

negative relationship between the content of mobile potassium in the soil and the accumulation of ^{137}Cs by grains of various crops. The content of mobile potassium, at which the minimum accumulation of ^{137}Cs by spring wheat is noted, is 419 mg/kg, barley 413 mg/kg, corn 432 mg/kg and peas 350 mg/kg of soil.

Поступила 23.11.21

УДК 631.438.2:631.44:631.8

НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs В РАСТЕНИЯХ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЗНОКОМПОНЕНТНЫХ БОБОВО-ЗЛАКОВЫХ ТРАВΟΣМЕСЕЙ НА ТОРФЯНО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ

Н. Н. Цыбулько¹, А. В. Шашко²

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

*²Полесский государственный университет,
г. Пинск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в сельскохозяйственном пользовании находится 825,4 тыс. га земель, загрязненных ^{137}Cs в результате аварии на Чернобыльской АЭС [1]. 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. Проблемы в использовании загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель сконцентрированы преимущественно на легких по гранулометрическому составу песчаных, переувлажненных аллювиальных, торфяно-болотных, торфяно-глеевых, торфянисто-глеевых и торфяно-минеральных почвах разной степени деградации, которые характеризуются высокими параметрами перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию. Установлено, что количественные параметры перехода ^{137}Cs в продукцию сельскохозяйственных культур на гидроморфных торфяных 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.

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 55 загрязненных радионуклидами административных районов приходится около 4 тыс. га торфяных почв с различной мощностью торфяного слоя. В ряде районов Полесского региона эти почвы составляют основу сельскохозяйственного землепользования [2].

На торфяных почвах актуальным является изучение влияния минеральных удобрений и микроудобрений на поступление ^{137}Cs в сельскохозяйственные культуры, в частности в многолетние травы, определение оптимальных уровней минерального питания растений, обеспечивающих минимальное накопление радионуклида в продукции и высокую эффективность удобрений.

После аварии на Чернобыльской АЭС с целью радиационной защиты населения одной из послеаварийных мер было исключение из структуры посевов и севооборотов сельскохозяйственных культур, отличающихся высокими параметрами накопления радионуклидов, к которым относились зернобобовые культуры и бобовые травы. Сокращение посевов этих культур на территории радиоактивного загрязнения в дальнейшем привело к дефициту белка в животноводстве из-за обеднения им рационов сельскохозяйственных животных.

В настоящее время благодаря улучшению радиационной обстановки, снижению подвижности в почве и биологической доступности ^{137}Cs возникла возможность включения в структуру посевов и севообороты зернобобовых культур (горох, люпин и др.) и бобовых трав (лядвенец, клевер, люцерна, галега и др.)

Цель работы – установить влияние минеральных удобрений и микроэлементов (Cu, B, Mo) на накопление ^{137}Cs многолетними бобово-злаковыми травосмесями с разным бобовым компонентом на торфяно-глеевой осушенной почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 2012–2014 годах на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области в стационарных полевых опытах. Объектом исследований являлась торфяно-глеевая низинная осушенная почва, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 0,50 м связными древнеаллювиальными песками. Почва характеризовалась следующими агрохимическими показателями (Тп): рН – 4,80, содержание органического вещества – 71,6 %, содержание подвижного фосфора и калия соответственно 188 и 355 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований – 53,5 ммоль/100 г почвы, содержание подвижной меди – 6,27 мг/кг почвы, бора – 1,45 мг/кг почвы. Плотность загрязнения почв ^{137}Cs – 3,5–5,0 Ки/км².

Изучали 3 вида бобово-злаковых травосмесей:

- травосмесь № 1 – лядвенец рогатый (*Lotus corniculatus L.*), тимофеевка луговая (*Pleum pratense*), кострец безостый (*Bromopsis inermis Holub*), овсяница луговая (*Fesuca pratensis*);
- травосмесь № 2 – клевер луговой (*Trifolium pratense L.*), клевер гибридный (*Trifolium Hybridum L.*), тимофеевка луговая (*Pleum pratense*), кострец безостый (*Bromopsis inermis Holub*), овсяница луговая (*Fesuca pratensis*);
- травосмесь № 3 – галега восточная (*Galega orientalis L.*), тимофеевка луговая (*Pleum pratense*), кострец безостый (*Bromopsis inermis Holub*), овсяница луговая (*Fesuca pratensis*).

