

ISSN 0130-8475

Институт почвоведения и агрохимии

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1961 г.

**№ 1(62)
Январь – июнь 2019 г.**

Минск
2019

УДК 631.4+631.8(476)
ББК 40.4+40.3(Бей)

Учредитель: Республиканское научное дочернее унитарное предприятие
«Институт почвоведения и агрохимии»

Свидетельство № 721 от 6 октября 2009 г.
Министерства информации Республики Беларусь

Главный редактор *В. В. ЛАГА*

Редакционная коллегия: М. В. РАК (зам. главного редактора)
Н. Н. ЦЫБУЛЬКО (зам. главного редактора)
Н. Ю. ЖАБРОВСКАЯ (ответственный секретарь)

Т. Н. АЗАРЕНКО, С. А. БАЛЮК, Н. Н. БАМБАЛОВ, И. М. БОГДЕВИЧ,
И. Р. ВИЛЬДФЛУШ, С. А. КАСЬЯНЧИК, Н. В. КЛЕБАНОВИЧ,
Н. А. МИХАЙЛОВСКАЯ, Г. В. ПИРОГОВСКАЯ,
Ю. В. ПУТЯТИН, Н. Н. СЕМЕНЕНКО, Т. М. СЕРАЯ

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ

1(62)

Январь–июнь 2019 г.

Основан в 1961 г. как сборник научных трудов «Почвоведение и агрохимия»,
с 2004 г. преобразован в периодическое издание – научный журнал
«Почвоведение и агрохимия»

Адрес редакции: 220108, г. Минск, ул. Казинца, 62
Тел. (017) 212-08-21, факс (017) 212-04-02. E-mail brissainform@mail.ru

Ответственная за выпуск *Н. Ю. Жабровская*
Редакторы *Т. Н. Самосюк, Ю. Б. Фельдшерова*
Компьютерная верстка *Е. А. Титовой*

Подписано в печать 19.06.2019. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 21,45. Уч.-изд. л. 17,16. Тираж 100 экз. Заказ 242.

Республиканское унитарное предприятие «Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь»
ЛП № 02330/89 от 3.03.2014. Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.

© Республиканское научное дочернее унитарное
предприятие «Институт почвоведения и агрохимии», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

- Шибут Л. И., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Шульгина С. В.** Анализ результатов оценки плодородия почв сельскохозяйственных земель Беларуси по административным районам 7
- Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н., Шульгина С. В.** Кислотно-основная буферность дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени агрогенной трансформации 14
- Цырибко В. Б., Цыбулько Н. Н., Устинова А. М., Логачев И. А., Касьяненко И. И., Юхновец А. В., Митькова А. А.** Структурное состояние и противозерозионная устойчивость дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных и лёссовидных суглинках 25
- Алексеев В. Е.** Сравнительная характеристика минералогического состояния сопряженной пары орошаемого и неорошаемого карбонатных черноземов юга Молдовы 32
- Алексеев В. Е.** Сопряженная пара орошаемого и неорошаемого карбонатных черноземов юга Молдовы: баланс минералов 41
- Господаренко Г. Н., Черно Е. Д., Лысянский А. Л.** Влияние сидеральных паров на питательный режим чернозема оподзоленного и урожайность пшеницы озимой 48
- Плиско И. В.** Пространственно-дифференцированная система управления качеством почв (на примере пахотных почв Украины) 59
- Трофименко П. И., Трофименко Н. В., Борисов Ф. И., Зацерковный В. И.** Методология исследования и профилное распределение концентрации диоксида углерода в воздухе дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы 73

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

- Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Белявская Ю. А., Кирдун Т. М., Торчило М. М., Жабровская Н. Ю.** Сравнительная эффективность возделывания сельскохозяйственных культур в традиционной и органической системах земледелия 82
- Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Кирдун Т. М., Белявская Ю. А., Торчило М. М.** Оценка эффективности компоста на основе бурого угля на дерново-подзолистой супесчаной почве 92
- Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Шедова О. А., Жабровская Н. Ю.** Действие удобрений в зернопропашном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высокими запасами фосфора и калия при различных погодных условиях 109

