



Научная статья

УДК 631.82:632.118.3:633.2.03

doi: 10.55186/25876740\_2024\_67\_3\_264

## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗАЛИВНЫХ ЛУГОВ

**А.Л. Силаев, Н.М. Белоус, Е.В. Смольский, Г.П. Малевко**

Брянский государственный аграрный университет, Брянск, Россия

**Аннотация.** В период с 2014 по 2021 гг. в условиях радиоактивного загрязнения заливного луга центральной поймы реки Ипуть Новозыбковского района Брянской области проведены исследования роли элементов питания в накоплении  $^{137}\text{Cs}$  зеленой массой трав радиоактивно загрязненных заливных лугов и прогноз миграции  $^{137}\text{Cs}$  в системе «почва-растение-животное-человек» при плотности радиоактивного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  территории выше 555 кБк/м<sup>2</sup>. В результате исследований установили, что без использования специальных мероприятий заливной луг нельзя использовать в качестве пастбища, содержание  $^{137}\text{Cs}$  в продукции кормопроизводства превышает норматив в 16 раз. Несмотря на то, что в 2016 г. произошел первый период полураспада  $^{137}\text{Cs}$ , значительного снижения накопления  $^{137}\text{Cs}$  растительностью заливного луга не выявили. Установили, что с повышением отношения калия к азоту в минеральном удобрении достоверно снижается накопление  $^{137}\text{Cs}$  зеленой массой естественного травостоя. Установили прямую, среднюю зависимость между азотным удобрением и накоплением  $^{137}\text{Cs}$  растительностью заливного луга, коэффициент корреляции равен 0,53-0,65. Выявили обратную сильную зависимость между калийным удобрением и накоплением  $^{137}\text{Cs}$  растительностью заливного луга, коэффициент корреляции равен 0,89-0,97. Азотные удобрения повышают продуктивность заливных лугов, но являются фактором повышения накопления  $^{137}\text{Cs}$  зеленой массой естественного травостоя. Калийные удобрения достоверно снижают накопление  $^{137}\text{Cs}$  вегетативной массой естественного травостоя и нивелируют негативное действие азотного удобрения. Возврат радиоактивно загрязненных кормовых угодий в сельскохозяйственный оборот возможен только при применении повышенных доз калийных удобрений, которые служат барьером в миграции  $^{137}\text{Cs}$  в системе «почва-растение-животное-человек».

**Ключевые слова:** заливной луг, радиоактивное загрязнение,  $^{137}\text{Cs}$ , минеральные удобрения, Брянская область

Original article

## RADIOECOLOGICAL ASPECTS OF MINERAL FERTILIZER APPLICATION UNDER CONDITIONS RADIOACTIVE CONTAMINATION OF FLOOD MEADOWS

**A.L. Silaev, N.M. Belous, E.V. Smolsky, G.P. Malyavko**

Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia

**Abstract.** In the period from 2014 to 2021, in the context of radioactive contamination of the flood meadow of the central floodplain of the Iput river, Novozybkovsky district, Bryansk region, studies were carried out on the role of nutrients in the accumulation of radioactively contaminated flood meadows  $^{137}\text{Cs}$  the green mass of herbs and the forecast of  $^{137}\text{Cs}$  migration in the “soil-plant-animal-human” system with a radioactive contamination density  $^{137}\text{Cs}$  the territory above 555 kBq/m<sup>2</sup>. As a result of the studies, it was found that without the use of special measures, the flood meadow cannot be used as a pasture, the content of  $^{137}\text{Cs}$  in the feed production exceeds the standard by 16 times. Despite the fact that in 2016 the first half-life of the  $^{137}\text{Cs}$  occurred, a significant decrease in the accumulation of water meadow  $^{137}\text{Cs}$  by vegetation was not revealed. It was found that with an increase in potassium to nitrogen in mineral fertilizer, the accumulation of natural grass  $^{137}\text{Cs}$  by the green mass is significantly reduced. The correlation coefficient is 0.53-0.65 between nitrogen fertilization and accumulation  $^{137}\text{Cs}$  vegetation of flood meadow. The inverse strong relationship between potash fertilization and accumulation  $^{137}\text{Cs}$  vegetation of the flood meadow was revealed, the correlation coefficient is 0.89-0.97. Nitrogen fertilizers increase the productivity of flood meadows, but are a factor in increasing the accumulation of natural grass with  $^{137}\text{Cs}$  green mass. Potash fertilizers reliably reduce accumulations  $^{137}\text{Cs}$  vegetative mass of natural grass stand and level negative effect of nitrogen fertilizer. The return of radioactively contaminated forage to agricultural circulation is possible only with the use of increased doses of potash fertilizer, which serve as a barrier to migration of  $^{137}\text{Cs}$  in the “soil-plant-animal-human” system.

