

УДК 631.82:632.118.3:633.2.03

ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОГО ПОЙМЕННОГО ЛУГА

© 2018 г. Е.В. Смольский, Н.М. Белоус, В.Ф. Шаповалов, Л.П. Харкевич, С.Ф. Чесалин, К.А. Сердюкова

Брянский государственный аграрный университет
243365 с. Кокино, ул. Советская, 2а, Выгоничский р-н, Брянская обл., Россия

E-mail: bgsha@bgsha.com

Поступила в редакцию 31.03.2017 г.

В исследовании 2009–2015 гг. на аллювиальной луговой почве поймы р. Ипуть установлено, что миграция ^{137}Cs из верхних слоев в нижележащие происходит медленно. В настоящее время наибольшее количество ^{137}Cs находится в дернине, поэтому без применения минеральных удобрений при плотности загрязнения ^{137}Cs территории $>555 \text{ кБк/м}^2$ невозможно получить сено, соответствующее нормативу. Применение калийных удобрений уменьшило удельную активность ^{137}Cs сена естественного травостоя, а азотных удобрений – увеличило, при этом высокие дозы калийных удобрений снижали этот негативный эффект азота.

Ключевые слова: минеральные удобрения, радиоактивное загрязнение, ^{137}Cs , пойменный луг.

DOI: 10.7868/5000218811801009X

ВВЕДЕНИЕ

Производство кормов является одним из главных направлений сельскохозяйственной экономики и решает многие проблемы, обеспечивая эффективное и устойчивое ведение сельского хозяйства. От внедрения в кормопроизводство научно-технических достижений зависит продовольственная безопасность страны [1, 2].

В настоящее время главной причиной низких показателей в мясном или молочном животноводстве является слабая кормовая база, характеризующаяся низкой продуктивностью кормовых угодий. Например, суммарный объем производства грубых и сочных кормов за 20 лет снизился в 4 раза, в последние 5 лет – на 20% [3, 4]. В результате аварии на Чернобыльской АЭС значительная часть территории юго-запада России оказалась загрязненной радионуклидами, в том числе 491,4 тыс. га естественных сенокосов и пастбищ [5, 6].

Анализ радиационной обстановки свидетельствует, что реализация комплекса реабилитационных мероприятий для обеспечения безопасного проживания населения позволила во многом смягчить последствия Чернобыльской аварии. Однако обстановка спустя 30 лет на загрязненных территориях по-прежнему неблагоприятна [7–10].

Одной из важнейших задач, которую необходимо решить в ходе проведения работ по реабилитации сельскохозяйственных угодий, загрязненных радионуклидами вследствие аварии на ЧАЭС, является разработка приемов, обеспечивающих производство экологически чистых кормов и на их основе – нормативно чистой животноводческой продукции (мяса, молока) [11–14].

Трудности получения чистой животноводческой продукции на естественных кормовых угодьях обусловлены рядом причин. На лугах и пастбищах, где не проведено коренное улучшение, основная часть цезия-137 по-прежнему находится в дернине в верхнем горизонте почвенного профиля. Кроме того, в дернине сосредоточена основная корневая масса вегетирующих растений, что обуславливает повышенное поглощение радионуклидов травостоем [15–17].

Несмотря на существенное улучшение радиационной обстановки, до сих пор не удалось полностью решить проблему обеспечения безопасности населения, проживающего на территориях России, загрязненных радиоактивными веществами. Наиболее критическими являются юго-западные районы Брянской обл. Особое внимание в этом плане уделялось изменению содержания радионуклидов в критических пищевых продуктах.

с потреблением которых связано формирование внутренней дозы облучения. В этом отношении в регионе аварии на ЧАЭС характерны исследования динамики концентрации ^{137}Cs — ведущего дозобразующего радионуклида в молоке, представляющем основной критический пищевой продукт в этом регионе [18].

Цель работы — оценка действия доз и соотношений минеральных удобрений, обеспечивающих повышение урожайности и снижение удельной активности ^{137}Cs травостоя пойменных лугов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование влияния применения минеральных удобрений на повышение урожайности и снижение удельной активности ^{137}Cs в сене трав естественного травостоя проводили на лугу центральной поймы р. Ипуть Новозыбковского р-на, Брянской обл. в многолетнем факториальном опыте, заложенном в 1994 г. Работа выполнена в 2009–2015 гг. на кафедре агрохимии, почвоведения и экологии Брянского ГАУ.

Почва опытного участка — аллювиальная луговая песчаная, мощность гумусового горизонта — 17–20 см, с глубины 40 см — глеевый горизонт. Плотность загрязнения ^{137}Cs территории участка составила 559–867 кБк/м².

Агрохимическая характеристика почвы: рН_{KCl} 5.2–5.6, гидролитическая кислотность — 2.4–2.6 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощенных оснований — 11.8–13.4 мг-экв/100 г почвы, содержание гумуса — 3.08–3.33% (по Тюрину), подвижных фосфора и калия — соответственно 106–244 и 89–120 мг/кг (по Кирсанову).

Ботанический состав естественного травостоя опыта представлен следующими видами трав семейства мятликовых: овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis* L.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.). На долю разнотравья приходилось ≈10–15% общего состава.

Схема опыта включала поверхностное внесение минеральных удобрений, варианты: 1 — без удобрения (контроль), 2 — P60K90, 3 — N90P60K90, 4 — N90P60K120, 5 — N90P60K150, 6 — P60K120, 7 — N120P60K120, 8 — N120P60K150, 9 — N120P60K180.

Применяли N_{аа}, P_{сг} и K_х удобрения вносили ежегодно: азотные и калийные — в 2 приема (половина расчетной дозы под 1-й укос, вторая половина — под 2-й укос), фосфорные — полной дозой в один прием под 1-й укос. Площадь учетной деланки 63 м², повторность опыта трехкратная.

