

Глава 17. СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

17.1. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В БЕЛАРУСИ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Более двух третей радионуклидов, выброшенных из разрушенного четвертого блока ЧАЭС, выпало на Беларусь и радиологичному загрязнению подверглось 45,6 тыс. км², или 23%, территории республики, в том числе более 1,866 млн. га сельскохозяйдий, из которых 106 тыс. га были исключены из землепользования в первый год после катастрофы. Всего за 1986–1989 гг. из оборота выведено 256,7 тыс. га сельхозугодий. Только с 1990 г. земли с плотностью загрязнения цезием-137 более 1480 кБк/м²* исключены из землепользования.

По состоянию на январь 1992 г. проведено радиационное обследование практически всех населенных пунктов Беларуси. Радиологичное загрязнение затронуло все области республики. Однако оно имеет неравномерный, "пятнистый" характер.

Загрязнение территории республики стронцием-90 носит более локальный характер и размещаются эти площади относительно близко к реактору. Загрязнение стронцием-90 на уровне 111 кБк/м² зарегистрировано в Хойникском районе. Отдельные пятна с плотностью загрязнения стронцием-90 от 74 до 111 кБк/м² встречаются в Ветковском, Брагинском, Добрушском районах Гомельской области.

Загрязнение почвы плутонием-238, 239, 240 выше 3,7 кБк/м² обнаружено в основном в зоне отселения. На территории Брагинского, Хойникского, Наровлянского районов имеются отдельные пятна с плотностью загрязнения плутонием до 3,7 кБк/м².

В юго-восточной части Брестской области цезием-137 с уровнем загрязнения выше 37 кБк/м² частично загрязнены почвы шести районов — Лунинецкого, Столинского, Пинского, Дрогичинского, Березовянского, Барановичского.

* Бк — беккерель — единица измерения радиологичности (в расчетах в секунду) в нашей стране все еще применяется старая единица радиологичности — кюри (мКюри, мкКи); 1 Ки — 3,7 · 10¹⁰ Бк; 1 мКи — 37 мБк; 1 мкКи — 37 кБк.

В Минской области почвы с плотностью загрязнения цезием-137 выше 37 кБк/м² имеются в Воложинском, Борисовском, Березинском, Солигорском, Молодечненском, Вилейском, Столбцовском, Крупском, Логойском и Слуцком районах. В Гродненской области цезием-137 частично загрязнены почвы в Дятловском, Ивьевском, Кореличском, Лидском, Новогрудском и Сморгонском районах. В Витебской области в Толочинском районе выявлено четыре населенных пункта с плотностью загрязнения почвы цезием-137 более 37 кБк/м².

Загрязнение сельскохозяйственных угодий радионуклидами является фактором, сильно усложняющим ведение сельскохозяйственного производства. При загрязнении территории радионуклидами почва является длительным источником действующим источником поступления их в растения, в корм животных и пищу человека. Наиболее опасными загрязнителями сельскохозяйственных угодий являются радиологичные изотопы стронция и цезия, которые, будучи химическими аналогами кальция и калия, отличаются большим периодом полураспада, высокой биологической подвижностью и активным включением в биологические цепочки, а также интенсивным поступлением из почвы в растения.

17.2. ПОВЕДЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕ

К свойствам почвы, влияющим на поведение радионуклидов, следует в первую очередь отнести кислотность почвенного раствора, величину емкости поглощения почв, состав обменных катионов, содержание органического вещества, гранулометрический и минералогический состав почвы. Состав обменных оснований и реакция среды — главные факторы, определяющие степень поглощения и прочность закрепления радионуклидов в почве. С увеличением емкости поглощения возрастает прочность закрепления стронция-90 и цезия-137. На кислых почвах радионуклиды закрепляются слабее и находятся в легкоподвижной форме.

Долгоживущие радионуклиды цезий-137 и стронций-90 по-прежнему сорбируются почвами. Стронций-90 в основном закрепляется в почве по типу ионного обмена. Содержание обменных форм стронция-90 в почвах разных

типов (% от общего его количества): дерново-глеевые суглинистые (осушенные) — 65—70; дерново-подзолистые дерноуглинистые — 80—94; дерново-подзолистые связносуспенчаные — 87—100; перегнойно-глеевые песчаные (осушенные) — 80; дерново-подзолистые и глееватые песчаные (осушенные) — 97—100; дерново-подзолистые песчаные — 100; торфяно-болотные — 60—80. *Цезий-137* более *прочно фиксируется твердой частью почвы по типу необработанной формы* в кристаллических решетках почвенных минералов. Содержание фиксированных форм цезия-137 в почвах разных типов (% от общего его количества): дерново-подзолистые глееватые (глеевые) легко- и среднесуглинистые — 71—73; дерново-подзолистые суглинистые и связносуспенчаные — 45—46; дерново-подзолистые глееватые связносуспенчаные — 54; дерново-подзолистые рыхлопесчаные и песчаные — 30.

За послезаварийный период количество прочносвязанного цезия-137 в основных типах почв республики увеличилось в 2,0—2,5 раза и колеблется в пределах 70—84% от общего содержания. Стронций-90 в почве находится главным образом в доступной для растений обменной форме (53—87%). Доля фиксированных форм стронция-90 невелика и имеет тенденцию к снижению. Только на почвах связного гранулометрического состава (суглинистых и легкоуглинистых), а также с более высоким содержанием гумуса (перегнойно-глеевые почвы) и на торфяно-болотных почвах отмечается возрастание доли фиксированного стронция-90 до 16—40%.