**Keywords:** flood meadow, radioactive contamination,  $^{137}\text{Cs}$ , mineral fertilizers, Bryansk region

**Введение.** Кормопроизводство является фундаментальным базисом развития животноводства, от внедрения в производство кормов научных достижений зависит продовольственная безопасность [1], в условиях радиоактивного загрязнения добавляется еще и радиационная безопасность населения [2].

В Брянской области динамично увеличивается поголовье крупного рогатого скота, что главным образом связано с реализацией крупных инвестиционных проектов в отрасли животноводства, однако, в результате аварии на Чернобыльской АЭС, часть высокопродуктивных кормовых угодий выбыла из сельскохозяйственного оборота [3].

Для возвращения в хозяйственное пользование радиоактивно загрязненных территорий необходимо добиться получения сельскохозяйственной продукции, отвечающей нормам радиационной безопасности [4, 5].

Поэтому исследование специальных мер, позволяющих вернуть выбывшие земли в сельскохозяйственное производство, в частности в кормопроизводство, весьма актуально.

**Целью работы** является изучение роли элементов питания в накоплении  $^{137}\text{Cs}$  зеленой массой трав радиоактивно загрязненных заливных лугов и прогноз миграции  $^{137}\text{Cs}$  в системе «почва-растение-животное-человек» при плотности радиоактивного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  территории выше 555 кБк/м<sup>2</sup>.

**Экспериментальной базой исследования** служила территория заливного луга реки Ипуть Новозыбковского района Брянской области, с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  555-867 кБк/м<sup>2</sup>. Поемный процесс длился от 0 до 15 дней в зависимости от года. Почвенный покров исследуемой территории представлен аллювиальной луговой супесчаной почвой со следующими показателями:  $C_{\text{опт}}$  — 3,0-3,2%;  $pH_{\text{KCl}}$  — 5,2-5,6 ед.;

$P_2O_5$  — 106-244 и  $K_2O$  — 89-120 мг/кг. Исследования проводили в период с 2014 по 2021 гг.

**Методы и методика исследований.** Эксперимент включал следующие варианты применения минерального удобрения: 1. Контроль (без применения минерального удобрения); 2.  $P_{60}K_{90}$ ; 3.  $P_{60}K_{120}$ ; 4.  $N_{90}P_{60}K_{90}$ ; 5.  $N_{90}P_{60}K_{120}$ ; 6.  $N_{90}P_{60}K_{150}$ ; 7.  $N_{120}P_{60}K_{120}$ ; 8.  $N_{120}P_{60}K_{150}$ ; 9.  $N_{120}P_{60}K_{180}$ . В период от возобновления роста до первого укоса естественного травостоя вносили полной нормой фосфорные удобрения и половину нормы азотных и калийных удобрений, в период после первого укоса вносили оставшуюся половину нормы азотных и калийных удобрений (табл. 1), использовали аммиачную селитру, простой гранулированный суперфосфат и калий хлористый.

Площадь опытной делянки — 60 м<sup>2</sup>, повторность опыта — трехкратная.

Отбор растительных образцов проводили: первый укос — середина июня, второй — конец



августа. Растительный покров территории эксперимента был представлен травами семейства мятликовые: *Festuca pratensis* Huds., *Alopecurus pratensis* L., *Phleum pratense* L., разнотравья составляет не более 10% от общего количества.

В зеленой массе растительных образцов определяли накопление  $^{137}\text{Cs}$  на УКС «Гамма Плюс» (Россия), погрешность измерений не более 20%, в центре коллективного пользования научным оборудованием Брянского ГАУ.

