

РОЛЬ МИНЕРАЛЬНОГО КАЛИЯ В СНИЖЕНИИ ПОСТУПЛЕНИЯ ^{137}Cs В КОРМОВЫЕ ТРАВЫ И ПОВЫШЕНИИ ИХ УРОЖАЙНОСТИ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ УГОДЬЯХ

Н.М. БЕЛОУС, Е.В. СМОЛЬСКИЙ, С.Ф. ЧЕСАЛИН, В.Ф. ШАПОВАЛОВ

Внедрение защитных мероприятий на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных территориях, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, снижает производство сельскохозяйственной продукции, не соответствующей нормативам по радиационной безопасности, и дозу общего облучения. На естественных кормовых угодьях в условиях юго-запада Брянской области мы изучали эффективность использования минерального питания и доли в нем калийного удобрения для получения продукции кормопроизводства, соответствующей нормативу по удельной активности. Почва опытного участка — аллювиальная дерново-оглеенная песчаная с содержанием гумуса 3,08-3,33 %, P_2O_5 — 620-840 мг/кг, K_2O — 133-180 мг/кг, pH_{KCl} 5,2-5,6. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в результате Чернобыльской катастрофы в 2000-2008 годах составляла 1221-1554 кБк/м², в 2009-2014 годах — 559-867 кБк/м². В 2000-2008 годах высевали смесь многолетних мятликовых трав в составе коострец безостый *Bromus inermis* (8 кг/га), овсяница луговая *Festuca pratensis* (8 кг/га), тимофеевка луговая *Phleum pratense* (5 кг/га), канареечник тростниковидный *Phalaris arundinacea* (5 кг/га), лисохвост луговой *Alopecurus pratensis* (5 кг/га); в 2009-2014 годах смесь включала овсяницу луговую *Festuca pratensis* (6 кг/га), лисохвост луговой *Alopecurus pratensis* (5 кг/га), двукосточник тростниковый *Phalaris arundinacea* (7 кг/га). В качестве удобрений применяли аммиачную селитру, суперфосфат простой гранулированный, хлористый калий. Система применения удобрений в экспериментах предусматривала внесение 1/2 дозы азотных и калийных и всей дозы фосфорных удобрений под первый укос и 1/2 дозы азотных и калийных удобрений после проведения укоса. Минимальная урожайность зеленой массы с наибольшей удельной активностью корма была получена в варианте без применения минеральных удобрений. Максимальная урожайность 30,9 т/га в первый период исследований получена при внесении полного минерального удобрения в дозе $\text{N}_{60}\text{P}_{90}\text{K}_{60}$. Увеличение доз элементов питания и их соотношений не приводило к значимой прибавке урожайности. При этом азотные удобрения увеличили удельную активность корма, который при дозе $\text{N}_{60}\text{P}_{90}\text{K}_{60}$ и соотношении N:K, равном 1:1, не соответствовал нормативу. Поэтому для получения высоких урожаев зеленой массы многолетних трав с удельной активностью, не превышающей допустимые значения, в зоне с плотностью загрязнения 1221-1554 кБк/м² мы рекомендуем применять полное минеральное удобрение с соотношением N:K, равным 1:1,5. Во второй период исследований оптимальным для получения высокой урожайности зеленой массы надлежащего качества было использование полного минерального удобрения в дозе $\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{75}$. Без применения удобрений связь между урожайностью и удельной активностью зеленой массы трав оказалась слабой положительной, использование удобрений при соотношении N:K, равном 1:1, делало связь слабой, но отрицательной. Дальнейшее увеличение доли калия усиливало связь. Полученные данные о снижении удельной активности ^{137}Cs в зеленом корме подтвердили, что именно калийные удобрения наиболее эффективны при реабилитации радиоактивно загрязненных кормовых угодий. Проведен расчет миграции ^{137}Cs из кормов в продукцию животноводства. Главным фактором, ограничивающим переход ^{137}Cs из почвы в растения и далее по пищевой цепи, оказалось использование калийных удобрений, позволяющих снизить удельную активность ^{137}Cs в продукции животноводства и внутреннюю дозу облучения человека.

Ключевые слова: калийные удобрения, кормовые угодья, ^{137}Cs , зеленая масса растений, молоко, мясо, доза внутреннего облучения.

Авария на Чернобыльской АЭС привела к резкому увеличению содержания в природной среде искусственных радионуклидов, в том числе основного дозообразующего ^{137}Cs . Уникальность этой аварии обусловлена не только размерами выброса радиоактивных веществ и территорий, подвергшихся интенсивному радиоактивному загрязнению, но и последствиями для сельского хозяйства, а также материально-техническими затратами, потребовавшимися для их смягчения (1-3).

В настоящее время в Брянской области Российской Федерации площадь сельскохозяйственных угодий с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs свыше 37 кБк/м² составляет 422,4 тыс. га, в том числе пашни —

271,7 тыс. га, сенокосов и пастбищ — 150,7 тыс. га (4-6). Производство продуктов питания с допустимым и более низким содержанием радионуклидов имеет приоритетное значение, поскольку в отдаленный период после аварии в формировании доз облучения преобладает внутреннее облучение за счет потребления загрязненной радионуклидами пищи (7-9).

Внедрение защитных мероприятий на радиоактивно загрязненных территориях снижает выход сельскохозяйственной продукции, не соответствующей нормативам по радиационной безопасности, и дозу общего облучения (10-12). За послеаварийный период российскими, украинскими и белорусскими учеными были проведены многочисленные исследования миграции радионуклидов в агроэкосистемах. На их основе изданы рекомендации по ведению агропромышленного производства (13-15).

