

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-879

УДК 633.2:539.16



Научная статья

РОЛЬ МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ В АДАПТАЦИИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕНОКОСОВ ДЛЯ КОРМОПРОИЗВОДСТВА

А.Л. Силаев, Н.М. Белоус, Е.В. Смольский

Актуальность. Исследование защитных мероприятий позволяющих вернуть выбывшие в результате последствий аварии на ЧАЭС земли в сельскохозяйственное производство, в частности в кормопроизводство, весьма актуально.

Методы и средства. В период с 2014 по 2021 годы на территории центральной поймы (заливной луг) реки Ипуть Новозыбковского района Брянской области при плотности загрязнения ^{137}Cs 555-867 КБк/м² провели исследования в целью определения роли минерального удобрения в адаптации радиоактивно загрязненных сенокосов для кормопроизводства, определяли удельную активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя, рассчитывали переход ^{137}Cs по трофической цепи.

Результаты. Установили, что использовать пойменные луга при плотности загрязнения ^{137}Cs свыше 555 КБк/м² в качестве сенокосов в условиях юго-запада Брянской области недопустимо, ДУ превышает норматив в более 5 раз, как в период первого, так и второго укосов. Максимальные значения удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя определяли в годы с минимальным выпадением осадков и коротким поёмным процессом, а минимальные в годы максимальным выпадением осадков и продолжительным поёмным процессом. Применение возрастающих доз фосфорно-калийного удобрения под первый укос и калийного удобрения под второй укос достоверно снижало удельную активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя соответственно до 348 и 294 Бк/кг. При ведении кормопроизводства в условиях радиоактивного загрязнения необходимо понимать, что повышение урожайности естественного травостоя за счет повышения доз азотного удобрения приведет к увеличению накопления ^{137}Cs в продукции кормопроизводства, калийное удобрения нивелирует данный отрицательный эффект. Выявили, что с увеличением со-

отношения калия к азоту в минеральном удобрении достоверно снижается удельная активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя, как в период первого, так и второго укосов.

Заключение. Прошло 37 лет с момента аварии на Чернобыльской АЭС, прошел первый период полураспада ^{137}Cs , однако результаты наших исследований показывают, что на заливных лугах юго-запада Брянской области при плотности загрязнения ^{137}Cs территории более 555 кБк/м² невозможно получить воздушно-сухую массу естественного травостоя с допустимым уровнем содержания ^{137}Cs . Выявили, что калийные удобрения достоверно снижают удельную активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя, а азотные удобрения ее повышали. При этом возрастающие дозы калийных удобрений снижали негативное действие азота.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение; кормопроизводство; сенокос заливного луга; минеральные удобрения; Брянская область

Для цитирования. Силаев А.Л., Белоус Н.М., Смольский Е.В. Роль минерального удобрения в адаптации радиоактивно загрязненных сенокосов для кормопроизводства // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 305-322. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-879

Original article

ROLE OF MINERAL FERTILIZER IN ADAPTATION OF RADIOACTIVELY CONTAMINATED HAYFIELDS FOR FEED PRODUCTION

A.L. Silaev, N.M. Belous, E.V. Smolsky

Relevance. The study of protective measures allowing to return the retired land, as a result of the consequences of the Chernobyl accident, to agricultural production, in particular, to feed production, is very important.

Methods and means. In the period from 2014 to 2021, on the territory of the central floodplain (flood meadow) of the Iput River, Novozybkovsky District, Bryansk Region, with a pollution density of ^{137}Cs 555-867 kBq/m² conducted studies in order to determine the role of mineral fertilizer in the adaptation of radioactively contaminated hayfields for feed production, determined the specific activity of the ^{137}Cs air-dry mass of natural grass, calculated the transition of the ^{137}Cs along the trophic chain.

Results. It was established that it is unacceptable to use floodplain meadows as hayfields with a ^{137}Cs pollution density of more than 555 kBq/m² in the conditions

of the south-west of the Bryansk region, the DN exceeds the standard by more than 5 times, both during the first and second slopes. The maximum values of specific activity ^{137}Cs air-dry mass of natural grass stand were determined in years with minimal precipitation and a short feeding process, and the minimum in years with maximum precipitation and a long feeding process. The use of increasing doses of phosphorus-potassium fertilizer for the first bite and potassium fertilizer for the second bite significantly reduced the specific activity of the ^{137}Cs air-dry mass of natural grass, respectively, to 348 and 294 Bq/kg. When conducting fodder production under radioactive contamination conditions, it should be understood that increasing the yield of natural grass due to increasing doses of nitrogen fertilizer will lead to an increase in the accumulation of ^{137}Cs in the fodder production products, potash fertilizer will neutralize this negative effect. It was revealed that with an increase in the ratio of potassium to nitrogen in mineral fertilizer, the specific activity of the ^{137}Cs air-dry mass of the natural grass stand significantly decreases, both during the period of the first and second bows.

