



УДК 631.438:631.415.1

Ю.В. ПУТЯТИН, Н.В. КЛЕБАНОВИЧ, О.М. ТАВРЫКИНА

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОЛЛЕКТИВНЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕАКЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ^{90}Sr

Results of investigation on estimation of ^{90}Sr gross removal by grain crops on soils contaminated by radionuclides as a result of failure on the Chernobyl NPP and efficiency of optimization of soil acidity on decrease of internal collective dose of irradiation of the population of Belarus are presented.

Загрязнение территорий при происходивших радиационных авариях, как правило, носило локальный характер, за исключением аварии на ЧАЭС, после которой распространение выброшенных радионуклидов приняло глобальный характер. Дозы облучения населения, проживающего на загрязненной территории и потребляющего местную сельскохозяйственную продукцию, формируются из двух источников – внешнего и внутреннего [1, 2].

Согласно нормам радиационной безопасности в качестве основного дозового предела для населения при нормальных условиях установлено значение эффективной дозы 1 мЗв в год [3]. На основании дозового критерия и национальных уровней потребления продуктов питания страны, пострадавшие от аварии на ЧАЭС, регулируют свои санитарно-гигиенические нормативы на содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr [4–6].

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукции сельскохозяйственного и природного происхождения может варьировать в широких пределах в зависимости от плотности загрязнения почвы радионуклидами, физико-химических свойств почв, культуры земледелия, системы и направления ведения животноводства [7].

За прошедшее после аварии время разработаны и достаточно успешно реализуются многие меры радиационной защиты, обеспечивающие снижение коллективной дозы внешнего и внутреннего облучения. Помимо отселения людей с сильно загрязненных территорий, проведена дезактивация зданий и загрязненных участков земли, осуществляется радиационный контроль за сельскохозяйственными продуктами, дикорастущими ягодами и грибами. Следствием реализации крупномасштабных программ по преодолению последствий аварии в агропромышленном комплексе явилось значительное снижение удельной активности радионуклидов в основных видах сельскохозяйственной продукции (молоке, мясе, продуктах растениеводства), что обусловило существенное уменьшение экономического ущерба и ослабление дозовых нагрузок на население [8].

В настоящее время радиоэкологическая обстановка в Беларуси определяется присутствием долгоживущих изотопов. Среди них ^{90}Sr с периодом полураспада 28,7 лет, который в почве по сравнению с ^{137}Cs имеет более высокую долю мобильных форм, что является определяющим фактором в процессах миграции радионуклида по трофическим цепям [8]. Известкование почв – основное агрохимическое защитное мероприятие, способствующее снижению поступления ^{90}Sr из почвы в растения.

Для достижения оптимального уровня кислотности почвы в Беларуси были разработаны дозы извести, дифференцированные по плотности радиоактивного загрязнения и гранулометрическому составу. Основная потребность в известковых удобрениях определяется в соответствии с «Инструкцией определения дополнительной потребности материально-технических ресурсов для сельского хозяйства в зоне радиоактивного загрязнения» [9]. На минеральные земли с плотностью загрязнения ^{137}Cs 5 Ки/км² и более (185 кБк/м²) и ^{90}Sr 0,3 Ки/км² и более (11 кБк/м²) предусматривается дополнительное внесение извести с целью ускоренного доведения реакции почв до оптимальных значений. В послеаварийный период систематическое известкование в повышенных дозах существенно изменило соотношение кислых и переизвесткованных почв.

В долгосрочной перспективе в общественном секторе требуется максимально взвешенная оценка в реализации применения контрмер для более эффективного использования материально-технических ресурсов.

Цель данного исследования – установить ожидаемую эффективность оптимизации кислотности почвы, направленную на снижение коллективной дозы облучения ^{90}Sr населения Республики Беларусь, на основе дозовой оценки и стоимости затрат на предотвращение коллективной дозы.

Материал и методика

В расчете прогноза загрязнения продукции была использована электронная база данных агрохимического и радиологического обследования сельскохозяйственных земель (2005–2009) Института почвоведения и агрохимии: показатели pH_{KCl} и плотности загрязнения пашни по 16 районам Гомельской и Могилевской областей, коэффициенты перехода ^{90}Sr из почвы в зерновые культуры (озимая рожь, озимое тритикале, озимая и яровая пшеница, ячмень и овес) в зависимости от pH_{KCl} и гранулометрического состава [5] с учетом доли зерновых культур, составляющей 50 % от площади пашни. Для прогноза загрязнения урожая были взяты верхние границы значений оптимальных параметров pH_{KCl} для дерново-подзолистых суглинистых почв – 6,7, супесчаных – 6,2, песчаных – 5,8 [10]. В данной работе расчеты были выполнены для пахотных земель с плотностью загрязнения ^{90}Sr свыше 5,55 кБк/м² (0,15 Ки/км²).