Урожайность сена определяли путем высушивания зеленой массы с 1 м² до воздушно-сухого состояния, определением в ней содержания сухого вещества с последующим пересчетом урожая на сено. Первый укос проводили в середине июня, второй — в конце августа. Удельную активность ^{137}Cs в исследованных растительных образцах определяли на комплексе универсальном спектрометрическом УКС «Гамма Плюс» (Россия), аппаратная ошибка измерений не превышала 30%. Полученные данные подвергали статистической обработке с использованием компьютерного программного обеспечения Excel 7.0 и Statistic 7.0.

Удельную активность молока и мяса рассчитывали как произведение величин суточного поступления корма (от 3 до 12 кг), удельной активности ^{137}Cs сена и равновесного коэффициента перехода радионуклида в продукцию животноводства.

Величину дозы внутреннего облучения человека, получаемой за счет молока и мяса, рассчитывали согласно методическим указаниям [19]. 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 обл.».

Погодные условия в годы исследования различались. По данным метеорологического пункта Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции, в среднем за годы исследования (2009–2015 гг.) температура воздуха была равна 8.6°C, что на 1.7°C выше среднегодовой нормы за 87 лет. При этом температура воздуха по годам в период проведения опыта менялась в пределах ± 0.7°C. В среднем за годы исследования выпадало 590 мм осадков, что на 10 мм меньше среднегодовой нормы за 91 год. Выпадение осадков по годам в период проведения опыта менялось в широких пределах: максимум осадков отмечен в 2009 г., когда выпало 723.7 мм. В 2010 и 2012 гг. увеличение осадков от среднегодовой нормы было на 100 мм, в 2013 году — на 30 мм. В 2011, 2014 и 2015 гг. выпадение осадков было меньше среднегодовой нормы соответственно на 60, 170, 135 мм. Наблюдали увеличение среднего количества выпавших осадков в осенне-зимний и уменьшение — в летний сезоны по сравнению с среднегодовыми показателями за период наблюдений 91 год. Сумма суточных величин радиационного баланса в период от 1-го до 2-го укоса была больше, чем в период от возобновления вегетации до первого укоса.

Природно-климатические ресурсы Новозыбковского р-на Брянской обл. позволяют получать стабильные урожаи многолетних трав, однако естественное плодородие аллювиальных песчаных

почв не дает полностью раскрыть весь их продуктивный потенциал [20, 21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Природно-климатические условия юго-запада Брянской обл. обеспечивают урожайность сена естественного травостоя луга центральной поймы на уровне 1.11 т/га (1-й укос) и 0.52 т/га (2-й укос) (табл. 1).

При поверхностном применении возрастающих доз калийных удобрений в составе фосфорно-калийных под 1-й укос наблюдали тенденцию к увеличению урожайности сена до 2.7 раза по сравнению с контролем. Внесение возрастающих доз калийных удобрений под 2-й укос вело к достоверному увеличению урожайности сена до 2.6 раза по сравнению с контролем.

Поверхностное применение возрастающих доз полного минерального удобрения от N45P60K45 до N60P60K60 и азотно-калийных удобрений от N45K45 до N60K60 соответственно под 1-й и 2-й укос достоверно увеличивало урожайность сена естественного травостоя 1-го и 2-го укосов от 4.0 до 4.8 раза по сравнению с контролем. Достоверного влияния различных доз удобрений при их поверхностном внесении на урожайность сена естественного травостоя не обнаружили.

Выявили тенденцию к повышению урожайности 1-го укоса сена естественного травостоя при применении возрастающих доз калийных удобрений

в составе N45P60K45 и N60P60K60, однако увеличение урожайности по сравнению с полным минеральным удобрением было недостоверным. Аналогичную тенденцию выявили при действии возрастающих доз калийных удобрений в составе азотно-калийного удобрения N45K45 и N60K60 для 2-го укоса естественного травостоя.

Основным источником повышения урожайности сена естественного травостоя при поверхностном внесении минеральных удобрений явились азотные удобрения, которые достоверно увеличивали урожайность сена как по сравнению с вариантом без применения удобрений, так и по сравнению с вариантами применения фосфорно-калийных и калийных удобрений.

Оценили корреляционную зависимость между величинами доз минеральных удобрений и их сочетаний и продукции кормопроизводства. Показано, что между величиной урожайности сена естественного травостоя 1-го и 2-го укосов и системами удобрения существовала положительная корреляция (рис. 1). Корреляционная связь между возрастающими дозами азотных удобрений от N0 до N60 с одной стороны и урожайностью сена 1-го и 2-го укосов естественного травостоя с другой стороны была средняя положительная, соответственно $r = 0.49$ и $r = 0.68$. Связь между возрастающими дозами калийных удобрений от K45 до K75 на фоне N45P60 и от K60 до K90 на фоне N60P60 и урожайностью сена 1-го и 2-го укосов была слабой и составила $r = 0.12$. Связь между возрастающими дозами калийных

Таблица 1. Урожайность сена естественного травостоя (2009–2015 гг.) в зависимости от доз минеральных удобрений, т/га

