

Республиканское научно-исследовательское унитарное
предприятие «Институт радиологии»

Учреждение образования
«Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина»

А. Г. Подоляк, В. В. Валетов, А. Ф. Карпенко

Научные аспекты
сельскохозяйственного производства
в постчернобыльских условиях

МГПУ им. И. П. Шамякина

Мозырь
МГПУ им. И. П. Шамякина
2017

УДК 631.95
ББК 28.080.1
П44

Книга рекомендована к изданию научно-техническим советом учреждения образования «Мозырский государственный педагогический университет имени И. П. Шамякина»

Рецензенты:

Аверин В. С., доктор биологических наук, профессор, декан биологического факультета учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»,

Шилович А. В., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры экономики и финансов Гомельского филиала учреждения образования Федерации профсоюзов Беларуси «Международный университет «МИТСО»,

Гуминская Е. Ю., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой биологии и экологии учреждения образования «Мозырский государственный педагогический университет имени И. П. Шамякина»

Подоляк, А. Г.

П44 Научные аспекты сельскохозяйственного производства в постчернобыльских условиях / А. Г. Подоляк, В. В. Валетов, А. Ф. Карпенко. – Мозырь : МГПУ им. И. П. Шамякина, 2017. – 242 с.

ISBN 978-985-477-609-5.

В монографии рассматриваются особенности агропроизводства в постчернобыльских условиях, миграция цезия-137 и стронция-90 в цепи «почва – растения (корм) – животные» и защитные мероприятия в растениеводстве. Представлены данные о роли комплекса удобрений на содержание и перемещение радионуклидов в злаковых и бобово-злаковых травосмесях.

Монография адресована студентам, аспирантам, научным работникам и преподавателям вузов, специалистам сельскохозяйственных организаций и фермерских хозяйств.

УДК 631.95
ББК 28.080.1

ISBN 978-985-477-609-5

© А. Г. Подоляк, В. В. Валетов,
А. Ф. Карпенко, 2017

© УО МГПУ им. И. П. Шамякина,
2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОЦЕНОЗОВ И РАДИОНУКЛИДОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО СЛЕДА ВЫПАДЕНИЙ.....	7
1.1. Природно-климатические особенности загрязненной территории	7
1.2. Радиоактивные выбросы в атмосферу – источник загрязнения агроценозов	14
1.3. Загрязнение радионуклидами почвы	23
1.3.1. Формы радионуклидов в почвах и их поведение	35
1.3.2. Динамика загрязнения сельскохозяйст- венных земель цезием-137 и стронцием-90.....	56
ГЛАВА 2. ПОВЕДЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРОФИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОЧВА – РАСТЕНИЯ – ЖИВОТНЫЕ.....	61
2.1. Поведение радионуклидов в разных типах почв, агрохимические и агротехнические приёмы снижения содержания радионуклидов в растениях.....	61
2.2. Динамика содержания радионуклидов в кормах и животноводческой продукции в первые годы после аварии на ЧАЭС	67
2.3. Радионуклиды чернобыльского происхождения в цепи почва – корм – продукты животноводства	76
ГЛАВА 3. ЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ	88
3.1. Принципы реабилитации загрязненных радионуклидами земель	88
3.2. Особенности технологий растениеводства на загрязненных территориях	104
3.2.1. Особенности ведения кормопроизводства	117
3.2.2. Радиологическая эффективность создания культурных кормовых угодий	132



ГЛАВА 4. СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА	136
4.1. Прогнозирование содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции	136
4.2. Влияние уровня и вида радиоактивного загрязнения на специализацию агросферы	146
4.2.1. Радиологическая эффективность переспециализации.....	153
4.2.2. Экономическая и радиологическая оценка переспециализации производства сельскохозяйственных предприятий Брагинского района.....	166
4.2.3. Содержание цезия-137 в продукции животноводства Хойникского района.....	172
4.2.4. Производство животноводческой продукции в условиях Наровлянского района.....	177
4.2.5. Экономическая и радиологическая эффективность получения сельскохозяйственной продукции в трёх южных районах Гомельской области	184
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	193
ЛИТЕРАТУРА	200
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	215

ПРЕДИСЛОВИЕ

В результате катастрофы на ЧАЭС в Республике Беларусь произошло радиоактивное загрязнение территорий, где уровни доз облучения превышают 0,1 мЗв/год (закон «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС»). Изучение возможностей уменьшения содержания радиоактивных элементов и тем самым снижения воздействия ионизирующей радиации как одного из абиотических факторов является важной частью решения глобальной проблемы – охраны окружающей среды. В настоящее время одной из главных задач современной радиэкологии считается всестороннее исследование экологических последствий освоения человеком ядерной энергии (Алексахин Р.М., 1992, 1993). Актуальными и впредь будут оставаться вопросы изучения закономерностей миграции радионуклидов в трофических цепях, ведущих к человеку, перераспределения и трансформации потоков радионуклидов в биогеоценозах.

Несмотря на проведение защитных мер, направленных на снижение дозовых нагрузок, постоянный интерес представляет изучение путей снижения уровней накопления цезия-137 и стронция-90.

Во время аварийных ситуаций и выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду мероприятия в сельском хозяйстве, ограничивающие поступление радионуклидов с пищевыми продуктами, являются одними из основных в системе мер по обеспечению радиационной безопасности. Это свидетельствует о важной роли агропромышленного производства в формировании суммарной дозы облучения.

После аварии на Чернобыльской АЭС особую актуальность в Беларуси приобрели проблемы сельскохозяйственного природопользования. Особенностью агросферы Республики Беларусь является то, что 68 % территории и свыше 90 % пашни занимают дерново-подзолистые заболочиваемые почвы. Дерново-болотистые и торфяно-болотистые почвы располагаются на 25 % территории. Для всего Белорусского Полесья, где находятся основные массивы загрязненных сельскохозяйственных угодий, характерны легкие по гранулометрическому составу (песчаные и супесчаные) почвы, обедненные гумусом и элементами минерального питания, с малой ёмкостью обмена, низким содержанием глинистых минералов и повышенной гидроморфностью. В этом регионе также распространены торфяные и пойменные дерново- и торфяно-болотистые почвы, для которых

характерны высокие показатели перехода радионуклидов в продукцию растениеводства.

С 1986 года по настоящее время в районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению, проводится перечень защитных мероприятий, направленных на снижение радиационных нагрузок.

Проблема снижения индивидуальных и коллективных доз облучения населения требует комплексного осуществления эффективных путей и мер по блокированию миграции радионуклидов в различных звеньях трофической цепи «почва – растения – животные».

Для снижения перемещения радионуклидов из загрязнённой агроферы в продукты питания действительность потребовала разработки и проведения комплекса мероприятий по всей вертикали миграции «почва – растения – человек – продукты питания». Прежде всего, использование агрохимических и агротехнических приёмов и методов, направленных на снижение поступления радионуклидов из почвы в растения. Сюда относится рациональное использование кормов (включая зернофураж) с учётом их радиоактивного загрязнения, применение при необходимости ферроцинсодержащих препаратов, широкое использование разработанных методов по «очистке» мясных животных от радионуклидов на заключительной стадии откорма и др. На основании результатов исследований растениеводческой продукции и рекомендаций по ведению сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения земель агрономической службой проводилось перепрофилирование структуры посевных площадей. Одновременно с переспециализацией растениеводческой отрасли проводились изменения в специализации и переспециализации животноводства. К особенностям белорусской переспециализации следует отнести её проведение по предварительно подготовленным бизнес-планам и финансированием в основном из средств государственного бюджета. Научное и авторское сопровождение реализации бизнес-планов осуществлялось РНИУП «Институт радиологии».

За прошедшие от Чернобыльской катастрофы годы наши знания в области радиоэкологии природопользования существенным образом расширились и умножились.

Настоящая монография является результатом многолетних наблюдений и вносит определенный вклад в понимание реабилитации территорий, пострадавших от аварии на ЧАЭС.

ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОЦЕНОЗОВ И РАДИОНУКЛИДОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО СЛЕДА ВЫПАДЕНИЙ

1.1. Природно-климатические особенности загрязненной территории

Загрязненная территория вокруг станции расположена в юго-западной части Восточно-Европейской равнины. Рельеф равнинный, максимальная высота над уровнем моря не превышает 200 м. Климат умеренно-континентальный с теплым летом и сравнительно мягкой зимой, среднегодовое количество осадков колеблется в пределах 500–650 мм, примерно 2/3 осадков выпадает в теплое время года.

Агроклиматические условия Белорусского Полесья складываются под влиянием воздушных масс, поступающих со стороны Атлантического океана. Климат региона – умеренно-континентальный с теплым и влажным летом, мягкой зимой и имеет ряд благоприятных предпосылок для эффективного ведения сельского хозяйства.

На формирование рельефа данной территории большое влияние оказали неоднократные оледенения четвертичного периода, особенно процессы, связанные с таянием ледников, которые производили большую геологическую работу в виде эрозии и переотложения первичного материала. В связи с чем рельеф Белорусского Полесья имеет небольшую глубину расчленения. Господствуют обширные равнины, состоящие из системы речных террас, на которых развиты заболоченные понижения и плоские озёрные котловины.

Гомельская область занимает юго-восточную часть Белорусского Полесья. Среднегодовая температура воздуха здесь составляет +7...+7,5 °С. Самый холодный месяц года – январь, самый теплый – июль. Средняя температура января –4,5...–9 °С, июля – +18,5...+19,6 °С. Теплообеспеченность региона характеризуется суммой положительных температур за период активной вегетации растений. По сумме активных положительных температур за вегетационный период (выше +10°С) территорию региона можно разделить на северную (2350–2400 °С) и южную (2400–2650 °С).

Период активной вегетации для сельскохозяйственных культур длится на юге около 200 дней и севере – 155 дней. Наступает этот период с третьей декады апреля и заканчивается в третьей декаде



сентября. Он практически на месяц длиннее, чем в других регионах Республики. Теплое лето и продолжительный вегетационный период делают климат региона благоприятным для выращивания культур как средней полосы, так и ряда южных растений, а также промежуточных культур.

Среднегодовое количество выпавших осадков составляет 525–575 мм. Больше их количество (325–350 мм) выпадает за вегетационный период (с апреля по октябрь), причём в засушливые годы – менее 300 мм, а во влажные – более 1000 мм. Характерной особенностью территории области и региона является превышение суммы осадков за год над количеством испарившейся с поверхности влаги, что создает промывной тип водного режима и приводит к заболачиванию пониженных участков, образованию полугидроморфных и гидроморфных (болотных) почв. Периодически на территории этого региона наблюдаются засушливые периоды, что приводит к ухудшению условий питания растений и, как правило, к снижению урожайности большинства сельскохозяйственных культур. Недостаток осадков ощущается со второй половины мая по июль месяц.

Одним из главных агроклиматических показателей является влагообеспеченность, которая оценивается условным показателем увлажнения – гидротермическим коэффициентом (ГТК). Эта величина выражает отношение суммы осадков за период с температурой выше 10 °С к сумме положительных температур за этот же период, уменьшенной в 10 раз. Установлено, что при ГТК $\geq 1,7$ увлажнение считается избыточным; при ГТК = 1,1–1,6 – увлажнение хорошее; при ГТК = 0,5–1,0 – условия засушливые; при ГТК $\leq 0,5$ условия сухие.

В целом территория как Гомельской области, так и Белорусского Полесья имеет хорошие условия увлажнения и пригодна для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур, поскольку величина ГТК за вегетационный период колеблется в пределах 1,0–1,5 и только в отдельные, наиболее засушливые или переувлажнённые годы снижается ниже 1,0 или увеличивается до 1,7 и выше. Об этом свидетельствуют данные наблюдений местных метеостанций. Так, по данным Брагинской метеостанции за период наблюдений 1997–2001 годов, метеорологические условия характеризовались значительными отклонениями в отдельные годы как по температуре воздуха, так и по количеству выпавших осадков и величине гидротермического коэффициента (рисунки 1–3).

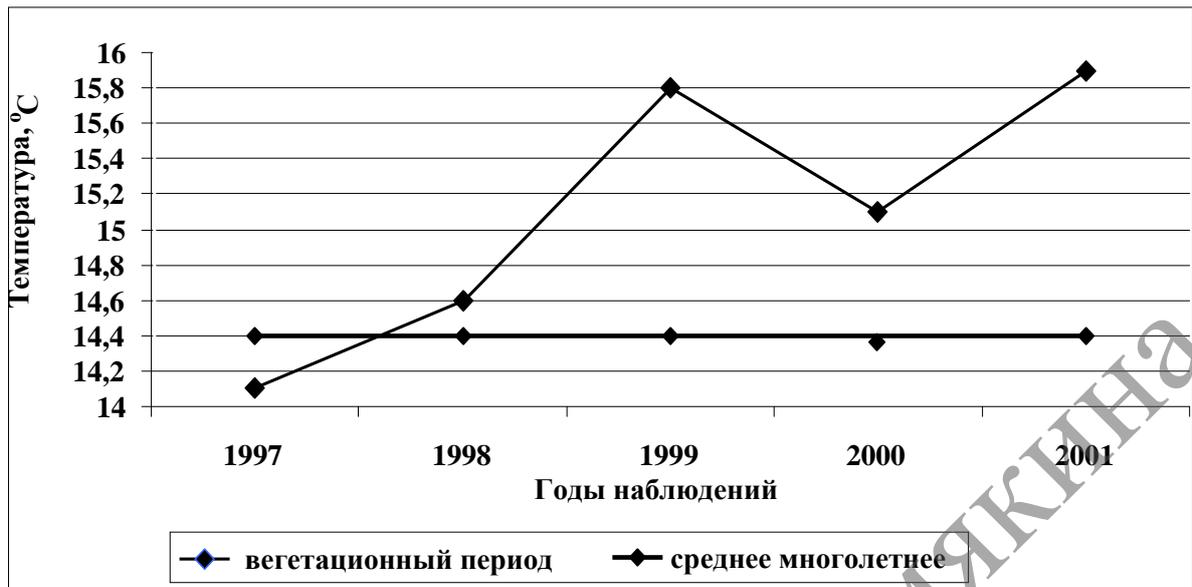


Рисунок 1. – Средняя температура воздуха за апрель–сентябрь, °C

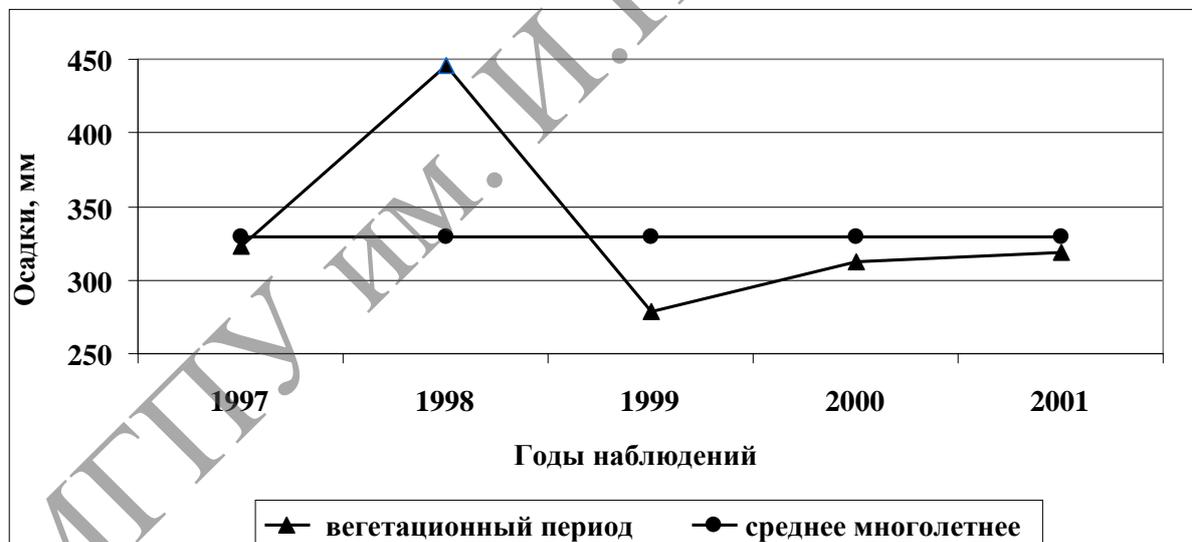


Рисунок 2. – Количество осадков за апрель–сентябрь, мм



Рисунок 3. – ГТК за вегетационный период (апрель–сентябрь)

Так, среднемесячная температура воздуха за вегетационный период (апрель – сентябрь) в 1997 году оказалась ниже, а в 1998–2001 гг. значительно выше (на 0,4–1,5 °С) среднемноголетних показателей, в то время как по количеству выпавших осадков большие отличия от нормы отмечены в 1998 (+117 мм) и 1999 (–50 мм) годах (таблицы 1.1.1 и 1.1.2).

Таблица 1.1.1. – Среднемесячная температура воздуха в г. Брагин за вегетационный период 1997–2001 гг., °С

Месяцы	1997	1998	1999	2000	2001	Среднее 1997–2001	Среднее многолетнее
Апрель	4,7	8,4	9,8	12,4	10,4	9,1	7,3
Май	15,1	13,8	11,0	12,9	13,0	13,2	13,6
Июнь	17,2	18,8	21,4	16,5	16,1	18,0	17,3
Июль	18,7	18,4	21,6	18,3	23,2	20,0	18,3
Август	18,0	16,4	17,4	18,7	19,2	17,9	17,3
Сентябрь	10,7	12,8	13,6	11,5	13,2	12,4	12,4
Среднее за 6 месяцев	14,1	14,6	15,8	15,1	15,9	15,1	14,4
Отклонение от средней	-0,3	+0,4	+1,4	+0,7	+1,5	+0,7	

Таблица 1.1.2. – Количество осадков, выпавшее в г. Брагин за вегетационный период 1997–2001 гг., мм

Месяцы	1997	1998	1999	2000	2001	Среднее 1997–2001	Среднее многолетнее
Апрель	43,0	50,6	25,5	30,8	67,4	43,5	38,0
Май	42,7	33,6	65,0	38,4	35,0	42,9	48,0
Июнь	95,0	107,6	14,1	17,0	74,6	61,7	70,0
Июль	56,2	105,0	31,5	83,9	49,9	65,3	
Август	42,5	104,4	90,4	58,0	36,7	66,4	67,0
Сентябрь	43,9	44,4	52,0	84,0	55,5	56,0	43,0
Сумма за 6 месяцев	323	446	279	312	319	336	329
Отклонение от средней	–6	+117	–50	–17	–10	+7	

По величине ГТК метеорологические условия за вегетационный период в 1997, 1998, 2000 и 2001 гг. характеризовались как благоприятные и за 1999 год – как засушливые.

Различия в погодных условиях по годам сказываются как на урожайности, так и размерах перехода радионуклидов в растения.

Республика Беларусь по размерам своей территории занимала среди бывших союзных республик шестое место. На душу населения в Беларуси на 01.01.86 г. приходилось около 0,6 га пахотных земель, что значительно меньше, чем в целом по СССР (около 1 га) (Смеян Н.И. и др., 1989).

По удельному весу сельскохозяйственных земель в структуре земельных угодий Беларусь относится к интенсивно освоенным районам. Неиспользуемые и слабо используемые земли в народном хозяйстве (пески, пустырьники, болота и др.) составляют около 8 % общей площади республики. По данным БелНИИ почвоведения и агрохимии, на территории республики выделено 11 типов почв. В Гомельской области к основным типам относятся дерново-подзолистые, дерново-подзолистые заболоченные, торфяно-болотные и пойменные почвы. Дерново-подзолистые почвы в естественном состоянии характеризуются сравнительно невысоким плодородием, имеют кислую реакцию, мало содержат питательных веществ и гумуса (Белицина Г.Д. и др., 1968). Для повышения плодородия этих почв необходимо проведение известкования и внесение достаточного количества органических и минеральных удобрений. Эти почвы в большинстве своем характеризуются сравнительно оптимальными водно-физическими свойствами.



После улучшения органических свойств обеспечивают получение высоких урожаев. Из дерново-подзолистых почв наиболее плодородными являются суглинистые, и особенно пылевато-суглинистые почвы, а также супесчаные, подстилаемые мореной. Однако доля таких почв на территории Гомельщины незначительная. В основном это дерново-подзолистые супесчаные и песчаные, подстилаемые песками почвы, характеризующиеся очень малой влагоёмкостью и небольшими запасами питательных веществ. В области имеются районы: Наровлянский, Житковичский, Лоевский и др., в которых почти вся площадь минеральной пашни сложена песчаными и супесчаными почвами. Уровень плодородия этих почв оценивается в 18–40 баллов.

Дерново-подзолистые заболоченные почвы сформированы в местах с затрудненным поверхностным стоком и неглубоким залеганием грунтовых вод. В естественном состоянии имеют высокую кислотность, слабо обеспечены фосфором и калием. Эти почвы имеют неудовлетворительные агропроизводственные свойства, так как в весенне-осенний период обычно находятся в состоянии полного насыщения влагой. Озимые культуры на них обычно вымокают, посев яровых затягивается на 7–10 дней.

Значительная часть дерново-подзолистых почв используется под естественные кормовые культуры, но основная площадь под пашни. Для этих почв необходимо регулировать водно-воздушный режим, производить известкование и внесение достаточного количества удобрений.

Торфяно-болотные почвы образовались под влиянием болотного процесса почвообразования. В зависимости от характера увлажнения имеются низинные, верховые и переходные торфяники. Среди них наиболее распространены низинные, особенно в районах Полесья. Мелиорированные торфяно-болотные почвы являются одними из лучших почв области.

Пойменные почвы находятся в поймах больших и малых рек области, таких, как Днепр, Сож, Припять, Ипуть и др. Имеют, как правило, слабокислую или близкую к нейтральной реакцию, содержат много гумуса. Используются в основном под естественные сенокосы и пастбища. После мелиорации пригодны для выращивания сельскохозяйственных культур.

Обобщение материалов почвенных исследований по Беларуси показало, что наименьшее количество суглинистых почв (как наиболее плодородных) имеется в Гомельской и Брестской областях (Смеян Н.И. и др., 1989). Так, в Гомельской области более 60 % пахотных угодий расположено на легких почвах, из которых почти третья часть подстилается песком. По данным бонитировки 1975 г.,

наиболее плодородные земли находились в Брагинском, Хойникском, Буда-Кошелёвском, Калинковичском и Рогачевском районах.

До катастрофы распаханность территории области составляла 59 %. В области было развито молочное и мясное скотоводство (до 18,9 коров на 100 га). Значительное место занимали посадки картофеля (около 13,7 % площадей), кормовых культур (37,1 %), зерновых (около 47,1 %), льна-долгунца (до 0,8 %).

Основной массив лесов на загрязненной территории находится в районах Полесья, где лесистость достигает 44,8 %. Основная доля (до 63 %) видового состава лесов приходится на хвойные породы (сосна), остальная доля – на лиственные породы (дуб, граб, береза, ольха).

Анализ данных, характеризующих распределение загрязнений территории по видам хозяйственного освоения, показывает, что примерно половина загрязненных земель Гомельщины приходится на сельскохозяйственные угодья (40–50 %) и до 50 % – на леса, болота, водные объекты. Преобладание дерново-подзолистых и торфяных почв с кислым рН, низкой емкостью обмена, слабой насыщенностью основаниями и легких по гранулометрическому составу явилось причиной того, что переход цезия-137 в трофическом звене почва-растения, а на лугах и пастбищах – растения-молоко и растения-мясо оказался в 3–5 раз выше, чем на плодородных почвах тяжелого гранулометрического состава (таблица 1.1.3).

Таблица 1.1.3. – Распределение почв различных типов по областям и Республике в целом, %

Область	Общая площадь с/х земель, тыс.га	Дерновокарбонатные	Дерновоподзолистые	Дерновоподзолистые заболочиваемые	Дерновые, дерново-карбонатные заболочиваемые	Аллювиальные дерновые заболочиваемые	Торфяно-болотные	Антропогенно-преобразованные
Брестская	1212,2	0,1	32,9	31,4	19,9	1,3	10,9	3,5
Витебская	1237,6	-	33,8	62,3	0,8	0,3	1,6	1,2
Гомельская	1181,6	-	42,3	38,5	6,8	1,3	8,1	3,0
Гродненская	1065,7	0,2	65,5	30,8	2,7	0,3	0,3	0,2
Минская	1582,9	-	51,6	34,0	4,3	0,3	7,6	2,2
Могилевская	1142,5	0,1	55,2	42,6	0,9	0,1	0,6	0,5
Республика Беларусь	7422,5	0,1	47,0	40,5	5,4	0,5	4,8	1,7

Такое разнообразие почвенно-климатических характеристик требует дифференцированного подхода к ведению сельскохозяйственного производства и особенно важно в период после катастрофы на Чернобыльской АЭС, когда основная часть экосистем области подверглась радиоактивному загрязнению.

1.2. Радиоактивные выбросы в атмосферу – источник загрязнения агросферы

До катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) радиационная обстановка на земном шаре определялась, в основном, природными радионуклидами: калий-40, торий-232, уран-238. Концентрация двух последних составляла в почвах $n \times 10^{-4} \%$, а радиоактивного калия-40 – 0,0119 % от общего запаса калия в почвах (Клечковский В.М., 1956; Павлоцкая Ф.И., 1974; Агеев В.Ю., 2001).

В то время учеными был получен обширный материал о поведении радионуклидов глобальных выпадений (в период с 1945 по 1980 год на земле было произведено 450 ядерных и термоядерных взрывов, 90 % мощности пришлось на 1952–1962 гг.), их миграции, размерах усвоения сельскохозяйственными растениями.

В результате испытания ядерного оружия в атмосферу поступали искусственные радионуклиды – цезий-134, 137, стронций-90, плутоний-238, 239, 240. По расчетам ученых Ливерморской национальной лаборатории США, на 1 км^2 земной поверхности выпало в среднем $1,0 \text{ кБк/м}^2$ ($0,027 \text{ Ки/км}^2$) цезия-137 и около $0,7 \text{ кБк/м}^2$ ($0,0179 \text{ Ки/км}^2$) стронция-90. Эти радионуклиды и составили глобальное загрязнение поверхности Земли. По данным Н.И. Санжаровой (1997), за время до 1972 года, в результате испытания ядерного оружия, в среднем в мире активность почвы возросла по цезию-137 на $9,9 \text{ Бк/кг}$, а по стронцию-90 на $6,3 \text{ Бк/кг}$.

26 апреля 1986 года в 1 час 23 минуты 58 секунд на 4-ом блоке Чернобыльской атомной электростанции взорвался атомный реактор, в результате чего было выброшено за пределы разрушенного блока около $3,5 \pm 0,5 \%$ топлива (50 МКи ($1,85 \times 10^{18} \text{ Бк}$) от первоначальной загрузки, которое содержало около 450 видов радионуклидов продуктов деления урана (Израэль Ю.А. и др., 1988). Произошло это перед остановкой блока на плановый ремонт при проведении испытаний режимов работы одного из турбогенераторов. Мощность реакторной установки внезапно резко возросла, что

привело к ее разрушению и выбросу в атмосферу части накопившихся в активной зоне радионуклидов.

Выброс радионуклидов был следствием того, что в результате катастрофы были уничтожены барьеры и системы безопасности, защищающие окружающую среду от радионуклидов, содержащихся в облученном топливе. Он продолжался в течение 10 дней с 26.04.86. по 06.05.86. (рисунок 4), после чего упал в тысячи раз и в дальнейшем постепенно уменьшался. В литературе этот промежуток времени получил название “активной стадии аварии”.

Интенсивность выброса

МКи/сутки

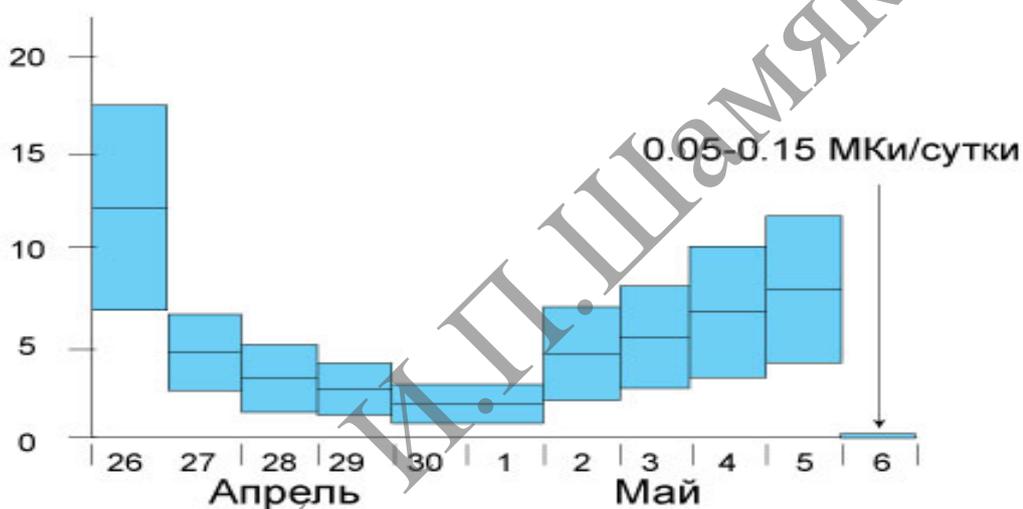


Рисунок 4. – Динамика выброса на активной стадии аварии.
Погрешность определения $\pm 50\%$ (оценка авторов [149])

Формирование основной части радиоактивных выпадений в ближней зоне закончилось в первые 4–5 суток (таблица 1.2.1) Однако полное формирование радиоактивного «следа» и «пятен» продолжалось в течение всего мая месяца. Состав и физико-химические свойства радионуклидов, выбрасываемых из реактора в атмосферу, менялись в различные периоды времени, в течение которых происходило формирование каждой ветви радиоактивного следа. По этой причине состав радионуклидов в выпадениях на загрязненной территории неоднороден и зависел от направления и расстояния до АЭС. Спустя 5–100 суток после аварии в пробах атмосферных аэрозолей и почвы были установлены радионуклиды, ответственные за 90% общей радиоактивности выпадений. В северном направлении от станции установлено изменение радионуклидного состава в сторону обогащения летучими нуклидами: йодом-131, цезием-134 и -137 (Корнеев Н.А. и др., 1988). Следует

отметить, что общее количество цезия, которое было выброшено в атмосферу, составляло 15 % от имеющегося в реакторе, или в 5 раз больше, чем остальных изотопов.

Таблица 1.2.1. – Показатели гамма-фона на территории Гомельской области на 1 мая 1986 года (мР/час)

Наименование районов	Время измерений										
	1.00	4.00	6.00	9.00	11.00	13.00	15.00	17.00	19.00	21.00	23.00
Брагинский	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	12,0	12,0	11,0	10,0	10,0	11,0
Буда-Кошелевский	–	–	–	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,5	1,5	1,5
Ветковский	4,5	4,5	4,5	5,0	3,0	2,0	2,8	4,5	2,4	2,0	2,2
Гомельский	–	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Добрушский	–	–	–	0,44	0,4	0,25	0,28	0,28	0,2	0,18	–
Ельский	–	–	–	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Житковичский	–	–	–	0,3	0,3	0,3	0,3	0,25	0,25	0,25	–
Жлобинский	–	–	–	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Калинковичский	0,25	0,25	0,25	0,25	0,35	0,35	0,3	0,3	0,25	0,1	0,1
Кормянский	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5
Лельчицкий	1,0	1,0	1,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Лоевский	–	–	–	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25
Мозырский	1,0	1,0	1,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Наровлянский	5,0	4,5	4,5	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5	4,2	4,2	4,0
Октябрьский	0,05	0,05	0,05	0,05	0,11	0,11	0,09	0,1	0,09	0,07	0,05
Петриковский	0,32	0,32	0,32	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,28	0,28	0,23
Речицкий	0,7	0,7	0,7	0,7	0,65	0,65	0,65	0,7	0,53	0,48	0,5
Рогачёвский	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	–
Светлогорский	–	–	–	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	–
Хойникский	3,2	3,2	2,8	3,2	3,2	3,2	3,0	6,0	4,0	3,1	11,0
Чечерский	4,5	4,5	4,5	4,3	3,8	3,8	4,0	3,8	3,8	3,8	3,7
г. Гомель	1,6	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	–

В середине мая 1986 года на территории 11 районов Гомельской области и 6 районов Могилевской области была выявлена зона радиоактивного загрязнения цезием-137 с плотностью загрязнения 555 кБк/м² и более (Израэль Ю.А. и др., 1988). По степени загрязнения почв изотопами цезия-137 и стронция-90 было выделено 7 градаций (таблица 1.2.2).

Таблица 1.2.2. – Градации почв по степени загрязнения радионуклидами

Степень загрязнения	Плотность загрязнения, Ки/км ²	
	Цезий-137	Стронций-90
1	менее 1,0	менее 0,15
2	1,0-4,9	0,15-0,30
3	5,0-9,9	0,31-0,50
4	10,0-14,9	0,51-1,00
5	15,0-29,9	1,01-2,00
6	30,0-39,9	2,01-2,99
7	40 и более	3,00 и более

По данным радиологических обследований общая площадь загрязненных радиоцезием почв Республики Беларусь с плотностью 37 кБк/м² и более составила 4,65 млн га или 22,4 % территории, в том числе 1565 тыс. га сельскохозяйственных угодий. На долю Гомельской и Могилевской областей приходилось соответственно 982 и 432 тыс. га сельхозугодий, а в интервале плотностей выпадений 555–1480 кБк/м² находилось 82 и 59 тыс. га.

Около 475 га сельхозугодий Беларуси загрязнено стронцием-90 с плотностью 11,1 кБк/м². Загрязнение территории стронцием-90 очень неравномерно. Более всего его выпало на юге Гомельской области (Хойникский, Брагинский, Наровлянский районы). Участки с плотностью загрязнения 111 кБк/м² и более находятся в зоне отселения. Небольшие локальные пятна такой же плотностью выявлены возле населенных пунктов Слабожанка, Гречихино, Дворище, Рудное и Стреличево Хойникского района. Участки загрязнения 74 кБк/м² совпадают с участками загрязнения почв цезием-137 555 кБк/м² и более или с зоной жесткого контроля (кроме локальных пятен Хойникского района). На севере Гомельской области локальные пятна с уровнем загрязнения 74–111 кБк/м² выявлены в населенных пунктах в Добрушском (Демьянки, Млынок), Ветковском (Папсуевка, Ириновка, Подкаменье) и Чечерском (Шепетовичи) районах и совпадают с пятнами загрязнения почв цезием-137 1480 кБк/м² и более. Загрязнение почв плутонием-239 и -240 характерно для южной зоны, причем граница 3,7 кБк/м² находится внутри 30-км зоны. Однако, в Хойникском, Наровлянском и Брагинском районах выявлены пробы с уровнем до 3,7 кБк/м² (Хомич В.К., 1990).

