

202-1
9585

РЕСПУБЛИКАНСКОЕ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ УНИТАРНОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ
«ИНСТИТУТ РАДИОЛОГИИ»

ПРОБЛЕМЫ РАДИОЛОГИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ
ТЕРРИТОРИЙ

ЮБИЛЕЙНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Выпуск 2

ГОМЕЛЬ 2006

Нацыянальная
бібліятэка
Беларусі

К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАКОПЛЕНИЯ ^{137}Cs И ^{90}Sr В ТРАВСТОЕ НИЗИННЫХ ЛУГОВ НА ТОРФЯНО-БОЛОТНЫХ ПОЧВАХ

А.Г. Подоляк*, С.Ф. Тимофеев, Н.В. Гребенщикова,
И.И.Ивашкова*, С.Н. Лекунович

*Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»

Результаты многолетних исследований говорят о высоких размерах накопления радионуклидов, особенно ^{137}Cs , травостоем кормовых угодий на торфяно-болотных почвах. Так, если для дерново-подзолистых супесчаных почвах величина коэффициентов пропорциональности ($K_p = \text{Бк/кг} : \text{кБк/м}^2$) составляет для многолетних злаковых трав 0,50-3,0 то для торфяно-болотных почв - 3,4-8,0 [1-5].

Для рационального использования таких кормовых угодий в условиях радиоактивного загрязнения необходимо:

- проводить прогноз содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах (зеленая масса, сено) с учетом плотности загрязнения и основных агрохимических свойств почв;
- увеличить их продуктивность;
- обеспечить получение дешевых кормов, отвечающих требованиям РДУ-99 по содержанию радионуклидов, за счет применения различных агротехнических и агрохимических мероприятий (контрмер).

Цель работы – на основе массива многолетних данных (1995-2005 гг.), полученных в стационарных опытах и производственном эксперименте, установить корреляционные зависимости между величиной коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в естественный и культурный травостой низинных лугов и основными агрохимическими свойствами торфяно-болотных почв и составить уравнения линейной и множественной регрессии, позволяющие прогнозировать величину коэффициентов перехода радионуклидов (K_p , $\text{Бк/кг}:\text{кБк/м}^2$) и степень загрязнения травостоя в отдаленный период после чернобыльской катастрофы.

Материалы и методы исследования

На протяжении 1995–2005 гг. в условиях многолетних стационарных опытов на загрязненных кормовых угодьях Гомельской и Брестской областей изучали влияние основных агрохимических свойств торфяно-болотных почв на изменение величины коэффи-

циентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в естественный травостой и урожай многолетних злаковых трав.

Почвенная, радиологическая и агрохимическая характеристики репрезентативных площадок представлены в табл. 1. На наблюдательных площадках проведен учет урожая многолетних трав и отбор проб-снопов в 4-кратной повторности два раза в год для определения удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr , а также почвенных образцов на глубину пахотного горизонта для определения основных агрохимических показателей.

Плотность загрязнения торфяно-болотных почв ^{137}Cs и ^{90}Sr и основные агрохимические показатели определяли по общепринятым методикам. Степень окультуренности почв оценивали с помощью индекса окультуренности - индекса агрохимической окультуренности - (Иок), используемого для количественной оценки плодородия почв Беларуси, варьируемого в пределах от 0,2 до 1,0 и рассчитываемого с учетом обменной кислотности, содержания подвижных форм P_2O_5 , K_2O по следующей формуле:

$$\text{Иок} = (\text{pH} - 3,5)/4,8 + (\text{P}_2\text{O}_5 - 100)/2100 + (\text{K}_2\text{O} - 100)/2700 \quad (1) \quad [6]$$

Содержание ^{137}Cs в почвенных и растительных образцах - на γ -спектрометрических комплексах «Сanberra» и «Oxford», а ^{90}Sr - радиохимическим методом по стандартной методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на α - β счетчике «Сanberra-2400». Аппаратурная ошибка измерений не превышала 15%.

Для количественной оценки поступления радионуклидов из почвы в растения рассчитывали коэффициенты пропорциональности $K_{\text{п}}$:

$$K_{\text{п}} = (\text{Бк/кг}) : (\text{кБк/м}^2) \quad (2)$$

Полученные данные обрабатывались методом дисперсионного и регрессионного анализов с использованием компьютерного программного обеспечения (Excel 7.0, Statistic 7.0).

Результаты исследований и их обсуждение

В ряде нормативных документов, действующих на территории Беларуси, России и Украины, в условиях производства на загрязненных территориях для прогноза содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственных культурах и кормах на всех типах почв используются только два агрохимических показателя: содержание подвижного калия (для прогноза ^{137}Cs) и величина обменной кислотности $\text{pH}_{(\text{КЭТ})}$ (для прогноза ^{90}Sr) [7-9].