Поскольку ^{90}Sr накапливается в организме человека в течение всей жизни, для расчетов был использован дозовый коэффициент $8 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк для критической группы – дети в возрасте 12÷17 лет [3].

Для расчетов по достижению заданной оптимальной pH_{KCl} в исследовании применяли нормативы затрат CaCO_3 для сдвига реакции среды дерново-подзолистых почв на 0,1 pH – 0,75÷1,38 т/га в зависимости от их гранулометрического состава [11].

Результаты и их обсуждение

Среди обследованных районов Беларуси высокий вынос ^{90}Sr зерном колосовых культур отмечается в Хойникском (1070 Бк/год), Брагинском (1022) и Речицком (596) районах, низкий – в Лельчицком (6), Славгородском (19) и Краснопольском районах (13 МБк/год). Существенные различия в выносе радионуклидов с товарной продукцией по районам в основном обусловлены величинами плотности и площадей загрязнения ^{90}Sr пахотных почв. Всего ежегодно с территорий площадью 169 тыс. га с плотностью загрязнения свыше 0,15 Ки/км² с урожаем зерна на пахотных землях выносятся 4027 (3447÷4790) МБк/год ^{90}Sr .

Содержащийся в произведенном на загрязненных территориях зерне ^{90}Sr ориентировочно эквивалентен величине потенциальной коллективной дозы внутреннего облучения населения 322 (275÷473) чел.-Зв (табл. 1). Если учесть, что на продовольственные цели используется не более 20 % произведенного зерна, при переработке значительная часть радионуклидов остается во вторичных продуктах (отруби) и переход ^{90}Sr из рациона в продукцию животноводства составляет 0,04÷3,2 % на килограмм продукта [5, 12], то фактические коллективные дозы ^{90}Sr при использовании зерна на продовольствие, фураж и переработку будут на порядок ниже и по самым жестким прогнозам составят ориентировочно менее 28 (25÷34) чел.-Зв в год. Вклад в коллективную дозу загрязненного зерна, произведенного в Могилевской области, очень незначительный и составляет около 2,5 %.

Беларусь обладает большими запасами разведенного карбонатного сырья, пригодного для промышленного производства известковых мелиорантов, необходимых для известкования почв. Объемы производства полностью обеспечивают потребности сельского хозяйства страны в доломитовой муке.

Потенциальная коллективная доза ^{90}Sr с учетом валового производства и структуры использования зерна, произведенного на территории районов, пострадавших от аварии на ЧАЭС

Район	Площадь загрязнения пашни ^{90}Sr ($>0,15 \text{ Ки/км}^2$), тыс. га	Величина потенциальной коллективной дозы ^{90}Sr , чел.-Зв					
		С учетом					
		валового производства зерна			структуры использования зерна		
		Ср.	Min	Max	Ср.	Min	Max
Гомельская область							
1. Брагинский	23,6	81,8	70,0	97,3	7,15	6,13	8,51
2. Буда-Кошелевский	15,9	16,2	13,8	19,3	1,41	1,21	1,69
3. Ветковский	18,8	26,8	22,9	31,8	2,35	2,00	2,79
4. Добрушский	13,8	22,5	19,3	26,7	1,97	1,69	2,34
5. Ельский	6,0	5,5	4,7	6,6	0,48	0,41	0,57
6. Кормянский	2,1	1,8	1,4	2,1	0,15	0,13	0,18
7. Лельчицкий	0,6	0,5	0,4	0,6	0,04	0,04	0,05
8. Мозырский	3,1	2,9	2,5	3,4	0,25	0,22	0,30
9. Наровлянский	10,4	14,9	12,7	17,7	1,30	1,11	1,55
10. Речицкий	39,0	47,7	40,8	56,7	4,17	3,57	4,96
11. Хойникский	19,5	85,6	73,2	101,8	7,49	6,41	8,90
12. Чечерский	5,9	7,8	6,6	9,2	0,68	0,58	0,81
Итого	159	314	268	373	27	24	33
Могилевская область							
13. Костюковичский	4,4	3,8	3,3	4,5	0,33	0,29	0,39
14. Краснопольский	0,9	1,0	0,9	1,3	0,09	0,08	0,11
15. Славгородский	1,8	1,5	1,4	1,8	0,13	0,12	0,16
16. Чериковский	2,9	2,1	1,8	2,5	0,18	0,16	0,22
Итого	10	8	7	10	0,7	0,6	0,9
Всего	169	322	275	473	28	25	34