Семененко Н. Н., Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г. Урожайность, вынос и коэффициенты возмещения выноса элементов питания в зависимости от погодных условий и применяемой системы удобрения под яровой ячмень	120
Пироговская Г. В., Хмелевский С. С., Сороко В. И., Хатулев И. Н., Исаева О. И., Шкаленко И. Н., Артюх Ю. А., Ганусевич А. Г., Белоус О. А. Влияние новых форм жидких и твердых минеральных удобрений на продуктивность и показатели качества злаковых, бобово-злаковых травосмесей и люцерны на дерново-подзолистых почвах	133
Цыбулько Н. Н., Седукова Г. В., Евсеев Е.Б., Жукова И. И. Влияние азотных удобрений на накопление ¹³⁷ Cs многолетними злаковыми травами на торфянисто-глеевой почве.....	157
Станилевич И. С., Богдевич И. М., Путятин Ю. В. Эффективность возделывания гороха на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с разной обеспеченностью обменным магнием	168
Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Белявская Ю. А., Кирдун Т. М., Торчило М. М. Миграция подвижных форм тяжелых металлов по профилю дерново-подзолистых почв под влиянием регулярных нагрузок жидких отходов животноводства.....	179
Путятин Ю. В. Подвижный калий почвы и накопление ¹³⁷ Cs сельскохозяйственными культурами.....	196
Путятин Ю. В. Влияние гумусового состояния дерново-подзолистых супесчаных почв на накопление радионуклидов ¹³⁷ Cs и ⁹⁰ Sr кормовыми культурами.....	203
Путятин Ю. В. Влияние кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление ⁹⁰ Sr сельскохозяйственными культурами.....	211
Коготько Ю. В. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста и бактериального препарата на структуру урожая и урожайность зерна проса	219
Пынтиков С. А., Булавин Л. А., Гвоздов А. П., Немкович А. И. Экономическая эффективность применения азотных подкормок и микроэлементов при возделывании озимой пшеницы	228
Михайловская Н. А., Барашенко Т. Б. Антагонистическая активность ризобактерий <i>A. brasilense</i> и <i>B. circulans</i> по отношению к фитопатогенным микромицетам pp. <i>Fusarium</i> и <i>Alternaria</i>	234
Семененко Н. Н. К вопросу повышения устойчивости зерновых культур к неблагоприятным условиям внешней среды (аналитический обзор).....	245
Рефераты	255
Правила для авторов	264

ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs МНОГОЛЕТНИМИ ЗЛАКОВЫМИ ТРАВАМИ НА ТОРФЯНИСТО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ

Н. Н. Цыбулько¹, Г. В. Седукова², Е. Б. Евсеев², И. И. Жукова³

*¹Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

*²Институт радиобиологии,
г. Гомель, Беларусь*

*³Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

После аварии на Чернобыльской АЭС научно-исследовательскими учреждениями проведена огромная работа по изучению поведения и трансформации радионуклидов в почве и аккумуляции их растениями. Многочисленные исследования показали, что генетические особенности и свойства почв являются одним из важнейших факторов, определяющих процессы сорбции радионуклидов в почвенно-поглощающем комплексе и интенсивность поступления их в растения. Установлено, что количественные параметры перехода ^{137}Cs в продукцию

сельскохозяйственных культур на гидроморфных торфяно-болотных почвах в 1,5–6,0 раз выше по сравнению с почвами автоморфного ряда. Эти почвы являются наиболее критичными для получения сельскохозяйственной продукции с допустимым содержанием радионуклидов [1].

В Беларуси 1068,2 тыс. га осушенных торфяных почв используются в качестве сельскохозяйственных земель, в том числе на территории радиоактивного загрязнения около 245,0 тыс. га, из них 83,0 тыс. га с мощностью торфяного слоя менее 0,5 м. В среднем на каждый из 57 загрязненных радионуклидами административных районов приходится 4,3 тыс. га торфяных почв с различной мощностью торфяного слоя. В ряде районов Полесского региона эти почвы составляют основу сельскохозяйственного землепользования [2–4].

Проведенные исследования позволили установить зависимость накопления радионуклидов в растениях от режима азотного питания [5, 6]. В более поздних исследованиях данный факт подтвердился. Повышенные дозы азотных удобрений, в отличие от калия, в большинстве случаев обуславливают увеличение накопления радионуклидов в урожае сельскохозяйственных культур в 1,5–4,0 раза [7]. Дефицит азота приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, в результате чего концентрация радионуклидов в растениях повышается. В то же время применение повышенных доз азота также способствует увеличению накопления радионуклидов в растениях [8–10].

Поступление ^{137}Cs в товарную продукцию сельскохозяйственных культур зависит от множества факторов, в том числе от содержания азота (что особенно актуально для торфяных почв различных стадий трансформации, в значительной степени обеспеченных минеральным азотом) и калия в почве, а также их соотношения. Оптимальным уровнем содержания азота в почве, при котором отмечено минимальное поступление ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы, является 125–200 кг/га. В этом диапазоне содержания азота в почве удельная активность в 2,5–4,4 раза ниже, чем < 125 и > 200 кг/га почвы [11].

Исследования Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси на дерново-подзолистой супесчаной почве показали, что повышение доз азотных удобрений под многолетние травы приводило к увеличению поступления ^{137}Cs в растения по отношению к контролю. Внесение азота в дозах 60–100 кг/га на фоне $\text{P}_{70}\text{K}_{90}$ под яровой рапс способствовало снижению содержания радионуклида в зерне на 15–30% по сравнению с контролем. Удельная активность ^{137}Cs в зерне соответствовала контрольному варианту при повышении дозы азота до 140 кг/га [12].

В ряде работ [13, 14] отмечается, что увеличение доз азотных удобрений повышает активность ^{137}Cs в зеленой массе кукурузы в 1,2–1,5 раза, в зерне яровой пшеницы – в 1,3–1,6 раза. Однако оптимальные дозы азота способствуют получению высокой урожайности культур с минимальным содержанием радионуклида.