Conclusion. 37 years have passed since the accident at the Chernobyl nuclear power plant, the first half-life of the ^{137}Cs has passed, but the results of our research show that in the flood meadows of the south-west of the Bryansk region, with a pollution density ^{137}Cs the territory of more than 555 kBq/m², it is impossible to obtain an air-dry mass of natural grass with an acceptable level of ^{137}Cs content. It was revealed that potash fertilizers reliably reduce the specific activity of the ^{137}Cs air-dry mass of natural grass, and nitrogen fertilizers increased it. At the same time, increasing doses of potash fertilizers reduced the negative effect of nitrogen.

Key words: radioactive contamination; fodder production; haymaking of filling meadow; mineral fertilizers; Bryansk region

For citation. Silaev A.L., Belous N.M., Smolsky E.V. Role of Mineral Fertilizer in Adaptation of Radioactively Contaminated Hayfields for Feed Production. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 305-322. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-879

Введение

Результатом аварии на Чернобыльской АЭС стало масштабное загрязнение искусственными радионуклидами огромных площадей сельскохозяйственных угодий не только в России, но и в Белоруссии и на Украине [1; 2; 8; 23]. Территория Брянской области подверглась наибольшему радиоактивному загрязнению, как по площади, так и по уровню загрязнения среди областей РФ, функционирование в регионе сельского хозяйства на многие годы связано с преодолением последствий выпадения радиоак-

тивных осадков [7; 25]. Для возвращения в хозяйственное пользование радиоактивно загрязненных территорий необходимо добиться получения продукции кормопроизводства, растениеводства и животноводства с допустимыми уровнями загрязнения, отвечающей нормам радиационной безопасности [6; 16; 18].

В Брянской области динамично увеличивается поголовье крупного рогатого скота, производство зерна, картофеля, молока. Это связано с широким применением инновационных технологий и реализацией крупных инвестиционных проектов в отрасли животноводства и растениеводства, эффективной работой каждого предприятия, фермерского хозяйства, сотрудничеством с учеными, внедрением научных достижений, использованием новейших селекционных достижений, семян, гибридов и государственной поддержкой.

В отрасли животноводства основной задачей является увеличение поголовья молочного скота, роста продуктивности и производства молока. В какой-то момент развитие животноводства упрётся в нехватку площадей кормовых угодий, в то время как резервом для ведения кормопроизводства в Брянской области могут являться естественные кормовые угодья загрязненные ^{137}Cs [9; 13; 19]. По данным ФГУП Брянскагрохимрадиология площадь кормовых угодий с уровнем радиоактивного загрязнения выше 37 кБк/м^2 составляет 118 733 га или 29 % от все площади сенокосов и пастбищ, а с загрязнением выше 555 кБк/м^2 – 17 134 га, которые приходятся на 7 юго-западных районов Брянской области [21; 23].

Поэтому исследование специальных мер позволяющих вернуть выбывшие в результате последствий аварии на ЧАЭС земли в сельскохозяйственное производство, в частности в кормопроизводство, весьма актуально.

Целью настоящей работы являлось изучение действия минерального удобрения на миграцию ^{137}Cs в условиях заливных лугов в системе «почва-растение» и прогноз уровней загрязнения ^{137}Cs продукции животноводства при плотности радиоактивного загрязнения выше 555 кБк/м^2 .

Методы и средства

Экспериментальной базой исследований в период с 2014 по 2021 годы была территории центральной поймы (заливной луг) реки Ипуть Новозыбковского района Брянской области с плотностью загрязнения ^{137}Cs $555\text{-}867 \text{ кБк/м}^2$, на котором в 1994 году был заложен стационарный многолетний луговой опыт по исследованию возможности использования радиоактивно

загрязнённых кормовых угодий в кормопроизводстве. Почвенный покров исследуемой территории представлен аллювиальной луговой песчаной почвой, со следующими агрохимическими показателями: $C_{\text{орг.}}$ – 3,0-3,2%; pH_{KCl} – 5,2-5,6 ед., P_2O_5 – 106-244 и K_2O – 89-120 мг/кг.

Поёмный процесс в зависимости от года длился от 0 до 15 дней.

Эксперимент включал в себя следующие варианты применения минерального удобрения: 1. Контроль (без применения минерального удобрения), 2. P60K90, 3. P60K120, 4. N90P60K90, 5. N90P60K120, 6. N90P60K150, 7. N120P60K120, 8. N120P60K150, 9. N120P60K180. В период от возобновления роста до первого укоса естественного травостоя вносили полной нормой фосфорные удобрения (простой гранулированный суперфосфат) и половину нормы азотных и калийных удобрений (аммиачную селитру и калий хлористый) в период после первого укоса вносили оставшуюся половину азотных и калийных удобрений (табл. 1).

Учетные делянки имели площадь 60 м², повторность опыта – 3-кратная.

Отбор растительных образцов проводили: первый – середина июня, второй – конец августа. Растительный покров территории эксперимента был представлен травами семейства мятликовые: *Festuca pratensis* Huds., *Alopecurus pratensis* L., *Phleum pratense* L., разнотравье составляет не более 10% от общего количества.

