

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Н.Н. Цыбулько¹, А.А. Зайцев², В.С. Филипенко³

*¹Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС,
г.Минск, Tsybulka@komchern.org.by*

²РНИУП «Институт радиологии», г.Гомель, office@rir.by

³Брестский филиал РНИУП «Институт радиологии», г.Пинск, bfrir@tut.by

На территории Белорусского Полесья, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, в структуре почвенного покрова значительные площади занимают антропогенно-преобразованные почвы, образовавшиеся в результате минерализации органического вещества торфяно-болотных почв при длительном и интенсивном их сельскохозяйственном использовании.

В настоящее время площади антропогенно-преобразованных торфяных почв составляют около 200 тыс.га, а по прогнозу в перспективе могут достигнуть 350 тыс.га и более (Мееровский, 2012; Почвы сельскохозяйственных..., 2001; Цытрон, 2004). По уровню содержания органического вещества, водно-физическим и агрохимическим свойствам эти почвы значительно отличаются как от торфяных, так и от минеральных почв (Пригодность почв..., 2011).

За последние годы проведено ряд исследований, в результате которых научно обоснованы элементы системы земледелия и эффективного применения удобрений на антропогенно-преобразованных торфяных почвах (Мееровский, 2004; Адаптивная система..., 2010). Однако неисследованными являются вопросы биологической доступности радионуклидов, отсутствуют данные количественных параметров миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения на этих почвах.

Органогенные почвы отличаются от минеральных более высокими параметрами поступления радионуклидов в растения, что обусловлено особенностями их морфологического и генетического строения, водно-физическими и агрохимическими свойствами. Из-за повышенной адсорбционной способности органического вещества и емкости катионного обмена, низкого отрицательного поверхностного заряда этих почв значительное количество веществ, в том числе и радионуклидов, удерживается в доступных для растений формах. Ведущим механизмом взаимодействия радионуклидов с почвой является ионный обмен, а основную роль играют фульво- и гуминовые кислоты в почвенном растворе (Путятин, 2008; Соколик, 1994).

В 2011–2013 гг. на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области в условиях полевого опыта на антропогенно-преобразованной торфяной почве, загрязненной ^{137}Cs с плотностью 144–156 кБк/м² (3,9–4,2 Ки/км²), изучено влияние уровней минерального питания растений на поступление радионуклида в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав.

Расчеты коэффициентов перехода ^{137}Cs (Кп) из почвы в зерно яровой пшеницы показали, что за годы исследований в зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в их значении составили 2–2,3 раза. На контроле коэффициент перехода варьировал по годам от 0,050 до 0,113 Бк/кг:кБк/м², а в среднем составил 0,076 Бк/кг:кБк/м². Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах соответственно 60 и 80 кг/га снизило Кп ^{137}Cs в зерно на 20% по отношению к контролю. Величина его изменялась по годам от 0,042 до 0,083 при среднем значении 0,061 Бк/кг:кБк/м². Радиологически эффективным было также внесение дозы калия 120 кг/га. Коэффициент перехода радионуклида уменьшился по отношению к контрольному варианту на 30% и составил в среднем за 3 года исследований 0,053 Бк/кг:кБк/м². Применение К160 не привело к заметному уменьшению коэффициента перехода (таблица 1).

Таблица 1. Коэффициенты перехода ^{137}Cs из почвы в зерно яровой пшеницы

Варианты	Кп, Бк/кг:кБк/м ²			Среднее значение	
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Кп	% к контролю
1. Контроль	0,050	0,064	0,113	0,076	100
2. P60K80	0,042	0,058	0,083	0,061	80
3. P60K120	0,040	0,047	0,073	0,053	70
4. P60K160	0,036	0,044	0,073	0,051	67
5. N60P60K120	0,039	0,050	0,078	0,056	74
6. N90P60K120	0,042	0,055	0,084	0,060	79
7. N120P60K120	0,044	0,068	0,087	0,066	87

Азотные удобрения в дозах 60, 90 и 120 кг/га на фоне P60K120 привели к некоторому повышению коэффициентов перехода радионуклида в зерно яровой пшеницы, однако они были значительно ниже по сравнению с контролем и находились на уровне варианта P60K80.