Кратность снижения  $^{137}\text{Cs}$  (Kc) определяли как отношение накопления  $^{137}\text{Cs}$  естественным травостоем на контролльном варианте к накоплению  $^{137}\text{Cs}$  естественным травостоем с применением удобрения.

Вынос  $^{137}\text{Cs}$  с урожаем определяли как произведение продуктивности зеленой массы естественного травостоя и содержания  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг) в естественном травостое.

Коэффициент накопления (Kn) определяли как отношение накопления  $^{137}\text{Cs}$  естественным травостоем к содержанию  $^{137}\text{Cs}$  в почве в месте отбора растительных образцов.

Показатель агроклиматической пригодности (ПАП) конкретной загрязненной территории определяли как отношение содержания  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг) в естественном травостое к допустимому уровню содержания по соответствующему нормативу [6].

Удельную активность  $^{137}\text{Cs}$  молока и мяса рассчитывали как произведение величин суточного поступления корма, содержания  $^{137}\text{Cs}$  в зеленой массе и равновесного коэффициента перехода радионуклида в продукцию животноводства.

Величину дозы внутреннего облучения человека, получаемой за счет молока и мяса, рассчитывали согласно методическим указаниям [7]. Потребление молока и молочных изделий в пересчете на количество молока в год принимали равными 200,8 л/год, мяса — 31,4 кг/год согласно закону «О потребительской корзине в Брянской области».

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

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

**Результаты и обсуждение.** Условия проведения эксперимента (климатические, почвенные, радиологические) а также биологические особенности произрастающей растительности способствуют накоплению  $^{137}\text{Cs}$  вегетативной массой в период первого укоса — 1677 Бк/кг, в период второго укоса — 1647 Бк/кг (табл. 1).

В период исследований норматив по допустимому накоплению  $^{137}\text{Cs}$  зеленой массой трав менялся. Так, до 2017 г. действовали «Ветеринарные правила и нормы», по которым допустимый уровень (ДУ) был 100 Бк/кг, после 2017 г., по Инструкции о радиологическом контроле качества кормов, допускается накопление  $^{137}\text{Cs}$  в зеленой

массе трав — 370 Бк/кг. В настоящее время утвержден Технический регламент таможенного союза «О безопасности кормов и кормовых добавок», по которому допустимый уровень (ДУ) содержания  $^{137}\text{Cs}$  в зеленой массе трав — 100 Бк/кг. Установили, что без использования специальных мероприятий заливной луг с уровнем загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  свыше 555 кБк/м<sup>2</sup> нельзя использовать в качестве пастбища в условиях запада Брянской области, ДУ содержания  $^{137}\text{Cs}$  в продукции кормопроизводства превышает норматив более 16 раз, как в период первого, так и второго укосов.

Несмотря на то, что в 2016 г. произошел первый период полураспада  $^{137}\text{Cs}$ , значительного снижение накопления  $^{137}\text{Cs}$  растительностью заливного луга не выявили, что показывает расчет коэффициента вариации (V, %), который установил незначительную изменчивость величины накопления  $^{137}\text{Cs}$  в сравнении со средней величиной. По-видимому, уровень начального загрязнения территории радионуклидом был высоким, поэтому остаточное количество  $^{137}\text{Cs}$  в почве все еще достаточно велико.

Обнаружили, что максимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  вегетативной массой растительности заливного луга происходило в годы с коротким поенным процессом и минимальным выпадением осадков, а минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  — в годы с продолжительным поенным процессом и выпадением осадков в пределах нормы или выше нее.

Применение фосфорно-калийного удобрения под первый укос и калийного удобрения под второй укос существенно снижает накопление  $^{137}\text{Cs}$  растительностью заливного луга соответственно до 160 и 116 Бк/кг, зеленые корма не соответствуют нормативу по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  (табл. 1).

Применение полного минерального и азотно-калийного удобрения, с соотношением азота к калию как 1 к 1, достоверно увеличивает накопление  $^{137}\text{Cs}$  растительностью заливного луга до 330 и 285 Бк/кг соответственно в период первого и второго укосов, в сравнении фосфорно-калийным и калийным удобрением, полученный зеленый корм не соответствует нормативу по содержанию  $^{137}\text{Cs}$ . В работе исследовали применение азотного удобрения только совместно с калийным удобрением. В кормопроизводстве запада Брянской области, особенно в личных подсобных или мелких фермерских хозяйствах, в зоне радиоактивного загрязнения для повышения продуктивность пастбищ и экономии средств используют только азотные удобрения, что ведет к получению кормов с накоплением радионуклидов выше допустимого уровня [8].