Таблица 1 Радиологическая и агрохимическая характеристика торфяно-болотных почв наблюдательных площадок (в среднем за 1995–2005 гг.)

№ п/п	Разновидность торфяно-болотных почв низинного типа	Плотность загрязнения		Агрохимические показатели						
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr КБк/м ²	pH		мг/кг почвы				
				зольность	%	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	
11	Торфяно-глеявая (40 см) на хорошо разложившихся тростниково-осоковых торфах	208	66	33	5,1	260	152	10790	672	0,43
5	Торфяно-глеявая (40 см) на хорошо разложившихся осокново-тростниковых торфах	261	82	51	5,4	181	284	10180	670	0,51
18	Торфяно-глеявая (40 см) на хорошо разложившихся шейхер-осоковых торфах	314	113	43	5,3	235	193	12220	654	0,48
13	Торфяная маломощная (50 см) на среднеразложившихся осоковых торфах	114	44	20	5,1	624	321	11670	714	0,65
7	Торфяная маломощная (60 см) на хорошо разложившихся древесно-осоковых торфах, подстилаемых песками	235	-	72	7,3	427	421	14180	860	1,00
14	Торфяная маломощная (65 см) на среднеразложившихся осоковых торфах	83	39	20	5,3	498	502	12450	810	0,72
1	Торфяная маломощная (70 см) на слаборазложившихся гипново-тростниково-осоковых торфах	189	47	17	5,1	290	202	12750	762	0,46
15	Торфяная маломощная (80 см) на среднеразложившихся осоковых торфах	73	41	20	5,2	645	593	12480	816	0,76
2	Торфяная маломощная (105 см) на хорошо разложившихся гипново-тростниково-осоковых торфах	120	45	17	5,1	432	163	13490	804	0,51
16	Торфяная маломощная (120 см) на хорошо разложившихся гипново-тростниково-осоковых торфах	126	41	29	5,1	437	207	10580	714	0,53
4	Торфяная маломощная (150 см) на хорошо разложившихся осокново-тростниковых торфах	140	57	24	5,2	369	443	12650	876	0,62
6	Торфяно-болотная мощная (>200 см) на хорошо разложившихся древесно-осоковых торфах	250	65	16,5	5,6	476	660	12375	1085	0,83

В работах ряда ученых [1-5] приводятся данные, свидетельствующие о наличии более тесной корреляционной связи между коэффициентами перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr и другими агрохимическими показателями луговых почв (гидролитической кислотностью, содержанием обменного Ca и Mg, содержанием гумуса, степенью насыщенности основаниями и др.).

На основании корреляционного анализа результатов многолетних мониторинговых исследований установлено, что величина коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостой низинного луга зависит от насыщенности почвенно-поглощающего комплекса торфяно-болотных почв калием; изменения величины обменной кислотности; содержания органического вещества; степени ее окультуренности.

Выявлена тесная корреляционная связь между величиной коэффициентов перехода ^{137}Cs в травостой низинных лугов и следующими агрохимическими показателями: содержанием подвижного K_2O ($r = -0,79$), степенью ее окультуренности ($r = -0,76$), содержанием органического вещества ($r = 0,73$); величиной коэффициентов перехода ^{90}Sr и содержания обменного K_2O ($r = -0,77$), степенью ее окультуренности ($r = -0,75$), величиной обменной кислотности $\text{pH}_{\text{экст}}$ ($r = -0,73$), содержанием органического вещества ($r = 0,65$) (табл. 2).

Таблица 2 Коэффициенты корреляции (r) между Кн радионуклидов в травостой и агрохимическими показателями торфяно-болотных почв низинных лугов

Агрохимические показатели	^{137}Cs	^{90}Sr
	N=1460	
$\text{pH}_{\text{экст}}$	-0,51	-0,73
K, смоль/кг почвы	0,37	0,35
S, смоль/кг почвы	0,33	0,55
T, смоль/кг почвы	0,52	0,70
V, %	-0,14	-0,02
Обменный Ca, мг/кг почвы	0,41	0,60
Обменный Mg, мг/кг почвы	0,22	0,38
Подвижный K_2O , мг/кг почвы	-0,79	-0,77
Подвижный P_2O_5 , мг/кг почвы	-0,47	-0,42
Содержание органического вещества, %	0,73	0,65
Индекс агрохим. окультуренности Иок.	-0,76	-0,75

Таблица 3 Коэффициенты перехода (Кп, Бк/кг : кБк/м²) ¹³⁷Cs в основные виды кормов в зависимости от обеспеченности подвижным калием торфяно-болотных почв