Прогноз загрязнения урожая сельскохозяйственных культур на автоморфных почвах легкого гранулометрического состава имеет достаточно высокую степень достоверности, так как основан на огромном практическом материале (16-18). При этом поймы рек относятся к критическим ландшафтам, поскольку здесь постоянно происходит аккумуляция радионуклидов (19-21). Как следствие, детальное изучение зависимости между накоплением радионуклидов, применением средств химизации и продуктивностью кормовых угодий по-прежнему остается актуальным (22-24). Естественные угодья — основной источник кормов для крупного рогатого скота подворья, где чаще всего производится молоко с превышением допустимого содержания ^{137}Cs . Отметим, что количество продукции со сверхнормативным радиоактивным загрязнением остается высоким.

Основной критерий, определяющий необходимость защитных мероприятий в сельском хозяйстве, — превышение нормативов содержания радионуклидов в продукции (25, 26). Чтобы оценить оправданность таких мероприятий, следует учитывать как затраты на их проведение, так и риск радиационных эффектов облучения (коллективную дозу), который удается предотвратить (27, 28). Углубленное изучение состояния и возможностей использования радиоактивно загрязненных территорий позволяет обосновать адекватные варианты ведения сельскохозяйственного производства в зонах с повышенным содержанием почвенных радионуклидов (29, 30).

Мы впервые выполнили долгосрочные комплексные исследования эффективности калийных удобрений и их разных сочетаний с другими минеральными удобрениями для повышения продуктивности сеяной мятликовой травосмеси в условиях естественных пойменных угодий и обосновали дозы внесения калия, оптимальные для снижения поступления ^{137}Cs в продукцию в системе почва—растение—животное—человек.

Цель работы — изучение роли калийных удобрений в мероприятиях по реабилитации радиоактивно загрязненных естественных кормовых угодий.

Методика. Стационарный опыт проводился в Новозыбковском районе Брянской области в 2000-2014 годах. Почва опытного участка — аллювиальная дерново-оглеенная песчаная с содержанием гумуса 3,08-3,33 %, P_2O_5 — 620-840 мг/кг, K_2O — 133-180 мг/кг, pH_{KCl} 5,2-5,6. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в результате Чернобыльской катастрофы в 2000-2008 годах составляла 1221-1554 кБк/м², в 2009-2014 годах — 559-867 кБк/м². Агротехнические мероприятия предусматривали дискование (бороны БДФ-2,4, Россия) и вспашку плугом ПН-3-35 (Россия) с последующим посевом типичной для региона мятликовой травосмеси.

В 2000-2008 годах высевали смесь многолетних мятликовых трав, включающую кострец безостый (8 кг/га), овсяницу луговую (8 кг/га), ти-

мофеевку луговую (5 кг/га), канареечник тростниковидный (5 кг/га) и лисохвост луговой (5 кг/га). В 2009-2014 годах смесь состояла из овсяницы луговой (6 кг/га), лисохвоста лугового (5 кг/га) и двукисточника тростникового (7 кг/га).

В качестве удобрений применяли аммиачную селитру, суперфосфат простой гранулированный, хлористый калий (Россия). Дозы удобрений в 2000-2008 годах: контроль (без удобрений), $P_{90}K_{120}$, $P_{120}K_{180}$, $N_{120}P_{90}K_{120}$, $N_{120}P_{90}K_{180}$, $N_{120}P_{90}K_{240}$, $N_{180}P_{120}K_{180}$, $N_{180}P_{120}K_{270}$, $N_{180}P_{120}K_{360}$; в 2009-2014 годах: контроль (без удобрений), $P_{60}K_{90}$, $P_{60}K_{120}$, $N_{90}P_{60}K_{90}$, $N_{90}P_{60}K_{120}$, $N_{90}P_{60}K_{150}$, $N_{120}P_{60}K_{120}$, $N_{120}P_{60}K_{150}$, $N_{120}P_{60}K_{180}$.

Урожайность многолетних мятликовых трав учитывали методом сплошной поделяночной уборки и отбора пробного снопа. В год проводили два укоса (первый укос — с 1-10 июня, второй укос — в период с 23 августа по 1 сентября).

Удельную активность ^{137}Cs в исследуемых растительных образцах определяли на универсальном спектрометрическом комплексе УКС Гамма Плюс (НПП «Доза», Россия), аппаратная ошибка измерений не превышала 30 %. Удельную активность молока и мяса рассчитывали как произведение суточного поступления корма (зеленая масса 50 кг), удельной активности корма и равновесного коэффициента перехода радионуклида в продукцию животноводства; дозу внутреннего облучения, получаемую за счет молока и мяса, определяли согласно методическим указаниям (31). Потребление молока и молочных изделий в пересчете на молоко в год принимали равными 200,8 л, мяса — 31,4 кг (согласно закону Брянской области от 08.06.2001 № 45-3 в редакции от 12.10.2001 «О потребительской корзине в Брянской области»).

Повторность вариантов опыта 3-кратная. Полученные данные подвергали дисперсионному и корреляционному анализу с использованием программ Microsoft Excel 7.0 и Statistica 7.0 («StatSoft, Inc.», США).

Результаты. Естественные угодья играют важнейшую роль в кормопроизводстве. Природные и сеяные луга дают дешевый и полноценный корм. Продуктивность этих угодий повышают главным образом за счет внесения азотных удобрений.

