

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ^{137}Cs , БОТАНИЧЕСКОГО СОСТАВА И ПРОДУКТИВНОСТИ БОБОВО-ЗЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ В ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

С. И. Воронов¹, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН,
Е. П. Князева², **А. Н. Пиккуль²**, кандидат сельскохозяйственных наук,
В. К. Кузнецов³, доктор биологических наук

¹Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»,
 143026, Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Новоивановское, ул. Калинина, 1
 E-mail: mosniish@yandex.ru

²Тулский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального исследовательского центра «Немчиновка»,

301493, Тульская обл., Плавский р-н, пос. Молочные Дворы, ул. Садовая, 7
 E-mail: anzpikul@mail.ru

³Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
 249032, Калужская обл., Обнинск, Киевское ш., 109 км
 E-mail: vkkuzn@yandex.ru

Исследования проводили с целью подбора травосмесей для улучшения сенокосных и пастбищных угодий на овражно-балочных системах, подвергшихся радиоактивному загрязнению, оценки агротехнических и агрохимических приемов для повышения продуктивности и восстановления радиоактивно загрязненных склоновых кормовых угодий, а также снижения накопления ^{137}Cs в травостое. Работу выполняли в 2003–2010 гг. и 2019–2021 гг. в Тульской области на среднесуглинистом выщелоченном черноземе. В первом опыте изучали урожайность и динамику накопления ^{137}Cs многолетними травами. Схема опыта предусматривала варианты без удобрений и ежегодное внесение $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$. Объектами исследований были клевер луговой, клевер ползучий, люцерна изменчивая, козлятник восточный, люцерна рогатый, костреца безостый, овсяница луговая, тимофеевка луговая. Наиболее продуктивной оказалась смесь из клевера лугового, люцерны изменчивой и костреца безостого (10,5 т/га сухого вещества). Содержание ^{137}Cs в воздушно-сухой массе злаково-бобовых травосмесей находилось в пределах от 8,3 до 40,1 Бк/кг. Многолетние бобовые травы выносили в 2...3 раза больше ^{137}Cs , чем злаковые. Во втором опыте объектами исследования были одновидовые посева костреца безостого и его смеси с козлятником восточным с применением минеральных и микробиологических удобрений. Внесение больших доз азотных удобрений увеличивало накопление ^{137}Cs в травостое. При их дробном использовании такого увеличения удается избежать. Комплексное применение азотных и микробиологических удобрений способствует 2-кратному увеличению содержания ^{137}Cs в травостое. Наименьшие коэффициенты накопления ^{137}Cs отмечены в вариантах с внесением двойного суперфосфата с хлоридом калия и борофоски.

DYNAMICS OF ACCUMULATION OF ^{137}Cs , BOTANICAL COMPOSITION AND PRODUCTIVITY OF LEGUME-CEREAL MIXTURES IN THE TULA REGION

S. I. Voronov¹, **E. P. Knyazeva²**, **A. N. Pikul²**, **V. K. Kuznetsov³**

¹Federal Research Center «Nemchinovka»,
 143026, Moskovskaya obl., Odintsovskii r-n, pos. Novoivanovskoye, ul. Kalinina, 1
 E-mail: mosniish@yandex.ru

²Tula Scientific Research Institute of Agriculture – Federal research centre branch «Nemchinovka»,
 301493, Tul'skaya obl., Plavskiy r-n, pos. Molochnie Dvory, ul. Sadovaya, 7
 E-mail: anzpikul@mail.ru

³All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology,
 249032, Kaluzhskaya obl., Obninsk, Kievskoe sh., 109 km
 E-mail: vkkuzn@yandex.ru