Внесение азотных удобрений на дерново-подзолистых песчаных почвах повышало накопление ^{137}Cs в озимой ржи, ячмене, картофеле, овсе и рапсе в 1,1–3,9 раза [15]. Максимальную прибавку урожая при минимальном переходе радиоцезия из почвы в растения обеспечило применение умеренной дозы азотных удобрений. Исходя из полученных результатов, автором рекомендованы дозы азота под ячмень, овес и озимую рожь 45 кг/га, картофель – 60, люпино-рапсовую смесь – 90 кг/га совместно с повышенными дозами калийных удобрений.

Цель настоящей работы – изучить влияние возрастающих доз азотных удобрений на поступление ^{137}Cs в сено многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2016–2018 годах в стационарных полевых опытах на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области. Объектом исследования являлась торфянисто-глеевая низинная осушенная, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 0,26 м связными древнеаллювиальными песками, почва. Агрохимические показатели пахотного (0–25 см) слоя почвы следующие (средние значения): органическое вещество – 60,4 %, $N_{\text{общ}}$ – 1,74 %, рН в КСl – 5,37; подвижные формы (в 0,2 М НСl) P_2O_5 – 876 и K_2O – 818 мг/кг почвы.

Почва относится согласно градации [16] ко второй группе (1,0–4,9 Ки/км²) по степени загрязнения ^{137}Cs . Плотность загрязнения колебалась от 3,5 до 4,5 Ки/км², в среднем – 4,0 Ки/км².

Возделывали многолетнюю среднеспелую злаковую травосмесь, включающую тимофеевку луговую 2 кг/га, овсяницу луговую 5 кг/га, кострец безостый 6 кг/га.

Схема опыта, дозы и сроки применения минеральных удобрений приведена в табл. 1.

Таблица 1

Схема применения минеральных удобрений в опыте

Вариант опыта	Дозы удобрений под 1-й укос, кг/га д.в.			Дозы удобрений под 2-й укос, кг/га д.в.		
	N	P	K	N	P	K
1. Контроль	–	–	–	–	–	–
2. $P_{90}K_{150}$ – фон 1	–	90	90	–	–	60
3. Фон 1 + N_{100}	60	90	90	40	–	60
4. Фон 1 + N_{120}	80	90	90	40	–	60
5. Фон 1 + N_{140}	80	90	90	60	–	60
6. $P_{90}K_{180}$ – фон 2	–	90	120	–	–	60
7. Фон 2 + N_{100}	60	90	120	40	–	60
8. Фон 2 + N_{120}	80	90	120	40	–	60
9. Фон 2 + N_{140}	80	90	120	60	–	60

Размещение делянок в опыте рендомизированное. Повторность вариантов в опыте четырехкратная. Общая площадь делянки составляла 20 м², учетная площадь – 12 м².

Агрохимические показатели почв определяли по методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91 [17]; рН_{КСl} – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85 [18]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91 [19]; общий азот – по ГОСТ 26107–84 [20].

Отбор проб почвы для определения содержания ^{137}Cs проводили согласно методике [21], подготовку почвенных и растительных проб – по методике [22]. Определение удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг) в почвенных пробах выполняли

на γ - β -спектрометре МКС–АТ1315, в растительных образцах – на γ -спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard». Основная относительная погрешность измерений при доверительном интервале $P = 95\%$ не превышала 15–30%. Аппаратурная ошибка измерений не превышала 15%. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs рассчитывали согласно методике [16]. Для количественной оценки поступления ^{137}Cs из почвы в растения рассчитывали коэффициент перехода (K_n) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади ($\text{Бк/кг}:\text{кБк/м}^2$).

Полученные данные обрабатывали методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа [23] с использованием компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0*, *Statistic 7.0*).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что миграция радионуклидов в системе «почва–растение» и накопление их в растениеводческой продукции существенно зависит от метеорологических условий в период возделывания сельскохозяйственных культур. За период проведения наших исследований по гидротермическим условиям 2016 год характеризовался как слабозасушливый с ГТК – 1,28, 2017 год отличался повышенным увлажнением (ГТК – 2,24), а 2018 год был засушливым – ГТК составил 0,97. Вегетационный период 2016 года характеризовался неустойчивым режимом влагообеспеченности. Наиболее близкая к среднему многолетнему значению среднесуточная температура воздуха за время активной вегетации культур (апрель–август) наблюдалась в 2017 году. В 2018 году метеорологические условия отмечались очень низким количеством влаги за вегетационный период.

Накопление ^{137}Cs многолетними злаковыми травами зависело от метеорологических условий вегетационных периодов. Так, в 2017 году с повышенным увлажнением среднее по всем вариантам опыта значение удельной активности радионуклида в травах первого укоса составило 43,3 Бк/кг , а в засушливом 2018 году – 28,8 Бк/кг , в травах второго укоса – 41,6 и 24,1 Бк/кг , соответственно (рис. 1).

В целом за годы исследований удельная активность ^{137}Cs в сене не превышала 150 Бк/кг при допустимом содержании 1300 Бк/кг для скармливания дойному поголовью при получении цельного молока и 520 Бк/кг для скармливания поголовью при получении мяса.

Содержание радионуклида в сене трав первого укоса на контроле (без применения удобрений) колебалось по годам в среднем от 61,37 до 103,88 Бк/кг . Фосфорные и калийные удобрения, внесенные под первый укос трав в дозах $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ (вариант 2) и $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ (вариант 6), позволили уменьшить накопление радионуклида в сене первого укоса в среднем на 39 и 57% соответственно. Наибольшее снижение отмечено в засушливом 2018 году, наименьшее – в 2017 году с повышенным увлажнением (табл. 2).