Система удобрения	Контроль без удобрений	P60K90	P60K120	N90P60K90	N90P60K120	N90P60K150	N120P60K120	N120P60K150	N120P60K180	НСР ₀₅
Показатель										
Среднее арифметическое	<u>1.1</u> 0.52	<u>2.6</u> 1.08	<u>3.0</u> 1.34	<u>4.5</u> 2.09	<u>4.6</u> 2.23	<u>5.1</u> 2.42	<u>5.4</u> 2.77	<u>5.7</u> 3.02	<u>6.0</u> 3.15	<u>2.0</u> 0.72
Средняя ошибка выборки	<u>0.22</u> 0.11	<u>0.38</u> 0.22	<u>0.35</u> 0.21	<u>0.80</u> 0.26	<u>0.83</u> 0.27	<u>0.92</u> 0.29	<u>0.84</u> 0.29	<u>0.83</u> 0.29	<u>0.78</u> 0.30	
Стандартное отклонение	<u>0.58</u> 0.30	<u>1.0</u> 0.57	<u>0.92</u> 0.55	<u>2.1</u> 0.69	<u>2.2</u> 0.71	<u>2.4</u> 0.76	<u>2.2</u> 0.78	<u>2.2</u> 0.78	<u>2.1</u> 0.80	
Размах	<u>1.68</u> 0.85	<u>2.94</u> 1.37	<u>2.40</u> 1.54	<u>6.14</u> 1.98	<u>6.41</u> 2.05	<u>6.72</u> 2.12	<u>6.39</u> 2.18	<u>6.58</u> 2.34	<u>5.77</u> 2.39	
Минимум	<u>0.71</u> 0.32	<u>1.42</u> 0.53	<u>2.11</u> 0.56	<u>2.75</u> 1.17	<u>2.82</u> 1.24	<u>2.86</u> 1.29	<u>2.93</u> 1.63	<u>2.99</u> 1.83	<u>3.96</u> 1.98	
Максимум	<u>2.39</u> 1.17	<u>4.36</u> 1.90	<u>4.51</u> 2.10	<u>8.89</u> 3.15	<u>9.23</u> 3.29	<u>9.58</u> 3.41	<u>9.32</u> 3.81	<u>9.57</u> 4.17	<u>9.73</u> 4.37	
Суммарная величина за 7 лет	<u>7.8</u> 3.6	<u>18.5</u> 7.6	<u>21.1</u> 9.4	<u>31.4</u> 14.6	<u>32.4</u> 15.6	<u>35.6</u> 17.0	<u>37.6</u> 19.4	<u>39.6</u> 21.1	<u>41.7</u> 22.0	

Примечание. Над чертой – 1-й укос, под чертой – 2-й укос. То же в табл. 2.

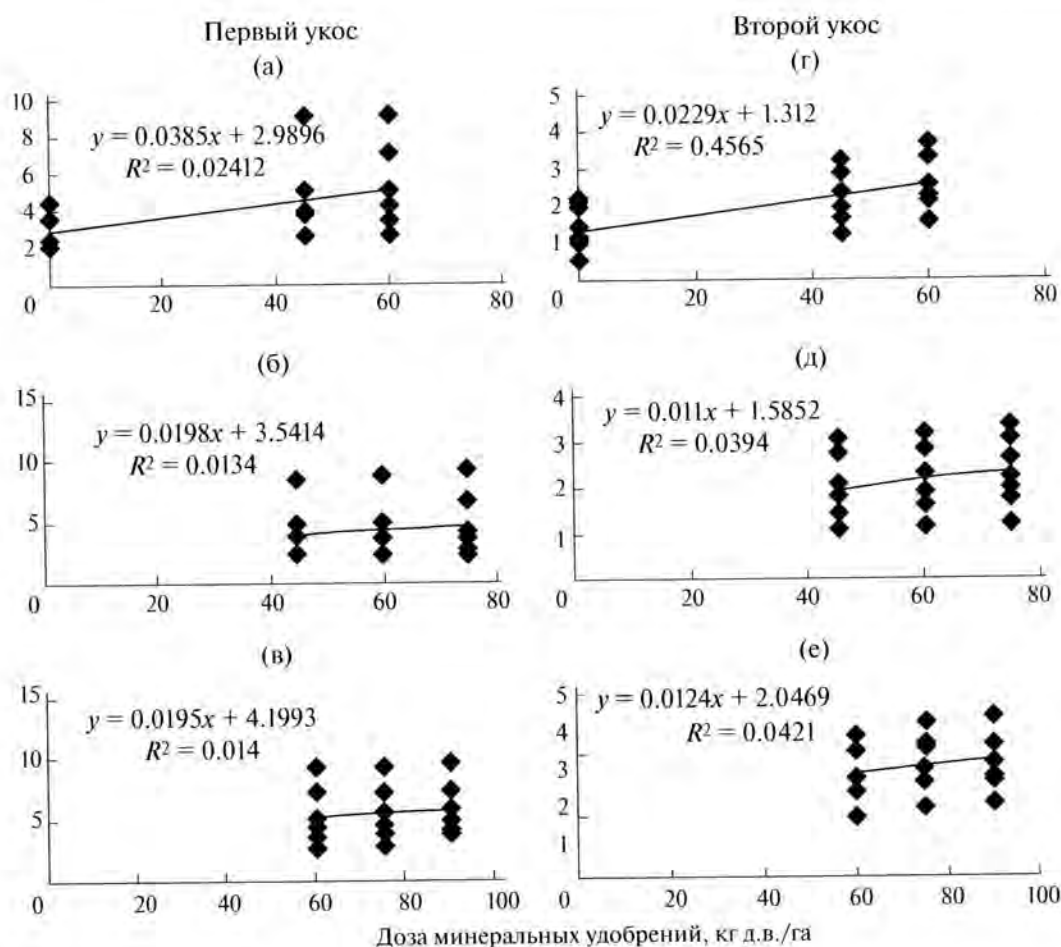


Рис. 1. Зависимость урожайности (т/га) сена естественного травостоя от возрастающих доз минеральных удобрений (кг д.в./га), $n = 21$: (а) – возрастающие дозы азотных удобрений на фоне Р60К60, (б) – возрастающие дозы калийных удобрений на фоне N45P60, (в) – возрастающие дозы калийных удобрений на фоне N60P60, (г) – возрастающие дозы азотных удобрений на фоне К60, (д) – возрастающие дозы калийных удобрений на фоне N45, (е) – возрастающие дозы калийных удобрений на фоне N60.

удобрений от К45 до К75 на фоне N45 и от К60 до К90 на фоне N60 и урожайностью сена 1-го и 2-го укосов также была слабой и составила соответственно $r = 0.20$ и $r = 0.21$.