В условиях проводимого эксперимента урожайность зеленой массы сеяной мятликовой травосмеси без применения удобрений варьировала в зависимости от периода проведения эксперимента и составила для первого укоса 5,8-6,5 т/га, для второго — 2,5-2,8 т/га (табл. 1).

С 2000 по 2014 годы мы использовали две схемы внесения удобрений, которые различались как количеством основных питательных веществ, так и соотношением между ними. Увеличение количества фосфорно-калийных удобрений под первый укос от $P_{90}K_{60}$ до $P_{120}K_{90}$ привело к достоверному росту урожайности в 1,8 раза по сравнению с контролем, при этом достоверной разницы в урожайности между двумя указанными вариантами с применением удобрений не обнаружили. Аналогичные данные были получены при возрастании доз от $P_{60}K_{45}$ до $P_{60}K_{60}$. Внесение только калийных удобрений под второй укос в возрастающих дозах (от K_{60} до K_{90}) также приводило к достоверному увеличению урожайности в 3,0 раза по сравнению с контролем, снижение доз калийных удобрений от K_{60} до K_{45} статистически значимо не увеличивало урожайность.

Внесение калия K_{60} по фону азотно-фосфорных удобрений $N_{60}P_{90}$ достоверно повышало урожайность — в 5,3 раза по сравнению с контролем и в 3,0 раза относительно варианта с фосфорно-калийными удобрениями

ями. Дальнейшее увеличение доз калийных удобрений до K_{120} вело к достоверному снижению урожайности. Применение возрастающих доз калия (от K_{90} до K_{180}) по фону азотно-фосфорных удобрений $N_{90}P_{120}$ вызывало достоверный рост урожайности по сравнению с таковой в контроле и при применении фосфорно-калийных удобрений.

Использование доз калия, возрастающих от K_{45} до K_{75} , по фону $N_{45}P_{60}$ приводило к достоверному увеличению урожайности по сравнению с контролем (в 3,6 раза) и фосфорно-калийными удобрениями (в 1,8 раза). При этом не было статистически значимых различий между вариантами $N_{45}P_{60}K_{45}$ и $N_{45}P_{60}K_{75}$. Сходную тенденцию отмечали при повышении доз калия от K_{60} до K_{90} по фону $N_{60}P_{60}$.

Увеличение количества внесенного калия от K_{60} до K_{90} по фону азотных удобрений N_{60} обусловило достоверное повышение урожайности по сравнению с контролем и показателем в случае только калийных удобрений. Однако использование $N_{60}K_{90}$ не способствовало достоверному повышению урожайности по сравнению с $N_{60}K_{60}$. Аналогичные наблюдения были сделаны при увеличении доз калия от K_{90} до K_{120} по фону N_{90} ; от K_{45} до K_{75} по фону N_{45} и от K_{60} до K_{90} по фону N_{90} .

При радиоактивном загрязнении территории важнейшим показателем качества получаемых кормов служит их удельная активность. Ветеринарно-санитарные требования определяют необходимость мероприятий для получения зеленой массы трав с максимальным допустимым загрязнением кормов ^{137}Cs 100 Бк/кг (32).

1. Продуктивность ценоза многолетних мятликовых трав и миграция ^{137}Cs в пищевой цепи на естественных кормовых угодьях в разные периоды в зависимости от доз минеральных удобрений (Новозыбковский р-н, Брянская обл.)

Вариант	Урожайность, т/га	$U_{A_{\text{корма}}}$	$U_{A_{\text{молока}}}$	$U_{A_{\text{мяса}}}$	ДВО
Среднее за 2000-2008 годы					
<i>Первый укос</i>					
Контроль	5,8	942	471	1884	1999
$P_{90}K_{60}$	10,3	92	46	184	195
$P_{120}K_{90}$	11,1	31	16	62	66
$N_{60}P_{90}K_{60}$	30,9	326	163	652	692
$N_{60}P_{90}K_{90}$	24,6	87	44	174	185
$N_{60}P_{90}K_{120}$	23,5	50	25	100	106
$N_{90}P_{120}K_{90}$	33,7	103	52	206	219
$N_{90}P_{120}K_{135}$	29,1	37	19	74	78
$N_{90}P_{120}K_{180}$	30,0	17	9	34	36
НСП ₀₅	3,9	65	—	—	—
<i>Второй укос</i>					
Контроль	2,8	960	480	1920	2037
K_{60}	8,3	108	54	216	229
K_{90}	9,3	34	17	68	72
$N_{60}K_{60}$	16,0	390	195	780	827
$N_{60}K_{90}$	16,7	106	53	212	225
$N_{60}K_{120}$	17,5	58	29	116	123
$N_{90}K_{90}$	18,7	125	63	250	265
$N_{90}K_{135}$	17,0	41	21	82	87
$N_{90}K_{180}$	16,8	19	10	38	40
НСП ₀₅	2,4	66	—	—	—
Среднее за 2009-2014 годы					
<i>Первый укос</i>					
Контроль	6,5	887	444	1774	1882
$P_{60}K_{45}$	13,3	126	63	252	267
$P_{60}K_{60}$	14,3	84	42	168	178
$N_{45}P_{60}K_{45}$	23,6	273	137	546	579
$N_{45}P_{60}K_{60}$	24,9	146	73	292	310
$N_{45}P_{60}K_{75}$	27,9	96	48	192	204
$N_{60}P_{60}K_{60}$	28,1	121	61	242	257
$N_{60}P_{60}K_{75}$	30,0	82	41	164	174
$N_{60}P_{60}K_{90}$	31,7	58	29	116	123
НСП ₀₅	6,2	108	—	—	—