The purpose of the research is to select grass mixtures to improve hay and pasture lands on ravine – beam systems that have been exposed to radioactive contamination, to evaluate agrotechnical and agrochemical techniques to increase productivity and restore radioactively contaminated slope forage lands and reduce the accumulation of ^{137}Cs in the grass. The work was carried out in 2003–2010 and 2019–2021 in the Plavsky district of the Tula region on medium loamy leached chernozem. In the first experiment, the yield and dynamics of accumulation of ^{137}Cs by perennial grasses were studied. Perennial herbs were grown in variants without fertilizers and with annual application of $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$. The objects of research were meadow clover, creeping clover, variable alfalfa, eastern goat, horned lyadvenets, boneless rump, meadow fescue, meadow timothy. The most productive in the experiments was a mixture of meadow clover, variable alfalfa and boneless stalk (10,5 t/ha of dry matter). The content of ^{137}Cs in the air-dry mass of cereal-legume grass mixtures ranged from 8,3 to 40,1 Bq/kg. Perennial leguminous grasses bore 2...3 times more ^{137}Cs than cereals. In the second experiment, the objects of the study were single-species crops of boneless stalk and its mixture with eastern goat with the use of mineral and microbiological fertilizers. As a result, it was found that the introduction of large doses of nitrogen fertilizers increased the accumulation of ^{137}Cs in the herbage. With fractional fertilization, such an increase can be avoided. The complex application of nitrogen and microbiological fertilizers contributes to a 2-fold increase in the content of ^{137}Cs in the herbage. In the experiments, the lowest values of the accumulation coefficients of ^{137}Cs were noted in the variants with the addition of double superphosphate with potassium chloride and borofoski.

Ключевые слова: сенокосы, пастбища, старовозрастные травостои, бобово-злаковые смеси, продуктивность, радиоактивное загрязнение.

Key words: hayfields, pastures, old-age herbage, bean-cereal mixtures, productivity, radioactive contamination.

Земли Тульского научно-исследовательского института сельского хозяйства (НИИСХ) находятся на Плавском плато Среднерусской возвышенности. В большинстве своем они расположены на овражно-балочных системах и частично в поймах небольших рек, поскольку территория сильно распахана (до 70...80 %). Изреженный травостой не может противостоять эрозионным процессам во время интенсивного таяния снега и летних ливней. Для решения этой проблемы в 80-е гг. прошлого века сотрудники Тульской государственной опытной станции (сегодня – Тульский НИИСХ – филиал ФИЦ «Немчиновка») провели коренное и поверхностное улучшение оврагов (более 1000 га), а также залужение прилегающих к ним эродированных участков пашни [1].

После аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. произошло загрязнение радионуклидами, преимущественно ^{137}Cs и в меньшей степени ^{90}Sr [2]. С тех пор почву склонов не подвергали механической обработке. С 1988 г. на целинных участках Тульского НИИСХ проводят исследования с целью анализа параметров миграции и оценки динамики распределения ^{137}Cs по профилю черноземных почв [3].

В соответствии с экологической доктриной Российской Федерации (№ 1225-р от 31 августа 2002 г.) [4] и Указом Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642 [5] сохранение ландшафтного потенциала и переход к высокопродуктивному и экологически безопасному сельскому хозяйству – приоритетные направления научно-технологического развития Российской Федерации.

Инвентаризация пастбищных и сенокосных угодий показала, что спустя 40 лет после их залужения преобладают злаково-разнотравные травостой. Повсеместно присутствует кострец безостый, на дне балок его доля составляет от 30,0...40,4 до 92,7...98,0 %. Под травостой не вносили азотные удобрения, способные повысить обеспеченность кормов протеином [6].

При содержании в кормах 10,5...11,0 МДж/кг обменной энергии, 15...18 % сырого протеина в сухом веществе злаковых трав и 18...23 % в бобовых можно получать до 20...25 кг молока в сутки даже без концентратов. Высокое содержание протеина в кормах можно обеспечить путем включения в состав травостоев многолетних бобовых видов – люцерны изменчивой, клевера лугового, козлятника восточного [7, 8].