Тип травостоя	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы			
	<250	251-500	501-1000	>1000
Низинные торфяно-болотные (мощность торфа > 1 м)				
<i>Сено (влажность 16%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	27,76	17,72	10,60	9,54
Сеяный злаковый	7,99	4,85	3,37	3,05
Сеяный бобово-злаковый	7,20	4,36	3,03	2,74
<i>Сенаж (влажность 55%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	14,84	9,48	5,67	5,10
Сеяный злаковый	4,27	4,16	3,14	2,85
Сеяный бобово-злаковый	3,84	3,75	2,83	2,55
<i>Силос (влажность 75%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	8,26	5,27	3,16	2,84
Сеяный злаковый	2,38	1,44	1,00	0,90
Сеяный бобово-злаковый	2,14	1,29	0,91	0,82
<i>Зеленая масса (влажность 82%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	5,96	3,80	2,27	2,05
Сеяный злаковый	1,71	1,04	0,72	0,65
Сеяный бобово-злаковый	1,54	0,95	0,65	0,60
Низинные торфяно-болотные (мощность торфа < 1 м)				
<i>Сено (влажность 16%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	22,21	14,18	8,48	7,63
Сеяный злаковый	6,39	3,88	2,70	2,44
Сеяный бобово-злаковый	5,76	3,49	2,42	2,19
<i>Сенаж (влажность 55%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	11,87	7,58	4,54	4,08
Сеяный злаковый	3,42	3,33	2,51	2,28
Сеяный бобово-злаковый	3,07	3,00	2,26	2,04
<i>Силос (влажность 75%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	6,61	4,22	2,53	2,27
Сеяный злаковый	1,90	1,15	0,80	0,72
Сеяный бобово-злаковый	1,71	1,03	0,73	0,66
<i>Зеленая масса (влажность 82%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	4,77	3,04	1,82	1,64
Сеяный злаковый	1,37	0,83	0,58	0,52
Сеяный бобово-злаковый	1,23	0,76	0,52	0,48

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ РАДИОЛОГИЯ

Таблица 4 Коэффициенты перехода (Бк/кг: кБк/м²) ⁹⁰Sr в основные виды кормов в зависимости от величины обменной кислотности торфяно-болотных почв

Тип травостоя	рН(КСl)			
	<4,5	4,5-5,5	5,6-6,0	>6,0
<i>Низинные торфяно-болотные (мощность торфа > 1 м)</i>				
<i>Сено (влажность 16%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	20,00	16,51	14,40	13,68
Сеяный злаковый	16,35	14,55	11,00	10,45
Сеяный бобово-злаковый	23,70	21,09	15,95	15,16
<i>Сенаж (влажность 55%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	10,69	8,83	7,70	7,32
Сеяный злаковый	8,74	7,78	5,88	5,60
Сеяный бобово-злаковый	12,67	11,28	8,53	8,12
<i>Силос (влажность 75%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	5,95	4,91	4,29	4,07
Сеяный злаковый	4,87	4,33	3,27	3,10
Сеяный бобово-злаковый	7,06	6,27	4,74	4,50
<i>Зеленая масса (влажность 82%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	4,28	3,54	3,08	2,93
Сеяный злаковый	3,50	3,12	2,36	2,24
Сеяный бобово-злаковый	5,08	4,52	3,45	3,25
<i>Низинные торфяно-болотные (мощность торфа < 1 м)</i>				
<i>Сено (влажность 16%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	22,00	18,16	15,84	15,05
Сеяный злаковый	17,99	16,01	12,10	11,50
Сеяный бобово-злаковый	26,07	23,20	17,55	16,68
<i>Сенаж (влажность 55%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	11,76	9,71	8,47	8,05
Сеяный злаковый	9,61	8,56	6,47	6,16
Сеяный бобово-злаковый	13,94	12,41	9,38	8,93
<i>Силос (влажность 75%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	6,55	5,40	4,72	4,48
Сеяный злаковый	5,36	4,76	3,60	3,41
Сеяный бобово-злаковый	7,77	6,90	5,21	4,95
<i>Зеленая масса (влажность 82%)</i>				
Естественный злаково-разнотравный	4,71	3,89	3,39	3,22
Сеяный злаковый	3,85	3,43	2,60	2,46
Сеяный бобово-злаковый	5,59	4,97	3,80	3,58

По результатам многолетних исследований рассчитаны коэффициенты перехода радионуклидов в травяные корма из торфяно-болотных почв в зависимости от содержания подвижного K_2O ($K_{п}^{137}Cs$, табл. 3) и величины обменной кислотности pH_{KCl} ($K_{п}^{90}Sr$, табл. 4), а также составлены уравнения линейной и множественной регрессий, позволяющие рассчитывать величину коэффициентов перехода радионуклидов в травостой по основным агрохимическим показателям этих луговых почв (табл. 5), которые вошли в Республиканскую базу данных и следующие нормативные документы: «Рекомендации по получению травяных кормов в пределах РДУ на торфяно-болотных почвах, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr », «Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь» и рекомендованы для практического использования при составлении прогнозов загрязнения кормов ^{137}Cs и ^{90}Sr в хозяйствах, ведущих сельскохозяйственную деятельность на загрязненных радионуклидами землях.