Применения калийного удобрения ведет к снижению накопления цезия [9], однако в конкретных природно-климатических условиях и при различных уровнях загрязнения необходимы уточненные дозы применения калия в сочетании с азотом для получения гарантированного урожая нормативно «чистой» продукции кормопроизводства и повышения продуктивности кормовых угодий.

Установили, что с повышением отношения калия к азоту в минеральном удобрении достоверно снижается накопление  $^{137}\text{Cs}$  зеленой массой естественного травостоя, как в период первого, так и второго укосов.

Для определения тесноты связи между элементом питания и накоплением  $^{137}\text{Cs}$  зеленой

Таблица 1. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  зеленой массой заливного луга, Бк/кг

Table 1. Accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  with green mass of filling meadow, Bq/kg

Вариант	Среднее	V, %	Минимум	Максимум	Интервал
<i>Период первого укоса</i>					
Контроль	1677	5,1	1541	1796	255
P <sub>60</sub> K <sub>45</sub>	214	3,1	205	222	17
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub>	330	3,0	315	348	33
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	278	5,3	256	297	41
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>75</sub>	197	3,4	189	206	17
P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	160	2,4	156	168	12
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	194	1,6	189	198	9
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>75</sub>	115	9,6	97	129	32
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	99	9,0	86	114	28
HCP <sub>05</sub>	27,3	—	—	—	—
<i>Период второго укоса</i>					
Контроль	1647	3,5	1581	1726	145
K <sub>45</sub>	189	3,8	182	199	17
N <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	285	2,4	274	293	19
N <sub>45</sub> K <sub>60</sub>	271	2,6	262	283	21
N <sub>45</sub> K <sub>75</sub>	184	3,5	176	192	16
K <sub>60</sub>	116	4,0	110	123	13
N <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	185	3,4	175	191	16
N <sub>60</sub> K <sub>75</sub>	97	8,1	87	109	22
N <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	88	5,3	81	94	13
HCP <sub>05</sub>	17,9	—	—	—	—

массой травостоя провели корреляционный анализ (рис.).

Установили прямую зависимость между азотным удобрением и накоплением  $^{137}\text{Cs}$  растительностью заливного луга, когда с возрастанием доз азотного удобрения повышается накопление  $^{137}\text{Cs}$  вегетативной массой травостоя, определили, что зависимость — средняя, коэффициент корреляции ( $r$ ) был равен 0,53-0,65.

Выявили обратную зависимость между калийным удобрением и накоплением  $^{137}\text{Cs}$  растительностью заливного луга, когда с возрастанием доз калийного удобрения уменьшается накопление  $^{137}\text{Cs}$  вегетативной массой травостоя, определили, что зависимость — сильная, коэффициент корреляции ( $r$ ) был равен 0,89-0,97.

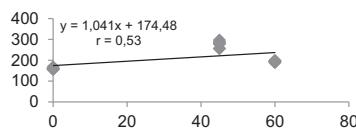
При ведении кормопроизводства в условиях радиоактивного загрязнения необходимо понимать, что повышение продуктивности заливного луга посредством применения азотного удобрения ведет к повышению накопления  $^{137}\text{Cs}$  в продукции кормопроизводства, калийное удобрение нивелирует данный отрицательный эффект.

В Брянской области отрасль животноводства постоянно развивается, увеличивается поголовье скота, его продуктивность. Однако в какой-то момент развитие животноводства «упрется» в нехватку площадей кормовых угодий, как основной кормовой базы животноводства, главным резервом для ведения кормопроизводства в Брянской области являются естественные кормовые угодья, загрязненные  $^{137}\text{Cs}$  [10]. Площадь кормовых угодий в Брянской области с уровнем радиоактивного загрязнения выше 37 кБк/м<sup>2</sup> составляет 118733 га или 29% от всей площади кормовых угодий, а с загрязнением выше 555 кБк/м<sup>2</sup> — 17134 га, которые находятся на территории юго-западных районов области [11].