Плотота поглощения и прочность закрепления радионуклидов в значительной мере зависят от минералогического состава почв. Минералы монтмориллонитовой группы более полно поглощают и закрепляют радионуклиды, особенно цезий-137, чем слюды и гидрослюда. Больше закрепление цезия-137 почвами по сравнению со стронцием-90 обусловлено тем, что он прочно поглощается минеральными высококислородными фракциями, содержащими минералы монтмориллонитовой группы и группы гидрослюда.

Миграция радионуклидов вглубь по профилю в почвах протекает медленно. На сельской год после аварии на сенокосных и пастбищных угодьях до 80% радионуклидов находилось в верхнем пятисантиметровом слое почвы, а на пашне — в пахотном горизонте. Глубина проникновения радионуклидов на естественных кормовых угодьях зави-

сит от гранулометрического состава почвы. Заметная миграция цезия-137 и стронция-90 (до 10 см) отмечена на легких по гранулометрическому составу почвах, подстилаемых песками, имеющих малую емкость поглощения и высокую водопроницаемость.

Исследования БелНИИ почвоведения и агрохимии дают основание прогнозировать, что в ближайшие 30 лет самоочищение почв вследствие миграции радионуклидов вглубь, за пределы корнеобитаемого слоя не предвидится. Для ведения сельскохозяйственного производства необходимо проведение мероприятий, способствующих снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию.

17.3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТЕНИЯ

Загрязнение растениевогодческой продукции радионуклидами зависит от свойств почвы, которые обуславливают поглощение и закрепление радионуклидов в почве: величины емкости поглощения, состава обменных катионов, кислотности, содержания органического вещества, гранулометрического и минералогического состава. *С увеличением емкости поглощения и содержания обменного кальция достигнута стронция-90 растениями снижается. Поступление цезия-137 определяется суммой обменных оснований и количеством обменных оснований и небольшим количеством обменного калия цезий-137 поглощается растениями интенсивнее.*

На кислых почвах радионуклиды поступают в растения в значительно больших количествах, чем на слабокислых, нейтральных или слабощелочных. На кислых дерново-подзолистых почвах, при содержании обменного кальция 15—20% общей емкости поглощения поступление в растения стронция-90 определяется кислотностью почвы и не зависит от содержания обменного кальция. Из кислых почв цезия-137 поступает в растения в 2—3 раза больше, чем из почв с нейтральной и слабощелочной реакцией.

Органическое вещество почвы снижает поступление в растения стронция-90 и неоднократно влияет на поступление цезия-137. В целом растения на почвах, богатых органическим веществом, обычно меньше накапливают радионуклидов, чем на бедных гумусом почвах.

С утяжелением гранулометрического состава почв от легких к тяжелым снижается поступление радионуклидов в растения. Это обусловлено тем, что мелкие фракции почв обладают высокой емкостью поглощения вследствие большой удельной поверхности, изменением состава обменных катионов и содержания органического вещества. На дерново-подзолистой тяжелоуглинистой почве радионуклидов в растениях поступает в 2-3 раза меньше, чем на дерново-подзолистой среднеуглинистой, и примерно на порядок меньше, чем на песчаной почве.

На почвах, где преобладают минералы монтмориллонитовой группы и грунты гидроспид, радионуклиды в растениях поступают меньше.

Накопление радионуклидов в урожае в значительной степени зависит от видовых и сортовых особенностей растений. Установлена аналогия в поступлении в растения стронция-90 и цезия-137 и их химических аналогов — кальция и калия. В растениях, содержащих больше кальция, накапливается больше стронция-90, а в растениях с высоким содержанием калия — больше цезия-137.

В товарной части урожая в расчете на сухую массу больше всего содержит стронция-90 корнеплоды (свекла, морковь), несколько меньше — бобовые культуры (горох, вика), затем картофель и меньше всего зерновые злаковые культуры. Причем озимые зерновые накапливают в 2-2,5 раза больше радионуклидов, чем яровые зерновые культуры, а позднеспелые сорта в 1,5-2 раза меньше, чем раннеспелые.

По степени накопления радионуклидов ошощные культуры располагаются в следующем порядке (по возрастанию): капуста, огурцы, томаты, лук, чеснок, салат, картофель, морковь, свекла столовая, редис, горох, боб, шавель. Из плодово-ягодных культур подвержены в наибольшей степени загрязнению радионуклидами красная и черная смородина, в меньшей — земляника садовая, яблоня, груша.

Введение стронция-90 и цезия-137 в системе "почва — растение" различно. Стронция-90 поступает в растения из почвы в большинстве случаев примерно в 10 раз больше, чем цезия-137. Только на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава и торфяно-болотных почвах растения усваивают цезия-137 больше, чем стронция-90. Уровень плодородия почвы оказывает сильное влияние на поступление радионуклидов в растения

(табл. 17.1). Поступление радионуклидов в растения из почвы с увеличением содержания гумуса от 1-1,5 до 2,1-3,0% снижается в 1,5-2 раза, в 2 раза оно может меняться в зависимости от содержания в почве обменного кальция и уровня кислотности, до 3 раз — в зависимости от содержания подвижного калия.

17.1. Влияние плодородия дерново-подзолистых песчаных почв на поступление радионуклидов в многолетние злаковые травы, Кп. 10° Км/кг сухой массы (данные БелНИИЦА)

Агрохимические показатели	Цезий-137		Стронций-90
	Содержание гумуса, %:	Кислотность (рН в КС) и содержание СаО, мг/кг почвы:	
1-1,5	5,9	15,9	рН 4,6-5,0; СаО - 550
1,6-2,0	5,6	15,7	рН 5,1-5,5; СаО - 740
2,1-3,0	4,7	12,2	рН 5,6-6,0; СаО - 1044
3,1-3,5	3,4	8,2	рН 6,1-6,5; СаО - 1680
			рН 6,6-7,0; СаО - 2008
			рН 7,1-7,8; СаО 1984
			Содержание К ₂ О, мг/кг почвы:
			50-80
			81-140
			141-200
			201-300
			301-350
			5,1
			3,9
			2,9
			1,7
			1,7
			16,2
			14,8
			9,2
			8,4
			7,1

При переходе от песчаных почв к суглинистым накопление цезия-137 в растениях снижается у многолетних злаковых трав в 1,4 раза, зернобобовых — в 2 и в 3 раза у озимой ржи, ячменя, овса.