Таблица 5 Уравнения регрессии для определения величины $K_{п}^{137}Cs$ и $K_{п}^{90}Sr$ в травостой низинных лугов на торфяно-болотных почвах

^{137}Cs		^{90}Sr	
$K_{п}^{137}Cs = -0,39K_2O + 34,53$	$R^2=0,62$	$K_{п}^{90}Sr = -0,069K_2O + 10,07$	$R^2=0,59$
$K_{п}^{137}Cs = -62,05I_{ок} + 56,11$	$R^2=0,58$	$K_{п}^{90}Sr = -10,43I_{ок} + 13,56$	$R^2=0,56$
$K_{п}^{137}Cs = 6,61O_{рг. в-во} - 525,4$	$R^2=0,53$	$K_{п}^{90}Sr = 0,26T - 17,95$	$R^2=0,49$
$K_{п}^{137}Cs = 1,24T - 100,04$	$R^2=0,27$	$K_{п}^{90}Sr = 0,97O_{рг. в-во} - 72,45$	$R^2=0,42$
$K_{п}^{137}Cs = -36,12pH + 214,07$	$R^2=0,26$	$K_{п}^{90}Sr = 0,0014Ca - 9,02$	$R^2=0,36$
$K_{п}^{137}Cs = -229,9 - 6,19pH - 0,22K_2O + 3,5O_{рг. в-во}$			$R^2=0,64$
$K_{п}^{90}Sr = -11,53 - 3,94pH - 0,12K_2O + 0,56O_{рг. в-во}$			$R^2=0,52$

Выводы

1. Минимальные величины коэффициентов перехода ^{137}Cs (2,0-3,0) и ^{90}Sr (6,0-10,0) в травостой низинных лугов наблюдаются при достижении оптимальных значений агрохимических свойств почв (величина обменной кислотности $pH = 5,5-6,0$; содержание подвижного $K_2O = 1000-1200$, подвижного $P_2O_5 = 800-1000$ мг/кг почвы) и высокого уровня почвенного плодородия торфяно-болотных ($I_{ок} = 0,9-1,0$) за счет применения агрохимических и агротехнических приемов их улучшения (контрмер).

2. Для прогноза содержания радионуклидов в травостоях низинных лугов в отдаленный период после аварии целесообразно использовать коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr , установленные не

только по содержанию подвижного калия ($Kp^{137}Cs$) и величине обменной кислотности ($Kp^{90}Sr$) торфяно-болотных почв, но и величине комплексного агрохимического показателя – индекса агрохимической окультуренности почв ($I_{ок}$), учитывающих несколько почвенных характеристик одновременно.

Литература

1. Корнцев Н.А., Фирсакова С.К., и др. // Агрохимия. – 1983. № 3. – С. 103-107.
2. Бондарь П.Ф. // Агрохимия. 1983. № 7. – С. 69-79.
3. Егорова Е.А. // Почвоведение. 1987. № 7. С. 117-121.
4. Бондарь П.Ф., Юдинцева Е.В. // Агрохимия. 1984. № 9. С. 85-93.
5. Коноплев А.В., Коноплева И.В. // Радиц. биология. Радиоэкология. 1999. – Т. 39. Вып. 4. – С.455-461.
6. Смян Н.И., Зинченко В.С., Богдевич И.М. Оценка плодородия почв Белоруссии. – Мн., 1989. – 359 с.
1. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2003-2005 гг. / Под ред. И.М. Богдевича. Мн., 2003. – 74 с.
2. Рекомендации по ведению растениеводства на радиоактивно загрязненных территориях России / Р.М. Алексин, А.Н. Ратников, Т.Л. Жигарева и др. - Москва, 1997. – 115 с.
3. Кашпаров В.О., Лазарев М.М., Перепелятникова Л.В., Пристер Б.С., Иванов Ю.О. та ін. Ведення сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення території України внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС на період 1999-2002 рр. // Методичні рекомендації МГНАПК Укратні, МНС України, УНДІСГР. Кіпл., 1998. - 104 с.