Посев травосмесей беспокровный, возделывание в соответствии с утвержденными организационно-технологическими нормативами [3].

Фосфорные удобрения в полной дозе 60 кг/га вносили в ранневесенний период (под первый укос трав). Калийные удобрения в дозе 180 кг/га применяли в 2 при-

ема – 75 % под первый укос и 25 % – под второй укос трав. Азотные удобрения в дозах 30 и 60 кг/га вносили в ранневесенний период (под первый укос трав). Некорневые подкормки растений медью (медный купорос) в дозе 100 г/га Cu, бором (борная кислота) в дозе 50 г/га B и молибденом (молибденовокислый аммоний) в дозе 50 г/га Mo проводили в фазу выхода в трубку злаковых компонентов. Расход рабочего раствора из расчета 200 л/га.

Опыты проводили в 3-кратной повторности, размещение делянок – рендомизированное. Общая площадь делянки – 30 м², учетная площадь – 15 м². Ежегодно проводили два укоса трав, урожайность сена пересчитывали на 16 % стандартную влажность. Уборка трав осуществлялась вручную, поделаячно.

Агрохимические анализы выполняли в соответствии с действующими ГОСТами. Удельную активность ¹³⁷Cs в почвенных пробах определяли на γ - β -спектрометре МКС-АТ1315, в растительных образцах – на γ -спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В среднем за 3 года исследований удельная активность ¹³⁷Cs в сене первого укоса изучаемых травосмесей составила на контрольных вариантах (без удобрений) 48,6–67,0 Бк/кг, в сене второго укоса – 119,1–137,0 Бк/кг. Различия в содержании радионуклида между укосами достигали – 2,8 раз. По всем изучаемым травосмесям и вариантам опыта более высокая концентрация ¹³⁷Cs была в сене второго укоса. В целом за годы исследований удельная активность радионуклида в сене не превышала 200 Бк/кг при допустимом уровне 1300 Бк/кг для скармливания дойному поголовью и получения цельного молока (табл. 1).

Таблица 1

Удельная активность ¹³⁷Cs в сене многолетних бобово-злаковых травосмесей в среднем за 3 года исследований (2012–2014 гг.)

Вариант опыта	Травы первого укоса		Травы второго укоса		Среднее значение	
	¹³⁷ Cs, Бк/кг	процент к контролю	¹³⁷ Cs, Бк/кг	процент к контролю	¹³⁷ Cs, Бк/кг	процент к контролю
Травосмесь № 1						
1. Контроль	61,7±19,5	100	119,1±35,7	100	90,4±27,6	100
2. P ₆₀ K ₁₈₀ – фон	44,6±13,5	72	79,1±23,5	66	61,9±18,5	68
3. Фон + N ₃₀	29,7±10,0	48	48,4±15,0	41	39,1±12,5	43
4. Фон + N ₃₀ + Cu + B + Mo	21,8±10,0	35	38,8±11,7	33	30,3±10,9	34
5. Фон + N ₆₀ + Cu + B + Mo	21,8±6,7	35	35,1±10,8	30	28,5±8,8	32
Травосмесь № 2						
1. Контроль	67,0±21,1	100	121,9±36,9	100	94,5±29,0	100
2. P ₆₀ K ₁₈₀ – фон	42,3±13,5	63	104,0±30,9	85	73,2±22,2	77
3. Фон + N ₃₀	20,2±6,6	30	74,1±22,2	61	47,2±14,4	50
4. Фон + N ₃₀ + Cu + B + Mo	22,4±7,0	33	53,7±15,7	44	38,1±11,4	40
5. Фон + N ₆₀ + Cu + B + Mo	15,5±4,8	23	45,0±13,4	37	30,2±9,1	32