	Второй укос				
Контроль	2,5	807	404	1614	1712
K ₄₅	5,6	106	53	212	225
K ₆₀	6,5	89	45	178	189
N ₄₅ K ₄₅	11,2	271	136	542	575
N ₄₅ K ₆₀	11,8	164	82	328	348
N ₄₅ K ₇₅	12,8	103	52	206	219
N ₆₀ K ₆₀	14,3	126	63	252	267
N ₆₀ K ₇₅	15,0	83	42	166	176
N ₆₀ K ₉₀	15,7	57	29	114	121
НСР ₀₅	4,7	136	—	—	—

Примечание. УА_{корма} — удельная активность корма, Бк/кг; УА_{молока} — удельная активность молока, Бк/кг; УА_{мяса} — удельная активность мяса, Бк/кг; ДВО — доза внутреннего облучения, мЗв. Прочерки означают, что наименьшую существенную разницу не рассчитывали.

В отсутствие удобрений удельная активность зеленой массы травосмеси в зависимости от периода проведения эксперимента превышала допустимый порог для первого укоса в 8,9-9,4 раза, второго — в 8,1-9,6 раза (табл. 1). Внесение фосфорно-калийных удобрений под первый укос в дозах от P₉₀K₆₀ до P₁₂₀K₉₀ достоверно снижало этот показатель. При возрастающем внесении удобрений в дозах от P₆₀K₄₅ до P₆₀K₆₀ (данные за 2009-2014 годы) мы выявили достоверное снижение удельной активности корма. Однако только доза P₆₀K₆₀ позволяла получать корм, отвечающий требованиям норматива. Внесение возрастающих доз калийных удобрений под второй укос — от K₆₀ до K₉₀ и от K₄₅ до K₆₀ — также достоверно снижало превышение допустимых значений, а при дозах K₉₀ в 2000-2008 годах и K₆₀ в 2009-2014 годах был получен корм, отвечающий нормативным требованиям.

Применение азотных удобрений в сочетании с фосфорно-калийными или калийными увеличивало удельную активность зеленой массы трав. Внесение возрастающих доз калийных удобрений позволяло снизить превышение допустимого порога для этого показателя. Так, использование K₉₀ по фону N₆₀P₉₀; K₁₃₅ по фону N₉₀P₁₂₀; K₇₅ по фону N₄₅P₆₀ и N₆₀P₆₀; K₁₂₀ по фону N₆₀; K₁₃₅ по фону N₉₀; K₇₅ по фону N₆₀ гарантировало получение зеленого корма, отвечающего ветеринарно-санитарным требованиям.

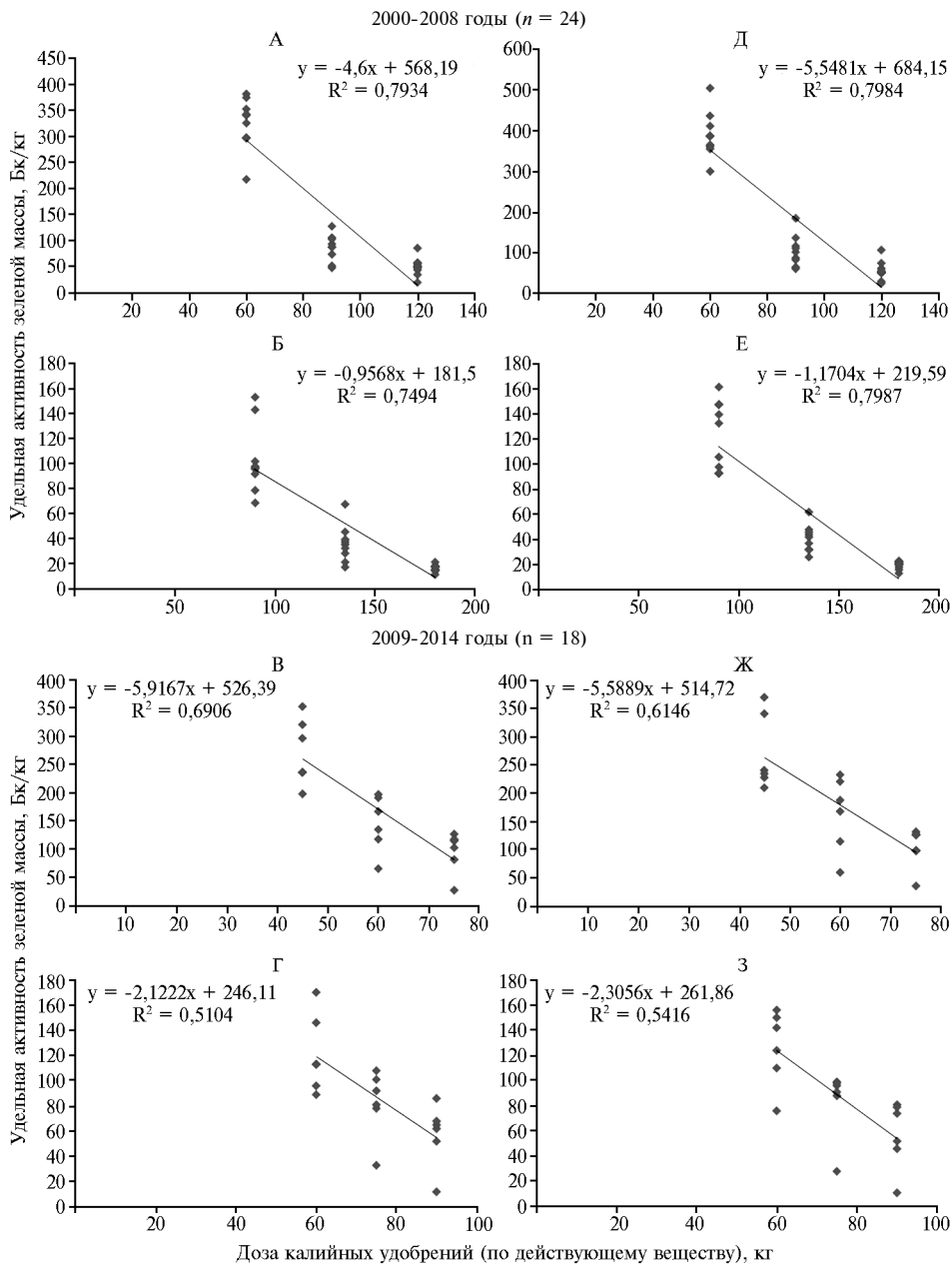
Анализируя переход ¹³⁷Cs из зеленой массы в продукцию животноводства, мы выявили, что для получения мяса, соответствующего требованиям СанПиН 2.3.2.1078-01 (160 Бк/кг) (33), необходимо применять калийные удобрения в дозе не менее K₉₀, фосфорно-калийные — не менее P₁₂₀K₉₀, азотно-калийные — не менее N₆₀K₉₀, полное минеральное удобрение — в дозах не менее N₆₀P₉₀K₁₂₀, N₉₀P₁₂₀K₁₃₅ и N₆₀P₆₀K₉₀. Таким образом, для получения молока соответствующего ветеринарно-санитарного качества (до 100 Бк/кг) мы рекомендуем использовать на пастбищах минеральные удобрения в исследованных нами дозах, за исключением N₆₀P₉₀K₆₀, N₄₅P₉₀K₄₅, N₆₀K₆₀ и N₄₅K₄₅.