В воздушно-сухой массе растительных образцов определяли удельную активность ¹³⁷Cs на УКС «Гамма Плюс» (Россия), погрешность измерений не более 10%, в центре коллективного пользования научным оборудованием Брянского ГАУ

Кратность снижения ¹³⁷Cs (Kc) определяли как отношение удельной активности ¹³⁷Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя полученного без применения минерального удобрения к удельной активности ¹³⁷Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя полученного с применения удобрения.

Вынос ¹³⁷Cs с урожаем определяли как произведение урожайности воздушно-сухой массы естественного травостоя и её удельной активности ¹³⁷Cs.

Коэффициент накопления (Kn) определяли как отношение удельной активности ¹³⁷Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя к удельной активности ¹³⁷Cs почвы в месте отбора растительных образцов.

Показатель агроэкологической пригодности (ПАП) конкретной загрязненной территории определяли как отношение удельной активности ¹³⁷Cs (Бк/кг) в воздушно-сухой массе естественного травостоя к допустимому уровню содержания по соответствующему нормативу [4].

Удельную активность ^{137}Cs молока и мяса рассчитывали как произведение величин суточного поступления корма, удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы и равновесного коэффициента перехода радионуклида в продукцию животноводства.

Величину дозы внутреннего облучения человека, получаемой за счет молока и мяса, рассчитывали согласно методическим указаниям [24]. Потребление молока и молочных изделий в пересчете на количество молока в год принимали равными 200,8 л/год, мяса – 31,4 кг/год, согласно закону «О потребительской корзине в Брянской области».

Полученные результаты статистически обрабатывались методами описательной статистики, корреляционного ($n = 24$) и дисперсионного анализов с использованием компьютерного программного обеспечения Excel 7.0 и Statistica 7.0.

Агроклиматические условия в годы исследования отличались от среднемноголетних наблюдений за 93 года, по данным метеорологического поста Новозыбковской СХОС. Вегетационный период исследований с 2014 по 2021 год характеризовался средней температурой воздуха на уровне $17,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в период первого и второго укосов соответственно $15,5$ и $19,1\text{ }^{\circ}\text{C}$), что выше на $2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ среднемноголетних наблюдений. Сумма осадков за вегетацию составила $333,5\text{ мм}$ (в период первого и второго укосов соответственно $143,1$ и $147,9\text{ мм}$), что на $34,7\text{ мм}$ ниже среднемноголетних наблюдений.

Результаты

Плотность радиоактивного загрязнения, агрометеорологические и гидрологические условия, плодородие почвы, биологические особенности естественного травостоя территории исследования в среднем за годы исследования формируют вегетативную массу естественного травостоя с удельной активностью ^{137}Cs 3248 и 3311 Бк/кг соответственно в период первого и второго укосов (табл. 1).

Допустимый уровень ^{137}Cs (ДУ) в воздушно-сухой массе естественного травостоя в разные годы был различным и регламентировался соответствующими документами, так до 2017 года «Ветеринарные правила и нормы» – 400 Бк/кг [12], а после 2017 года «Инструкция о радиологическом контроле качества кормов» – 600 Бк/кг. Выявили, что получать грубые корма (воздушно-сухую массу естественного травостоя) на пойменных лугах при уровне загрязнения ^{137}Cs территории более 555 кБк/м^2 в условиях юго-запада Брянской области недопустимо, ДУ превышает норматив в более 5 раз, как в период первого, так и второго укосов.

Таблица 1.

Роль минерального удобрения в формировании воздушно-сухой массы естественного травостоя с различной удельной активностью ^{137}Cs , Бк/кг (2014-2021 годы исследований)

Вариант	Среднее	V, %	Минимум	Максимум	Интервал
<i>период от возобновления роста до первого укоса естественного травостоя</i>					
Контроль	3248	18,3	2252	3765	1513
P60K45	465	9,6	361	502	141
P60K60	348	14,8	229	386	157
N45P60K45	1217	13,8	823	1357	534
N45P60K60	684	14,9	458	781	323
N45P60K75	356	15,8	263	457	194
N60P60K60	432	16,7	344	538	194
N60P60K75	327	11,8	287	410	123
N60P60K90	261	6,6	225	285	60
НСР₀₅	198,0	–	–	–	–
<i>период от первого до второго укоса естественного травостоя</i>					
Контроль	3311	14,6	2181	3708	1527
K45	416	11,7	346	487	141
K60	294	10,7	236	331	95
N45K45	985	10,0	788	1099	311
N45K60	625	10,5	474	703	229
N45K75	312	19,7	239	417	178
N60K60	419	12,6	340	483	143
N60K75	306	3,9	292	320	28
N60K90	244	5,3	229	264	35
НСР₀₅	157,4	–	–	–	–

В 2016 году прошёл первый период полураспада ^{137}Cs , при этом значительного уменьшения накопления ^{137}Cs воздушно-сухой массой естественного травостоя не обнаружили, что подтверждается коэффициентами вариации (V, %) [15], который показывает среднюю изменчивость величины относительно средней, по видимому в почве количество ^{137}Cs даже после первого периода полураспада радионуклида ещё достаточно велико.