К 1 мая 1986 года крупный рогатый скот уже находился на пастбищном содержании, надземная масса озимых культур, используемых в качестве зеленой подкормки, хорошо развита,



закончился сев основных яровых культур, овощей, посадка картофеля. В результате аварийных выбросов в Чернобыле произошло йодное загрязнение молока и ряда овощных культур, а также аэральное загрязнение смесью радионуклидов сельскохозяйственных растений. Присутствие в смеси таких долгоживущих радионуклидов, как цезий-137, стронций-90 и плутоний-239 обусловило радиационную опасность на длительную перспективу.

В мае-июне 1986 года основную радиационную опасность представлял йод-131, поступавший в организм человека главным образом с молоком, в меньшей степени с овощной продукцией. На юге Беларуси, в ближнем к аварии регионе, концентрации йода-131 в молоке достигали $1,1 \times 10^{-6} - 1,1 \times 10^{-5}$ Ки/л ($4 \times 10^4 - 4 \times 10^5$ Бк/л), что существенно превышало временный допустимый уровень йода-131 в молоке для этого периода, равный 1×10^{-7} Ки/л ($3,7 \times 10^3$ Бк/л).

Для предотвращения поступления населению неконтролируемого молока, а также в связи с продолжавшимися радиоактивными выбросами из аварийного реактора летом 1986 г. было запрещено употребление молока в цельном виде, получаемого в личных подсобных хозяйствах и в общественном секторе не только в регионах с выявленным радиоактивным загрязнением, но и в прилегающих районах. Все молоко принималось и перерабатывалось на масло или другие продукты, главным образом сыр, пригодные для длительного хранения. Мероприятия по ограничению потребления содержащего йод-131 молока позволили снизить индивидуальные дозы облучения в 5–20 раз. В связи с быстрым распадом йода-131 со временем концентрация его в молоке быстро уменьшилась.

Известно, что поступающие в атмосферу радионуклиды образуют аэрозоли и под влиянием сил гравитации, метеорологических факторов (дождь, снег, движение ветра и др.) выпадают на растительный покров и поверхность почвы. Аэральное радиоактивное загрязнение растений происходит при оседании на их надземных частях аэрозольных и газообразных составляющих выбросов. В аэральном загрязнении растений высока вероятность вторичного подъема и переотложения радионуклидов с частицами загрязненной почвы.

В основе выпадающих аэрозолей радиоактивные частицы могут иметь размеры от 0,001 до 800 мкм. Растворимость радионуклидов частиц в воде может изменяться от 100 % до долей процента. Во время аварийного горения четвертого блока Чернобыльской АЭС в атмосферу поступала широкая гамма радиоактивных веществ, в выпадениях находилось большое

количество высокоактивных «горячих частиц», в составе которых были обнаружены альфа-излучающие нуклиды.

Часть выпавших на поверхность растений радионуклидов аккумулируются наземной массой растений, а осевшие на почву радионуклиды включаются во взаимодействие с почвенным поглощающим комплексом, который является их мощным сорбентом. Одновременно с этим, на пути радионуклидов из почвы в растения в роли селективного барьера активно выступает корневая система растений.

После выпадения на растительный покров часть радиоактивных частиц на нем задерживается. Эффективность задерживания растениями частиц увеличивается с уменьшением частиц и увеличением листовой поверхности растений, фитомассы и т.д. Задерживание радионуклидов при попадании на посевы после влажных выпадений может достигать до 90 %. Первичное задерживание цезия-137 и стронция-90 одной и той же культурой в зависимости от фазы ее развития может колебаться от 15 до 90 %.

Задержанные листьями и стеблями радионуклиды находятся как в свободном, так и в сорбированном состоянии. Поступление в растения задержанных радионуклидов зависит от комплекса факторов: температуры и влажности воздуха, pH и солевого состава раствора с радионуклидами, старения листа и т.д.

Поступившие в растения радионуклиды передвигаются в нем в зависимости от их физико-химических свойств и биологических особенностей растений. Стронций-90 передвигается из листьев в 100 раз медленнее, чем цезий-137. Передвижение радионуклидов в продуктивные части растений связано с возрастом растений, физиологическим состоянием тканей растений, на которые осели радионуклиды, из старых листьев передвижение идет интенсивнее, чем из молодых.

Снижение в растениях концентрации задержанных радионуклидов наблюдается под влиянием дождя, росы, тумана, в результате разбавления нарастающей фитомассой в процессе роста и развития растений, из-за усыхания и опада загрязненных во время выпадений частей. В период интенсивного роста растений концентрация радионуклидов в растениях на 60–90 % обусловлена нарастанием надземной массы, а в период прекращения роста от влияния минералогических воздействий. Например, темпы усвоения радионуклидов листьями пропорциональны содержанию влаги в атмосфере между дождями. Погодные условия влияют на удаление с растений осевших радионуклидов и практически не влияют на внутритканевые.

Кроме первичного загрязнения почвы и растений, которое наблюдалось из выпадений во время горения четвертого блока Чернобыльской АЭС, существует вторичное загрязнение. Оно образуется во время подъема ветром или водой с поверхности земли как самих радиоактивных частиц, так и их с загрязненной почвой, остатками растительности.

Во время катастрофы первичное загрязнение являлось основным, после устранения аварии и прекращения Чернобыльских выпадений, основным стало вторичное загрязнение почвы и растительности.

Для оценки процесса вторичного загрязнения (дефляции) или переотложения используют коэффициент вторичного подъема. Коэффициент вторичного подъема определяют по отношению концентрации радионуклида в воздухе на высоте 1 м к плотности загрязнения поверхности почвы.

Ветровая эрозия почв зависит от скорости движения воздуха, от температуры, влажности, плотности, давления, таких свойств почвы, как структура, состав, плотность, влажность, содержание органического вещества, топография и др.

Большое количество радионуклидов переносится ветром с мелкой фракцией почв в приземном слое. Дефляция возникает на минеральных почвах при скорости ветра – 5–6 м/сек, на осушенных торфяниках – 8–9 м/сек. На загрязненных территориях Беларуси ветры со скоростью 5 м/сек достигают 21 % от их общего количества. Наиболее активный перенос мелкозема происходит в весенне-летний период. В это время на Полесье происходит до 80 % пыльных бурь. Среднегодовые потери почвы в результате ветровой эрозии на минеральных почвах могут достигать 10 т/га и свыше 3 т/га на маломощных торфяниках.

Вторичный подъем радионуклидов с почвенными частицами может быть при проведении сельскохозяйственных работ, на почвах с бедной растительностью, в результате перевыпаса животных, автотракторного движения и другой хозяйственной деятельности, усиливающей ветровой подъем пыли. Вклад ветрового подъема в аэральном загрязнении растительности цезием-137 глобального происхождения может составлять от 1,4 до 14 %, стронцием-90 – от 0,3 до 6 % от суммарного содержания в растениях.

Масштабы и интенсивность горизонтальной миграции радионуклидов изменяются в зависимости от почвенных условий, особенностей рельефа и ландшафта, системы обработки почвы, структуры посевов и др. и способны приводить к вторичному загрязнению почв и растений. Доля вторичного загрязнения

многолетних трав за счет пылепереноса может составлять не более 8–13 % в год от корневого поступления цезия-137 и стронция-90.

Кроме ветровой эрозии почв вторичное загрязнение растений почвенными частицами происходит во время дождя и ливней. Ливневый дождь может поднять до 225 т/га почвы, при этом максимальная высота, на которую поднимаются частицы, может достигать до 40 см, при которой 90 % частиц почвы имеют размеры менее 125 мкм.

Загрязнение радиоактивными частицами во время дождя существенно для овощных культур, пастбищной травы, на ранневесенних выпасах и не столь существенно для высоких растений. В результате водной эрозии почв содержание радионуклидов в пахотном горизонте на различных элементах рельефа может изменяться от 1,5 до 3 раз.

Все эти факторы целесообразно учитывать в практике ведения растениеводства на загрязненных территориях.

В настоящее время в системе радиационного контроля и мониторинга природной среды Республики Беларусь наблюдения за загрязнением радионуклидами поверхностных вод, донных отложений, атмосферного воздуха и почв осуществляет Департамент гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды. Наблюдения проводятся на 57 станциях, где ежедневно измеряется мощность экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД). На 30 станциях, расположенных на всей территории республики, контролируется радиоактивность естественных выпадений из приземного слоя атмосферы с использованием горизонтальных планшетов.

В первый период катастрофы уровни мощности экспозиционной дозы гамма-излучения составили в г. Брагине 46000 мкР/ч (расстояние до ЧАЭС – 50 км), в Чечерске – 10000 мкР/ч (расстояние до ЧАЭС – 180 км). Через 16 лет, в 2002 году, максимальные единичные уровни МЭД были зафиксированы в июне в г. Брагине – 105 мкР/ч и в июле в Чечерске – 32 мкР/ч. На остальной территории мощность дозы гамма-излучения не превышала уровни естественного гамма-фона (до 20 мкР/ч). В областных городах среднегодовой уровень излучения колебался от 10 до 15 мкР/ч. Статистическая обработка данных измерений МЭД в 10 наиболее характерных населенных пунктах показывала, что выделяются две группы населенных пунктов: с низкими значениями МЭД до 20 мкР/ч – Лельчицы, Мозырь, Слуцк, Пинск, Могилев, и со значениями МЭД более 20 мкР/ч – Славгород, Хойники, Братин, Чечерск и Наровля. В течение года в составе атмосферного воздуха

не было обнаружено короткоживущих радионуклидов и не отмечено существенных изменений в поведении цезия-137 и стронция-90 в атмосфере по сравнению с предыдущими годами поставарийного периода.

Наблюдения, проводимые за период 1990–2002 гг. свидетельствуют, что происходят кратковременные (сезонные) увеличения радиоактивности атмосферного воздуха. И связано это с увеличением в приземном слое атмосферы содержания пыли в воздухе, т.е. процессами вторичного ветрового подъема.

Опасность проявления эрозионных процессов в условиях Беларуси существует практически на протяжении всего года. Легкие по механическому составу и слабо агрегированные почвы (содержание частиц диаметром более 1 мм не превышает 3–5%), низкое содержание в наиболее распространенных в области дерново-подзолистых почвах гумуса (0,8–1,5%) предполагают очень малую их сопротивляемость воздействию энергии воды и ветра. Так, уже при скорости приземного ветра 4 м/сек возможен интенсивный подъем и перенос пыли размером 0,05–0,07 мм и снега в слое воздуха высотой до 2 м. Более мелкие частицы пыли могут быть подняты ветром на большую высоту над поверхностью земли, что приводит к переносу их на значительные расстояния и загрязнению чистой территории.

В этих условиях определяющим фактором проявления эрозионных процессов является наличие и плотность проективного покрытия. Прекращение обработки почвы после аварии и быстрое зарастание сельскохозяйственных угодий сорной растительностью способствовали значительному сокращению эрозионных процессов, а значит и миграции радионуклидов.

Проведенные в 1987–1990 гг. исследования интенсивности проявления водозерозионных процессов в зоне отселения позволили сделать вывод, что по мере образования войлока на поверхности почвы эти процессы затухали. За период наблюдения вынос мелкозема с талым и ливневым стоком на зараженных участках с уклонами до 3°, а с ними и радионуклидов был незначительным – 0,05–0,4 т/га и 2,5–20 МБк/га соответственно. Талые и ливневые воды были практически чистыми, содержание бета-излучающих радионуклидов в них не превышало 45–50 Бк/л. С жидким стоком, достигавшим 2,0–2,5 м³ на га, вынос радионуклидов был незначительным и составлял по бета-излучающим нуклидам 0,1–0,3 МБк/га.

Несколько интенсивнее идут эти процессы при ветровой эрозии. Наиболее активно они происходят в апреле-мае, то есть в

периоде с наименьшим проективным покрытием сельскохозяйственных угодий. Основная масса мелкозема и радионуклидов (80–86 %) перемещается в приземном слое и не более 14–20 % на высоте 1 м. Отрыв и перемещение частиц почвы начинается уже при скорости ветра 3 м/сек и наиболее интенсивные они наблюдаются на открытых фонах и ветроударных склонах. Отложение мелкозема происходит в местах снижения скорости ветра (лощины, опушки леса). В целом, в зависимости от рельефа, задержанности территории и других факторов вынос бета-излучающих радионуклидов в мелкоземе составляет 20–300 МБк/м² в год.

На обработанных площадях при полном отсутствии растительного покрова эти процессы многократно возрастают. Вынос радиоцезия на выровненной пашне достигает 120–150 кБк/м² за 24 часа. Наиболее эффективным мероприятием для предотвращения переноса радионуклидов при эрозионных процессах является задержание территорий.

1.3. Загрязнение радионуклидами почвы

Прежде чем характеризовать особенности радиоактивного загрязнения почв, коснемся некоторых характеристик радионуклидов. Как известно, в настоящее время все радионуклиды делят на две группы: естественные (присутствие которых на Земле не связано с деятельностью человека) и искусственные, или нуклиды антропогенного (техногенного) происхождения.

В биосфере Земли содержится более 80 естественных радионуклидов, которые делят на две категории: первичные и космогенные. Первичные подразделены на две группы. Первая группа состоит из трех семейств или рядов радиоактивных элементов, родоначальниками которых являются уран-238, уран-235 и торий-232. Радионуклиды этой группы называют также тяжелыми естественными радионуклидами. Вторая группа первичных радионуклидов состоит из 24 долгоживущих радиоактивных изотопов, в неё входят такие химические элементы, как кальций, калий, олово, рубидий, церий, кадмий и др.

Космогенные радионуклиды образуются в атмосфере в результате взаимодействия космического излучения (нейтронов, протонов и др.) с ядрами атомов кислорода, азота, аргона, а затем поступают на земную поверхность с атмосферными осадками. Эта

группа представлена 20 радионуклидами с периодами полураспада от 37,3 мин (хлор-38) до $7,4 \times 10^5$ лет (алюминий-26). Наиболее значимыми в радиологическом плане в этой группе являются водород-3 (тритий), бериллий-7, углерод-14, натрий-22 и натрий-24.

Естественные радионуклиды делят на легкие и тяжелые. В группу тяжелых радионуклидов относят нуклиды трех радиоактивных семейств уран-235, уран-238 и торий-232. Все остальные естественные радионуклиды отнесены к легким.

К числу легких естественных радионуклидов относится калий, который представляет интерес как аналог радиоактивного цезия, выпавшего в смеси радионуклидов чернобыльского происхождения. В природной среде существует три изотопа калия: два стабильных – калий-39 (93,22 %) и калий-41 (6,77) и один радиоактивный – калий-40 (0,01118 %). Радиоактивный изотоп калия бета-излучатель с энергией излучения 1,32 МэВ и периодом полураспада $1,28 \times 10^9$ лет. В 1 грамме природного калия содержится 27 Бк калия-40. Из этого следует, что если в дерново-подзолистых почвах содержание калия колеблется от 1 до 3 %, то это значит, что в пахотном 20-см слое ($2,6 \times 10^8$ кг/км²) калия-40 содержится в количестве $(7,0–21,0) \times 10^{10}$ Бк/км² (0,19–0,57 Ки/км²).

Калий-40 – один из основных естественных радионуклидов в почвах и растениях. Введено специальное понятие как «калийный фон», отражающий вклад калия-40 в суммарное содержание радионуклидов.

Поведение калия в почве, растениях и других биологических объектах полностью определяется поведением его стабильных изотопов. Калий в почве находится в нескольких формах: калий почвенного раствора – K_p ; обменный калий – $K_{обм}$; труднообмениваемый калий – $K_{то}$ и калий почвенных минералов – K_m . При внесении элемента в почву или удалении ионы K^+ перераспределяются между указанными формами. Равновесие между K_p и $K_{обм}$ устанавливается за несколько минут. Равновесие между $K_{то}$ и $K_{обм}$ или K_p устанавливается в течение дней и месяцев. Превращение K_m происходит очень медленно и зависит от природы минерала.

Калий в почвенном растворе существует в виде иона K^+ , так как образует незначительное количество ионных пар или растворимых органических комплексных соединений. В почвенных растворах калий может быть связан с растворимыми органическими соединениями и его концентрация может варьировать от 0,1 до 100–200 мг/л.

Обменный калий удерживается отрицательными зарядами обменных участков почвенных глин и органического вещества. Количество $K_{обм}$ в почвах обычно находится в пределах 49–

500 мг/кг. Трудно обмениваемый калий (фиксированный) удерживается между сетками глинистого минерала, и он с трудом доступен для обмена с катионами почвенного раствора.

В процессе хозяйственной деятельности количество калия в компонентах биосферы увеличивается за счет активного применения минеральных удобрений. Так, удельная активность калия-40 в используемых удобрениях на территории бывшего СССР составляла: в суперфосфате – 120 Бк/кг, в обесфторенном фосфате – 39 Бк/кг. При внесении калийных удобрений в дозе 60 кг/га в почву поступает калия-40 в количестве около $1,6 \times 10^6$ Бк/га.

К числу тяжелых естественных радионуклидов относятся уран, торий, радий, полоний, свинец и радон.

Появление искусственных радионуклидов связано с деятельностью человека. Искусственные радионуклиды делят на 3 группы. Первую группу образуют радиоактивные продукты ядерного деления, возникающие в реакциях деления урана-235, урана-238, плутония-239 и др. Источники радионуклидов данной группы – испытания ядерного оружия, предприятия ядерного топливного цикла и атомной промышленности.

Вторую группу искусственных радионуклидов составляют продукты наведенной активации, образующиеся в результате ядерных реакций элементарных частиц (в основном нейтронов) с ядрами стабильных элементов, входящих в состав конструкционных материалов и теплоносителей ядерных реакторов и так далее. Третья группа – радиоактивные трансураниевые элементы, возникающие в ядерно-энергетических установках и при ядерных взрывах в результате последовательных ядерных реакций. Радионуклиды этой группы в основном альфа-излучатели, характеризуются очень высокой радиотоксичностью, большим периодом полураспада, отсутствием стабильных изотопных аналогов в природе.

Из продуктов ядерного деления чернобыльских выпадений наибольшее значение для агроценозов имеют стронций и цезий. Природный стронций состоит из 4 стабильных изотопов с массовыми числами 84, 86, 87, 88. В число продуктов деления входят 2 радиоизотопа стронция – стронций-90, являющийся самым биологически подвижным с периодом полураспада 28,1 года (бета-излучатель с максимальной энергией 0,544 МэВ) и стронций-89 – более короткоживущий радионуклид с периодом полураспада 50,5 сут. (бета-излучатель с энергией 1,463 МэВ).

Стронций-90 и стронций-89 распределяются и закрепляются в почвах аналогично стабильному стронцию и их химическому

аналогу – стабильному кальцию, содержание которого в земной коре составляет 2,96 %. Свойства почвы по убывающей значимости независимого влияния на коэффициент распределения (K_p) стронция-90 располагаются в ряд: влажность – содержание обменных кальция и магния – емкость обмена – содержание органического вещества – pH. Основным механизмом поглощения стронция-90 твердой фазой почв осуществляется путем ионного обмена. Сорбция стронция-90 твердой фазой почв сильно зависит от присутствия макрокonzентраций катионов в растворе. От содержания внесенного в почву небольшого количества кальция коэффициент распределения изменяется незначительно. Но при внесении в почву больших количеств кальция одновременно с уменьшением K_p стронция-90 происходит резкое снижение отношения стронция к кальцию в почвенном растворе, что способствует уменьшению накопления стронция растениями.

При увеличении в почве концентрации анионов фосфора, серы и углерода сорбция стронция-90 возрастает за счет соосаждения с труднорастворимыми соединениями кальция, стронция и железа. Глинистые фракции почв могут сорбировать до 99 % стронция-90. Предпочтительно стронций-90 сорбируется такими минералами, как асканит, бентонит, вермикулит и др. Сорбция стронция-90 контрастными по физико-химическим свойствам почвами составляет 81,5–98,2 %, десорбция: водой – 1,3–5,6 %; 1 н. раствором ацетата аммония – 81,2–96,9 % от количества сорбированного стронция.

Распределение и подвижность стронция-90 в почвах в значительной степени зависит от количества и качественного состава гумуса. В дерново-подзолистой почве с гумусом связано 36 % стронция-90, а распределение его между гуминовой кислотой, фульвокислотой и гуматами составляет 3, 69 и 28 %.

С течением времени снижение ионообменно связанных форм стронция-90 в почвах происходит медленно. Известкование кислых почв и внесение фосфорных и калийных удобрений повышают прочность закрепления стронция-90 почвами и способствуют переводу его в необменную форму. Например, после внесения в почву фосфорных удобрений и извести содержание необменных форм стронция-90 может возрасть от 1,5 до 4 раз.

В отношении изотопов цезия можно отметить следующее. Природный цезий представляет собой стабильный изотоп цезия-133, содержание которого в земной коре составляет около $6,5 \times 10^{-4} \%$. В число продуктов деления входят цезий-134 и цезий-137, которые являются биологически подвижными. Цезий-137 – один из



основных дозообразующих радионуклидов среди продуктов деления. Период полураспада цезия-137 равен 30,17 года, бета- и гамма-излучатель с максимальной энергией бета-излучения 1,76 МэВ. Цезий-134 имеет период полураспада 2,06 года с максимальной энергией бета-излучения 0,552 МэВ, гамма-излучения – 1,367 МэВ. Высокая биологическая подвижность цезия-134 и цезия-137 определяется щелочными свойствами данного элемента, являются химическими аналогами калия, который в природных средах выступает химическим носителем изотопов цезия. В любых природных средах изотопы одновалентны, способны к ионообменному связыванию и необменной сорбции твердой фракцией почв (фиксации). Фиксация происходит в результате взаимодействия ионов цезия с кристаллической решеткой глинистых минералов. Совокупность почвенно-химических реакций, ведущих к снижению подвижности радионуклидов в почве и ослаблению их накопления растениями, получила название «старения». Прочно фиксированные ионы радиоизотопов цезия существенно в меньшей степени переходят в почвенный раствор, и благодаря этому снижается их доступность растениям.

В почвах в илистой фракции остается наибольшее количество цезия-137, и она является основной в почвенной фиксации. На сорбцию цезия-137 существенное влияние оказывает минералогический состав почв. Минералы монтмориллонитовой группы (бентонит и др.), гидрослюды, каолинит, слюды могут сорбировать до 98–99 % цезия-137.

Замещение всех почвенных катионов почвы на калий заметно увеличивает сорбцию цезия-137. Минеральные, органические удобрения и известь усиливают прочность закрепления цезия-137 почвой. Поглощенный почвой, цезий-137 слабо вытесняется из нее при длительном внесении минеральных удобрений совместно с навозом. С увеличением рН почвенного раствора от 4,4 до 8,3 поглощение цезия-137 у подзолистых почв может возрасти на 220 %.

В зависимости от свойств почв формы нахождения цезия-137 различаются. Практически на всех типах почв содержание обменного цезия-137 больше необменного. В дерново-подзолистой почве в обменной форме может находиться 21,3–28,3 %, необменной (кислоторастворимой) форме – 5,2–10,3 % и фиксированной 61,4–73,5 %, от внесенного. На почвах, имеющих высокую гидролитическую кислотность степень насыщенности основаниями, легких по гранулометрическому составу, содержание доступного растениям цезия-137 может достигать 35–40 %. Роль органического вещества в сорбции радиоизотопов цезия твердой фазой почв

невелика, закрепление цезия-137 в органогенных почвах незначительно. Исключение представляют торфяные и болотные почвы, в которых высокая подвижность цезия-137 в звене почва-растения обусловлена наличием в почвах большого количества органических соединений, содержащих цезий-137.

В числе выпавших радионуклидов чернобыльского происхождения также находились изотопы йода, церия, рутения циркония, ниобия, бария, лантана и других.

Йод (I). Природный йод представляет один стабильный изотоп – йод-127, содержание которого в земной коре составляет около $4 \times 10^{-5} \%$, в морской воде $6 \times 10^{-3} \%$. Среди радиоизотопов йода наиболее радиологически значимыми являются йод-129 и 131. Йод-131 имеет период полураспада 8,04 суток, бета-излучатель с максимальной энергией 0,608 МэВ. Период полураспада йода-129 равен $1,57 \times 10^7$ лет, бета-излучатель с энергией 0,150 МэВ. Поступая в атмосферу, радиоизотопы йода разбавляются в воздухе стабильным йодом и вместе с ним осаждаются на поверхность земли. Валовое содержание стабильного йода варьирует в зависимости от типа почвы от $n \times 10^{-1}$ до $n \times 10^1$ мг/кг. Содержание йода и гумуса в почве находятся в тесной корреляции. Закрепление и распределение радиоизотопов йода в почвах происходит также, как и стабильного йода.

Церий (Ce). Природный церий состоит из трех стабильных изотопов с массовыми числами 138, 140 и 143. Содержание стабильного церия в земной коре обнаружено около $4,5 \times 10^{-3} \%$. Из продуктов деления выделено два радиоизотопа церия – церий-141 и церий-144. Период полураспада церия-141 равен 32,5 суток, бета- и гамма-излучатель с максимальной энергией бета-излучения 0,580 МэВ, гамма-излучения – 0,145 МэВ. Период полураспада церия-144 равен 284,3 суток, бета- и гамма-излучатель с максимальной энергией бета-излучения 0,320 МэВ, гамма-излучения 0,134 МэВ. Закрепление и распределение радиоизотопов церия в почвах аналогично поведению стабильного церия.

Рутений (Ru). Природный рутений состоит из семи стабильных изотопов с массовыми числами 96, 98–102 и 104. В земной коре стабильного рутения содержится около $5 \times 10^{-7} \%$. К радиологически наиболее значимым изотопам относятся рутений-103 и рутений-106. Рутений-103 имеет период полураспада 39,35 суток, бета- и гамма-излучатель с максимальной энергией бета-излучения 0,710 МэВ, гамма-излучения 0,610 МэВ. Период полураспада рутения-106 составляет 368,2 суток, бета-излучатель с максимальной энергией излучения 0,039 МэВ. В почвах может находиться в различных

степенях окисления и обладает способностью образовывать многочисленные комплексные соединения

Цирконий (Zr). Природный цирконий состоит из пяти стабильных изотопов с массовыми числами 90, 91, 92, 94 и 96. Содержание его в земной коре достигает 2×10^{-2} %. Из всех изотопов к радиологически значимым относится цирконий-95. Цирконий-95 имеет период полураспада 64,05 суток, бета- и гамма-излучатель с максимальной энергией бета-излучения 0,89 МэВ, гамма-излучения 0,756 МэВ. Степень окисления в почвах +4, слабоподвижен.

Ниобий (Nb). Природный ниобий представляет стабильный изотоп ниобия-93, содержание которого в земной коре составляет 2×10^{-3} %. К радиологически значимым относится ниобий-95, имеющий период полураспада 35,1 суток, бета-излучатель с максимальной энергией излучения 0,160 МэВ. Соединения ниобия-95 слабо растворимы как в кислой, так и в щелочной средах. Наиболее устойчивы в почве соединения ниобия-95 со степенью окисления +5.

Барий (Ba). Радиоактивный барий-140 имеет период полураспада 12,78 суток, бета- и гамма-излучатель с максимальной энергией бета-излучения 1,010 МэВ, гамма-излучения 0,537 МэВ. Барий-140 относится к числу подвижных в почвах радионуклидов.

Лантан (La). Лантан-140 имеет период полураспада 40,22 часа, бета- и гамма-излучатель с максимальной энергией бета-излучения 2,200 МэВ и гамма-излучения 2,520 МэВ. В почвах находится в малоподвижной форме.

Из всего спектра радионуклидов в особую группу выделяют трансурановые радионуклиды, имеющие существенную значимость в отдаленные периоды радиоактивного загрязнения. В эту группу входят нептуний, плутоний, америций.

Нептуний (Np). Обнаружено 15 радиоактивных изотопов нептуния с массовыми числами 227–241. Радиологически наиболее значимыми изотопами являются нептуний-237 и -239. Среди трансурановых элементов радиоизотопы нептуния наиболее растворимы в почве и обладают большой подвижностью.

Плутоний (Pu). Известно 15 радиоизотопов плутония с массовыми числами 232–246. К радиологически значимым относят плутоний-238–242. Содержание плутония-239 в почвах составляет 0,02–1,2 Бк/кг. Основными механизмами миграции плутония в почвах являются диффузия и перенос с тонкодисперсными частицами.

Америций (Am). Обнаружено 11 радиоизотопов америция с массовыми числами 237–247. Наиболее радиологически значимыми изотопами являются америций-241 и -243. Америций-241 имеет

период полураспада 432,8 года, альфа-излучатель с максимальной энергией 6,12 МэВ.

Территория радиоактивного загрязнения вокруг Чернобыльской станции имеет очень разнообразный ландшафт, включающий реки, озера, леса, пастбища и пахотные угодья. Загрязнение различных элементов ландшафта в процессе выпадения радиоактивных веществ значительно варьировало. Наименьшему загрязнению в момент их выпадения из проходящего аэрозольного облака подверглись открытые пахотные угодья.

Анализ проб грунта в различных районах загрязнения показал, что в первое время после выпадения радиоактивные вещества находились на поверхности целинных и пахотных земель в слое почвы толщиной 2 см и в основном в кронах деревьев и кустарников залесённых участков. При одинаковой плотности выпадения наибольшему радиоактивному загрязнению подверглись лесные массивы и целинная почва (Хомич В.К., 1990; Израэль Ю.А. и др., 1988; Алексахин Р.М., 1993).

Наличие загрязнённых радионуклидами территорий и радиоэкологическая обстановка на территории области ежегодно уточняется Белгидрометом и областными проектно-изыскательскими станциями химизации (таблица 1.3.1).

Таблица 1.3.1. – Сведения о землях, выведенных из сельскохозяйственного использования за послеаварийный период (1986–1991 гг.) в связи с загрязнением радионуклидами

	Исключено всего, тыс. га	В том числе, тыс. га	
		пашня + многолетние насаждения	кормовые угодья
Всего сельхозугодий в т.ч. по областям:	263,4	82,6	180,8
Брестская	0,1	0,1	-
Гомельская	216,3	68,6	147,7
Могилевская	47,0	13,9	33,1

Примечание: Передано в госземзапас 47,4 тыс. га (Гомельская – 2,3 тыс. га, Могилевская – 45,1 тыс. га).

Гомельской проектно-изыскательской станцией химизации изучены особенности распределения радионуклидов в почвах области. Для этого в каждом районе на стационарных площадках

установлено содержание в почвах цезия-137 и стронция-90 до аварии и после нее (Хомич К.К., 1990).

В доаварийные годы соотношение между стронцием-90 и цезием-137 колебалось в пределах 1:1,7 – 1:2,0, что соответствует выходу продуктов деления при ядерных взрывах. Плотность загрязнения территории Беларуси цезием-137 находилась в пределах от 1,85 до 5,92 кБк/м², стронцием-90 – от 1,11 до 2,96 кБк/м² (Бархударов Р.М., 1987; Хомич В.К., 1990; Карпенко А.Ф., 2012).

В результате катастрофы на ЧАЭС произошло увеличение загрязнения почвы стронцием-90 от 2 раз в Житковичском районе до 110 раз в Брагинском районе, цезием-137 от 7 раз в Калинковичском районе до 1666 раз в Лоевском районе, что свидетельствует об огромной пестроте загрязнения и преимущественном содержании цезия-137 в аварийном выбросе (Хомич В.К., 1990).

Для организации ведения сельскохозяйственного производства в сложных радиэкологических условиях, наряду с изучением плотности загрязнения земель, необходимо знать формы нахождения выпавших радионуклидов в почве, насколько они доступны растениям, а также величины вертикальной миграции для различных почвенных разновидностей. Как правило, искусственные радионуклиды являются новыми ингредиентами и форма их нахождения отлична от формы стабильных нуклидов, поэтому «свежие» формы радионуклидов могут быть более доступны для усвоения растениями в первый период их пребывания в почвах по сравнению с их доступностью в более поздние сроки, когда произойдет их «старение» – комплекс почвенно-химических реакций, связанных с вхождением радионуклидов в кристаллическую решетку глинистых материалов, ионным обменом и т.п. Снижение доступности для растений радионуклидов с течением времени зависит от их физико-химических свойств (Алексахин Р. М., 1982).

В аварийном выбросе ЧАЭС цезий-137 и стронций-90 были заключены в матрицу разрушенных твэлов, а также содержались в аэрозолях различной дисперсности в парогазовой фазе. С течением времени происходит, с одной стороны, разрушение матричного материала, а с другой – фиксация радионуклидов твердой фазой почвы. Эти два противоположно направленных процесса, из-за различий в соотношении форм выпадений, могут давать разные эффекты по динамике соотношения форм содержания цезия-137 и стронция-90 в почвах (Алексахин Р.М., Корнеев Н. А., 1991).

Методами последовательного селективного выщелачивания и радиографии в течение 1987–1989 гг. изучалось состояние



радионуклидов в почвах контрольных полигонов на территории Гомельской и Могилевской областей, проведен анализ изменения соотношения водорастворимой, обменной, подвижной и «фиксированной» форм нахождения радионуклидов по времени и по глубине почвенных профилей (Петряев Е.П. и др., 1990.). Было установлено, что радиоактивные изотопы цезия на поверхности и в глубине почвы присутствуют в основном в «фиксированном» состоянии (до 96 %). Значительных изменений в соотношении форм радиоактивных изотопов цезия в исследованных почвах не обнаружено. Отмечено, что поведение цезия в изученных образцах не зависит от расстояния до места аварии.

Исследования наиболее распространенных почв Беларуси показали, что растениям более доступен стронций-90, обменные формы которого для большинства автоморфных почв составляют 80–100 %. По цезию-137 эти величины несколько меньше и составляют 50–70 % . При одних и тех же условиях для почвенных стронция и цезия, стронций может накапливаться в генеративных органах растений в 2–47 раз, а в вегетативных – в 18–160 раз больше, чем цезий. С усилением степени гидроморфности почв и повышением содержания в них гумуса прочность связывания радионуклидов с почвой усиливается. Особенно это заметно по радиоцезию, где недоступные его формы достигают 80 % от общего содержания в почве. Повышенной подвижностью стронция-90 отличаются кислые дерново-подзолистые песчаные почвы. Высокогумусированные дерново-глеевые и торфяно-болотные почвы связывают радионуклиды достаточно прочно (Смеян Н.И., Марцуль И.Н., 1990).