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 (34). В ситуациях, когда облучение превышает допустимые пределы, очень важно дать оценку структуры дозовой нагрузки, то есть определить вклад в общую нагрузку отдельных составляющих. В настоящей работе мы оценивали вклад от молока и мяса при пастбищном выращивании скота в дозу внутреннего облучения. Также изучали влияние минеральных удобрений на ограничение поступления ¹³⁷Cs по цепи почва—корм—продукция животноводства—человек. Показано, что доза внутреннего облучения от молока и мяса не превышала 1 мЗв/год только при использовании на корм

2. Корреляционная зависимость между урожайностью многолетних мятликовых трав и удельной активностью корма при обработке естественных кормовых угодий минеральными удобрениями (Новозыбковский р-н, Брянская обл., 2000-2014 годы)

N:K удобрений	Коэффициент корреляции, r		Коэффициент детерминации, d_{yx}		n
	первый укос	второй укос	первый укос	второй укос	
Контроль (без удобрения)	0,17	0,29	0,03	0,08	15
1:1	-0,17	-0,18	0,03	0,03	30
1:1,5	-0,34	0,03	0,12	0,001	24

Примечание. n — число независимых парных наблюдений.



Удельная активность ^{137}Cs в зеленой массе смеси многолетних мятликовых трав в зависимости от возрастающих доз калийных удобрений при первом (слева) и втором (справа) укосе на разных фонах: А — $\text{N}_{60}\text{P}_{90}$, Б — $\text{N}_{90}\text{P}_{120}$, В — $\text{N}_{45}\text{P}_{60}$, Г — $\text{N}_{60}\text{P}_{60}$, Д — N_{60} , Е — N_{90} , Ж — N_{45} , З — N_{60} (n — число независимых парных наблюдений; Новозыбковский р-н, Брянская обл.).

скоту зеленой массы многолетних трав, выращенной при обработке минеральными удобрениями (см. табл. 1).

В условиях юго-запада Брянской области урожайность сеяной мятликовой травосмеси без применения минеральных удобрений остается низкой и сопоставима с урожайностью естественного травостоя без мероприятий по его улучшению (35-37). Только использование удобрений, в большей степени азотных, приводит к достоверному увеличению урожайности в несколько раз. Однако внесение азота ведет не только к росту урожайности, но и к повышению удельной активности зеленой массы трав. Стоит отметить, что урожайность — это интегральный показатель, характеризующий обеспечение растений всем необходимым для роста и развития. Мы выявили, что без применения удобрений связь между урожайностью и удельной активностью зеленой массы трав — слабая положительная; внесение удобрений при соотношении N:K, равном 1:1, делает связь слабой, но отрицательной. Дальнейшее увеличение доли калия в соотношении усиливало связь (табл. 2). Между внесением калийных удобрений и удельной активностью зеленой массы трав была установлена высокая корреляционная зависимость (рис.).