Параметры перехода ^{137}Cs в сено многолетних бобово-злаковых трав изменялись по годам в зависимости от укоса и уровней применения минеральных удобрений в широких пределах – от 0,06 до 0,82 Бк/кг:кБк/м². Максимальные различия в Кп между годами и укосами достигали 3,4 раз, а различия по вариантам опыта – 3,9 раз (таблица 2).

В контрольном варианте коэффициенты перехода ^{137}Cs варьировали по годам в сене первого укоса от 0,21 до 0,51, в сене второго укоса – от 0,47 до 0,82, а в среднем составили соответственно 0,32 и 0,65. Фосфорные и калийные удобрения в дозах соответственно 90 и 120 кг/га снизили Кп в среднем на 38–40%. При внесении под второй укос К60 на фоне P90K120 также наблюдалось существенное снижение показателя перехода ^{137}Cs из почвы в растения, который составил в среднем 0,32.

Применение под первый укос Р90К180 и под второй укос К60 (вариант 4) достоверно уменьшило коэффициент перехода ^{137}Cs по отношению к варианту 3 (Р90К180) только в травы первого укоса.

Таблица 2. Коэффициенты перехода ^{137}Cs из почвы в сено многолетних трав

Варианты опыта	Травы первого укоса				Травы второго укоса		
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	среднее значение	2012 г.	2013 г.	среднее значение
1. Контроль	0,51	0,21	0,24	0,32	0,47	0,82	0,65
2. Р90К120	0,27	0,15	0,18	0,20	0,26	0,52	0,39
3. Р90К180	0,28	0,12	0,16	0,19	0,22	0,41	0,32
4. Р90К240	0,17	0,07	0,11	0,12	0,16	0,40	0,28
5. N30P90K180	0,35	0,06	0,10	0,17	0,12	0,38	0,25
6. N60P90K180	0,31	0,07	0,09	0,16	0,14	0,31	0,23
7. N90P90K180	0,28	0,08	0,11	0,16	0,14	0,38	0,26

Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сено в вариантах с совместным внесением азотных, фосфорных и калийных удобрений составили в среднем на травах первого укоса 0,16-0,17 Бк/кг:кБк/м², на травах второго укоса – 0,23–0,26 Бк/кг:кБк/м². Они были ниже по сравнению с контролем и вариантами, где применяли только фосфорные и калийные удобрения в дозах Р90К120 и Р90К180.

С целью оптимизации размещения сельскохозяйственных культур по полям и рабочим участкам на загрязненных радионуклидами землях проводится оценка их радиологической пригодности на основе определения предельно допустимой плотности загрязнения почвы ^{137}Cs или ^{90}Sr . Возделывание сельскохозяйственных культур в соответствии с законодательством Республики Беларусь разрешено на землях с плотностью загрязнения почв ^{137}Cs до 1480 кБк/м² (до 40 Ки/км²) и ^{90}Sr – до 111 кБк/м² (до 3,0 Ки/км²).

На основании полученных параметров перехода ^{137}Cs в зерно и сено изучаемых сельскохозяйственных культур определены допустимые плотности загрязнения почв (*ДП_п*) при разных уровнях применения минеральных удобрений для получения различных видов конечной растениеводческой и животноводческой продукции, отвечающей республиканским допустимым уровням (*РДУ*) и допустимым уровням, принятым в рамках Таможенного союза (*ДУ ТС*). Расчеты выполнены по формуле:

$$ДП_{п} = \frac{ДУ}{K_{п} * 37},$$

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

В условиях радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель наиболее жестко нормируются по содержанию радионуклидов продовольственные сельскохозяйственные культуры: зерновые (озимая рожь, озимая пшеница ячмень, яровая пшеница, овес), зернобобовые (горох), картофель. В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями (*РДУ*) содержание ^{137}Cs в зерне на пищевые цели не должно превышать 90 Бк/кг, а в зерне на детское питание – 55 Бк/кг. Согласно Техническому регламенту Таможенного союза (ТР ТС 015/2011) «О безопасности зерна» предельно допустимый уровень ^{137}Cs в зерне, поставляемом на пищевые цели, составляет 60 Бк/кг.