Учеными ВНИИ сельскохозяйственной радиологии было установлено, что в 10-км от АЭС зоне содержание водорастворимого и обменного цезия-137 выше на гидроморфных, чем на автоморфных почвах. На большем удалении содержалось больше обменного цезия-137 на автоморфных почвах. Полученные результаты сопоставили с данными по глобальным выпадениям. Для глобального цезия-137 на дерново-подзолистых и дерново-луговых песчаных и супесчаных почвах количество обменного цезия-137 составляет 6–15 % от валового количества. В 1989 году содержание обменного цезия-137 в 10-км зоне колебалось в пределах 1,2–1,7 %, что было ниже глобального, и в почвах дальней зоны – 3,2–10,3 %, что сопоставлялось с величинами для глобального цезия. За время экспериментальных работ было выявлено, что количество обменного цезия-137 в пахотном слое дерново-подзолистой песчаной почвы снизилось в 2 раза, то есть

резкого уменьшения содержания цезия-137, доступного для растений, с течением времени не отмечалось (Анисимов В.С., Санжарова Н.И., Алексахин Р.М., 1991).

С целью изучения вертикальной миграции радионуклидов отбирались образцы почв по горизонтам на глубину до 120 см. Оказалось, что основная масса радионуклидов на залежных почвах находилась в 0–5-см слое (Петряев Е.П. и др., 1990).

Стронция-90 в данном слое в песчаной почве находилось 95,8 %, в супесчаной – 96,4 %, в супесчаной избыточно увлажненной – 90 %, в суглинистой – 99,6 %, в торфяно-болотной увлажненной – 98 %.

Содержание цезия-137 в 0–5-см слое было следующим: в песчаной почве – 95 %, в супесчаной – 95,7%, в супесчаной избыточно увлажненной – 87 %, в суглинистой – 100 %, увлажненной – 88 %.

На природных кормовых угодьях глубина проникновения цезия-137 зависит от типа луга. На суходольных лугах наиболее интенсивно миграция цезия-137 протекает на выщелоченных тяжелосуглинистых черноземах: в слое 0–2 см через 3 года после аварии оставалось всего 46 %, в слой 10–20 см переместилось до 18 % от общего количества радионуклида. На низинных и пойменных лугах, характеризующихся избыточным увлажнением вследствие ежегодного затопления паводковыми водами и высокого уровня грунтовых вод, глубина проникновения цезия-137 по почвенному профилю значительно увеличивалась: на дерново-подзолистой супесчаной почве в слое 5–20 см было обнаружено около 10 % радионуклида, на выщелоченном тяжелосуглинистом черноземе 35 % цезия-137 переместилось в слой почвы 5–20 см и до 3 % на глубину 20–30 см. На дерново-подзолистых супесчаных почвах через 3 года после аварии миграция была наименьшей: 96 % цезия-137 оставалось в слое 0–5 см (Ратников А.Н. и др., 1991).

Перепахка почв различных типов приводит к сравнительно равномерному распределению цезия-137 по пахотному горизонту, и миграция в этом случае зависит главным образом от глубины обработки почвы сельскохозяйственными орудиями. В пахотном слое почвы большая часть радионуклидов, то есть 70–80 % стронция-90 и 78–80 % цезия-137 остаётся в слое 0–40 см. При проведении безотвальной обработки почвы на глубину до 40–45 см в результате разрыхления плужного уплотнения усиливается проникновение радионуклидов в подпахотный горизонт (Тепляков И.Г., Мартюшев В.В., Базилев В.В., 1991).

Однако, несмотря на значительную глубину проникновения, вертикальная миграция радионуклидов не решает вопроса

самоочищения почвы от них со временем. Основная масса стронция-90 и цезия-137 находится в корнеобитаемом слое почвы. В связи с этим особо важными остаются вопросы разработки приемов и способов, направленных на снижение поступления радионуклидов в растения.

Для выявления зависимости накопления радионуклидов от типов почв и их механического состава проведены исследования по определению коэффициентов накопления в различных сельскохозяйственных культурах. Оказалось, что накопление цезия-137 растениями по сравнению со стронцием-90 находится в большей зависимости от физико-химического состояния нуклида в почвах. Для дерново-подзолистых почв коэффициенты накопления цезия-137 различаются в 10–17 раз, а для почв разного генезиса – до 100 раз (Алексахин Р.М., 1992).

Растения, выращенные на торфяно-болотных почвах, значительно больше накапливают радионуклидов, чем выращенные на дерново-подзолистых почвах. Содержание стронция-90 и цезия-137 в продукции растениеводства на торфяно-болотных почвах в 5–7 раз выше содержания радионуклидов в продукции, выращенной на дерново-подзолистых супесчаных почвах» и в 1,5–2 раза выше, чем на дерново-подзолистых песчаных (Подоляк А.Г., 2013).

Разное содержание радионуклидов наблюдается в продукции, выращенной на дерново-подзолистых почвах различного механического состава. Так, содержание радионуклидов в растениях, выращенных на песчаной почве, может быть в 3–4 раза выше, чем на суглинистой. По каждой культуре идет возрастание коэффициентов накопления от суглинистой к супесчаной, песчаной и торфяно-болотной, где коэффициенты имеют наибольшие показатели.

Почвенно-климатические особенности территории Белорусского Полесья в доаварийное время характеризовались тем, что коэффициенты накопления стронция-90 и цезия-137 для изученных почв были выше, чем на остальной территории бывшего Советского Союза (Бархударов Р.М. и др., 1987; Фирсакова С.К., 1992). Поэтому содержание цезия-137 и стронция-90 в растениях на почвах Беларуси характеризовались более высокими показателями. Объясняется это повышенной кислотностью, низким содержанием кальция, фосфора, калия, гумуса, слабыми сорбционными свойствами почв, всем тем, что определяет формы нахождения радионуклидов в почве и конечном счете способствует повышенному переходу радионуклидов в растения.

Аналогическая картина наблюдалась по миграции стронция-90, цезия-137 после катастрофы на ЧАЭС в зависимости от типов почв и биологических особенностей растений. Однако коэффициенты накопления стронция-90 были значительно ниже, чем коэффициенты накопления цезия-137, при этом почти на порядок ниже, чем до аварии. Коэффициенты накопления цезия-137 для зерновых культур после аварии несколько ниже, чем до аварии, а по остальным культурам выше. Для сена естественных сенокосов коэффициенты накопления почти в 1,5–2 раза были выше, чем до аварии. Возможно, это связано с тем, что цезий-137 преобладал в 0–5-см корнеобитаемом слое почвы, и не исключалось частичное поверхностное загрязнение трав при их уборке (Тимофеев С.Ф. и др., 1990; Подоляк А.Г., 2002; Карпенко А.Ф., 2012).

Травостой пастбищ является одним из основных звеньев в пищевой цепочке поступления радионуклидов в продукцию животноводства (молоко, мясо) и далее к человеку. В первые месяцы после аварии на ЧАЭС роль молока как поставщика радионуклидов в рацион была значительной. В условиях осуществления бракеража в июле 1986 г. с молоком поступало в организм человека до 76 % цезия-137 + цезий-134 от суточного поступления с рационом. Поэтому для оценки и прогнозирования радиационной обстановки, принятия управленческих решений требовалось изучение перемещения радионуклидов по трофической цепи почва-растения-животные-молоко (мясо).

1.3.1. Формы радионуклидов в почве и их поведение

Радиационный фон после катастрофы на ЧАЭС определялся 21 радионуклидом. Основное их количество выпало с мелкодисперсными частицами углерода с адсорбированными атомами металлов (конденсационные формы), а также в виде топливных частиц. Наибольшую опасность для живых организмов представляла группа биологически активных радионуклидов: йод-131, стронций-90, цезий-134 и 137, плутоний-238, -239 и -240, церий-141 и -144, рутений-103 и -106, цирконий-95, ниобий-95. Разнородные по своим дозиметрическим характеристикам, эти радионуклиды имеют одну общую особенность: большинство из них являются двойниками, аналогами химических элементов, выполняющих важные биологические функции в живых организмах и растениях. Более 70 % радионуклидов, выброшенных в

атмосферу, в настоящее время прекратили свое существование (Алексахин Р.М. и др., 1992; Анненков Б.Н., Аверин В.С., 2003).

Особо опасны радиоизотопы с большим периодом полураспада. В составе этой группы находятся такие загрязнители земной поверхности, как стронций-90, цезий-137, америций-241 и все изотопы плутония. Наибольшую опасность для человека, животных и растений представляют цезий-137 и стронций-90. Они легко включаются в трофические цепи и являются источниками внутреннего и внешнего облучения организмов. Поведение этих радионуклидов в почвах и их усвоение растениями изучалось до аварии на ЧАЭС. Этому вопросу посвящен ряд специальных публикаций и монографий известных отечественных учёных (Клечковский В.М., 1956; Юдинцева Е.В., Гулякин И.В., 1968; Тюрюканова Э.Б., 1976; Алексахин Р.М. и др., 1993; Павлоцкая Ф.И., 1974).

Известно, что стронций-90 является аналогом кальция, а цезий-137 – калия. Они хорошо растворимы в воде, легко поглощаются почвой и являются биологически подвижными в сельскохозяйственных цепочках, а также имеют длинный период полураспада ($T_{1/2}$. ^{137}Cs – 30,17 лет; $T_{1/2}$. ^{90}Sr – 28,1 лет).

Цезий-137 – один из основных дозообразующих радионуклидов среди продуктов деления. Важной особенностью этого изотопа является способность, наряду с обменным связыванием, к необменной сорбции (фиксации) твердой фазой почв, в частности, вхождение в межпакетные пространства и закрепление ионов Cs^+ кристаллической решёткой некоторых вторичных глинистых минералов. Прочно фиксированные ионы Cs^+ в меньшей степени переходят в почвенный раствор и, следовательно, становятся менее доступными для большинства сельскохозяйственных культур.

В отличие от цезия-137, основной механизм поглощения стронция-90 твердой фазой почвы – это ионный обмен. Сорбция данного радионуклида твердой фазой основных типов почв зависит от присутствия макроконцентраций других катионов и анионов в почвенном растворе.

С увеличением расстояния от аварийного реактора претерпевает значительное изменение радионуклидный состав выброса. Так, на расстоянии до 10 км от ЧАЭС почвы сильно загрязнены изотопами плутония до $3,7 \text{ кБк/м}^2$ и более. Соотношение между изотопами цезия-137 и стронция-90 составляет 1:1. По мере удаления от места аварии количество изотопов плутония резко убывает, а соотношение изотопов цезия и стронция плавно

уменьшается. По имеющимся данным, на расстоянии 250 км от ЧАЭС (территория Могилевской области) плотность загрязнения почвы плутонием составила 0,037 кБк/м², а соотношение цезия и стронция – 9:1.

При помощи опытов с естественными радиоактивными элементами установлено, что растения способны концентрировать в своих тканях радиоактивные вещества на единицу веса в больших количествах, по сравнению с содержанием радиоактивных элементов в единице объема воды.

Исследования Клечковского В.М. (1956), Барбер С.А. (1988) показали, что растения через корни могут поглощать радионуклиды (в том числе ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr) из водных растворов в относительно больших количествах, причем концентрация этих элементов в растениях, как правило, выше, чем в растворах, из которых они поступают в растения.

Поглощение радионуклидов растениями, как и любого питательного элемента, зависит от ряда факторов. Результаты исследований, приведённые в работах Юдинцевой Е.В. и Гулякина И.В. (1968), Анненкова Б.Н. (1991), дают нам основание все факторы, обуславливающие поступление радионуклидов (в том числе ионов Cs⁺, Sr⁺) в сельскохозяйственные растения, объединить в 4 основные группы:

- 1) химические свойства радионуклидов;
- 2) агрохимические характеристики почвы;
- 3) биологические особенности растений;
- 4) природно-климатические условия (таблица 1.3.2)

Для количественной оценки поступления радионуклидов из почвы в растения пользуются многими показателями, но большинство ученых-радиобиологов используют коэффициенты накопления (концентрации) (K_н) – отношение содержания радионуклида в единице массы растения к содержанию радионуклида в единице массы почвы и коэффициенты пропорциональности (K_п) – отношение содержания радионуклида в единице массы растения к плотности загрязнения единицы площади почвы:

$$K_n = (\text{Бк/кг}) : (\text{Бк/кг})$$
$$K_p = (\text{Бк/кг}) : (\text{кБк/м}^2)$$

Таблица 1.3.2. – Факторы, определяющие подвижность радионуклидов в почве и их поступление в растения

Группа свойств	Свойства
1. Свойства радионуклидов	Знак заряда иона; величина заряда; форма соединения; способность к адсорбции; способность к комплексообразованию; способность к гидролизу
2. Тип почвы, характеристика почвы	Минералогический состав; химический состав; гранулометрический состав; влажность и плотность почвы; содержание органического вещества; кислотность почвы; катионный состав почвенного раствора, катионный состав почвенно-поглощающего комплекса (ППК); ёмкость поглощения; формы нахождения радионуклидов
3. Биологические особенности растений	Особенности минерального питания; продуктивность (урожайность); межвидовые и сортовые отличия
4. Природно-климатические условия	Продолжительность вегетационного периода; теплообеспеченность; влагообеспеченность, величина гидротермического коэффициента (ГТК)

Механизм усвоения радионуклидов растениями сходен с поглощением основных макро- и микроэлементов, а накопление цезия-137 и стронция-90 растениями хорошо согласуется с содержанием в них элементов-аналогов калия и кальция, соответственно (Клечковский В.М., Гулякин И.В., 1958). Процесс сорбции, в котором участвуют радионуклиды, характеризуется тем, что сорбируемое вещество находится в микроколичествах, то есть в предельно низких концентрациях. Так, например, весовое соотношение 1 Бк стронция-90 составляет всего 2×10^{-14} грамма. Поэтому существует очень широкое отношение между величиной емкости поглощения почвы и степенью ее заполнения радионуклидами.

Следовательно, в процессе поглощения микроколичества радионуклидов не конкурируют за место на поверхности сорбента, так как по отношению к ним насыщенность сорбента всегда остается очень низкой.

Доступность радионуклидов для растений, прежде всего, зависит от почвенных свойств и их поведения в почве (почвенной химии радионуклидов). Поглощение радионуклидов почвой определяется их распределением между твердой фазой почвы и почвенным раствором и осуществляется за счёт процессов сорбции –

десорбции, осаждения-растворения труднорастворимых соединений и коагуляции – пептизации коллоидных частиц. Образование и растворение осадков зависит от ионного состава, pH, Eh почвенного раствора, а также присутствия органических и неорганических кислот. Адсорбция радионуклидов из почвенного раствора твёрдой фазой почвы тесно связана со свойствами минеральных, органических и органоминеральных коллоидов.

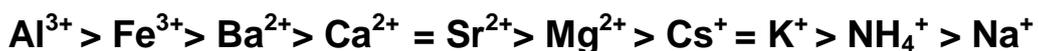
Миграционная способность радионуклидов в системе «почва-растение» в значительной мере зависит от их физико-химических свойств. Поведение изотопов цезия определяется тем, что они относятся к щелочным элементам, имеющим в любых компонентах природной среды степень окисления только +1. Важнейшей особенностью этих изотопов является способность к необменной сорбции (фиксации) твёрдой фазой почвы, ведущей к снижению подвижности в почве и ослаблению накопления растениями. Совокупность почвенно-химических (кристаллохимических) реакций, ведущих к снижению подвижности радионуклидов в почве за счет их вхождения в межпакетные пространства вторичных минералов, принято называть «старением».

На процесс поглощения и прочность закрепления почвой цезия-137 существенное влияние оказывает содержание в ней ионов K^+ , а также присутствие других конкурирующих катионов в почвенном растворе. Так, замещение в почвенно-поглощающем комплексе почвы всех обменных катионов на ионы K^+ или Ca^{2+} заметно увеличивает сорбцию ионов Cs^+ . По уменьшению влияния на сорбцию данного радионуклида твёрдой фазой почвы конкурирующие в почвенном растворе катионы располагаются в следующий ряд:



В отличие от цезия-137, основной и единственный механизм поглощения стронция-90 – ионный обмен. Поведение этого изотопа в почве определяется поведением изотопного носителя (стабильного Sr) и химического аналога (стабильного Ca).

Поглощение данного радионуклида твёрдой фазой почвы тесно связано с концентрацией в почвенном растворе других катионов. По данным Тюрюкановой Э.Б. (1976), Павлоцкой Ф.И. (1991), содержание обменного Ca в почве оказывает основное влияние на поступление стронция-90 в сельскохозяйственные растения, а катионы по их конкурирующей способности оказывать влияние на поглощение данного радионуклида располагаются в следующий ряд:



При внесении в почву больших количеств катионов Ca^{2+} , как правило, происходит резкое снижение отношения $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$ в почвенном растворе, что приводит к резкому снижению поступления первого в растения. Как отмечает ряд авторов (Алексахин Р.М. и др., 1992; Санжарова Н.И., 1997; Агеев В.Ю., 2001), концентрация в почвенном растворе анионов PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} также оказывает влияние на поведение радионуклидов в системе «почва-растение». Так, доступность стронция-90 уменьшается за счёт увеличения в почвенном растворе концентрации анионов PO_4^{3-} в результате образования труднодоступных для растений соединений $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2$ и SrHPO_4 .

Большинство исследователей считают, что основную роль в поведении радионуклидов играют агрохимические свойства почв. К настоящему времени из всех физико-химических характеристик почв, влияющих на подвижность и доступность цезия-137 и стронция-90, исследователями выделено около десяти основных параметров, которые по возрастающей значимости можно расположить в следующий ряд:

влажность > соотношение форм нахождения радионуклидов в почве > гранулометрический состав > минералогический состав > содержание органического вещества > содержание обменных K, Ca, Mg > емкость катионного обмена > pH.

Как отмечает ряд ученых (Вирченко Е.П., Агапкина Г.И., 1993), основным механизмом передвижения радионуклидов по профилю почвы является процесс диффузии из зоны высокой концентрации в зону с более низкой концентрацией, перенос в потоке с тонкодисперсной фракцией почвы и перенос в составе растворимых органических соединений (фульватов и гуматов).

Следует отметить существенное различие в подвижности цезия-137 и стронция-90 в почве. Поскольку цезий-137 может закрепляться минеральными компонентами почвы, то для его передвижения по почвенному профилю характерен перенос с тонкодисперсными частицами почвы в фиксированном состоянии, тогда как 10–40 % стронция-90 связывается гуматами почвенного поглощающего комплекса (гуминовыми, гуматомиелиновыми и особенно фульвокислотами) и переносится в обменной форме. Связь с органическим веществом почвы объясняет большую подвижность в почвах стронция-90 по сравнению с цезием-137. Подтверждением более быстрого передвижения стронция-90 является возрастание доли его обменных форм по мере заглубления,

что не свойственно для цезия-137. Для большинства радионуклидов увеличение содержания гумуса в почве обеспечивает устойчивое снижение их размеров перехода в растение. Доступность стронция-90 для растений в ионной форме в 2–4 раза выше, чем из органоминеральных комплексов, а переход цезия-137 из гуматов в 1,3–1,5 и стронция-90 в 2–2,5 раза ниже, чем из фульватов.

По данным Богдевича И.М и др. (1996), Путятин Ю.В. (2008) повышение содержания гумуса в дерново-подзолистых супесчаных почвах от минимального (1,0–1,5 %) до оптимального (2,0–3,0 %) сопровождалось снижением в 1,5 раза поступления стронция-90 и в 2–5 раз цезия-137 в урожай многолетних злаковых трав.

Гранулометрический состав почв в значительной степени определяет их поглотительную способность и протекающие в ней сорбционные процессы радионуклидов. Сорбционная способность почв находится в прямо пропорциональной зависимости от степени дисперсности почвенных частиц. Почвы тяжелого гранулометрического состава обладают большим количеством мелкодисперсных фракций, нежели легкие. Основную роль в обменной способности почв играет илистая фракция, а роль более крупных механических элементов почвы в физико-химическом поглощении мала. Фракция почвы, частицы которой крупнее 0,001 мм, обладает емкостью поглощения от 0,12 до 13,4 мг-экв, а фракция частиц меньше 0,001 мм – от 20,6 до 107,4 мг-экв на 100 г. Почвы, содержащие большее количество высокодисперсных частиц (размером менее 0,001 мм), характеризуются высокой емкостью поглощения. С уменьшением размеров частиц снижается содержание оксида кремния, возрастает количество полуторных оксидов железа и алюминия и, что особенно важно для процессов сорбции радионуклидов, повышается содержание гумуса и обменных катионов кальция, магния и калия. Наибольшим содержанием органического вещества обладают мелкопылеватые и илистые частицы.

С уменьшением размера фракций почвы прочность закрепления ими изотопов стронция и цезия повышается. Например, по данным Фоломкиной З.М. (1968) во фракции мелкого песка дерново-подзолистой почвы и чернозема остается не вытесненным после трех обработок хлористым аммонием 37–45 % поглощенного количества цезия. Это свидетельствует о том, что в сорбции цезия-137 большое значение имеет минеральная часть почвенных частиц. Пылеватые фракции обладают еще большей способностью к фиксации радиоактивного изотопа цезия, чем песчаные. В илистой фракции почв остается наибольшее

количество цезия-137, которое не вытесняется в раствор хлористого аммония после многократной обработки.

Прослежено распределение радионуклидов по фракциям загрязненных почв. Оказалось, что основное количество стронция-90 сосредотачивается в илистой и глинистой фракциях почв различных типов. В глинистой фракции (менее 0,01 мм) накапливается от 50 до 85 % радионуклида от общего содержания в почве. Следует однако иметь в виду, что доля разных фракций в гранулометрическом составе почв неодинакова. Различия в свойствах гранулометрических элементов разной степени дисперсности объясняется особенностями минералогического состава. В глинистых и коллоидных фракциях почв преобладают вторичные минералы – группы монтмориллонита, вермикулита и другие, отличающиеся высокой поглотительной способностью, в том числе и радионуклидов, в отличие от первичных минералов, представленных крупнопесчаными частицами и преобладающими в легких почвах.

Сорбция радионуклидов почвой в значительной мере зависит от её минералогического состава. Так, 98–99 % концентрации цезия-137 в почве сорбируется минералами группы монтмориллонита, слюд и гидрослюд. По способности поглощать и прочно удерживать цезий-137 минералы можно расположить в порядке убывания: асканит, гидрофлогопит, флогопит гумбрин, вермикулит, бентонит, каолинит, вивианит, мусковит.

Вторичные глинистые минералы могут также сорбировать до 99 % внесенного в почву стронция-90. Так, минералы группы монтмориллонита поглощают от 92 до 99,9 % стронция из растворов, минералы каолиновой группы – от 40 до 68, слюды – от 71 до 87, гидрослюды – от 80 до 88 %. Минералы группы кальцита, полевых шпатов и кварца поглощают от 10 до 50 % стронция-90. По данным Павлоцкой Ф.И. и др. (1966), предпочтительнее данный радионуклид сорбируют такие минералы, как асканит, бентонит, вермикулит, флогопит и гумбрин, и в значительно меньшей степени такие, как гидромусковит и гидрогетит.

Различия в полноте сорбции радионуклидов обусловлены, прежде всего, неодинаковой структурой их кристаллической решетки. Минералы монтмориллонитовой группы (асканит, гумбрин), а также слюды и гидрослюды благодаря строению кристаллической решетки отличаются интрамицеллярным (вхождение катионов внутрь кристаллической решетки) поглощением и поэтому не только более полно сорбируют микроколичества радионуклидов, но и более прочно закрепляют их в поглощенном состоянии по сравнению с минералами других групп

(группа каолинита), для которых характерно экстрамицеллярное (поглощение катионов на поверхности слоев кристаллической решетки) поглощение.

Следовательно, более сильное закрепление цезия-137 почвами по сравнению со стронцием-90 обусловлено, прежде всего, прочной сорбцией радиоцезия минеральной частью, особенно высокодисперсными фракциями, содержащими минералы монтмориллонитовой группы и группы гидрослюд.

Свободный от носителя цезий-137 может быть поглощен почвой посредством сорбции элемента на поверхности трехслойных минералов. При этом он не может быть замещен на ионы водорода, натрия, кальция, магния или бария, так как эти ионы не входят в кристаллическую решетку. Микроколичества цезия-137 могут быть до некоторой степени заменены только калием, аммонием и стабильным цезием. Также установлено, что снижение доступности цезия-137 под влиянием флагопита и гидрофлагопита обусловлено не только прочным закреплением его в кристаллической решетке, но и содержанием подвижного калия в этих слюдах.

Следует отметить, что среди загрязненных радионуклидами земель Беларуси большую половину составляют почвы легкого гранулометрического состава, характеризующиеся низкой емкостью поглощения, малым содержанием гумуса и вторичных глинистых минералов, повышенной гидроморфностью и высокими коэффициентами перехода радиоактивных веществ в сельскохозяйственные культуры, что значительно осложняет получение растениеводческой и животноводческой продукции с содержанием радионуклидов в пределах норм радиационной безопасности.

По степени проницаемости радионуклидов по профилю почв различного гранулометрического состава можно построить следующий ряд по мере убывания:

пески < супеси < суглинки.

Определяющий фактор поступления радионуклидов из почвы в растения – свойства почвенного поглощающего комплекса. Прочность сорбции радионуклидов в почве тем выше, чем больше её ёмкость катионного обмена и сумма обменных оснований. Отмечена прочная сорбция цезия-137 и высокая доступность стронция-90 при корневом поступлении. Существенную роль в поглощении радионуклидов ряд ученых отводят таким почвенным показателям, как: температура, pH, соотношение жидкой и твердой фаз почвенного раствора (Вирченко Е.П., Агапкина Г.И., 1993; Ратников А.Н., 1991 и др.).

Что касается луговых биоценозов, имеющих широкое распространение в республике, установлено, что концентрация стронция-90 в луговых растениях с увеличением рН и обменного кальция в аллювиальной почве уменьшается. Возрастание доли илистой фракции в гумусово-аккумулятивном горизонте указанного типа почв снижает концентрацию как цезия-137, так и стронция-90 (Подольяк А.Г., 2007).

По данным многих исследователей, величина рН является ведущим почвенным фактором, определяющим подвижность и доступность радионуклидов, однако немаловажное значение ряд авторов (Павлоцкая Ф.И., 1974; Тюрюканова Э.Б., 1976) придают наличию гидроокислов железа и алюминия в почве. По их данным, если гумусовые и другие низкомолекулярные кислоты ограничивают подвижность радиоактивных элементов, то вследствие образования отрицательно заряженных комплексных соединений железа и алюминия с фульво- или щавелевой кислотами прочность поглощения радионуклидов почвенным поглощающим комплексом, наоборот, ослабляется.

Также на основе многолетних исследований установлено, что почвенная кислотность оказывает как прямое, так и косвенное (изменяет емкость катионного обмена) на поступление радионуклидов в урожай. Показано, что в зависимости от физико-химических свойств почв и видовых различий луговых растений коэффициенты перехода радионуклидов в травостой могут колебаться в широких пределах (от 0,03 до 79,9), а межвидовые различия аккумуляции стронция-90 в зависимости от этих свойств могут достигать 30 и более раз (Санжарова Н.И., 1997).

Поведение радиоактивных изотопов, их миграция на разных этапах биогеохимического круговорота элементов в природе в значительной степени зависит от физико-химического состояния или форм нахождения их в почве.

Поскольку поступление цезия-137 и стронция-90, как и других элементов питания, в растения из почвы определяется их прочностью связи с почвенно-поглощающим комплексом, следовательно, необходимо располагать данными об изменении форм нахождения радионуклидов в почвенных разновидностях с течением времени. Изучение особенностей взаимодействия радионуклидов с почвами и путей их миграции в районах радиоактивного загрязнения представляет не только научный интерес, но и большую практическую значимость для долгосрочного прогноза поведения радионуклидов в почвах, разработки системы защитных мероприятий, ограничивающих их поступление в урожай.

Среди многообразия форм нахождения радионуклидов в природных средах большинство отечественных и зарубежных учёных выделяют следующие:

- 1) водорастворимую;
- 2) обменную;
- 3) необменную;
- 4) прочнофиксированную.

Определение этих форм проводят методом последовательного экстрагирования почвы различными растворителями. В настоящее время существует несколько таких методик (например, метод Tessier), но наибольшее распространение получила методика предложенная Ф.И. Павлоцкой (1974). Сущность её заключается в последовательном извлечении форм нахождения цезия-137 и стронция-90 по следующей схеме (при соотношении почва: раствор для минеральных почв 1:10, а торфяно-болотных – 1:20):

- 1) водорастворимые формы – дистиллированной H_2O ;
- 2) обменные – 1 М раствором CH_3COONH_4 ;
- 3) необменные – 6 М раствором HCl при кипячении при температуре $85\text{ }^\circ C$;
- 4) прочнофиксированные – смесью концентрированных плавиковой и азотной кислот или расчётным методом.

При этом в водную вытяжку, как правило, переходят катионы радионуклидов, десорбирующиеся из почвы по механизму ионного обмена, а также растворимые комплексные соединения цезия и стронция с компонентами почвы, находящиеся в нейтральной или анионной форме, а в ацетатаммонийную вытяжку – сорбированные в почве по механизму ионного обмена.

В кислотную вытяжку переходят радионуклиды, находящиеся в необменном состоянии или те формы, которые не переходят в почвенный раствор в обычных природных условиях. Эта форма также включает в себя радионуклиды, входящие в состав топливных частиц, и нерастворимые радионуклид-органические соединения почв.

Вышеуказанные формы радионуклидов считаются доступными, хотя и в разной степени, для луговых растений.

Прочнофиксированная форма не доступна для растений и включает в себя радионуклиды, закреплённые в межpacketных пространствах кристаллической решётки глинистых минералов.

С увеличением времени контакта радионуклида с почвой происходит перераспределение отдельных форм. Наибольшей трансформации подвергаются формы нахождения радионуклидов в

почвах дальней зоны (^{137}Cs) и 30-километровой зоны (^{90}Sr) (Иванов Ю.А., 1997; Алексахин Р.М., 1993; Подоляк А.Г., 2007; Путятин Ю.В., 2008).

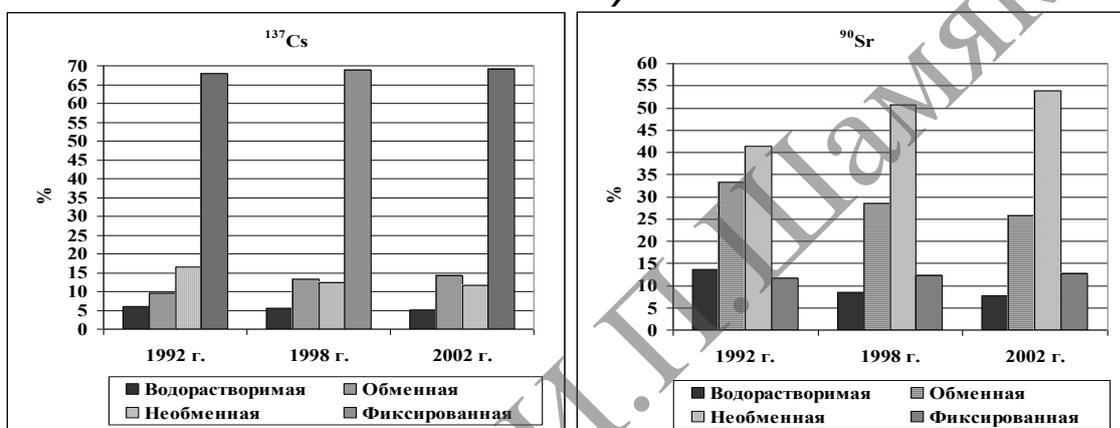
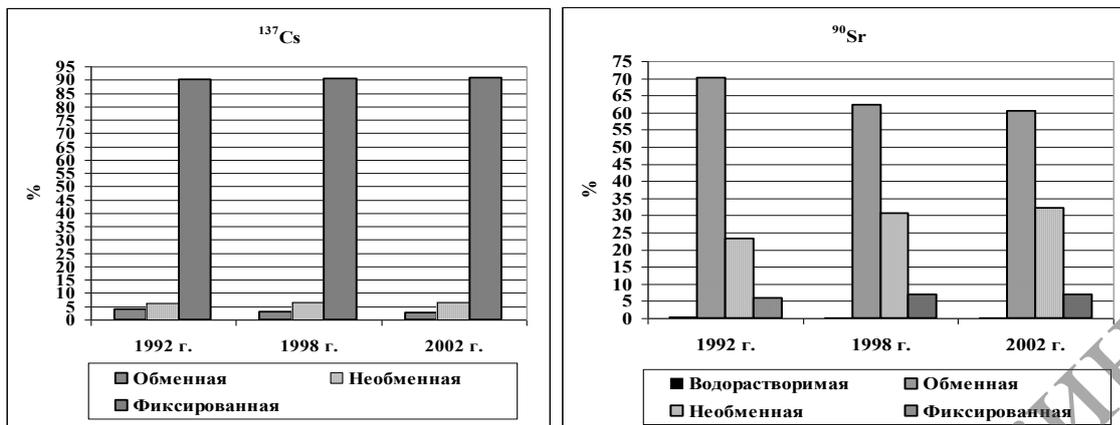
Авторами установлено, что, спустя 19 лет после катастрофы, доминирующей для цезия-137 в луговых почвах является прочнофиксированная форма (70–90 %,) а для стронция-90 – обменная (подвижная) (30–70 %). Выявлена общая тенденция к снижению доли водорастворимых и обменных форм (доступных для растений) и увеличение доли необменных и прочнофиксированных форм радионуклидов (малодоступных для растений) для большинства луговых почв с течением времени, за исключением цезия-137 в торфяно-болотных и стронция-90 в аллювиальных дерново-глееватых почвах (рисунок 5) (Подоляк А.Г., 2007).

Корреляционный анализ результатов многолетних исследований показал, что для всех изучаемых типов лугов имеется средняя для цезия-137 ($r = 0,31–0,44$) и сильная для стронция-90 ($r = 0,57–0,60$) прямая корреляционная зависимость между величиной коэффициентов перехода в естественный травостой и содержанием подвижных форм этих радионуклидов в луговых почвах (таблица 1.3.3).