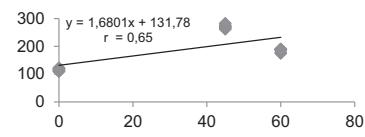




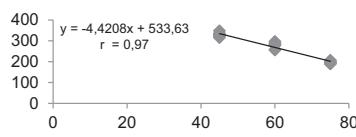
Период первого укоса



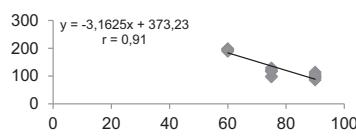
Период второго укоса



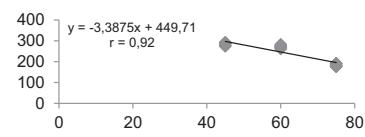
а



б



в

г  
д  
е

Доза минерального удобрения, кг д.в.

Рисунок. Зависимость между накоплением  $^{137}\text{Cs}$  зеленой массой заливного луга и дозами минерального удобренияFigure. Relationship between accumulation  $^{137}\text{Cs}$  green mass of filling meadow and doses of mineral fertilizer

Адаптация радиоактивно загрязненных пастбищ с целью получения зеленых кормов с допустимым уровнем содержания  $^{137}\text{Cs}$  невозможна без применения высоких доз калийного удобрения. Показатель агроэкологической пригодности (ПАП) зависит как от содержания  $^{137}\text{Cs}$  в зеленом корме, так и от норматива содержания  $^{137}\text{Cs}$  в корме, поэтому адаптацию радиоактивно загрязненных пастбищ можно регулировать как посредством применения минерального удобрения, так и смягчения нормативов содержания  $^{137}\text{Cs}$  в корме.

В условиях проведения эксперимента наибольший показатель ПАП — 16,77 и 16,47 соответственно в период первого и второго укосов выявили на контрольном варианте, установили, что с ростом доз калийного удобрения ПАП снижался. При действующем нормативе (100 Бк/кг) содержания  $^{137}\text{Cs}$  в зеленых кормах использовать радиоактивно загрязненные заливные луга в условиях эксперимента в качестве пастбищ возможно только при применении в период первого укоса минерального удобрения в дозе  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ , а в период второго укоса —  $\text{N}_{60}\text{K}_{75}$  (табл. 2).

Установили, что кратность снижения  $^{137}\text{Cs}$  в зеленом корме зависела от доз калийного удобрения, так с ростом доз калийного удобрения росла и кратность снижения, наибольшую кратность снижения — 16,9 и 18,8 соответственно в период первого и второго укосов обнаружили при применении калийного удобрения в дозе 90 кг д.в.

Вынос  $^{137}\text{Cs}$  с урожаем зависел как от содержания  $^{137}\text{Cs}$  в зеленом корме, так и от продуктивности заливного луга, отсюда наибольший вынос  $^{137}\text{Cs}$  — 6539 кБк/га выявили в период первого укоса на контрольном варианте.

Коэффициент накопления зависел как от содержания  $^{137}\text{Cs}$  в зеленом корме, так и от содержания  $^{137}\text{Cs}$  в почве, установили, что без применения калийного удобрения коэффициент накопления был около 1 ед., применение калийного удобрения в десятки раз снижало данный

Таблица 2. Радиоэкологические параметры заливного луга  
Table 2. Radioecological parameters of the flood meadow

Вариант	Кс, раз	Вынос $^{137}\text{Cs}$ с урожаем, кБк/га	Кн, ед.	ПАП, ед.
Период первого укоса				
Контроль	—	6539	1,01	16,77
$\text{P}_{60}\text{K}_{45}$	7,9	2350	0,10	2,14
$\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{45}$	5,1	3924	0,14	3,30
$\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	6,0	4424	0,11	2,78
$\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{75}$	8,5	3253	0,07	1,97
$\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	10,5	2756	0,06	1,60
$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	8,6	3943	0,07	1,94
$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{75}$	14,6	2485	0,08	1,15
$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$	16,9	2296	0,10	0,99
Период второго укоса				
Контроль	—	3130	0,99	16,47
$\text{K}_{45}$	8,7	719	0,09	1,89
$\text{N}_{45}\text{K}_{45}$	5,8	1455	0,12	2,85
$\text{N}_{45}\text{K}_{60}$	6,1	2164	0,11	2,71
$\text{N}_{45}\text{K}_{75}$	9,0	1579	0,06	1,84
$\text{K}_{60}$	14,2	1079	0,04	1,16
$\text{N}_{60}\text{K}_{60}$	8,9	2167	0,06	1,85
$\text{N}_{60}\text{K}_{75}$	17,0	1230	0,07	0,97
$\text{N}_{60}\text{K}_{90}$	18,8	1185	0,08	0,88