Во многих загрязненных радионуклидами районах Беларуси при обследовании фиксируется большое количество почв с реакцией среды, близкой к нейтральной. В Гомельской области при средневзвешенном показателе $\text{pH}_{(\text{КС})}$ на пахотных почвах с плотностью загрязнения ^{90}Sr менее $5,55 \text{ кБк/м}^2$ ($0,15 \text{ Ки/км}^2$) кислотность составляет 5,88, на загрязненных землях – на 0,16 единиц выше (6,04), в Могилевской области – 6,08 и 6,23 (+0,15) соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Распределение загрязненных ^{90}Sr дерново-подзолистых пахотных почв по кислотности

Область	Плотность загрязнения пахотных земель ^{90}Sr			
	$<5,55 \text{ кБк/м}^2$ ($<0,15 \text{ Ки/км}^2$)		$>5,55 \text{ кБк/м}^2$ ($>0,15 \text{ Ки/км}^2$)	
	$\text{pH}_{(\text{КС})}$	$\text{pH}_{(\text{КС})}$	$\pm$	% от площади пашни
Гомельская	5,88	6,04	+0,16	23 %
Могилевская	6,08	6,23	+0,15	1 %

После аварии на ЧАЭС известкование кислых почв являлось приоритетным защитным мероприятием и широкомасштабное внесение доломитовой муки в повышенных дозах позволило практически оптимизировать состояние почвенной кислотности загрязненных радионуклидами земель и свести к минимуму переходы радионуклидов в продукцию растениеводства. В Брагинском районе средневзвешенное значение $\text{pH}_{(\text{КС})}$ равно 6,07, Хойникском – 6,19, Кормянском – 6,17, Краснопольском – 6,19, Чериковском районе – 6,36 и т. д. (табл. 3). В названных районах доля переизвесткованных почв ($\text{pH}_{(\text{КС})} > 6,5$) составляет 20÷41 %. В настоящее время возможности радикального снижения поступления радиостронция в сельскохозяйственные культуры за счет оптимизации кислотности почв в загрязненных районах в значительной степени исчерпаны, поскольку более 75 % пахотных почв района имеют реакцию почв выше $\text{pH}_{(\text{КС})}$ 5,5. В среднем по районам Гомельской области в перспективе за счет известкования с целью оптимизации кислотности пахотных почв можно ожидать экономию дозы 0,237 чел.-мЗв/га, по Могилевской – значительно ниже – 0,078 чел.-мЗв/га. При сравнительной оценке можно отметить, что максимальной экономии дозы внутреннего облучения за счет оптимизации кислотности почв можно достичь в Брагинском (0,408 чел.-мЗв/га), Хойникском (0,367), Лельчицком (0,326), Ветковском и Наровлянском районах (0,285 чел.-мЗв/га). Предотвращенную дозу на порядок ниже можно ожидать в Костюковичском и Чериковском районах – 0,048 чел.-мЗв/га.

Прогноз предотвращенных доз ^{90}Sr за счет оптимизации кислотности почв

Район	$\text{pH}_{(\text{КС})}$		Предотвращенная доза, ^{90}Sr , чел.-мЗв/га		
	Средневзвешенное значение	$\pm$ к оптимальному значению pH	Ср.	Min	Max
Гомельская область					
1. Брагинский	6,07	+0,07 – +0,47	0,408	0,349	0,485
2. Буда-Кошелевский	6,08	+0,08 – +0,48	0,122	0,105	0,145
3. Ветковский	5,90	–0,10 – +0,30	0,285	0,244	0,339
4. Добрушский	5,96	–0,04 – +0,36	0,265	0,227	0,315
5. Ельский	6,06	+0,06 – +0,46	0,204	0,174	0,242
6. Кормянский	6,17	+0,17 – +0,57	0,122	0,105	0,145
7. Лельчицкий	5,63	–0,37 – +0,03	0,326	0,279	0,388
8. Мозырский	5,87	–0,13 – +0,27	0,163	0,140	0,194
9. Наровлянский	5,89	–0,11 – +0,29	0,285	0,244	0,339
10. Речицкий	6,07	+0,07 – +0,47	0,183	0,157	0,218
11. Хойникский	6,19	+0,19 – +0,59	0,367	0,314	0,436
12. Чечерский	6,03	+0,03 – +0,43	0,122	0,105	0,145
Среднее	6,04	–	0,237	0,203	0,282
Могилевская область					
13. Костюковичский	6,18	+0,18 – +0,58	0,048	0,042	0,058
14. Краснопольский	6,19	+0,19 – +0,59	0,121	0,105	0,144
15. Славгородский	6,17	+0,17 – +0,57	0,097	0,084	0,116
16. Чериковский	6,36	+0,36 – +0,76	0,048	0,042	0,058
Среднее	6,23	–	0,078	0,0682	0,094
Среднее по 16 районам	6,05	–	0,197	0,169	0,235