Итак, применение минеральных удобрений оказалось основным способом повышения продуктивности многолетних мятликовых трав на радиоактивно загрязненных пойменных кормовых угодьях в условиях Брянской области. Данные о снижении удельной активности ^{137}Cs в зеленом корме, полученные нами в долгосрочных комплексных исследованиях, подтвердили, что для подобных целей наиболее эффективны калийные удобрения. Они ограничивали переход ^{137}Cs из почвы в растения и далее по пищевой цепи, что приводило к уменьшению удельной активности ^{137}Cs в продукции животноводства и, как следствие, внутренней дозы облучения человека. При этом использование одного калийного удобрения не позволяло получать стабильно высокие урожаи зеленой массы трав, в то время как совместное применение NPK при правильном соотношении элементов минерального питания (N:K — 1:1,5) способствовало формированию высокой урожайности и предотвращало превышение санитарных норм радиационной безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alexakhin R., Geras'kin S. 25 years after the accident at the Chernobyl nuclear power plant: radioecological lessons. Radioprotection, 2011, 46: 595-600 (doi: 10.1051/radiopro/20116516s).
2. Fesenko S., Jacob P., Ulanovsky A., Chupov A., Bogdevich I., Sanzhargova N., Kashparov V., Panov A., Zhuchenka Yu. Justification strategies in the long term after the Chernobyl accident. J. Environ. Radioactiv., 2013, 119: 39-47 (doi: 10.1016/j.jenvrad.2010.08.012).
3. Зубец М.В., Пристер Б.С., Алексахин Р.М., Богдевич И.М., Кашпаров В.А. Актуальные проблемы и задачи научного сопровождения производства сельскохозяйственной продукции в зоне радиоактивного загрязнения Чернобыльской АЭС. Агроэкологічний журнал, 2011, 1: 5-20.
4. Харкевич Л.П., Белоус И.Н., Анишина Ю.А. Реабилитации радиоактивно загрязненных сенокосов и пастбищ. Брянск, 2011.
5. Харкевич Л.П., Белоус И.Н., Смольский Е.В., Чесалин С.Ф. Воздействие агротехнических и агрохимических мероприятий на урожайность многолетних трав и плодородие почвы. Плодородие, 2013, 4: 25-27.
6. Белоус И.Н., Харкевич Л.П., Шаповалов В.Ф. Влияние удобрений и обработки почвы на миграцию ^{137}Cs в почве кормовых угодий. Земледелие, 2012, 8: 8-10.
7. Bradshaw C., Kapustka L., Barnhouse L., Brown J., Ciffroy P., Forbes V., Geras'kin S., Kautsky U., Bréchnac F. Using an ecosystem approach to complement protection schemes based on organism-level endpoints. J. Environ. Radioactiv., 2014, 136: 98-104 (doi: 10.1016/j.jenvrad.2014.05.017).

8. Al-Masri M.S., Al-Hamwi A., Amin Y., Safieh M.B., Zarkawi M., Soukouti A., Dayyoub R., Voigt G., Fesenko S. Radionuclide transfer from feed to camel milk. *J. Environ. Radioactiv.*, 2014, 132: 8-14.
9. Jacob P., Ulanovsky A., Fesenko S., Bogdevitch I., Kashparov V., Lazarev N., Zhurba M., Sanzharova N., Isamov N., Panov A., Grebenshikova N., Zhuchenko Y. Rural areas affected by Chernobyl accident: Radiation exposure and remediation strategies. *The Science of the Total Environment*, 2009, 408(1): 14-25 (doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.09.006).
10. Алексахин Р.М., Лунёв М.И. Техногенное загрязнение сельскохозяйственных угодий (исследования, контроль и реабилитация территорий). *Плодородие*, 2011, 3: 32-35.
11. Панов А.В., Алексахин Р.М., Музалевская А.А. Изменение эффективности защитных мероприятий по снижению накопления Cs сельскохозяйственными растениями в различные периоды после аварии на Чернобыльской АЭС. *Радиационная биология. Радиоэкология*, 2011, 51(1): 134-153.
12. 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(96): 18-22.
13. Санжарова Н.И. Изменение радиационной обстановки в сельском хозяйстве после аварии на Чернобыльской АЭС. *Агрехимический вестник*, 2010, 2: 6-9.
14. Vidal M., Camps M., Rigol A., Rauret G., Grebenshikova N., Firsakova S., Podolyak A.G., Sanzharova N., Fesenko S., Ivanov Y., Levchuk S., Sauras T. Effectiveness of agricultural practice in decreasing radionuclide transfer to plants in natural meadows. *Radiat. Prot. Dosim.*, 2000, 92(1-3): 65.
15. Пристер Б.С., Козьмин Г.В., Ткаченко В.В. Основные закономерности поведения радиоактивных частиц в пищевой цепочке крупного рогатого скота. *Вісник аграрної науки*, 2011, 8: 49-52.
16. Богдевич И.М., Подоляк А.Г., Арастович Т.В., Жданович В.П. Зависимость накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в травяных кормах от степени окультуренности дерново-подзолистых почв. *Радиационная биология. Радиоэкология*, 2005, 45(2): 241-247.
17. Подоляк Л.Г., Тимофеев С.Ф., Гребенщикова Н.В., Арастович Т.В., Жданович В. Прогнозирование накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостоях основных типов лугов Белорусского Полесья по агрохимическим свойствам почв. *Радиационная биология. Радиоэкология*, 2005, 45(1): 100-111.
18. Muzalevskaya A.A., Panov A.V. Application of mathematical models to assess the role of natural processes, countermeasures and radioactive decay in reducing ^{137}Cs accumulation by agricultural crops. *European Researcher*, 2011, 5-1(7): 556-558.
19. Prosyannikov E.V., Osipov V.B., Chekin G.V. Behavior of ^{137}Cs in soils of transitional bogs. *Rus. J. Ecol.*, 2006, 37(6): 408-413.
20. Prosyannikov E.V., Silaev A.L., Koshelev I.A. Specific ecological features of ^{137}Cs behavior in river floodplains. *Rus. J. Ecol.*, 2000, 31(2): 132-135.
21. Подоляк А.Г., Арастович Т.В., Жданович В.П. Радиологическая оценка агрохимических приемов улучшения лугов, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr в результате аварии на Чернобыльской АЭС. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*, 2005, 2: 64-70.
22. Belous N.M., Sharovalov V.F., Belous I.N., Smolsky E.V. Radio-ecological substantiation of applying mineral fertilizers in the field fodder production on radioactively contaminated territories. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2015, 6: 1378-1385.
23. Корнев В.Б., Воробьева Л.А., Белоус И.Н. Урожайность кормовых и зерновых культур, и накопление ^{137}Cs в зависимости от внесения возрастающих доз калийных удобрений. *Вестник Брянской ГСХА*, 2013, 5: 3-6.
24. Подоляк А.Г., Богдевич И.М., Ивашкова И.И. Прогноз величины накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостоях основных типов лугов Белорусского Полесья по агрохимическим свойствам почв. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*, 2007, 3: 54-62.
25. Beresford N.A., Beaugelin-Seiller K., Burgos J., Cujic M., Fesenko S., Kryshev A., Pachal N., Real A., Su B.S., Tagami K., Vives i Batlle J., Vives-Lynch S., Wells C., Wood M.D. Radionuclide biological half-life values for terrestrial and aquatic wildlife. *J. Environ. Radioactiv.*, 2015, 150: 270-276 (doi: 10.1016/j.jenvrad.2015.08.018).
26. Semioshina N., Voigt G., Fesenko S., Savinkov A., Mukusheva M. A pilot study on the transfer of ^{137}Cs and ^{90}Sr to horse milk and meat. *J. Environ. Radioactiv.*, 2006, 85: 84-93 (doi: 10.1016/j.jenvrad.2005.06.001).
27. Подоляк А.Г., Богдевич И.М., Агеец В.Ю., Тимофеев С.Ф. Радиологическая оценка защитных мероприятий, применяемых в агропромышленном комплексе

