

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

А. Ф. КАРПЕНКО, Т. В. ЛАСЬКО

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие
«Институт радиологии»,
г. Гомель, Республика Беларусь

(Поступила в редакцию 30.01.2019)

В статье рассматриваются результаты исследований по влиянию минеральных удобрений на содержание радионуклидов в урожае зерновых культур, возделываемых на торфяных почвах. Показано, что в результате применения минеральных удобрений с приростом зерна тритикале и пшеницы вынос ^{137}Cs с урожаем увеличивается. С увеличением урожайности зерна ячменя вынос ^{137}Cs и ^{90}Sr , в вариантах с комплексными удобрениями, снижается.

Ключевые слова: торфяные почвы, дозы удобрений, тритикале, ячмень, пшеница, урожайность, вынос радионуклидов.

The article discusses the results of studying the effects of mineral fertilizers on concentrations of radionuclides in grain crops grown on peaty soils. It shows that the gain of triticale and wheat grains together with applied mineral fertilizers results in increasing yield of ^{137}Cs . In contrast, with increased yields of barley grains against various applied combined fertilizers, the yield of ^{137}Cs and ^{90}Sr decreases.

Key words: peaty soils, triticale, barley, wheat, crop yield, yield of radionuclides.

Введение. В соответствии с белорусским законодательством животноводческая продукция, произведенная на сельскохозяйственных землях, подвергнутых загрязнению цезием-137 и стронцием-90, и используемая для переработки и реализации на продовольственные цели, должна соответствовать нормативным требованиям по содержанию радионуклидов [1, 2]. Одним из первых этапов на пути решения данной проблем является организация производства кормов для животноводства с максимально наименьшим содержанием радионуклидов. С этой целью в растениеводческой отрасли используется и продолжает исследоваться целый комплекс защитных мер, направленных на снижение миграции радионуклидов в звене почва-растения [3, 4].

В разработанной системе агрохимических приемов по снижению поступления радионуклидов в кормовые культуры наиболее существенным является применение удобрений, в том числе микроэлементов. Значимость проблемы минерального питания растений определяется как необходимостью получения более высокой урожайности культур, так и дефицитом ряда минеральных элементов в кормах и рационах животных. От дефицита минеральных элементов в рационах, прежде всего, страдают высокопродуктивные животные. Применение минеральных удобрений становится важным фактором улучшения макро- и микроэлементного состава зерновых кормов. Поэтому снижение дефицита микроэлементов в кормах и профилактика многих эндемиче-

ских заболеваний животных могут решаться путём применением микроудобрений в период вегетации культур. Одновременно, на загрязненных территориях путём улучшения минерального питания культур достигается снижение миграции радионуклидов из почвы в корма [5].

Наряду с традиционными удобрениями в Республике Беларусь активно разрабатываются и выпускаются в промышленных масштабах комплексные формы минеральных удобрений, с различным соотношением элементов питания, в том числе медленнодействующих, содержащие микроэлементы и регуляторы роста растений для различных сельскохозяйственных культур.

В настоящее время они находят применение во всех регионах республики, в том числе на загрязненных территориях. Во РНИУП «Институт радиологии» проведён ряд полевых испытаний различных доз и видов минеральных удобрений на злаковых культурах, занимающих в кормлении животных значительное место. Испытания проводились на загрязненных торфяных почвах, на которых была получена отзывчивость урожайности зерна на удобрения и установлены параметры перехода радионуклидов из почвы в зерно. Вместе с этим, с радиоэкологической и практической точек зрения важным моментом исследований является выяснение выноса радионуклидов с урожаем.

Цель исследований – выявить вынос радионуклидов с урожаем зерна злаковых культур на загрязненных радионуклидами торфяных почвах под влиянием доз и видов минеральных удобрений

Сотрудниками лаборатории радиоэкологии торфяных почв РНИУП «Институт радиологии» полевые опыты проведены с зерновыми культурами в Гомельской области на торфяной почве с глубиной залегания торфа до 2,0 метров. Агрохимические показатели почвы следующие: зольность 23,0 %; pH_{KCl} – 5,1; P_2O_5 – 315 мг/кг; K_2O – 417 мг/кг; CaO – 3417 мг/кг; MgO – 409 мг/кг почвы. Плотность загрязнения ^{137}Cs – 104 кБк/м² (2,8 Ки/км²), ^{90}Sr – 37,3 кБк/м² (1,1 Ки/км²) [6].