Таблица 3. Модель миграции  $^{137}\text{Cs}$  по пищевой цепи в системе «растение-животное-человек»  
Table 3. Migration model  $^{137}\text{Cs}$  by food chain in “plant-animal-human” system

Вариант	Уа молока	Уа мяса	Уа молока	Уа мяса	Уа молока	Уа мяса	Доза внутреннего облучения за счет молока и мяса, мкЗв/год
	3М-50	3М-25	3М-10	3М-50	3М-25		
Период первого укоса							
Контроль	838	3353	419	1677	168	671	3557
$\text{P}_{60}\text{K}_{45}$	107	427	53	214	21	85	453
$\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{45}$	165	660	82	330	33	132	700
$\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	139	557	70	278	28	111	590
$\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{75}$	99	394	49	197	20	79	418
$\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	80	321	40	160	16	64	340
$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	97	389	49	194	19	78	412
$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{75}$	57	229	29	115	11	46	243
$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$	50	199	25	99	10	40	211
Период второго укоса							
Контроль	824	3295	412	1647	165	659	3495
$\text{K}_{45}$	95	378	47	189	19	76	401
$\text{N}_{45}\text{K}_{45}$	143	571	71	285	29	114	605
$\text{N}_{45}\text{K}_{60}$	135	541	68	271	27	108	574
$\text{N}_{45}\text{K}_{75}$	92	367	46	184	18	73	390
$\text{K}_{60}$	58	232	29	116	12	46	246
$\text{N}_{60}\text{K}_{60}$	93	371	46	185	19	74	393
$\text{N}_{60}\text{K}_{75}$	48	194	24	97	10	39	206
$\text{N}_{60}\text{K}_{90}$	44	176	22	88	9	35	186
							93

Примечание: Уа — удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  продукта питания, Бк/л(кг); 3М — зеленая масса заливного луга, пошедшая на корм скоту, кг.

показатель, что подтверждает роль калийного удобрения как барьера перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в растительность (табл. 2)

Для определения роли минерального удобрения в возможности использования радиоактивно загрязненных заливных лугов в производстве зеленых кормов построили модель прогноза миграции  $^{137}\text{Cs}$  по трофической цепи (растение-животное-человек) (табл. 3).

Установили, что снижать поступление  $^{137}\text{Cs}$  в продукцию животноводства возможно как за счет ограничения перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в корм, так и за счет контроля поедания радиоактивно загрязненного корма.

Использование заливных лугов с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  выше 555 кБк/м<sup>2</sup> в условиях запада Брянской области в качестве пастбища недопустимо без применения высоких доз



калийного удобрения. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в полученных молоке и мясе КРС превышает уровни, регламентированные Техническим регламентом таможенного союза «О безопасности пищевой продукции», соответственно 100 и 200 Бк/л(кг).

Согласно нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009), суммарная доза внешнего и внутреннего (за счет поступления радионуклидов в организм) облучения населения не должна превышать 1000 мкЗв/год. В ситуациях, когда уровни облучения превышают допустимые, очень важно дать оценку структуры дозовой нагрузки, то есть оценить вклад в общую нагрузку отдельных составляющих. В работе оценивали вклад молока и мяса при пастбищном выращивании скота.

Определили, что использование минерального удобрения в дозах, предусмотренных схемой эксперимента, позволяет снижать дозу внутреннего облучения человека.

Полученные результаты настоящего исследования необходимо применять в сельском хозяйстве в условиях производства кормов на радиоактивно загрязненных заливных лугах, а также в учебном процессе для формирования у студентов понимания возможности кормопроизводства даже в условиях высокого уровня радиоактивного загрязнения.

