

УДК 631.438

*И. М. БОГДЕВИЧ*

## **ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ АГРОХИМИЧЕСКИХ ЗАЩИТНЫХ МЕР НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ЗЕМЛЯХ БЕЛАРУСИ**

*Институт почвоведения и агрохимии*

*(Поступила в редакцию 11.05.2011)*

Восстановление прежнего потенциала АПК связано с реабилитацией растениеводческой отрасли, которая должна быть ориентирована на обеспечение потребностей проживающего населения в продовольствии, создании кормовой базы для животноводства, повышении плодородия почв. Широкомасштабный комплекс защитных мер, а также особое внимание руководства страны к нуждам населения позволили успешно решить первоочередные задачи здравоохранения и производства нормативно-чистых продуктов питания. Однако последствия Чернобыльской катастрофы носят долговременный характер и не могут быть преодолены полностью в относительно небольшой 25-летний послеаварийный период. Проблему получения качественной и самоочищаемой сельскохозяйственной продукции нельзя считать полностью решенной.

Проблемные вопросы касаются сельских подворьев и тех сельскохозяйственных организаций, где преобладают малопродуктивные, зачастую переувлажненные, песчаные и торфяные почвы, характеризующиеся высокими коэффициентами перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию. Академик Р. М. Алексахин рассматривает радиоактивное загрязнение почв как самостоятельный тип деградации, ведущей к снижению их плодородия [1]. Таким образом, сельскохозяйственные защитные меры становятся центральным звеном системы реабилитации загрязненных радионуклидами земель.

Изменение радиационной обстановки и нарастающая стоимость материально-энергетических ресурсов требуют корректировки стратегии, структуры и объемов защитных мер. Актуальным является повышение эффективности агрохимических защитных мер, направленных как на уменьшение перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растениеводческую продукцию, так и на повышение плодородия. В последние годы сделан ряд обобщений эффективности защитных мер в Беларуси, России и Украине [2–5]. В этих работах приводятся параметры снижения перехода радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию, даются дозовые оценки эффективности проведенных мероприятий. Однако сведения по влиянию проведенных защитных мер на агрохимические параметры плодородия почв в научной литературе весьма малочисленны и фрагментарны.

Целью настоящей работы является критический анализ эффективности агрохимических защитных мер на основе обобщения результатов многолетних полевых опытов, проведенных в Институте почвоведения и агрохимии под руководством автора в сопоставлении с результатом агрохимического обследования почв за послеаварийный период, рассмотрение критериев целесообразности дальнейшего применения защитных мер и оценки их эффективности в отдаленный период после Чернобыльской катастрофы.

**Материалы и методы исследований.** По данным годовых отчетов проведен анализ почв пахотных и луговых земель, загрязненных радионуклидами, и применяемых агрохимических защитных мер в Беларуси за послеаварийный период.

Метод исследований – системный анализ динамики степени кислотности, содержания гумуса, подвижных форм фосфора и калия в почвах по районам, определенной при обследовании почв в сопоставлении с оптимальными параметрами, установленными в полевых опытах.

Использованы обобщенные результаты полевых опытов, проведенных в Институте почвоведения и агрохимии за послеаварийный период по изучению влияния различных доз органических, калийных, фосфорных и микроудобрений, на урожайность сельскохозяйственных культур и переход  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию. Опыты проведены в разных районах Гомельской и Могилевской области на минеральных и торфяных почвах. Исследовано также накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукции в зависимости от агрохимических свойств почв на материале сопряженных учетов свойств почв и растений в производственных посевах.

**Масштабы загрязнения почв радионуклидами.** После Чернобыльской аварии значительная часть территории Беларуси, площадью 4,8 млн га (23% от общей площади), загрязнена радионуклидами. За истекшие 25 лет радиационная обстановка на загрязненных землях значительно улучшилась: произошел распад короткоживущих радионуклидов, концентрация долгоживущих радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почве уменьшилась (примерно на 40%) по причине естественного распада.

Миграция радионуклидов в глубь профиля различных почв Беларуси исследуется с 1986 г. на 22 пунктах постоянного наблюдения в Институте почвоведения и агрохимии и в полевых стационарах Института радиологии [6–8]. В настоящее время преобладающая часть нуклидов находится в верхних слоях почв. Миграция цезия-137 и стронция-90 вглубь происходит очень медленно, со скоростью 0,3–0,5 см/год<sup>-1</sup>, поэтому угрозы водоносным горизонтам практически нет. Темпы миграции и переход радионуклидов в продукцию увеличиваются с повышением степени увлажнения почв [9]. В целом, спустя 25 лет после аварии на Чернобыльской АЭС, основная доля  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  расположена в корнеобитаемом слое почв и интенсивно включается в биологический круговорот [8, 10, 11].

В Беларуси радиоактивному загрязнению подвержен широкий спектр почв, различающихся по составу и свойствам. В системе полевых опытов и сопряженных учетов свойств почв и загрязненности растений в производственных посевах установлены дифференцированные параметры перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из основных разновидностей почв в продукцию сельскохозяйственных культур [6, 9, 10, 12, 13]. Эти данные согласуются с обобщенными данными экспериментов, проведенных в различных странах [14], и используются для планирования защитных мер.

Наблюдается постепенное уменьшение площади используемых загрязненных земель с контролируемой минимальной плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  более 37 кБк/м<sup>-2</sup> и  $^{90}\text{Sr}$  более 5,5 кБк/м<sup>-2</sup> вследствие естественного распада радионуклидов и перехода части земель в категорию незагрязненных. За послеаварийный период в категорию незагрязненных перешли 439 тыс. га земель, ранее загрязненных  $^{137}\text{Cs}$ , а площадь загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  земель уменьшилась на 298 тыс. га. Сельскохозяйственное производство по состоянию на 1.01.2011 ведется на 998,7 тыс. га земель, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  с плотностью 37–1480 кБк/м<sup>-2</sup>. Часть этих земель (345,4 тыс. га) одновременно загрязнена  $^{90}\text{Sr}$  с плотностью 5,5–111 кБк/м<sup>-2</sup>.

**Защитные меры в агропромышленном комплексе Беларуси.** Проблема снижения дозовых нагрузок на население остается актуальной в ряде населенных пунктов с повышенной плотностью загрязнения территории долгоживущими радионуклидами и преобладанием торфяных, пойменных и заболоченных песчаных почв. Несмотря на беспрецедентно большой масштаб выполненных защитных мер, превышение среднегодовой эффективной дозы облучения населения 1мЗв/год<sup>-1</sup> (сверх естественного радиационного фона) в 2009 г. отмечено в 191 населенном пункте с населением свыше 48 тыс. человек [15]. Ведущая роль отводится комплексу сельскохозяйственных защитных мер, поскольку в условиях Беларуси около 70% коллективной дозы формируется за счет поступления радионуклидов в организм с продуктами питания. Известкование кислых почв, внесение повышенных доз минеральных и органических удобрений, коренное улучшение сенокосов и пастбищ являются наиболее эффективными в комплексе защитных мер, которые, обеспечивая уменьшение перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растения, одновременно направлены на повышение урожайности культур и плодородия почв.