Посев бесполоквотный, повторность опытов 3-кратная, площадь каждой делянки 10 м², размещение делянок рендомизированное. Из зерновых культур использовался яровая ячмень сорта «Батяка» и озимое тритикале сорта «Прометей» при шести вариантах применения удобрений. Схема опытов с ячменём включала варианты: 1. Контроль (без удобрений); 2. $N_{80}P_{80}K_{100}$ (стандартные); 3. $N_{80}P_{80}K_{100}$ + Экогум АФ; 4. $N_{80}P_{80}K_{100}$ + МикроСтим- Cu, Mn; 5. N-P-K=16-16-20 (комплексные); 6. N-P-K=16-16-20 + Экогум АФ; 7. N-P-K=16-16-20 + МикроСтим- Cu, Mn; с тритикале – 1. Контроль (без удобрений); 2. $N_{35}P_{80}K_{160}$ + N_{45} (стандартные); 3. $N_{35}P_{80}K_{160}$ + Экогум АФ+ N_{45} ; 4. $N_{35}P_{80}K_{160}$ + МикроСтим-Cu, Mn + N_{45} ; 5. N-P-K=7-16-32 + N_{45} (весенняя подкормка) (комплексные); 6. N-P-K=7-16-32+ Экогум АФ+ N_{45} ; 7. N-P-K=7-16-32 + МикроСтим-Cu, Mn + N_{45} .

Стандартные и комплексные удобрения под исследуемые культуры вносились в эквивалентных дозах в соответствии со схемой полевых

опытов. При проведении экспериментов использовались стандартные минеральные удобрения (карбамид, хлористый калий, суперфосфат), а также комплексные удобрения и препараты (Экогум АФ, МикроСтим–Медь, Марганец).

Опыт с яровой пшеницей сорта Ростань был проведён на загрязненной территории Брестской области в полевых условиях на торфянисто-глеевой и торфяной маломощной почвах с плотностью загрязнения ^{137}Cs 3,2–4,7 Ки/км², соответственно. В схеме опыта с яровой пшеницей использовались следующие варианты : 1. Контроль (без удобрений); 2. $\text{P}_{60}\text{K}_{80}$; 3. $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$; 4. $\text{P}_{60}\text{K}_{160}$; 5. $\text{P}_{60}\text{K}_{120} + \text{N}_{60}$ – перед посевом; 6. $\text{P}_{60}\text{K}_{120} + \text{N}_{60}$ – перед посевом + N_{30} – в начале фазы выхода в трубку растений (первый узел стебля); 7. $\text{P}_{60}\text{K}_{120} + \text{N}_{60}$ – перед посевом + N_{60} – в начале фазы выхода в трубку растений (первый узел стебля); 8. $\text{P}_{60}\text{K}_{120} + \text{N}_{60}$ – перед посевом + $\text{N}_{30} + \text{Cu}_{200}$ + регуляторы роста растений (РР) – в начале фазы выхода в трубку растений (первый узел стебля) + N_{30} – в начале фазы колошения. Размещение делянок в опыте рендомизированное. Общая площадь делянки 29 м², учетная площадь – 24 м². Повторность вариантов в опыте четырехкратная [7].

Фосфорные в форме суперфосфата аммонизированного и калийные в форме калия хлористого удобрения вносились перед посевом яровой пшеницы. Азотные удобрения применяли в форме мочевины (карбамида) в основное внесение и в подкормку в начале фазы колошения, в форме смеси растворов мочевины и аммиачной селитры (КАС) – в подкормку в начале фазы выхода в трубку растений. Медьсодержащее удобрение в форме сульфата меди в дозе 200 г/га и регуляторы роста (РР) растений (терпал в дозе 2 л/га и экосил в дозе 100 мл/га) применяли совместно с азотными удобрениями во время азотной подкормки в фазу выхода в трубку растений. В обоих опытах главная задача исследователей заключалась в изучении влияния применения удобрений на параметры перехода радионуклидов, через установление коэффициентов их перехода в звене миграции почва-зерно. Определение накопления радионуклидов в кормовых зерновых культур устанавливали по урожайности зерна, коэффициентам перехода (Кп) цезия-137 и стронция-90 в звене миграции почва-зерно и плотности загрязнения почвы.

