



И.М.Богдевич, академик ААН РБ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
И.Д.Шмигельская, И.А.Ефимова, Ю.В.Путятин,
кандидаты сельскохозяйственных наук
НИГП «Институт почвоведения и агрохимии»
УДК 632.118.3

Размеры накопления цезия-137 и стронция-90 видами и сортами сельскохозяйственных культур

Показано, что различия в накоплении радионуклидов в зависимости от вида культур и продукции при одинаковой плотности загрязнения почв радионуклидами и агрохимических показателях могут достигать сотни раз. Сортные отличия в накоплении ^{137}Cs и ^{90}Sr менее значительны — до 3-4 раз. Приведено ранжирование основных культур, возделываемых в зоне радиоактивного загрязнения почв, по величине накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в урожае.

Подбор видов и сортов сельскохозяйственных культур с минимальными размерами накопления радионуклидов можно рекомендовать в качестве простого экономически оправданного способа снижения загрязнения сельскохозяйственной продукции.

Решение проблем, связанных с ведением сельского хозяйства на территории, загрязненной радионуклидами, занимает одно из ведущих мест в комплексе мероприятий по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС [1, 2, 5, 6]. Проведенные исследования убедительно показали, что на 70% коллективная доза облучения формируется за счет поступления радионуклидов в организм человека с продуктами питания [4]. Это приводит к необходимости разработки и внедрения защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве, на-

The accumulation of radionuclides in various species and varieties of agricultural plants on the same conditions of soil contaminated by radionuclides and agrochemical exponents can differ hundred times. The differences in accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr are less — up to 3-4 times. The article grades the basic plants cultivated on contaminated soils per volume of ^{137}Cs and ^{90}Sr as well as per crop yield.

It is possible to recommend selecting the species and varieties of agricultural plants having minimal capabilities of accumulation as a simple economically justified way of reducing the contamination of agricultural produce in general.

правленных на снижение поступления их в возделываемые культуры и соответственно производимую продукцию, а также на уменьшение доз внутреннего облучения.

С течением времени содержание радионуклидов в сельскохозяйственной продукции снижается. Более выражен этот процесс для ^{137}Cs , обусловленный как проведением защитных мер, так и постепенным закреплением ^{137}Cs в почвах за счет природных факторов распада и фиксации. Для примера приводим поступление ^{137}Cs в зерно ячменя (рис. 1).

Подвижность ^{90}Sr и его доступность растениям не уменьшается, а даже имеет тенденцию к повышению.

Биологические особенности растений проявляются в их разной способности поглощать элементы питания из почв [3, 7]. В этой связи доступность радионуклидов и размеры их включения в пищевые цепочки существенно зависят от уровня применяемых контрмер, природных условий (типа почв, гранулометрического состава, режима увлажнения, агрохимических свойств) и особенностей культур. Для решения широкого круга задач, связанных с оценкой последствий радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий и обоснованием защитных мероприятий, необходимы параметры перехода радионуклидов в сельскохозяйственные культуры.

В статье рассматриваются размеры накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в основных культурах, возделываемых в зоне загрязнения, в зависимости от их видовых и сортовых особенностей.

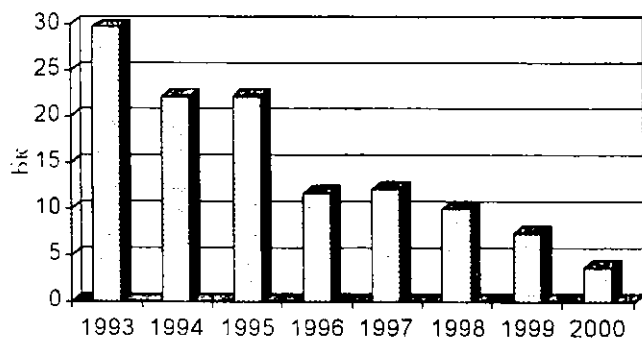


Рис. 1. Динамика содержания ^{137}Cs в зерне ячменя на дерново-подзолистых супесчаных почвах при плотности загрязнения 370 kBq/m^2