В проведении защитных мероприятий на загрязненных радионуклидами землях Беларуси можно выделить три этапа: 1986–1991 гг., 1992–2000 гг. и с 2001 г. по настоящее время. На первом этапе были проведены неотложные, послеаварийные защитные меры: эвакуация, а затем отселение жителей (всего 138 тыс. человек), выведение из пользования 265, 4 тыс. га сельскохозяйствен-

ных земель с предельно высокой плотностью загрязнения радионуклидами. Из севооборотов были исключены культуры, накапливающие наибольшее количество радионуклидов: клевер, зернобобовые, гречиха. Проведено мелиоративное известкование кислых почв (682 тыс. га), внесены повышенные дозы фосфорных и калийных удобрений. Всего за период 1986–1991 гг. на загрязненные радионуклидами земли было внесено 1,2 млн т  $K_2O$  и 0,6 млн т  $P_2O_5$ , а также 58 млн т навоза и компостов. На большей части заболоченных участков проведены осушение и запашка дернины и залужение.

Второй этап детально-ориентированных защитных мер (1992–2000 гг.) проводился в условиях последовательного ужесточения санитарно-гигиенических нормативов содержания  $^{137}Cs$  и  $^{90}Sr$  радионуклидов в продуктах питания (РКУ-92, РДУ-1993, РДУ-97, РДУ-99). Зонирование сельскохозяйственных земель только по плотности загрязнения почв радионуклидами стало уже недостаточным. Начиная с 1992 г. защитные мероприятия проводятся с учетом особенностей каждого поля [7, 16]. В этот период использовались приемы дифференцированного минерального питания растений, новые формы удобрений. В животноводстве предусматривалось технологическое разделение кормов в зависимости от степени их загрязнения радионуклидами, нормирование рационов с использованием цезийсвязывающих ферроцинсодержащих добавок, снижающих содержание радионуклидов в молоке.

Третий период защитных мер, который проводится с 2001 г. (табл. 1), направлен на обеспечение производства нормативно-чистых продуктов питания и сельскохозяйственного сырья для перерабатывающей промышленности, без которых не могут быть обеспечены социально-экономические условия реабилитации загрязненных территорий. Среднегодовая стоимость защитных мер в последние пять лет оценивается в 50–60 млн долларов США, что составляет около 16% от общей суммы затрат на преодоление последствий Чернобыльской аварии. Важной целевой функцией этого периода является повышение качества производимых продуктов питания до экспортного уровня. Защитные меры в данный период направлены на достижение и поддержание оптимальных агрохимических свойств загрязненных почв, при которых возможна наибольшая продуктивность севооборотов и гарантированное производство нормативно-чистой сельскохозяйственной продукции на наиболее загрязненных полях и участках. Методологию агрохимических защитных мер можно видеть на примере известкования.

Т а б л и ц а 1. Сельскохозяйственные защитные меры на загрязненных землях Беларуси

Год	Известкование, тыс. га	Радикальное улучшение пастбищ, тыс. га	Дополнительное внесение удобрений, тыс. т		Цезий, связывающий комбикорм, тыс. т
			$P_2O_5$	$K_2O$	
2001	35,6	10,4	24,5	84,1	1,7
2002	52,1	7,9	17,9	58,6	1,1
2003	48,9	8,1	13,6	64,3	1,2
2004	48,7	13,8	27,3	92,5	1,3
2005	44,0	15,6	30,3	109,4	1,4
2006	40,6	13,4	26,7	87,8	1,5
2007	29,1	5,1	24,3	83,9	0,7
2008	31,1	5,6	24,1	86,2	0,4
2009	29,5	5,1	24,6	83,9	0,6
2010	31,5	3,7	24,3	82,3	0,7
Всего	391,1	88,7	237,6	833,0	10,6

**Известкование кислых почв.** Хотя внесение извести в качестве защитной меры было известно до Чернобыльской аварии [1, 17], технология известкования в Беларуси была существенно усовершенствована за послеаварийный период. Вначале, в 1986–1990 гг., на загрязненных радионуклидами землях рекомендовались средние мелиоративные дозы извести, превышающие в 1,5–2,0 раза дозы для незагрязненных земель. Затем были разработаны и введены в практику диффе-

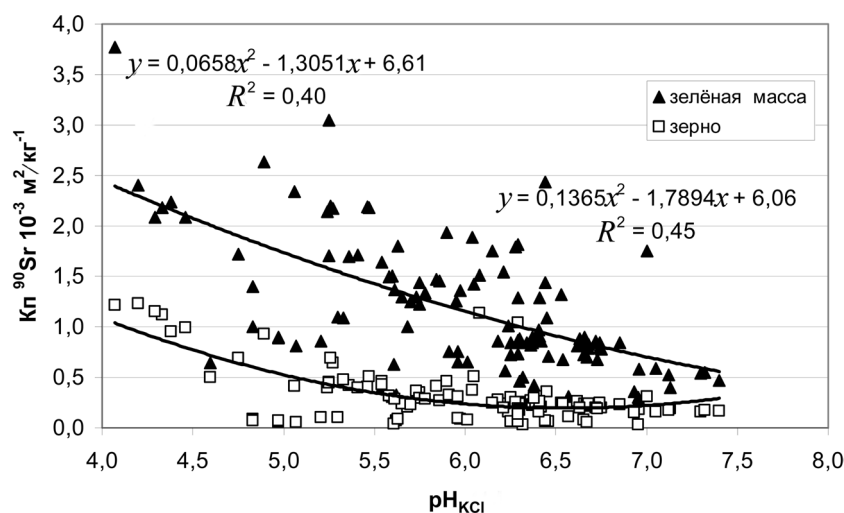


Рис. 1. Зависимость перехода  $^{90}\text{Sr}$  в зерно и зеленую массу кукурузы от степени кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы

ренцированные дозы извести в зависимости от типа почв, исходного уровня кислотности почв и плотности загрязнения радионуклидами, чтобы обеспечить достижение оптимального диапазона реакции почв каждого поля для наибольшей продуктивности севооборота и радикального снижения накопления радионуклидов.

Установлено, что на дерново-подзолистой глееватой песчаной почве при нейтрализации реакции почвенного раствора в диапазоне  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  3,3–5,7 коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  ( $\text{Кп}$ ,  $10^{-3}\text{м}^2/\text{кг}^{-1}$ ) в травостой многолетних злаков снижаются на порядок – с 3,66 до 0,36. Снижение перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию растений хорошо описывается параболической вогнутой кривой. Аналогичные зависимости имеют место и на дерново-подзолистых пахотных почвах, что можно видеть на примере снижения поступления  $^{90}\text{Sr}$  в растения кукурузы в широком диапазоне изменения реакции почвы от сильнокислой до слабощелочной –  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  от 4,2 до 7,4 (рис. 1).