В последние годы установлено, что в эрозионных ландшафтах происходит вторичное перераспределение ^{137}Cs . У подножий склонов, на дне ложбин-отвершков и центральной части дна балок отмечается аккумуляция ^{137}Cs , которая приводит к увеличению удельной активности и общих запасов радионуклида в почве. На верхних элементах склонов происходит обратный процесс, то есть естественное самоочищение [9, 10, 11].

Агротехнические приемы направлены на изменение распределения радионуклидов в почвенном профиле, а агрохимические приводят к изменению кислотности почв, повышению их плодородия, увеличению сорбционной способности или концентрации конкурентных ионов [12, 13, 14].

Цель исследований – подбор травосмесей для улучшения сенокосных и пастбищных угодий на овражно-балочных системах, подвергшихся радиоактивному загрязнению, оценка агротехнических и агрохимических приемов для повышения продуктивности и восстановления загрязненных склоновых кормовых угодий и снижения накопления ^{137}Cs в травостое.

Методика. Работу выполняли в Тульском НИИСХ в двух полевых опытах в 2003–2010 и 2019–2021 гг. на

среднесуглинистом выщелоченном черноземе. Содержание гумуса в почве первого опыта составляло 4,5...5,8 %, P_2O_5 – 180...210 мг/кг, K_2O – 190...220 мг/кг, $\text{pH}_{\text{сол}}$ – 5,3...5,6, плотность загрязнения ^{137}Cs – 204...224 Бк/м². Схема этого опыта включала восемь вариантов травосмесей с различными нормами высева семян 100 %-ной посевной годности: 1) кострец безостый (сорт Моршанский 760, 20 кг/га) – контроль; 2) клевер луговой (ВИК 84, 6 кг/га) + люцерна изменчивая (Сарга, 6 кг/га) + кострец безостый (Моршанский 760, 10 кг/га); 3) козлятник восточный (Гале, 14 кг/га) + кострец безостый (Моршанский 760, 10 кг/га); 4) клевер ползучий (Волат, 4 кг/га) + райграс пастбищный (Моршанский 1, 8 кг/га); 5) люцерна изменчивая (Пастбищная 88, 6 кг/га) + райграс пастбищный (Моршанский 1, 8 кг/га); 6) лядвенец рогатый (Солнышко, 6 кг/га) + райграс пастбищный (Моршанский 1, 8 кг/га); 7) клевер ползучий (Волат, 3 кг/га) + люцерна изменчивая (Пастбищная 88, 4 кг/га) + лядвенец рогатый (Солнышко, 4 кг/га) + райграс пастбищный (Моршанский 1, 6 кг/га); 8) клевер ползучий (Волат, 3 кг/га) + клевер луговой (ВИК 84, 5 кг/га) + тимopheевка луговая (Московская 1480, 5 кг/га) + овсяница луговая (Киреевская местная, 10 кг/га). Травосмеси № 2 и № 3 – сенокосной, № 4, № 5, № 6 и № 7 – пастбищной, № 8 – сенокосно-пастбищной назначения.

Многолетние травы выращивали без удобрений и при ежегодном внесении $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$. Общая площадь делянок составляла 24 м², учетная – 10 м², повторность трехкратная. Урожайность определяли путем прямого взвешивания всей массы трав с учетной делянки за два укоса.