Динамика форм нахождения цезия-137 в торфяно-болотной почве заболоченного луга и стронция-90 в аллювиальной дерново-глеевой супесчаной почве пойменного луга показывает наличие обратной тенденции, т.е. отмечается увеличение доли этих радионуклидов в водорастворимой и, особенно, обменной формах за счет трансформации необменной формы. Аналогичные данные были получены также другими исследователями.

Высокое содержание водорастворимой и обменной форм цезия-137 в торфяно-болотной почве объясняется низким содержанием в почвах этого типа глинистых минералов, способных фиксировать ионы Cs^+ в межпакетных пространствах, с одной стороны, а с другой – низкой степенью минерализации торфа (зольность <16 %) и высокой степенью разложения (50–60 %) торфяной залежи.

Повышение с течением времени доли водорастворимой и обменной форм стронция-90 в аллювиальной дерново-глеевой почве можно объяснить протеканием процесса выщелачивания этого радионуклида из топливных частиц, поскольку опытный участок расположен на территории ближней к станции зоны глееватой почве пойменного луга.



а) дерново-подзолистая песчаная; б) торфяно-болотная типичная; в) аллювиально-дерновая супесчаная (Подольск А.Г., 2007)
 Рисунок 5. – Динамика форм нахождения цезия-137 и стронция-90 в верхнем 0–10-см слое основных типов луговых почв (1992–2002 гг.)

Таблица 1.3.3. – Коэффициенты корреляции (r) между Кп (Бк/кг:кБк/м²) радионуклидов в естественный травостой и содержанием подвижных форм радионуклидов в луговых почвах (Подольяк А.Г., 2007)

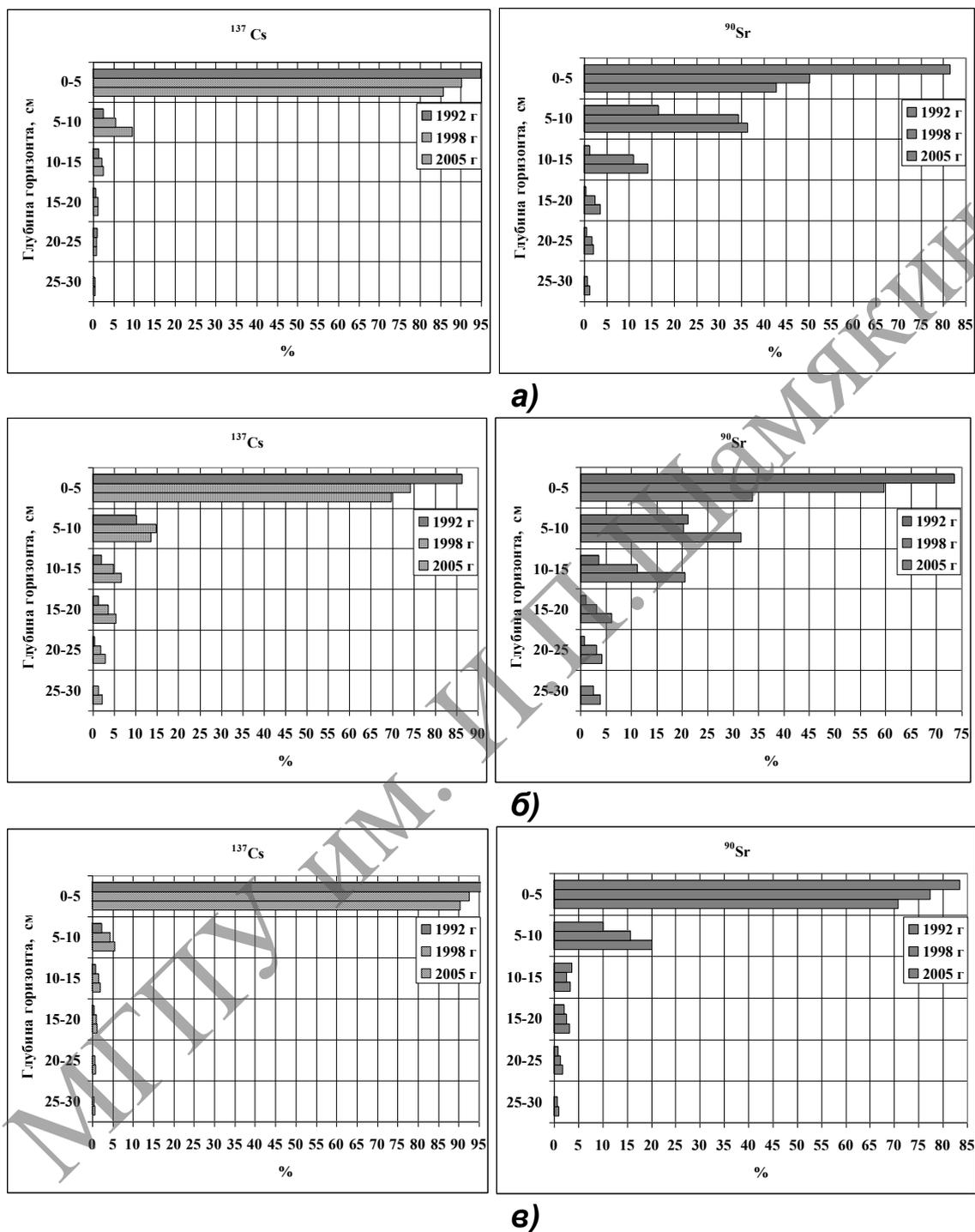
Тип луга	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
	n = 36	
Суходольный	0,35	0,59
Заболоченный	0,44	0,57
Пойменный	0,31	0,60

При изучении поведения радионуклидов в почве особое внимание уделяется изучению их миграции с течением времени. Под миграцией радионуклидов в почве понимают совокупность процессов, приводящих к перемещению или перераспределению их между различными фазами и слоями почвы в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Вертикальная и горизонтальная миграция радионуклидов по профилю почв осуществляется под воздействием следующих процессов: конвективного переноса (фильтрации атмосферных осадков вглубь почвы за счет капиллярных потоков влаги в результате ее испарения); диффузии свободных и адсорбированных ионов; переноса радионуклидов по корневой системе растений; переноса на мигрирующих коллоидных частицах (процесс лессиважа); переноса в результате деятельности почвенных животных и человека (Алексахин Р.М. и др., 1992).

Результаты наблюдений в течение длительного времени свидетельствуют о том, что скорость вертикальной миграции и перераспределение радионуклидов по слоям почвенного профиля основных типов лугов Белорусского Полесья зависит от типа почвы и степени увлажнения. Так, через 19 лет после загрязнения основная доля цезия-137 (95,8 % для аллювиальной дерново-глеевой почвы пойменного луга; 95,1 % для дерново-подзолистой глеевой почвы суходольного луга; 83,8 % для торфяно-болотной глеевой почвы заболоченного луга) продолжали оставаться в верхнем десятисантиметровом слое. На глубину ниже 20 см мигрировало не более 1–5 % цезия и 2–8 % стронция. Для стронция-90 отмечалась более интенсивная миграция по профилю изучаемых типов почв, чем для цезия-137. Это можно объяснить более высоким содержанием обменных (подвижных) форм стронция-90 по сравнению с цезием-137 в изучаемых луговых почвах, и они подтверждают положение о низких темпах вертикальной миграции радионуклидов по профилю луговых

почв в целом и хорошо согласуются с результатами других авторов, полученных ранее (рисунок 6) (Подольяк А.Г., 2007).



а) дерново-подзолистая песчаная; б) торфяно-болотная типичная; в) аллювиально-дерновая супесчаная (Подольяк А.Г., 2007)
 Рисунок 6. – Параметры вертикальной миграции цезия-137 и стронция-90 по профилю основных типов луговых почв (1992–2005 гг.)

Изучение распределения радионуклидов по профилю почв естественных лугов показало, что подвижность радионуклидов в зависимости от степени и режима увлажнения изменяется вполне закономерно: возрастает с увеличением степени гидроморфности луговых почв:

автоморфные < полугидроморфные < гидроморфные.

Также было подтверждено, что минералогический состав играет важную роль в передвижении радионуклидов по почвенному профилю почв. Так, для аллювиальной дерново-глеевой почвы установлена самая низкая миграция радионуклидов, которую можно объяснить минералогическим составом гумусово-аккумулятивного горизонта. Горизонт на 95 % представлял вермикулит и на 5 % каолинит (минералами, способными поглощать до 99,8 % цезия-137 и до 80 % стронция-90), в то время как нижележащий иллювиальный горизонт состоял на 97–100 % из минералов группы монтмориллонита. Эти данные также хорошо согласуются с результатами исследований, полученными в дочернобыльский период (Подоляк А.Г., 2007).

Уменьшение содержания радионуклидов в корнеобитаемом слое почв определяется двумя процессами – выносом их за пределы этого слоя и их распадом. Поэтому одним из главных интегральных параметров, используемых в радиозологии для прогноза радиологической обстановки, является эффективный период полуочищения корнеобитаемого слоя (T_{eff}) – время, в течение которого первоначальная концентрация радионуклидов в корнеобитаемом слое почв уменьшается в 2 раза с учетом их радиоактивного распада ($T_{1/2}^{137}\text{Cs} = 30,17$ лет; $T_{1/2}^{90}\text{Sr} = 28,1$ лет). В большинстве случаев этот показатель колеблется в широких пределах – от 5 до 28 лет (Алексахин Р.М., 1993; Иванов Ю.А., 1997; Моисеев И.Т. и др., 1994).

Период полуочищения корнеобитаемого слоя от цезия-137 для суходольных лугов, представленных дерново-подзолистым типом почв, находится в пределах от 11 до 29 лет, имеет четкую зависимость от механического состава почвы и возрастает в ряду:

песчаные > супесчаные > суглинистые.

Для лугов, представленных торфяно-болотными почвами различной степени мощности и генезиса, этот показатель варьирует от 13 до 18 лет. Для стронция-90 этот процесс протекает в среднем в 2,0–2,5 раза интенсивнее, чем для цезия-137, и данный показатель находится в пределах от 5 до 15 лет.

Для достоверной количественной оценки параметров вертикальной миграции радионуклидов в отдаленный период после аварии и расчета эффективного периода полураспада (T_{эфф}) 0–10 см слоя изучаемых луговых почв была использована усовершенствованная двухкомпонентная конвективно-диффузионная модель, в основу которой положено уравнение:

$$\frac{\partial q(x, t)}{\partial t} = [D_1(x, t) + D_2(x, t)] \frac{\partial^2 q(x, t)}{\partial x^2} - [\omega_1(x, t) + \omega_2(x, t)] \frac{\partial q(x, t)}{\partial x} - \lambda q(x, t),$$

где D₁(x,t) – эффективный коэффициент диффузии «медленной» компоненты, см²/год;

D₂(x,t) – эффективный коэффициент диффузии «быстрой» компоненты, см²/год;

ω₁(x,t) – скорость конвективного переноса «медленной» компоненты, см/год;

ω₂(x,t) – скорость конвективного переноса «быстрой» компоненты, см/год;

λ – постоянная распада, лет.

Результаты расчетов позволили сделать вывод о том, что вклад процесса вертикальной миграции в удаление цезия-137 за пределы 0–10 см слоя луговых почв (самоочищения) является незначительным (за исключением торфяно-болотных почв заболоченных лугов, для которых T_{эфф} = 17,5 лет по сравнению с ролью радиоактивного распада). Для стронция-90 роль этого процесса значительно выше, особенно для почв суходольных (T_{эфф} = 12,1 лет) и заболоченных лугов (T_{эфф} = 14,8 лет) (таблица 1.3.4).

Таблица 1.3.4. – Параметры вертикальной миграции цезия-137 и стронция-90 по профилю почв суходольного, заболоченного и пойменного лугов (1992–2005 гг.) (Подоляк А.Г., 2007; Мажайский Ю.А., 2010)

Тип почвы	Радионуклид	Параметры				
		D ₁ , см ² /год	D ₂ , см ² /год	ω ₁ , см/год	ω ₂ , см/год	T _{эфф} , лет
1	2	3	4	5	6	7
Суходольный луг						
Дерново-подзолистая песчаная глееватая	¹³⁷ Cs	0,015	0,27	0,14	0,25	22,6
	⁹⁰ Sr	0,057	0,72	0,25	0,61	12,1

Продолжение таблицы 1.3.4

1	2	3	4	5	6	7
Заболоченный луг						
Торфяно-болотная низинная глеевая	¹³⁷ Cs	0,097	0,40	0,31	0,49	17,5
	⁹⁰ Sr	0,021	1,28	0,37	0,94	14,8
Пойменный луг						
Аллювиально-дерновая глееватая	¹³⁷ Cs	0,012	0,22	0,11	0,22	26,3
	⁹⁰ Sr	0,031	0,55	0,17	0,56	18,0

Максимальные коэффициенты квазидиффузии и конвективного переноса цезия-137 получены для торфяно-болотных почв заболоченных лугов: 0,097 и 0,31 см²/год для «медленной» компоненты; 0,40 и 0,49 см²/год – для «быстрой» соответственно. Средние параметры вертикальной миграции изотопа для пойменных и суходольных лугов в 2–4 раза ниже: D₁ – 0,012–0,015 см²/год; ω₁ – 0,11–0,14 см²/год для «медленной» компоненты и D₂ – 0,22–0,275 см²/год; ω₂ – 0,22–0,25 см²/год – для «быстрой» компоненты.

Параметры миграции стронция-90 по сравнению с цезием-137 за годы исследований были выше для всех типов луговых почв и варьировали в широких пределах: для суходольного луга от 0,057 до 0,72 см²/год; для заболоченного – от 0,021 до 1,28 см²/год; для пойменного – от 0,031 до 0,56 см²/год.

Радионуклиды, выпавшие на поверхность почвы, под воздействием природных процессов мигрируют как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Скорость миграции радионуклидов определяется комплексом факторов, среди которых можно выделить физико-химические свойства радиоактивных выпадений, погодно-климатические условия, физико-географические особенности данного региона, свойства почв и характер подстилающей поверхности.

В работах исследователей показана возможность значительного вторичного перераспределения радионуклидов чернобыльского происхождения под воздействием водной и ветровой эрозий (Агеец В.Ю., 2001; Подоляк А.Г., 2007). Однако данных о параметрах и интенсивности вторичного загрязнения сельскохозяйственных угодий в литературе оставалось крайне мало, поэтому требовалось уделить внимание изучению данных процессов на загрязненной территории.

Было известно, что основное количество радионуклидов перемещается с мелкой фракцией почв в приземном слое воздуха посредством ветровой эрозии. Однако проведение количественных замеров перемещаемых почвенных частиц с помощью традиционных пылеуловителей и анализов активности проб воздуха крайне затруднительно. Поэтому для установления масштабности вторичного загрязнения почв сельскохозяйственных угодий по изменению содержания радионуклидов в почвах и растениях с более высокой точностью требовалась постановка полевого эксперимента.

По данным II тура почвенно-геоботанических исследований на территории Белорусского Полесья, дефлированные и дефляционноопасные почвы занимают 1331,2 тыс. га, или 23,8 % от общей площади пахотных угодий. В районах, наиболее сильно подверженных радиоактивному загрязнению, удельный вес эродированных и эрозионно-опасных почв в составе пашни колеблется в широких пределах (от 2,3 до 99,45 %). В зонах с плотностью загрязнения >1480 кБк/м² почвы с сильной степенью эрозионной опасности занимают свыше 50 %. По данным Богдевича И.М. и др. (1996), среднегодовые потери почвы в результате ветровой эрозии изменяются от 3,0 т/га на маломощных торфяниках до 10,0 т/га и более на минеральных легких по гранулометрическому составу почвах.

Процессы дефляции возникают при критических скоростях ветра 5–6 м/сек на минеральных почвах и 8–9 м/сек на осушенных торфяниках. В среднем за год на загрязненных радионуклидами территориях Беларуси ветры со скоростью более 5 м/сек достигают 21% от общего их числа. Перенос мелкозема наиболее активно происходит в весенне-летний период, когда почва не покрыта растительностью. Анализ многолетнего ряда среднего числа дней с пыльными бурями показывает, что в Полесье пыльные бури возникают в теплое время года: весной до 60 % всех пыльных бурь, летом – 17 %, осенью – 20 %.

Процессы дефляции характерны также и для территории Украины. В постчернобыльский период уделялось внимание изучению переноса почвы и радионуклидов на основных наиболее типичных элементах ландшафта Украинского Полесья. На склоне сухой долины, выпуклой в верхней части, прямой в нижней, восточной экспозиции; днище долины; склоне западной экспозиции, прямой в верхней части, вогнутый – в нижней. Максимальное накопление радионуклидов наблюдалось в местах, где резко изменяется скорость ветра: на днище долины и подветренном

склоне западной экспозиции. На подветренном склоне плотность загрязнения почвенных планшетов радиоцезием была почти в два раза больше, чем на наветренном склоне. Установлено, что основной процесс миграции радионуклидов на залежных участках проходит в приземном слое на небольшие расстояния. Значительно интенсивнее дефляционные процессы идут на открытых агрофонах, особенно при проведении обработок (Иванов Ю.А., 1997).

В условиях Беларуси для количественной оценки вторичного загрязнения сена многолетних трав за счет ветровой эрозии почв проведены полевые опыты в экспериментальной базе «Стреличево» Хойникского района. Было показано, что при изучении процессов локального вторичного загрязнения почв сельскохозяйственных угодий вследствие водной эрозии содержание цезия-137 в пахотном горизонте различных элементов рельефа склоновых земель на посевах однолетних культур за девятилетний после аварии период перераспределилось до 1,5–3 раз. Увеличение плотности загрязнения цезия-137 в зоне аккумуляции (нижние части склонов и понижения) по сравнению с зоной смыва составило в среднем от 13 % при ежегодном смыве менее 5 т/га почвы до 75 % – при смыве 12–20 т/га почвы (таблица 1.3.5).

Таблица 1.3.5. – Вторичное загрязнение сена многолетних злаковых трав за счет пылепереноса, % от общего загрязнения (Агеец В.А., 2001)

Годы	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr	
	Пашня	Залежь	Пашня	Залежь
1989	9,1	9,0	13,1	17,3
1990	8,7	10,3	8,9	10,4
1991	7,0	9,8	6,8	10,4
Среднее	8,3	9,7	9,6	12,7

Для оценки интенсивности горизонтальной миграции радионуклидов с дождевыми осадками и талым стоком НПО «Тайфун» проведены натурные эксперименты в 30-километровой зоне ЧАЭС в пойме р. Припять. Исследования проводились с использованием методик определения коэффициентов смыва радионуклидов на стоковых площадках при искусственном дождевании. Анализ полученных данных показал, что в условиях недостаточного увлажнения почвенного горизонта формируется незначительный поверхностный сток – коэффициенты стока составляли 0,04 для дерново-луговой почвы и 0,006 для песчаных

почв. Во время осенних экспериментов наблюдались значительно большие значения коэффициентов поверхностного стока (0,16–0,28).

Основной величиной, характеризующей смыв радионуклидов поверхностным стоком, является коэффициент смыва, представляющий собой долю суммарного количества радионуклидов, мигрирующих с поверхностным стоком. При этом радионуклиды могут поступать на водосборную территорию как в растворимом виде, так и во взвешях.

Результаты эксперимента показали, что смыв радионуклидов происходил в основном с твердыми взвешями. При этом количество радионуклидов, смываемых в растворенном виде с дерново-луговой и песчаной почв, соответственно в 4,6–7,3 и 31,7–55,0 раза меньше, чем со взвешями. Для песчаной почвы характерны повышенные значения коэффициентов смыва радионуклидов со взвешями, что, по-видимому, связано с относительно высокой скоростью поверхностных эрозионных процессов и значительным смывом песка с участка. Таким образом, суммарные коэффициенты смыва радионуклидов с задернованных склоновых участков составляют $n \times 10^{-4}$. В то же время на песчаных склонах, лишенных растительности, указанные коэффициенты могут на два порядка превышать соответствующие величины для задернованных участков ($n \times 10^{-2}$) (Иванов Ю.А., 1997).

Сравнение данных по дождевому и талому стокам показало, что смыв талым стоком происходит в значительно меньшей степени. В частности, нормированные коэффициенты смыва стронция-90 в растворенном состоянии более чем на порядок меньше этих значений для дождевого стока. Это, по-видимому, связано с тем, что талый сток формируется при температуре примерно на 20 °С ниже, чем дождевой.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что доля вторичного загрязнения многолетних трав за счет пылепереноса не может оказать существенное влияние на качество кормов, поскольку составляет не более 8–13 % в год от корневого поступления радионуклидов цезия и стронция. В результате водной эрозии содержание радионуклидов в пахотном горизонте почв на различных элементах рельефа может изменяться до 1,5–3 раз. Особенно ощутимо это сказывается на посевах пропашных культур в средней и особенно нижней части склонов (Агеец В.Ю., 2001; Иванов Ю.А., 1997).

Таким образом, масштабы и интенсивность горизонтальной миграции радионуклидов могут изменяться в зависимости от многих факторов (почвенных условий, особенностей рельефа и

ландшафта, системы обработки почвы и структуры посевов и др.) и в ряде случаев способны приводить к вторичному загрязнению почв и растений. Представляется очевидным, что эти факторы необходимо учитывать при производстве сельскохозяйственной продукции.

1.3.2. Динамика загрязнения сельскохозяйственных земель цезием-137 и стронцием-90

Широкомасштабное радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель, определившее поступление радионуклидов в организм человека с продуктами питания и последующее его облучение, в настоящее время является одним из наиболее тяжелых радиоэкологических последствий чернобыльской катастрофы (Израэль Ю.А. и др., 1988).

Цезий-137 и стронций-90 – основные радионуклиды, формирующие радиационный фон и радиоактивное загрязнение почв. Данные радионуклиды, являясь долгоживущими изотопами, в течение десятков лет будут определять радиоактивное загрязнение сельскохозяйственной продукции, продуктов питания и уровни дозовых нагрузок на население.

В результате катастрофы на ЧАЭС на территории бывшего Советского Союза радиоактивному загрязнению подверглось свыше 4,0 млн га сельскохозяйственных земель. В Беларуси первоначально в зоне загрязнения цезием-137 плотностью выше 37 кБк/м² (выше 1 Ки/км²) оказалось 1 866,0 тыс. га сельскохозяйственных земель (около 20 % их общей площади) в 59 административных районах, в том числе 1 725,0 тыс. га с плотностью загрязнения до 555 кБк/м² (до 15 Ки/км²) и 141,0 тыс. га – от 555 до 1 480 кБк/м² (от 15 до 40 Ки/км²). Из сельскохозяйственного оборота было выведено 265,4 тыс. га земель, в том числе – 84,1 тыс. га пахотных.

На рисунке 7 показана динамика с 1992 по 2011 г. сельскохозяйственных земель, загрязненных цезием-137 с плотностью выше 37 кБк/м². За указанный период времени данная категория земель сократилась с 1 480,0 до 1 024,1 тыс. га, или на 455,9 тыс. га (на 30,8 %). Сокращение земель происходит в основном благодаря процессам естественного распада радиоизотопа в почве.

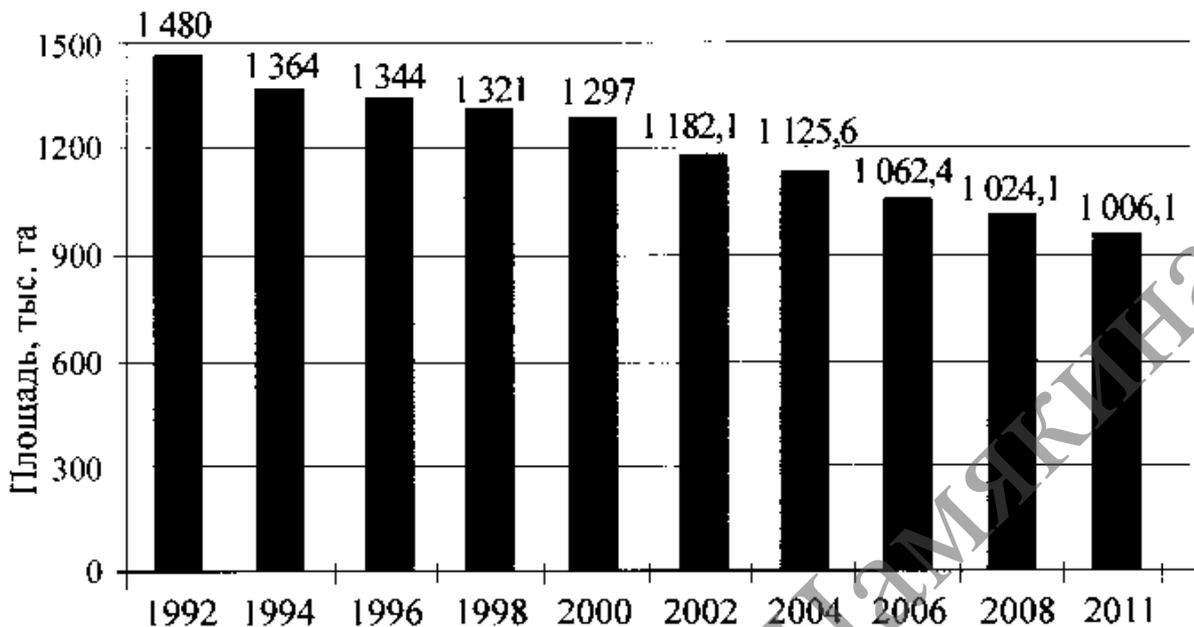


Рисунок 7. – Динамика загрязнения сельскохозяйственных земель Республики Беларусь цезием-137 с плотностью 37 кБк/м² и выше

Ежегодно площадь сельскохозяйственных земель с плотностью загрязнения 37 кБк/м² и выше уменьшается в среднем на 10–35 тыс. га, или на 1,5–2 %. Только в период 2000–2001 гг. в результате проводимой оптимизации землепользования на основе результатов кадастровой оценки земель (изъятие из сельскохозяйственного пользования низкоплодородных почв) площадь их снизилась на 90 тыс. га.

По состоянию на 01.01.2011 г. в республике в сельскохозяйственном пользовании находилось 1 006,3 тыс. га земель, загрязненных цезием-137 с плотностью 37 кБк/м² и выше, что составляет 11 % от общей площади землепользования. По степени загрязнения преобладают земли с плотностью 37–185 кБк/м² (1,0–4,9 Ки/км²), которые занимают 782,9 тыс. га (77,8 % от общей площади). Площади сельскохозяйственных земель с плотностью загрязнения от 185 (5,0) до 555 кБк/м² (15 Ки/км²) составляют 155,2 тыс. га, или 15,4 % от общего их количества.

В республике продолжается сельскохозяйственное производство на 26,5 тыс. га земель с высокой плотностью загрязнения цезием-137 от 555 до 1 480 кБк/м² (15–40 Ки/км²).

В результате чернобыльской катастрофы радиоактивному загрязнению подверглись территории всех шести областей республики. Однако площади загрязненных земель и их удельный

вес по областям значительно различаются. Основные массивы загрязненных цезием-137 земель расположены в Гомельской и Могилевской областях – 85,3 % от общей их площади. Так, в Гомельской области в сельскохозяйственном пользовании находится 580,7 тыс. га, Могилевской – 277,8, Брестской – 66,2, Минской – 53,8, Гродненской – 27,3 тыс. га (таблица 1.3.6).

Таблица 1.3.6. – Распределение загрязненных радиоцезием сельскохозяйственных земель по областям (по состоянию на 01.01.2011 г.)

Область	Площадь сельскохозяйственных земель, тыс. га						
	всего	в том числе с плотностью загрязнения, кБк/м ² (Ки/км ²)					
		37-185 (1,0-4,9)	185-370 (5,0-9,9)	370-555 (10,0-14,9)	555-1110 (15,0-29,9)	1110-1480 (30,0-39,9)	1480 (40,0) и более
Брестская	66,2	63,6	2,4	0,2	0,0	0,0	0,0
Витебская	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Гомельская	580,7	428,0	102,5	29,2	20,1	0,7	0,1
Гродненская	27,3	27,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Минская	53,8	53,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Могилевская	277,8	211,0	49,1	11,2	6,4	0,0	0,0
По Беларуси	1006,1	782,9	155,2	40,7	26,5	0,7	0,1

Удельный вес загрязненных земель в составе сельскохозяйственных землепользований областей также существенно различается и распределяется следующим образом: Гомельская область – 42,1 %, Могилевская – 19,8, Брестская – 4,5, Минская – 2,9, Гродненская – 2,3, Витебская область – 0,02 %.

В составе загрязненных земель по областям преобладают земли с плотностью 37–185 кБк/м² (1,0–4,9 Ки/км²). В Гомельской области их удельный вес составляет 73,7 %, Могилевской – 75,9, Брестской – 96,1, Минской – 98,5, Гродненской – 98,9 и в Витебской области – 100 %.

Загрязнение земель стронцием-90 носит более локальный характер по сравнению с цезием-137. На рисунке 8 приведена динамика сельскохозяйственных земель республики, загрязненных стронцием-90 плотностью 5,55 кБк/м² (0,15 Ки/км²) и выше. Благодаря процессам естественного распада радиоизотопа в почве за период с 1996 по 2011 гг. общая площадь таких земель сократилась с 555,1 до 348,2 тыс. га, или на 206,9 тыс. га (на 37,3 %). Ежегодно площадь сельскохозяйственных земель с плотностью загрязнения 5,55 кБк/м² и выше сокращается в среднем на 15–16 тыс. га.

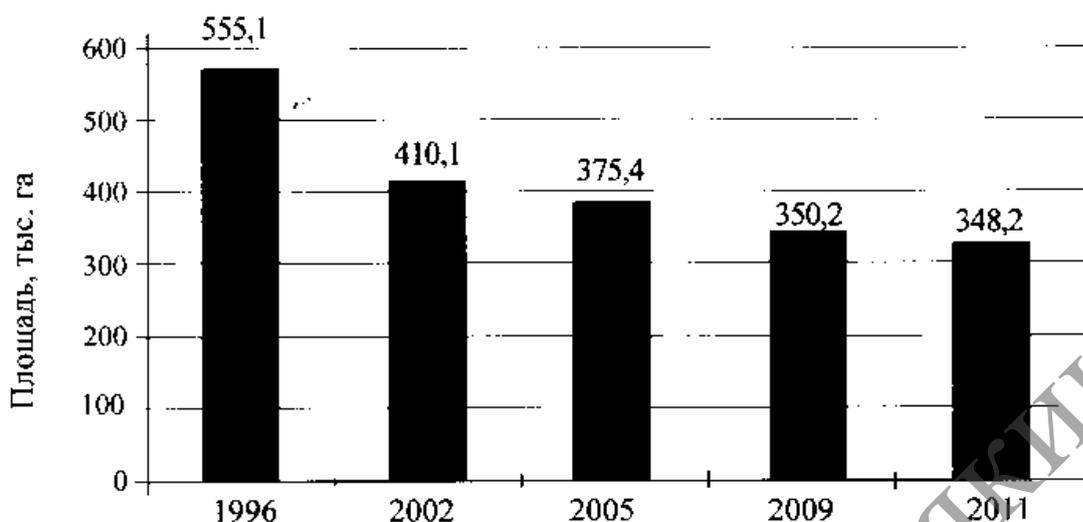


Рисунок 8. – Динамика загрязнения сельскохозяйственных земель Республики Беларусь стронцием-90 с плотностью 5,55 кБк/м² (0,15 Ки/км²) и выше

В республике по состоянию на 1 января 2011 года в сельскохозяйственном пользовании находилось 348,2 тыс. га земель, загрязненных радиостронцием с плотностью 5,55 кБк/м² и выше, что составляло около 4 % от общей площади землепользования (таблица 1.3.7). Среди них по уровню загрязнения преобладают земли с плотностью 5,55–11,10 кБк/м² (0,15–0,30 Ки/км²), которые занимают 198,9 тыс. га (57,1 % от общей площади).

Таблица 1.3.7. – Распределение загрязненных стронцием-90 сельскохозяйственных земель по областям (по состоянию на 01.01.2011 г.)

Область	Площадь сельскохозяйственных земель, тыс. га						
	всего	в том числе с плотностью загрязнения, кБк/м ² (Ки/км ²)					
		5,55-11,1 (0,15-0,30)	11,47-18,5 (0,31-0,5)	18,87-37,0 (0,51-1,00)	37,37-74,0 (1,01-2,00)	77,7-107,3 (2,1-2,9)	111,0 и более (3,0 и более)
Брестская	1,1	1,1	0	0	0	0	0
Гомельская	332,3	183,1	73,0	51,9	22,0	2,1	0,19
Могилевская	14,8	14,7	0,1	0	0	0	0
По Беларуси	348,2	198,9	73,1	51,9	22,0	2,1	0,19

В Гомельской области имеются значительные массивы земель (149,3 тыс. га), загрязненных стронцием-90 с плотностью от 11,47 до 111,00 кБк/м² (0,31–3,00 Ки/км²), где наблюдаются превышения

допустимых уровней загрязнения сельскохозяйственной продукции, в первую очередь, зерна на продовольственные цели.

Из общей площади земель с плотностью загрязнения 11,47 кБк/м² и выше (0,31 Ки/км² и выше) 73,1 тыс. га (48 %) занимают земли с уровнем 11,47 – 18,50 кБк/м² (0,31– 0,50 Ки/км²), 51,9 тыс. га (34,7 %) – земли с уровнем 18,87–37,00 кБк/м² (0,51 – 1,00 Ки/км²) и 22,0 тыс. га (15,4 %) – земли с уровнем 37,37–74,00 кБк/м² (1,01–2,00 Ки/км²).

В Беларуси радиоактивное загрязнение стронцием-90 произошло на территории четырех областей республики. Однако площади загрязненных земель между областями значительно различаются. Основные массивы данных земель сконцентрированы в Гомельской области – 332,3 тыс. га (95,4 % от общей их площади). В сельскохозяйственном пользовании Могилевской области находится 14,8 тыс. га (4,3 %) и Брестской – 1,1 (0,3 %).

В зависимости от удельного веса загрязненных земель все административные районы республики были сгруппированы в 4 группы. В первую группу включены районы, в которых доля таких земель не превышает 10 %, вторую группу – районы с долей 11–25 %, третью группу – с долей 26–50 % и четвертую – районы с долей загрязненных земель > 50 %.