Азотные удобрения применяли под многолетние злаковые травы в начале весеннего отрастания под первый укос в дозах 60 и 80 кг/га , под второй укос – в дозах 40 и 60 кг/га . Общие дозы их колебались от 100 до 140 кг/га действующего вещества на двух фосфорно-калийных фонах – $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ и $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$.

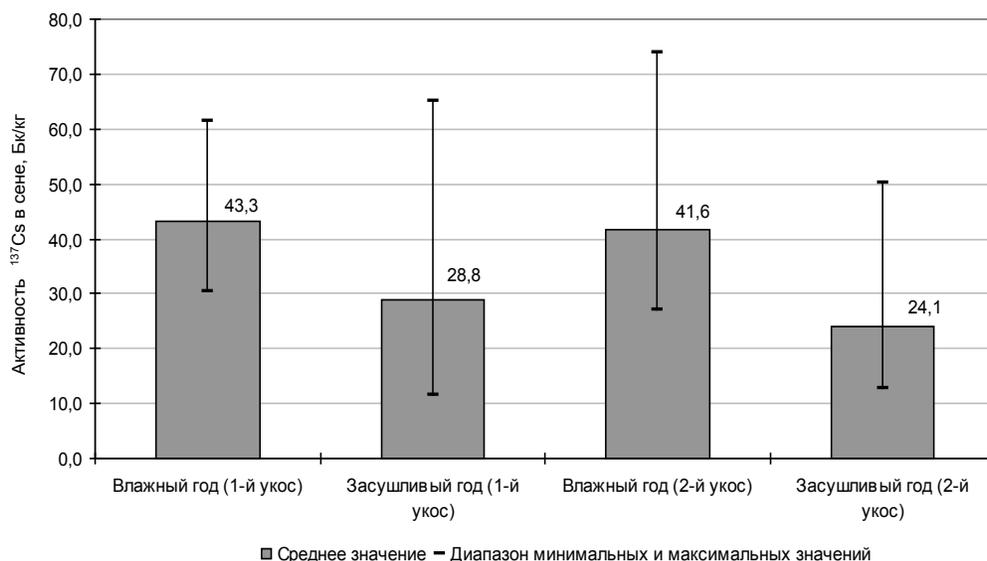


Рис. 1. Влияние гидротермических условий вегетационного периода на накопление ^{137}Cs в сене многолетних злаковых трав

Таблица 2

Удельная активность ^{137}Cs в сене многолетних злаковых трав в зависимости от доз минеральных удобрений (Бк/кг)

Вариант опыта	Годы			Среднее значение	Процент к контролю
	2016	2017	2018		
<i>Первый укос</i>					
1. Контроль	103,88	61,37	65,10	76,78	100
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон 1	71,03	48,32	21,36	46,90	61
3. Фон 1 + N ₁₀₀ (60 + 40)	67,68	38,95	26,39	44,34	58
4. Фон 1 + N ₁₂₀ (80 + 40)	72,69	47,42	29,37	49,83	65
5. Фон 1 + N ₁₄₀ (80 + 60)	70,01	46,62	31,50	49,38	64
6. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон 2	51,85	36,13	11,44	33,14	43
7. Фон 2 + N ₁₀₀ (60 + 40)	61,72	30,31	21,91	37,98	49
8. Фон 2 + N ₁₂₀ (80 + 40)	66,19	39,91	24,26	43,45	57
9. Фон 2 + N ₁₄₀ (80 + 60)	64,75	40,67	27,82	44,41	58
<i>Второй укос</i>					
1. Контроль	–	73,97	50,08	62,03	100
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон 1	–	29,21	15,20	22,21	36
3. Фон 1 + N ₁₀₀ (60 + 40)	–	38,61	20,30	29,46	47
4. Фон 1 + N ₁₂₀ (80 + 40)	–	41,68	26,35	34,02	55
5. Фон 1 + N ₁₄₀ (80 + 60)	–	44,08	31,40	37,74	61
6. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон 2	–	27,16	12,80	20,00	29
7. Фон 2 + N ₁₀₀ (60 + 40)	–	42,03	15,78	28,91	47
8. Фон 2 + N ₁₂₀ (80 + 40)	–	37,07	21,05	29,06	47
9. Фон 2 + N ₁₄₀ (80 + 60)	–	40,32	24,23	32,28	52

Внесение под первый укос трав N_{60} и N_{80} не привело к существенному усилению поступления ^{137}Cs в растения. В среднем за 3 года исследований при содержании радионуклида в сене на фонах 1 и 2 соответственно 46,90 и 33,14 Бк/кг, концентрация его в вариантах с дозами азота 60 и 80 кг/га составила на фоне 1 44,34 и 49,83 Бк/кг, на фоне 2 – 37,98 и 44,41 Бк/кг соответственно.