В микрополевым эксперименте, заложенном в 2019 г., исследования проводили на склоне балки западной экспозиции с аналогичным первому опыту почвенным покровом и средним уклоном 8...10°. Делянки размером 2 × 2 м располагали полосами в верхней, средней и нижней частях склона и на дне балки. Схема опыта предусматривала семь вариантов внесения удобрения: 1) без удобрений; 2) $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ весной; 3) $\text{N}_{45}\text{P}_{30}\text{K}_{30}$ весной и после I укоса; 4) $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ весной; 5) N_{45} + азотовит + фосфатовит весной и после I укоса; 6) азотовит + фосфатовит весной и после I укоса; 7) борофоска (В). Микробиологические удобрения (азотовит и фосфатовит) вносили в период вегетации: обработку проводили в ранние фазы роста и развития культуры с нормой расхода 1,0 л/га. Опыт был заложен на двух фонах: старовозрастной травостой, представленный преимущественно кострцом безостым (1-7) и кострцом безостым с подсевом в дернину 10 кг/га козлятника восточного (1¹-7¹). Удобрения применяли, как за один прием весной в период отрастания трав (варианты 2, 4, 7 и 2¹, 4¹, 7¹), так и дробно (3, 5 и 3¹, 5¹) – весной и после 1-го укоса трав. Ниже каждой удобринной полосы оставалась полоса без удобрений шириной более 2 м.

В зависимости от геоморфологической части склона агрохимические показатели варьировали в следующем диапазоне: гумус – 6,2...8,9 %, P_2O_5 – 145...220 мг/кг почвы; K_2O – 179,5...227,1 мг/кг; $\text{pH}_{\text{сол}}$ – 5,6...5,8. Среднее содержание ^{137}Cs в почве верхних элементов рельефа и дна оврага находилось в пределах 560 Бк/кг, середины склона – 650 Бк/кг, подошвы – 903 Бк/кг. На дне оврага отмечали меньшую плотность загрязнения ^{137}Cs из-за экранирования наиболее загрязненных слоев почвы намытыми позднее с меньшим содержанием ^{137}Cs .

Пробы почв для определения содержания ^{137}Cs и агрохимических показателей отбирали в слое 0...20 см. Учет зеленой массы проводили со всей площади делянки. Из нее отбирали снопы размером около 1 кг для

Табл. 1. Продуктивность травосмесей различного хозяйственного назначения (средняя за 2003–2010 гг.)

Вариант	Сухое вещество, т/га	Сырой протеин, т/га	Обменная энергия, ГДЖ/га	Прибавка сухого вещества от N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ , т/га
1. Кострец безостый (контроль)	8,9±1,2	1,31±0,1	89,8±9,9	1,4±0,2
2. Клевер луговой + люцерна + кострец	10,5±1,6	1,50±0,2	101,1±12,1	1,2±0,2
3. Козлятник восточный + кострец	9,1±1,3	1,55±0,2	94,0±11,3	2,1±0,3
4. Клевер ползучий + райграс пастбищный	6,5±1,2	1,04±0,1	62,1±6,8	1,2±0,2
5. Люцерна пастбищная + райграс	8,7±1,6	1,32±0,2	81,2±9,7	1,4±0,2
6. Лядвенец рогатый + райграс	7,1±1,3	1,07±0,2	65,3±8,5	1,4±0,1
7. Клевер ползучий + люцерна + лядвенец + райграс	6,9±1,2	1,09±0,1	67,0±10,1	1,1±0,1
8. Клевер луговой + клевер ползучий + тимофеевка + овсяница	7,5±1,3	1,09±0,1	74,1±10,4	1,4±0,2

определения ¹³⁷Cs. Агрохимический анализ почвенных образцов, определение содержания ¹³⁷Cs в почвенных и растительных образцах проводили в аккредитованных испытательных лабораториях ВНИИРАЭ.

Результаты и обсуждение. В опыте 1 среди травосмесей сенокосного назначения в начальный пятилетний период использования наиболее продуктивной оказалась смесь клевер луговой + люцерна изменчивая + кострец безостый. При этом в первые два года высокая урожайность формировалась благодаря клеверу луговому, а в последующие – люцерне и кострецу безостому. В год посева ботанический состав смеси на 34 % (по массе) был представлен клевером луговым, на 42 % люцерной и на 24 % кострецом безостым. К четвертому году пользования в травостое доминировал кострец безостый (75 %), люцерна составляла около 20 %, клевер луговой – 5 %. Люцерна полностью выпала из травостоя на седьмой год жизни трав. Средняя урожайность этой смеси за 8 лет составила 10,5 т/га сухого вещества, а прибавка от применения минеральных удобрений нормой N₆₀P₆₀K₆₀ по годам исследований была равна 0,1...4,2 т/га сухого вещества или в среднем за 8 лет – 1,2 т/га (табл. 1).