При нейтрализации реакции почвы в диапазоне  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  4,2–6,5 концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в зленной массе и зерне кукурузы снижается до 3 раз, затем снижение концентрации стронция затухает. Расчетный минимум накопления  $^{90}\text{Sr}$  в зерне кукурузы наблюдается при  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  6,55, а в зеленой массе концентрация  $^{90}\text{Sr}$  снижается вплоть до  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  7,4.

Таким образом, эффективность известкования на всех типах почв в первую очередь зависит от исходного уровня степени кислотности почв и различия показателей ( $\text{pH}$ ) между исходным и оптимальными уровнями степени кислотности почв. Экспериментально установлено, что абсолютное минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческой продукции достигается при дальнейшем сдвиге реакции почв на 0,2–0,3 ед.  $\text{pH}$  в сторону щелочного диапазона [13]. Однако снижение накопления радионуклидов в растениях в нейтральном и щелочном диапазонах уже незначительно, поэтому им можно пренебречь. В нейтральном и щелочном диапазонах заметно снижается доступность растениям некоторых микроэлементов ( $\text{Mn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ), поэтому дозы извести рассчитаны для достижения оптимальных диапазонов кислотности почв из расчета на максимальную урожайность возделываемых культур [6, 16]. Диапазоны оптимальных показателей кислотности для дерново-подзолистых почв следующие: суглинистых – 6,0–6,7; супесчаных – 5,8–6,2; песчаных – 5,6–5,8. На торфяных и минеральных почвах сенокосов и пастбищ оптимальные показатели  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  составляют 5,0–5,3 и 5,8–6,2 соответственно [12].

Эффективность нейтрализации кислотности почвы по снижению перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растения, которая оценивается по относительному снижению поступления радионуклидов по сравнению с контрольными вариантами, не снижается в течение времени и зависит от степени различия исходной реакции почв от их оптимальных параметров. В то же время, в связи с изменением подвижности радионуклидов во времени, абсолютные исходные коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в растительную продукцию многократно снизились за послеаварийный период,

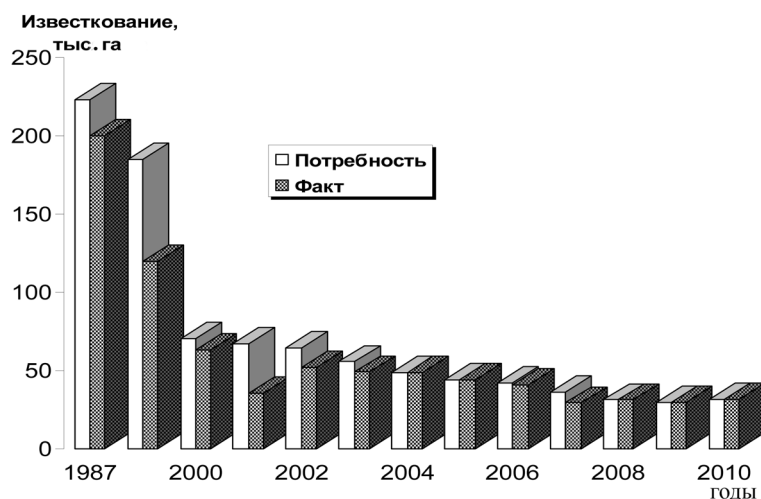


Рис 2. Динамика известкования загрязненных радионуклидами земель в Беларуси

а коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$ , наоборот, несколько повысились. Радиологическая оценка эффективности известкования по снижению накопления радионуклидов в продукции может проводиться только в условиях специально спланированных полевых опытов. В условиях производства эффективность известкования можно оценивать по изменению реакции почв. Поддерживающее известкование проводится по мере подкисления почв. Такая саморегулирующая система известкования позволила примерно на порядок сократить расход извести и в 7 раз уменьшить площади известкования по сравнению с 1987 г. (рис. 2), что является одним из показателей эффективности проведенной работы.

За послеаварийный период существенное улучшение реакции почв можно видеть повсеместно, особенно по районам Гомельской области, наиболее загрязненной радионуклидами. Здесь доля сильно- и среднекислых ( $\text{pH}_{\text{KCl}} < 5,0$ ) почв уменьшилась с 14,7–18,9 до 1,6–3,9% от площади пашни. Доля пахотных и луговых почв с оптимальным диапазоном реакции, наоборот, увеличилась и составляет теперь 80–88% от общей площади.

**Калийные и фосфорные удобрения.** Важным агрохимическим приемом, ограничивающим поступление цезия-137 в растения, по данным многих исследователей [1, 18–20], является применение повышенных доз калийных удобрений. Это обусловлено как антагонизмом катионов цезия и калия в почвенном растворе, так и значительной прибавкой урожайности сельскохозяйственных культур, особенно на бедных калием дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах. Действие калийных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур зависит от многих факторов, первостепенными из которых являются тип почвы и содержание подвижных форм калия. В ряде полевых опытов, проведенных сотрудниками Института почвоведения и агрохимии на дерново-подзолистых супесчаных почвах Гомельской области, установлены важные закономерности действия калийных удобрений на переход  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию растений. Наибольшая интенсивность снижения поступления  $^{137}\text{Cs}$  в растения клевера отмечается при повышении содержания  $\text{K}_2\text{O}$  в диапазоне 50–250  $\text{mg/kg}^{-1}$  почвы. Дальнейшее повышение содержания калия в почве мало влияет на поступление радионуклида и даже может несколько повышать накопление  $^{137}\text{Cs}$  в растениях. Аналогичные закономерности характерны и для кукурузы. Так, коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу и зерно кукурузы снижаются до 3 раз по мере повышения содержания подвижного калия в дерново-подзолистых супесчаных почвах в диапазоне 100–300  $\text{mg K}_2\text{O}$  на 1  $\text{kg}$  почвы (рис. 3). Дальнейшее повышение подвижного калия в почве до уровня 400–450  $\text{mg/kg}^{-1}$  сопровождается только незначительным уменьшением коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  в продукцию кукурузы. Содержание калия  $\text{K}_2\text{O}$  в диапазоне 450–650  $\text{mg/kg}$  почвы явно избыточно и сопровождается некоторым повышением перехода  $^{137}\text{Cs}$ , особенно в зеленую массу кукурузы. Механизм этого явления был показан Л. Дж. Апплби и др. [21] следующим образом: нарастание избытка ионов  $\text{K}^+$  вначале снижает поступление ионов цезия в рас-

тения, но затем может разрушать прочную связь между  $^{137}\text{Cs}^+$  и илистыми частицами почвы, поэтому избыточное внесение калийных удобрений может сопровождаться десорбцией  $^{137}\text{Cs}^+$ , уже связанного почвой, таким образом повышая накопление радионуклида растениями. Внесение аммонийных удобрений оказывает аналогичное влияние. Внесение калийных удобрений при сбалансированном азотном и фосфорном питании также приводит к существенному уменьшению поступления из почвы в растения и радионуклида  $^{90}\text{Sr}$ . Минимум биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  для накопления в зерне яровой пшеницы и ячменя, а также зеленой массы клевера находится в диапазоне содержания  $\text{K}_2\text{O}$  300–430 мг/кг дерново-подзолистой супесчаной почвы [13].