В вариантах с полным (NPK) минеральным удобрением удельная активность ^{137}Cs в сене первого укоса была ниже по сравнению с контролем на фоне 1 на 35–42 %, на фоне 2 – на 42–51 %. В среднем за годы исследований минимальное содержание ^{137}Cs в сене первого укоса (37,98 Бк/кг) отмечено в варианте с применением 60 кг/га азота под укос на фоне $P_{90}K_{180}$.

Активность ^{137}Cs в сене трав второго укоса на контроле изменялось по годам от 50,08 до 73,97 Бк/кг. Подкормка трав под второй укос калием в дозе 60 кг/га на фонах $P_{90}K_{90}$ (вариант 2) и $P_{90}K_{120}$ (вариант 6) снизило концентрацию радионуклида в сене второго укоса по сравнению с контрольным вариантом с 62,03 Бк/кг до 22,21 и 20,00 Бк/кг соответственно, или 64–71 %.

Вторая азотная подкормка трав привела к увеличению накопления ^{137}Cs в сене трав второго укоса по отношению к фосфорно-калийным фонам. Так, при внесении N_{40} удельная активность радионуклида в сене изменялась на фоне 1 в пределах 29,46–34,02 Бк/кг, на фоне 2 – 28,91–29,06 Бк/кг. В вариантах с применением под второй укос N_{60} содержание ^{137}Cs в сене составило 37,74 и 32,28 Бк/кг соответственно.

Расчеты коэффициентов перехода (Кп) ^{137}Cs из почвы в многолетние травы показали следующее. За годы исследований в зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в переходе ^{137}Cs в многолетние травы первого укоса достигали 4,3 раза, второго укоса – 3,3 раза. На контрольном варианте коэффициент перехода изменялся по годам для трав первого укоса в пределах – 0,51–0,87 Бк/кг: кБк/м², для второго укоса – 0,42–0,62 Бк/кг: кБк/м² (табл. 3).

Таблица 3

**Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сено многолетних злаковых трав
в зависимости от доз минеральных удобрений (Бк/кг : кБк/м²)**

Вариант опыта	Годы			Среднее значение Кп
	2016	2017	2018	
<i>Первый укос</i>				
1. Контроль	0,87	0,51	0,54	0,64
2. $P_{90}K_{150}$ – фон 1	0,60	0,41	0,18	0,40
3. Фон 1 + N_{100} (60 + 40)	0,57	0,33	0,22	0,37
4. Фон 1 + N_{120} (80 + 40)	0,61	0,40	0,25	0,42
5. Фон 1 + N_{140} (80 + 60)	0,59	0,39	0,27	0,42
6. $P_{90}K_{180}$ – фон 2	0,43	0,30	0,10	0,28
7. Фон 2 + N_{100} (60 + 40)	0,51	0,25	0,19	0,32
8. Фон 2 + N_{120} (80 + 40)	0,55	0,33	0,21	0,36
9. Фон 2 + N_{140} (80 + 60)	0,54	0,34	0,24	0,37
<i>Второй укос</i>				
1. Контроль	–	0,62	0,42	0,52

Вариант опыта	Годы			Среднее значение Кп
	2016	2017	2018	
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон 1	–	0,24	0,13	0,19
3. Фон 1 + N ₁₀₀ (60 + 40)	–	0,32	0,17	0,25
4. Фон 1 + N ₁₂₀ (80 + 40)	–	0,34	0,22	0,28
5. Фон 1 + N ₁₄₀ (80 + 60)	–	0,36	0,27	0,32
6. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон 2	–	0,23	0,07	0,15
7. Фон 2 + N ₁₀₀ (60 + 40)	–	0,36	0,09	0,23
8. Фон 2 + N ₁₂₀ (80 + 40)	–	0,31	0,12	0,23
9. Фон 2 + N ₁₄₀ (80 + 60)	–	0,34	0,13	0,24

Фосфорные и калийные удобрения в дозах P₉₀K₉₀ снизили переход ¹³⁷Cs из почвы в травы первого укоса с 0,64 до 0,40, или на 27 % ,по отношению к контролю. При внесении под первый укос K₁₂₀ также наблюдалось снижение показателя перехода ¹³⁷Cs из почвы в растения с 0,40 до 0,28 Бк/кг: кБк/м².

Подкормка трав второго укоса калием в дозе 60 кг/га на фонах применения под первый укос P₉₀K₉₀ P₉₀K₁₂₀ обеспечила уменьшение по сравнению с контролем коэффициентов перехода радионуклида в сено в среднем на 63 и 70 % соответственно.

В вариантах с внесением различных доз азотных удобрений коэффициенты перехода ¹³⁷Cs из почвы в сено были несколько выше по отношению к фосфорно-калийным фонам. На травах первого укоса они изменялись на фоне 1 от 0,37 до 0,42, на фоне 2 – от 0,32 до 0,37 Бк/кг: кБк/м². На травах второго укоса Кп были несколько ниже и колебались в пределах 0,25–0,32 Бк/кг: кБк/м² на фоне P₉₀K₁₅₀ и 0,23–0,24 Бк/кг: кБк/м² – на фоне P₉₀K₁₈₀.

В рекомендациях по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения для прогноза содержания ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в продукции растениеводства, при планировании набора культур для возделывания на загрязненных землях, размещения их по полям севооборотов и отдельным участкам, используются усредненные коэффициенты перехода данных радионуклидов из почвы в растениеводческую продукцию [24].