Двойная смесь сенокосного назначения, состоявшая в год посева из 60 % козлятника и 40 % костреца безостого, в первый год жизни из-за медленного начального развития козлятника существенно уступала

по продуктивности травосмеси клевер луговой + люцерна изменчивая + кострец безостый и одновидовому посеву костреца безостого (контроль), а превзошла их только на шестой год жизни. К этому времени бобовые компоненты первой смеси уже выпали из травостоя, в то время как на долю козлятника восточного во второй травосмеси приходилось около 40 %. Даже на восьмой год жизни она составляла 25...30 %, в результате чего продуктивность этой смеси в условиях засушливого вегетационного периода была значительно выше, чем у всех остальных. Средняя урожайность за 8 лет составила 9,1 т/га сухого вещества, прибавка от минеральных удобрений варьировала в зависимости от погодных условий в пределах 1,2...3,4 т/га.

Из травосмесей пастбищного назначения, начиная со второго по шестой год жизни включительно, лидировала смесь люцерна + райграс. Средняя урожайность ее за первые шесть лет жизни составила 10,7 т/га сухого вещества, за 8 лет – 8,7 т/га, выход сырого протеина – 1,32 т/га.

Продуктивность двойных смесей райграса пастбищного с клевером ползучим и лядвенцем рогатым была примерно равнозначной (6,5 и 7,1 т/га сухого вещества за 8 лет соответственно). После пяти-шести лет использования они были почти полностью представлены райграсом пастбищным (см. табл. 1).

Табл. 2. Содержание ¹³⁷Cs в почве и травосмеси с 2003 по 2010 гг.

Травосмесь	Почва, Бк/кг	Год								Среднее
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
1. Кострец безостый (контроль)	713±35	9,1* 1,3	8,7 1,2	10,1 1,4	10,2 1,4	8,3 1,2	9,0 1,3	8,7 1,2	8,9 1,3	9,1±0,7 1,3±0,1
2. Клевер луговой + люцерна + кострец	700±28	14,1 2,0	16,0 2,3	14,8 2,1	16,4 2,3	14,7 2,1	14,2 2,0	13,2 1,9	12,8 1,8	14,5±1,2 2,1±0,2
3. Козлятник восточный + кострец	723±41	17,9 2,5	18,7 2,6	18,2 2,5	14,7 2,0	16,6 2,3	14,1 2,0	13,8 1,9	13,7 1,9	16,0±2,1 2,2±0,3
4. Клевер ползучий + райграс пастбищный	716±32	17,8 2,5	17,7 2,5	19,6 2,7	18,6 2,6	18,2 2,5	17,6 2,5	16,8 2,4	14,1 2,0	17,6±1,6 2,5±0,2
5. Люцерна пастбищная + райграс	706±37	19,2 2,7	21,7 3,1	21,0 3,0	25,3 3,6	17,9 2,5	16,8 2,4	15,4 2,2	15,2 2,2	19,1±3,5 2,7±0,5
6. Лядвенец рогатый + райграс	680±24	26,7 3,9	23,7 3,5	21,0 3,1	27,8 4,1	17,8 2,6	16,9 2,5	14,1 2,1	12,7 1,9	20,1±5,6 3,0±0,8
7. Клевер ползучий + люцерна + лядвенец + райграс	690±33	40,1 5,8	30,2 4,4	26,6 3,9	26,5 3,8	19,7 2,9	18,7 2,7	16,3 2,4	15,8 2,3	24,2±8,3 3,5±1,2
8. Клевер луговой + клевер ползучий + тимофеевка + овсяница	726±42	21,0 2,9	17,8 2,5	12,7 1,7	9,7 1,3	10,8 1,5	13,8 1,9	10,6 1,5	9,6 1,3	13,3±4,1 1,8±0,6

* в числителе – содержание в воздушно-сухом веществе травосмесей, Бк/кг, в знаменателе – коэффициент накопления ¹³⁷Cs, n × 10⁻².