Необходимо также отметить, что максимальные значения удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя определяли в годы с минимальным выпадением осадков и коротким поёмным процессом, а минимальные в годы максимальным выпадением осадков и продолжительным поёмным процессом.

Возрастающие дозы фосфорно-калийного и калийного удобрения под первый и второй укосы достоверно снижали удельную активность ^{137}Cs грубых кормов (воздушно-сухую массу естественного травостоя) соответственно до 348 и 294 Бк/кг, полученный грубый корм соответствовал ДУ по содержанию ^{137}Cs (табл. 1).

Применение N45P60K45 и N45K45 соответственно под первый и второй укосы вело к достоверному повышению удельную активность ^{137}Cs грубых кормов (воздушно-сухая масса естественного травостоя) до 1247 и 985 Бк/кг, по сравнению с фосфорно-калийным и калийным удобрением, полученный корм не соответствовал ДУ по содержанию ^{137}Cs .

Общеизвестно, что калий является антагонистом цезия, поэтому для снижения его миграции из почвы в растения необходимо применения калийного удобрения [3; 5; 10; 17; 20], однако в конкретных условиях загрязнения необходимы уточненные дозы применения калия для получения гарантированного урожая нормативно «чистой» продукции кормопроизводства и снижения затрат на проведения защитных мероприятий.

Выявили, что увеличение соотношения калия к азоту в минеральном удобрении достоверно снижается удельная активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя, как в период первого, так и второго укосов.

Для определения тесноты связи между удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя и количеством внесения элементов питания провели корреляционный анализ (рис.).

Установили прямую зависимость между возрастающими дозами азотного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя, определили что коэффициент корреляции (r) был равен 0,45-0,58, что говорит о средней зависимости между изучаемыми показателями.

Выявили обратную зависимость между возрастающими дозами калийного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя, с возрастанием доз калийного удобрения снижается удельная активность ^{137}Cs корма, определили что коэффициент корреляции (r) был равен 0,83-0,97, что говорит о сильной зависимости между изучаемыми показателями.

Обнаружили, что теснота связи между исследуемыми показателями в условиях первого укоса была ниже, в период второго укоса.

При ведении кормопроизводства в условиях радиоактивного загрязнения необходимо понимать, что повышение урожайности естественного травостоя за счет повышения доз азотного удобрения приведет к увеличе-

нию накопления ^{137}Cs в продукции кормопроизводства, калийное удобрение нивелирует данный отрицательный эффект.

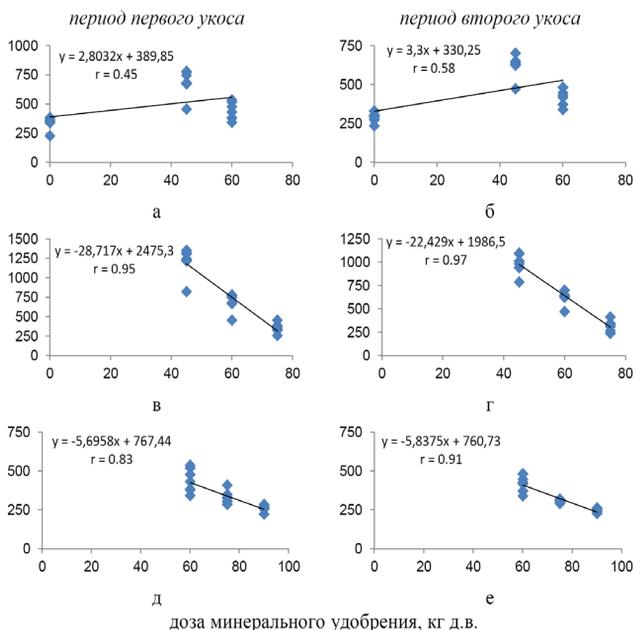


Рис. Зависимость между удельной активностью ^{137}Cs (Бк/кг) воздушно-сухой массы естественного травостоя и доз минерального удобрения (кг д.в.): доз азотного удобрения: а – по фону P60K60, б – по фону K60; доз калийного удобрения: в – по фону N45P60, г – по фону N45; доз калийного удобрения: д – по фону N60P60, е – по фону N60.

Получение грубых кормов с допустимым уровнем содержания ^{137}Cs по средствам адаптация радиоактивно загрязненных сенокосов невозможно без определения роли элементов питания в получении нормативно «чистой» продукции кормопроизводства, плотности загрязнения ^{137}Cs территории, знания ДУ, которые постоянно меняются, то, что до 2017 года превышало ДУ, после уже соответствовало нормативу.

Установили, что кратность снижения ^{137}Cs в корме зависела от доз калийного удобрения в минеральном, с ростом доз калийного удобрения росла и кратность снижения, наибольшую кратность снижения 12,4 и 13,6 соответственно в период первого и второго укосов обнаружили при применении калийного удобрения в дозе 90 кг д.в.