Определение за два укоса многолетних злаковых трав средних коэффициентов перехода ¹³⁷Cs из торфянисто-глеевой почвы в сено показало следующее. На контрольном варианте (без применения удобрений) Кп составил 0,58 Бк/кг: кБк/м². Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах P₉₀K₁₅₀ (вариант 2) обеспечило уменьшение его до 0,30 Бк/кг: кБк/м², или в 1,9 раза. Увеличение дозы калия до 180 кг/га (вариант 6) также способствовало снижению перехода до 0,22 Бк/кг: кБк/м² (рис. 2).

Азотные удобрения на фоне P₉₀K₁₅₀ привели к некоторому повышению Кп ¹³⁷Cs в многолетние злаковые травы при внесении их в дозах 120–140 кг/га (варианты 3 и 4). В то же время на более высоком фоне применения калийных удобрений (P₉₀K₁₈₀) значения коэффициентов перехода радионуклида в сено и при повышенных дозах азотных удобрений (N_{120–140}) не превышали 0,30–0,31 Бк/кг: кБк/м² (варианты 8 и 9).

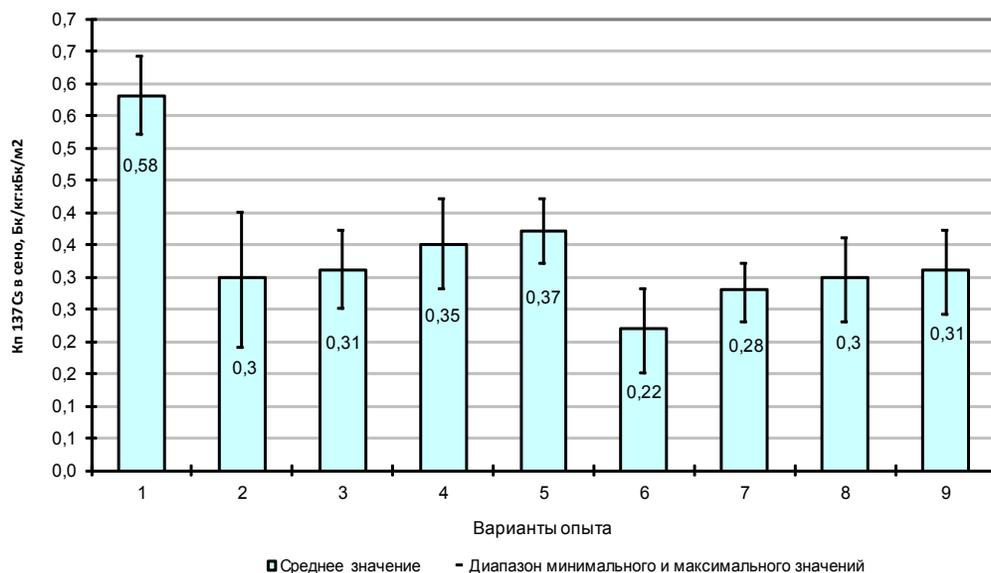


Рис. 2. Средние значения коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в сено многолетних злаковых трав

На основании коэффициентов перехода ^{137}Cs в многолетние злаковые травы, полученных при разных дозах применения минеральных удобрений, определены допустимые плотности загрязнения почвы ($\text{ДП}_\text{п}$) при возделывании их для получения сена, при скармливании его поголовью с целью получения цельного молока и мяса, отвечающих республиканским допустимым уровням (РДУ) и допустимым уровням, принятым в рамках Таможенного союза (ДУ ТС). Расчеты проводились по формуле [24]:

$$\text{ДП}_\text{п} = \frac{\text{ДУ}}{K_\text{п} \cdot 37},$$

где $\text{ДП}_\text{п}$ – допустимая плотность загрязнения почвы радионуклидом, $\text{Ки}/\text{км}^2$; ДУ – республиканский допустимый уровень или допустимый уровень в рамках Таможенного союза содержания радионуклида в продукции, $\text{Бк}/\text{кг}$; $K_\text{п}$ – коэффициент перехода радионуклида из почвы в растениеводческую продукцию, $\text{Бк}/\text{кг} : \text{кБк}/\text{м}^2$; 37 – коэффициент пересчета $\text{нКи}/\text{кг}$ в $\text{Бк}/\text{кг}$.

В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями для получения нормативно чистого цельного молока ($< 100 \text{ Бк}/\text{л}$) и мяса ($< 500 \text{ Бк}/\text{л}$) уровень ^{137}Cs в сене составляет $1300 \text{ Бк}/\text{кг}$. Техническим регламентом (ТР ТС 021/2011) «О безопасности пищевой продукции» в рамках Таможенного союза установлен более «жесткий» по сравнению с РДУ-99 норматив на содержание ^{137}Cs в мясе, который составляет $200 \text{ Бк}/\text{кг}$. Поэтому предельно допустимое содержание радионуклида в сене для заключительной стадии откормки животных примерно в 2,5 раза ниже и не должно превышать $520 \text{ Бк}/\text{кг}$ [25, 26].