Как показывают данные, представленные в таблице 1.3.8 из 58 пострадавших районов в 24 удельный вес загрязненных цезием-137 сельскохозяйственных земель не превышает 10 %, в 11 районах такие земли занимают 11–25 %, в 10 районах – 26–50 и в 13 районах – более 50 %.

В 23 административных районах, относящихся к третьей и четвертой группам по степени загрязнения, сосредоточено 80 % (809,0 тыс. га) всех загрязненных радиоцезием сельскохозяйственных земель, тогда как в остальных 35 районах, относящихся к первой и второй группам, – 20 % (197,2 тыс. га).

Из 27 районов, подвергшихся воздействию стронция-90, в 12 удельный вес загрязненных земель не превышает 10 %, в трех районах такие земли занимают 11–25 %, в семи районах – 26–50 % и в пяти районах – более 50 %. Следует отметить, что в 12 наиболее загрязненных административных районах сосредоточено 93 % (323,8 тыс. га) всех загрязненных этим нуклидом сельскохозяйственных земель, тогда как в остальных 15 районах – 7 % (24,4 тыс. га).

Таблица 1.3.8. – Группировка административных районов республики по степени загрязнения радионуклидами сельскохозяйственных земель

Группа	Степень загрязнения	Градации по удельному весу загрязненных земель, %	Радионуклид	Площадь земель, тыс. га	Удельный вес земель, %	Всего районов
I	Слабая	До 10	^{137}Cs	45,7	4,5	24
			^{90}Sr	9,4	2,7	12
II	Средняя	11–25	^{137}Cs	151,5	15,1	11
			^{90}Sr	15,0	4,3	3
III	Сильная	26–50	^{137}Cs	242,8	24,1	10
			^{90}Sr	132,8	38,2	7
IV	Очень сильная	Более 50	^{137}Cs	566,2	56,3	13
			^{90}Sr	191,0	54,8	5

ГЛАВА 2. ПОВЕДЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРОФИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОЧВА – РАСТЕНИЯ – ЖИВОТНЫЕ

2.1. Поведение радионуклидов в разных типах почв, агрохимические и агротехнические приёмы снижения содержания радионуклидов в растениях

Уменьшение содержания радиоактивных веществ в пищевых продуктах и сырье для промышленных предприятий, производимых агропромышленным комплексом, является одной из важнейших проблем ликвидации последствий радиационных катастроф, в том числе и Чернобыльской. Этот процесс происходит, во-первых, за счёт физического распада радионуклидов, во-вторых, в связи с переходом их в естественных условиях в недоступные формы для растений (старение), в-третьих, за счёт активных действий человека, в результате которых уменьшается вовлечение

радионуклидов в биологические и пищевые цепи, ведущие к заключительному звену цепей – человеку.

Уменьшение содержания радиоактивных продуктов чернобыльского выброса за счёт физического распада наиболее активно наблюдалось в первое полугодие после катастрофы, за счёт короткоживущих радионуклидов, например, йода-131 (период полураспада восемь суток) и др. В течение первых послеаварийных лет мощность гамма-излучения на поверхности почвы снижалась. Большинство продуктов деления прочно сорбировались почвенным поглощающим комплексом и включались в биологический круговорот в очень незначительных количествах (Гулякин И.В., Юдинцева Е.В., 1973). Исключение представляли радиоизотопы стронция, отличающиеся сравнительно высокой подвижностью в системе почва – растения и последующих звеньях миграции. Процессы «старения» больше всего относятся к долгоживущим радионуклидам: стронцию-90 и цезию-137. В почву они поступают в растворимой, лёгкодоступной форме для растений, затем включаются во взаимодействие с почвенно-поглощающим комплексом.

В почве радионуклиды вступают в обмен со стабильными и неизотопными носителями, в результате кристаллохимических реакций входят в структуру глинистых минералов. При этом подвижность радионуклидов снижается. В уменьшении биохимической доступности стронция-90 и цезия-137 растениям решающее значение имеет характер почвы, в первую очередь механический и минералогический состав, pH, количество органического вещества, концентрация обменного кальция (Корнеев Н.А., Сироткин А.Н., Корнеева Н.В., 1977).

Наибольшие возможности ограничения передвижения радиоактивных веществ по трофическим цепям заложены в звене почва – растения. Агрономическая служба располагает наиболее простыми, безвредными для человека и животных и самыми эффективными способами уменьшения вовлечения радионуклидов в пищевые цепи – это в первую очередь обработка почвы. На величину поступления радионуклидов из почв в растения оказывает существенное влияние перераспределение их по профилю почвы во время механической обработки. Разные виды обработки по-разному влияют на поступление радионуклидов в растения. Например, глубокая заделка радионуклидов плантажным плугом по сравнению с обычной вспашкой не имеет преимуществ, а затраты средств увеличиваются в пять-шесть раз. Такая обработка почвы оправдана на ограниченных площадях при подготовке их под овощные

культуры, которые без дополнительной обработки могут пойти в пищу человека (Василевский В.Л. и др., 1990).

В загрязнённых районах Белорусского Полесья преобладают почвы с маломощным (до 20 см) гумусовым слоем, средние и лёгкие по механическому составу, с недостаточной инфильтрацией подстилающих слоёв, переуплотнёнными пахотным и подпахотным горизонтами, что вызывает определённые сложности при их обработке.

После катастрофы наиболее загрязнённой оказалась растительность сенокосов и пастбищ. Основными методами обработки были поверхностная и отвальная вспашка. Поверхностная обработка заключалась в двух-четырёх проходах тяжёлых дисковых борон или одного прохода фрезы и как дополнение – последующее глубокое (до 50 см) рыхление или щелевание. Эти приёмы рекомендовались для перезалужения загрязнённых сенокосов и пастбищ, а также почв с гумусовым горизонтом до 15 см.

Дополнительные мероприятия по разуплотнению земель (глубокое щелевание, рыхление и кротование на глубину 50–60 см) на загрязнённых землях обеспечивали улучшение инфильтрации почвы и подстилающих слоёв, уменьшение смыва, перемешивания загрязнённого слоя почвы, в том числе с сорбционно активным подстилающим грунтом, без выноса на поверхность. Благодаря этому активизировалось осаждение влагой и закрепление радионуклидов в нижних слоях.

Кроме этого, сотрудниками Белорусского НИИ сельскохозяйственной радиологии на суходольном лугу р. Припять была установлена эффективность таких приёмов, как дискование с внесением полного минерального удобрения и извести и перепашка с предварительным внесением по дернине калийных удобрений в дозе 250 кг/га по сравнению с обычной перепашкой. Кратность снижения поступления радиоцезия в травы при этих вариантах по сравнению с контрольным во втором укосе достигала соответственно 6; 4; 1,5 раза. При анализе растений на содержание стронция-90 также выявлено преимущество варианта с дискованием.

Коренное улучшение пастбищ с внесением извести и минеральных удобрений приводило к уменьшению накопления цезия-137 в травах в 3,5–4 раза. При выпасе коров на угодьях без обработки концентрация цезия-137 в молоке оказывалась в четыре раза выше, чем на перезалуженных пастбищах.

В условиях радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий агрономическое значение удобрений не изменяется, но они несут новое качество. Выявлено, что удобрения могут как задерживать поступление радионуклидов из почвы в растения, так и стимулировать поглощение отдельных из них корнями растений. Изменение интенсивности накопления радионуклидов в урожае растений зависит от комплекса условий, которые складываются в природной обстановке. Например, между поступлением стронция-90 в растения и концентрацией обменного кальция в почве отмечается обратная связь (Архипов Н.П., Егорова А.В., Клечковский В.М., 1969). Однако в почвах с высоким содержанием обменного кальция (свыше 25 мг-экв/100 г) и большей ёмкостью поглощения (свыше 35 мг-экв/100 г) накопление стронция-90 в растениях мало зависит от концентрации обменного кальция. В опытах, проведённых задолго до катастрофы (Milbourn G.L.I., 1959, 1960) было установлено, что внесение извести из расчёта полной гидролитической кислотности на дерново-подзолистой почве снижает поступление стронция-90 в травы в полтора-два раза. Увеличение дозы извести свыше полной гидролитической кислотности не приводит к снижению поглощения нуклида растениями.

В послечернобыльский период было отмечено, что из наиболее эффективных приёмов, снижающих переход радионуклидов в растения, является внесение фосфорных и калийных удобрений, известкование почв до полной потребности, залужение и перезалужение кормовых угодий. Внесение 5–6 т/га углекислого кальция снижало поступление радиоцезия в многолетние злаковые травы на 36–42 %, стронция – на 60 %. Повышение содержания в слабообеспеченной калием почвой обменного калия на 10 мг/100 г почвы сопровождалось уменьшением поступления радионуклидов в полтора-два раза (Смеян Н.И., Марцуль И.Н., 1990).

На плодородных суглинистых почвах применение практически всех удобрений, ведущих к повышению урожая, способствует уменьшению поступления цезия-137 и стронция-90 в растения, тогда как на почвах, лёгких по механическому составу, гидроморфных, слабо минерализованных, в некоторых случаях наблюдалось увеличение их поступления. Повышение накопления радионуклидов отмечено при внесении повышенных доз азотных удобрений, а внесение калийных и фосфорных в сочетании с известкованием благоприятно отражается на состоянии почвы и растений. Кратность снижения поступления радионуклидов

в растения из разных типов почв – от 2 до 20 раз (Тимофеев С.Ф., Новик А.А., Полекшанова Г.И., 1990).

На кислых почвах радионуклиды поступают в растения в больших количествах, чем из почв слабокислых, нейтральных или слабощелочных. На основании исследований в республике определены оптимальные параметры кислотности почв в зависимости от гранулометрического состава. При известковании кислых почв учитывают плотность загрязнения радионуклидами. При плотности загрязнения цезием-137 37–185 кБк/м² известкование проводится в соответствии с Инструкцией по известкованию кислых почв в колхозах и совхозах. При уровне загрязнения почв радионуклидами 185–555 кБк/м² и выше известкование проводится дозами известковых удобрений, обеспечивающими доведение реакции почвенной среды до оптимального значения. В связи с тем, что доза извести в сильнокислом интервале может быть высокой (более 10 т/га), рекомендуется известковать в два приёма: 50 % под вспашку и 50 % под культивацию. Под влиянием извести коэффициент накопления цезия-137 в урожае зерновых уменьшается в 2,3–2,5 раза по сравнению с контролем. Эффективность действия известковых удобрений на накопление радионуклидов в продукции проявляется и в следующие годы после их применения (Юдинцева Е.В. и др., 1982).

Наибольший эффект снижения уровня загрязнения урожая радионуклидами наблюдается при совместном внесении в почву извести и органических веществ. В результате совместного применения извести и органического вещества снижается содержание стронция-90 в соломе гороха в три раза, в зерне – в пять раз.

На почве, загрязнённой радионуклидами, минеральные удобрения применяют при соотношении, в котором преобладают фосфор и калий над азотом. Фосфорные и калийные удобрения применяют в дозах, превышающих потребность растений в этих питательных веществах. При таком соотношении питательных элементов минеральные удобрения являются фактором, снижающим уровень загрязнения продукции растениеводства. Эффект снижения радиоактивности растениеводческой продукции ещё более увеличивается при комбинированном применении органических, минеральных, известковых и микроудобрений (Пристер Б.С. и др., 1986).

Все общепринятые агрохимические приёмы: известкование почвы, применение органических и минеральных удобрений – в основном направлены на повышение плодородия почвы. Эти же

приёмы оказались эффективными для снижения загрязнения урожая радионуклидами.

При ведении растениеводства на загрязнённой территории рекомендуется правильно использовать местные удобрения (золу, сапропель, торф, навоз и т.д.), которые могут явиться источником радиоактивного загрязнения почвы и растений. Местные удобрения с повышенным содержанием радионуклидов используют в севооборотах кормового направления и на семенных участках, удалённых от населённых пунктов.

Среди других агрономических и культурно-технических мероприятий, направленных на уменьшение поступления радиоактивных веществ в растения лугов и исключение возможности заглатывания поверхности почвы животными при выпасе, заслуживает внимание нанесение на поверхность лугов тонкого слоя торфа, почвы, глины и других мульчирующих материалов (Корнеев Н.А., 1987). Сама по себе эффективность мульчирующих материалов на поверхности лугов в качестве средства для снижения поступления радионуклидов в растения невелика, однако при этом снижается вероятность прямого заглатывания животными наиболее радиоактивных частиц почвы, которая наблюдается в значительных количествах при выпасе животных в первое время после выпадений. Следует отметить, что в практике ведения животноводства на загрязненной территории Гомельской области данное мероприятие не применялось.

Большое значение имеет также подбор культур и их сортов при составлении севооборотов. Известно, что эффективным приёмом снижения содержания радионуклидов в продукции является выращивание на загрязненной территории тех сельскохозяйственных культур и особенно их отдельных сортов, которые отличаются более низким накоплением радиоактивных веществ. К этим культурам относятся растения с более низким содержанием кальция и калия. Озимые зерновые культуры накапливают в полтора-два раза меньше радионуклидов, чем яровые зерновые культуры (Гапоненка В.І. і інш., 1991). Зерновые культуры (пшеница, овес) накапливают цезий-137 в три-пять раз менее интенсивно, чем зернобобовые (фасоль, горох). Скороспелые сорта накапливают в полтора-два раза больше радионуклидов, чем позднеспелые. Подбор культур и сортов на загрязненной территории является наиболее простым и экологически оправданным приёмом снижения содержания радионуклидов в растениеводческой продукции (Быстрицкий В.С. и др., 1991).

За прошедшие после аварии первые годы в земледелии в Гомельской области была проделана огромная работа по снижению перехода радионуклидов в звене почва – растения. В колхозах и совхозах области более чем на 1,5 млн га дополнительно внесено около 500 тыс. т минеральных удобрений в расчёте на действующее вещество, произвестковано около 200 тыс. га загрязнённых угодий. Практически на всех загрязнённых территориях проведено коренное улучшение лугов и пастбищ с выполнением всех агрохимических и агротехнических требований. Проведены планомерные работы по перепрофилированию структуры площадей: сокращены посевы зернобобовых культур, льна, кормовых корнеплодов, гречихи и увеличены посевные площади под кукурузой, травами. Проводился активный поиск сортов растений и культур, накапливающих наименьшее количество радионуклидов, применялись многие другие меры, способствующие снижению содержания радионуклидов в растениеводческой продукции. Вместе с тем следует отметить, что набор приёмов, обеспечивающих достаточно эффективное снижение перехода радионуклидов в кормовые растения, с одной стороны, и экономически целесообразных для широкого практического применения, с другой стороны, пока ещё недостаточен. Некоторые из приёмов по снижению накопления продуктов деления в растениях (механическое удаление верхнего слоя почвы и другие) оказались трудоёмкими, малоэффективными и практически не использовались. В связи с этим изыскание и разработка приёмов, которые могут быть применены на практике и экономически целесообразны, имеет большую значимость для ликвидации последствий ядерных аварий. Из опыта ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы известно, что при обширном загрязнении территории необходимо владеть приёмами, позволяющими снижать содержание радионуклидов в растениях не только путем воздействия на почву, но и на заготовленный и складированный урожай.

2.2. Динамика содержания радионуклидов в кормах и животноводческой продукции в первые годы после аварии на ЧАЭС

После катастрофы на ЧАЭС в течение 1986 и 1989 годов гамма-спектрометрическому анализу подвергали пробы кормов и продукции животноводства из северной (Ветковский район) и южной зон (Хойникский район) Гомельской области. В Ветковском районе

обследовали два хозяйства, различающиеся степенью загрязнения сельскохозяйственных угодий, – это колхоз «Радуга» и совхоз «Высокоборский». Территория колхоза «Радуга» находилась в зоне с плотностью загрязнения радиоцезием 259–555 кБк/м², совхоза «Высокоборский» – 1480–1739 кБк/м². В 1987 году в результате исследований гамма-спектрометрическим методом в пробах этих хозяйств были установлены следующие изотопы: цезий-134 и цезий-137, церий-144, рутений-106. В отдельных пробах кормов колхоза «Радуга» изотопы церия-144 и рутения-106 находились на пределе чувствительности приборов или совсем ими не регистрировались. Пробы из совхоза «Высокоборский» отличались значительными концентрациями изотопов. Наиболее высокое содержание изотопов церия-144 и рутения-106 было установлено в пробах сена. В сене сеяных трав удельная активность церия-144 достигала 769 Бк/кг, рутения-106 – 518 Бк/кг, что составляло 3,9 % от общего количества гамма-нуклидов чернобыльского происхождения. Содержание данных изотопов было максимальным в кормах из Ветковского района. Что касается проб говядины и молока, то уровень радионуклидов церия и рутения гамма-спектрометрически не улавливался, в 1989 году данные радионуклиды не регистрировались и в кормах вышеназванных хозяйств. На протяжении всех периодов исследований в проанализированных пробах, в сумме гамма-радионуклидов, преобладали изотопы цезия-134 и -137 (таблица 2.2.1).

Таблица 2.2.1. – Концентрация радиоцезия в пробах кормов и животноводческой продукции хозяйств Ветковского района в 1987 году, Бк/кг натурального вещества

Объект исследования	Колхоз «Радуга»	Совхоз «Высокоборский»
Силос разнотравный	314,5	754,8
Картофель (клубни)	48,1	-
Морковь (корни)	107,3	-
Свекла кормовая	16,5	222,0
Сено луговое (естеств)	48507,0	295260,0
Сено сеяных трав	-	31596,0
Солома яровая	125,8	1202,5
Концентраты	136,9	529,1
Молоко	595,7	4551,0
Говядина	-	8621,0

При этом во всех пробах из совхоза «Высокоборский» концентрация радиоцезия была выше, чем из колхоза «Радуга». В силосе она была выше в 2,0–2,4 раза, свекле – в 10–12 раз, в луговом сене – в 6,1–6,5 раза, соломе – в 8,0–9,5 раза, концентратах – в 3,0–3,8 раза и молоке – в 7,0–7,6 раза.

Установлены большие различия в содержании радиоцезия в кормах, заготовленных на пашне и на естественных угодьях. При одинаковом уровне загрязнения почвы показатели удельной активности лугового сена в совхозе «Высокоборский» превышали в 5,3–9,3 раза аналогичные показатели сена сеяных трав, выращенных на пашне.

В южной зоне в 1987 году в пробах из совхоза «Стреличево», гамма-спектрометрическим методом был установлен такой же изотопный состав нуклидов, что и в северной зоне. Но в сумме гамма-нуклидов изотопы церия-144 и рутения-106 составляли большую долю, чем в северной. Наибольшее их содержание также отмечалось в пробах сена в сравнении с другими кормами, оно колебалось от 2,4 до 22,8 %. Максимальная концентрация церия-144 в сене составляла 4144 Бк/кг, рутения – 106–3700 Бк/кг. В животноводческой продукции данные изотопы не были зарегистрированы. При повторном гамма-спектрометрическом анализе проб, отобранных в 1989 году, не выявлено в пробах кормов из совхоза «Стреличево» наличия изотопов церия и рутения.

В южной зоне, как и в северной, изотопы цезия-134 и -137 в сравнении с другими изотопами находились во всех пробах в наибольших количествах.

Из-за неравномерности загрязнения территории наблюдался большой разброс показателей удельной активности кормов (например, сено сеяных трав – 1,3–41,8 кБк/кг) и, как следствие этого, молока (133,2–1557 Бк/кг) (таблица 2.2.2).

В сумме гамма-нуклидов кормов с естественных угодий, в сравнении с кормами культурных угодий, отмечены более высокие концентрации радионуклидов. Например, в отделении «Мокиш» содержание радиоцезия в луговом сене было выше в 5,0–5,3 раза, чем в сене из сеяных трав, выращенных на пашне.

Таким образом, при гамма-спектрометрическом анализе проб кормов и продукции животноводства в 1987 и 1989 годах из северной и южной зон Гомельской области в них были установлены четыре изотопа чернобыльского происхождения: цезий-137, цезий-134, церий-144 и рутений-106. Концентрация нуклидов в кормах зависела от плотности загрязнения территорий. С увеличением плотности загрязнения почвы увеличивалась концентрация

радионуклидов в кормах. При одинаковой плотности загрязнения территории на естественных кормовых угодьях радиоактивность кормов была в 5,3–9,3 раза выше, чем на обрабатываемой почве. В ближней к станции зоне в сумме гамма-нуклидов кормов установлена большая доля церия-144 и рутения-106 (максимум 22,8 % в южной зоне) и уменьшение доли с удалением от станции (максимум 3,9 % в северной). По мере удаления от станции доля изотопов цезия увеличивалась.

Таблица 2.2.2. – Концентрация радиоцезия в пробах кормов и животноводческой продукции совхоза «Стреличево» в 1987 году, Бк/кг натурального вещества

Объект исследования	Название отделений				
	Стреличево	Губоревичи	Озеро	Ивановка	Мокиш
Силос кукурузный	62,9	66,6		114,7	
Сенаж разнотравный	580,9		318,2		4921,0
Свекла кормовая					44,4
Сено сеяных трав	3696,3	1369,0	6216,0	41884,0	60680,0
Сено естественных угодий					322270,0
Солома ячменная	847,3		481,0		
Концентраты	136,9				85,1
Молоко	133,2	125,8	177,6	1557,7	973,1
Говядина	347,8				

Вследствие небольших количеств выпавших изотопов церия-144 и рутения-106 и незначительного перехода в продукцию животноводства в ней они не были зарегистрированы. В 1989 году изотопы церия-144 и рутения-106 не были зарегистрированы и в кормах.

Кроме состава гамма-нуклидов, в послеаварийные годы исследовалась динамика содержания радиоцезия в кормах и продукции животноводства. Было показано, что в животноводческих объектах концентрация радионуклидов цезия ежегодно снижалась (таблица 2.2.3).

Таблица 2.2.3. – Динамика содержания радиоцезия в кормах и продукции животноводства в совхозах «Стреличево» и «Высокоборский», Бк/кг натурального вещества (Карпенко А.Ф., 2012)

Объекты исследования	Время наблюдений, годы				
	1986	1987	1988	1989	1990
1	2	3	4	5	6
Совхоз «Стреличево»					
Сено сеяных трав в среднем	165316±45954	11988±4736	851±148	333±74	251±85
в пределах	2886–481000	259–70300	259–1924	74–814	125–621
Солома яровая в среднем	3959±1480	925±185	555±185	296±37	166±70
в пределах	296–14430	185–3478	148–1110	148–407	55–187
Силос кукурузный в среднем		1591±333		84±7	74±29
в пределах		481–3034		37–90	37–80
Сенаж разнотравн. в среднем	25489±12099	4884±1110	548±52	274±17	111±22
в пределах	2109–66600	296–11840	174–885	111–311	37–210
Свекла кормовая в среднем	851±222	629±74	148±74	111±37	27±4
в пределах	37–2035	111–1036	37–259	37–185	21–36
Картофель в среднем		1258±555			25±2
в пределах		259–3330			20–31
Концентраты в среднем	1258±296	555±74	185±37	74±7	28±1
в пределах	370–2479	148–1037	111–296	37–111	11–55
Трава пастбищная с культурных угодий в среднем		703±259	703±148	447±111	351±111
в пределах		592–2997	74–2738	37–1850	22–484

Продолжение таблицы 2.2.3

1	2	3	4	5	6
Говядина в среднем		3885±1702	2109±407	296±37	59±7
в пределах		481–9990	222–5106	74–861	48–78
Молоко в среднем	2012±296	1025±93	148±18	74±22	48±9
в пределах	1147–2590	185–1813	37–222	18–296	18–92
Совхоз «Высокоборский»					
Сено сеяных трав в среднем		17464±6623	5550±962	3663± 1591	
в пределах		1295–34410	3256– 7696	777– 14430	
Сено с естест- венных угодий в среднем		143412± 37666	41144± 8880	22718± 5328	
в пределах		88800– 291930	17020– 92500	1517– 71040	
Солома яровая в среднем		1406±74	518±74	518±185	
в пределах		1184–1665	296–740	111– 1110	
Силос кукуруз- ный в среднем			1443±518		
в пределах			481–2331		
Сенаж разнотравн. в среднем		5032±703			
в пределах		3330–7400			
Свекла кормовая в среднем		333±15	148±7	111±11	
в пределах		296–370	74–296	74–148	
Концентраты в среднем		555±74	185±30	148±18	
в пределах		333–740	74–259	74–222	
Трава пастбищная с культурных угодий в среднем				592±111	
в пределах				259–851	

Окончание таблицы 2.2.3

1	2	3	4	5	6
Трава пастбищная с естествен. угодий в среднем		23236±7548	16761±4995	5920±2109	
в пределах		444–49950	740–62900	296–25900	
Говядина в среднем		5920±1036	5698±1036	4181±1258	
в пределах		1184–28120	1850–8473	1369–14245	
Молоко в среднем	4218±481	3552±518	1702±370	1184±222	
в пределах	2220–5143	1184–6660	296–6956	296–3885	

Так, кратность снижения их концентрации в кормах совхоза «Стреличево» через год после аварии составила от 1,4 до 13,8 раза, через два года – от 1,7 до 14,1 раза по сравнению с первым. В последующие годы скорость снижения замедлилась. За четыре послеаварийных года наиболее резкое снижение концентрации радиоцезия отмечено в сене и сенаже, соответственно в 657,1 и 229,3 раза. Наименьшим содержанием радионуклидов отличались такие корма, как свекла, картофель и концентраты.

В связи с тем, что в 1986 году пробы кормов в совхозе «Высокоборский» не отбирались, а в 1990 году это хозяйство прекратило свою деятельность, в таблице 2.3.3 приведены данные только за три послеаварийных года. Вместе с тем при анализе их выявлено, что скорость снижения концентраций радиоцезия в кормах совхоза «Высокоборский» была более медленной, чем в совхозе «Стреличево». В совхозе «Высокоборский» через два года после катастрофы кратность снижения его в кормах составила всего от 1,03 до 3,5 раза по сравнению с первым, через три года – от 1,0 до 2,8 раза по сравнению со вторым годом.

Анализ динамики удельной радиоактивности в продукции животноводства также свидетельствовал о более низких темпах ее снижения в совхозе «Высокоборский». Если в совхозе «Стреличево» с 1987 по 1989 год удельная активность говядины снизилась в среднем в 13,1 раза, молока – в 9,5 раза, то в совхозе «Высокоборский» соответственно в 1,4 и 3,0 раза. В совхозе

«Стреличево» к 1991 году концентрация радиоцезия в молоке снизилась в 41,8 раза по сравнению со второй половиной 1986 года.

Очевидно, что разная скорость снижения удельной активности кормов связана с почвенными различиями хозяйств. Об этом свидетельствует характеристика сельхозугодий совхозов. Сельскохозяйственные угодья совхоза «Высокоборский» имели более низкое плодородие и, кроме этого, 69,6 % кормовых угодий располагались на естественных угодьях (таблица 2.2.4).

Таблица 2.2.4. – Характеристика сельскохозяйственных угодий совхозов «Стреличево» и «Высокоборский»

Наименование угодий	Единица измерений	Совхоз «Стреличево»	Совхоз «Высокоборский»
Сельхозугодья, всего	га	6079	3318
	балл	41	26
в том числе осушенных	га	2708	128
	балл	35	41
Пашня, всего	га	2910	1616
	балл	46	27
в том числе осушенных	га	237	15
	балл	38	26
Кормовые угодья, всего	га	2937	1655
	балл	34	26
в том числе осушенных	га	2471	113
	балл	34	43
Улучшенные и культурные кормовые угодья	га	2795	503
	балл	35	30
в том числе осушенных	га	2471	113
	балл	34	41
Естественные кормовые угодья	га	142	1152
	балл	28	24

Как и в наблюдаемых хозяйствах, аналогичная ситуация складывалась в целом по Гомельской области. В первые пять послеаварийных лет в области отмечалось устойчивое снижение содержания радионуклидов в животноводческой продукции. Например, произведённое в районах области молоко в 1991 году имело в 2,9–57,8 раза более низкие показатели содержания цезия-137, чем в 1987 году, существенно снизился гамма-фон.

Через шесть лет после аварии, в 1992 году, проводилось изучение содержания радиоцезия в кормах и молоке в зонах

с плотностью загрязнения 37–185 кБк/м² и 185–555 кБк/м², то есть в тех зонах, где разрешалось проживать населению (таблица 2.2.5).

Таблица 2.2.5. – Содержание радиоцезия в кормах и в молоке коров в Гомельской области в доаварийные годы и в 1992 году, Бк/кг натурального вещества

Вид пробы	Средние доаварийные уровни (1981–1985 гг.)	Плотность загрязнения территории	
		137–185 кБк/м ²	185–555 кБк/м ²
Молоко	0,85	6–48	15–203
Пастбищная трава	2,0	14–93	55–629
Сено сеяных трав	7,0	70–240	160–666
Силос разнотравный	0,8	7–105	61–555
Сенаж	1,6	12	44–122
Солома яровая	1,8	62–196	174–226
Картофель	0,3	8–11	70–81
Свекла кормовая	0,3	17–23	27–118
Концентраты	0,7	4–11	7–19

С этой целью были отобраны и проанализированы пробы из совхоза им. Некрасова, колхоза им. Ленина Гомельского района, колхоза «Октябрь» Жлобинского района, относящихся к первой зоне, и из совхоза «Ветковский», расположенного во второй зоне.

Гамма-спектрометрические измерения показали, что наиболее загрязнёнными цезием-137 кормами, как и в первые годы после аварии, продолжали быть сено, пастбищная трава, солома и относительно чистыми – концентраты, картофель, свёкла. В зоне загрязнения 37–185 кБк/м² молоко соответствовало требованиям республиканского норматива (185 Бк/кг), в зоне более 185 кБк/м² имелись случаи превышения данного уровня.

При сравнении полученных в 1992 году показателей содержания цезия-137 в кормах и молоке с доаварийными установлено, что они значительно превышают последние и для достижения доаварийных уровней необходимо более длительное время.

2.3. Радионуклиды чернобыльского происхождения в цепи почва – корм – продукты животноводства

Для определения количественных параметров перехода радиоизотопов цезия из рациона в молоко и мышечную ткань крупного рогатого скота в совхозах «Стреличево» и «Высокоборский» исследовалось содержание их в почве, кормах, рационах, молоке и мышечной ткани животных.

В совхозе «Стреличево» рационы дойного стада в зимне-стойловый период 1987 года состояли из 20–25 кг кукурузного силоса или сенажа, 20–25 кг пасты (измельченная кормовая свекла с яровой соломой), 3 кг сена сеяных трав, 3–4 кг комбикорма или концентратов. Согласно расчетам, из рационов такого состава в 1 кг молока переходило от 0,45 до 1,3 % радиоцезия (таблица 2.3.1).

Таблица 2.3.1. – Показатели перехода радиоцезия из рациона в молоко коров в совхозе «Стреличево» в 1987 году

Наименование показателей	Название отделений				
	Стреличево	Красное озеро	Губоревичи	Ивановка	Мокиш
Суммарная активность рациона, кБк/сут.	23,5	24,8	9,9	133,6	216,4
Удельная активность молока, Бк/кг	125,8	177,6	129,5	869,5	973,1
Выделение с 1 кг молока, % суточного поступления	0,53	0,71	1,30	0,65	0,45

Удельная активность молока между молочно-товарными фермами совхоза в один и тот же день достигала разницы в 7,5 раза. На рационах с одинаковым набором кормов, но с разной его суммарной активностью переход радиоцезия был выше там, где имелась меньшая суммарная активность. Например, на молочно-товарных фермах «Губоревичи» и «Мокиш» животные получали рацион с одинаковым набором компонентов, надои молока также были одинаковыми (9,9–11,6 кг/сутки), но переход радиоцезия из рациона в 1 кг молока различался и составлял соответственно 1,30 и 0,45 %. Аналогичная ситуация наблюдалась и в других хозяйствах. Как было потом установлено, данная разница связана с содержанием в рационе клетчатки.

В ходе анализа миграции радиоцезия в звене корм – молоко (мясо) в последующие годы выяснено, что как в стойловый, так и в

пастбищный периоды содержания из рационов в 1 кг молока переходило от 0,57 до 1,32 %, а в 1 кг мышечной ткани – от 3,37 до 4,97 % радионуклид (таблица 2.3.2).

Таблица 2.3.2. – Показатели перехода радиоцезия в молоко и мышечную ткань коров совхоза «Стреличево» в 1989 году

Отделения совхоза	Суммарная активность рациона, Бк	Удельная активность молока, Бк/кг	Удельная активность мышечной ткани, Бк/кг	Выделение с 1 кг молока, % сут. поступления	Переход в 1 кг мышечной ткани, % сут. поступления
Стреличево	6919	57,0	296,0	0,82	4,28
Красное озеро	6993	57,0	296,0	0,81	4,23
Губоревичи	5957	54,4	296,0	1,08	4,97
Ивановка	6956	57,0	277,5	0,82	3,99
Мокиш	4551	60,0	177,6	1,32	3,90
Плоское	3515	20,0	118,4	0,57	3,37
Высокое	5661	42,2	266,4	0,74	4,71

Следует подчеркнуть, что в данных звеньях миграции динамики уменьшения или увеличения КП за время наблюдения не установлено. Динамика снижения коэффициентов наблюдалась в звене почва – пастбищная трава и в цепи почва – пастбищная трава – молоко. Об этом свидетельствуют показатели перехода радиоцезия по трофической цепи почва – пастбищная трава – молоко при исследовании в летний период в 1988, 1990 и 1991 годах в совхозе «Стреличево».

Работа проводилась на прифермских многолетних культурных пастбищах, где применялась загонная система использования травостоя. Отбор проб почвы, пастбищной травы, молока и учёт кормления животных осуществлялся одновременно во всех отделениях хозяйства.

Согласно данным плотности загрязнения почвы пастбищ, она отличалась пестротой загрязнения. В 1988 году средняя плотность загрязнения почвы составляла $749,3 \pm 219,5$ кБк/м², в 1990 году – $285,4 \pm 12,5$ кБк/м² и в 1991 году – $421,4 \pm 38,7$ кБк/м². С плотностью загрязнения почвы в целом коррелировало загрязнение травы. Так, при загрязнении почвы в $749,3 \pm 219,5$; $421,4 \pm 38,7$ и $285,4 \pm 12,5$ кБк/м² удельная активность пастбищной травы составляла соответственно $358,9 \pm 115,2$; $36,8 \pm 4,6$ и $32,4 \pm 1,0$ Бк/кг.