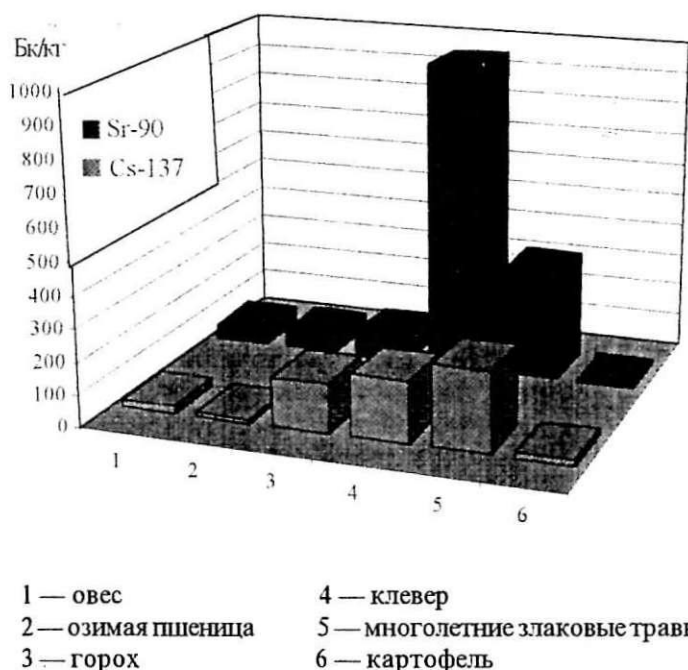


Рис.2. Поступление радионуклидов в культуры на дерново-подзолистых супесчаных почвах при плотности загрязнения по ^{137}Cs - 370 кБк/м², ^{90}Sr — 37 кБк/м²

Исследования проводились в рамках Чернобыльской программы НИР. Для оценки размеров перехода радионуклидов в разные виды культур в производственных посевах хозяйств, расположенных на территории Гомельской и Могилевской областей, закладывались пробные площадки размером 1 м², на которых отбирались сопряженные почвенные и растительные образцы для дальнейшего определения активности проб по ^{137}Cs , ^{90}Sr и необходимых агрохимических характеристик почв. Влияние сортовых особенностей изучали в полевых опытах с сортами рапса, сои и гибридами кукурузы, заложенных в экспериментальной базе «Стреличево» Хойникского района на дерново-подзолистой супесчаной почве. Агрохимическая характеристика почвы: рН-5,5-6,5, содержание подвижных форм фосфора и калия соответственно 123-153 и 105-127 мг/кг почвы, гумуса — 2,1%. Плотность загрязнения ^{137}Cs — 407-450 кБк/м², ^{90}Sr — 41-52 кБк/м².

Поведение ^{137}Cs и ^{90}Sr в системе почва-растение имеет ряд отличительных особенностей. При одинаковой плотности загрязнения почв поступление в растения ^{90}Sr практически на порядок выше, чем ^{137}Cs . Причиной этому являются различия в формах содержания радионуклидов в почвах: ^{137}Cs находится в основном в прочно фиксированной форме, ^{90}Sr — в обменной.

На рисунке 2 приведены данные по накоплению радионуклидов в отдельных культурах, возделываемых на пашне, а также многолетних злаковых травах, произрастающих на окультуренных кормовых угодьях. Сравнение по величине накопления ^{137}Cs в урожае культур показывает, что наибольшей способностью аккумулировать этот элемент обладают многолетние злаковые травы.

Следует отметить, что сеяные травы накапливают ^{137}Cs в 2-3 раза меньше, чем травы естественных лугов (рис.3).