Однако экономически и экологически предпочтительно поддержание уровня содержания подвижных форм калия, необходимого для получения наибольшей продуктивности севооборота с высоким качеством продукции, который для рыхло- и связносупесчаных почв находится в диапазоне  $\text{K}_2\text{O}$  170–250 мг/кг<sup>-1</sup>. Внесение высоких доз калийных удобрений 160–240 кг  $\text{K}_2\text{O}$  на 1 га окупается на почвах слабо- и среднеобеспеченных калием, так как при этом в 1,5–1,7 раза повышается урожайность культур, в 1,5–2,7 раза снижается содержание  $^{137}\text{Cs}$  и до 1,3 раз содержание  $^{90}\text{Sr}$  в продукции. На почвах с повышенным (200–300 мг/кг<sup>-1</sup>) содержанием  $\text{K}_2\text{O}$  рациональны умеренные дозы калийных удобрений, предполагающие полное или частичное возмещение выноса калия урожаем культур.

Известно, что высокие дозы фосфорных удобрений способны уменьшать поглощение растениями токсических концентраций как тяжелых металлов, так и  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  [1, 22]. Значительное уменьшение перехода  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растительную продукцию связано с образованием в почве нерастворимых фосфатов стронция. Фосфорные удобрения, сбалансированные с азотом, как правило, способствуют уменьшению поступления радионуклидов из почвы в растения [1, 19]. Однако имели место и случаи существенного (до 3,2 раза) повышения накопления  $^{137}\text{Cs}$  в зерне и соломе злаковых культур при внесении несбалансированных доз фосфорных и азотных удобрений на плодородных черноземных почвах [23]. Поэтому высокие дозы азотных удобрений должны быть ограничены там, где вероятно повышенное накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукции сельскохозяйственных культур [1, 16, 24]. Следует отметить, что в научной литературе крайне мало данных о переходе радионуклидов в продукцию сельскохозяйственных культур на почвах с различной обеспеченностью фосфатами. В условиях производства содержание подвижных форм фосфора в дерново-подзолистых почвах Гомельской области по полям и участкам различаются на порядок – от 50 до 500 мг/кг [16].

Эффективность фосфорных удобрений исследовали в стационарном опыте в экспериментальной базе «Стреличево» на различных фонах содержания подвижных фосфатов в дерново-

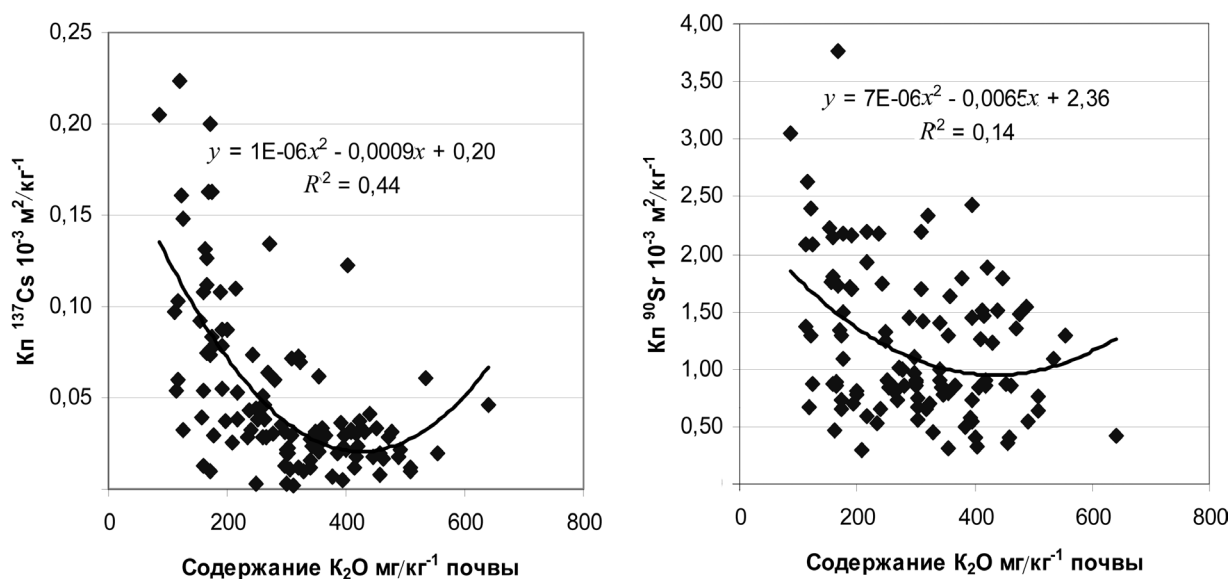


Рис. 3. Переход  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу кукурузы в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

подзолистой супесчаной почве в 1999–2007 гг. Урожайность полевых культур на азотно-калийном фоне повышалась по мере увеличения содержания  $P_2O_5$  от 200 до уровня 600 мг/кг почвы, при этом прибавка продуктивности севооборота на 1 кг  $P_2O_5$  последовательно снижалась с 8,5 до 1,6 к. ед. На фоне содержания  $P_2O_5$  800 мг/кг<sup>-1</sup> почвы урожайность всех культур снижалась вследствие нарушения баланса элементов питания в почве.

Установлено, что резкое снижение перехода  $^{90}Sr$  из почвы в зерно озимой пшеницы (в 3–4 раза) наблюдается при повышении содержания фосфора в почве от уровня  $P_2O_5$  50 до 250 мг/кг почвы. Дальнейшее повышение обеспеченности супесчаной почвы подвижным фосфором уже сопровождается небольшим снижением концентрации  $^{90}Sr$  в зерне. Минимальное накопление радионуклидов  $^{137}Cs$  и  $^{90}Sr$  в зерне яровой пшеницы наблюдалось при концентрации подвижных фосфатов в почве в пределах 300–320 мг/кг<sup>-1</sup> почвы [25, 26]. Внесение сбалансированных доз минеральных удобрений  $N_{90}P_{60}K_{180}$  сопровождалось снижением коэффициента перехода  $^{137}Cs$  в зерно яровой пшеницы до 2 раз при низком содержании подвижных форм фосфора в почве и до 1,5 раз при высокой обеспеченности почвы фосфором (рис. 4).