Табл. 3. Средняя урожайность и накопление ¹³⁷Cs в травостое кормовых культур (в среднем за 2019–2021 гг.)

Вариант	Содержание ¹³⁷ Cs					Урожайность травостоя, т/га			
	почва, Бк/кг	травостой				зеленая масса		сухое вещество	
		кострец безостый		кострец + козлятник восточный		кострец безостый	кострец + козлятник восточный	кострец безостый	кострец + козлятник восточный
		Бк/кг	Кн, п×10 ⁻³	Бк/кг	Кн, п×10 ⁻³				
1	733	3,2	4,8	4,1	6,2	10,04	10,10	3,78	3,80
2	732	4,8	7,2	6,1	9,2	15,50	15,94	5,95	6,00
3	724	3,7	5,6	5,2	8,1	16,34	16,86	6,43	6,40
4	650	3,3	4,9	3,6	5,4	13,59	13,67	5,30	5,42
5	610	6,2	9,3	8,1	12,2	13,40	13,46	4,96	5,22
6	595	4,4	6,7	5,3	8,1	11,94	12,02	4,44	4,48
7	633	3,0	4,4	3,7	5,5	12,81	13,78	4,74	5,18
НСР _{0,5}		1,8	2,8	3,0	4,8	2,28	4,90	1,32	2,22

Четырехкомпонентные смеси клевер ползучий + люцерна + лядвенец + райграс и клевер луговой + клевер ползучий + тимофеевка + овсяница, в которых злаковые травы были представлены райграсом пастбищным, тимофеевкой и овсяницей, не имели существенных преимуществ перед двойными – средняя урожайность сухого вещества за восемь лет составила 6,9 и 7,5 т/га соответственно, средний выход сырого протеина – 1,09 т/га. Аналогично двойным смесям после пяти-шести лет использования они были представлены в основном или райграсом, или тимофеевкой с овсяницей.

Средняя за 8 лет урожайность одновидового посева костреца безостого в контроле составила 8,9 т/га сухого вещества, выход сырого протеина – 1,31 т/га. При дефиците семян многолетних бобовых трав залужение эродированных и неиспользуемых в последние годы пахотных земель одновидовыми посевами костреца безостого можно считать оправданным.

Содержание ¹³⁷Cs в почве изменялось от 680 до 726 Бк/кг, плотность загрязнения – от 204 до 218 кБк/м² (табл. 2). В воздушно-сухой массе злаково-бобовых травосмесей оно варьировало от 8,3 до 40,1 Бк/кг. Многолетние бобовые травы выносили в 2...3 раза больше ¹³⁷Cs, чем злаковые. При этом максимальное содержание ¹³⁷Cs в бобово-злаковых травосмесях наблюдали в первые 5 лет, начиная с шестого года, по мере выпадения бобовых компонентов из травостоя, происходило снижение накопления ¹³⁷Cs.

Коэффициент накопления (Кн) соотносит содержание ¹³⁷Cs (Бк/кг) в растениях с его количеством в почве и характеризует интенсивность накопления радионуклидов растениями корневым путем [15]. Наименьшая величина этого показателя была характерна для костреца безостого (контроль), как представителя злаковых трав – $1,2 \times 10^{-2}$. У бобово-злаковых смесей в первые 6 лет жизни отмечали более высокие величины Кн. Причем в первые 2 года наибольшие коэффициенты накопления наблюдали в смеси № 7 – $5,8 \times 10^{-2}$ и $4,4 \times 10^{-2}$. На седьмой год в связи с выпадением бобовых компонентов Кн ¹³⁷Cs варьировали от $1,3 \times 10^{-2}$ (смесь № 8) до $2,2 \times 10^{-2}$ (смесь № 5).