Полученные данные о силе связи между урожайностью сена естественного травостоя и составом минеральных удобрений в системе удобрения свидетельствовали о среднем влиянии азотных и слабом – калийных удобрений в повышении урожайности сена как 1-го, так и 2-го укосов при поверхностном применении минеральных удобрений на пойменных лугах.

При анализе миграции ^{137}Cs из почвы в биомассу многолетних трав луговых фитоценозов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС установлен значительный разброс в содержании радионуклида в травах, который зависел от ряда факторов: пестроты плотности радиоактивного

загрязнения, различий естественного плодородия почв и их гранулометрического состава.

Вертикальная миграция ^{137}Cs в почве происходит с малой скоростью. Глубина миграции радионуклидов во многом зависит от состава органических и минеральных компонентов почвы, ее физико-химических характеристик и режима увлажнения. При этом необходимость в изучении вертикальной миграции ^{137}Cs в почве луга определяется тем, что от распределения радионуклида в почвенном профиле и удаления из корнеобитаемой зоны зависят размеры его перехода в биомассу растений, что, в конечном счете, влияет на величину внешнего и внутреннего облучения человека.

В год закладки опыта на участке центральной поймы р. Ипуть через 8 лет после аварии на Чернобыльской АЭС, вся масса радионуклида находилась на глубине в 0–40 см (рис. 2). Наибольшее количество ^{137}Cs находилось в дернине до 5 см

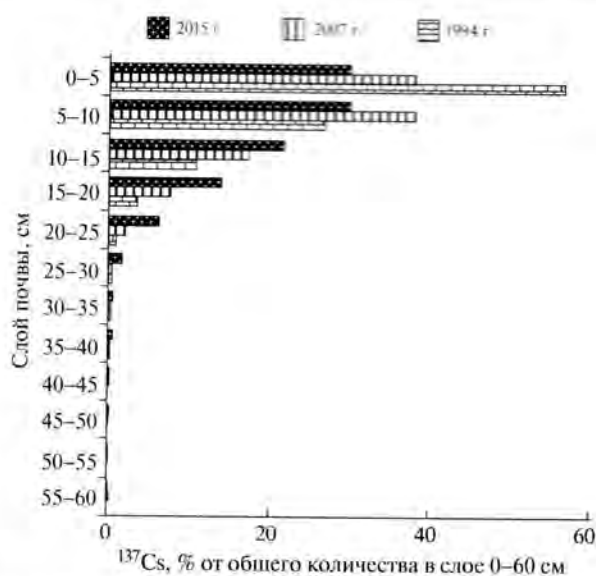


Рис. 2. Миграция ^{137}Cs по почвенному профилю аллювиальной песчаной почвы в период с 1994 по 2015 г., % от общего количества в слое 0–60 см.

и составляла 56.9% от его общего содержания в аллювиальной песчаной почве. С глубиной содержание радионуклида значительно снижалось: в слое 5–10 см ^{137}Cs было в 2.1 раза меньше, в слое 10–15 см – в 5.2 раза меньше, чем в дернине. На глубине 15–40 см содержалось $\approx 5\%$ от общего количества цезия в почве.

Через 21 год после аварии распределением ^{137}Cs в почве опытного участка изменилось, по-прежнему наибольшее количество радионуклида (38%) было сосредоточено в дернине, однако в слое 5–10 см его содержание практически сравнялось с дерниной и составило 34%, в слое 10–15 см содержание ^{137}Cs увеличилось до 17%. В корнеобитаемом слое (0–20 см) находилось 97.5% от общего содержания ^{137}Cs в почве. В 2007 г. радионуклид обнаружили на глубине до 60 см. При этом на слой почвы 20–60 см приходилось всего 2.5% от общего количества радионуклида.

Через 29 лет после аварии на опытном участке на долю корнеобитаемого слоя приходилось $\approx 90\%$ от общего количества ^{137}Cs . При этом произошло перераспределение радионуклида в сторону снижения его содержания в слое 0–10 см и его увеличение в слое 10–20 см почвы.

Исследованиями авторов на лугах центральной поймы установлено, что миграция ^{137}Cs из дернины и корнеобитаемого слоя в нижележащие слои почвы происходило медленно. В настоящее время, как и в 1994 г., наибольшее количество ^{137}Cs осталось в дернине, при этом происходило его перераспределение в сторону увеличения содержания в 2.5 раза в слое почвы 10–20 см.

В условиях луга центральной поймы р. Ипуть юго-запада Брянской области на аллювиально-песчаных почвах при плотности загрязнения ^{137}Cs территории $>555 \text{ кБк/м}^2$ невозможно получить сено естественного травостоя, отвечающего ветеринарно-санитарным требованиям [22] по содержанию в нем ^{137}Cs . Например, сено 1-го укоса естественного травостоя превышало этот норматив в 8.3 раза, 2-го – в 8.0 раз (табл. 2).

Применение возрастающих доз калийных удобрений в составе фосфорно-калийных удобрений под 1-й укос достоверно снижало удельную активность ^{137}Cs сена 1-го укоса естественного травостоя в 9.5 раза по сравнению с контролем. Поверхностное внесение возрастающих доз калийных удобрений под 2-й укос достоверно снижало удельную активность ^{137}Cs сена в 9.5 раза по сравнению с контролем. При этом только внесение максимальных доз калийных удобрений как в составе фосфорно-калийных, так и отдельно, вело к получению кормов, отвечающих ветеринарно-санитарным требованиям по содержанию в них ^{137}Cs .

Поверхностное применение возрастающих доз полного минерального удобрения от N45P60K45 до N60P60K60 и азотно-калийных удобрений от N45K45 до N60K60 соответственно под 1-й и 2-й укосы достоверно снижало удельную активность ^{137}Cs сена естественного травостоя 1-го и 2-го укосов от 2.5 до 6.5 раза по сравнению с контролем. Внесение возрастающих доз полного минерального удобрения от N45P60K45 до N60P60K60 и азотно-калийных удобрений от N45K45 до N60K60 при соотношении в них азота к калию, равного 1 : 1 соответственно под 1-й и 2-й укосы достоверно снижало удельную активность ^{137}Cs сена естественного травостоя 1-го и 2-го укосов до 6.5 раза по сравнению с контролем.