Всего за 25-летний период на загрязненные земли внесено 2,8 млн т  $K_2O$  и 1,0 млн т  $P_2O_5$ , что позволило снизить концентрацию радионуклидов в продукции, создать фундамент плодородия почв, гарантирующий производство нормативно-чистых продуктов питания на перспективу. На основных массивах загрязненных пахотных почв поддерживается оптимальный уровень реакции, содержание подвижных форм фосфора и калия на 24–30% выше, чем на незагрязненных почвах. Требуется улучшить калийный и фосфатный режим на половине площади луговых почв и на 20–30% пашни.

Разработаны количественные критерии для определения площади земель, где возможно производить растениеводческую продукцию без защитных мер мелиоративного характера. Критерии основываются на прогнозе предельно допустимой плотности загрязнения почв (ПДП), при которой возделывание культур-индикаторов, с максимальным накоплением радионуклидов, обеспечивает продукцию в пределах Республиканских допустимых уровней. Для надежности прогнозов, в связи с различиями погодных условий по годам, количественные параметры предлагаемых критериев составляют 70% ПДП.

Соответственно, усовершенствованы нормативы потребности в калийных и фосфорных удобрениях для защитных мер на предстоящий период 2011–2015 гг. (табл. 2). На почвах с повышенной плотностью загрязнения  $^{137}Cs$  (185–1480 кБк/м<sup>-2</sup>) и (или) загрязненных  $^{90}Sr$  с плотностью более 11 кБк/м<sup>-2</sup>, где возможно превышение допустимого уровня содержания радионуклидов

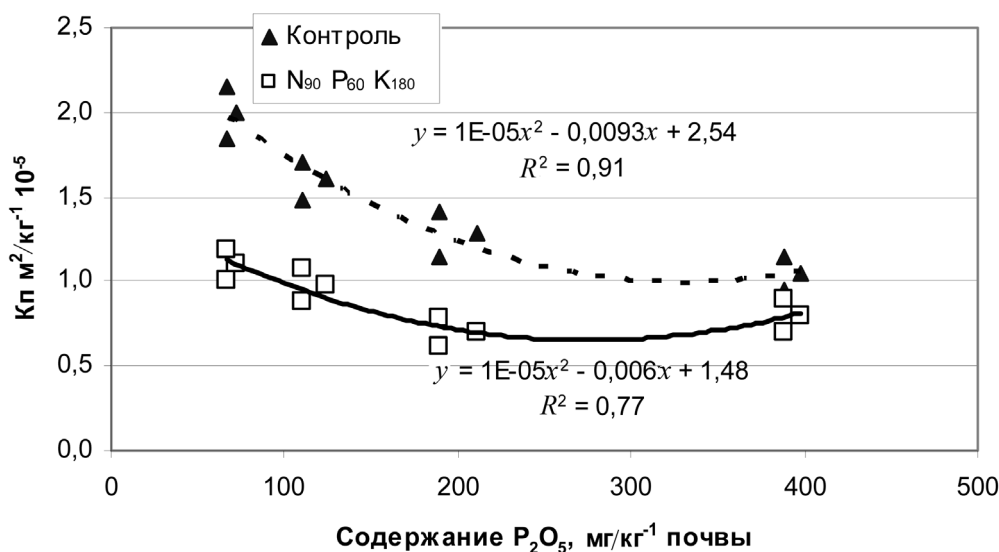


Рис. 4. Переход  $^{137}Cs$  в зерно яровой пшеницы в зависимости от содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистой супесчаной почве и минеральных удобрений

в продукции (РДУ-99) без защитных мер, предусмотрены более высокие дозы фосфора и калия для снижения перехода радионуклидов в продукцию. На бедных почвах мелиоративные дозы калия и фосфора также обеспечивают ускоренное повышение содержания подвижных форм этих элементов до оптимального уровня.

Т а б л и ц а 2. Нормативы потребности в удобрениях на загрязненных радионуклидами землях, кг/га<sup>-1</sup>

Почва	Содержание K <sub>2</sub> O, мг/кг почвы	Нормативы потребности при плотности загрязнения, Ки/км <sup>2</sup>		
		<sup>137</sup> Cs 1,0–4,9	<sup>137</sup> Cs 5,0–14,9	<sup>137</sup> Cs 15,0–40,0
		<sup>90</sup> Sr 0,15–0,29	<sup>90</sup> Sr 0,30–0,99	<sup>90</sup> Sr 1,00–3,00
<b>Калийные удобрения</b>				
<i>Пахотные земли</i>				
Дерново-подзолистые, дерновые	80 и менее	120	180	220
	81–140	100	140	180
	141–200	80	100	140
	201–300	60	70	100
	Более 300	–	–	–
Торфяные	200 и менее	140	200	240
	201–400	120	160	200
	401–600	90	120	160
	601–1000	70	80	100
	Более 1000	–	–	–
<i>Улучшенные луговые земли</i>				
Дерново-подзолистые, дерновые	80 и менее	100	150	200
	81–140	90	120	160
	141–200	70	90	120
	201–300	50	70	90
	Более 300	–	–	–
Торфяные	200 и менее	120	170	220
	201–400	100	140	180
	401–600	80	100	140
	601–1000	60	70	90
	Более 1000	–	–	–
<b>Фосфорные удобрения</b>				
<i>Пахотные земли</i>				
Дерново-подзолистые, дерновые	60 и менее	45	60	90
	61–100	35	50	70
	101–150	30	35	50
	151–250	25	25	30
	Более 250	–	–	–
Торфяные	200 и менее	50	80	120
	201–300	35	60	90
	301–500	30	40	60
	501–800	25	25	30
	Более 800	–	–	–
<i>Улучшенные луговые земли</i>				
Дерново- подзолистые, дерновые	60 и менее	35	60	80
	61–100	30	50	60
	101–150	20	30	40
	151–250	15	20	25
	Более 250	–	–	–
Торфяные	200 и менее	50	85	100
	201–300	40	60	70
	301–500	30	45	50
	501–800	15	25	30
	Более 800	–	–	–



При плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  в интервале 37–185 кБк/м<sup>2</sup> и (или)  $^{90}\text{Sr}$  6–11 кБк/м<sup>2</sup> применение калийных и фосфорных удобрений будет осуществляться меньшими дозами, предусмотренными только для поддержания нынешнего уровня плодородия. Однако и на этих почвах, с низкой плотностью загрязнения радионуклидами, предполагается постепенное повышение плодородия в диапазоне от низкого до оптимального содержания подвижных форм фосфора и калия. На почвах с агрохимическими показателями выше оптимальных защитные меры не планируются. Этим предотвращается неэффективное использование удобрений и ухудшение качества продукции на почвах с содержанием  $\text{K}_2\text{O}$  более 300 мг/кг<sup>-1</sup> на минеральных и 1000 мг/кг на торфяных почвах. Фосфорные удобрения также выделяются только на первые четыре группы обеспеченности почв подвижными фосфатами. Доля загрязненных пахотных почв, где содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  превышает уровень 250 мг/кг<sup>-1</sup> почвы, сильно различается по областям – от 13 до 50% (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Распределение загрязненных радионуклидами пахотных почв по группам содержания подвижных фосфатов, %