Различия в минеральном питании, продолжительности вегетационного периода, другие биологические, видовые и сортовые особенности сельскохозяйственных культур существенно влияют на накопление радионуклидов в растениях. У разных растений при одинаковом уровне загрязнения почв степень загрязнения может различаться в 20-30 раз, сортов — в 1,5-3 раза. По результатам исследований научно-исследовательских институтов земледельческого профиля и агрохимической службы республики разработаны коэффициенты перехода

(КПД) радионуклидов из почвы в основную и побочную продукцию сельскохозийственных культур на различных типах почв при плотности загрязнения радионуклидами 1 Ки/км², которые используются для прогноза уровня загрязнения сельскохозийственной продукции (табл. 17.2-17.5).

17.2. Содержание цезия-137 в урожае сельскохозийственных культур при плотности загрязнения почвы 1 Ки/км² в зависимости от granulометрического состава и обеспеченности доступным калием дерново-подзолистых почв, Кп · 10⁹ Ки/кг

Культура	Влаж-ность, %	Продук-ция	Содержание доступного калия, мг/кг почвы				
			менее 80	81-140	141-200	201-300	более 300
<i>Суглинистые почвы</i>							
Овес	14	Зерно	0,48	0,37	0,38	0,32	0,14
Озимая рожь	14	*	0,13	0,12	0,10	0,08	0,06
Ячмень	14	*	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05
Овес	20	Солома	0,91	0,80	0,60	0,47	0,29
Озимая рожь	20	*	0,49	0,47	0,31	0,24	0,21
Ячмень	20	*	0,40	0,29	0,23	0,18	0,16
Клевер	16	Сено	2,06	1,78	1,28	1,20	0,76
Многолетние злаково-бобовые травы (1:1)	16	Сено	2,75	2,12	1,53	1,36	1,06
Многолетние злаковые травы	16	Сено	3,44	2,46	1,79	1,52	1,36
Однолетние злаково-бобовые травы	16	Сено	1,09	0,68	0,54	0,49	0,43
Травы естественных сенокосов	16	Сено	24,10	18,01	12,80	10,10	7,00

Песчаные почвы

Овес	14	Зерно	0,53	0,41	0,35	0,28	0,16
Озимая рожь	14	*	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07
Ячмень	14	*	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06
Овес	20	Солома	1,01	0,88	0,66	0,51	0,31
Озимая рожь	20	*	0,54	0,51	0,34	0,26	0,23
Ячмень	20	*	0,48	0,35	0,27	0,22	0,19
Клевер	16	Сено	2,27	1,96	1,41	1,32	0,84
Многолетние злаково-бобовые травы (1:1)	16	*	3,54	2,70	1,96	1,62	1,32
Многолетние злаковые травы	16	*	4,82	3,44	2,51	2,13	1,92

Культура	Влаж-ность, %	Продук-ция	Содержание доступного калия, мг/кг почвы				
			менее 80	81-140	141-200	201-300	более 300
<i>Однолетние злаково-бобовые травы естественных сенокосов</i>							
Однолетние злаково-бобовые травы	16	Сено	1,64	1,02	0,81	0,74	0,65
Травы естественных сенокосов	16	*	26,51	19,81	14,08	11,11	7,70

Суглинистые почвы

Овес	14	Зерно	0,34	0,26	0,22	0,18	0,10
Озимая рожь	14	*	0,11	0,10	0,08	0,07	0,05
Ячмень	14	*	0,07	0,06	0,04	0,04	0,03
Овес	20	Солома	0,64	0,56	0,42	0,33	0,20
Озимая рожь	20	*	0,35	0,33	0,22	0,17	0,15
Ячмень	20	*	0,24	0,18	0,14	0,11	0,10
Клевер	16	Сено	1,65	1,42	1,02	0,96	0,61
Многолетние злаково-бобовые травы (1:1)	16	*	1,65	1,42	1,02	0,96	0,61
Многолетние злаковые травы	16	*	2,75	1,97	1,43	1,22	1,10
Однолетние злаково-бобовые травы	16	*	0,76	0,48	0,38	0,34	0,30
Травы естественных сенокосов	16	*	16,87	12,61	8,96	7,07	4,90

17.3. Содержание стронция-90 в урожае сельскохозийственных культур при плотности загрязнения почвы 1 Ки/км² в зависимости от кислотности и granulометрического состава дерново-подзолистых почв, Кп · 10⁹ Ки/кг

Культура	Влаж-ность, %	Продук-ция	Кислотность почвы, pH (КП)						
			менее 4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,1-7,0	более 7,0	
<i>Суглинистые почвы</i>									
Овес	14	Зерно	1,56	1,24	1,06	1,05	1,12	1,09	
Озимая рожь	14	*	0,98	0,90	0,84	0,74	0,73	0,65	
Ячмень	14	*	1,89	1,60	1,45	1,39	1,31	1,29	
Овес	20	*	4,83	4,66	4,46	4,11	4,19	4,19	
Озимая рожь	20	*	5,90	5,14	4,38	3,08	3,05	4,19	
Ячмень	20	*	6,57	6,27	5,45	5,25	4,86	4,74	
Клевер	16	Сено	-	29,74	24,16	18,65	15,32	11,83	