Вариант опыта	Травы первого укоса		Травы второго укоса		Среднее значение	
	^{137}Cs , Бк/кг	процент к конт- ролю	^{137}Cs , Бк/кг	процент к конт- ролю	^{137}Cs , Бк/кг	процент к конт- ролю
Травосмесь № 3						
1. Контроль	48,6±15,3	100	137,0±40,8	100	92,8±28,1	100
2. $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ – фон	31,0±9,3	64	91,7±27,7	67	61,4±18,5	66
3. Фон + N_{30}	22,1±7,2	45	53,0±16,0	39	37,6±11,6	41
4. Фон + N_{30} + Cu + V + Mo	14,9±5,2	31	52,9±16,0	39	33,9±10,6	37
5. Фон + N_{60} + Cu + V + Mo	13,9±4,7	29	46,6±14,0	34	30,3±9,4	33

Не установлено влияния вида бобового компонента в бобово-злаковой травосмеси на накопление радионуклида в продукции. Так, на контроле в сене первого укоса наиболее низкое содержание ^{137}Cs (48,6 Бк/кг) отмечалось на травосмеси № 3, в состав которой входила галега восточная. В то же время в сене второго укоса в этой же травосмеси отмечалась наибольшая концентрация радионуклида – 137,0 Бк/кг.

На торфяно-глеевой почве с очень низким содержанием P_2O_5 (188 мг/кг) и низким содержанием K_2O (355 мг/кг) фосфорные и калийные удобрения, вносимые в период весеннего отрастания трав в дозах $\text{P}_{60}\text{K}_{135}$, снизили активность ^{137}Cs в сене первого укоса травосмеси № 1 с 61,7 до 44,6 Бк/кг (на 28 %), травосмеси № 2 – с 67,0 до 42,3 Бк/кг (на 37 %) и травосмеси № 3 – с 48,6 до 31,0 Бк/кг (на 36 %). Вторая калийная подкормка под второй укос трав в дозе 45 кг/га обеспечила уменьшение удельной активности радионуклида в сене второго укоса на травосмеси № 1 с 90,4 до 61,9 Бк/кг (32 %), на травосмеси № 2 – с 94,5 до 73,5 Бк/кг (23 %) и на травосмеси № 3 – с 92,8 до 61,4 Бк/кг (34 %).

Азотные подкормки растений в дозе N_{30} способствовали уменьшению концентрации радионуклида в сене первого и второго укосов. В травах первого укоса оно составило на травосмесях № 1 и № 3 29–33 %, на травосмеси № 2 – 2 раза.

Действие некорневых подкормок растений микроэлементами (Cu , V , Mo) по-разному проявлялось на аккумуляции ^{137}Cs в кормах. Применение микроэлементов на фоне N_{30} на травосмеси № 1 с лядвцем рогатым способствовало снижению концентрации радионуклида в сене первого укоса с 29,7 до 21,8 Бк/кг, на травосмеси № 3 с галеей восточной – 22,1 до 14,9 Бк/кг. На травосмеси № 2 с клевером луговым и гибридным не наблюдалось снижения содержания ^{137}Cs в сене от применения микроэлементов. На травах второго укоса более эффективными микроэлементами были на травосмесях № 1 и № 2. Азотная подкормка трав в дозе 60 кг/га совместно с микроэлементами (вариант 5) обеспечила существенное уменьшение содержания ^{137}Cs в сене первого и второго укоса только на травосмеси № 2 с клевером луговым и гибридным.

Коэффициенты перехода (Kn) ^{137}Cs из торфяно-глеевой почвы в сено многолетних бобово-злаковых трав изменялись в широких пределах в зависимости от укосов, состава травосмесей и вариантов с применением макро- и микроудобрений (табл. 2).