На рисунке приведены уровни загрязнения трав на окультуренных и естественных сенокосах при одинаковой обеспеченности почв обменным калием. Обычно же почвы естественных сенокосов относятся к низкообеспеченным по содержанию K_2O , в связи с чем различия в накоплении радионуклидов в травах намного большие, особенно в том случае, когда травы естественных сенокосов представлены осоково-злаковыми или чисто осоковыми ценозами. Например, удельная активность по ^{137}Cs осоки пузырчатой, произрастающей на иловато-болотных почвах, в 64 раза выше, чем мятлики лугового на автоморфных дерново-подзолистых. Поэтому при проведении защитных мероприятий на радиоактивно загрязненных территориях важную роль играло коренное и поверхностное улучшение естественных лугов и пастбищ. Эти мероприятия включали обработку почв, внесение удобрений и известкование кислых почв, а также посев многолетних злаковых трав.

Многолетние злаковые травы в зависимости от их видовой принадлежности также значительно различаются по величине перехода радионуклидов в вегетативную массу. Так, по двухлетним данным наблюдений, активность по ^{137}Cs сена из ежи сборной была в 1,5 раза ниже, чем из тимopheевки, но в 2 раза выше по накоплению ^{90}Sr .

Бобовые травы и зернобобовые культуры накапливают ^{137}Cs несколько меньше, чем сеяные многолетние злаковые травы. Удельная активность клевера и гороха по ^{137}Cs ниже активности многолетних злаковых трав (рис.2). Причем разные виды клевера достаточно хорошо различаются по накоплению радионуклидов (рис.4). Так, замеры удельной активности вегетативной массы разных видов клевера по ^{137}Cs показали, что самая высокая активность присуща клеверу белому в сравнении с клевером луговым (красным) и розовым гибридом. Наименьшая величина накопления отмечена у клевера лугового.

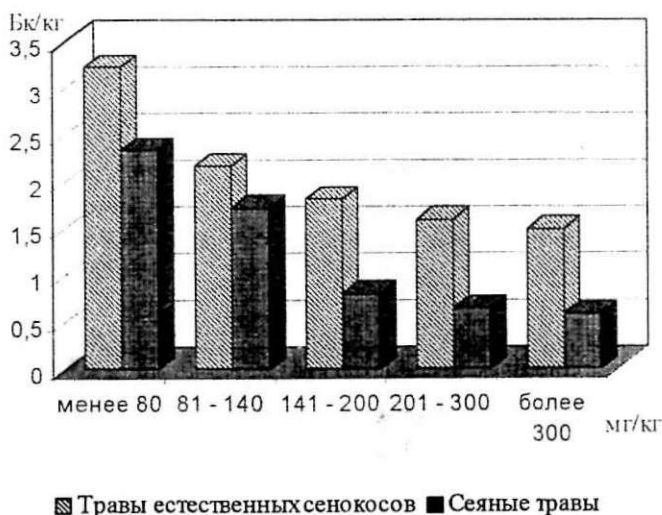


Рис.3. Размеры накопления ^{137}Cs в семях сеяных многолетних злаковых трав и трав естественных сенокосов при плотности загрязнения почв 370 кБк/м²

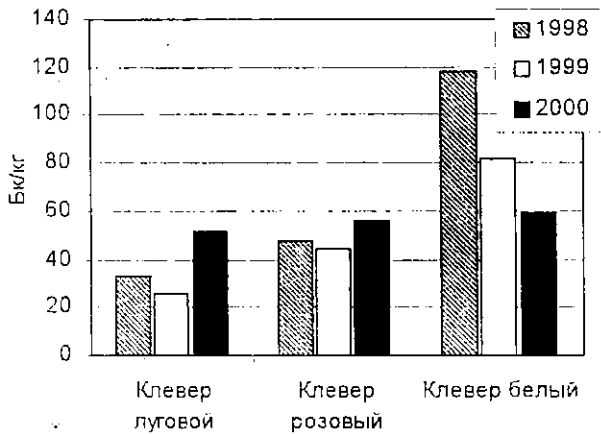


Рис. 4. Содержание ^{137}Cs в сене различных видов клевера при плотности загрязнения почв 370 кБк/м^2

Бобовые травы и зернобобовые культуры относятся к кальцийлюбивым культурам и поэтому отличаются высоким поступлением в урожай ^{90}Sr . В течение 1999–2000 гг. были получены данные по загрязнению ^{90}Sr вегетативной массы клевера, люпина, гороха, горохо-овсяных и вико-овсяных смесей. Результаты исследований приведены на рисунке 5. Влажность вегетативной массы — в пределах 16%.