Культура	Влаж-ность, %	Продук-ция	Кислотность почвы, pH (КС)					
			менее 4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,1-7,0	более 7,0
Многолетние злаково-бобовые травы (1:1)	16	Сено	-	20,20	16,77	23,42	11,52	8,78
Многолетние злаковые травы	16	*	11,40	10,65	9,38	8,18	7,72	5,74
Однолетние злаково-бобовые травы	16	*	17,60	13,20	11,90	10,30	8,10	5,18
Травы естеств. венных сенокосов	16	*	16,20	12,60	10,40	6,60	6,10	5,90
<i>Песчаные почвы</i>								
Овес	14	Зерно	1,71	1,36	1,17	1,16	1,19	1,23
Озимая рожь	14	*	1,08	0,99	0,92	0,81	0,80	0,71
Ячмень	14	*	2,08	1,76	1,60	1,53	1,44	1,42
Овес	20	Солома	5,31	5,12	4,90	4,53	4,61	4,61
Озимая рожь	20	*	6,50	5,66	4,82	3,88	3,35	4,61
Ячмень	20	*	7,23	6,89	5,99	5,77	5,34	5,22
Клевер	16	Сено	-	35,69	28,99	22,38	18,38	14,20
Многолетние злаково-бобовые травы (1:1)	16	*	-	25,30	21,06	16,92	14,80	11,12
Многолетние злаковые травы	16	*	15,96	14,91	13,13	11,45	10,81	8,04
Однолетние злаково-бобовые травы	16	*	21,12	15,94	14,28	12,36	9,72	6,22
Травы естеств. венных сенокосов	16	*	17,82	13,86	11,44	7,26	6,71	6,49
<i>Суглинистые почвы</i>								
Овес	14	Зерно	1,40	1,11	0,96	0,95	0,98	1,00
Озимая рожь	14	*	0,88	0,81	0,76	0,66	0,65	0,58
Ячмень	14	*	1,52	1,28	1,16	1,11	1,05	1,03
Овес	20	Солома	4,35	4,19	4,01	3,70	3,77	3,77
Озимая рожь	20	*	5,31	4,63	3,94	2,77	2,74	3,77
Ячмень	20	*	6,26	5,01	4,36	4,20	3,89	3,79
Клевер	16	Сено	-	26,77	21,74	16,79	13,79	10,65
Многолетние злаково-бобовые травы (1:1)	16	*	-	18,18	15,09	12,08	10,37	7,90

Культура	Влаж-ность, %	Продук-ция	Кислотность почвы, pH (КС)					
			менее 4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,1-7,0	более 7,0
Многолетние злаковые травы	16	Сено	10,26	9,59	8,44	7,36	6,95	5,17
Однолетние злаково-бобовые травы	16	*	14,08	10,56	9,52	8,24	6,48	4,14
Травы естеств. венных сенокосов	16	*	11,34	8,82	7,28	4,62	4,27	4,13

17.4. Содержание стронция-90 в урожае сельскохозяйственных культур при плотности загрязнения торфяно-болотных почв 1 Км/км² в зависимости от кислотности (pH КС), Кп · 10³ Км/кг

Культура	Влаж-ность, %	Продук-ция	pH (КС)		
			3,9-4,3	4,31-4,7	более 4,7
Ячмень	14	Зерно	2,97	1,91	1,54
Клевер	16	Сено	-	43,10	24,0
Многолетние злаково-бобовые травы (1:1)	16	*	-	27,55	16,40
Многолетние злаковые травы	16	*	14,90	12,00	8,80
Травы естественных сенокосов	16	*	41,20	24,90	17,20

17.5. Содержание цезия-137 в урожае сельскохозяйственных культур при плотности загрязнения торфяно-болотных почв 1 Км/км² в зависимости от обеспеченности доступным калием, Кп · 10³ Км/кг

Культура	Влаж-ность, %	Продук-ция	Содержание доступ-ного калия, мг/кг почвы		
			менее 250	251-500	более 500
Ячмень	14	Зерно	2,05	1,23	0,41
Клевер	16	Сено	28,30	17,00	14,20
Многолетние злаково-бобовые травы (1:1)	16	*	20,05	12,30	9,70
Многолетние злаковые травы	16	*	11,80	7,60	5,20
Травы естественных сенокосов	16	*	45,30	24,00	19,20

17.4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Прогнозирование радиационного загрязнения сельско-хозяйственной продукции позволяет вносить изменения в структуру посевных площадей, в планы размещения культур в полях севооборота в зависимости от плотности загрязнения почв радионуклидами. При прогнозировании учитываются особенности культур по отношению к накоплению радионуклидов, плотность загрязнения почв, их градиентрический состав, кислотность, содержание подвижного калия. Для расчета уровня загрязнения цезием-137 и стронцием-90 основной и побочной продукции растениеводства используются коэффициенты перехода радионуклидов из почвы в урожай при плотности загрязнения почвы 1 Ки/км² (табл. 17.2 - 17.5). Результаты расчета будут соответствовать уровню загрязнения урожая при выращивании без проведения дополнительных мероприятий по снижению перехода радионуклидов из почвы в растения. В хозяйствах в агрохимических паспортах полей имеется информация по уровню загрязнения радионуклидами почв.