**Коэффициенты перехода ^{137}Cs из торфяно-глеевой почвы
в сено многолетних бобово-злаковых травосмесей
в среднем за 2012–2014 годы (Бк/кг : кБк/м²)**

Варианты опыта	Травы первого укоса	Травы второго укоса	Среднее значение
Травосмесь № 1			
1. Контроль	0,67	1,15	0,91
2. P ₆₀ K ₁₈₀ – фон	0,51	0,84	0,68
3. Фон + N ₃₀	0,35	0,57	0,46
4. Фон + N ₃₀ + Cu + B + Mo	0,28	0,41	0,35
5. Фон + N ₆₀ + Cu + B + Mo	0,36	0,46	0,41
Травосмесь № 2			
1. Контроль	1,05	1,45	1,25
2. P ₆₀ K ₁₈₀ – фон	0,64	1,33	0,99
3. Фон + N ₃₀	0,45	0,93	0,69
4. Фон + N ₃₀ + Cu + B + Mo	0,44	0,59	0,52
5. Фон + N ₆₀ + Cu + B + Mo	0,45	0,53	0,49
Травосмесь № 3			
1. Контроль	0,27	1,58	0,93
2. P ₆₀ K ₁₈₀ – фон	0,23	1,15	0,69
3. Фон + N ₃₀	0,23	0,69	0,46
4. Фон + N ₃₀ + Cu + B + Mo	0,23	0,68	0,46
5. Фон + N ₆₀ + Cu + B + Mo	0,17	0,57	0,37

Коэффициенты перехода ^{137}Cs из почвы в сено трав первого укоса изменялись на контроле от 0,27 (травосмесь № 3) до 1,05 (травосмесь № 2), в сено трав второго укоса – от 0,91 (травосмесь № 1) до 1,25 (травосмесь № 2). В травах первого укоса наиболее низкие Кп по всем вариантам опыта отмечались на бобово-злаковой травосмеси с участием галеги восточной, тогда как в травах второго укоса – в травосмеси с участием люцерны. Средние значения их за два укоса трав составили на контрольном варианте (без удобрений) на травосмеси № 1 – 0,91, на травосмеси № 2 – 1,25 и на травосмеси № 3 – 0,93.

Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах P₆₀K₁₈₀ обеспечило снижение коэффициентов перехода ^{137}Cs в сено на травосмеси № 1 до 0,68, на травосмеси № 2 – до 0,99 и на травосмеси № 3 – до 0,69. При дополнительном внесении азотных удобрений в дозе 30 кг/га они составили соответственно 0,46, 0,69 и 0,46. Наиболее низкий Кп на травосмеси с клевером рогатым получен в варианте N₃₀P₆₀K₁₈₀ + микроэлементы, а на травосмесях с клевером красным и гибридным и галеей восточной – в варианте N₆₀P₆₀K₁₈₀ + микроэлементы.

На основании коэффициентов перехода ^{137}Cs в многолетние бобово-злаковые травосмеси определены допустимые плотности загрязнения торфяно-глеевой почвы (ДП_п) для производства 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:

$$ДП_{п} = \frac{ДУ}{K_{п} \cdot 37} ,$$

где ДП_п – допустимая плотность загрязнения почвы радионуклидом, Ки/км²; ДУ – республиканский допустимый уровень или допустимый уровень в рамках Таможенного союза содержания радионуклида в продукции, Бк/кг; K_п – коэффициент перехода радионуклида из почвы в растениеводческую продукцию, Бк/кг : кБк/м²; 37 – коэффициент пересчета нКи/кг в Бк/кг.

При прогнозе допустимой плотности загрязнения почв учитывалась определенная степень консервативности (прочности прогноза), предусматривающая погрешность измерений удельной активности радионуклида в растениеводческую продукцию с колебанием ± 30 %. Поэтому коэффициенты перехода ¹³⁷Cs в сено принимались с увеличением их значений на эту величину.

В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями для получения нормативно чистого цельного молока (<100 Бк/л) и мяса (<500 Бк/л) допустимый уровень ¹³⁷Cs в сене составляет 1300 Бк/кг, для получения нормативно чистого молока-сырья при переработке на масло – 1850 Бк/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 ¹³⁷Cs в мясе, который составляет 200 Бк/кг. Поэтому предельно допустимое содержание радионуклида в сене для заключительной стадии откормки животных примерно в 2,5 раза ниже и не должно превышать 520 Бк/кг [1].