Было установлено уменьшение показателей коэффициентов накопления в звене почва – трава. Так, если в 1988 году средний

показатель коэффициента накопления имел значение $0,114 \pm 0,01$, то в 1990 году КН был ниже в 4,4 раза, в 1991 году – в 5,4 раза ниже, чем в первый год наблюдения. Отмечалось также снижение коэффициентов пропорциональности в данном звене перемещения радиоцезия: в 1988 году Кп имел среднее значение $0,47 \pm 0,05$, в 1990 году – $0,113 \pm 0,003$ и в 1991 году – $0,088 \pm 0,011$.

Показано также снижение содержания радиоцезия в рационах и молоке животных. Уменьшение суммарной активности рационов коров за эти годы произошло в 7,1 раза, молока – в 8,6 раза. Кроме этого, происходило уменьшение коэффициентов пропорциональности в цепи почва – молоко. Если в 1988 году Кп в данной цепи миграции составил $0,27 \pm 0,09$, то в 1991 году – $0,061 \pm 0,011$ или уменьшился за это время в 5,3 раза.

В отношении Кп в звене пастбищная трава – молоко какой-либо закономерности, характерной для увеличения их значений или уменьшения за указанный период исследований, не установлено. В 1988, 1990 и 1991 году они имели почти одинаковые показатели: соответственно $0,0095 \pm 0,001$, $0,0074 \pm 0,005$ и $0,0077 \pm 0,0003$.

В совхозе «Высокоборский» также, как и в совхозе «Стреличево», анализировали рационы и одновременно определяли переход радиоцезия в молоко и мышечную ткань коров.

Полученные результаты свидетельствовали о том, что коэффициенты перехода радиоцезия в цепи корм – молоко имели значения в пределах $0,003-0,010$ и в цепи корм – мясо – $0,030-0,040$, то есть они были такими же, как и в совхозе «Стреличево» (таблица 2.3.3).

Таблица 2.3.3. – Коэффициенты перехода радиоцезия в звеньях корм – молоко, корм – мясо в совхозах «Стреличево» и «Высокоборский» (Карпенко А.Ф., 2012)

Годы исследования	Совхоз «Стреличево»		Совхоз «Высокоборский»	
	корм – молоко	корм – мясо	корм – молоко	корм – мясо
1987	0,004–0,013	0,034–0,049	0,008–0,014	0,030–0,040
1988	0,006–0,015	0,035–0,050	0,006–0,009	0,030–0,040
1989	0,005–0,013	0,034–0,049	0,003–0,009	0,030–0,031
1990	0,004–0,009	0,030–0,047		

В совхозе «Высокоборский» в суммарной активности рационов животных корма с естественных кормовых угодий составляли большую долю, что, в свою очередь, отражалось на загрязнении молока.

В таблице 2.3.4 представлен обычный для зимне-стойлового содержания рацион коров совхоза «Высокоборский», из которого в 1 кг

молока переходило около 1,4 % радионуклида (удельная активность молока 4551 Бк/кг). В данном рационе вклад радиоцезия лугового сена в суммарном содержании был значительным и составлял 93,2 %, а в целом за все годы наблюдений он колебался от 90 до 97 %.

В этом же хозяйстве было также установлено, что при выпасе коров на пойменных лугах и на сеяных травах на пашне концентрация радиоцезия молока может различаться в 3–14 раз при одинаковой плотности загрязнения угодий (1480–1665 кБк/м²).

Таблица 2.3.4 – Концентрация радиоцезия в рационе коров совхоза «Высокоборский» в 1987 году (Карпенко А.Ф., 2012)

Наименование корма	Количество корма, кг	Содержание радиоцезия в массе корма, Бк
Силос разнотравный	25	18870,0
Сено луговое	1	295260,0
Свекла кормовая (морковь)	10	1073,0
Концентраты	3	1591,0
Итого	39	316794,0

При выпасе поголовья на пойме концентрация колебалась от 555 до 5180 Бк/кг, на сеяных травах – от 185 до 370 Бк/кг. В стойловый период в результате скармливания лактирующим коровам сена с пойменного луга, активность рациона увеличивалась в 9–12 раз и молока в 3,6–5,5 раза (отделения «Бартоломеевка» и «Беседь») в сравнении с дачей сена сеяных трав (отделение «Лески») (таблица 2.3.5).

Таблица 2.3.5 – Показатели перехода радиоцезия из рациона в молоко и мышечную ткань коров совхоза «Высокоборский» в 1989 году (Карпенко А.Ф., 2012)

Показатели	Отделения		
	Бартоломеевка	Беседь	Лески
Суммарная активность рациона, Бк/сутки	96050,0	73630,0	8140,0
Удельная активность молока, Бк/кг	410,7	270,1	74,0
Удельная активность мышечной ткани, Бк/кг	2900,8	2294,0	
Выделение с 1 кг молока, % суточного поступления	0,42	0,37	0,91
Переход в 1 кг мышечной ткани, % суточного поступления	3,0	3,1	

По данным таблицы, в отделении «Лески» переход радионуклида в молоко был в 2,1 и 2,5 раза выше, чем в отделениях «Бартоломеевка» и «Беседь».

При анализе рационов кормления животных установлено, что они по своему количественному составу и набору кормов, за исключением сена, были одинаковыми. В отделении «Лески», вместо лугового сена животные получали такое же количество сена сеяных трав. Поэтому в данном отделении в рационе меньше содержалось радиоцезия. Проведенный анализ распределения суммарной активности рационов между составляющими их кормами свидетельствовал о том, что в отделении «Лески» она распределялась между кормами более равномерно. В отделениях «Бартоломеевка» и «Беседь» в суммарной активности вклад сена составлял около 97 %, и приблизительно 3 % ее приходилось на другие корма (силос, солома, концентраты, свекла), а в отделении «Лески» соответственно 30 % и 70 %. Рацион животных в отделении «Лески» отличался меньшим уровнем содержания клетчатки. Из характеристик питательности кормов известно, что в кормах, заготовленных на естественных кормовых угодьях, содержание клетчатки выше, чем выращенных на пашне.

Переход радиостронция из фуража в молоко и говядину определяли во время пастбищного и стойлового содержания крупного рогатого скота. С этой целью анализировали содержание стронция-90 в кормах, рационах, молоке и говядине животных. Исследования проводились в совхозе «Стреличево» и колхозе «22 съезд КПСС» Хойникского района, совхозе «Ветковский» Ветковского района и колхозе им. 22 съезда КПСС Гомельского района, расположенных на территориях, имеющих плотность загрязнения соответственно 51,0–103,6; 51,8–111,0; 37–64,7 и 28,5–22,2 кБк/м².

В ходе радиохимического анализа проб было установлено, что наиболее высокие концентрации стронция-90 характерны для таких кормов, как солома, сено, сенаж, пастбищная трава, и относительно низкие – для корнеклубнеплодов (таблица 2.3.6).

Несмотря на более низкую плотность загрязнения почв, в пробах кормов и животноводческой продукции совхоза «Ветковский» отмечены более высокие концентрации стронция в сравнении с пробами из хозяйств Хойникского района. В совхозах «Стреличево» и «Ветковский» в животноводческой продукции наблюдалось превышение нормативных значений стронция-90 (норматив для молока 3,7 Бк/кг).

Таблица 2.3.6. – Показатели удельной активности стронция-90 в кормах и продуктах животноводства, Бк/кг натурального вещества (Карпенко А.Ф., 2012)

Объекты исследования	Удельная активность в 1985 г.	Совхоз «Стреличево»	Колхоз «22 съезд КПСС»	Совхоз «Ветковский»	Колхоз им. 22 съезда КПСС
Сено сеяных трав	1,65±0,05	69,0±15,0	93,0±21,0	167,0±40,5	42,0±4,0
Солома яровая	2,57±0,38	76,4±8,0	65,4±14,0	204,3±39,0	62,0±4,5
Сенаж	1,33±0,30	105,0±11,0	68,1±6,7	46,6±6,0	22,6±2,2
Картофель	0,32±0,09	5,3±0,3	4,8±0,3	10,3±2,2	0,2±0,01
Свекла кормовая	0,55±0,08	4,6±0,2	4,8±1,0	11,5±0,5	2,2±0,2
Зернофураж	0,73±0,05	9,2±1,1	5,3±0,7	41,0±5,8	2,2±0,1
Трава пастбищная	1,34±0,03	37,6±4,0	25,0±5,0	167,0±35,1	23,6±3,0
Молоко	0,17±0,02	5,9±1,2	1,3±0,3	6,3±1,6	0,8±0,05
Говядина	0,16±0,02		2,6±0,8	18,0±3,5	1,5±0,1

Сравнение концентраций стронция-90 послеаварийного периода с доаварийным (1985 год) свидетельствовало о значительном увеличении его содержания в объектах сельскохозяйственного производства: в сене сеяных трав в 25,4–101,1 раза, в соломе яровой – в 24,1–79,5, сенаже – в 17,0–78,9, картофеле – в 0,6–32,2, свекле кормовой – в 4,0–20,9, зернофураже – в 3,0–56,2, комбикорме – в 2,4–11,8, пастбищной траве – в 17,6–124,6, молоке – в 7,7–37,0, говядине – в 9,3–112,5 раза.

В результате анализа содержания стронция в кормах, молоке, говядине и учёта поедаемости кормов показано, что в зависимости от условий кормления, состава рациона и других факторов КП стронция-90 в звене корм – молоко колеблется от 0,0007 до 0,0039 и в среднем составляет 0,0016±0,0005, в звене корм – телятина соответственно – от 0,0006 до 0,0028 и 0,0014±0,0002.

Таким образом, полученные данные на территории хозяйств, где проживало население и производилась сельскохозяйственная продукция, свидетельствовали, что для получения в районах загрязнения растениеводческой и животноводческой продукции с максимально меньшим содержанием радиостронция необходимы значительные усилия не только работников агропромышленного производства, но и научных сотрудников, занимающихся исследованием данной проблемы.

Следует отметить, что для принятия управленческих решений в первые послеаварийные годы оценивалось радиологическое состояние всех животноводческих отраслей. После катастрофы на ЧАЭС, как оказалось, наиболее тяжёлая радиологическая ситуация с загрязнением продукции сложилась в овцеводческой отрасли Гомельской области. В результате её изучения в 1988 году было показано, что плотность загрязнения основных сельскохозяйственных угодий овцеводческих хозяйств относительно невысока, в основном до 370 кБк/м², и только в Чечерском и Кормянском районах оказалась выше 555 кБк/м². Однако удельная активность баранины по радиоцезию и загрязнённость шерсти превышали допустимые на то время нормы соответственно 1850 Бк/кг и 100 мкР/ч.

При исследовании гамма-спектрометрическим методом шерсти, отобранной в колхозах «Серп и Молот» Мозырского района и «Аврора» Речицкого района, выявлено, что в ней находились изотопы цезия-134, цезия-137 и церия-144. Эти же нуклиды были установлены и в кормах овец (таблица 2.3.7).

Таблица 2.3.7. – Радиоактивное загрязнение шерсти, мяса и кормов овец (1988 г.), Бк/кг натурального вещества (Карпенко А.Ф., 2012)

Объект исследования	Цезий-134+137	Церий-144
Колхоз «Серп и Молот»		
Комбикорм	282,2	136,9
Сенаж	1546,6	1787,1
Сено	12469,0	640,1
Шерсть	1635,4	
Мясо		
Колхоз «Аврора»		
Шерсть	12765,0	2242,2
Мясо	7400,0	
Сено	29600,0	
Комбикорм	296,0	
Сенаж	1258,0	

Все сельскохозяйственные угодья колхоза «Серп и Молот» имели плотность загрязнения от 185 до 370 кБк/м², колхоза «Аврора» – от 37 до 185 кБк/м². Содержание радионуклидов в мясе животных и дозиметрия шерсти указывали на превышение санитарно-гигиенических нормативов.

В результате изучения кормления животных, содержания радиоцезия в кормах, рационах и перехода его в мышечную ткань было установлено следующее. Рацион овец в колхозе «Серп и Молот» состоял из 1 кг сена, 0,5–0,8 кг комбикорма, 1 кг сенажа или

кукурузного силоса и имел суммарную активность 14,0–14,4 кБк. По расчётам, из данного рациона в 1 кг мышечной ткани овец переходило 10,1–10,3 % радиоцезия. В колхозе «Аврора» животных кормили рационом, состоящим из 2 кг сена, 1 кг комбикорма, 3 кг сенажа. Вместе с этими кормами в организм овец ежедневно поступало около 63,3 кБк радиоцезия. После забоя овец, отбора мышечной ткани, её радиометрии и проведения расчётов было определено, что из суточного рациона в 1 кг мышечной ткани перемещалось 11,6 % радионуклида.

Полученные показатели перехода радиоцезия из рациона в мышечную ткань овец оказались в 2,5–3,0 раза выше, чем крупного рогатого скота. Это свидетельствовало о том, что на одинаковой по плотности загрязнения радиоцезием территории баранина будет иметь в 2,5–3,0 раза большую удельную активность.

Таким образом, в овцеводческой отрасли загрязнённых районов Гомельской области, несмотря на сравнительно невысокие плотности загрязнения сельскохозяйственных угодий цезием-137 (в основном до 370 кБк/м²), в хозяйствах существовала проблема получения «чистых» баранины и шерсти. Она была обусловлена более высоким, в сравнении с крупным рогатым скотом, переходом радиоцезия в звене корм – мясо, который составлял от 10,1 до 11,6 %. Кроме этого, несмотря на высокую эффективность промывки загрязнённой шерсти в условиях промышленной технологии переработки, этот процесс не всегда обеспечивал, из-за превышающего санитарные нормативы содержания радионуклидов, пригодность ее к дальнейшей переработке. Не находя применения, загрязнённая шерсть накапливалась на складах фабрик по первичной переработке шерсти. Поэтому, основываясь на результатах исследований, Гомельский комитет по сельскому хозяйству и продовольствию принял решение о репрофилировании овцеводства в загрязнённых районах на разведение других видов сельскохозяйственных животных.

Кроме крупного рогатого скота и овец на территории загрязнения содержалось большое количество птицы. Она в первые послеаварийные годы на птицефермах колхозов и совхозов, в личных подсобных хозяйствах была ликвидирована практически вся. В последующие годы поголовье птицы начали восстанавливать. Процесс восстановления был связан с улучшением общей радиоэкологической обстановки в сельскохозяйственном производстве, что было подтверждено исследованиями, в частности, по содержанию радионуклидов в продуктах птицеводства. Поэтому за время, прошедшее после аварии,

Министерством здравоохранения СССР и Министерством здравоохранения БССР устанавливалось несколько нормативов (в сторону снижения) содержания радиоцезия в птицеводческой продукции. Если в 1986 году по нормативу Минздрава СССР содержание радиоцезия в мясе птицы не должно было превышать 3700 Бк/кг, в яйце – 1850 Бк/штука, в 1988 году в мясе и яйце (меланж) – 1850 Бк/кг, то в 1991 году – 740 Бк/кг. Минздравом БССР для населения республики в 1990 году предел содержания радиоцезия в мясе и яйце птицы был ещё уменьшен до 500 Бк/кг.

Определение содержания радионуклидов цезия в кормах, рационах и продуктах птицеводства проводились как в хозяйствах Белптицепрома, так и в личных подсобных хозяйствах. При анализе проб, отобранных в 1988 году на Гомельской птицефабрике по выращиванию ремонтного молодняка кур-несушек яичного направления, было отмечено, что поля фабрики расположены в зоне загрязнения 74–185 кБк/м². Травяная мука собственного производства имела удельную активность цезия-137 40,7±5,0 Бк/кг, комбикорма, поставляемые из государственных ресурсов для цыплят возраста 5–30 дней – 40,7±2,0 Бк/кг, возраста 31–90 дней – 92,5±4,0 Бк/кг, возраста 91–120 дней – 55,5±3,8 Бк/кг. В инкубационных яйцах и суточных цыплятах радионуклиды цезия не регистрировались.

На Гомельской бройлерной фабрике, расположенной на территории с плотностью загрязнения цезием-137 37–185 кБк/м², в 1990 году, мясо бройлеров имело удельную активность 0,74±0,1 Бк/кг, травяная мука собственного производства – 292,3±30,5 Бк/кг. В этом же году на птицеферме колхоза «Большевицкая Победа» Хойникского района выявлено следующее содержание цезия-137: в комбикорме для кур-несушек – 33,6±3,0 Бк/кг, в мышечной ткани кур – 25,9–74,0 Бк/кг, в яйце – 14,9±0,5 Бк/кг, в комбикорме для утят – 67,7±7,0 Бк/кг, в мышечной ткани 5-суточных цыплят – 29,0±1,5 Бк/кг, 10-суточных цыплят – 68,8±3,5 Бк/кг, 23-суточных цыплят – 68,1±4,0 Бк/кг.

Не только в продукции промышленного птицеводства исследовалось содержание радиоцезия, но и в продуктах птицеводства в личных подсобных хозяйствах. В 1990 году в населённом пункте Круговка Добрушского района, расположенном на территории с плотностью загрязнения 851 кБк/м², в осенне-зимний период были установлены следующие показатели удельной активности цезия-137: тушки кур – 35,2–77,0 Бк/кг, внутренние органы кур – 25,9–94,4 Бк/кг, тушки гусей – 53,6–99,5 Бк/кг, внутренние органы гусей – 41,1–151,0 Бк/кг. Для сравнения следует

отметить, что удельная активность цезия-137 в мышечной ткани кроликов в этом же населённом пункте находилась в пределах 311,9–395,9 Бк/кг, крупного рогатого скота – 329,0–555,0 Бк/кг.

Полученные результаты свидетельствовали о том, что в кормах и продуктах птицеводства птицефабрик Белптицепрома, колхозных птицеферм и личных подсобных хозяйств содержание радиоцезия не превышало требований Министерства здравоохранения СССР и Министерства здравоохранения БССР.

Таким образом, в районах радиоактивного загрязнения из всех отраслей животноводства в продуктах птицеводства содержание цезия-137 определялось в наименьших количествах. На территориях с плотностью загрязнения цезием-137 до 555 кБк/м² было возможно выращивание и откорм птицы на местных кормах.

Не менее значимой отраслью животноводства является кролиководство, особенно для частного сектора. В период аварийных выбросов на Чернобыльской АЭС разведением и выращиванием кроликов в Гомельской области также занимались специализированные звероводческие хозяйства в Гомельском и Калинковичском районах. Животных содержали в целях получения ценного диетического мяса и высококачественного меха.

Известно, что кролики отличаются высокой скоростью роста и размножения, простотой и доступностью содержания как в крупных общественных, так и в личных приусадебных хозяйствах. В условиях нормального содержания взрослая самка в течение года может давать до 50 крольчат, от которых можно получить в живом весе до 1,0–1,5 ц высокопитательного мяса.

После радиоактивного загрязнения территории Гомельской области поголовье кроликов в пострадавших районах резко сократилось, так как в продуктах кролиководства содержались повышенные концентрации радионуклидов.

Из наиболее загрязнённых мест было выселено население, ликвидированы колхозы и совхозы. Население осталось проживать на территориях, на которых продолжалось сельскохозяйственное производство и прекращение его деятельности в дальнейшем не предусматривалось – на территориях с плотностью загрязнения до 15 Ки/км². По мере улучшения радиологической обстановки, с одной стороны, а также по причине экономических затруднений, возникших после распада СССР, с другой стороны, на загрязнённых территориях не только сельское, но и частично городское население стало возрождать кролиководство. Постепенно численность мелких домашних животных в личных подсобных, фермерских хозяйствах, а также подсобных хозяйствах промышленных предприятий стало

ежегодно постепенно увеличиваться. Возобновилась реализация живых кроликов на городских рынках области.

Вместе с тем радиологическими отделами ветеринарных лабораторий, контролирующими реализацию мяса на рынках по содержанию радионуклидов, фиксировались случаи превышения санитарно-гигиенических нормативов радиоактивности кроличьего мяса. Из радиобиологических исследований было известно, что у мелких животных накопление радионуклидов в организме на единицу массы выше, чем у крупных. Кролики, имеющие небольшую живую массу, в среднем 3–5 кг, высокую усвояемость кормов, отличаются высоким переходом радионуклидов из корма в единицу массы тела. Одновременно с этим необходимым условием содержания кроликов является потребление ими большого количества грубых кормов (до 70–80 % рациона) – сена и травы, которые отличаются высоким содержанием радионуклидов среди остальных кормов.

В послеаварийные годы все усилия исследователей были направлены на изучение миграции радионуклидов в продукцию наиболее распространенных в Гомельской области отраслей животноводства: скотоводства, овцеводства, коневодства, свиноводства, птицеводства и практически не уделялось внимания менее значимой отрасли животноводства – кролиководству. Однако в скором времени необходимость в проведении исследований миграции радионуклидов в продукты кролиководства стало активно диктоваться увеличением численности «самосёлов», возвращающихся в отселённые ранее населённые пункты. «Самосёлы» активно разводили кроликов, не владея информацией о правилах откорма животных, на территории проживания. Всё это, вместе взятое, свидетельствовало о необходимости изучения радиоэкологической обстановки в кролиководстве.

Изучение содержания цезия-137 в кормах, используемых в кормлении кроликов, проводились в зверосовхозе «Мирный» Гомельского района, как в летний, так и в зимний периоды. Всего в зверосовхозе было отобрано более 100 проб кормов, а также тканей, органов и шкурок животных. Одновременно с этим, пробы отбирались у населения частного сектора Гомельского района, в частном секторе г. Гомеля, в г. Ветка, совхозе «Ветковский» Ветковского района, в Добрушском районе и в г. Добруше. Всего на территории радиоактивного загрязнения до 555 кБк/м² (до 15 Ки/км²) было отобрано и проанализировано около 450 проб кормов и продукции кролиководства (таблица 2.3.8).

Таблица 2.3.8 – Показатели содержания цезия-137 в кормах и продукции кролиководства, Бк/кг натурального вещества

Объект исследований	Плотность загрязнения цезием-137, кБк/м ²		
	37–185	185–555	185–555
	Гомельский район	Ветковский район	Добрушский район
Зелёная масса травы	10–500	25–200	20–300
Зернофураж	8–35	40–70	20–60
Корнеклубнеплоды	2–20	2–20	2–20
Сено	100–300	200–1196	–
Мышечная ткань кроликов	7–40	40–530	15–90

На данных территориях удельная концентрация цезия-137 в кормах кроликов коррелировала с плотностью загрязнения почвы. Это было показано как в отношении зернофуража, зеленой массы травы, скармливаемой в летний период, так и сена – основного корма в зимний период. Самая высокая удельная активность была выявлена в сене, заготовленном в Ветковском районе, где максимальная активность проб сена доходила до 1196 кБк/кг. Удельная активность цезия-137 в мышечной ткани кроликов на территории с плотностью загрязнения 185–555 кБк/м² была также выше, в сравнении с более низкой плотностью загрязнения в Гомельском районе.

В пробах мышечной ткани кроликов из трех районов (Гомельского, Ветковского и Добрушского) содержание радионуклида не превышало норм, принятых в Республике Беларусь. Однако в Ветковском районе в отдельных пробах мышечной ткани кроликов удельная активность доходила до 530 Бк/кг. В результате изучения особенностей кормления кроликов населением было установлено, что высокое загрязнение происходит при кормлении животных травой и сеном, заготовленными на загрязненных поймах рек и на неудоблицах, на которых почва не подвергалась после аварии обработке.

Результаты исследований, полученные в ходе изучения радиоэкологической обстановки в кролиководстве на территории с плотностью загрязнения цезием-137 37–555 кБк/м², позволили сделать следующее заключение.

Корма для животных, как в общественном, так и в частном секторе характеризовались удельной активностью цезия-137 от 2 Бк/кг в корнеклубнеплодах до 1196 Бк/кг в сене. На территории с плотностью загрязнения территории до 555 кБк/м² можно получать

продукцию кролиководства в пределах санитарно-гигиенических нормативов по содержанию радионуклидов. Однако при использовании кормов, заготовленных в поймах рек и неудобцах на территории загрязнения 185–555 кБк/м², в мышечной ткани кроликов могут накапливаться довольно высокие концентрации цезия-137 (417–534 Бк/кг при норме 600 Бк/кг). Поэтому для их снижения животных перед забоем желательно выдерживать на рационах с относительно чистыми кормами и исключать из рационов заготовленные на неудобцах сено и травы (Потылкина Т.В., Карпенко А.Ф., 2009).

Таким образом, изучение поведения радионуклидов в разных типах почв, агрохимических и агротехнических приёмов снижения их содержания в растениях, миграции по цепи почва – корм – продукты животноводства и динамики содержания радионуклидов в кормах и животноводческой продукции в первые годы после аварии на ЧАЭС свидетельствовало, что в агросфере требовались корректировки направлений отраслевой специализации в зависимости от специфики радиоактивного давления.

ГЛАВА 3. ЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

3.1. Принципы реабилитации загрязнённых радионуклидами земель

Согласно рекомендациям и руководствам по ведению сельскохозяйственного производства на загрязнённых радионуклидами территориях Республики Беларусь и Российской Федерации (2005), в основе стратегии реабилитации загрязнённых сельскохозяйственных земель и специализации направлений их использования лежат два главных положения:

- обеспечение охраны здоровья человека через снижение радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции и, как следствие, доз его внутреннего облучения;
- возвращение к традиционным способам ведения сельского хозяйства.

В этом плане, с радиологической точки зрения, главными задачами стратегии являются:

• производство сельскохозяйственной продукции соответствующей установленным санитарно-гигиеническим нормативам;

• оптимизация применения защитных мероприятий, т.е. получение сельскохозяйственной продукции с минимально возможным содержанием радионуклидов при соблюдении принципа экономической целесообразности затрат на ее производство;

• непревышение установленных дозовых нагрузок на сельское население.

Реабилитация и специализация с учётом радиологических и экономических критериев проводятся при условии достижения максимально возможной эффективности защитных мероприятий.

Задачи реабилитации и специализации считаются полностью выполненными в случае достижения следующих условий:

• исключается возможность облучения сельского населения в дозах, превышающих допустимые в соответствии с законодательно установленными нормативами;

• формируется радиологическая ситуация, когда ведение агропромышленного производства устойчиво обеспечивает получение продукции, отвечающей санитарно-гигиеническим нормативам, на основе традиционных технологий ведения хозяйства как в коллективных и фермерских хозяйствах, так и в частном секторе.

Эффект от реабилитационных мероприятий может изменяться в широких пределах и зависит как от социально-экономических, так и радиологических факторов. Решение задачи оптимизации обуславливается необходимостью *адресного применения защитных мероприятий* на основании анализа риск-выгода.

Оценки эффективности реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве включают следующие этапы (Фирсакова С.К. и др., 1992):

• обоснование необходимости реабилитации сельскохозяйственных земель;

• классификация сельскохозяйственных земель в рамках отдельных коллективных, фермерских или частных хозяйств по степени потребности в реабилитации;

• определение перечня наиболее эффективных защитных мероприятий;

• разработка стратегий реабилитации и оценка их эффективности.



Основными критериями при обосновании необходимости реабилитации сельскохозяйственных земель является превышение санитарно-гигиенических нормативов в производимой продукции или превышение дозовых нагрузок на сельское население и сельскохозяйственных работников.

Классификация сельскохозяйственных земель по степени потребности в реабилитации проводится на основании оценки рисков превышения санитарно-гигиенических нормативов в производимой продукции по следующей градации: 0, 0–10, 10–50, 50–90 и >90 %. Различия в данных показателях у отдельных хозяйств обусловлены влиянием таких факторов как плотность загрязнения земель, неоднородность загрязнения, характеристики почв, виды и сорта возделываемых культур, применяемые технологии их возделывания. Отсюда на практике наблюдается комбинированное или сочетанное влияние этих факторов, что требует необходимости проведения классификации хозяйств по потребности в реабилитационных мероприятиях.

На первом этапе наиболее эффективные защитные мероприятия выбираются на основании радиологического критерия – снижения накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции. В последующем в качестве критерия может быть использовано снижение доз внутреннего облучения населения после применения защитных мероприятий или снижение коллективных доз.

Разработка стратегий применения защитных мероприятий при реабилитации сельскохозяйственных земель проводится на основании принципа оптимизации, то есть эффективность реабилитации оценивается на основании радиологических, экономических и комплексных критериев. Классификация хозяйств по потребности в объемах и видах защитных мероприятий является основой для разработки адресных стратегий реабилитации (Фирсакова С.К., 1992; Аверин В.С., 2008).

Одним из показателей, определяющих необходимость проведения реабилитации сельскохозяйственных земель или уровень вмешательства, является степень их загрязнения радионуклидами, при которой невозможно получение продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам. При определении уровней вмешательства ориентируются на данные о КП стронция-90 и цезия-137 из различных типов почв в сельскохозяйственную продукцию и санитарно-гигиенические нормативы предельно-допустимых концентраций радионуклидов в ней (таблица 3.1.1).

Таблица 3.1.1 – Усредненные предельно допустимые плотности загрязнения цезием-137 почв сельскохозяйственных угодий, на которых возможно получение продукции, удовлетворяющей нормативам СанПиН 2.3.2.1078-01 и РДУ-99, кБк/м²

Продукт	Группа почв			
	песчаные, супесчаные	легко- и средне-суглинистые	глинистые (чернозем)	торфяные
СанПиН 2.3.2.1078-01				
Молоко	410	1000	2000	120
Говядина	240	420	720	65
Свинина	330	660	1600	90
Картофель	1500	2000	7500	500
Зерновые	230	460	1750	115
РДУ-99				
Молоко	410	1000	2000	120
Говядина	750	1300	450	210
Свинина	370	740	1800	100
Картофель	1000	1300	5000	330
Зерновые	200	400	1500	100

На этих же данных основывается прогнозирование уровней загрязнения урожая культур в основную и побочную продукцию. Расчет уровня загрязнения продукции производится по формуле:

$$A_{пр} = КП \cdot P_n,$$

где $A_{пр}$ – удельная активность продукции, Бк/кг;

КП – коэффициент перехода в продукцию цезия-137 или стронция-90 (Бк/кг растений)/(кБк/м² почвы);

P_n – плотность загрязнения почв, кБк/м².

Для снижения риска производства продукции животноводства с содержанием радионуклидов выше допустимых уровней определяются предельно допустимые уровни естественных кормовых угодий с учетом их характеристик (таблица 3.1.2). Прогнозирование предельно допустимой плотности загрязнения почв сенокосов и пастбищ является простым способом, позволяющим выявить возможность производства молока и мяса с содержанием радионуклидов выше допустимых уровней.

Для условий Республики Беларусь сделаны оценки по ограничению плотности загрязнения сельскохозяйственных угодий для широкого набора сельскохозяйственных культур и почв с различным уровнем окультуренности. Эти данные используются и для загрязненных территорий России с аналогичными свойствами почв и уровнем их плодородия (таблицы 3.1.3–3.1.5).

Таблица 3.1.2. – Предельно допустимые плотности загрязнения лугов различных типов для производства молока, соответствующего Сан ПиН 2.3.2.1078-01 (Россия), кБк м⁻²

Тип луга	Группа почв	Группы почв по механическому составу	Предельная плотность загрязнения, кБк/м ²	
			⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
Суходольные луга	Минеральные	Суглинистые	500–70	2000–100
		Глинистые	3300*–330	20000*–3300*
		Песчаные	200–40	1000–70
Пойменные луга	Минеральные	Суглинистые	500–70	2000–100
		Глинистые	-	3300–330
	Органические	Торфяные	330–30	200–50
		Песчаные	200–30	330–50
Низинные луга	Минеральные	Суглинистые	-	500–70
	Органические	Торфяные	100–20	330–30
Болотные луга	низинные	Торфяные	200–20	330–30
	переходные	Торфяные	50–10	70–20
	верховые	Торфяные	50–10	30–10

* – При таких плотностях теоретически получение животноводческой продукции, отвечающей Сан ПиН 2.3.2.1078-01 возможно, однако ведение сельскохозяйственного производства прекращается при плотности загрязнения свыше 1480 кБк/м².

Таблица 3.1.3. – Ограничения плотности загрязнения дерново-подзолистых почв цезием-137 и стронцием-90 для получения продовольственной продукции согласно РДУ-99

Продукция, культура	Дерново-подзолистые почвы, кБк/м ²		
	Суглинистые	Супесчаные	Песчаные
1	2	3	4
¹³⁷ Cs			
Зерно:			
Овес	480*–1480**	370–1480	260–1295
Ячмень	1480–1480	1295–1480	1000–1480
Горох	220–410	150–300	110–220
Картофель столовый	1150–1480	880–1480	630–1480
⁹⁰ Sr			
Зерно:			
Овес	7–10	6–9	5–7
Озимая пшеница	10	8	–

Продолжение таблицы 3.1.3

1	2	3	4
Озимая рожь	11–14	9–113	8–10
Ячмень	6–8	5–7	5–6
Горох	5–8	3–6	3–4
Картофель столовый	10–25	9–21	5–11

Примечание: * – слабокультуренные почвы при содержании K_2O менее 80 мг/кг почвы; ** – окультуренные почвы при оптимальных агрохимических свойствах.

Таблица 3.1.4. – Ограничения плотности загрязнения почв цезием-137 при возделывании кормовых культур для производства молока и мяса согласно РДУ-99

Продукция, культура	Дерново-подзолистые почвы, кБк/м ²			Торфя- ные почвы
	Суглини- стые	Супесча- ные	Песчаные	
Молоко цельное				
Зерно овса	999*–1480**	703–1480	555–1480	
Зерно люпина	407–629	296–444	222–333	
Зерно гороха	407–814	333–92	159–444	
Зерно вики	851–1480	592–1110	444–851	
Солома овса	925–1480	629–1480	481–1480	
Сено улучшенных сенокосов	777–1480	555–1258	407–703	74–148
Сено естественных сенокосов (пойма)	481–925	407–740	259–444	
Зеленый клевер	1258–1480	851–1480	666–1184	
Зеленые многолетние злаки улучшенных пастбищ	407–1480	333–740	222–407	37–111
Естественные пастбища (пойма)	120–555	222–444	148–259	
Заключительный откорм КРС				
Зерно люпина	1110– 480	777–1184	592–925	
Зерно гороха	1221–1480	888–1480	666–1184	
Сено улучшенных сенокосов	777–480	555–1258	407–703	74–148
Сено естественных сенокосов (пойма)	481–925	407–740	259–444	
Зеленый клевер	1480	1258–1480	962–1480	
Зеленые многолетние злаки улучшенных пастбищ	666–1258	481–1073	333–592	74–148
Естественные пастбища (пойма)	407–814	333–629	222–407	

Примечание: * – слабокультуренные почвы при содержании K_2O менее 80 мг/кг почвы; ** – окультуренные почвы при оптимальных агрохимических свойствах почв.