При этом азотные удобрения достоверно увеличивали удельную активность ^{137}Cs сена как 1-го, так и 2-го укосов по сравнению с фосфорно-калийными и калийными удобрениями. Установили достоверную разницу между дозами в системе удобрения с соотношением азота к калию, равного 1 : 1, в снижении удельной активности ^{137}Cs сена естественного травостоя 1-го и 2-го укосов. Увеличение доз калийных удобрений при сохранении соотношения N : K = 1 : 1, приводило к снижению отрицательного действия азотных удобрений. Но сено 1-го и 2-го укосов естественного травостоя не соответствовало ветеринарным требованиям по содержанию ^{137}Cs в кормах.

Возрастающие дозы калийных удобрений от K45 до K75 и от K60 до K90 в составе полного минерального удобрения достоверно снижали удельную

Таблица 2. Удельная активность ^{137}Cs сена 1-го укоса естественного травостоя (2009–2014 гг.) в зависимости от доз минеральных удобрений, Бк/кг

Показатель \ Система удобрения	Контроль без удобрений	P60K90	P60K120	N90P60K90	N90P60K120	N90P60K150	N120P60K120	N120P60K150	N120P60K180	HCP ₀₅
Среднее арифметическое	$\frac{3320}{3230}$	$\frac{460}{450}$	$\frac{350}{340}$	$\frac{1320}{1290}$	$\frac{788}{780}$	$\frac{440}{360}$	$\frac{510}{500}$	$\frac{330}{380}$	$\frac{240}{290}$	$\frac{110}{130}$
Средняя ошибка выборки	$\frac{91}{99}$	$\frac{25}{19}$	$\frac{15}{18}$	$\frac{20}{70}$	$\frac{30}{25}$	$\frac{42}{42}$	$\frac{27}{25}$	$\frac{6}{21}$	$\frac{7}{24}$	
Стандартное отклонение	$\frac{220}{240}$	$\frac{61}{48}$	$\frac{36}{44}$	$\frac{50}{170}$	$\frac{73}{60}$	$\frac{100}{100}$	$\frac{65}{62}$	$\frac{14}{52}$	$\frac{16}{60}$	
Размах	$\frac{578}{671}$	$\frac{137}{120}$	$\frac{110}{138}$	$\frac{146}{470}$	$\frac{230}{188}$	$\frac{288}{315}$	$\frac{184}{157}$	$\frac{41}{110}$	$\frac{41}{118}$	
Минимум	$\frac{3190}{3040}$	$\frac{365}{371}$	$\frac{286}{276}$	$\frac{1230}{946}$	$\frac{678}{703}$	$\frac{231}{239}$	$\frac{384}{374}$	$\frac{306}{308}$	$\frac{211}{228}$	
Максимум	$\frac{3760}{3710}$	$\frac{502}{491}$	$\frac{396}{414}$	$\frac{1380}{1420}$	$\frac{908}{891}$	$\frac{519}{554}$	$\frac{568}{531}$	$\frac{347}{418}$	$\frac{252}{346}$	
Сумма величин за 6 лет	$\frac{19900}{19400}$	$\frac{2740}{2725}$	$\frac{2090}{2050}$	$\frac{7940}{7770}$	$\frac{4730}{4710}$	$\frac{2610}{2180}$	$\frac{3060}{3000}$	$\frac{1970}{2280}$	$\frac{1420}{1730}$	

активность ^{137}Cs сена 1-го укоса естественного травостоя по сравнению с контролем, при этом корм соответствовал ветеринарным требованиям по содержанию ^{137}Cs только при применении доз N60P60K75 и N60P60K90. Выявили тенденцию к снижению удельной активности ^{137}Cs сена с увеличением доли калийных удобрений в составе полного минерального удобрения. Возрастающие дозы калийных удобрений от K45 до K75 и от K60 до K90 в составе азотно-калийного удобрения достоверно снижали удельную активность ^{137}Cs сена 2-го укоса естественного травостоя по сравнению с контролем, при этом корм соответствовал ветеринарным требованиям по содержанию ^{137}Cs только при применении доз N60K75 и N60K90.

В ходе проведения работ по реабилитации сельскохозяйственных угодий, загрязненных радионуклидами вследствие аварии на ЧАЭС, необходимо проведение комплексных исследований с оценкой влияния различных доз минеральных удобрений и их сочетаний на качество получаемой продукции с целью выявить наиболее эффективные приемы, способствующие получению нормативно «чистых» кормов.

Установлены корреляционные связи между показателями удельной активности ^{137}Cs сена естественного травостоя 1-го и 2-го укосов и системами удобрения при поверхностном внесении минеральных удобрений (рис. 3). Корреляционная связь между возрастающими дозами азотных удобрений от N0 до N60 и удельной активностью ^{137}Cs сена 1-го и 2-го

укосов естественного травостоя была средней и составила $r = 0.57$. Связь между возрастающими дозами калийных удобрений от K45 до K75 на фоне N45P60, от K60 до K90 на фоне N60P60 и удельной активностью ^{137}Cs сена 1-го укоса естественного травостоя была сильной и составила соответственно $r = 0.97$ и $r = 0.94$. Связь между возрастающими дозами калийных удобрений от K45 до K75 на фоне N45, от K60 до K90 на фоне N60 и удельной активностью ^{137}Cs сена 2-го укоса естественного травостоя была сильной и составила соответственно $r = 0.96$ и $r = 0.85$.