Культуры заметно различаются по величине перехода радионуклида в вегетативную массу. Более того, величина накопления зависит не только от особенностей культуры, но и от погодных условий вегетационного периода. Наиболее высоким накоплением ^{90}Sr отличаются клевер и люпин, горох и вика накапливают радиостронция в меньших размерах, а введение в посевы этих культур овса приводит к еще большему снижению удельной активности массы в целом.

Анализируя данные, приведенные на рисунке, следует также отметить, что вегетативная масса исследуемых культур превышает допустимые уровни содержания ^{90}Sr в

кормах при плотности загрязнения почв 37 кБк/м^2 . В связи с высоким накоплением ^{90}Sr в урожае бобовые и зернобобовые культуры были выведены из севооборотов и возвращение их на загрязненные радионуклидами земли требует глубоких исследований параметров насыщенности и соотношения катионов в почвенном поглощающем комплексе, поступления их в растения и т.д.

В загрязненных районах значительные площади занимают зерновые культуры, такие как озимая рожь, ячмень, озимая и яровая пшеницы, овес. В целом зерновые культуры отличаются невысокими переходами радионуклидов в зерно, но имеются различия, связанные с их биологическими особенностями, что хорошо видно на рисунке 6.

Среди представленных зерновых культур больше всего ^{137}Cs накапливает зерно овса, меньше — зерно озимой ржи. По величине накопления ^{90}Sr выделяется зерно ячменя.

Невысокие уровни накопления радионуклидов наблюдаются в зеленой массе кукурузы, клубнях картофеля и корнеплодах кормовой свеклы. При плотности загрязнения 370 кБк/м^2 (содержание обменного калия $140\text{--}200 \text{ мг/кг}$, кислотность почв $6\text{--}7 \text{ pH}$) загрязнение зеленой массы кукурузы по ^{137}Cs составляет в среднем $18,5 \text{ Бк/кг}$, картофеля и корнеплодов кормовой свеклы — около 15 Бк/кг , по ^{90}Sr соответственно $54, 7$ и 30 Бк/кг при плотности загрязнения почв 37 кБк/м^2 .

Анализ размеров перехода радионуклидов за последние три года показал, что различия в накоплении ^{137}Cs , связанные с видовыми особенностями культур, могут составлять от нескольких до десятков раз. Например, при одинаковой плотности загрязнения и обеспеченности обменным калием дерново-подзолистых супесчаных почв переход ^{37}Cs в зерно озимой ржи почти в 8 раз ниже, чем его поступление в семена ярового рапса, и в 24 раза по сравнению с зерном люпина.

По накоплению радиоцезия в урожае культур установлен следующий убывающий ряд: разнотравье заболоченных лугов, зеленая масса люпина, многолетние злаковые травы, зеленая масса рапса, клевера, гороха, вики, солома овса, зеленая масса кукурузы, зерно овса, ячменя, кар-