Приведем пример прогноза степени загрязнения радионуклидами зерна озимой ржи. Почва дерново-подзолистая супесчаная; плотность загрязнения цезием-137 - 18, стронцием-90 - 2 Ки/км²; содержание подвижного калия - 160 мг/кг почвы, pH (КС) - 5,7. В табл. 17.2 такому значению содержания калия соответствует содержание цезия-137 0,1 · 10⁹ Ки/кг при плотности загрязнения 1 Ки/км². При уровне загрязнения 10 Ки/км² содержание радиопе-зия будет 1,0 · 10⁹ Ки/кг (0,1 · 10⁹ Ки/кг · 10). Предельно допустимое содержание радиопеизия в зерне на пищевые цели (табл. 17.6 - 17.8) - 1,6 · 10⁹ Ки/кг. Следовательно, в нашем примере зерно озимой ржи по содержанию радиопеизия может перерабатываться для пищевых целей.

17.6. Предельные уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде*
Нормируемые величины:

№№	Наименование продукта	Бк/кг, Бк/л
1.	Вода питьевая	10
2.	Молоко и цельномолочная продукция	100

460

Продолжение табл. 17.6

№№	Наименование продукта	Бк/кг, Бк/л
3.	Молоко стуженое и консервированное	200
4.	Творог и творожные изделия	50
5.	Сыры сычужные и плавленые	50
6.	Масло коровье	100
7.	Масло и мясные продукты, в том числе:	
7.1.	Говядина, баранина и продукты из них	500
7.2.	Свинина, птица и продукты из них	180
8.	Картофель	80
9.	Хлеб и хлебобулочные изделия	40
10.	Мука, крупы, сахар	60
11.	Жиры растительные	40
12.	Жиры животные и маргарин	100
13.	Овощи и корнеплоды	100
14.	Фрукты	40
15.	Садовые ягоды	70
16.	Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод садовых	74
17.	Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	185
18.	Грибы свежие	370
19.	Грибы сушеные	2500
20.	Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	37
21.	Прочие продукты питания	370

Для стронция-90

№№	Наименование продукта	Бк/кг, Бк/л
1.	Вода питьевая	0,37
2.	Молоко и цельномолочная продукция	3,7
3.	Хлеб и хлебобулочные изделия	3,7
4.	Картофель	3,7
5.	Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	1,85

* РДУ-99.

461

17.7. Предельные уровни содержания радионуклидов в кормах, Кв/кг (Бк/кг)*

Корма	Цезий-137	Стронций-90
Сено	4,0 · 10 ⁴ (1480)	7,0 · 10 ⁴ (259)
Солома	1,0 · 10 ⁴ (370)	5,0 · 10 ⁴ (185)
Сенаж	2,0 · 10 ⁴ (740)	3,0 · 10 ⁴ (111)
Силос (в среднем)	0,8 · 10 ⁴ (296)	1,5 · 10 ⁴ (55)
Корнеклубнеплоды	1,0 · 10 ⁴ (370)	1,0 · 10 ⁴ (37)
Комбикорм	1,0 · 10 ⁴ (370)	3,0 · 10 ⁴ (111)
Зеленая масса	0,5 · 10 ⁴ (185)	1,0 · 10 ⁴ (37)
Зернофураж (отрубн)	1,0 · 10 ⁴ (370)	3,0 · 10 ⁴ (111)
Хвойная паста	1,0 · 10 ⁴ (370)	Не нормируется
Хвойная мука	5,0 · 10 ⁴ (1850)	*
Мезга	2,0 · 10 ⁴ (740)	*
Льносемя	1,0 · 10 ⁴ (370)	Не нормируется
Дробина пивная	5,0 · 10 ⁴ (1850)	*
Жом, тарока	5,0 · 10 ⁴ (1850)	*
Жмых	3,0 · 10 ⁴ (1110)	*
Дрожжи кормовые,	1,0 · 10 ⁴ (370)	*
Дрожжи ВВК	8,0 · 10 ⁴ (2960)	*
Сухие молочные продукты	5,0 · 10 ⁴ (1850)	*
Шрот	3,0 · 10 ⁴ (1110)	3,0 · 10 ⁴ (111)
Маскостная мука	8,0 · 10 ⁴ (2960)	Не нормируется
Кروшная мука	3,0 · 10 ⁴ (1110)	*
Травяная мука	2,0 · 10 ⁴ (740)	*
Молочные продукты	3,0 · 10 ⁴ (1110)	*
Прочие виды кормов		*

* Утверждены 28 апреля 1993 г.

17.8. Предельные уровни содержания радионуклидов в сельскохозяйственном сырье, Кв/кг (Бк/кг)

Продукция	Содержание радионуклидов	
	по цезию-137	по стронцию-90
Молоко	1,0 · 10 ⁴ (370)	5,0 · 10 ⁴ (19)
Масло	1,6 · 10 ⁴ (600)	Не нормируется
Растительное сырье, овощи, плоды, фрукты	2,7 · 10 ⁴ (100)	Не нормируется
Зерно	1,6 · 10 ⁴ (600)	3,0 · 10 ⁴ (11)
Зерно на детское питание	1,5 · 10 ⁴ (55)	1,0 · 10 ⁴ (3,7)
Зерно на семенные цели	5 · 10 ⁴ (1850)	Не нормируется
Зерно для переработки на спирт	1,0 · 10 ⁴ (3700)	*
Зерно рапса (техническое)	5,0 · 10 ⁴ (1850)	*
Прочее сырье	1,0 · 10 ⁴ (370)	*

Аналогично прогнозируется содержание стронция-90. В табл. 17.3 находим соответствующее данным условиям (супесчаная почва — рН 5,7) значение содержания в зерне озимой ржи этого радионуклида: 0,74 · 10⁴ Кв/кг при плотности загрязнения 1,48 · 10⁹ Кв/км². Предельно допустимое содержание стронция-90 для переработки на пищевые цели (табл. 17.8) — 3 · 10¹⁰ Кв/кг. Следовательно, зерно озимой ржи, выращенное на участке с плотностью загрязнения стронцием 2 Кв/км², нельзя использовать на пищевые цели, но можно на кормовые (норматив 3 · 10⁹ Кв/кг по стронцию-90, табл. 17.7). На участках с загрязнением по стронцию-90 свыше 0,3 Кв/км² нельзя выращивать озимую рожь для продовольственных целей.