Полученные данные о силе связи между удельной активностью ^{137}Cs сена естественного травостоя и составом минеральных удобрений в системе удобрения свидетельствовали о сильном влиянии калийных удобрений на снижение и среднем влиянии азотных удобрений на повышение удельной активности ^{137}Cs сена 1-го и 2-го укосов естественного травостоя.

Сравнительный анализ доз облучения населения, проживающего на территории, подвергнувшегося радиоактивному загрязнению после аварии на ЧАЭС, показал, что максимальные уровни внутреннего облучения характерны для населения, основу рациона которого составляют местные продукты питания.

Несмотря на существенное улучшение радиационной обстановки, до сих пор не удалось полностью решить проблему обеспечения безопасного для населения производства молока и кормов. Риск

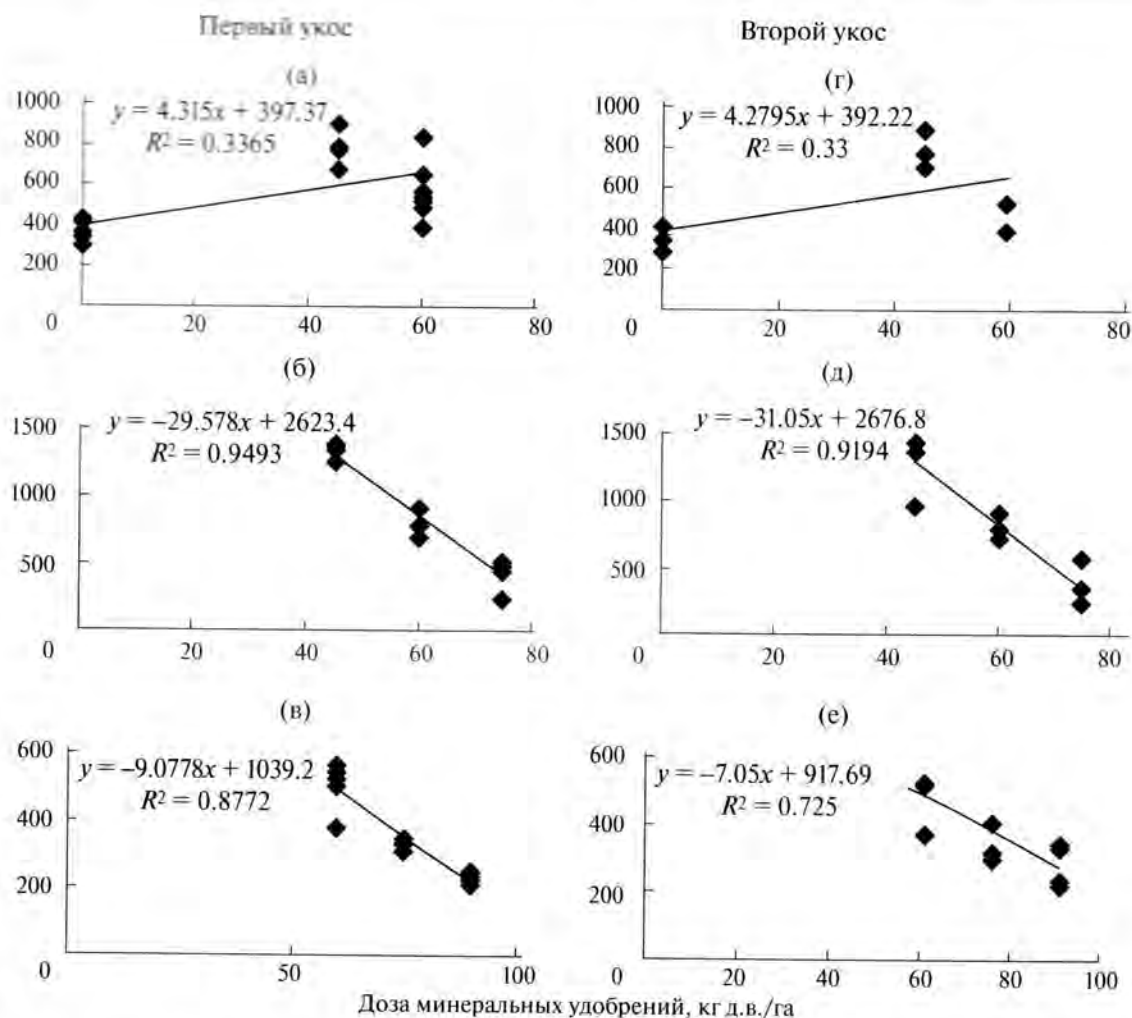


Рис. 3. Зависимость удельной активности ^{137}Cs сена многолетних трав от возрастающих доз минеральных удобрений, $n = 18$: (а) – возрастающие дозы азотных удобрений на фоне Р60К60, (б) – возрастающие дозы калийных удобрений на фоне N45P60, (в) – возрастающие дозы калийных удобрений на фоне N60P60, (г) – возрастающие дозы азотных удобрений на фоне К60, (д) – возрастающие дозы калийных удобрений на фоне N45, (е) – возрастающие дозы калийных удобрений на фоне N60.

получения продукции животноводства и кормопроизводства, не соответствующей нормативу, как при ведении общественного хозяйствования, так и личного, по некоторым видам кормов в юго-западных районах Брянской обл. достигает 50% [18]. Производство продуктов питания с допустимой и более низкой концентрацией радионуклидов имеет приоритетное значение, поскольку в формировании доз облучения преобладает внутренняя составляющая из-за потребления загрязненной радионуклидами пищи. Особенно актуальны перечисленные проблемы в тех районах, где преобладают малопродуктивные песчаные и торфяные почвы, характеризующиеся высокими коэффициентами перехода радионуклида ^{137}Cs по пищевой цепи.