Менее «жесткие» нормативы установлены на содержание ^{137}Cs в зерне на фураж. При получении нормативно чистого цельного молока ($^{137}\text{Cs} < 100$ Бк/л) допустимый уровень радионуклида в зернофураже составляет 150 Бк/кг, при получении нормативно чистого мяса ($^{137}\text{Cs} < 500$ Бк/л) на заключительной стадии откорма – 480 Бк/кг. Техническим регламентом (ТР ТС 021/2011) «О безопасности пищевой продукции» в рамках Таможенного союза установлен более «жесткий» по сравнению с РДУ-99 норматив на содержание ^{137}Cs в мясе, который составляет 200 Бк/кг.

На основе полученных в опытах значений коэффициентов перехода ^{137}Cs в растениеводческую продукцию сельскохозяйственных культур определены предельно допустимые плотности загрязнения почв при получении разных видов конечной продукции.

Установлено, что на антропогенно-преобразованной торфяной почве многолетние бобово-злаковые травы можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения ^{137}Cs для производства сена при использовании его для получения цельного молока, молока-сырья для переработки на

масло и мяса в пределах республиканских допустимых уровней по содержанию радионуклида (таблица 3).

Таблица 3. Предельно допустимые плотности загрязнения почвы ^{137}Cs при возделывании многолетних трав на сено для получения разных видов конечной продукции животноводства

Варианты	Получение сена первого укоса			Получение сена второго укоса		
	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ТР ТС 500 Бк/кг	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ТР ТС 500 Бк/кг
1. Контроль	> 40,0	> 40,0	29,4	37,8	> 40,0	14,5
2. P90K120	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0	24,1
3. P90K180	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0	29,4
4. P90K240	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0	33,8
5. N30P90K180	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0	37,5
6. N60P90K180	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0
7. N90P90K180	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0	36,5

Определенные ограничения существуют в отношении размещения многолетних бобово-злаковых трав на антропогенно-преобразованных торфяных почвах при возделывании их на сено для скормливания на заключительной стадии откорма животных при производстве мяса с содержанием ^{137}Cs до 200 Бк/кг, определенным Техническим регламентом Таможенного союза (ТР ТС 021/2011) «О безопасности пищевой продукции». Так, при внесении под травы только фосфорных и калийных удобрений в дозах P90K120 возделывать их возможно при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs до 24 Ки/км², а при дозах P90K240 – до 33 Ки/км². При применении полного минерального удобрения N30-90P90K180 возделывание ограничено плотностями загрязнения 36–37 Ки/км².

Яровую пшеницу на антропогенно-преобразованной торфяной почве можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения ^{137}Cs для производства фуражного зерна при использовании его для получения цельного молока и мяса (таблица 4).

Таблица 4. Предельно допустимые плотности загрязнения почвы ^{137}Cs для получения разных видов конечной продукции яровой пшеницы