17.5. АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ СНИЖЕНИЯ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТЕНИЕВОДОХВАТНУЮ ПРОДУКЦИЮ

К агротехническим приемам, уменьшающим поступление радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию, относятся: увеличение доли площадей под культуры с низким уровнем накопления радионуклидов; корневое и поверхностное улучшение сенокосных и пастбищных угодий, включающее агротехнические мероприятия; подбор травосмесей с минимальным накоплением радионуклидов; оптимизация водного режима; противозонозные мероприятия, предотвращающие вторичное загрязнение радионуклидами; применение средств защиты растений.

Агрохимические мероприятия, обеспечивающие оптимизацию физико-химического режима почв, включают: известкование кислых почв; применение органических удобрений и сапропелей; внесение повышенных доз фосфорных и калийных удобрений; оптимизацию азотного питания растений на основе почвенно-растительной диагностики; применение микроудобрений.

Культуры с невысоким содержанием кальция и калия меньше накапливают радионуклидов. По количеству накопленного кальция табл. 137 на единицу сухого вещества культуры располагаются в следующем убывающем порядке: разнотравье естественных сенокосов и пастбищ; люпин;

многолетние злаковые травы; клевер; рапс; горох; зеленая масса кукурузы; солома овса; однолетние злаково-бобовые смеси; кормовая свекла; солома и зеленая масса озимой ржи; картофель; зерно овса; солома ячменя; зерно озимой ржи и ячменя.

По урожаю *накопления стронция-90* в сухом веществе растения образуют следующие убывающий ряд: клевер; горох; рапс; люпин; однолетние злаково-бобовые смеси; разнотравье естественных сенокосов и пастбищ; многолетние злаковые травы; солома ячменя; солома овса; зеленая масса кукурузы и озимой ржи; солома озимой ржи; кормовая свекла; зерно ячменя, овса, озимой ржи; клубни картофеля.

Результаты исследований показывают возможность получения продукции зерновых культур и картофеля, соответствующей по содержанию цезия-137 нормам радиационной безопасности, на загрязненных дерново-подзолистых почвах в районах, где допускается проживание населения и ведение сельскохозяйственного производства (плотность загрязнения радиоцезием — до 185 Бк/м², стронцием-90 — 12,3 Бк/м²). На легких песчаных и супесчаных, а также торфяно-болотных почвах при плотности загрязнения стронцием-90 более 0,3 Ки/км² картофеля на пищевые цели выращивать не рекомендуется, можно на семена, фураж, технические цели.

Кормовые корнеплоды, кукурузу на зеленый корм, выращенные на почвах с плотностью загрязнения стронцием-90 свыше 1 Ки/км², можно использовать на корм при откорме скота на мясо и не рекомендуется скармливать дойному стаду. При этом уровне загрязнения почв стронцием-90 клевер следует заменять злаковыми травами, так как последние в 2,5 раза меньше накапливают радионуклидов.

На загрязненных торфяно-болотных почвах следует возделывать только злаковые травосмеси, так как клевер накапливает на таких почвах в 3 раза больше цезия-137 и стронция-90, чем многолетние злаковые травы.

При уровне загрязнения дерново-подзолистых почв цезием-137 5–15 Ки/км² и стронцием-90 0,3–0,1 Ки/км² наиболее пригодны клеверозлаковые травосмеси, требующие минимальных доз азота. Злаковые травосмеси требуют повышенных доз азота, а это усиливает загрязнение растений радиоцезием.

На дерново-подзолистых почвах при плотности загряз-

нения более 15 Ки/км² цезием-137 и более 1 Ки/км² стронцием-90 рекомендуется возделывать однолетние злаково-бобовые смеси, так как они накапливают радиоцезия в 3 раза меньше, а стронция-90 примерно столько же, сколько многолетние злаковые травы.

В поукосных и пожнивных посевах в качестве промежуточных культур предпочтительнее следует отдавать озимую рапсу и горчицу белой, так как они меньше накапливают радионуклидов.

При *плотности загрязнения цезием-137 15 Ки/км² и стронцием-90 0,3–1 Ки/км²* рекомендуются следующие схемы чередования культур в **севооборотах**:

дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные, подстилаемые морской почвой: озимая рожь на зерно; картофель, корнеплоды; кукуруза; ячмень с подсевом многолетних трав; клеверозлаковая травосмесь (2 года); овес; крестоцветные на зеленый корм и семена;

дерново-подзолистые супесчаные: озимая рожь на зерно; картофель, корнеплоды; ячмень; овес; крестоцветные на зеленый корм и семена;

дерново-подзолистые песчаные: озимая рожь на зерно; картофель, овес; однолетние бобово-злаковые травы; *торфяно-болотные и торфяники* (осушенные): однолетний райграс + многолетние травы; многолетние злаково-бобовые травы (3 года); озимая рожь на зерно; овес.

При *плотности загрязнения цезием 137 15–40 Ки/км² и стронцием-90 1–3 Ки/км²* рекомендуются следующие **схемы севооборотов**:

дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные, подстилаемые морской почвой: озимые на зеленую массу + однолетний райграс поукосно; озимая рожь на зерно; картофель, корнеплоды; ячмень с подсевом многолетних трав; многолетние злаковые травы (2 года); овес; озимый рапс на семена;

дерново-подзолистые супесчаные: озимая рожь на зерно; картофель, корнеплоды; ячмень; овес; озимый рапс на семена (однолетние травы);

дерново-подзолистые песчаные: озимая рожь на зерно; картофель; овес; однолетние травы.