Область	Площадь загрязненных почв $^{137}\text{Cs} > 37\text{кБк/м}^2$ , тыс. га	Содержание $\text{P}_2\text{O}_5$ , мг кг <sup>-1</sup> почвы				
		< 60	61–100	101–150	151–250	> 250
Брестская	28,9	19	15	18	28	20
Гомельская	347,0	5	7	10	28	50
Гродненская	15,9	11	15	21	39	15
Минская	30,4	12	20	26	29	13
Могилевская	156,5	5	11	17	35	32
Беларусь	578,7	6	9	13	31	41

Учитывая экономический фактор, на загрязненных землях рекомендуется обеспечить внесение минимального количества фосфора, необходимого для сбалансированного питания возделываемых культур, а также для достижения и поддержания нижней границы оптимального содержания подвижных фосфатов в почве. Введение усовершенствованных нормативов объективно определяет сокращение потребности на 14–15% в калийных и фосфорных удобрениях для проведения агрохимических защитных мер.

**Азотные удобрения.** Важная роль отводится регулированию азотного питания растений, поскольку недостаток доступного азота в почве приводит к снижению урожая, а повышенные дозы азотных удобрений усиливают накопление радионуклидов в растениях. Экспериментальные данные свидетельствуют, что избыточное азотное питание растений в 1,2–1,3 раза повышает поступление радионуклидов в растения по сравнению с оптимальной дозой азота. При подкормках озимых и яровых зерновых культур рекомендуется проведение почвенной и растительной диагностики. Важным звеном оптимизации азотного питания растений является применение новых медленно действующих карбамида и сульфата аммония с добавками гуматов и других биологически активных компонентов, выпускаемых Гродненским ПО «Азот» по совместным разработкам Института почвоведения и агрохимии и других научных учреждений. Применение медленно действующих азотных удобрений позволяет повысить на 20–40% их окупаемость прибавкой урожая при одновременном уменьшении содержания радионуклидов на 15–30%, а также снижению накопления нитратов в картофеле, овощах и кормовых культурах [27]. Для сбалансированности элементов минерального питания растений, сокращения непроизводительных затрат и равномерного распределения удобрений по площади поля рекомендуется применять комплексные минеральные удобрения с добавками микроэлементов и биологически активных веществ. Многочисленные марки таких удобрений разработаны и выпускаются для наиболее ценных сельскохозяйственных культур.

**Органические удобрения.** Систематическое применение органических удобрений приобретает особую значимость в связи с тем, что за последние 12 лет повсеместно снизилось (на 0,03–0,39%) содержание гумуса в загрязненных радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  почвах 22 районов Беларуси (рис. 5).

Большие потери органических веществ в почвах Полесья являются следствием несбалансированной интенсификации земледелия, которая может привести к деградации плодородия почв. Обеспеченность почв гумусом является одним из параметров почвенного плодородия, определяющих накопление радионуклидов в растениях. Экспериментальные данные свидетельствуют, что с повышением содержания гумуса в почвах от 1,0 до 3,5% накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческой продукции снижается в 1,5–3,5 раза. Необходимо использовать все имеющиеся источники обогащения почв органическим веществом: навоз, компосты, солому, зеленые удобрения, а при небольшом радиусе перевозок – торф и нейтрализованный лигнин (отход гидролизных заводов). Очевидно, что принимаемые меры по увеличению выхода и внесения в почву органических удобрений еще недостаточны и пока не могут остановить отрицательный баланс органического вещества в пахотных почвах. Требуется дополнительные мероприятия почвозащитного земледелия, направленные на расширение доли многолетних бобовых трав и бобово-злаковых травосмесей и оптимизации соотношения площадей многолетних трав и пропашных культур.

**Коренное и поверхностное улучшение пастбищ и сенокосов** является наиболее эффективной мерой в кормопроизводстве, которая обеспечивает снижение загрязнения трав до 2–9 раз [1, 4, 5]. Первые 10 лет после аварии коренное улучшение пастбищ и сенокосов проводилось повсеместно, во всех хозяйствах. В настоящее время из общей площади 660 тыс. га земель, загрязненных исключительно  $^{137}\text{Cs}$ , примерно на площади 500 тыс. га с плотностью загрязнения менее  $185 \text{ kBк/м}^{-2}$  сегодня можно получать нормативно-чистые корма при условии поддержания уровня плодородия. На остальных 160 тыс. га, представленных преимущественно малопродуктивными сенокосами и пастбищами, необходимо проводить коренное или поверхностное улучшение, что гарантирует получение нормативно-чистого молока при выпасе и кормлении дойного стада. В настоящее время улучшение пастбищ в качестве защитной меры проводится с приоритетом для выпаса коров сельских подворий тех населенных пунктов, где в предыдущие годы регистрировались случаи превышения допустимого содержания  $^{137}\text{Cs}$  в молоке. Подкормка сбалансированными дозами минеральных удобрений позволяет удвоить продуктивность и длительность использования дернины луга, а также снизить на одну треть себестоимость зеленого корма.

**Эффективность защитных мер.** Проведенные защитные меры показали высокую эффективность. Несмотря на периодическое ужесточение санитарно-гигиенических нормативов, производство молока с превышением допустимого содержания  $^{137}\text{Cs}$  в общественном секторе снизилось с 524,6 тыс. т в 1986 г. до 1,4 тыс. т в 2000 г. и до 37–60 т за последние два года. Широкое применение метода предубойного откорма животных кормами с низким содержанием  $^{137}\text{Cs}$  в рационе позволило практи-

Содержание гумуса, %

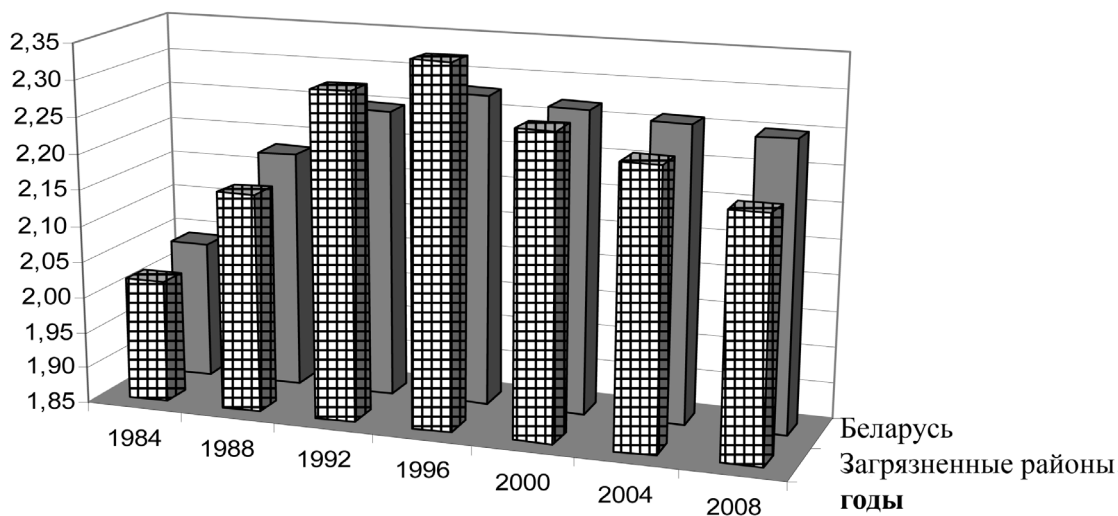


Рис. 5. Динамика содержания гумуса в пахотных почвах 22 наиболее загрязненных районов в сопоставлении со средневзвешенными показателями по Беларуси