**Выводы.** Территорию заливных лугов запада Брянской области, с плотностью загрязнения более 555 кБк/м<sup>2</sup>, даже по прошествии 35 лет с момента Чернобыльской аварии без применения защитных мероприятий нельзя использовать в кормопроизводстве.

Азотные удобрения повышают продуктивность заливных лугов, но являются фактором повышения накопления  $^{137}\text{Cs}$  зеленой массой естественного травостоя.

Калийные удобрения достоверно снижают накопление  $^{137}\text{Cs}$  вегетативной массой естественного травостоя и нивелируют негативное действие азотного удобрения.

Возврат радиоактивно загрязненных кормовых угодий в сельскохозяйственный оборот возможен только при применении повышенных доз калийных удобрений, которые служат барьера в миграции  $^{137}\text{Cs}$  в системе «почва-растение-животное-человек».

## Список источников

1. Косолапов В.М. Современное кормопроизводство — основа успешного развития АПК и продовольственной безопасности России // Земледелие. 2009. № 6. С. 3-5.

## Информация об авторах:

**Силаев Андрей Леонидович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой агрохимии, почвоведения и экологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7837-4254>, kafeap@bgsha.com

**Белous Николай Максимович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5793-6454>, belous\_nm@mail.ru

**Смольский Евгений Владимирович**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7534-5893>, sev\_84@mail.ru

**Малавко Галина Петровна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2844-3324>, malyavkogp@bgsha.com

## Information about the authors:

**Andrey L. Silaev**, candidate of agricultural sciences, associate professor, head of the department of agrochemistry, soil science and ecology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7837-4254>, kafeap@bgsha.com

**Nikolay M. Belous**, doctor of agricultural sciences, professor, professor of the department of agrochemistry, soil science and ecology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5793-6454>, belous\_nm@mail.ru

**Evgeny V. Smolsky**, doctor of agricultural sciences, associate professor, professor of the department of agrochemistry, soil science and ecology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7534-5893>, sev\_84@mail.ru

**Galina P. Malyavko**, doctor of agricultural sciences, professor, vice-rector for research and innovation, professor of the department of agrochemistry, soil science and ecology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2844-3324>, malyavkogp@bgsha.com

2. Фесенко С.В., Санжарова Н.И., Исамов Н.Н., Шубина О.А. Авария на Чернобыльской АЭС: защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61. № 3. С. 261-276.

3. Белоус Н.М. Развитие радиоактивно загрязненных территорий Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Вестник Брянской ГСХА. 2018. № 1. С. 3-11.

4. Аверин В.С., Подоляк А.Г. Роль защитных мероприятий для снижения доз облучения населения и получения нормативно чистой сельскохозяйственной продукции // Белорусское сельское хозяйство. 2010. № 4. С. 18-22.

5. Алексахин Р.М., Лунев М.И. Техногенное загрязнение сельскохозяйственных угодий (исследования, контроль и реабилитация территорий) // Плодородие. 2011. № 3. С. 32-35.

6. Прозыаников, Е.В., Силаев, А.Л., Кошев, И.А. (2000). Specific ecological features of  $^{137}\text{Cs}$  behavior in river floodplains. *Russian Journal of Ecology*, vol. 31, no. 2, pp. 132-135.

7. Фокин А.Д., Лурье А.А., Трошин С.П. Сельскохозяйственная радиология. СПб: Лань, 2011. 416 с.

8. 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 // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2015. № 4. С. 91-99.

9. Пакшина С.М., Шаповалов В.Ф., Чесалин С.Ф., Смольский Е.В., Коренев В.Б. Биовынос  $^{137}\text{Cs}$  из почвы многолетними мятликовыми травами в связи с минеральным питанием и доступностью почвенной влаги // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 4. С. 832-841.

10. Гамко Л.Н., Подольников В.Е., Малавко 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.

11. Панов А.В. Возвращение радиоактивно загрязненных территорий к нормальному жизнедеятельности: современные проблемы и пути решения (к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС) // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021. № 1. С. 5-13.