- Республики Беларусь в 2000–2005 годах (к 20-й годовщине аварии на Чернобыльской АЭС). Радиационная биология. Радиоэкология, 2007, 47(3): 356–370.
28. Fesenko S., Isamov N., Howard B.J., Beresford N.A., Barnett C.L., Sanzharova N., Voigt G. Review of Russian language studies on radionuclide behavior in agricultural animals: part 3. Transfer to muscle. J. Environ. Radioactiv., 2009, 100: 215–231 (doi: 10.1016/j.jenvrad.2008.12.003).
 29. Fesenko S., Isamov N., Barnett C.L., Beresford N.A., Howard B.J., Sanzharova N., Fesenko E. Review of Russian language studies on radionuclide behavior in agricultural animals: biological half-lives. J. Environ. Radioactiv., 2015, 142: 136–151 (doi: 10.1016/j.jenvrad.2015.01.015).
 30. Garnier-Laplace J., Geras'kin S., Della-Vedova C., Beaugelin-Seiller K., Hinton T.G., Real A., Oudalova A. Are radiosensitivity data derived from natural field conditions consistent with data from controlled exposures? A case study of Chernobyl wildlife chronically exposed to low dose rates. J. Environ. Radioactiv., 2013, 121: 12–21 (doi: 10.1016/j.jenvrad.2012.01.013).
 31. Фокин А.Д., Лурье А.А., Трошин С.П. Сельскохозяйственная радиология. СПб, 2011.
 32. Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни содержания радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs . Ветеринарные правила и нормы. ВП 13.5.13/06–01. Ветеринарная патология, 2002, 4: 44–45.
 33. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078–01. М., 2002.
 34. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2523–09. Российская газета. Специальный выпуск, 2009, 171/1 (приложение).
 35. Харкевич Л.П., Шаповалов В.Ф., Белоус И.Н., Анишина Ю.А. Влияние средств химизации и способов обработки почвы на продуктивность и качество зеленой массы многолетних трав в условиях радиоактивного загрязнения. Проблемы агрохимии и экологии, 2011, 2: 29–33.
 36. Белоус И.Н., Прищеп Д.Н., Анишина Ю.А., Смольский Е.В. Оценка коренного улучшения лугов, загрязненных ^{137}Cs . Аграрная наука, 2011, 12: 11–13.
 37. Белоус И.Н., Кротова Е.А., Смольский Е.В. Эффективность агрохимических приемов при поверхностном улучшении естественных кормовых угодий, загрязненных ^{137}Cs . Агрохимия, 2012, 8: 18–24.

ФГБОУ ВО Брянский государственный
аграрный университет,

243365 Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, пос. Кокино,
ул. Советская, 2а,
e-mail: sev_84@mail.ru

Поступила в редакцию
18 февраля 2016 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2016, V. 51, № 4, pp. 543–552

POTASSIUM FERTILIZERS TO REDUCE ^{137}Cs ACCUMULATION AND INCREASE FODDER CROP HARVESTING ON THE RADIONUCLIDE-POLLUTED FLOODPLAIN PASTURES

N.M. Belous, E.V. Smol'skii, S.F. Chesalin, V.F. Shapovalov

Bryansk State Agrarian University, 2a, ul. Sovetskaya, Kokino, Vygonichskii Region, Bryansk Province, 243365 Russia, e-mail sev_84@mail.ru