Вынос ^{137}Cs с урожаем зависел как от удельной активности ^{137}Cs корма, так и от урожайности воздушно-сухой массы естественного травостоя, отсюда наибольший вынос ^{137}Cs 3433 кБк/га выявили в период первого укоса при применении N45P60K45, поскольку азотные удобрения повышали урожайность и накопление ^{137}Cs .

Таблица 2.

Радиоэкологическая оценка применения минерального удобрения на естественном лугу

Вариант	Кс, раз	Вынос ^{137}Cs с урожаем, кБк/га	Кн, ед.	ПАП, ед.
<i>период первого укоса</i>				
Контроль	–	2793	1,95	5,41
P60K45	7,0	1176	0,22	0,77
P60K60	9,3	1472	0,13	0,58
N45P60K45	2,7	3433	0,51	2,03
N45P60K60	4,7	2455	0,28	1,14
N45P60K75	9,1	1323	0,12	0,59
N60P60K60	7,5	1927	0,15	0,72
N60P60K75	9,9	1601	0,23	0,55
N60P60K90	12,4	1372	0,25	0,44
<i>период второго укоса</i>				
Контроль	–	1225	1,99	5,52
K45	8,0	387	0,20	0,69
K60	11,3	637	0,11	0,49
N45K45	3,4	1162	0,41	1,64
N45K60	5,3	1156	0,25	1,04
N45K75	10,6	634	0,11	0,52
N60K60	7,9	1147	0,15	0,70
N60K75	10,8	913	0,22	0,51
N60K90	13,6	760	0,24	0,41

Коэффициент накопления зависел как от удельной активности ^{137}Cs корма, так и от удельной активности ^{137}Cs почвы, установили, что без применения калийного удобрения коэффициент накопления был около 2 ед., то есть калийные удобрения служили барьером перехода ^{137}Cs из почвы в растения (табл. 2)

Показатель агроэкологической пригодности (ПАП) зависел как от удельной активности ^{137}Cs корма, так и допустимого уровня ^{137}Cs в корме, поэтому его можно регулировать или применением минерального удобрения, или введением новых нормативов.

В период первого и второго укусов на варианте без применения минерального удобрения в условиях проведения эксперимента выявили, что наибольший показатель ПАП соответственно 5,41 и 5,52, установили, что с ростом доз калийного удобрения он снижался.

Для определения роли минерального удобрения в адаптации радиоактивно загрязненных заливных лугов построили модель прогноза миграции ^{137}Cs по трофической цепи (растение, животное, человек) (табл. 3).

Таблица 3.

Прогноз перехода ^{137}Cs по трофической цепи

Вариант	Уа молока	Уа мяса	Уа молока	Уа мяса	Уа молока	Уа мяса	Доза внутреннего облучения за счет молока и мяса, мкЗв/год	
	ВСМ-10		ВСМ-5		ВСМ-2,5		ВСМ-10	ВСМ-5
<i>период первого укуса</i>								
Контроль	325	1299	162	650	81	325	1378	689
P60K45	46	186	23	93	12	46	197	99
P60K60	35	139	17	70	9	35	148	74
N45P60K45	122	487	61	243	30	122	517	258
N45P60K60	68	274	34	137	17	68	290	145
N45P60K75	36	142	18	71	9	36	151	75
N60P60K60	43	173	22	86	11	43	183	92
N60P60K75	33	131	16	65	8	33	139	69
N60P60K90	26	105	13	52	7	26	111	55
<i>период второго укуса</i>								
Контроль	331	1325	166	662	83	331	1405	703
K45	42	167	21	83	10	42	177	88
K60	29	118	15	59	7	29	125	62
N45K45	99	394	49	197	25	99	418	209
N45K60	62	250	31	125	16	62	265	133
N45K75	31	125	16	62	8	31	132	66
N60K60	42	168	21	84	10	42	178	89
N60K75	31	123	15	61	8	31	130	65
N60K90	24	97	12	49	6	24	103	52

Примечание: Уа – удельная активность ^{137}Cs продукта питания, Бк/л(кг); ВСМ – воздушно-сухая масса естественного травостоя, пошедшая на корм скоту, кг.

Установили, что снижать поступление ^{137}Cs в продукцию животноводства возможно как за счет ограничения перехода ^{137}Cs из почвы в корм, так

и за счет снижения количества поедаемого радиоактивно загрязненного корма, при этом такая возможность создаётся только при стойловом выращивании животных.

Производства грубых кормов на заливных лугах с плотностью загрязнения ^{137}Cs более 555 кБк/м^2 в условиях юго-запада Брянской области и постоянное кормление ими скота недопустимо без применения минерального удобрения, содержание ^{137}Cs в молоке и мясе КРС превышает ДУ, соответственно 100 и 160 Бк/л(кг) [14].

Суммарная доза внешнего и внутреннего облучения населения не должна превышать 1000 мкЗв/год , по нормам радиационной безопасности, так как внешнее поступление контролировать невозможно, но возможно внутреннее за счет определения вклада отдельных продуктов питания и изъятие их из продуктовой корзины. Поэтому очень важно дать оценку в общую нагрузку отдельных составляющих, в нашей работе дана оценка вклада молока и мяса при стойловом выращивании скота в различных условиях использования сенокосов.