Результаты прогнозной оценки показали, что на торфяно-глеевой почве с очень низкой обеспеченностью подвижным фосфором и низкой обеспеченностью подвижным калием при применении минеральных (NPK) удобрений многолетние бобово-злаковые травосмеси можно возделывать в основном без ограничений по плотности загрязнения ¹³⁷Cs (до 40 Ки/км²) для производства сена при использовании его на корм крупному рогатому скоту для получения цельного молока, молока-сырья при переработке на масло и мяса, отвечающих республиканским нормативным требованиям по содержанию радионуклида. Получение нормативно чистого сена второго укоса при скармливании его молочному поголовью может быть проблематично без применения фосфорных и калийных удобрений, как агрохимической защитной меры (табл. 3).

Таблица 3

Допустимые плотности (Ки/км²) загрязнения ¹³⁷Cs торфянисто-глеевой почвы при производстве сена многолетних трав в зависимости от его кормового назначения

Вариант	Получение сена первого укоса			Получение сена второго укоса		
	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг
Травосмесь № 1						
1. Контроль	40	40	16	23	33	9
2. P ₆₀ K ₁₈₀ – фон	40	40	21	32	40	13
3. Фон + N ₃₀	40	40	31	40	40	19
4. Фон + N ₃₀ + Cu + B + Mo	40	40	39	40	40	27
5. Фон + N ₆₀ + Cu + B + Mo	40	40	30	40	40	23

Вариант	Получение сена первого укоса			Получение сена второго укоса		
	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг
Травосмесь № 2						
1. Контроль	26	36	10	19	26	7
2. P ₆₀ K ₁₈₀ – фон	40	40	17	20	29	8
3. Фон + N ₃₀	40	40	24	29	41	12
4. Фон + N ₃₀ + Cu + B + Mo	40	40	25	40	65	18
5. Фон + N ₆₀ + Cu + B + Mo	40	40	24	40	72	20
Травосмесь № 3						
1. Контроль	40	40	40	17	24	7
2. P ₆₀ K ₁₈₀ – фон	40	40	40	23	33	9
3. Фон + N ₃₀	40	40	40	39	40	16
4. Фон + N ₃₀ + Cu + B + Mo	40	40	40	40	40	16
5. Фон + N ₆₀ + Cu + B + Mo	40	40	40	40	40	19

Имеются ограничения по размещению многолетних бобово-злаковых травосмесей сенокосного использования на торфяно-глеевых почвах при скармливании сена для производства мяса с содержанием ¹³⁷Cs до 200 Бк/кг. Нормативно чистое сено (до 520 Бк/кг) первого укоса травосмеси с участием лядвенца рогатого возможно получить при плотности загрязнения почвы ¹³⁷Cs до 30–31 Ки/км² на фоне применения полного минерального удобрения N₃₀P₆₀K₁₈₀ и совместно с микроудобрениями. При внесении только фосфорных и калийных удобрений (P₆₀K₁₈₀) предельно допустимая плотность загрязнения почвы составляет 21 Ки/км², а без применения удобрений – 16 Ки/км².

При возделывании бобово-злаковой травосмеси с участием клевера лугового и гибридного сено первого укоса с активностью радионуклида до 520 Бк/кг можно получить при плотности загрязнения торфяно-глеевой почвы ¹³⁷Cs до 24–25 Ки/км² при внесении полного минерального удобрения. Возделывание травосмеси без удобрений ограничено плотностью загрязнения почвы 10 Ки/км².

Более проблематично получение сена, пригодного для скармливания мясному поголовью, при втором укосе бобово-злаковых трав. Без применения удобрений под травы допустимая плотность загрязнения почв не превышает 7–9 Ки/км², при внесении только фосфорных и калийных удобрений в дозах P₆₀K₁₈₀ – 8–13 Ки/км². При применении полного минерального удобрения N₃₀₋₆₀P₆₀K₁₈₀ с микроэлементами нормативно чистое сено трав с участием лядвенца рогатого возможно производить при плотности загрязнения почвы ¹³⁷Cs до 23–27 Ки/км², сено трав с участием клевера лугового и гибридного – до 18–20 Ки/км² и сено трав с участием галеги восточной – до 16–19 Ки/км².