чески исключить возврат скота с мясокомбинатов по результатам прижизненной дозиметрии. Практически все зерно, картофель и овощи соответствуют нормативам содержания  $^{137}\text{Cs}$ . Значительно улучшилось качество продуктов питания, производимых в личных подсобных хозяйствах. Количество населенных пунктов в Беларуси, где регистрируется молоко с содержанием  $^{137}\text{Cs}$  более 100 Бк/л, за последние 12 лет снизилось с 580 до 25, хотя проблема еще требует решения. Предотвращение коллективной дозы внутреннего облучения населения Беларуси за счет сельскохозяйственных защитных мер за период 1986–2005 гг. оценивается в объеме 2–3 тыс. чел.-Зв [5].

В целом за поставарийный период проведенные защитные меры и естественные процессы распада и закрепления радиоизотопов в почве позволили снизить поступление  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственную продукцию в 15–20 раз. Имеется возможность снижения допустимого уровня содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мясе КРС и баранине с 500 до уровня 160 Бк/кг, предусмотренных в санитарно-гигиенических нормативах России (СанПиН 2.3.2.1078–01 РФ от 01.09.2002 г.). Средневзвешенная концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в сырье, поступающем на переработку в Беларуси в настоящее время, в 2–5 раз ниже допустимых уровней.

Больше внимания требует проблема  $^{90}\text{Sr}$ , обострившаяся в последние годы. Поступление  $^{90}\text{Sr}$  в пищевую цепочку за поставарийное время снижено примерно в 3 раза. Это снижение произошло в большей мере за счет защитных мер и распада радионуклида, так как подвижность  $^{90}\text{Sr}$  в почве и доступность его растениям имеет тенденцию к повышению. В Беларуси приняты значительно более жесткие, чем в России и Украине, допустимые уровни содержания  $^{90}\text{Sr}$  в продуктах питания, поэтому одних агрохимических защитных мер недостаточно для требуемого уменьшения поступления  $^{90}\text{Sr}$  в сельскохозяйственную продукцию. В Гомельской области имеются большие массивы пахотных почв, загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  с плотностью 11–111 кБк/м<sup>2</sup>, всего 80 тыс. га, где наблюдаются превышения допустимых уровней загрязнения продовольственного зерна в объемах 30–50 тыс. т в год и отдельные случаи превышения концентрации  $^{90}\text{Sr}$  в молоке и картофеле. Решение проблемы производства нормативно-чистых по  $^{90}\text{Sr}$  продуктов питания возможно только путем плановой трансформации земель, дифференцированного размещения посевов сельскохозяйственных культур и целевого использования конечной продукции на основе прогноза загрязнения урожая с учетом свойств почв и радиационного контроля. Например, зерно с повышенным содержанием  $^{90}\text{Sr}$  используется на семена, фураж или перерабатывается на спирт, а молоко перерабатывается на масло. Загрязненное зерно может быть использовано без ограничений на корм животным и для переработки на спирт с последующим использованием барды для откорма крупного рогатого скота. При этом сельскохозяйственные животные выступают в роли эффективного «биологического фильтра» на пути поступления радионуклидов в организм человека.

Принципиально важно, что эффективность агрохимических мер, оцениваемая по относительному снижению поступления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию по сравнению с контрольными вариантами, не снижается с течением времени и зависит от степени различия исходных агрохимических показателей почв от их оптимальных параметров (рН, содержание подвижных форм калия и фосфора). Однако в связи с изменением подвижности радионуклидов во времени абсолютные исходные коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в растительную продукцию существенно снизились, а коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$ , наоборот, несколько повысились. Поэтому при оценке эффективности агрохимических защитных мер необходимо учитывать не только снижение концентрации радионуклидов в растительной продукции, но и изменение показателей плодородия почв в сопоставлении с оптимальными параметрами.

Даже при повышенной плотности загрязнения радионуклидами защитные агрохимические меры мелиоративного характера необходимо проводить только на тех полях севооборота или рабочих участках, где исходные агрохимические параметры меньше оптимального диапазона. Важным критерием эффективности агрохимических защитных мер является динамика доли почв с оптимальными агрохимическими параметрами в процентах от соответствующей общей площади пахотных земель или улучшенных сенокосов и пастбищ. Оценка по этому критерию может проводиться один раз в четыре года путем сравнения результатов двух туров агрохимического обследования по хозяйствам и районам.

## Выводы

1. Агрохимические защитные меры в комплексе с модернизацией технической и технологической инфраструктуры хозяйств являются основным стратегическим ядром в системе радиационной защиты населения и реабилитации сельских населенных пунктов на загрязненной радионуклидами территории.

2. Проведенные защитные меры показали высокую эффективность. Уже ряд лет зерно, картофель, овощи производятся с содержанием  $^{137}\text{Cs}$  ниже допустимого уровня (РДУ-99). Количество молока с превышением норматива по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  сократилось до 37–60 т в год в общественном секторе и около 0,1% от контролируемых проб в личных подсобных хозяйствах. Создан фундамент плодородия почв для гарантии производства нормативно-чистых продуктов питания. На основных массивах загрязненных пахотных почв поддерживается оптимальный уровень реакции, содержание подвижных форм калия и фосфора на 24–30% выше, чем на незагрязненных почвах.

3. Проблемные вопросы сконцентрировались в сельских подворьях и тех сельскохозяйственных организациях, где преобладают малопродуктивные, зачастую переувлажненные, песчаные и торфяные почвы, характеризующиеся высокими коэффициентами перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию. Несбалансированная интенсификация земледелия обусловила отрицательный баланс гумуса на загрязненных пахотных почвах Полесья. Требуется улучшить калийный и фосфатный режим на половине площади луговых почв и 20–30% пашни.