Определили, что калийное удобрение при использовании его на радиоактивно загрязнённых заливных лугах используемых в качестве сенокоса ограничивает миграцию ^{137}Cs в системе почва–растение, что ведет к поеданию нормативно чистого корма животными и получению молока и мяса КРС с допустимым уровнем содержания радионуклида, что в итоге снижает поступление ^{137}Cs в организм человека.

Заключение

В период с 1994 по 2015 год в условиях высокой плотности загрязнения ^{137}Cs заливного луга р. Ипуть Новозыбковского района Брянской области исследовали результативность различных доз минерального удобрения и соотношения в нём элементов питания по снижению накопления ^{137}Cs продукцией кормопроизводства [22; 26], которые доказывали возможность использования радиоактивной территории в сельском хозяйстве. После 2016 года прошел первый период полураспада ^{137}Cs , однако результаты наших исследований показывают, что несмотря на это, в условиях заливных лугов юго-запада Брянской области при плотности загрязнения ^{137}Cs территории более 555 кБк/м^2 невозможно получать воздушно-сухую массу естественного травостоя с допустимым уровнем содержания ^{137}Cs . Определили, существенную роль калийного удобрения в снижении накопления ^{137}Cs грубыми кормами (воздушно-сухая масса естественного травостоя), и среднюю роль азотного удобрения в повышении накопления ^{137}Cs . При этом высокие дозы калия нивелируют негативное действие азота.

Список литературы

1. Alexakhin R., Geras'kin S. 25 years after the accident at the Chernobyl nuclear power plant: radioecological lessons // Radioprotection. 2011. № 46. P. 595–600.
2. Fesenko S., Isamov N., Barnett C.L., Beresford N.A., Howard B.J., Sanzharova N., Fesenko E. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: biological half-lives // Journal of Environmental Radioactivity. 2015. № 142. P. 136–151.
3. Fesenko S., Jacob P., Ulanovsky A., Chupov A., Bogdevich I., Sanzharova N., Kashparov V., Panov A., Zhuchenka Yu. Justification of remediation strategies in the long term after the Chernobyl accident // Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 119. P. 39–47.
4. Prosyannikov E.V., Silaev A.L., Koshelev I.A. Specific ecological features of ^{137}Cs behavior in river floodplains // Russian Journal of Ecology. 2000. T. 31, № 2. P. 132–135.
5. 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.
6. Алексахин Р.М., Лунёв М.И. Техногенное загрязнение сельскохозяйственных угодий (исследования, контроль и реабилитация территорий) // Плодородие. 2011. №3. С. 32–35.
7. Белоус Н.М. Развитие радиоактивно загрязненных территорий Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Вестник Брянской ГСХА. 2018. № 1. С. 3–11.
8. Белоус Н.М., Подоляк А.Г., Карпенко А.Ф., Смольский Е.В. Эффективность защитных мероприятий при реабилитации кормовых угодий России и Беларуси, загрязненных после катастрофы на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56, № 4. С. 405–413.
9. Белоус Н.М., Прудников П.В., Щеглов А.М., Смольский Е.В., Белоус И.Н., Силаев А.Л. Вероятность получения молока и кормов, не соответствующих допустимым уровням содержания ^{137}Cs на территории юго-запада Брянской области в отдалённый период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиация и риск. 2019. Т. 28, №3. С. 36–46.
10. Белоус Н.М., Смольский Е.В., Чесалин С.Ф., Шаповалов В.Ф. Роль минерального калия в снижении поступления ^{137}Cs в кормовые травы и повышении их урожайности на радиоактивно загрязненных угодьях // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 4. С. 543–552.
11. Богdevич И.М. Итоги и перспективы агрохимических защитных мер на загрязненных радионуклидами землях Беларуси // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. аграрных навук. 2011. № 3. С. 27–39.

12. Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни содержания радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs . Ветеринарные правила и нормы. ВП 13.5.13/06-01 // Ветеринар. Патология. 2002. №4. С. 44–45.
13. Гамко Л.Н., Подольников В.Е., Малявко И.В., Нуриев Г.Г., Мысик А.Т. Качественные корма – путь к получению высокой продуктивности животных и птицы и экологически чистой продукции // Зоотехния. 2016. № 5. С. 6–7.
14. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078-01. М.: Минздрав РФ, 2002. 164 с.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
16. Кузнецов В.К., Исамов Н.Н., Панов А.В. Оценка эффективности реабилитации лугопастбищных угодий на различных этапах после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиация и риск. 2021. Т. 30, № 2. С. 50–61.
17. Пакшина С.М., Шаповалов В.Ф., Чесалин С.Ф., Смольский Е.В., Коренев В.Б. Биовынос ^{137}Cs из почвы многолетними мятликовыми травами в связи с минеральным питанием и доступностью почвенной влаги // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, № 4. С. 832–841.
18. Панов А.В. Возвращение радиоактивно загрязненных территорий к нормальной жизнедеятельности: современные проблемы и пути решения (к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС) // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021. № 1. С. 5-13.
19. Панов А.В., Исамов Н.Н., Губарева О.С., Цыгвинцев П.Н., Ратников А.Н., Алешкина Е.Н. Технологии ведения животноводства при масштабном радиоактивном загрязнении (к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС) // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 4. С. 58–63.
20. 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. Радиоэкология. 2001. Т. 41. №6. С. 682–694.
21. Просянкин Е.В., Зверева Л.А., Силаев А.Л. 35 лет после аварии на Чернобыльской АЭС – нужны ли реабилитационные мероприятия на сельскохозяйственных угодьях? // Радиация и риск. 2021. Т. 30, № 4. С. 131–142.
22. Сердюкова К.А., Смольский Е.В., Силаев А.Л., Нечаев М.М. Роль минеральных удобрений при использовании радиоактивно загрязненных природных угодий в качестве пастбищ // Пермский аграрный вестник. 2017. № 2. С. 56–62.
23. Сычев В.Г., Лунёв В.И., Орлов П.М., Белоус Н.М. Чернобыль: радиационный мониторинг сельскохозяйственных угодий и агрохимические аспек-