Таблица 3.1.5. – Ограничения плотности загрязнения почв стронцием-90 при возделывании кормовых культур для производства молока цельного и молока сырья

Продукция, культура	Дерново-подзолистые почвы, кБк/м ²			Торфяные почвы
	Суглинистые	Супесчаные	Песчаные	
Молоко цельное				
Зерно озимой ржи	96*–126**	851–115	74–93	
Зерно овса	59–81	56–78	48–67	
Зерно ячменя	59–78	48–59	37–56	
Зерно гороха	44–70	30–48	22–37	
Зерно люпина	26–37	19–26	15–19	
Солома овса	33–41	26–41	22–33	
Солома ячменя	30–37	22–30	19–26	
Сено злаковых трав улучшенных сенокосов	19–30	19–30	15–19	11–15
Сено клевера	7–19	7–15	7–11	
Сено естественных сенокосов (пойма)	15–19	7–15	7–11	
Кормовая свекла	41–63	37–59	26–37	
Зеленая масса кукурузы	26–37	19–26	15–19	
Зеленые злаковые травы улучшенных пастбищ	15–19	11–19	7–19	4–7
Пастбища естественные (пойма)	7–15	7–11	4–7	
Производство молока-сырья для переработки на сливочное масло				
Сено злаковых трав улучшенных сенокосов	93–111	74–111	63–100	56–81
Сено клевера	37–85	33–52	30–41	
Зеленые злаковые травы улучшенных пастбищ	63–100	56–96	41–67	26–37
Пастбища естественные (пойма)	37–70	30–48	22–37	

Примечание: * – слабокультуренные почвы с рН менее 4,5;

** – окультуренные почвы при оптимальных показателях кислотности

После установления факта необходимости защитных мероприятий следующим этапом классификации хозяйств по потребности в проведении реабилитации является определение степени потребности в их применении. Проведение адресной реабилитации, направленной на получение максимального эффекта от применяемых мер с минимальными дополнительными финансовыми вложениями, основывается на классификации хозяйств, проведенной по следующим критериям:

- риску (вероятности) производства сельскохозяйственной продукции с содержанием стронция-90 и цезия-137, превышающим нормативы (СанПиН-2.3.2.1078-01, РДУ-99);

- плотности загрязнения сельскохозяйственных угодий.

По плотности загрязнения цезием-137 классифицируют хозяйства на основании следующих градаций: 37 – 185 кБк м⁻², 185 – 555 кБк м⁻², 555 – 740 кБк м⁻² и более 740 кБк м⁻².

Для стронция-90, на основании опыта ликвидации последствий аварии на НПО «Маяк» (Южный Урал), выделяют следующие зоны плотности загрязнения: <11,1; 11,1– 111; >111 кБк/м². По степени риска превышения нормативов (СанПиН-2.3.2.1078-01, РДУ-99) проводят следующую группировку хозяйств: 0, 0–10, 10–50, 50–90 и более 90 %.

При классификации сельскохозяйственных предприятий в загрязненных областях Беларуси по степени риска превышения нормативов РДУ-99 в продукции растениеводства и кормах установлено, что в республике насчитывается 92,1 тыс. га пахотных почв, загрязненных стронцием-90 с плотностью 11,1–37,0 кБк/м², где имеются периодические случаи получения продукции растениеводства с превышением нормативов РДУ-99. На 11 тыс. га кормовых угодий с плотностью загрязнения выше 37 кБк/м² наблюдается превышение содержания стронция-90 во всех видах грубых кормов, которые не пригодны для производства молока и могут быть использованы только для скармливания скоту при производстве мяса и частично молока-сырья. На площади 18,6 тыс. га пока невозможно производство зерна и картофеля.

Проведенный анализ 669 сельскохозяйственных предприятий, расположенных в загрязнённых районах Гомельской, Могилевской и Брестской областей, по степени превышения нормативов РДУ-99 в продукции животноводства показал, что в 29 хозяйствах без проведения полного комплекса защитных мероприятий риск производства молока с содержанием цезия-137 более 100 Бк/л превышает 10 % (таблица 3.1.6).

Таблица 3.1.6. – Классификация коллективных хозяйств Гомельской, Могилевской и Брестской областей по степени риска получения молока с содержанием цезия-137 более 100 Бк/л

Риск превышения нормативов в продукции	Плотность загрязнения, кБк/м ²				
	<37	37–185	185–555	555–740	>740
Гомельская область					
0	135	90	39	0	0
0–10,0	2	114	35	4	6
10,0–50,0	0	4	13	1	2
Могилевская область					
0	12	75	24	0	0
0–10,0	0	7	15	0	4
10,0–50,0	0	0	5	0	1
Брестская область					
0	25	24	0	0	0
0–10,0	13	15	1	0	0
10,0–50,0	0	2	1	0	0

В Гомельской и Могилевской областях находится 40 % коллективных хозяйств с плотностью загрязнения пастбищ более 740 кБк/м², в которых уровень содержания цезия-137 в молоке без проведения контрмер составляет от 50 до 100 Бк/л. В Брестской области только в 7 % хозяйств возможно производство молока с содержанием цезия-137 менее 100 Бк/л, что обусловлено преобладанием в почвенном покрове торфяных почв.

Следовательно, и в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС, в наиболее загрязненных районах Беларуси и Российской Федерации ещё остается высоким риск производства сельскохозяйственной продукции с превышением нормативов, что определяет необходимость продолжения проведения защитных мероприятий в достаточно больших объемах.

К одному из принципов реабилитации агропроизводства в условиях радиоактивного загрязнения относится оптимизация использования пахотных земель и организация севооборотов. Согласно данному принципу, структура использования пашни на загрязненных радионуклидами пахотных землях должна предусматривать восстановление севооборотной системы, обеспечивающей повышение плодородия почвы, эффективное использование удобрений, а в итоге – наибольшую прибыль с единицы площади (Черныш А.Ф. и др., 2000).

В адаптивном земледелии при организации севооборотов принципиальным является формирование однородных по почвенно-ландшафтным и радиационно-экологическим условиям полей и рабочих участков, введение на каждом из них биологически правильного чередования культур по схемам, обеспечивающим получение ежегодного максимального экономического эффекта. Рабочие участки формируются на основе неоднородностей почвенного покрова с одинаковой или близкой к этому производительной способностью по отношению к отдельно взятым сельскохозяйственным культурам.

Группировка структур почвенного покрова пахотных земель по степени их пригодности для возделывания отдельных групп культур является основой для определения оптимальной структуры посевов и формирования севооборотов. Принципы построения и требования, предъявляемые к севооборотам, подходы к проектированию севооборотов, формированию полей, установлению типов севооборотов и удельного веса культур в них, а также схемы севооборотов должны быть адаптированы к условиям загрязнения пахотных земель радионуклидами.

Возделывание сельскохозяйственных культур в соответствии с законодательством Республики Беларусь разрешено на землях с плотностью загрязнения почв цезием-137 не более 40 Ки/км² и стронцием-90 не более 3 Ки/км².

Подбор культур по величине накопления радионуклидов в зависимости от плотности загрязнения почв является основой для определения оптимальной структуры посевов и формирования севооборотов.

Формирование полей севооборотов в процессе организации территории пахотных земель осуществляется двумя способами:

– первоначального выделения рабочих участков, однородных по степени производительной способности, с последующим формированием полей севооборотов и массивов самих севооборотов;

– формирования массивов севооборотов с последующим установлением их типов, видов, числа и размещения полей с последующим внутриполевым устройством территории (проектирование рабочих участков).

При первом способе рабочие участки формируются в пределах севооборотного массива. Исходной территориальной единицей являются микроструктуры – неоднородности почвенного покрова, определенного генезиса, одного из элементов мезорельефа: вершинного, склонового комплекса, комплекса днищ дренирующих

элементов. Рабочий участок может включать одну или несколько компактно расположенных микроструктур с одинаковой или близкой к этому производительной способностью неоднородностей почвенного покрова.

По возможности площадь рабочего участка должна быть не менее площади элементарного участка, выделяемого при агрохимическом обследовании.

Разделение рабочего участка на отдельно обрабатываемые производится при значительной степени неоднородности полевого контура по их производительной способности. При этом участки площадью до 3 га выделяются в порядке исключения при возможности их беспрепятственной обработки. В противном случае намечается их специальное использование (залужение, облесение и т.д.).

Поля севооборотов формируются из одного или нескольких рабочих участков с одинаковой или близкой к этому производительной способностью структур почвенного покрова и размещаются в пределах севооборотного массива относительно одинаковыми по площади. При формировании полей севооборотов по возможности сохраняются сложившиеся контуры, ограниченные в природе дорогами, лесополосами, каналами, ложбинами и т.д.

Предварительное заключение о сохранении границ ранее выделенных контуров полей дается на основании оценки производительной способности структуры посевных площадей поля. Окончательное решение принимается с участием специалистов хозяйства.

При проектировании полей выдерживаются общепринятые в землеустройстве требования к форме полей.

При втором способе массивы севооборотов формируются в пределах мезомакро- и мезоструктур неоднородностей почвенного покрова определенного генезиса, однородных по направленности и интенсивности эрозионно-денудационных процессов и образующих определенные типы рельефа. Степень пригодности почвенных комбинаций мезоструктур для возделывания сельскохозяйственных культур устанавливают по степени контрастности ПК: неконтрастные – наиболее пригодные; слабоконтрастные – пригодные; контрастные – малопригодные; сильноконтрастные – непригодные для отдельной культуры или группы в целом.

Тип севооборота для неоднородностей почвенного покрова устанавливается по соотношению величин коэффициентов контрастности каждой из культур. Например, почвенные комбинации моренных равнин с лессовидными покровными породами представлены сочетаниями: дерново-палево-подзолистых слабосмытых (15%),

среднесмытых (40 %), незродированных автоморфных (5 %); слабogleеватых (25 %), глееватых (15 %) слабо- и средненамытых легкосуглинистых почв, подстилаемых мореной около 1 м.

Коэффициенты контрастности полевого контура по отношению к ячменю, овсу, озимой ржи, картофелю, многолетним травам составляет, соответственно, – 1,65; 1,5; 1,75; 2,0; 1,35. По степени пригодности полевого контура культуры располагаются в следующий ряд: многолетние травы, овес, ячмень, озимая рожь, картофель. Учитывая высокую степень контрастности полевого контура по отношению к картофелю и низкую почвозащитную способность этой культуры, из севооборота его следует исключить. Невысокая разница коэффициентов контрастности между зерновыми культурами и многолетними травами, экономическая целесообразность позволяют отдать предпочтение зерновым. В итоге получается рекомендуемый тип севооборота – зернотравяной.

Определяя тип севооборота для определенных структур посевных площадей, учитывается не только их производительная способность, но и прогнозируемое накопление радионуклидов в растениеводческой продукции. При прогнозе используются средние значения коэффициентов перехода радионуклидов из почв-компонентов в растения, установленные для каждой культуры при плотности загрязнения почвы 1 Ки/км²

Земли с преобладанием загрязненных радионуклидами автоморфных почв. Плакорные пахотные земли с преобладанием автоморфных по увлажнению почв предпочтительны, особенно на суглинистых и супесчаных на моренных суглинках почвах, для размещения наиболее ценных и требовательных сельскохозяйственных культур, таких, как озимая и яровая пшеница, ячмень, горох, картофель, кормовые корнеплоды, кукуруза. Возделывание на данных землях многолетних бобовых трав или смеси их со злаковыми культурами должно практиковаться с целью поддержания плодородия почвы по таким важным показателям, как содержание органического вещества и накопление биологического азота (приложение У).

Земли с преобладанием загрязненных радионуклидами полугидроморфных почв. Выбор вариантов использования земель с преобладанием полугидроморфных почв (временно избыточно увлажненных, глееватых и глеевых) ограничен, с одной стороны, более высоким по сравнению с автоморфными почвами переходом радионуклидов из почвы в растения, а с другой – небольшим набором культур, устойчивых к переувлажнению. При использовании земель, имеющих в своём составе

полугидроморфные почвы, осложняется также проведением полевых работ, сокращается период вегетации, что затрудняет возделывание таких культур, как озимая пшеница и тритикале, яровая пшеница и ячмень, картофель, кормовые корнеплоды

Удельный вес заболоченных почв в составе пахотных земель невелик, однако размещение на них культур должно быть упорядочено. Наиболее пригодны структуры посевных площадей с преобладанием глееватых компонентов для многолетних трав, лядвенца рогатого, горохо-овсяной и вико-овсяной смесей, овса (таблица 3.1.7).

Таблица 3.1.7. – Рекомендуемые схемы севооборотов и чередование культур в них

Пахотные земли с преобладанием дерново-подзолистых, временно избыточно увлажненных на глинах и суглинках, супесчаных подстилаемых с глубины 0,5 м мореной	
1	2
1. Озимые на 3/м + одн. травы 2. Озимые 3. Клевер с тимофеевкой 4. Клевер с тимофеевкой 5. Ячмень + пожнивные 6. Пропашные 7. Ячмень 8. Клевер 9. Яр. зерновые	1. Озимая рожь + пожнивные 2. Пропашные 3. Ячмень 4. Мн.травы 5. Мн.травы 6. Ячмень 7. Лен 8. Яр. зерновые и зернобобовые
1. Озимые на 3/м + одн. травы 2. Озимая рожь + пожнивные 3. Ячмень 4. Пропашные 5. Клевер 6. Кукуруза 7. Ячмень	1. Ячмень + пожнивные 2. Пропашные 3. Ячмень 4. Мн.травы 5. Мн.травы 6. Озимые 7. З/бобовые
Пахотные земли с преобладанием дерново-подзолистых глееватых и глеевых, дерново-глеевых и торфяно-болотных до 1 м почв	
1–6. Мн. травы 7. Оз. рожь 8. Одн. травы	1–5. Мн. травы 6. Оз. рожь 7. Овес

Вопросы оптимизации структуры использования пашни, формирования севооборотов и организации территории на эродированных или эрозионно-опасных землях в каждом случае решаются на основе ландшафтного анализа территории.

Эрозионные процессы приводят к ухудшению агрофизических, агрохимических и микробиологических свойств почвы. Одно из негативных явлений, порождаемых поверхностным стоком, – увеличение вероятности проявления почвенной засухи на склонах из-за перераспределения влаги.

На эродированных землях особое значение имеет способность культур защищать почву от смыва и влиять на ее структурное состояние. Наиболее благоприятно влияют на структуру почвы и предотвращение ее смыва растения с хорошо развитой корневой системой, высоким проективным покрытием поверхности, не требующие обработки почвы в период вегетации. Этим условиям, в первую очередь, отвечают многолетние бобовые и злаковые травы или их смеси с коэффициентами почвозащитной способности 0,92–0,98.

Кроме этого, сельскохозяйственные культуры по-разному реагируют на степень эродированности почвы. В большей мере снижается урожайность у пропашных культур, меньше – у многолетних трав.

При формировании севооборотов и структуры посевов на эрозионных землях учитываются пригодность почв для возделывания сельскохозяйственных культур и их почвозащитная способность. Типы севооборотов и оптимальное соотношение в них культур определяются для земель с разной степенью эродированности почв на основе нормативных показателей противоэрозионной эффективности севооборотов (H_c). Установление нормативов противоэрозионной эффективности севооборотов осуществляется с использованием данных о почвозащитной способности отдельных культур и насыщения ими севооборота по формуле:

$$H_c = \frac{Kz_1 \circ S_1 + Kz_2 \circ S_2 + \dots Kz_n \circ S_n}{S_1 + S_2 + \dots S_n},$$

где H_c – нормативный показатель противоэрозионной эффективности севооборота;

Kz_1, Kz_2, Kz_n – коэффициенты почвозащитной способности отдельных культур,

S_1, S_2, S_n – насыщение севооборота отдельными культурами (%).

В таблице 3.1.8 приводятся типы севооборотов и оптимальное соотношение культур в них для эрозионных земель.

Таблица 3.1.8 – Типы севооборотов и соотношение культур в них для эрозионных земель

Степень смывости почвы, крутизна склона	Соотношение культур, %					НС	Типы севооборотов
	Пропашные	Яровые зерновые зернобобовые	Озимые зерновые	Однолетние травы	Многолетние травы		
Слабая, до 3°	28,7	14,2	28,7	14,2	14,2	0,63	Плодосменные
	14,2	28,7	28,7	14,2	14,2	0,70	
	25,0	25,0	25,0	-	25,0	0,71	
	14,2	28,7	14,2	14,2	28,7	0,72	
	12,5	25,0	37,5	-	25,0	0,77	
Средняя, 3–5°	-	28,6	28,6	14,2	28,6	0,82	Зерно-травяные
	-	28,6	42,8	-	28,6	0,85	
	-	30,0	30,0	-	40,0	0,86	
	-	20,0	40,0	-	40,0	0,88	
	-	25,0	25,0	-	50,0	0,88	
Сильная, более 5°	-	14,3	28,6	14,3	42,8	0,86	Травяно-зерновые
	-	14,2	14,2	14,2	57,4	0,88	
	-	-	14,2	14,2	71,6	0,92	
	-	-	33,0	-	67,0	0,95	
	-	-	20,0	-	80,0	0,96	

При формировании схем интенсивных плодосменных севооборотов основное внимание уделяется научно обоснованному размещению ведущих культур и срокам возврата их на прежнее место, а длина ротации и размер полей должны быть подчинены этой главной задаче с учетом расчлененности территории, степени однородности почвенного покрова, других хозяйственных условий.

В почвозащитных зернотравяных и травяно-зерновых севооборотах состав и порядок чередования культур должен предусматривать, в первую очередь, сохранение почвы от разрушения и восстановление ее плодородия. Это достигается за счет повышения удельного веса многолетних трав, обеспечивающих удлинение периода, в течение которого почва находится под защитой растений и стерни, а также увеличение количества поступающих в почву растительных остатков.

В умеренно эрозионных ландшафтах со слабосмытыми почвами (на склонах до 3°) рекомендуется вводить зернотравяно-пропашные (плодосменные) севообороты с показателями противоэрозионной эффективности 0,60–0,77. Пропашные культуры

могут занимать здесь до 25 %, зерновые – до 65 % и многолетние травы до 30 % (таблица 3.1.9).

Таблица 3.1.9. – Типы севооборотов с промежуточными культурами для эрозионных земель

(Н_с – 0,70)	(Н_с – 0,72)
1. Озимая рожь з/м + однолетние травы	1. Озимая рожь з/м + однолетние травы
2. Озимая рожь + пожнивные	2. Озимая рожь + пожнивные
3. Пропашные	3. Пропашные
4. Ячмень + клевер	4. Ячмень + многолетние травы
5. Клевер	5. Многолетние травы
6. Озимая пшеница + пожнивные	6. Многолетние травы
7. Овес	7. Яровая пшеница
(Н_с – 0,82)	(Н_с – 0,85)
1. Однолетние травы	1. Озимая рожь + клевер
2. Озимая рожь + многолетние травы	2. Клевер
3. Многолетние травы	3. Озимая пшеница + пожнивные
4. Многолетние травы	4. Овес
5. Озимая пшеница	5. Ячмень + клевер
6. Ячмень	6. Клевер
7. Овес	7. Озимая пшеница
(Н_с – 0,86)	(Н_с – 0,88)
1. Однолетние травы + клевер	1. Однолетние травы + мн. травы
2. Клевер	2. Многолетние травы
3. Ячмень	3. Многолетние травы
4. Озимая рожь	4. Многолетние травы
5. Овес + многолетние травы	5. Многолетние травы
6. Многолетние травы	6. Озимая рожь
7. Многолетние травы	7. Овес + пожнивные

Земли с преобладанием среднесмытых почв на склонах 3–5° целесообразно использовать в зернотравяных севооборотах с Н_с – 0,80–0,88. Возделывание пропашных культур исключается, многолетние травы должны занимать 30–50 %.

На эрозионных землях с уклоном выше 5° с сильно- и частично среднесмытыми почвами рекомендуется вводить травяно-зерновые севообороты (Н_с – 0,85–0,96). Доля многолетних трав здесь должна составлять не менее 50 %.

3.2. Особенности технологий растениеводства на загрязнённых территориях

Основой получения продукции растениеводства, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам, в условиях радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель является внедрение и использование научнообоснованной системы земледелия, которая включает комплекс организационных, агротехнических, мелиоративных мероприятий, усовершенствующих технологии возделывания культур с учётом радиологического фактора.

В Беларуси и России используются практически одинаковые приемы и способы снижения поступления радионуклидов в продукцию растениеводства: рациональное использование земель с учетом показателей почвенного плодородия и уровня их загрязнения радионуклидами; подбор видов и сортов культур с минимально возможными уровнями загрязнения; использование специальных технологических элементов при обработке почв; известкование кислых почв и внесение органических удобрений; применение повышенных доз фосфорно-калийных удобрений; использование средств защиты от болезней, вредителей и сорняков.

Одним из обязательных условий ведения растениеводства в условиях радиоактивного загрязнения является соблюдение требований технологических регламентов возделывания культур, которые в Беларуси представлены в «Отраслевых регламентах сельскохозяйственных культур», а в России – в «Федеральном регистре технологий возделывания сельскохозяйственных культур в зоне радиоактивного загрязнения территорий».

Комплекс технологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур включает размещение их по лучшим предшественникам, соблюдение сроков выполнения технологических операций, систему обработки почв и применения удобрений, подбор высокоурожайных сортов и т.п. Технологии возделывания сельскохозяйственных культур на радиоактивно загрязненных землях должны, с одной стороны, обеспечивать повышение почвенного плодородия и получение высоких урожаев, а с другой – производство продукции с содержанием радионуклидов, соответствующим санитарно-гигиеническим нормативам.

Организация растениеводства на загрязненной территории предполагает следующую последовательность действий:

- определение плотностей загрязнения земель, при которых невозможно получение продукции растениеводства, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам;

- подбор видов сортов сельскохозяйственных культур;
- определение перечня защитных мероприятий;
- разработка технологий возделывания культур.

Данные о допустимых плотностях загрязнения различных почв для возделывания основных сельскохозяйственных культур представлены в таблицах 3.1.1 и 3.1.3.

Возделывание культур на радиоактивно загрязненных территориях базируются на традиционных технологиях, однако в них включаются защитные приемы. В растениеводстве защитные приемы направлены на снижение подвижности радионуклидов в почвах и, благодаря этому, уменьшению их накопления в конечной продукции.

Наиболее распространенные приемы – известкование, внесение органических удобрений, использование сорбентов, изменение соотношения элементов питания в полном минеральном удобрении, использование микроудобрений и средств защиты.

Обработка почв на радиоактивно загрязненных территориях направлена на снижение накопления радионуклидов в урожае, уменьшение эрозионных процессов, предотвращение ветрового подъема и горизонтальной миграции радионуклидов. Рекомендуемые машины и орудия для обработки почв применяются как в Беларуси, так и в России, либо имеются орудия аналогичного типа.

Глубокая вспашка (с оборотом или без оборота пласта) проводится на вновь осваиваемых или залежных землях с мощным гумусовым горизонтом. Выполняется плантажными, болотными или специальными одноярусными плугами с предплужниками (ПБН-3-50А, ПНУ-4-40), а также ярусными плугами (ПСН-4-40, ПНЯ-4-42).

Традиционная отвальная система обработки почвы совершенствуется в направлении максимально возможного совмещения операций основной и дополнительных обработок, а также применения новых высокопроизводительных машин, таких, как луцильники ЛАГ-10(15), бороны БДТ-7(10), культиваторы чизельные КЧН (КЧП)-5.4, комбинированные агрегаты финишной обработки АКШ-7.2(3.6), особенно на землях со средне- и тяжелосуглинистыми почвами.

В качестве орудий дополнительной обработки почвы могут использоваться специализированные машины ППР-2.3, ПВР-3.5 (2.7; 2.3) или машины общего назначения – кольчато-шпоровые катки типа ККШ, зубовые бороны. Составляются комбинированные пахотные агрегаты при помощи унифицированного приспособления ППМ-7.

Под зерновые, однолетние травы рекомендуется применение неглубокой (10–14 см) обработки чизельными культиваторами с

последующим применением предпосевной обработки. Лучшим вариантом является выполнение обработки за один, максимум два прохода комбинированными почвозащитными агрегатами АЧУ-2.8, АКП-3.9Б.

При высокой плотности загрязнения цезием-137 (585–1480 кБк/м²) и стронцием-90 (37–111 кБк/м²) рекомендуется комбинированная система обработки почвы. Она включает чередование минимальных обработок с ярусной отвальной вспашкой 1–2 раза в севообороте при одновременной заделке органических удобрений и сидератов. Глубина ярусной вспашки не должна превышать мощности пахотного горизонта. Для этой цели разработан комбинированный агрегат АКЯ-4-42.

Система обработки почвы на загрязненных радионуклидами землях, подверженных водной и ветровой эрозии, дифференцируется по агротехнологическим группам земель в зависимости от степени их эрозионной опасности. На слабо эродированных землях с величиной смыва почвы до 2 т/га и дефляцией 1–3 т/га в год (I-я группа) в интенсивных зернопропашных и плодосменных севооборотах основная обработка почвы такая же, как и на незэродированных почвах.

На эродированных землях с величиной смыва почвы 2–5 т/га в год (II-я группа) рекомендуется применять комбинированные отвально-безотвальные способы основной обработки, выполняемые контурно. Безотвальные поверхностная, чизельная и плоскорезная обработки проводятся в севооборотах под озимые и яровые зерновые культуры. После стерневого предшественника чизельную обработку следует проводить за два прохода: первая – на глубину 14–15 см, вторая – на глубину пахотного слоя при прорастании семян малолетних сорняков, появлении «шилец» пырея и розеток осота. Плоскорезная обработка почвы выполняется на глубину пахотного слоя или на 3–4 см глубже. В качестве дополнительного противоэрозионного приема под пропашные культуры рекомендуется вспашка с рыхлением подпахотного горизонта 1 раз в 3–4 года на глубину 35–40 см.

На эродированных и дефлированных землях с величиной смыва и дефляции почв более 5 т/га в год (земли III-й, IV-й, V-й групп), на которых вводятся почвозащитные зернотравяные и травяно-зерновые севообороты, следует проводить безотвальные разноглубинные обработки (контурно). Отвальная вспашка проводится только после многолетних трав. Как дополнительный противоэрозионный прием рекомендуется предзимнее щелевание зяби, озимых культур и многолетних трав на глубину 45–50 см при

промерзании почвы не глубже 3–5 см. На склонах крутизной до 3° расстояние между щелями 5–8 м, на склонах 3–5 – 3–5 м, более 5 – 1,5–3,0 м.

Для безотвальной обработки почвы используются дисковые (БДТ-3,0, БДТ-7,0) или плоскорезы (КПШ-5, КПШ-9, КПЭ-3,8), для безотвальной чизельной обработки – чизель-культиваторы КЧ-5,1, КЧН-5,4, КЧН-1,8; для поверхностной обработки – комбинированный агрегат, включающий культиватор-глубококорытитель-плоскорез (КПГ-2,2, ПГ-3-100, КПГ-250) и борону игольчатую (БИГ-3А). Вспашка с почвоуглублением выполняется плугом с почвоуглубителем или вырезным отвалом, предзимнее щелевание – щелевателями ЩН-2-140, ЩН-5-40, ЩП-3-70, РЩ-3,5.

Кроме обработки одним из важнейших приёмов является известкование почв. Оно направлено на улучшение физико-химических свойств почв и уменьшение подвижности радионуклидов и тяжелых металлов. Для определения дозы известки вводится поправочный коэффициент, учитывающий плотность загрязнения угодий, при этом дозы известки увеличиваются 1,5–2 раза.

Для достижения оптимального уровня кислотности почвы применяются уточненные дозы известки, дифференцированные по плотности радиоактивного загрязнения и гранулометрическому составу почв (таблица 3.2.1). При плотности загрязнения 37–185 кБк/м² цезием-137 и 5,55–11,1 кБк/м² стронцием-90 дозы известковых мелиорантов увеличиваются на торфяных почвах, рыхло-супесчаные с рН_{КСИ} 5,51–5,75 и связно-супесчаных с рН_{КСИ} 5,51–6,00.

Таблица 3.2.1. – Рекомендуемые дозы внесения известковых материалов для почв, подвергшихся радиоактивному загрязнению, в зависимости от степени их кислотности

Степень кислотности почв (рН _{КСИ})	Дозы СаСО ₃ (т/га) при различных уровнях загрязнения ¹³⁷ Cs		
	I	II	III
Сильнокислые (4,5)	8,0	9,0	10,0
Среднекислые (4,6–5,0)	6,0	8,0	9,0
Слабокислые (5,1–5,5)	5,0	7,0	9,0
Близкие к нейтральным (5,6–6,0)	3,0	6,0	8,0
Нейтральные (около 7)	-	5,0*	6,0

Примечание: Уровни загрязнения ¹³⁷Cs: I – 37–185 кБк/м²; II – 185–555 кБк/м²; III – 555–1480 кБк/м²

При плотности загрязнения 185–1480 кБк/м² цезием-137 или 11,1–111 кБк/м² стронцием-90 дозы известковых удобрений повышаются из расчета доведения реакции почвенной среды до оптимального уровня за один прием. В случае, когда разовая доза превышает 8 т/га, известь вносится в два приема: 0,5 дозы под вспашку и 0,5 дозы под культивацию. На сенокосах и пастбищах известь вносится под предпосевную культивацию при перепахивании или коренном улучшении (приложение К).

Первоочередному известкованию подлежат почвы I–II групп кислотности в связи с высоким переходом радионуклидов из почвы в растения.

В отношении применения удобрений рекомендовано следующее.

Органические удобрения вносят в повышенных в 1,5–2,0 раза дозах (40–100 т/га) под наиболее отзывчивые культуры. Используются все имеющиеся источники обогащения почв органическим веществом – навоз, солома, зеленые удобрения, а при небольшом радиусе перевозок (до 30–40 км) – торф. Под сельскохозяйственные культуры рекомендуются те же дозы органических удобрений, что и на незагрязненных радионуклидами землях.

Минеральные удобрения. На загрязненных землях для обеспечения получения продукции растениеводства с минимальным содержанием радионуклидов рекомендуется вносить фосфорно-калийные удобрения в дозах не ниже суммы основной и дополнительной доз.

Фосфорные удобрения способствуют закреплению радионуклидов в почвах. Рекомендуется вносить фосфорные удобрения для снижения перехода стронция-90 сельскохозяйственные растения в соотношении N:P как 1:2; для снижения перехода цезия-137 – 1:1,5. Для того, чтобы повысить содержание в почве подвижных форм фосфора на 10 мг/кг необходимо сверх выноса с урожаем вносить на суглинистых почвах 62 кг, на супесчаных 57 кг P₂O₅ на 1 га. Рекомендуется на загрязненных землях обеспечить внесение минимума фосфорных удобрений, необходимого для сбалансированного питания сельскохозяйственных культур, с учетом содержания подвижных фосфатов в почве (приложение Л).

Калийные удобрения обеспечивают снижение поступления цезия-137 в растения за счет антагонизма катионов цезия и калия в почвенном растворе, а также значительной прибавки урожая культур на бедных калием дерново-подзолистых почвах. Наибольшая эффективность снижения накопления радионуклида

достигается при соотношении N:P:K = 1:1,5:2; для стронция-90 N:P:K = 1:2:1,5. Для того, чтобы повысить содержание в почве подвижных форм калия на 10 мг/кг необходимо сверх выноса с урожаем вносить на суглинистых почвах 52 кг, на супесчаных 69 кг K₂O на 1 га (приложение М).

На почвах с высоким содержанием обменного калия (содержание K₂O более 300 мг/кг на минеральных и 1000 мг/кг на торфяно-болотных почвах) предусматривается внесение минимальных основных доз калийных удобрений из расчета компенсации 50 % выноса калия с урожаем.

Азотные удобрения – расчет доз азотных удобрений проводят исходя из потребности в азоте для формирования планируемого урожая. Оптимизации азотного питания растений способствует применение аммиачной формы азота в виде медленнодействующих карбамида (Co(NH₂)₂) и сульфата аммония (NH₄)₂SO₄ с добавкой гуматов и других биологически активных компонентов (приложение Н).

В Беларуси комплексное азотно-фосфорно-калийное удобрение марки N:P:K = 5:16:35 с «Гидрогуматом» рекомендуется вносить под озимые зерновые культуры с осени. Весной проводится подкормка только азотными удобрениями. Комплексное азотно-фосфорно-калийное удобрение марки N:P:K = 16:12:20 с «Феномеланом» рекомендуется для основного внесения в почву под яровые зерновые культуры, картофель, овощные и другие культуры (Подольяк А.Г. и др., 2001).

Микроудобрения. Микроэлементы выполняют важнейшие функции в процессах жизнедеятельности растений и являются необходимым звеном системы удобрения сельскохозяйственных культур. Недостаточное содержание их подвижных форм в почве зачастую является фактором, лимитирующим формирование урожая сельскохозяйственных культур и качества продукции. Микроудобрения применяются в виде некорневых подкормок на почвах с рН более 6,0 (приложение П).

Система защиты растений от вредителей и болезней. Организация защиты растений на загрязненных территориях проводится в соответствии с существующими зональными рекомендациями. В случае ведения растениеводства с использованием специальных приемов, направленных на снижение поступления радионуклидов в продукцию (увеличение норм внесения минеральных удобрений, дополнительное известкование почв и др.), планирование защитных мероприятий осуществляется с учетом вносимых в технологии изменений. При этом особое внимание уделяется организации защиты растений при

перепрофилировании хозяйств и внедрении нетрадиционных для данной зоны культур.

В системе защиты растений необходимо соблюдать и выполнять следующие требования:

– прогнозировать состояния популяций вредителей и болезней, характеризующих фитосанитарную обстановку;

– применять районированные сорта сельскохозяйственных культур;

– использовать биологические методы борьбы с вредными организмами за счет сохранения и активизации природных механизмов регуляции их численности в агроценозах;

– использовать методы, оптимизирующие фитосанитарную обстановку в посевах сельскохозяйственных культур за счет проведения профилактических мероприятий (предпосевная обработка семян химическими препаратами, микробиологическими и биологически активными веществами, комплексными соединениями с биологической активностью);

– применять химические методы борьбы с вредными организмами на основе современного ассортимента пестицидов.