К восьмому году жизни основными компонентами смесей оставались злаковые травы: кострец безостый, райграс пастбищный, тимофеевка и овсяница луговые, которые накапливали ¹³⁷Cs в минимальных количествах. Исключение составляла смесь костреца безостого с козлятником восточным, доля которого в ней была не менее 25...30 %. При этом в первые 2...3 года Кн ¹³⁷Cs в травостое козлятника находился на уровне $7,8 \times 10^{-2}$, что

сопоставимо с накоплением радионуклидов в надземной массе клевера и люцерны. В последующие 5...7 лет Кн в травостое старовозрастного козлятника снизился до $3,2 \times 10^{-2}$, что связано с биологическими особенностями культуры и активным заглуглением ее корневой системы, вследствие чего основное количество элементов питания и, соответственно, радионуклидов поступало из нижних, менее загрязненных слоев почвы.

Во втором эксперименте по сравнительному изучению одновидовых посевов костреца безостого и его травосмеси с козлятником восточным с внесением минеральных и микробиологических удобрений максимальную урожайность сухого вещества отмечали в вариантах 2 (15,50 т/га), 2¹ (15,94 т/га), 3 (16,34 т/га), 3¹ (16,86 т/га) с внесением высоких доз азотных удобрений, наименьшую – в вариантах 6 (11,94 т/га) и 6¹ (12,02 т/га) с использованием только микроудобрений (табл. 3). Наибольшие величины Кн ¹³⁷Cs были зафиксированы в вариантах 5 (N₄₅ + азотовит + фосфатовит при 2-кратном внесении) и 2 (N₉₀P₆₀K₆₀ при весеннем внесении): $9,3 \times 10^{-3}$; $12,2 \times 10^{-3}$ и $7,2 \times 10^{-3}$; $9,2 \times 10^{-3}$ соответственно. В вариантах 7 и 4 Кн ¹³⁷Cs оказались наименьшими: $4,4 \times 10^{-3}$; $5,5 \times 10^{-3}$ и $4,9 \times 10^{-3}$; $5,4 \times 10^{-3}$.

Козлятник восточный характеризуется более высоким накоплением ¹³⁷Cs, относительно костреца безостого, в связи с чем Кн ¹³⁷Cs в травосмеси кострец + козлятник было в 1,1...1,4 раза выше, по сравнению с однокомпонентным злаковым посевом.

Использование высоких доз азотных удобрений способствовало росту накопления ¹³⁷Cs в травостое. При дробном внесении (вариант 3) отрицательные изменения радиологических показателей были минимальными. При комплексном применении азотных и микробиологических удобрений (вариант 5) отмечено 2-кратное увеличение содержания ¹³⁷Cs, относительно контроля без удобрений. Раздельное внесение микробиологических удобрений (вариант 6) способствует, по всей видимости, увеличению степени обеспеченности растений азотом и повышению накопления ¹³⁷Cs в биомассе в 1,3...1,4 раза.

Наименьшими в опыте величинами Кн ¹³⁷Cs характеризовалась продукция в вариантах 4 и 7 с внесением двойного суперфосфата и хлорида калия P₆₀K₆₀ или борофоски P₃₀K₄₈ (В).