- ты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв (к 30-летию техногенной аварии на Чернобыльской АЭС). М.: ВНИИА, 2016. 184 с.
24. Фокин А.Д., Лурье А.А., Трошин С.П. Сельскохозяйственная радиология. СПб.: Лань, 2011. 416 с.
 25. Харкевич Л.П., Белоус И.Н., Анишина Ю.А. Реабилитации радиоактивно загрязненных сенокосов и пастбищ: монография. Брянск, 2011. 211 с.
 26. Шаповалов В.Ф., Плющиков В.Г., Белоус Н.М., Курганов А.А. Разработка комплекса мероприятий по коренному улучшению естественных кормовых угодий, загрязненных радионуклидом цезий-137 // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2014. № 1. С. 13-20.

References

1. Alexakhin R., Geras'kin S. 25 years after the accident at the Chernobyl nuclear power plant: radioecological lessons. *Radioprotection*, 2011, no. 46, pp. 595-60.
2. Fesenko S., Isamov N., Barnett C.L., Beresford N.A., Howard B.J., Sanzharova N., Fesenko E. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: biological half-lives. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2015, no. 142, pp. 136–151.
3. Fesenko S., Jacob P., Ulanovsky A., Chupov A., Bogdevich I., Sanzharova N., Kashparov V., Panov A., Zhuchenka Yu. Justification of remediation strategies in the long term after the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2013, vol. 119, pp. 39–47.
4. Prosyannikov E.V., Silaev A.L., Koshelev I.A. Specific ecological features of ¹³⁷Cs behavior in river floodplains. *Russian Journal of Ecology*, 2000, vol. 31, no. 2, pp. 132–135.
5. Averin V.S., Podolyak A.G. Role of protective measures for decrease in doses of radiation of the population and receiving standardly net agricultural production. *Belorusskoe sel'skoe hoz'yajstvo* [Belarusian agriculture], 2010, no. 4 (96), pp. 18-22.
6. Aleksahin R.M., Lunyov M.I. Technogenic pollution of agricultural grounds (re-searches, control and rehabilitation of territories). *Plodorodie* [Fertility], 2011, no. 3, pp. 32-35.
7. Belous N.M. Development of radioactive contaminated territories of the Bryansk region in the remote period after the Chernobyl accident. *Vestnik Brjanskoj GSHA* [Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy], 2018, no. 1 (65), pp. 3-11.
8. Belous N.M., Podolyak A.G., Karpenko A.F., Smol'skij E.V. Efficiency of protective measures at rehabilitation of the fodder grounds of Russia and Belarus polluted after accident on the Chernobyl NPP. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], 2016, vol. 56, no. 4, pp. 405-413.