Результаты исследований и их обсуждение. Применение удобрений в соответствии со схемой опыта способствовало получению прибавке урожайности зерна озимой тритикале от 11,8 до 20,7 ц/га, (в вариантах 2, 3, 4, 5, 6, 7 соответственно 11,8, 12,7, 13,4, 15,3, 18,2 и 20,7 ц/га) в сравнении с контролем, где урожайность составила 23,4 ц/га. Прибавка зерна ярового ячменя в варианте 2 была получена в количестве 7,3 ц/га, варианте 3 – 8,9 ц/га, варианте 4 – 10,1 ц/га, варианте 5 – 12,2 ц/га, варианте 6 – 15,8 ц/га и варианте 7 – 19,6 ц/га по соотношению с контролем (18,3 ц/га). Наиболее высокие урожаи характерны для тех вариантов в которых использовались комплексные удобрения в сравнении со стандартными. Среди комплексных удобрений наиболее

высокую урожайность показал вариант со МикроСтимом-Cu, Mn, где урожайность тритикале составила 44,1 ц/га и ячменя 37,9 ц/га [6].

Определение параметров перехода цезия-137 из почвы в зерно показало, что у ячменя прослеживаются некоторые закономерности. С ростом урожайности снижаются показатели Кп, удельное содержание цезия-137 в зерне. В урожае зерна опытных вариантов, за исключением варианта 2, где было самое высокое содержание цезия-137 в почве, также наблюдается снижение выноса радионуклида. Это свидетельствует о том, что при скормливании, например, молочным коровам 18,3 ц зерна из контрольного варианта в молоко может поступить 472,1 Бк радионуклида, в то время как из 37,9 ц варианта номер семь только 166,7 Бк или на 305,4 Бк меньше. В отношении зерна тритикале такой закономерности не наблюдается. Во всех опытных вариантах накопление радионуклида в урожае зерна было выше, несмотря на то, что показатели Кп и удельное его содержание были ниже, а урожайность более высокой в сравнении с контролем (табл. 1).

Таблица. 1. Параметры перехода ^{137}Cs в зерно культур, возделываемых на торфяной почве, при внесении различных форм минеральных удобрений и накопление в урожае

Варианты	Почва, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБ к/м ²	Зерно, Бк/кг	Накоп- ление в урожае, Бк	+ к конт- ролю
Озимая тритикале					
1. Контроль	785	0,29	17,3	40482	—
2. $\text{N}_{35}\text{P}_{80}\text{K}_{160}+\text{N}_{45}$ (стандартные)	1145	0,21	17,1	60192	+19710
3. Стандартные + Экогум АФ	1206	0,18	16,2	58482	+18000
4. Стандартные +МикроСтим- Cu, Mn	1125	0,15	12,8	47104	+6622
5. N-P-K=7-16-32+N ₄₅ (комплексные)	1143	0,13	11,3	43731	+3249
6. Комплексные +Экогум АФ	1239	0,11	10,2	42432	+1950
7. Комплексные +МикроСтим- Cu, Mn	1488	0,09	10,1	44541	+4059
Яровой ячмень					
1. Контроль	1388	0,25	26,8	47214	-
2. $\text{N}_{80}\text{P}_{80}\text{K}_{100}$ (стандартные)	1962	0,14	20,3	51968	+4754
3. Стандартные + Экогум АФ	1148	0,12	9,3	25296	-21918
4. Стандартные +МикроСтим- Cu, Mn	1456	0,10	10,8	30672	-16542
5. N-P-K=16-16-20 (комплексные)	1096	0,08	6,6	20130	-27084
6. Комплексные +Экогум АФ	1549	0,06	7,0	23870	-23344
7. Комплексные +МикроСтим- Cu, Mn	1611	0,04	4,4	16676	-30538