## References

- Kosolapov, V.M. (2009). Sovremennoe kormoproduktovstvo — osnova uspeshnogo razvitiya APK i prodomoystvennoi bezopasnosti Rossii [Modern feed production is the basis for the successful development of the agro-industrial complex and food security of Russia]. Zemledelie, no. 6, pp. 3-5.
- Fesenko, S.V., Sanzharova, N.I., Isamov, N.N., Shubina, O.A. (2021). Avariya na Chernobyl'skoi AEHS: zashchitnye i rehabilitatsionnye meropriyatiya v sel'skom khozyaistve [Chernobyl accident: protective and rehabilitation measures in agriculture]. Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya [Radiation biology. Radioecology], vol. 61, no. 3, pp. 261-276.
- Belous, N.M. (2018). Razvitiye radioaktivno zagryaznennykh territorii Bryanskoi oblasti v otdalennyi period posle avari na Chernobyl'skoi AEHS [The development of radioactive contaminated territories of the Bryansk region in the distant period after the accident at the Chernobyl nuclear power plant]. Vestnik Bryanskoi GSKHA [Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy], no. 1, pp. 3-11.
- Averin, V.S., Podolyak, A.G. (2010). Rol' zashchitnykh meropriyatiy dlya snizheniya doz oblucheniya naseleniya i polucheniya normativno chistoi sel'skokhozyaistvennoi produktsii [The role of protective measures to reduce doses of exposure to the population and obtain normative clean agricultural products]. Belorusskoe sel'skoe khozyaistvo [Belarusian agriculture], no. 4, pp. 18-22.
- Aleksakhin, R.M., Lunev, M.I. (2011). Tekhnogennoe zagryaznenie sel'skokhozyaistvennykh ugodii (issledovaniya, kontrol' i rehabilitatsiya territorii) [Technogenic pollution of agricultural land (research, control and rehabilitation of territories)]. Plodorodie [Fertility], no. 3, pp. 32-35.
- Prosyannikov, E.V., Silaev, A.L., Koshelev, I.A. (2000). Specific ecological features of  $^{137}\text{Cs}$  behavior in river floodplains. Russian Journal of Ecology, vol. 31, no. 2, pp. 132-135.
- Fokin, A.D., Lur'e, A.A., Troshin, S.P. (2011). Sel'skokhozyaistvennaya radiologiya [Agricultural radiology]. Saint-Petersburg, Lan'Publ., 416 p.
- Panov, A.V., Isamov, N.N., Sanzharova, N.I., Rybalko, Yu.A. (2015). Radiologicheskii kontrol' produktsii zhivotnovodstva i kormoproduktov yugo-zapadnykh raionov Bryanskoi oblasti, podvergshikhsya vozdeistviyu avari na CHAEHS [Radiological control of animal products and fodder production in south-west districts of Bryansk region, affected by the Chernobyl accident]. Problemy veterinarnoi sanitarii, gigiene i ekologii [Problems on veterinary sanitation, hygiene and ecology], no. 4, pp. 91-99.
- Pakshina, S.M., Shapovalov, V.F., Chesalin, S.F., Smol'skii, E.V., Korenev, V.B. (2019). Biovynos  $^{137}\text{Cs}$  iz pochvy mnogoletnimi myatlikovymi travami v svyazi s mineral'nym pitaniem i dostupnost'yu pochvennoi vlagi [Biografting  $^{137}\text{Cs}$  perennial bluegrass from the soil due to mineral nutrition and availability of soil moisture]. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural biology], vol. 54, no. 4, pp. 832-841.
- Gamko, L.N., Podol'nikov, V.E., Malyavko, I.V., Nurikev, G.G., Mysik, A.T. (2016). Kachestvennye korma — put' k polucheniyu vysokoy produktivnosti zhivotnykh i ptitsy i ekologicheski chistoi produktsii [High-quality feed — a way to obtain high productivity of animals and poultry and environmentally friendly products]. Zootekhnika, no. 5, pp. 6-7.
- Panov, A.V. (2021). Vozvrashchenie radioaktivno zagryaznennykh territorii k normal'noi zhiznedeystviyu: sovremennoye problemy i puti resheniya (k 35-letiyu avari na Chernobyl'skoi AEHS) [Return of radioactive contaminated areas to normal life: modern problems and solutions (to the 35th anniversary of the Chernobyl accident)]. Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psichologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychainykh situatsiyakh [Mediko-biological and socio-psychological problems of safety in emergency situations], no. 1, pp. 5-13.