При оптимальных значениях реакции почвенной среды отмечается минимальное поступление радионуклидов в растения. Поэтому в зоне радиоактивного загрязнения почв основная цель известкования — это нейтрализация

кислотности почвы и насыщение поглощающего комплекса катионом и магнием. Установлено, что после внесения известковых удобрений в дозах, эквивалентных гидротической кислотности, содержание стронция-90 и цезия-137 в растительных снижалось примерно в 1,5-2,5 раза, в отдельных случаях в 3 раза. Повышение доз известковых удобрений в меньшей степени влияет на накопление радионуклидов в продукции растениеводства.

По данным БелНИИДА, оптимальные параметры почвенного раствора (рН в КС1) дерново-подзолистых, глинистых и супесчаных почв — 5,7-6,7; супесчаных — 5,5-6,2; песчаных — 5,3-5,8; торфяно-болотных — 5,0-5,3; минеральных почв сенокосов и пастбищ — 5,8-6,2.

При известковании кислых почв следует учитывать плотность загрязнений радионуклидами. На почвах с первым уровнем загрязнений радионуклидами (Цезий-137 до 5 Ки/км², стронций-90 до 0,3 Ки/км²) известкование приводит в соответствии с "Инструкцией по известкованию кислых почв". При втором уровне загрязнений почв радионуклидами (Цезий-137 5-40 Ки/км², стронций-90 0,3-3,0 Ки/км²) известкование приводит более высокими дозами известковых удобрений, обеспечивающими доведение реакции почвенной среды до оптимальных значений. Дозы известковых удобрений приводятся в табл. 4.1-4.3.

Один из способов снижения поступления радионуклидов в растения — внесение удобрений. Сбалансированное содержание питательных элементов увеличивает урожай сельскохозяйственных культур, что уменьшает концентрацию радионуклидов в единице урожая. Фосфорные удобрения способствуют закреплению микроколичеств стронция-90 за счет осаждения его носителями фосфатами, катионы — повышают содержание калия в почвенном растворе, что уменьшает поступление цезия-137 в растениеводческую продукцию. Органические удобрения снижают поступление радионуклидов в растения в 1,5-2,5 раза, в наибольшей степени на легких по гранулометрическому составу почвах.

При разработке системы удобрения на загрязненных сельскохозяйственных почвах и катионные удобрения вносятся на почвах с низким содержанием подвижных фосфатов и подвижных форм калия в дозах, приведенных в табл. 17.9, 17.10. Под конкретные культуры, по полям и участкам удобрения распределяются в разрабатываемых на ЭВМ планах применения удобрений. На почвах с содержанием

подвижного фосфора более 250 мг/кг почвы и подвижного калия более 300 мг/кг применяют фосфорные и калийные удобрения обязательно, так как при высокой обеспеченности почв этими элементами действие удобрений неэффективно.

17.9. Нормативы основной и доплатительной потребности в фосфорных удобрениях на загрязненных радионуклидами земель

Почвы	Содержание P ₂ O ₅ мг/кг почвы	Основная потребность P ₂ O ₅ кг/га	Доплатительная потребность P ₂ O ₅ (кг/га) при плотности загрязнений, Ки/км ²		
			Cs 1,0-4,9	Sr 0,15-1,99	Cs 15,0-40,0
<i>Пашня</i>					
Дерново-подзолистые, дерновые	Менее 60	45	15	30	45
	61-100	40	10	20	30
	101-150	35	5	10	15
	151-250	20	—	5	10
	Более 250	—	—	—	—
Торфяно-болотные	Менее 200	60	20	40	60
	201-300	45	15	30	45
	301-500	30	10	20	30
	501-800	20	—	5	10
Более 800	—	—	—	—	
<i>Сенокосы и пастбища</i>					
Дерново-подзолистые, дерновые	Менее 60	35	15	30	45
	61-100	30	10	20	30
	101-150	25	5	10	15
	151-250	10	—	5	10
Торфяно-болотные	Более 250	—	—	—	—
	Менее 200	55	15	30	45
	201-300	40	10	20	30
	301-500	35	5	10	15
501-800	20	—	5	10	
Более 800	—	—	—	—	

17.10. Нормативы основной и дополнительной потребности в калийных удобрениях на загрязненных радионуклидами землях

Почвы	Содержание K_2O , мг/кг почвы	Основная потребность K_2O , кг/га	Дополнительная потребность K_2O (кг/га) при плотности загрязнения, Ku/km^2		
			Cs 1,0-4,9 Sr 0,15-0,29	Cs 5,0-14,9 Sr 0,30-1,99	Cs 15,0-40,0 Sr 2,00-3,00
<i>Пашни</i>					
Дерново-подзолистые, дерновые	Менее 80	100	50	100	150
	81-140	90	30	60	90
	141-200	80	20	40	60
	201-300	55	15	30	45
	Более 300	-	-	-	-
Торфяно-болотные	Менее 200	140	40	80	120
	201-400	120	30	60	90
	401-600	100	20	40	60
	601-1000	60	10	20	30
Более 1000	-	-	-	-	-
<i>Сенокосы и пастбища</i>					
Дерново-подзолистые, дерновые	Менее 80	80	40	80	120
	81-140	70	30	60	90
	141-200	60	20	40	60
	201-300	45	15	30	45
	Более 300	-	-	-	-
Торфяно-болотные	Менее 200	100	40	80	120
	201-400	90	30	60	90
	401-600	80	20	40	60
	601-1000	60	10	20	30
Более 1000	-	-	-	-	-