Установлено, что на торфянисто-глеевой почве с содержанием подвижных форм фосфора и калия 876 и $818 \text{ мг}/\text{кг}$ почвы соответственно и внесении фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{90}\text{K}_{150-180}$ и азотных удобрений в до-

зах $N_{100-140}$ многолетние злаковые травы можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения ^{137}Cs (до 40 Ки/км^2) для производства сена при использовании его на корм для получения цельного молока и мяса, отвечающих республиканским нормативным требованиям по содержанию радионуклида (табл. 4).

Таблица 4

Допустимые плотности (Ки/км^2) загрязнения ^{137}Cs торфянисто-глеевой почвы при производстве сена многолетних злаковых трав в зависимости от его кормового назначения

Вариант опыта	Получение сена первого укоса		Получение сена второго укоса	
	РДУ 1300 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг	РДУ 1300 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг
1. Контроль	40,0	22,0	40,0	27,0
2. $P_{90}K_{150}$ – фон 1	40,0	35,1	40,0	40,0
3. Фон 1 + N_{100}	40,0	38,0	40,0	40,0
4. Фон 1 + $N_{120(80+40)}$	40,0	33,5	40,0	40,0
5. Фон 1 + $N_{140(80+60)}$	40,0	33,5	40,0	40,0
6. $P_{90}K_{180}$ – фон 2	40,0	40,0	40,0	40,0
7. Фон 2 + $N_{100(60+40)}$	40,0	40,0	40,0	40,0
8. Фон 2 + $N_{120(80+40)}$	40,0	39,0	40,0	40,0
9. Фон 2 + $N_{140(80+60)}$	40,0	38,0	40,0	40,0

Для производства мяса с содержанием ^{137}Cs до 200 Бк/кг нормативно чистое сено первого укоса многолетних злаковых трав возможно получить при применении азотных удобрений в дозе 100 кг/га при плотности радиоактивного загрязнения почвы $38,0-40,0 \text{ Ки/км}^2$, а при дозах $120-140 \text{ кг/га}$ на фоне $P_{90}K_{150}$ при плотности – до $33,5 \text{ Ки/км}^2$, на фоне $P_{90}K_{180}$ – при плотности – до 38 Ки/км^2 .

ВЫВОДЫ

1. В зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в переходе ^{137}Cs в сено многолетних трав первого укоса достигают 4,3 раза, в сено второго укоса – 3,3 раза. Такие колебания в содержании радионуклида в продукции в значительной степени обусловлены уровнями формируемой продуктивности трав.

2. Внесение под первый укос трав N_{60} и N_{80} не существенно усиливает поступление ^{137}Cs в растения. Вторая азотная подкормка трав в дозах $40-60 \text{ кг/га}$ повышает накопление ^{137}Cs в сене трав второго укоса по отношению к фосфорно-калийным фонам. Азотные удобрения на фоне $P_{90}K_{150}$ приводят к некоторому повышению коэффициента перехода ^{137}Cs в многолетние злаковые травы при внесении их в дозах $120-140 \text{ кг/га}$. В то же время на более высоком фоне применения калийных удобрений ($P_{90}K_{180}$) значения его и при повышенных дозах азотных удобрений ($N_{120-140}$) не превышают $0,30-0,31 \text{ Бк/кг}$: кБк/м^2 .

3. На торфянисто-глеевой почве при внесении фосфорных и калийных удобрений в дозах $P_{90}K_{150-180}$ и азотных удобрений в дозах $N_{100-140}$ многолетние злаковые травы можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения ^{137}Cs (до

40 Ки/км²) для производства сена при использовании его на корм для получения цельного молока и мяса, отвечающих республиканским нормативным требованиям по содержанию радионуклида. Для производства мяса с содержанием ¹³⁷Cs до 200 Бк/кг нормативно чистое сено первого укоса возможно получить при применении азотных удобрений в дозе 100 кг/га при плотности загрязнения почвы 38,0–40,0 Ки/км², а при дозах 120–140 кг/га на фоне Р₉₀К₁₅₀ при плотности – до 33,5 Ки/км², на фоне Р₉₀К₁₈₀ – при плотности – до 38 Ки/км².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / Под ред. чл.-корр. РАН Н. И. Санжаровой и проф. С. В. Фесенко. – М.: РАН, 2018. – 278 с.
2. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / Под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
3. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапа, А. Ф. Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.
4. Эколого-экономическое обоснование мелиорации торфяно-болотных комплексов и технологии их рационального использования / Под общ. ред. проф. Ю. А. Мажайского. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. – 302 с.
5. Клечковский, В. М. Поведение в почвах и растениях микроколичеств стронция, цезия, рутения, циркония / В. М. Клечковский, И. В. Гулякин // Почвоведение. – 1958. – № 3. – С. 1–16.
6. Радиоактивность и пища человека / Р. Рассел [и др.]; под ред. Р. Рассела. – М.: Энергоатомиздат, 1971. – С. 232–256.
7. Роль химии в реабилитации сельскохозяйственных угодий, подвергшихся радиоактивному загрязнению / Н. И. Санжарова [и др.] // Российский химический журнал. – 2005. – т. XLIX. – № 3. – С. 26–34.
8. Пристер, Б. С. Актуальные проблемы кормопроизводства в условиях радиоактивного загрязнения территории / Б.С. Пристер, Г.П. Перепелятникова, М.И. Ильин // Проблема сельскохозяйственной радиологии: сб.науч.тр. / Украин. науч.-исслед ин-т с.-х. радиологии ; под ред. Н.А. Лощилова. – Киев, 1992. – Вып. 2. – С. 71-88.
9. Бондарь, П. Ф. Некоторые аспекты научного сопровождения ведения растениеводства на загрязненной территории / П.Ф. Бондарь // Проблема сельскохозяйственной радиологии: сб.науч.тр. / Украин. науч.-исслед ин-т с.-х. радиологии; под ред. Н. А. Лощилова. – Киев, 1996. – Вып. 4. – С. 107–123.
10. Тулин, С. А. Рекомендации по эффективному применению азота в загрязненной радионуклидами зоне : информ. листок / С. А. Тулин, А. С. Тулина. – Брянский ЦНТИ. – Брянск, 1994. – 3 с.
11. Лученок, Л. Н. Оптимизация минерального питания яровой пшеницы на загрязненных ¹³⁷Cs антропогенно-преобразованных торфяных почвах / Л. Н. Лученок. // Чернобыль: 30 лет спустя: материалы междунар. науч. конф. (Гомель, 21–22 апр. 2016 г.) – Гомель: Ин-т радиологии, 2016. – С. 340–343.
12. Богдевич, И. М. Влияние минеральных удобрений на урожайность многолетних злаковых трав и накопление радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr на торфяной почве /