Received February 18, 2016

doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.543eng

Abstract

Protective measures on the radionuclide-polluted rural territories after the Chernobyl accident are known to reduce agricultural production which is not corresponding to standards for radiation safety and a common radiation dose. On natural floodplain pastures in the southwest of the Bryansk region, we studied fodder crop yield and specific radioactivity as influenced by mineral fertilizers with regard to their total doses and potassium to nitrogen portion. The soil of the pastures was alluvial sod-gley sandy with 3.08–3.33 % humus, 620–840 mg/kg P_2O_5 , 133–180 mg/kg K_2O , and pH_{KCl} 5.2–5.6. After the Chernobyl disaster, the post-accidental ^{137}Cs pollution of the soils was 1221–1554 kBq/m² in 2000–2008 and 559–867 kBq/m² in 2009–2014. A mix of *Bromus inermis* (8 kg/hectare), *Festuca pratensis* (8 kg/hectare), *Phleum pratense* (5 kg/hectare), *Phalaris arundinacea* (5 kg/hectare), *Alopecurus pratensis* (5 kg/hectare) was used for sowing in 2000–2008, and in 2009–2014 *Festuca pratensis* (6 kg/hectare), *Alopecurus pratensis* (5 kg/hectare) and *Phalaris arundinacea* (7 kg/hectare) mix was examined. Ammonium nitrate, simple granular superphosphate and potassium chloride were as fertilizers. According to the protocol, $1/2$ doses of N and K along with

full P dose were pre-applied to soil at the first mowing, and $1/2$ doses of N and K were applied after mowing. Minimum aboveground green biomass possessing the greatest specific radioactivity was observed when no mineral fertilizers used. In 2000 to 2008 the highest crop yield of 30.9 t/hectare was harvested when $N_{60}P_{90}K_{60}$ applied. An increase in N, P, K and their fractions did not lead to a significant rise in green mass production. However, at $N_{60}P_{90}K_{60}$ dose and nitrogen to potassium ratio as 1:1 the nitrogen increased a specific radioactivity of forage which did not correspond to radiation safety standard. Therefore in the areas polluted at 1221-1554 kBq/m² we recommend applying NPK fertilizers with N to K ratio of 1:1.5 to grow green biomass which possesses the specific radioactivity not exceeding the admissible level. In 2009 to 2014 $N_{45}P_{60}K_{75}$ were optimal for high productivity and admissible quality of the fodder crops. With no fertilizer used the correlation between yield and specific radioactivity level was weak and positive, whereas application of fertilizers at N:K portion as 1:1, changed the correlation to weak, but negative. Further increase in K fraction strengthened the correlation. Our findings of decrease in ¹³⁷Cs specific radioactivity level in green fodder confirm that the K fertilizers are mainly effective for a rehabilitation of soil radioactive pollution on pastures. ¹³⁷Cs migration from forages to animal husbandry production was also calculated. So, it is shown that the K fertilizers are the main factor limiting ¹³⁷Cs transition from soil to plants and thus lowering ¹³⁷Cs specific radioactivity in animal husbandry products and a corresponding internal exposure dose in human.

Keywords: potassium fertilizers, fodder grounds, ¹³⁷Cs, green biomass, milk, meat, internal radiation dose.

Новости Биомедицинского кластера «Сколково»



Конкурс «АГРОГЕНЕТИКА 2016: ЛУЧШИЕ ПРОЕКТЫ В ОБЛАСТИ ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, ЖИВОТНОВОДСТВА И АКВАКУЛЬТУРЫ»



Организаторы: Некоммерческая организация Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)»

Номинации:

- селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур: генетические ресурсы и современные методы создания новых сортов и гибридов, технологии семеноводства;
- селекция в животноводстве, аквакультуре и агропромышленной микробиологии и разработка новых ветеринарных препаратов и средств диагностики;
- биоинформационные технологии в генетике, селекции и диагностике;
- переработка продукции, сырья и отходов растениеводства и животноводства и технологии производства функциональных продуктов питания;
- инженерные решения для сельского хозяйства: методы подготовки и технологии улучшения почв, оборудование для животноводческих комплексов
- растениеводство закрытого грунта: технологии, биологические препараты защиты растений в защищенном грунте, оборудование

Жюри:

Николай Равин — председатель (Институт биоинженерии ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН); **Михаил Харченко** (Фонд «ВЭБ-Инновации»); **Олег Радин** (Ассоциация российских производителей крахмалопаточной продукции); **Татьяна Татаринова** (Associate Professor University of Southern California); **Александр Кричевский** (ООО «ПО Сиббиофарм»); **Любовь Коломбет** (ФБУН ГНЦ прикладной микробиологии и биотехнологии Роспотребнадзора); **Анастасия Камионская** (ФИЦ Биотехнологии РАН); **Сергей Леонов** (Центр живых систем, МФТИ); **Биофармкластер «Северный»**; **Михаил Приданников** (Центр паразитологии ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН); **Алексей Забережный** (ФГБНУ Всероссийский НИИ экспериментальной ветеринарии им. Я.Р. Коваленко); **Вячеслав Косоруков** (ФГБУ Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина Минздрава РФ); **Анатолий Морозов** (ООО «ПРОМФЕРМЕНТ»); **Сергей Чирков** (Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова)

Финал — 5 октября 2016 года в рамках конференции «Золотая Осень 2016» (организатор конференции — Министерство сельского хозяйства Российской Федерации)

Прием заявок продлен до 8 сентября 2016 года

Контакты и информация: <http://sk.ru/foundation/events/may2016/agrogen2016/>, agro@sk.ru