Spravtsev Aleksandr Anatolyevich — Postgraduate Student, Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University, 2a, Sovetskaya st., Kokino vil., Vygonichsky district, Bryansk Region, 243365, Russian Federation; e-mail: bgsha@bgsha.com

Astashina Alina Aleksandrovna — Postgraduate Student, Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University, 2a, Sovetskaya st., Kokino vil., Vygonichsky district, Bryansk Region, 243365, Russian Federation; e-mail: bgsha@bgsha.com

Podsepai Svetlana Nikolaevna — Postgraduate Student, Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University, 2a, Sovetskaya st., Kokino vil., Vygonichsky district, Bryansk Region, 243365, Russian Federation; e-mail: snpotsepai@yandex.ru

Shapovalov Viktor Fedorovich — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University, 2a, Sovetskaya st., Kokino vil., Vygonichsky district, Bryansk Region, 243365, Russian Federation; e-mail: bgsha@bgsha.com