Выводы. В результате выполненных исследований показана необходимость дифференцированного подхода к проведению агрохимических мероприятий, включая применение микробиологических препаратов на геоморфологически разнородных склоновых участ-

ках, подвергшихся радиоактивному загрязнению. На среднесуглинистом выщелоченном черноземе Тульской области наиболее продуктивной оказалась смесь из клевера лугового, люцерны изменчивой и костреча безостого (10,5 т/га сухого вещества). Содержание ^{137}Cs в воздушно-сухой массе злаково-бобовых травосмесей находилось в пределах от 8,3 до 40,1 Бк/кг. Многолетние бобовые травы выносили в 2...3 раза больше ^{137}Cs , чем злаковые. Внесение больших доз азотных удобрений увеличивает накопление ^{137}Cs в травостое. При их дробном применении такого увеличения удается избежать. Совместное использование азотных и микробиологических удобрений приводит к 2-кратному увеличению содержания ^{137}Cs в травостое. Наименьшие коэффициенты накопления ^{137}Cs отмечены при внесении двойного суперфосфата с хлоридом калия $\text{P}_{30}\text{K}_{48}$ (В).

Литература

1. Князева Е. П., Коломейченко В. В. Оценка кормовых угодий на овражно-балочных системах среднерусской возвышенности // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2018. № 5. С. 36–40.
2. Российский национальный доклад: 35 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986–2021 / под общ. ред. Л. А. Большова. М.: Академ-Принт, 2021. 104 с.
3. Макаров В. И. Использование овражно-балочных лугов, загрязненных радионуклидами, в качестве пастбищ и сенокосов // *Роль культурных пастбищ в развитии молочного скотоводства Нечерноземной зоны России в современных условиях: сб. научных трудов / под ред. Н. А. Ларетина, А. А. Кутузовой, В. М. Косолапова*. М.: Угрешская типография, 2010. С. 199–204.
4. Экологическая доктрина Российской Федерации (№ 1225-р от 31 августа 2002 г.). URL: <http://government.ru/docs/all/43014> (дата обращения: 28.06.2022).
5. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201612010007> (дата обращения: 28.06.2022).
6. Князева Е. П., Коломейченко В. В., Кузнецов В. К. Современное состояние природных кормовых угодий Плавского плато Среднерусской возвышенности в условиях радиоактивного загрязнения // *Кормопроизводство*. 2016. № 9. С. 12–17.
7. Косолапов В. М., Трофимов И. А. Исследования по кормопроизводству, экологии и рациональному природопользованию // *Кормопроизводство*. 2015. № 7. С. 3–9.
8. Макаров В. И., Калашиников К. Г. Многолетние травы для южных районов Нечерноземной зоны. Плавск: ГНУ Тульский НИИСХ. 2009. 92 с.
9. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) / под ред. Ю. А. Израэля и И. М. Богдевича. М.; Минск: Фонд Инносфера-НИА Природа, 2009. 140 с.
10. Линник В. Г. Ландшафтная дифференциация техногенных радионуклидов. М.: РАН, 2018. 372 с.
11. Цыбулько Н. Н., Черныш А. Ф. Горизонтальная миграция радионуклидов в эрозийных агроландшафтах // *Проблемы радиологии загрязненных территорий: юбилейный тематический сборник*. Гомель: Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии», 2006. Вып. 2. С. 221–233.
12. Реабилитационные мероприятия на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению / А. Н. Ратников, Г. И. Попова, Д. Г. Свириденко и др. // *Известия ТСХА*. 2019. Вып. 2. С. 18–34.
13. Авария на Чернобыльской АЭС: Защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве / С. В. Фесенко, Н. И. Санжарова, Н. Н. Исамов и др. // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2021. Т. 61. № 3. С. 261–276.
14. Алексахин Р. М. Мероприятия в области земледелия и агрохимии при реабилитации радиоактивно загрязненных территорий // *Плодородие*. 2016. № 5 (92). С. 3–34.
15. Кузнецов В. К., Санжарова Н. И. Методологические основы организации защитных мероприятий ландшафтно-экологической направленности на радиоактивно загрязненных территориях // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2016. № 1. С. 90–101.

Поступила в редакцию 11.07.2022

После доработки 18.09.2022

Принята к публикации 21.11.2022