Применение высоких доз азотных удобрений, особенно при несбалансированном соотношении с фосфорными и калийными, повышает накопление радионуклидов в сельскохозяйственной продукции. Оптимальные дозы азотных удобрений для культур рассчитываются на ЭВМ с учетом потребности в азоте на планируемый урожай. Для регулирования соотношения азота, фосфора и калия в минеральных удобрениях, а также с учетом влияния азота на накопление радионуклидов и качество продукции предусматривены ограничения — предельно допустимые дозы удобрений

468

под сельскохозяйственные культуры (табл. 14.11). Потребность в азоте озимых и яровых зерновых культур по фазам развития устанавливается по данным почвенной и растительной диагностики и при необходимости проводится подкормки.

На естественных сенокосных и пастбищных угодьях минеральные удобрения применяют после регулирования водного режима на заболоченных почвах, коренного или поверхностного улучшения.

Накопление радионуклидов сельскохозяйственными культурами не зависит от форм применяемых минеральных удобрений. Форма удобрения выбирается с учетом биологических особенностей культуры. В зоне загрязнения почв радионуклидами весьма эффективны новые медленнорастворяющиеся формы карбамида и сульфата аммония с добавками гуматов и других биологически активных веществ, выпускаемых Гродненским ПО "Азот".

Основной способ внесения микроэлементов — некорневые подкормки. На посевах зерновых культур вносятся препараты меди (20-30 г/га д.в.), свеклы и кормовых культур (20-25 г/га), кукурузы — цинка (20 г/га), многолетних злаковых трав — кобальта (20-30 г/га) и молибдена (150-250 г/га). Микроэлементы вносятся только при низком их содержании в почве: меди — менее 1,5 мг/кг, бора — менее 0,3, цинка — менее 3 мг/кг на минеральных почвах и соответственно менее 5, 1 и 9 мг/кг на торфяно-болотных. Органические удобрения на загрязненных радионуклидами почвах можно применять без ограничений в соответствии с технологическими. Главное условие — это контроль за содержанием радионуклидов во взятых в хозяйстве удобрениях (торфопродукта, торфопелетные компосты, осадки сточных вод и др.).

Целесообразно применять кремнеземистые и карбонатные сапропели, конечно, не содержащие радионуклидов, так как при их внесении снижается накопление в растениях цезия-137 и стронция-90 на 30-40%. Вносить сапропелные удобрения лучше под пропашные культуры в дозе 60-80 т/га.

Плодово-ягодные и овощные культуры не рекомендуется возделывать на почвах с плотностью загрязнения цезием-137 более 40 Ku/km^2 и стронцием-90 более 0,2 Ku/km^2 . При уровне загрязнения цезием-137 до 20 Ku/km^2 и стронцием-90 менее 0,05 Ku/km^2 производ-

469

ство овощей, плодов и ягод возможно без ограничений. Особое внимание уделяется известкованию почв и внесению повышенных доз минеральных и органических удобрений. Однако следует прогнозировать возможное накопление радионуклидов в плодовоовощной продукции. В личных подсобных хозяйствах при указанной плотности загрязнения можно выращивать овощи, плоды и ягоды, однако лучше исклЮчить бобовые культуры (горох, бобы, фасоль).

На почвах с плотностью загрязнения цезием-137 20-40 Ки/км² и стронцием-90 0,05-0,2 Ки/км² нельзя возделывать свеклу, лук, томаты, морковь, чеснок и зеленые культуры и нужно проводить омолаживающие посадки ягодных кустарников и земляники.

Для снижения накопления радионуклидов в овощной и плодово-ягодной продукции на приусадебных участках минеральные удобрения вносят в следующих дозах: зеленые культуры, тыква, кабачки, патиссоны - 40 г отородной удобрительной смеси на 1 м², капуста - 60 г/м², огурцы - 90 г/м², столовые корнеплоды и томаты - 1 кг/м² отородной удобрительной смеси или 60 г/м² нитрофоски. При внесении удобрений под томаты в борозды или лунки на ведро компоста добавляют 70 г отородной удобрительной смеси или 50 г нитрофоски. Под картофель на 100 м² вносят 2-3 кг аммофоса или аммофосфата и 3-4 кг хлористого калия. Азотные удобрения вносят, если не внеслись органические, - 1,5-2 кг карбамида (мочевины) или 3-4 кг сульфата аммония на 100 м². Лучше вносить медленнодействующие формы этих удобрений (капсулированные с добавлением гуматов и других биологически активных веществ) для уменьшения накопления нитратов. Внесение свежего (неперепревшего) навоза в высоких дозах приводит к избыточному содержанию нитратов в урожае. Дозы органических удобрений (навоз, компосты, перегной, птичий помет и др.) - 5-6 кг/м².

При загрязнении цезием-137 выше 5 Ки/км² и стронцием-90 выше 0,1 Ки/км² запрещается в качестве удобрения использовать древесную и торфяную золу.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие уровни загрязнения почвы по цезию-137 и стронцию-90 опасны для здоровья человека и животных?
2. Каковы особенности поведения радионуклидов в почве?

3. Какие свойства почвы влияют на поступление радионуклидов в растения?

4. Как изменяется поступление радионуклидов в растения в зависимости от их видовых и сортовых особенностей?

5. Как влияет известкование почвы и применение органических и минеральных удобрений на содержание радионуклидов в растительной продукции?

6. В чем состоят особенности известкования почв на загрязненных территориях?

7. Каковы особенности применения органических, минеральных и микроудобрений на загрязненных почвах?