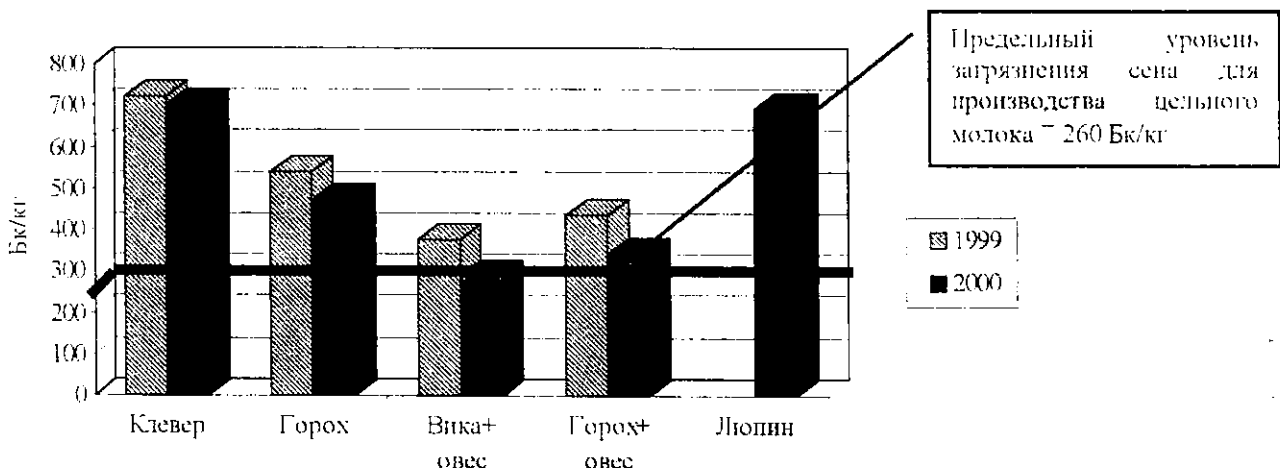


Рис. 5. Величина накопления ^{90}Sr в вегетативной массе бобовых и бобово-злаковых смесей при плотности загрязнения почв 37 кБк/м^2

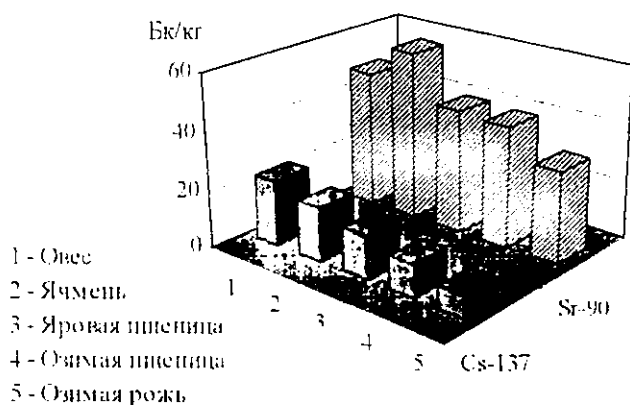


Рис. 6. Параметры перехода радионуклидов в зерно основных зерновых культур, возделываемых на почвах при плотности загрязнения по ^{137}Cs — 370 кБк/м², по ^{90}Sr — 37 кБк/м²

тофель, кормовая свекла, зерно озимой ржи и пшеницы. По содержанию ^{90}Sr соответственно: зеленая масса клевера, люпина, гороха, рапса, вики, многолетних злаковых трав, солома ячменя, зеленая масса озимой ржи, кормовая свекла, зеленая масса кукурузы, солома овса, озимой ржи, зерно ячменя, овса, озимой ржи, картофель.

Сортовые различия в накоплении радионуклидов значительно меньше, но их также необходимо учитывать при подборе культур для возделывания в зоне загрязнения почв радионуклидами. В результате исследований зарубежных и отечественных сортов ярового рапса было установлено, что сортовые особенности сказываются как на продуктивности, так и на уровне загрязнения семян (рис. 7).

Средняя продуктивность исследуемых сортов составляла 2,0 т/га и выход масла 0,87 т/га. Урожайность семян

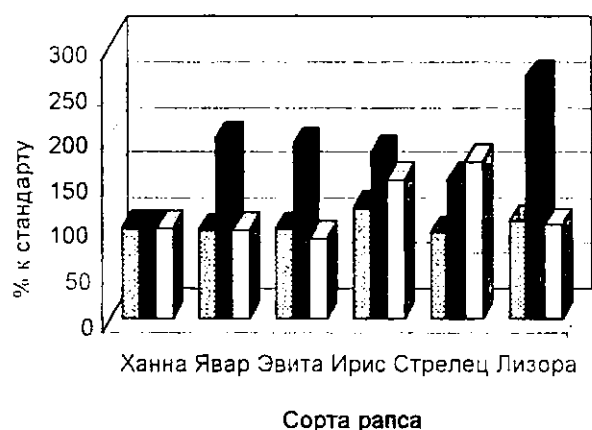


Рис. 7. Продуктивность семян и накопление радионуклидов районированных и перспективных сортов ярового рапса на дерново-подзолистой супесчаной почве (1997–1998 гг.)