В отношении накопления стронция-90 в урожае показано, что в сравнении с контролем все варианты удобрений способствовали снижению показателей Кп и удельному содержанию радионуклида в зерне (табл. 2). Накопление радионуклида в урожае зерна озимого тритикале наблюдалось во всех опытных группах, за исключением варианта 4, а

также в урожае ячменя в вариантах со стандартными удобрениями. В вариантах с комплексными удобрениями накопление в урожае стронция-90 было ниже в сравнении с контролем и со стандартными удобрениями. Из этого следует, что одновременно с приростом урожайности зерна ячменя (варианты 5, 6 и 7) уменьшается и вынос стронция-90, что имеет большое практическое значение. Так, например, при скормливании молочным коровам 28,4 ц зерна ячменя варианта 4 в молоко может поступить около 22,1 Бк, радионуклида, а при даче животным 37,9 ц зерна варианта 7 – около 14,0 Бк или на 8,12 Бк меньше.

Таблица 2. Параметры перехода ^{90}Sr в зерно культур, возделываемых на торфяной почве, при внесении различных форм минеральных удобрений и накопление в урожае

Варианты	Почва, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк /м ²	Зерно, Бк/кг	Накопле ние в урожае, Бк	+ - к кон- тролю
Озимая тритикале					
1. Контроль	354	0,25	6,6	15444	-
2. N ₃₅ P ₈₀ K ₁₆₀ +N ₄₅ (стан- дартные)	363	0,18	5,0	17600	+2156
3. Стандартные + Экогум АФ	471	0,17	5,9	21299	+5855
4. Стандартные +МикроСтим- Cu, Mn	346	0,16	4,1	15088	-356
5. N-P-K=7-16-32+N ₄₅ (комплексные)	390	0,14	4,2	16254	+810
6. Комплексные +Экогум АФ	485	0,13	4,8	19968	+4524
7. Комплексные +МикроСтим-Cu, Mn	440	0,12	4,0	17640	+2196
Яровой ячмень					
1. Контроль	351	0,36	9,6	17568	-
2. N ₈₀ P ₈₀ K ₁₀₀ (стандартные)	349	0,29	7,7	19712	+2144
3. Стандартные + Экогум АФ	385	0,26	7,6	20672	+3104
4. Стандартные +МикроСтим- Cu, Mn	429	0,24	7,8	22152	+4584
5. N-P-K=16-16-20 (ком- плексные)	208	0,26	4,1	12505	-5063
6. Комплексные +Экогум АФ	229	0,22	3,8	12958	-4610
7. Комплексные +МикроСтим-Cu, Mn	257	0,19	3,7	14023	-3545

Под влиянием разных доз азотных и калийных удобрений в опыте с яровой пшеницей была получена прибавка зерна от 4,7 до 18,3 ц/га в зависимости от соотношения и доз применения удобрений. При урожайности в контроле 19,8 ц/га прибавка урожая зерна в варианте 2 составила 4,7 ц/га, варианте 3 – 6,7 ц/га, варианте 4 – 7,7 ц/га, вари-

анте 5 – 12,1 ц/га, варианте 6 – 14,6 ц/га, варианте 7 – 15,0 ц/га и варианте 8 – 18,3 ц/га [8].

При плотности загрязнения почвы ^{137}Cs до 5,0 Ки/км² внесение в неё фосфора в дозе 60 кг и калия в количестве 80 – 160 кг (варианты 2–4) способствовало снижению показателей Кп и удельного содержания цезия-137 в зерне по мере увеличения количества калия в вариантах опыта. Однако, накопление цезия-137 в урожае превышало контрольный вариант от 474 до 1113 Бк (табл. 3).