Продуктивность многолетних бобово-злаковых травосмесей по годам исследований зависела от их видового состава, метеорологических условий вегетационных периодов, применения макро- и микроудобрений. За период исследований с 2012 по 2014 годы метеорологические условия вегетационных периодов (апрель–август) различались. По степени увлажнения 2012 и 2014 годы характеризовались как влажные – ГТК составили соответственно 1,66 и 2,02, а 2013 год был слабозасушливым – ГТК равен 1,16. Различия в урожайности между года-

ми на контрольных вариантах достигали 1,7 раза (травосмесь № 3), на вариантах с применением полного минерального удобрения (NPK) – 1,4–1,6 раза (табл. 4).

Таблица 4

**Урожайность многолетних бобово-злаковых травосмесей
(в среднем за 2012–2014 гг.)**

Вариант опыта	Урожайность сена по годам, ц/га			Средняя урожайность за 3 года, ц/га		Прибавка сена, ц/га	
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	сено	к. ед.	к контролю	к фону P ₆₀ K ₁₈₀
Травосмесь № 1							
1. Контроль	71,7	51,6	49,3	57,5	29,9	–	–
2. P ₆₀ K ₁₈₀ – фон	100,1	89,8	76,7	88,8	46,2	31,3	–
3. Фон + N ₃₀	142,9	127,1	100,4	123,5	64,2	66,0	34,7
4. Фон + N ₃₀ + Cu + B + Mo	145,8	127,3	100,8	124,6	64,8	67,1	35,8
5. Фон + N ₆₀ + Cu + B + Mo	145,1	137,0	122,2	134,8	70,1	77,3	46,0
HCP ₀₅	6,0	5,4	5,4	3,23	1,68	–	–
Травосмесь № 2							
1. Контроль	65,1	65,0	64,6	64,9	33,7	–	–
2. P ₆₀ K ₁₈₀ – фон	83,9	91,7	80,0	85,2	44,3	20,3	–
3. Фон + N ₃₀	104,5	142,0	98,4	114,9	59,7	50,0	29,7
4. Фон + N ₃₀ + Cu + B + Mo	113,5	154,5	105,4	124,5	64,7	59,6	39,3
5. Фон + N ₆₀ + Cu + B + Mo	128,8	166,8	134,3	143,3	74,5	78,4	58,1
HCP ₀₅	6,1	4,8	4,6	2,98	1,55	–	–
Травосмесь № 3							
1. Контроль	81,3	63,5	47,2	64,0	33,3	–	–
2. P ₆₀ K ₁₈₀ – фон	103,0	88,7	67,9	86,5	45,0	22,5	–
3. Фон + N ₃₀	116,1	140,3	88,1	114,8	59,7	50,8	28,3
4. Фон + N ₃₀ + Cu + B + Mo	135,5	149,5	88,4	124,5	64,7	60,5	38,0
5. Фон + N ₆₀ + Cu + B + Mo	149,0	175,7	108,5	144,4	75,1	80,4	57,9
HCP ₀₅	4,8	4,3	4,3	2,58	1,34	–	–

В умеренно влажном 2012 году наиболее высокая продуктивность на контрольном варианте (без удобрений) сформирована травосмесью № 3 с галевой восточной, которая составила за два укоса 81,3 ц/га сена. В засушливом 2013 году и влажном 2014 году наибольшая урожайность сена получена на травосмеси с клевером луговым и гибридным – соответственно 65,0 и 64,6 ц/га.

Фосфорные и калийные удобрения, вносимые в дозах P₆₀K₁₈₀, обеспечили существенные прибавки сена по отношению к контролю. В среднем за 3 года исследований на травосмеси № 1 она составила 31,3 ц/га, на травосмеси № 2 – 20,3 и на травосмеси № 3 – 22,5 ц/га.

В вариантах с применением азотных удобрений в дозе 30 кг/га на фоне P₆₀K₁₈₀ сформирована в среднем за 3 года опытов урожайность травосмеси № 1 123,5 ц/га сена или 64,2 ц/га к. ед., травосмесей № 2 и № 3 – 114,9 и 114,8 ц/га сена или 59,7 ц/га к. ед. соответственно.

Наиболее высокую продуктивность обеспечила бобово-злаковая травосмесь, включающая галегу восточную, которая составила за годы исследований в варианте 5, где применяли $N_{60}P_{60}K_{180}$ + микроэлементы, 144,4 ц/га сена или 75,1 ц/га кормовых единиц.