И. М. Богдевич, А. Г. Подоляк, И. И. Ивашкова // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – Вып. 1 (38). – С. 252–262.

13. *Жданович, В. П.* Эффективность удобрений под кукурузу на загрязненной радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr дерново-подзолистой супесчаной почве / В. П. Жданович, И. М. Богдевич, А. Г. Подоляк // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 2 (39). – С. 214–221.

14. *Тарасюк, С. В.* Эффективность органических удобрений в зоне радиоактивного загрязнения / С. В. Тарасюк, В. А. Довнар // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: материалы II Съезда Белорусского общества почвоведов, посвященного 70-летию Белорусского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии, Минск, 25–29 июня 2001 г. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия; редкол.: И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2001. – Кн. 3. – С. 154–156.

15. *Тулина, А. С.* Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений на дерново-подзолистых песчаных почвах, загрязненных ^{137}Cs : автореф. ...дис. канд. биол. наук: 06.01.04 / А. С. Тулина; ИФХБПП РАН. – М., 2002. – 24 с.

16. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: метод. указания / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.

17. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.

18. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483–85. – Введ. 07.01.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.

19. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207–91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.

20. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107–84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.

21. Почвы. Отбор проб: ГОСТ 28168–89. – Введ. 01.04.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

22. СТБ 1059.98. Радиационный контроль. Подготовка проб для определения ^{90}Sr и ^{137}Cs . – Введ. 01.07.1998. – Минск: Белстандарт, 1998. – 22 с.

23. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

24. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы. – Минск: Департамент по ликвидации катастрофы на ЧАЭС, 2012. – 121 с.

25. ГН №10–117–99. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99): утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь № 6 от 26.04.1999.

26. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: утв. решением Комиссии Таможенного союза № 880 от 9.12.2011.

INFLUENCE OF NITROGEN FERTILIZERS ON ACCUMULATION OF ^{137}Cs PERENNIAL CEREAL GRASSES ON PEARLY-GLAY SOIL

N. N. Tsybulka, G. V. Sedukova, E. B. Evseev, I. I. Zhukova

Summary

The application of N_{60-80} herbs under the first cut rates not significantly increase the intake of ^{137}Cs in plants. The second nitrogen fertilization of herbs in rates of 40–60 kg/ha increases the accumulation of the radionuclide in the hay of second-cut grass with respect to the phosphorus-potassium backgrounds. Nitrogen fertilizers on the background of $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ lead to a slight increase in the transfer factor of ^{137}Cs to perennial grass when they are applied in doses of 120–140 kg/ha. At the same time, on a higher background of the use of potash fertilizers ($\text{P}_{90}\text{K}_{180}$), the radionuclide transfer factor into hay and with higher rates of nitrogen fertilizers ($\text{N}_{120-140}$) rates not exceed 0,30–0,31.

On peaty-gley soil, when phosphorus and potash fertilizers are applied in rates of $\text{P}_{90}\text{K}_{150-180}$ and nitrogen fertilizers in rates of $\text{N}_{100-140}$, perennial grasses can be cultivated without restrictions on the contamination density of ^{137}Cs (up to 40 Ci/km²) for hay production when using it for fodder for receiving whole milk and meat meeting the republican regulatory requirements for the radionuclide content. For the production of meat with ^{137}Cs content up to 200 Bq/kg, regulatory clean hay of the first mowing can be obtained using nitrogen fertilizers at a rate of 100 kg/ha with a soil contamination density of 38,0–40,0 Ci/km², and at doses of 120–140 kg/ha against $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ with a density of up to 33.5 Ci/km², against a background of $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ with a density of up to 38 Ci/km².

Поступила 16.04.19