сортов рапса колебалась от -12% до +26% к величине урожай стандартного для Республики Беларусь сорта Ханна шведской селекции. Выход масла с 1 га посевной площади зависел как от урожайности (колебания по сортам 1,71–2,44 т/га), так и от процентного содержания масла в семенах (колебания по сортам 38,9–47,5%). В целом следует отметить более высокую масличность немецких сортов. В период проведения исследований различия в накоплении ^{137}Cs сортами рапса по годам составляли 1,8–2,7 раза, ^{90}Sr — 1,8–4,0 раза, однако тенденции в различиях накопления радионуклидов сортами рапса сохранялись.

Сорта различаются также по соотношению размеров накопления в семенах ^{137}Cs и ^{90}Sr . Например, такие сорта ярового рапса, как Ирис и Стрелец одновременно накапливают много ^{137}Cs и ^{90}Sr , тогда как Явар и другие в большей степени концентрируют радиоцезий. Поэтому при внедрении того или иного сорта необходимо учитывать не только продуктивность, но и радионуклидный состав загрязнения семян.

Сравнение опытных данных по накоплению радионуклидов в растениях кукурузы различной селекции показало, что гибриды французской селекции превосходят по продуктивности гибриды, районированные в республике. Минимальное содержание ^{137}Cs в зеленой массе и зерне кукурузы по результатам трехлетних исследований французских гибридов зарегистрировано у сорта Aral, ^{90}Sr у сортов Rival, Oural и Thirah (рис. 8). Сортовые различия в накоплении радионуклидов менее существенны при производстве зерна кукурузы.

В опытах с соей урожайность трех исследуемых сортов Ясельда, Виляя и Щара мало различалась и составила 20,6 ц/га. Минимальные уровни накопления радиоцезия в зерне отмечены у районированного сорта Ясельда, радиостронция — у сорта Виляя. Сортовые особенности накопления радионуклидов сказались и в нетоварной части урожая. Коэффициенты переходов радионуклидов в солому сои были в среднем в 2,5–2,7 раза выше, чем в зерно.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что культивирование сортов с минимальными размерами накопления радионуклидов можно рекомендовать в качестве простого экономически оправданного способа снижения загрязнения урожая и эффективность такого агротехнического приема с течением времени не будет снижаться. За счет введения в севообороты сортов с минимальными размерами накопления радионуклидов можно значительно расширить площади культур, продукция которых будет соответствовать Республиканским допустимым уровням.

На коэффициентах перехода радионуклидов в урожай различных культур, результатах радиологического и агрохимического обследования почв основывается прогнозирование уровня загрязнения будущего урожая культур. Так, используя прогноз, можно заранее предвидеть уровни загрязнения многолетних трав и возможности их использования для производства молока цельного. При выпасе коров на естественных пастбищах такое молоко с приемлемым содержанием ^{137}Cs можно получать при плотности загрязнения песчаных почв до 110 кБк/м², суглинистых до 370 кБк/м², тогда как на окультуренных