4. Улучшение радиационной обстановки и нарастающая стоимость материально-энергетических ресурсов требуют корректировки объемов и повышения эффективности агрохимических защитных мер. Разработаны количественные критерии и нормативы агрохимических свойств почв и плотности их загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  для определения необходимости мелиоративных (повышенных) доз извести, фосфорных, калийных удобрений и для проведения поддерживающих защитных мер. Это позволит сократить затраты на 14–15% при гарантии производства продуктов питания и сельскохозяйственного сырья с допустимым содержанием радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

## Литература

1. А л е к с а х и н, Р. М. Радиоэкологические уроки Чернобыля / Р. М. Алексахин // Радиобиология. – 1993. – Т. 33, № 1. – С. 3–14.
2. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси / под ред. Ю. А. Израэля, И. М. Богдевича. – Москва; Минск: НИИ-Природа, 2009. – 140 с.
3. Countermeasures on natural and agricultural areas after Chernobyl accident / I. Bogdevitch [et al.] // Role of GIS in Lifting Cloud of Chernobyl: J. Kolečka (ed.), Kluwer Academic Publishers. – 2002. – P. 147–158.
4. Countermeasures in Agriculture: assessment of efficiency / G. Deville-Cavelin [et al.] // Proceeding of the International Conference “Fifteen Years after the Chernobyl Accident. Lessons Learned”, Kiev, Ukraine, April 18–20. – Kiev, 2001. – P. 118–128.
5. Twenty years’ application of agricultural countermeasures following the Chernobyl accident: lesson learned / S. V. Fesenko [et al.] // Journal of Radiological Protection. – 2006. – N 26. – P. 351–359.
6. А г е е ц, В. Ю. Система радиоэкологических контрмер в агрофере Беларуси / В. Ю. Агеец. – Минск: РНИУП «Институт радиологии», 2001. – 249 с.
7. Б о г д е в и ч, И. М. Научные основы земледелия в зоне радиоактивного загрязнения / И. М. Богдевич // Чернобыльская катастрофа: причины и последствия. – Минск, 1992. – Ч. 3. – С. 42–60.
8. П о д о л я к, А. Г. Влияние вертикальной миграции и форм нахождения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах на их биологическую доступность на примере естественных лугов Белорусского Полесья / А. Г. Подоляк // Агрехимия. – 2007. – № 2. – С. 72–82.
9. Факторы, определяющие уровень загрязнения радиоцезием многолетних трав на пойменных лугах / С. Касьянчик [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 1998. – Вып. 30. – С. 190–196.
10. Б о г д е в и ч, И. М. Аккумуляция  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в травостое основных типов лугов Белорусского Полесья в зависимости от параметров вертикальной миграции и форм нахождения радионуклидов в почвах / И. М. Богдевич, А. Г. Подоляк // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1 (36). – С. 233–246.
11. Вертикальная миграция радионуклидов в профиле пахотных и залежных почв / С. В. Тарасюк [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2002. – Вып. 32. – С. 27–34.
12. Основы ведения сельского хозяйства / И. М. Богдевич [и др.] // Экол., мед.-биол. и соц.-экон. послед. катастрофы на ЧАЭС в Беларуси / Ин-т радиобиологии АН Беларуси. – Минск, 1996. – Гл. 2. – С. 52–102.
13. П у т я т и н, Ю. В. Минимизация поступления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческую продукцию / Ю. В. Путятин. – Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2008. – 255 с.
14. N i s b e t, A. F. Soil-to-plant transfer factors for radiocaesium and radiostrontium in agricultural systems / A. F. Nisbet, F. M. Woodman // Health Physics. – 2000. – Vol. 78, N 3. – P. 279–288.

15. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь. – Утв. МЗ РБ 18.08.2009. – Гомель: ГУ «РНПЦ РМиЭЧ», 2009. – 86 с.
16. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»; сост. И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2003. – С. 72.
17. И в а н о в, С. Н. Количественные закономерности изменения величины отношения стронция-90 к кальцию в растениях при изменении ее в почве / С. Н. Иванов, Э. Д. Шагалова, С. С. Шифрина // Почвоведение и агрохимия. – 1975. – № 12. – С. 147–149.
18. Б о н д а р ь, П. Ф. Оценка эффективности калийных удобрений как средства снижения загрязнения урожая радиоцезием / П. Ф. Бондарь // Агрохимия. – 1994. – № 1. – С. 76–84.
19. К а ш п а р о в, В. А. Проблемы сельскохозяйственной радиологии в Украине на современном этапе / В. А. Кашпаров, Н. М. Лазарев, С. В. Полищук // Агроэкологический журнал. – 2005. – № 3. – С. 31–41.
20. Проблемы применения конгрмер в сельском хозяйстве Украины после аварии на Чернобыльской АЭС / Б. С. Пристер [и др.] // Веснік аграрної науки. – 1996. – № 1. – С. 78–81.
21. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля / Л. Дж. Апплби [и др.]; пер. с англ. – М.: Мир, 1999. – 512 с.
22. В е р г м а н н, W. Nutritional disorders of plants / G. Fisher. – New York, 1992. – 741 p.
23. Влияние фосфорных удобрений на накопление <sup>137</sup>Cs сельскохозяйственными культурами / В. К. Кузнецов [и др.] // Агрохимия. – 2001. – № 9. – С. 47–53.
24. E v a n s, E. J. Effect of nitrogen on caesium-137 in soils and its uptake by oat plants / E. J. Evans, A. J. Dekker // Canadian Journal of Soil Science. – 1968. – Vol. 49. – P. 349–355.
25. М и к у л и ч, В. А. Переход <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr яровую пшеницу в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы фосфатами и доз минеральных удобрений / В. А. Микулич // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 1 (40). – С. 288–297.
26. B o g d e v i t c h, I. Yield and quality of spring wheat grain in relation to P-status of Luvisol loamy sand soil and fertilization / I. Bogdevitch, V. Mikulich // Agricultural sciences. – 2008. – Т. 15, N 4. – P. 47–54.
27. Пироговская Г. В. Медленнодействующие удобрения / Г. В. Пироговская. – Минск, 2000. – 287 с.

*I. M. BOGDEVITCH*

## **RESULTS AND PROSPECTS OF AGROCHEMICAL PROTECTIVE MEASURES ON THE LANDS CONTAMINATED WITH RADIONUCLIDES IN BELARUS**

### **Summary**

The paper presents the analysis of agrochemical protective measures conducted on the contaminated lands in Belarus within 25 years after the Chernobyl catastrophe. A high efficiency of protective measures, especially liming and differential application of K and P fertilizers is shown. As a result of works and natural decay, sorption and migration of radionuclides, the inflow of <sup>137</sup>Cs has been reduced by 15–20 times and <sup>90</sup>Sr – by 3 times, the fertility of arable and grassland soils to guarantee the production of foodstuff with a permissible level of radionuclides has been increased. The ways to increase the efficiency of protective measures and optimize agrochemical indices of soils fertility are examined.