Таблица 3. **Накопление ^{137}Cs в урожае зерна пшеницы, возделываемой на торфяной почве**

Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Зерно, Бк/кг	Накопление в урожае, Бк	+/- к контролю
при внесении различных доз фосфорных и калийных удобрений				
1 Контроль	19,8	13,6	27086	-
2 P ₆₀ K ₈₀	24,5	11,5	28199	+1113
3 P ₆₀ K ₁₂₀	26,5	10,4	27560	+474
4 P ₆₀ K ₁₆₀	27,5	10,2	28050	+964
при внесении различных доз азотных удобрений				
1. Контроль	19,8	13,68	27086	-
2. P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	26,5	10,43	27640	+554
3. Фон + N ₆₀	31,9	10,69	34101	+7015
4. Фон + N ₉₀	34,4	11,30	38872	+11786
5. Фон + N ₁₂₀	34,8	11,64	40507	+13421
6. Фон + N ₁₂₀ + Cu ₂₀₀ + PP	38,1	9,01	34328	+7242

При внесении азота в почву в дозах 60, 90 и 120 кг на фоне фосфора в дозе 60 кг и калия 120 кг накопление в урожае цезия-137 пропорционально увеличивалось от 554 до 13421 Бк. В шестом варианте опыта применение меди и регуляторов роста растений способствовало снижению выноса с урожаем цезия-137 в сравнении с вариантом 5.

Заключение. На торфяных почвах с плотностью загрязнения цезием-137 в пределах 2,8–4,7 Ки/км² применение минеральных удобрений под яровой ячмень вызывает как снижение параметров миграции, так и уменьшение накопления радионуклида в урожае зерна. При производстве зерновых кормов из тритикале, в зависимости от видов и доз удобрений, может происходить, в основном, увеличение выноса цезия-137 с урожаем. Применение удобрений под яровую пшеницу приводит к увеличению выноса данного радионуклида с урожаем. В отношении стронция-90 показано, что под влиянием внесения удобрений с урожаем зерна тритикале вынос радионуклида возрастает и с зерном ячменя со стандартными удобрениями. Следовательно, из испытанных культур, на загрязненных цезием-137 торфяных почвах, для получения

зерновых кормов в наибольшей степени, с радиологической точки зрения, подходит яровой ячмень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития сельского хозяйства и сельских регионов Беларуси на 2015–2020 годы / В. Г. Гусаков [и др.]; Национальная академия наук Беларуси, Республиканское научное унитарное предприятие «Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси». – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2014. – 55 с.
2. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы. – Минск : РНИУП «Институт радиологии», 2012. – 124 с.
3. Карпенко, А. Ф. Эколого-экономические проблемы агропроизводства Гомельской области после Чернобыльской катастрофы: монография / А. Ф. Карпенко. – Брянск : Дельта, 2012. – 258 с.
4. Подоляк, А. Г. Экологизация растениеводства на торфяно-болотных почвах юго-востока Беларуси / А. Г. Подоляк, В. В. Валетов, А. Ф. Карпенко. – Мозырь: МГПУ им. И. П. Шамякина, 2018. – 218 с.
5. Применение некорневых подкормок сельскохозяйственных культур микроудобрениями на загрязненных радионуклидами почвах: Рекомендации / М. В. Рак, И. М. Богдевич, З. С. Ковалевич, М. Ф. Дембицкий, Г. М. Сафроновская, С. А. Титова, А. А. Карук / РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси. – Минск, 2004. – 19 с.
6. Ласько, Т. В. Комплексные удобрения – один из путей снижения поступления радионуклидов в организм человека / Т. В. Ласько, В. В. Касьянчик, Е. В. Каранкевич // Радиобиология: Актуальные проблемы: Материалы международной научной конференции, Гомель, 27–28 сент. 2018 г. / ГНУ «Институт радиобиологии НАНБ, УО «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации»; редкол.: И. А. Чешик [и др.]. – Гомель, 2018. – С. 81–84.
7. Цыбулько, Н. Н. Поступление ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы при разных уровнях азотного и калийного питания на антропогенно-преобразованной торфяной почве / Н. Н. Цыбулько, А. В. Шашко // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, № 2. – С. 164–174.
8. Рекомендации по применению минеральных удобрений под яровую пшеницу и многолетние бобово-злаковые травосмеси на загрязненных цезием-137 антропогенно-преобразованных торфяных почвах / В. С. Филипенко, А. В. Шашко, Н. А. Мишустин, С. Н. Лекунович, Л. Н. Шашко, Е. Б. Евсеев, А. А. Зайцев, Н. Н. Семененко, Л. Н. Лученок; под ред. Н. Н. Цыбулько. – Минск: Ин-т радиологии, 2016. – 28 с.