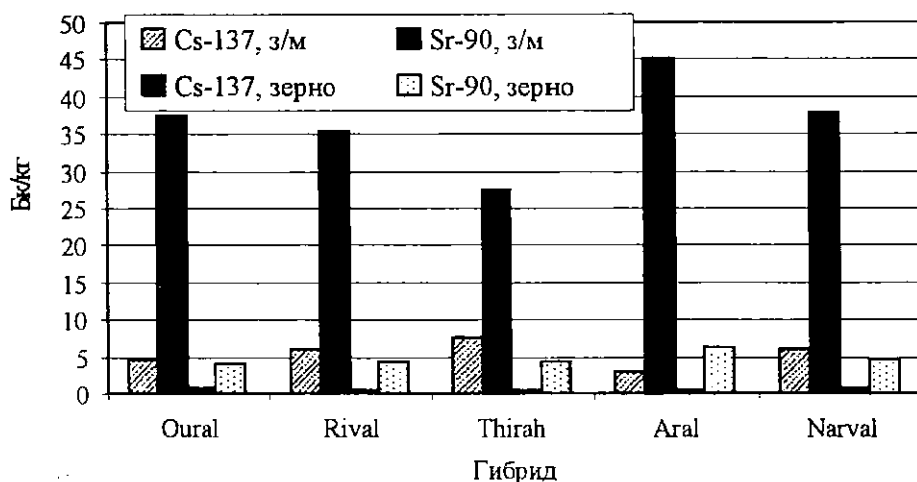


Рис. 8. Накопление радионуклидов в зеленой массе и зерне гибридов кукурузы французской селекции при плотности загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы ^{137}Cs — 370 кБк/м² и ^{90}Sr — 37 кБк/м² (1995–1997 гг.)

сенокосно-пастбищных угодьях соответственно при 250 и 1480 кБк/м². Использование торфяных почв для этих целей исключается.

Важен прогноз также в связи с периодическим пересмотром Республиканских допустимых норм на продукты питания. В республике насчитывается 100,2 тыс. га пахотных почв, загрязненных ^{90}Sr с плотностью 11–37 кБк/м², где периодически получают растениеводческую продукцию с содержанием радионуклидов выше допустимых уровней. На 12,1 тыс. га кормовых угодий с плотностью загрязнения более 37 кБк/м² наблюдается повышенное содер-

жание ^{90}Sr во всех видах грубых кормов, которые непригодны для производства цельного молока и могут скармливаться скоту только для производства мяса и частично для производства молока-сырья. На площади 18,6 тыс. га повсеместно невозможно получение продовольственного зерна и картофеля.

Поэтому для основной и побочной продукции каждой культуры рассчитаны коэффициенты пропорциональности (Кп), отражающие удельную активность продукции (Бк/кг) при плотности загрязнения почв подвижным калием для ^{137}Cs и величина

кислотности для ^{90}Sr на суглинистых, супесчаных и песчаных почвообразующих породах [5]. Для большей достоверности прогнозов используются значения коэффициентов пропорциональности за несколько последних лет. Это связано со значительным влиянием на размеры накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениях многих факторов, в том числе складывающихся погодных условий вегетационного периода.

В таблицах 1 и 2 представлены параметры загрязнения зерна и некоторых видов кормов на дерново-подзолистых супесчаных почвах.

Таблица 1. Содержание ^{137}Cs (Бк/кг) в зерне и кормах в зависимости от обеспеченности почв обменным калием при плотности загрязнения 1кБк/м²

Культура	Содержание обменного калия, мг/кг почвы				
	Менее 80	81-140	141-200	201-300	Более 300
Зерно (влажность 14%)					
Овес	0,25	0,08	0,06	0,05	0,04
Озимая рожь	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
Ячмень	0,07	0,06	0,05	0,03	0,03
Люпин	0,61	0,57	0,45	0,40	0,37
Горох	0,55	0,51	0,41	0,31	0,16
Вика	0,30	0,26	0,22	0,16	0,14
Рапс яровой	-	0,25	0,21	0,15	0,13
Сено (влажность 16%)					
Клевер	0,95	0,70	0,51	0,41	0,37
Многолет. злак. травы	2,03	1,59	0,67	0,57	0,5
Зеленая масса (влажность 82%)					
Кукуруза	-	-	0,05	0,04	0,03
Люпин	-	0,22	0,19	0,16	0,14
Рапс яровой	-	0,20	0,17	0,12	0,10
Горох	-	0,13	0,12	0,09	0,09
Картофель, корнеплоды (влажность 78-87%)					
Картофель	-	0,06	0,04	0,03	0,02
Кормовая свекла	-	-	0,04	0,02	0,02

Таблица 2. Содержание ^{90}Sr (Бк/кг) в зерне и кормах в зависимости от степени кислотности дерново-подзолистых почв при плотности загрязнения 1кБк/м²