Варианты	Зерно на пищевые цели			Зернофураж		
	РДУ 90 Бк/кг	РДУ 55 Бк/кг	ТР ТС 60 Бк/кг	РДУ-99 для цельного молока (100 Бк/л)	РДУ-99 для мяса (500 Бк/кг)	ТР ТС для мяса (200 Бк/кг)
Годы с нормальной увлажненностью вегетационного периода (ГТК=1,1-1,5)						
1. Контроль	> 40,0	26,1	28,4	> 40,0	> 40,0	> 40,0
2. P60K80	> 40,0	29,7	32,4	> 40,0	> 40,0	> 40,0
3. P60K120	> 40,0	34,2	37,3	> 40,0	> 40,0	> 40,0
4. P60K160	> 40,0	37,2	40,5	> 40,0	> 40,0	> 40,0
5. P60K120 + N60	> 40,0	33,4	36,4	> 40,0	> 40,0	> 40,0
6. P60K120 + N90	> 40,0	30,6	33,4	> 40,0	> 40,0	> 40,0
7. P60K120 + N120	> 40,0	26,5	29,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0
Годы с избыточной увлажненностью вегетационного периода (ГТК ≥ 2,0)						
1. Контроль	21,5	13,2	14,4	35,9	> 40,0	> 40,0
2. P60K80	29,3	17,9	19,5	> 40,0	> 40,0	> 40,0
3. P60K120	33,3	20,4	22,2	> 40,0	> 40,0	> 40,0
4. P60K160	33,3	20,4	22,2	> 40,0	> 40,0	> 40,0
5. P60K120 + N60	31,2	19,1	20,8	> 40,0	> 40,0	> 40,0
6. P60K120 + N90	29,0	17,7	19,3	> 40,0	> 40,0	> 40,0
7. P60K120 + N120	28,0	17,1	18,6	> 40,0	> 40,0	> 40,0

В годы с нормальным увлажнением вегетационного периода возможно возделывать культуру без ограничений по радиационному фактору на данных почвах при производстве зерна на пищевые цели с допустимым содержанием ^{137}Cs 90 Бк/кг. При избыточной увлажненности предельная плотность загрязнения почвы для получения продовольственного зерна составляет при внесении фосфорных удобрений в дозе 60 кг/га и калийных удобрений в повышенных дозах (K120–160) – 33 Ки/км², а при применении на фоне P60K120 азотных удобрений в дозах 60–120 кг/га – 28–31 Ки/км².

Более жесткие ограничения установлены в отношении размещения яровой пшеницы на антропогенно-преобразованных торфяных почвах при возделывании ее для получения зерна на детское питание и зерна на пищевые цели с допустимым содержанием ^{137}Cs , принятом в Таможенном союзе.

В годы с нормальной увлажненностью вегетационного периода получить продовольственное зерно с содержанием ^{137}Cs до 60 Бк/кг возможно на фонах с полным минеральным удобрением – N60P60K120, N90P60K120 и N120P60K120 при плотности загрязнения почвы соответственно 36, 33 и 29 Ки/км². В годы с избыточным увлажнением возделывание культуры ограничено плотностями загрязнения почвы соответственно 20, 19 и 18 Ки/км².

Список использованных источников

Адаптивная система комплексного применения удобрений и других средств интенсификации возделывания зерновых культур на антропогенно-преобразованных торфяных почвах (Методические рекомендации), РУП «Институт мелиорации», РУП «Институт защиты растений». – Минск, 2010. – 60 с.

Мееровский, А.С. Проблемы использования и сохранения торфяных почв /А.С. Мееровский, В.П. Трибис // Новости науки и технологий. – 2012. – №4(23). – С. 3–9.

Мееровский, А.С. Система земледелия на мелиорированных антропогенно-преобразованных почвах / А.С. Мееровский, Д.Б. Даутина, А.В. Семенченко // Мелиорация переувлажненных земель. – 2004. – №2(52). – С. 171–184.

Соколик, Г.А. Действие фульво- и гуминовых кислот на механизмы накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr растительными клетками / Г.А. Соколик // Радиоэкология торфяных почв: материалы Междунар. конф. / Санкт-Петербургский гос. аграр. ун-т. С-Пб, 1994. – С. 23–24.

Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / Под ред. Г.И. Кузнецова, Н.И. Смяна. – Мн.: Оргстрой, 2001. – 432 с.

Пригодность почв Республики Беларусь для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур: рекомендации / В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 64 с.

Путятин, Ю.В. Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Ю.В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 268 с.

Цытрон, Г.С. Антропогенно-преобразованные почвы Беларуси / Г.С. Цытрон. – Минск, 2004. – 124 с.