* * *

1. В настоящее время возможности радикального снижения поступления радиостронция в сельскохозяйственные культуры за счет оптимизации кислотности почв в загрязненных радионуклидами районах Беларуси в значительной степени исчерпаны, поскольку более 75 % пахотных почв имеют показатель $\text{pH}_{(\text{КС})}$ выше 5,5. В наиболее загрязненных радионуклидами (более 5,55 кБк/м²) Гомельской и Могилевской областях средневзвешенные значения показателя pH загрязненных почв на 0,16 и 0,15 единиц выше, чем в целом по названным регионам. В ряде районов доля переизвесткованных почв ($\text{pH}_{(\text{КС})} > 6,5$) составляет до 40 %.

2. Установлено, что в перспективе за счет оптимизации кислотности почвы под зерновые культуры путем внесения доломитовой муки в среднем по районам Гомельской области можно ожидать экономию дозы 0,237 чел.-мЗв/га, по Могилевской значительно ниже – 0,078 чел.-мЗв/га. Максимальной экономии дозы внутреннего облучения за счет оптимизации кислотности почв можно достичь в Брагинском (0,408 чел.-мЗв/га), Хойникском (0,367), Лельчицком (0,326), Ветковском и Наровлянском районах (0,285 чел.-мЗв/га). Принимая в расчет текущую ситуацию состояния кислотности почв, можно отметить, что в ближайшие годы по мере снижения плотности загрязнения почв в результате естественного распада радионуклидов и оптимизации почвенной кислотности величины предотвращенных доз будут снижаться. Основная задача применения данной защитной меры – поддержание оптимального уровня реакции почв с целью получения растениеводческой продукции с минимумом содержания радионуклидов.

Полученные данные могут быть использованы для радиолого-экономических оценок эффективности защитных мероприятий и определения дальнейших приоритетов в выборе оптимальных путей снижения дозовых нагрузок ^{90}Sr на население.

1. Василенко И. Я., Василенко О. И. // Энергия: экономика, техника, экология. 2001. № 7. С. 16.

2. Василенко И. Я., Василенко О. И. // Там же. 2002. № 4. С. 26.

3. ГН 2.6.1.8-127-2000. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000). Мн., 2001.

4. Ведення сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення території України внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС на період 1999–2002 рр. Київ, 1998.

5. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / Под ред. И.М. Богдевича. Мн., 2003.

6. Рекомендации по ведению растениеводства на радиоактивно загрязненных территориях России / Р.М. Алексахин и др. М., 1997.

7. Анненков Б. Н., Аверин В. С. Ведение сельского хозяйства в районах радиоактивного загрязнения (радионуклиды в продуктах питания). Мн., 2003.

8. Аверин В.С. // 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление: национальный доклад / Под ред. В.Е. Шевчука, В.Л. Гурачевского. Мн., 2006. С. 13.

9. Инструкция определения дополнительной потребности материально-технических ресурсов для сельского хозяйства в зоне радиоактивного загрязнения. Мн., 1999.

10. Лапа В.В., Цыганов А.Р., Ивахненко Н.Н. и др. Агрохимические регламенты для повышения плодородия почв и эффективного использования удобрений: Учеб. пособие. Горки, 2002.

11. Клебанович Н.В., Василюк Г.В. Известкование почв Беларуси. Мн., 2003.

12. Жученко Ю.М., Аверин В.С., Фирсакова С.К. и др. // Проблемы радиационной реабилитации загрязненных территорий. Гомель, 2004.

Поступила в редакцию 18.02.10.

Юрий Викторович Пуятин – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Института почвоведения и агрохимии.

Николай Васильевич Клебанович – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой почвоведения и геологии.

Оксана Михайловна Таврыкина – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник Института почвоведения и агрохимии.