Культура	Уровень кислотности почвы, pH (KCl)					
	Менее 4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,1-7,0	Более 7,0
Зерно (влажность 14%)						
Овес	1,79	1,50	1,32	1,29	1,28	1,25
Озимая рожь	1,18	1,04	0,98	0,86	0,86	0,74
Ячмень	-	1,90	1,79	1,64	1,58	1,46
Люпин	-	5,60	4,35	3,82	3,60	3,52
Горох	-	3,30	2,22	2,06	1,95	1,90
Вика	-	2,97	1,95	1,90	1,87	1,85
Рапс яровой	-	7,50	5,80	5,10	4,40	4,40
Сено (влажность 16%)						
Клевер	-	-	32,48	26,09	20,41	15,85
Многолет. злак. травы	15,28	13,11	10,98	9,06	8,41	6,38
Зеленая масса (влажность 82%)						
Клевер	-	-	6,96	5,59	4,37	3,40
Многолет. злак. травы	3,27	2,81	2,35	1,94	1,80	1,37
Кукуруза	-	1,97	1,68	1,45	0,82	0,54
Люпин	-	7,98	6,76	5,25	3,85	2,25
Рапс яровой	-	3,90	2,90	2,50	2,20	2,10
Горох	-	7,42	6,33	5,07	3,31	2,16
Картофель, корнеплоды (влажность 78-87%)						
Картофель	0,40	0,30	0,25	0,18	0,13	0,13
Кормовая свекла	-	-	1,03	0,72	0,62	0,57

Величина перехода радионуклидов в культуры зависит от агрохимических показателей почв. Приведенные в таблицах параметры показывают, что на величину поступления ^{137}Cs в урожай в большей степени влияет содержание в почвах обменного калия, ^{90}Sr — реакция почвенной среды. Подбирая культуры в соответствии с установленными параметрами и агрохимическими показателями почв, можно значительно снизить поступление радиоцезия и радиостронция в сельскохозяйственную продукцию.

Выводы

1. При одинаковой плотности загрязнения почв радионуклидами и агрохимических показателях различия в накоплении радионуклидов в зависимости от вида культур и продукции могут достигать несколько десятков раз. Сортовые отличия в накоплении ^{137}Cs и ^{90}Sr менее значительны — до 3-4 раз.

2. Подбор видов и сортов сельскохозяйственных культур с минимальными размерами накопления радионуклидов можно рекомендовать в качестве простого экономически оправданного способа снижения загрязнения сельскохозяйственной продукции.

Литература

1. Богдевич И.М. Загрязнение почв Беларуси радионуклидами и проблемы их использования // Почвы, их эволюция, охрана и повышение производительной способности в современных социально-экономических услови-

ях: Материалы 1 съезда Белорус. об-ва почвоведов / Акад. аграр. наук Респ. Беларусь, БелНИИ почвовед. и агрохимии. — Минск-Гомель, 1995. — С. 9-10.

2. Богдевич И.М. Последствия Чернобыля и проблемы использования загрязненных радионуклидами почв Беларуси // Индустриализация и социально-экономические проблемы использования земельного фонда: Тез. докл. сессии ААН РБ / Акад. аграр. наук Респ. Беларусь Минск, 1994. — С. 40-46.

3. Бондарь П.Ф. Теоретическое обновление методик оценки влияния разных факторов на поступление в растения радионуклидов и прогнозирования накопления их в урожае // Радиационная биология. Радиоэкология. — 1998. — Т. 38, вып. 2. — С. 274-282.

4. Куликов Н.В. Радиоэкологические исследования на Урале // Экология, 1986 № 4. С. 65-71.

5. Руководство по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 1997-2000 гг. / Под ред. И.М.Богдевича. — Минск, 1997. — 76 с.

6. Сельскохозяйственная радиоэкология // Под ред. Р.М.Алексахина, Н.А.Коренева. — Москва: Экология, 1992. — 400 с.

7. Фесенко С.В., Санжарова Н.И., Лисянский К.Б., Алексахин Р.М. Динамика снижения коэффициентов перехода ^{137}Cs в сельскохозяйственные растения после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. — 1998. — Т. 38, вып. 2. — С. 256-265.