9. Belous N.M., Prudnikov P.V., Shcheglov A.M., Smolskiy E.V., Belous I.N., Silayev A.L. Estimating risk of radiocesium presence at levels exceeded the permissible amount of the radionuclide in forage and milk from the south-west part of Bryansk region long after the Chernobyl accident. *Radiatsiya i risk* [Radiation and Risk], 2019, vol. 28, no. 3, pp. 36-46.
10. Belous N.M., Smol'skiy E.V., Chesalin S.F., SHapovalov V.F. Role of mineral potassium in decrease in receipt ^{137}Cs in fodder herbs and increase in their productivity on it is radioactive the polluted grounds. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural biology], 2016, vol. 51, no. 4, pp. 543-552.
11. Bogdevich I.M. Results and prospects of agrochemical protective measures on the lands of Belarus contaminated with radionuclides. *Vesci Nacyyanal'nej akademii navuk Belarusi* [Vesci National Academy of Sciences of Belarus. Ser. agrarian science], 2011, no. 3, pp. 27-39.
12. Veterinary and sanitary requirements for radiation safety of feed, feed additives, feed raw materials. Permissible levels of radionuclides ^{90}Sr and ^{137}Cs . Veterinary rules and regulations. VP 13.5 13/06-01. *Veterinar. Patologiya* [Veterinarian. Pathology], 2002, no. 4, pp. 44-45.
13. Gamko L.N., Podolnikov V.E., Malyavko I.V., Nuriev G.G., Mysik A.T. Quality feed is the way to obtain high productivity of animals and poultry and environmentally friendly products. *Zootekhnika* [Zootechny], 2016, no. 5, pp. 6-7.
14. *Gigienicheskie trebovaniya k bezopasnosti i pishchevoj cennosti pishchevyykh produktov: Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normy SanPiN 2.3.2.1078-01* [Hygienic requirements to safety and nutritional value of food products: Sanitary and epidemiological rules and norms SanPiN 2.3.2.1078-01]. Moscow, Ministry of Health of the Russian Federation, 2002, 164 p.
15. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Field experience methodology]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
16. Kuznetsov V.K., Isamov N.N., Panov A.V. Assessment of the effectiveness of rehabilitation of grassland at various stages after the Chernobyl accident. *Radiatsiya i risk* [Radiation and Risk], 2021, vol. 30, no. 2, pp. 50-61.
17. Pakshina S.M., Shapovalov V.F., Chesalin S.F., Smolsky E.V., Korenev V.B. Bioyons ^{137}Cs from the soil with perennial mint herbs in connection with mineral nutrition and the availability of soil moisture. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural biology], 2019, vol. 54, no. 4, pp. 832-841.
18. Panov A.V. Returning radioactively contaminated territories to normal life: current problems and ways for solution (35 years after the Chernobyl NPP accident). *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnykh situatsiyakh* [Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations], 2021, no. 1, pp. 5-13.

19. Panov A.V., Isamov N.N., Gubareva O.S., Tsygvintsev P.N., Ratnikov A.N., Aleshkina E.N. Technologies of animal husbandry with large-scale radioactive pollution (to the 35th anniversary of the Chernobyl accident). *Rossijskaja sel'skokhozjajstvennaja nauka* [Russian Agricultural Science], 2021, no. 4, pp. 58-63.
20. Panov A.V., Fesenko S.V., Aleksahin R.M. Efficiency of the actions directed to decrease in doses of radiation of inhabitants of rural settlements during the remote period after the Chernobyl accident. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], 2001, vol. 41, no. 6, pp. 682-694.
21. Prosyannikov E.V., Zvereva L.A., Silaev A.L. 35 years after the Chernobyl accident - are rehabilitation measures needed on agricultural land? *Radiatsiya i risk* [Radiation and Risk], 2021, vol. 30, no. 4, pp. 131-142.
22. Serdjukova K.A., Smol'skij E.V., Silaev A.L., Nechaev M.M. *Permskij agrarnyj vestnik* [Perm Agrarian Journal], 2017, no. 2, pp. 56-62.
23. Sychev V.G., Lunev V.I., Orlov P.M., Bilous N.M. *Chernobyl': radiatsionnyj monitoring sel'skokhozjajstvennykh ugodij i agrokhimicheskie aspekty snizhenija posledstvij radioaktivnogo zagrjaznenija pochv (k 30-letiju tehnogennoj avarii na Chernobyl'skoj AJeS)* [Chernobyl: radiation monitoring of agricultural land and agrochemical aspects of the management of the consequences of radioactive contamination of soils (the 30th anniversary of the technogenic accident at the Chernobyl nuclear power plant)]. Moscow, VNI-IA, 2016, 184 p.
24. Fokin A.D., Lurie A.A., Troshin S.P. *Sel'skohozyajstvennaya radiologiya* [Agricultural Radiology]. St. Petersburg: Lan, 2011, 416 p.
25. Kharkevich L.P., Belous I.N., Anishina Yu.A. *Reabilitacii radioaktivno zagryaznyonnyh senokosov i pastbishch: monografiya* [Rehabilitation of radioactively contaminated hayfields and pastures: monograph]. Bryansk, 2011, 211 p.
26. Shapovalov V.F., Pljushhikov V.G., Belous N.M., Kurganov A.A. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija: Agronomija i zhivotnovodstvo* [RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries], 2014, no. 1, pp. 13-20.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Силаев Андрей Леонидович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой агрохимии, почвоведения и экологии ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область, 243365, Российская Федерация
kafear@bgsha.com

Белоев Николай Максимович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область, 243365, Российская Федерация
belous_nm@mail.ru

Смольский Евгений Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область, 243365, Российская Федерация
sev_84@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey L. Silaev, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology
Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Kokino village, Vygonichsky District, Bryansk Region, 243365, Russian Federation
kafeap@bgsha.com

Nikolay M. Belous, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology
Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Kokino village, Vygonichsky District, Bryansk Region, 243365, Russian Federation
belous_nm@mail.ru

Evgeny V. Smolsky, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology
Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Kokino village, Vygonichsky District, Bryansk Region, 243365, Russian Federation
sev_84@mail.ru

Поступила 28.12.2023

После рецензирования 16.01.2024

Принята 01.02.2024

Received 28.12.2023

Revised 16.01.2024

Accepted 01.02.2024