В условиях центральной поймы р. Ипуть юго-запада Брянской обл. на аллювиально песчаных почвах при плотности загрязнения ^{137}Cs территории

>555 кБк/м² нельзя использовать полученное сено естественного травостоя, как 1-го, так и 2-го укосов, для кормления крупного рогатого скота с целью получения молока и мяса, отвечающего санитарным правилам и нормам [23], регламентирующим в них содержание ^{137}Cs . При потреблении сена 1-го и 2-го укосов естественного травостоя >3 кг содержание ^{137}Cs в молоке соответственно от 2.0 до 3.0 и от 1.9 до 2.9 раза больше норматива. Скармливание сена 1-го и 2-го укосов естественного травостоя для получения мяса ведет к превышению норматива соответственно от 2.0 до 6.0 и от 1.9 до 5.8 раза в зависимости от массы скормленного сена (табл. 3).

Согласно нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009 [24]) суммарная доза внешнего и внутреннего (за счет поступления радионуклидов в организм) облучения населения не должна превышать 1000 мкЗв/год. В ситуациях, когда

Таблица 3. Переход ^{137}Cs по пищевой цепи в зависимости от доз минеральных удобрений и массы используемого сена на корм (среднее за годы исследования)

Масса сена, кг	Удельная активность ^{137}Cs молока, Бк/л		Удельная активность ^{137}Cs мяса, Бк/кг		Доза внутреннего облучения за счет молока и мяса, мкЗв/год	
	1	2	1	2	1	2
Контроль без удобрений						
3	100	97	398	388	423	411
6	199	194	797	776	845	823
9	299	291	1200	1160	1270	1230
P60K90						
3	14	14	55	54	58	58
6	27	27	110	109	116	116
9	41	41	165	163	175	173
P60K120						
3	10	10	42	41	44	44
6	21	21	84	82	89	87
9	31	31	125	123	133	131
N90P60K90						
3	40	39	159	155	168	165
6	79	78	318	311	337	329
9	119	116	476	466	505	494
N90P60K120						
3	24	24	95	94	100	100
6	47	47	189	188	201	200
9	71	71	284	282	301	299
N90P60K150						
3	13	11	52	44	56	46
6	26	22	105	87	111	92
9	39	33	157	131	167	139
N120P60K120						
3	15	15	61	60	65	64
6	31	30	122	120	130	127
9	46	45	183	180	194	191
N120P60K150						
3	10	11	39	46	42	48
6	20	23	79	91	84	97
9	30	34	118	137	126	145
N120P60K180						
3	7	9	28	35	30	37
6	14	17	57	69	60	73
9	21	26	85	104	91	110

Примечание. В графе 1 – 1-й укос, 2 – 2-й укос.

уровни облучения превышают допустимые, очень важно дать оценку дозовой нагрузки, т. е. оценить вклад в общую нагрузку отдельных составляющих. В данной работе оценили вклад молока и мяса, полученного в результате скормливания различных масс загрязненного ^{137}Cs сена 1-го и 2-го укосов.

Доза внутреннего облучения человека, полученная от потребления молока и мяса сельскохозяйственных животных, при кормлении которых использовали 9 кг сена 1-го и 2-го укосов, полученного в условиях эксперимента без применения минеральных удобрений, превышала норматив соответственно в 1.3 и 1.2 раза.

Из примененных в эксперименте систем удобрения на пойменном лугу только минеральные удобрения в дозах N45P60K45 и N45K45 под каждой укос позволили получить сено 1-го и 2-го укосов естественного травостоя, скормливание которого вело к превышению норматива по содержанию ^{137}Cs в молоке в 1.2 раза.

Скормливание сена массой 6 кг и больше, полученного на пойменном лугу при применении под 1-й и 2-й укос соответственно доз N45P60K45 и N45K45 вело к превышению норматива по содержанию ^{137}Cs в мясе от 1.6 до 2.4 раза в зависимости от массы сена. Скормливание 9 кг сена естественного травостоя, полученного при применении под 1-й и 2-й укос минеральных удобрений в дозах N45P60K60 и N45K60 вело к получению мяса с превышением норматива по содержанию ^{137}Cs в 1.4 раза.

Доза внутреннего облучения, полученная от потребления молока и мяса сельскохозяйственных животных, на корм которым использовали сено 2-х укосов, полученное с применением минеральных удобрений, не превышала норму радиационной безопасности. Установили, что возрастающие дозы калийных удобрений снижали миграцию ^{137}Cs по цепи почва–растение–продукция животноводства–человек.

ВЫВОДЫ

Экспериментальное исследование на аллювиальной луговой почве центральной поймы р. Ипуть Новозыбковского р-на Брянской обл. в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды установило следующие тенденции и закономерности.

1. Главным источником достоверного повышения урожайности сена естественного травостоя явились азотные удобрения, при внесении которых урожайность как 1-го, так и 2-го укоса увеличивалась до 4.0 раз. Это подтвердили данные о силе связи между урожайностью сена естественного

травостоя и составом минеральных удобрений, они свидетельствовали о средней связи доз азотных и слабой — калийных удобрений и величины урожайности сена как 1-го, так и 2-го укоса.

2. В почвах центральной поймы р. Ипуть Новозыбковского р-на Брянской обл. миграция ^{137}Cs из корнеобитаемого слоя в низлежащие слои почвы происходит медленно, в настоящее время наибольшее количество ^{137}Cs находится в дернине, при этом происходит перераспределение его содержания в сторону увеличения в 2.5 раза в слое почвы 10–20 см по сравнению с 1994 г.

3. Установлено, что на пойменных лугах невозможно получить сено, соответствующее ветеринарно-санитарным требованиям по содержанию ^{137}Cs , без применения минеральных удобрений в условиях плотности загрязнения ^{137}Cs территории $>555 \text{ кБк/м}^2$.