По результатам проведенного полевого опыта на торфяно-глеевой почве рассчитана окупаемость макро- и микроудобрений прибавкой урожайности кормовых единиц (рис. 1).

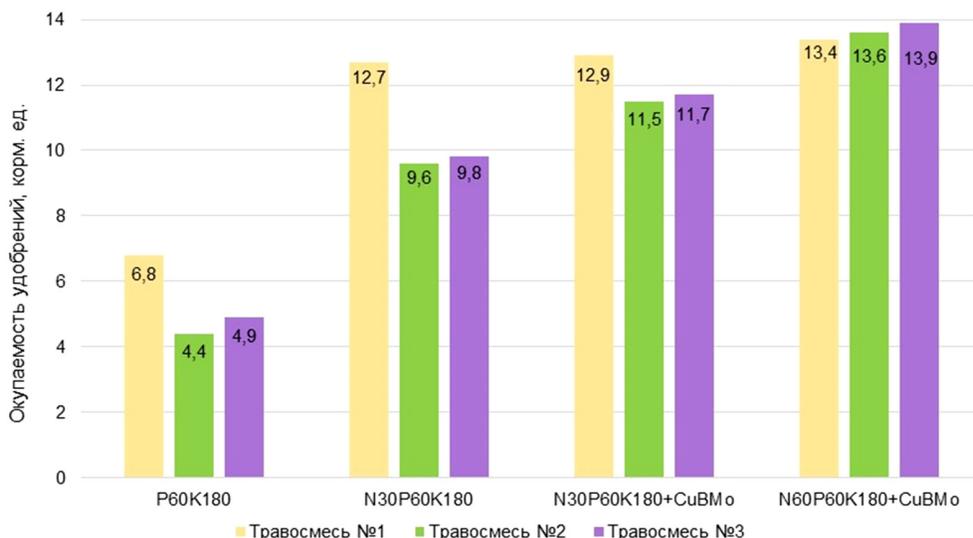


Рис. 1. Окупаемость макро- и микроудобрений прибавкой урожайности кормовых единиц

Окупаемость фосфорных и калийных удобрений составила наиболее высокой получена на бобово-злаковой травосмеси с людовцем, составившая 6,8 к. ед. На травосмесях с клевером и галеей, она была значительно ниже – 4,4–4,9 к. ед. Окупаемость полного ($N_{30}P_{60}K_{180}$) минерального удобрения изменялась от 9,6 до 12,7 к. ед. Наибольшей она получена также на травосмеси № 1.

Применение под многолетние бобово-злаковые травосмеси микроэлементов способствовало более эффективному использованию минеральных удобрений. Так, в варианте с применением $N_{30}P_{60}K_{180}$ и некорневой подкормкой трав медью, бором и молибденом окупаемость минеральных удобрений (NPK) прибавкой кормовых единиц составила от 11,5 (травосмесь № 2) до 12,9 (травосмесь № 1), а в варианте с применением $N_{60}P_{60}K_{180}$ и микроэлементов – 13,4–13,9 к. ед.

ВЫВОДЫ

1. Не установлено существенного влияния вида бобового компонента в бобово-злаковой травосмеси на накопление ^{137}Cs в сене. Различия в содержании радионуклида между укосами достигали – 2,8 раз. По всем изучаемым травосмесям и вариантам опыта более высокая концентрация ^{137}Cs наблюдается в сене второго укоса.

2. На торфяно-глеевой почве с низким содержанием P_2O_5 и K_2O фосфорные и калийные удобрения в дозах $P_{60}K_{180}$, снижают активность ^{137}Cs в сене первого укоса на 28–37 %, в сене второго укоса – на 23–34 %. Применение азотных удобрений в дозе N_{30} способствуют уменьшению концентрации ^{137}Cs в травах первого укоса на травосмесях № 1 и № 3 на 29–33 %, на травосмеси № 2 – в 2 раза. Азотная подкормка совместно с микроэлементами (Cu, B, Mo) снижает содержание радионуклида в сене первого укоса. На травах второго укоса более эффективны микроэлементы на травосмесях с лядвенцем и клевером. Азотная подкормка трав в дозе N_{60} совместно с микроэлементами обеспечивает существенное уменьшение содержания ^{137}Cs в сене только на травосмеси с клевером луговым и гибридным. Наиболее низкие коэффициенты перехода ^{137}Cs в сено получены на травосмеси с лядвенцем в варианте $N_{30}P_{60}K_{180}$ + микроэлементы, а на травосмесях с клевером и галегой – в варианте $N_{60}P_{60}K_{180}$ + микроэлементы.