4. Показано, что калийные удобрения достоверно снижали удельную активность ^{137}Cs сена естественного травостоя, а азотные удобрения ее увеличивали. При этом возрастающие дозы калийных удобрений снижали негативное действие азота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косолапов В.М. Современное кормопроизводство — основа успешного развития АПК и продовольственной безопасности России // Земледелие. 2009. № 6. С. 3–5.
2. Чирков Е.П., Дронов А.В., Ларетин Н.А. Система ведения кормопроизводства в условиях инновационного развития // АПК: регионы России. 2012. № 9. С. 36–42.
3. 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.
4. Просянкин Д.Е., Балабко П.Н., Просянкин Е.В., Чекин Г.В. Оценка травостоев экосистемы поймы Средней Десны // Пробл. агрохим. и экол. 2011. № 2. С. 23–28.
5. Белоус И.Н., Кротова Е.А., Смольский Е.В. Эффективность агрохимических приемов при поверхностном улучшении естественных кормовых угодий, загрязненных ^{137}Cs // Агрохимия. 2012. № 8. С. 18–24.
6. Белоус И.Н., Подольяк 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 биол. Радиэкология. 2016. Т. 56. № 4. С. 405–413.
7. Санжарова Н.И. Изменение радиационной обстановки в сельском хозяйстве после аварии на Чернобыльской АЭС // Агрохим. вестн. 2010. № 2. С. 6–9.

8. *Алексахин Р.М., Лунев М.И.* Техногенное загрязнение сельскохозяйственных угодий (исследования, контроль и реабилитация территорий) // Плодородие. 2011. № 3. С. 32–35.
9. *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 // Радиацион. биол. Радиоэкология. 2001. Т. 41. № 6. С. 682–694.
10. *Белоус И.Н., Смольский Е.В., Шаповалов В.Ф.* Продуктивность и качество одновидовых посевов многолетних трав в зависимости от уровня минерального питания // Вестн. БрянскГСХА. 2012. № 4. С. 29–33.
11. *Фесенко С.В., Пахомов А.Ю., Пастернак А.Д., Горяинов В.А., Фесенко Г.А., Панов А.В.* Закономерности изменения содержания ^{137}Cs в молоке в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиацион. биол. Радиоэкология. 2004. Т. 44. № 3. С. 336–345.
12. *Панов А.В., Исамов Н.Н., Санжарова Н.И., Рыбалко Ю.А.* Радиологический контроль продукции животноводства и кормопроизводства юго-западных районов Брянской области, подвергшихся воздействию аварии на ЧАЭС // Рос. журн. «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». 2015. № 4(16). С. 91–99.
13. *Бельченко С.А., Торики В.Е., Шаповалов В.Ф., Белоус И.Н.* Технологии возделывания кормовых культур в условиях радиоактивного загрязнения и их влияние на содержание тяжелых металлов и цезия-137 // Вестн. БрянскГСХА. 2016. № 2(54). С. 58–67.
14. *Прудников П.В., Ковалев Л.А., Маркина З.Н.* Эффективность агрохимических мероприятий при реабилитации радиоактивно загрязненных территорий // Агрохим. вестн. 2006. № 2. С. 8–10.
15. *Подольск А.Г., Тимофеев С.Ф., Гребенщикова Н.В.* Рекомендации по использованию загрязненных радионуклидами пойменных земель Белорусского Полесья. Гомель: Институт радиологии, 2001. 27 с.
16. *Просянкин Е.В., Кошелев И.А., Силаев А.Л.* Экологические особенности поведения ^{137}Cs в поймах рек // Экология. 2000. № 2. С. 151–154.
17. *Подольск Л.Г., Тимофеев С.Ф., Гребенщикова Н.В., Арастович Т.В., Жданович В.* Прогнозирование накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостоях основных типов лугов Белорусского Полесья по агрохимическим свойствам почв // Радиацион. биол. Радиоэкология. 2005. Т. 45. № 1. С. 100–111.
18. *Белоус Н.М., Сидоров И.И., Смольский Е.В., Чесалин С.Ф., Дробышевская Т.В.* Риск получения молока и кормов, не соответствующих нормативам по содержанию цезия-137 // Достиж. науки и техн. АПК. 2016. Т. 30. № 5. С. 75–77.
19. *Фокин А.Д., Лурье А.А., Торшин С.П.* Сельскохозяйственная радиология. СПб.: Лань, 2011. 416 с.
20. *Харкевич Л.П., Белоус Н.М., Смольский Е.В., Чесалин С.Ф.* Воздействие агротехнических и агрохимических мероприятий на урожайность многолетних трав и плодородие почвы // Плодородие. 2013. № 4(73). С. 25–27.
21. *Бельченко С.А., Торики В.Е., Дронов А.В., Белоус И.Н., Бычкова К.Ю.* Организация системы ведения лугового хозяйства на основе комбинированного использования травостоев // Вестн. БрянскГСХА. 2015. № 5. С. 8–14.
22. 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.
23. 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.
24. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2523-09. // Рос. газета. Спец. выпуск. 2009. № 171/1 (приложение).

Application of Mineral Fertilizers on Radioactive Contaminated Floodplain Meadows

E.V. Smolsky, N.M. Belous, V.F. Shapovalov, L.P. Harkevich, S.F. Chesalin, K.A. Serdyukova

Bryansk State Agricultural University

ul. Sovetskaya 2a, Kokino, Bryansk region, Vygonichsky district 243365, Russia

E-mail: bgsha@bgsha.com

In the research over the 2009–2015 period on the alluvial meadow soil of the river Iput floodplain a slow migration of ^{137}Cs from the topsoil to the subsoil layers was observed. At the present time the greatest amount of ^{137}Cs is located in sod layer and the density of ^{137}Cs contamination is over 555 kBq/m², so it is impossible to grow hay conforming to the standard without application of mineral fertilizers. Application of potassium fertilizer reduced specific activity of ^{137}Cs of natural grass hay, while nitrogen fertilizers increased it. However, high rates of potash fertilizers reduced the negative effect of nitrogen.

Key words: mineral fertilizers, radioactive contamination, ^{137}Cs , floodplain meadow.