3. Размещение бобово-злаковых травосмесей на торфяно-глеевых почвах имеет ограничения при использовании сена мясному поголовью. При получении сена второго укоса без применения удобрений допустимая плотность загрязнения почв не превышает 7–9 Ки/км², при внесении только фосфора и калия в дозах $P_{60}K_{180}$ – 8–13 Ки/км². При применении $N_{30-60}P_{60}K_{180}$ с микроэлементами нормативно чистое сено трав с участием лядвенца возможно производить при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs до 23–27 Ки/км², сено трав с участием клевера – до 18–20 Ки/км² и сено трав с участием галеги – до 16–19 Ки/км².

4. Наиболее высокую продуктивность обеспечила бобово-злаковая травосмесь с галегой восточной, которая составила при внесении $N_{60}P_{60}K_{180}$ + микроэлементы 144,4 ц/га сена или 75,1 ц/га к. ед. и окупаемости минеральных удобрений 13,9 к. ед. Концентрация ^{137}Cs в сене не превысила 50 Бк/кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.

2. Осушенные торфяные и дегроторфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практическое пособие / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапы; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 215 с.

3. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 469 с.

ACCUMULATION OF ^{137}Cs IN PLANTS AND PRODUCTIVITY OF MULTI-COMPONENT LEGUME-CEREAL GRASSES ON PEAT-GLEY SOIL WHEN APPLYING MACRO- AND MICROFERTILIZERS

N. N. Tsybulka, A. V. Shashko

Summary

No significant effect of the type of legume component in the legume-cereal grasses on the accumulation of ^{137}Cs in hay has been established. On peat-gley soil, phosphoric and potash fertilizers in rates of $\text{R}_{60}\text{K}_{180}$, reduce the activity of ^{137}Cs in the hay of the first mowing by 28–37 %, in the hay of the second mowing – by 23–34 %. Nitrogen fertilizers in a rate of N_{30} and together with microelements (Si, B, Mo) contribute to a decrease in the concentration of ^{137}Cs in herbs by up to 2 times.

The placement of legume-cereal grasses on peat-gley soils has limitations when using hay for meat livestock. When receiving hay of the second mowing without the use of fertilizers, the permissible density of soil contamination does not exceed 7–9 Ki/km^2 , when applying only phosphorus and potassium in rates of $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ – 8–13 Ki/km^2 . When using $\text{N}_{30-60}\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ with microelements, it is possible to produce normatively pure grass hay with the participation of lyadvenets at a soil contamination density of ^{137}Cs up to 23–27 Ki/km^2 , grass hay with the participation of clover – up to 18–20 Ki/km^2 and grass hay with the participation of galega – up to 16–19 Ki/km^2 .

The highest productivity was provided by legume-cereal grass mixture with eastern galega, which amounted to 144,4 c/ha of hay or 75,1 c/ha of fodder units and the payback of mineral fertilizers of 13,9 feed units when $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ + microelements were applied.

Поступила 04.11.21

УДК 631.438:631.8:633.1

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ФОРМ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs ЯРОВЫМИ ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СВЯЗНОСУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

**С. С. Хмелевский, Г. В. Пироговская, В. И. Сороко,
К. В. Даниленко, А. С. Максимчук, И. Е. Ермолович**

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

ВВЕДЕНИЕ

За период, прошедший после аварии на ЧАЭС наблюдается постепенное уменьшение площади используемых сельскохозяйственных земель с контролируемой минимальной плотностью загрязнения ^{137}Cs более 1,0 Ki/km^2 и ^{90}Sr более 0,15 Ki/km^2 вследствие естественного распада радионуклидов и перехода