В Беларуси мероприятия по защите растений на территориях с плотностью загрязнения цезием-137 менее 585 кБк/м² строятся на основе ассортимента средств защиты и регламентов их применения, приведенные в «Каталоге средств защиты, разрешенных для применения в Республике Беларусь на 2000–2010 гг.» Республиканской государственной станции защиты растений. В России для этих целей руководствуются «Государственным каталогом пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ» (Официальное издание. Госхимкомиссия Минсельхоза РФ, 2004).

В Республике Беларусь к основным культурам, культивируемым на загрязненной территории, относятся **зерновые культуры**. Зерновые культуры характеризуются невысокими коэффициентами накопления радионуклидов, что обуславливает возможность их выращивания при достаточно высоких уровнях загрязнения цезием-137 до 1480–1750, стронцием-90 до 14 кБк/м².

Основным требованием при возделывании зерновых культур является соблюдение зональных технологий их возделывания. При этом можно выделить некоторые элементы технологий, которые способствуют снижению накопления радионуклидов в растениях, в частности: известкование кислых почв, оптимальные дозы внесения минеральных удобрений, применение органических удобрений.

Технологии предусматривают основную обработку и предпосевную обработку почв, применение известкования и минеральных удобрений.

Основная обработка почвы зависит от предшественника. После чистого пара применяют лущение стерни, вспашку, боронование и культивацию. После однолетних травосмесей используют поверхностную обработку, дискование.

Предпосевная обработка включает боронование, предпосевное прикатывание.

Известкование загрязненных кислых почв способствует снижению поступления радионуклидов в зерновые культуры в 1,2–2,0 раза.

Комплексное применение органических и минеральных удобрений ($N_{90-135}P_{60-90}K_{90-120}$) является более эффективным приемом получения зерна с наименьшим содержанием радионуклидов, чем внесение одних минеральных удобрений (таблица 3.2.2).

Таблица 3.2.2 – Рекомендуемые дозы внесения удобрений под зерновые культуры и картофель для почв различной степени загрязнения радионуклидами

Культура	Органические удобрения, т/га			Дозы минеральных удобрений (кг/га д.в.) с учетом плотности загрязнения почв								
				Азот			Фосфор			Калий		
	Уровни загрязнения ^{137}Cs											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Озимая рожь	30	40	60	60	60	90	60	90	90	60	90	120
Озимая пшеница	30	40	50	60	60	90	60	90	90	60	90	120
Ячмень	-	-	-	60	60	90	60	90	90	60	90	120
Овес	-	-	-	60	60	90	60	90	90	60	90	120
Картофель	50	60	80	60	60	90	60	90	90	60	90	120

Примечание: Уровни загрязнения ^{137}Cs : I – 37–185 кБк/м²; II – 185–555 кБк/м²; III – 555–1480 кБк/м².

Азотные удобрения вносятся в расчете на планируемый урожай, так как их повышенные дозы приводят к увеличению перехода радионуклидов в продукцию. Сбалансированное внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений в соотношении N:P:K = 1:1:1,5 и N:P:K = 1:1,5:2 позволяет получать продовольственное зерно в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями.

Путем подбора сортов зерновых культур, накапливающих наименьшее количество радионуклидов, загрязнение зерна озимой ржи можно уменьшить в 2–7 раз, озимой пшеницы – в 1,5–5 раз, яровой пшеницы – 2–4 раза, ячменя и овса – в 1,5–3 раза.

Картофель. Лучшие предшественники под картофель – озимые и однолетние бобовые. Картофель можно возделывать при плотности загрязнения дерново-подзолистых почв цезием-137 до 1480 кБк/м². В связи с тем, что при возделывании картофеля много используется ручного труда, то под него рекомендуется выделять поля с меньшей плотностью загрязнения.

Подготовка почвы под картофель складывается из основной или зяблевой и предпосевной обработки почвы. После зерновых однолетних трав основная обработка состоит из лущения почвы дисковыми лущильниками (ЛДГ-5; ЛДГ-10) на глубину 8–10 см вслед за уборкой предшественника. Через 2–3 недели после лущения проводят вспашку на глубину 20–22 см плугами ПЛН-3-35, ПН-4-35. Основную обработку почвы под картофель и пропашные культуры проводят плугом ПФ-2,2. После зяблевой обработки (особенно ранней), чтобы уничтожить сорняки и разрыхлить почву для лучшего накопления осенних и зимних осадков, культивация проводится в направлении, перпендикулярном проходу агрегата при предыдущей обработке в начале сентября после прорастания сорняков.

Весенняя предпосевная подготовка почвы включает боронование на глубину 5–7 см или культивацию на глубину 10–14 см с боронованием по мере подсыхания почвы (КПС-4; БЗСС-1), а также выравнивание поверхности, безотвальное рыхление и нарезку гребней не ранее 2–3 дней до посадки клубней картофеля.

Внесение органических, а также и минеральных удобрений под картофель дает прибавку урожая до 50 %. Применение навоза и торфо-навозного компоста в дозе 40 т/га снижает накопление цезия-137 в клубнях картофеля в 1,5–2 раза.

Приготовление торфо-навозных компостов проводят в течение зимнего периода в штабелях 200–250 т с соотношением торфа к навозу 1:1. Под планируемый урожай клубней картофеля в количестве 250–300 ц/га рекомендуется вносить 80–100 т/га органических удобрений во 2–3-й декаде апреля – РПТМ-4; ПРТ-10. При возделывании раннего картофеля органические удобрения следует вносить осенью под зяблевую обработку. Зеленое удобрение под картофель (люпин, сераделлу) запахивают в первой декаде августа.

Дозы минеральных удобрений под картофель рассчитываются, исходя из показателей почвенного плодородия и планируемого

урожая. Внесение минеральных удобрений (1РМГ-4; РУМ-5; КСА-3) в дозах $N_{150-170}P_{60-120}K_{150-180}$ обеспечивает получение 250–300 ц/га клубней. Азотные удобрения вносят дробно: 60 кг/га д.в. – в основное внесение весной под перепашку и 60–80 кг д.в. на 1 га в подкормку через 15–20 дней после всходов. При посадке обязательно вносят $N_{30}P_{30}K_{30}$ в виде сложного удобрения. На песчаных и супесчаных почвах калийные удобрения целесообразно вносить весной, а на более тяжелых по механическому составу почвах – с осени под плужную обработку.

Микроудобрения (В, Cu, Zn, Mo и др.) повышают устойчивость картофеля к фитофторе. Установлено, что обработка вегетирующих посадок картофеля 0,01 % раствором гумата натрия уменьшает накопление цезия-137 в клубнях в 1,2–1,5 раза.

Подбор сортов картофеля, накапливающих наименьшее количество радионуклидов, относится к перспективным приемам. Межсортовые различия в накоплении цезия-137 в клубнях картофеля могут достигать 1,5–3,0 раза.

О защите посевов. Применение пестицидов против колорадского жука в посадках картофеля рекомендуется сочетать с опрыскиванием растений 0,01 % раствором гумата натрия. Для предотвращения накопления пестицидов в картофеле необходимо строго соблюдать рекомендуемые нормы расхода и сроки последней обработки перед уборкой урожая.

К уходу за посевами относится: первая довсходовая обработка посадок картофеля культиватором с сетчатой или ротационной бороной проводится через 3–7 дней после посадки; вторая междурядная обработка с боронованием – через 5–7 дней после первой; формирование гребней по всходам; окучивание (КОН-2,8). Уборку картофеля осуществляют комбайнами (ККУ-2А) или выкапывают копалками.

Кормовые культуры на пашне. Среди кормовых культур особое место занимает кукуруза. Кукуруза как силосная культура может возделываться в севооборотах на всей территории Республики Беларусь с любой плотностью радиоактивного загрязнения, на чистых от сорняков полях, рыхлых, хорошо аэрируемых почвах с рН(сол.) 5,5–7,0.

Лучшими предшественниками кукурузы являются озимые зерновые, зернобобовые, корне- и клубнеплоды.

Обязательный прием при обработке почвы осенью – лушение стерни с последующей глубокой вспашкой. Лушение рекомендуется проводить дважды: первый раз на глубину 6–8 см и второй – 10–12 см. При возделывании кукурузы в севообороте следует

применять и разноглубинную вспашку, чтобы избежать образования плужной подошвы при пахоте на постоянную глубину. Уплотненный слой затрудняет проникновение корней кукурузы в более глубокие слои и ухудшает условия питания. При возделывании кукурузы основную обработку почвы можно проводить фронтальным плугом (ПФ-2,2) или чизельным плугом.

Под кукурузу в качестве основного удобрения рекомендуется вносить 20–40 т/га навоза или компостов в зависимости от плодородия почвы. Под планируемый урожай зеленой массы кукурузы 400–600 ц/га на дерново-подзолистой почве вносят основное удобрение $N_{120}P_{90}K_{120}$ на фоне 20–40 т/га органических удобрений. Локально при посеве вносят 5–10 кг P_2O_5 , 5–10 кг N и 5–10 кг K_2O на 1 га, лучше в виде сложного удобрения. Доза минеральных удобрений – при основном внесении может быть увеличена, исходя из уровня плодородия почвы и плотности загрязнения цезием-137 и составляет $N_{120}P_{180}K_{180}$.

Азотные удобрения вносят дробно: 50–60 % весной, перед обработкой почвы, а остальное количество – в подкормку. Начинают проводить подкормки в фазе образования кукурузой 4–6 листьев. Удобрения вносят культиваторами – растениепитателями во влажный слой почвы.

Кукуруза очень чувствительна к недостатку в почвах бора, марганца и цинка. Микроудобрения повышают урожай кукурузы.

Применение полного минерального удобрения в дозе $N_{120}P_{180}K_{210}$ снижает поступление цезия-137 в вегетативную массу кукурузы в 2,0 раза. Такой же эффект получен при внесении органических удобрений (40 т/га) и совместно фосфорных (P_{120}) и калийных (K_{180}) удобрений. Внесение микроудобрений ограничивает переход цезия-137 в зеленую массу кукурузы в 1,1–1,3 раза.

К посеву кукурузы приступают обычно при прогревании почвы на глубине заделки семян до 10–12°C. Семена кукурузы калибруют и протравливают перед посевом.

Кукурузу на силос высевают пунктирным, квадратно-гнездовым и обычным широкорядным способами. Норма высева семян от 30 до 100 кг/га, глубина заделки семян 4–6 см. При выращивании кукурузы на зеленый корм густота стояния растений должна быть 120–200 тыс. на 1 га.

Что касается ухода за посевами, то для разрушения образующейся корки и уничтожения прорастающих сорняков на 4–5-й день после посева проводят боронование. Зубья борон должны погружаться в почву на 1–2 см мельче глубины заделки семян кукурузы. Боронуют обычно поперек направления посева.

Если после появления всходов на поле образуется корка, ее разрушают ротационными мотыгами.

В начальный период кукуруза растет медленно и может заглушаться сорняками. Для борьбы с сорняками посевы боронуют по всходам в фазе образования 3–6 листьев.

В зависимости от способа посева проводят 2–3 междурядные обработки культивацией. Глубину культиваций постепенно уменьшают. Первую культивацию проводят в фазе 3–5 листьев, вторую примерно через 2 недели после первой, третью – при высоте растений 60–70 см. Механическими способами не всегда удается уничтожить сорняки в посевах кукурузы. Для борьбы с сорной растительностью используют гербициды. При использовании гербицидов возможно сокращение числа культиваций.

Совмещение нескольких технологических операций по уходу за посевом кукурузы, убираемой на силос, снижает загрязнение растений почвенными частицами. Заготовка кукурузы на силос осуществляется в сухую погоду. Уборку кукурузы (и других культур на зеленый корм) во влажную погоду повышает загрязнение силосной массы цезием-137 за счет привносимых частиц почвы на 20–40 %. С целью исключения вторичного загрязнения зеленой массы, уборку кормовых культур на зеленый корм (кукурузы на силос) проводят при высоте среза растений не менее 20–25 см.

Овощеводство. Возделыванию овощных культур с каждым годом уделяется всё большее внимание, так как они занимают важнейшее место как среди продуктов питания, так и кормовых средств. Для размещения овощных культур подбирают наиболее окультуренные участки с минимальной плотностью загрязнения почвы радионуклидами. При выращивании корнеплодов столовой моркови и свеклы плотность загрязнения дерново-подзолистых песчаных почв цезием-137 должна быть менее 370 кБк/м². Возделывание овощных культур на зелень, особенно щавеля, при загрязнении почв цезием-137 свыше 185 кБк/м² не рекомендуется. Торфяно-болотные почвы непригодны для возделывания овощных культур (Подоляк А.Г., 2007).

Овощные культуры возделывают на самых плодородных почвах со слабокислой (рН_{KCl} 5,5–6,0) или (рН_{KCl} 6,5–7,0) реакцией почвенного раствора.

Овощные культуры возделывают в кормовых и полевых севооборотах. При чередовании культур в севооборотах рекомендуется придерживаться основных правил проведения работ: 1) органические удобрения вносят под наиболее ценные культуры в дозе более 50 т/га; на второй и третий годы после



внесения органических удобрений размещают культуры, у которых при возделывании по свежеснесенному навозу снижается качество продукции или затягивается созревание; 2) после требовательных к содержанию питательных веществ и влаги культур размещают менее требовательные; 3) представители одного и того же семейства не должны возвращаться на данное поле по истечению срока сохранения в почве возбудителей болезней и вредителей, специфических для данного семейства растений; 4) ранозревающие культуры служат предшественником для рано высеваемых и высаживаемых овощных культур; 5) культуры, для которых необходима нейтральная реакция почвенного раствора, следует размещать на поле, где проводилось известкование; 6) сильно угнетаемые сорняками культуры возделывают после культур, агротехника и биологические особенности которых способствуют очищению полей от сорных растений.

Обработка почвы под овощные культуры после уборки предшественника включает лущение на глубину 6–8 см и зяблевую вспашку. На радиоактивно загрязненных угодьях возрастает значение заглубленной безотвальной обработки почвы, которая способствует перераспределению радионуклидов по пахотному горизонту и удалению их за пределы слоя 0–20 см, повышению эффективности борьбы с сорняками. При вспашке почвы с оборотом пласта семена сорняков оказываются на разной глубине и всходят в течение всего лета, что требует многократной междурядной обработки. При безотвальной обработке почвы семена сорных растений остаются в верхнем слое и прорастают весной. Весенняя обработка заключается в раннем бороновании, шлейфовании и двукратной культивации. Первая весенняя культивация с последующим боронованием проводится в начале полевых работ на глубину 10–12 см, вторая – перед высадкой рассады, посева семян на глубину 8–10 см. Поверхность поля при возделывании овощных культур обязательно выравнивают.

При возделывании овощных культур необходимо по возможности исключать операции по уходу за посевами, сопровождаемые пылеобразованием, чтобы предотвратить вторичное загрязнение растений радионуклидами.

Одним из эффективных способов снижения поступления радионуклидов в овощную продукцию относится применение органических и минеральных удобрений. Нормы внесения органических удобрений определяются степенью окультуренности почвы. При всех уровнях радиоактивного загрязнения рекомендуется использование только перепревшего навоза или торфо-навозного

компоста. Доза внесения органических удобрений при возделывании томатов, столовой свеклы, лука-репки, зеленых овощей – 40 т/га, при выращивании капусты – 70 т/га, огурцов – до 120 т/га.

Повышенный вынос питательных веществ из почвы с урожаем овощных культур должен компенсироваться внесением минеральных удобрений. На почвах с низкой обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия дозы фосфорных удобрений должны быть не ниже 45–90 кг д.в. на 1 га, а калийных – 90–120 кг K_2O на 1 га. Дозы азотных удобрений зависят от планируемой урожайности овощных культур и должны быть невысокими: для бобовых – 0–30 кг азота на гектар, для столовой свеклы, моркови, томатов, огурца, капусты – 60–90 кг д.в. на 1 га. При одностороннем применении азотных удобрений в повышенных дозах, особенно при недостатке фосфора и калия, в почве наблюдается увеличение перехода радионуклидов в овощные культуры. Под овощные культуры рекомендуется обязательно вносить микроудобрения. Примерные дозы микроэлементов при внесении их под основную обработку почвы – бор – 1–2,5 кг, марганец – 1,5–3,0 кг, медь – 3–8 кг на гектар.

Хороший результат по уменьшению содержания в урожае радионуклидов и нитратов дает применение под овощные культуры новых форм медленно действующих карбамида и сульфата аммония с добавками гуматов и других биологически активных компонентов (в Беларуси их выпускает Гродненское ПО "Азот").

Наибольший положительный эффект в уменьшении поступления радионуклидов в овощные культуры наблюдается при комплексном внесении органических и полного минерального удобрения.

Подбор сортов овощных культур обеспечивает снижение накопления радионуклидов в продукции в 2–3 раза. Особенно необходим подбор сортов при возделывании редиса, свеклы столовой, многолетнего лука, фасоли, гороха и бобов.

3.2.1. Особенности ведения кормопроизводства

Ведение кормопроизводства на радиоактивно загрязненных территориях предусматривает обеспечение, с одной стороны, повышение продуктивности кормовых угодий, с другой, – снижение накопления радионуклидов в травостоях сенокосов и пастбищ до уровней, гарантирующих производство продукции животноводства, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам. К основным

принципам ведения лугопастбищного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения относится (Подольяк А.Г. и др., 2001–2013):

– дифференцированное использование луговых угодий в зависимости от типа луга, уровня загрязнения, свойств почв, ландшафтной характеристики и радиоэкологической классификации лугов;

– инвентаризация состояния пастбищных и сенокосных угодий, повышение их продуктивности, обеспечение оптимальной нагрузки животных при выпасе на пастбище;

– внедрение специализированных технологий улучшения кормовых угодий.

В соответствии с радиологическим паспортом на угодье, радиоэкологической классификацией луга, наличием сельскохозяйственных машин и орудий основан выбор технологических приемов – создание сеяного травостоя или его омоложение, осуществление коренного улучшения или поверхностного. Сюда же относится и на этом базируется обеспечение рационального использования кормовых угодий для выпаса животных

Технологические приемы, обеспечивающие рациональное использование кормовых угодий и повышение их продуктивности, разделяются на три группы: организационные (без дополнительных затрат), поверхностное улучшение (малозатратные) и коренное улучшение (высокозатратные).

Организационные приемы включают рациональное использование загрязненных угодий, составление плана пастбищеоборота и его соблюдение, создание культурных сенокосов и пастбищ, оптимальные сроки скашивания трав, проведение мероприятий по уходу за сенокосами и пастбищами, организацию системной пастьбы животных.

На радиоактивно загрязненных пастбищах рекомендуется использовать преимущественно загонную систему пастьбы животных. При такой системе вся площадь выпаса делится на участки, которые стравливаются поочередно. Длительность использования каждого загона устанавливается, исходя из продуктивности пастбища и не должна превышать более 5 дней. Высота трав при первом весеннем стравливании не допускается менее 10–12 см, а в течение последующего пастбищного периода – 8–10 см.

В пастбищный период переход радионуклидов в организм животных может увеличиваться за счет потребления почвенных частиц и дернины при несоблюдении норм нагрузки животных на единицу площади выпаса. При продуктивности кормовых угодий 100–120 ц/га и продолжительности использования пастбища 150–

170 дней на одну условную голову рекомендуется отводить в среднем 0,6–0,7 га площади выпаса.

Качество кормов (зеленый корм, силос, сенаж, сено) по питательности достигается регулированием сроков уборки: злаковые травосмеси скашивают в фазу колошения – начало цветения доминирующих злаков, уборка бобовых – начало цветения. Запоздывание со сроками уборки приводит к потере сухого вещества, снижению выхода перевариваемого протеина, увеличению содержания клетчатки и ухудшению переваримости кормов. Организационные приемы повышают продуктивность естественных кормовых угодий на 10–25 % и обеспечивают снижение содержания цезия-137 в сене до 1,2 раза. На радиоактивно загрязненных территориях учитываются следующие особенности создания и использования культурных кормовых угодий. Для создания культурных пастбищ и сенокосов наиболее пригодны почвы со сравнительно устойчивым увлажнением: автоморфные и временно избыточно увлажняемые почвы суглинистого и супесчаного гранулометрического состава, краткопоемные луга, осушенные минеральные и торфяно-болотные почвы. Непригодны заболоченные минеральные и торфяные почвы с неотрегулированным водным режимом (Подольск А.Г., 2002). На осушенных угодьях поступление радионуклидов в травостой зависит от положения уровня грунтовых вод (УГВ). Для большинства торфяных, торфяно- и торфянисто-глеевых почв минимальное поглощение растениями цезия-137 и стронция-90 достигается при положении уровня грунтовых вод на глубине 90–120 см от поверхности почвы. Подъем УГВ на глубину 40–50 см от поверхности почвы приводит к увеличению поступления радионуклидов в растения в 5–20 раз, а его снижение до 150–200 см – снижает переход радионуклидов в 1,5–2,0 раза (таблица 3.2.3).

Таблица 3.2.3. – Рекомендуемые диапазоны колебания уровней грунтовых вод для почв, загрязненных радионуклидами

Типы почв	Диапазоны колебания УГВ, м
1	2
Торфяные почвы, сформировавшиеся на тростниковых и осоковых отложениях и осоковых торфах, со степенью разложения 40–45 %	0,9–1,2
То же, на гипново-осоковых торфах со степенью разложения 35–40 %	0,8–1,1

Продолжение таблицы 3.2.3

1	2
То же, на древесных торфах со степенью разложения 45–55 %	0,7–1,0
Торфяно-глеевые почвы, подстилаемые песками с глубины 0,4–0,5 м	0,9–1,2
То же, при наличии на контакте торфа с песками оглеенной прослойки	0,7–1,0
Дерново-подзолистые песчаные почвы	0,8–1,1
Дерново-подзолистые супесчаные почвы	0,9–1,3
Дерново-подзолистые легкие суглинистые почвы	1,0–1,4
Дерново-подзолистые пылеватые суглинки	0,9–1,2

На территории с плотностью загрязнения цезием-137 более 185 кБк/м² в случаях, когда переустройство осушительно-увлажнительных систем не обеспечивает регулирование УГВ, проводится замена затворов ковшового и коробчатого типов на более совершенные, или регулирующая сеть углубляется до требуемой нормы осушения. Рекомендуется открытую мелиоративную сеть обслуживать путём периодического обкашивания и уборки кустарников, закрытый дренаж своевременно промывать и ремонтировать.

На осушенных пойменных землях для снижения перехода радионуклидов в травы целесообразно устройство летних самотечных полей при соответствующем культуртехническом их обустройстве, засыпке вымоин и понижений.

В отношении обработки почвы рекомендуется. На связных минеральных почвах периодически (через 4–5 лет) производить глубокое безотвальное рыхление подпахотного слоя почвы с включением мероприятий по организации поверхностного стока в режимах, исключающих эрозию почвы. Это стимулирует поглощение влаги корнями растений из подпахотного слоя почвы и снижает поступление радионуклидов в растения на 30–50 %.

Высокоурожайное кормопроизводство невозможно без использования минеральных удобрений. Для достижения продуктивности 30 ц кормовых единиц с гектара сенокосов, расположенных на минеральных почвах, дозы азотных удобрений должны составлять 120–150 кг/га д.в; на неминерализованных торфяно-болотных почвах доза азота снижается до 50–60 кг д.в. Для травостоев, состав которых на 30–40 % представлен бобовым

компонентом, дозы азотных удобрений не превышают 30–40 кг/га. При пастбищном использовании угодий азотные удобрения вносят под каждое стравливание по 40 кг/га д.в. или через одно стравливание по 60–80 кг.

Дозы фосфорных и калийных удобрений устанавливаются с учетом планируемой продуктивности и обеспеченности почв подвижными формами калия и фосфора, но не ниже доз, рекомендованных в приложениях Л и М. При низком содержании подвижных форм фосфора и калия в почвах (1 и 2 группы) дозы удобрений должны на 20–30 % превышать вынос питательных веществ с урожаем. При содержании их на уровне 3-ей и 4-ой групп обеспеченности внесение фосфорных и калийных удобрений должно примерно равняться выносу, при высоком содержании – составлять 60–70 % выноса. Фосфорные удобрения вносятся весной, азотные и калийные – под каждый укос или стравливание в дозе не более 90 кг/га.

Известкование кислых почв является одним из наиболее эффективных приемов снижения накопления радионуклидов в травостоях. Первоочередному известкованию подлежат почвы I–II групп кислотности (приложение К). Наиболее эффективно послойное внесение извести: $\frac{1}{2}$ нормы под основную обработку почвы и $\frac{1}{2}$ нормы – под дискование (разделка пласта после вспашки).

Создание или улучшение сенокосов и пастбищ проводится обычно на базе двух основных приемов – поверхностного или коренного переозеленения кормовых угодий.

Поверхностное улучшение предполагает сохранение естественной растительности полностью или частично. Для повышения продуктивности сенокосов и пастбищ и питательности кормов проводятся агротехнические приемы – внесение минеральных удобрений, подсев злаковых и бобовых трав – и культуртехнические мероприятия (удаление кустарника, мусора, кочек и кротовин, борьба с сорной луговой растительностью) (таблица 3.2.4). Поверхностное улучшение травостоя в первую очередь реализуется на эрозионно-опасных угодьях и низкопродуктивных пойменных лугах, засоренных непоедаемыми видами трав, имеющих закороченность и закустаренность менее 20 % (Подольск А.Г и др., 2001).

Таблица 3.2.4. – Обобщенные технологии поверхностного улучшения лугов

Тип луга	Характеристика травостоя	Основные операции	Машины и орудия
1	2	3	4
Суходольные	Ценный состав	Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений	АВВ-Ф-2,8
Суходольные	Засорен разнотравьем	Обработка гербицидами группы 2,4-Д + удобрение (NPK)	ОПШ-15 + 1РМГ-4А
Суходольные и кратко-пойменные	Средней плотности с отсутствием агрессивных злаков	Узкополосный подсев бобово-злаковых смесей + удобрение (РК), известкование	АРУП-8, РУП-5, СПФ-3.6, МД-3.6
	Плотный с наличием вегетативно размножающихся видов злаков	Широкополосный подсев бобово-злаковых смесей комбинированной машиной + удобрение (РК), известкование кислых почв	МПТД-3.8, ФБН-1.5+СН-16, АРУП-8, РУП-5, 1РМГ-4А
Пойменные и низинные	Ценный состав, незасоренный	Поверхностная подкормка твердыми минеральными удобрениями, внутрипочвенное внесение безводного аммиака	1РМГ-4А, АБА-0,5М
	Ценный состав, незасоренный, с корневищными злаками	Омоложение травостоя – фрезерование в 1 след + удобрение или дискование в 2–3 следа + удобрение	ФБН-1.5, БДТ-3,0, 1РМГ-4А
	Засорен разнотравьем	Уничтожение сорняков – обработка гербицидами группы 2,4Д (на сильно-засоренных – 2 раза) + удобрение	ОПШ-15+1РМГ-4А
	Изреженный	Подсев бобовых (5–6 кг/га)+удобрение (РК). Подсев злаков (8–12 кг/га)+NPK	СЗТ-3,6+1РМГ-4А СЛТ-3,6+1РМГ-4А

Продолжение таблицы 3.2.4

1	2	3	4
Низинные, пойменные низкого уровня, суходольные временно избыточного увлажнения	Ценный	Улучшение водно-воздушного режима дернины: нарезка щелей глубиной до 50 см (расстояние между щелями 50-100 см) + образование кротовин диаметром 8–16 см + удобрение	ЩН-2140+-1РМГ-4А; ЩН-3МО или 5-корпусный плуг со снятыми корпусами (вместо 1 и 5 корпусов ножи-щелперезы)
		Щелевание и удобрение: нарезка щелей глубиной 10–15 см с расстоянием 35–40 см + сплошное поверхностное внесение твердых минеральных удобрений	МАК-2,5 + 1РМГ-4А, АПК-2,8
На всех типах лугов	Заросшие кустарником (до 20%) или покрытые кочками (до 20%)	Удаление редкого кустарника + подсев трав + удобрение	КСП-20, БДТ-3,0, ЗКВГ-1.4, СЗТ-3,6 1РМГ-4А
		Уничтожение кочек + подсев трав + удобрение	ФБН-1.5, СЗТ-3,6, 1РМГ-4А, РУМ-8, КСА-3
		Уничтожение куртин кустарника и мелкоколосья химическими препаратами + подсев трав + внесение удобрений	ОПВ-1200, БДТ-3, ЗКВГ-1.4, СЗТ-3,6, 1РМГ-4А

На суходольных лугах, расположенных на дерново-подзолистых почвах, проводят поверхностное улучшение при наличии в травостое не менее 50–60 % ценных в кормовом отношении злаковых компонентов и содержании бобовых – не менее 25–30 %. На пойменных угодьях планируют поверхностное улучшение при наличии в травостое не менее 35–45 % ценных кормовых трав, а закустаренность и заочкаренность составляет менее 20 %. Использование подсева трав на пойменном сенокосе обеспечивает снижение цезия-137 в сене в 2,5 раза.

Поверхностное улучшение травостоя сенокосов и пастбищ повышает их продуктивность на 25–50 % при минимальных затратах, окупаемых в течение 1–2 лет. Наряду с общими показателями повышения продуктивности, поверхностное улучшение травостоя лугов способствует снижению перехода радионуклидов в луговые растения. При поверхностном улучшении природных сенокосов и пастбищ накопление цезия-137 в травостое снижается в 1,3–3,5 раза в зависимости от типа луга, свойств почвы, биологических особенностей подсеваемых трав, применения минеральных удобрений и качества проводимых работ по обновлению травостоя.

Коренное улучшение естественных сенокосов и пастбищ является одним из наиболее эффективных приемов как повышения продуктивности травостоев (в 3–5 раз), так и снижения перехода в них радионуклидов (в 2–10 раз). Коренному улучшению подлежат все кормовые угодья, расположенные в зоне жесткого радиационного контроля. Основным способом создания сеяных сенокосов и пастбищ является ускоренное залужение – посев трав в год освоения луга. Выбор технологии основной обработки почвы зависит от мощности дернины, ее строения и связности, условий увлажнения почв, рельефа местности, глубины залегания грунтовых вод, периода затопления и т.п. (Подольяк А.Г. и др., 2001–2013).

Основными способами при обработке почвы являются вспашка, дискование, фрезерование, чизелевание. Первичную обработку дернины при коренном улучшении сенокосов осуществляют тяжелыми дисками в два-три следа. Слабозадерненные луга пашут обычными плугами на глубину 18–20 см, а сильнозадерненные и луга на торфяно-болотных почвах – кустарниково-болотным плугом на глубину 30–35 см. На переувлажненных почвах тяжелого гранулометрического состава перед посевом трав необходимо предварительно разделить дернину чизельными орудиями или профрезеровать ее (таблица 3.2.5).

Среди видов вспашки используются вспашка с оборотом пласта, которая позволяет захоронить загрязненный поверхностный слой (дернину и почву) на глубину 30–35 см; а также традиционная вспашка на глубину пахотного горизонта 20–25 см. Обязательным элементом обработки почв на кормовых угодьях является разрушение дернины. Выбор обработки почв зависит от типа луга – на пойменных и низинных предпочтительнее дискование, в сравнении с вспашкой с оборотом пласта, чем в два следа тяжелыми дисковыми боронами. На сенокосах и пастбищах, где после чернобыльской катастрофы было проведено перезалужение с

запахиванием дернины на дно борозды, при повторном перепахивании вспашка недопустима. Следует проводить поверхностное фрезерование и прикатывание с посевом агрегатом АПР-2.6 или обновлять травостой путем подсева трав в дернину фрезерной сеялкой МТД-3.

Таблица 3.2.5. – Технологические приемы обработки почвы при коренном улучшении

Тип луга	Обработка почвы	Технологические операции	Почвообрабатывающие орудия
1	2	3	4
Суходольные и низинные на осушенных торфяниках со средней и мощной дерниной	Комбинированная механическая	Дискование в 2 следа или фрезерование в 1 след+вспашка, дискование в 2-3 следа	БДТ-3 (БДТ-7), ФБН-1.5, ПБН-3-50+БДТ-3
Суходольные со слабой дерниной на дерново-подзолистой почве	Безотвальная	Дискование тяжелой дисковой бороной в 3-4 следа	БДТ-3
Пойменные со среднесвязанной дерниной	Комбинированная механическая	Дискование в 2 следа или фрезерование в 1 след + вспашка + дискование в 2 следа	БДТ-3 или ФБН-1,5+ПБН-3-50+БДТ-3
	Безотвальная	Фрезерование в 2 следа (с интервалом 8-10 дней)	ФБН-1,5
	Комбинированная химическая	Обработка дернины Гербицидом + вспашка и дискование или фрезерование в 1 след	ОПШ-15, ПБН-3-50+БДТ-3 или ФБН-1,5

Продолжение таблицы 3.2.5

1	2	3	4
Низинные суходольные временного избыточного увлажнения с поверхностным оглеением	Безотвальная с рыхлением уплотненного горизонта	Дискование в 2 следа + рыхление аллювиального горизонта на глубину 30-50 см + дискование в 2 следа	БДТ-3+ПЧ-4,5, БДТ-3
	Комбинирован- ная с рыхле- нием уплотнен- ного горизонта	Дискование в 2 следа + рыхление уплотненного горизонта (на глубину 3-50 см) + вспашка+ разделка пласта	БДТ-3, ПЧ-4,5, ПБН-3-50
Старосеяные с дерниной средней мощности	Культурная вспашка	Вспашка плугом с предплужником +дис-кование в 2-3 следа или фрезерование в 1 след	ПЛН-4-35+ БДТ-3, ФБН-1,5

Для оптимизации агрофизических условий в корнеобитаемом слое и улучшения режима питания растений на сенокосах и пастбищах с переувлажненными почвами тяжелого гранулометрического состава рекомендуется не реже одного раза в пять лет проводить подпахотное рыхление плугами-рыхлителями типа ПРПВ-5-51.

При загрязнении кормовых угодий цезием-137 обязательным элементом технологии является применение повышенных в 2 раза доз калийных удобрений. При этом для соблюдения баланса питательных элементов вносятся 1,5 дозы фосфорных удобрений.

При загрязнении кормовых угодий стронцием-90 соотношение доз внесения фосфорно-калийных удобрений составляет P:K = 2:1,5 (таблица 3.2.6).

Таблица 3.2.6. – Дозы удобрений для основного внесения при коренном улучшении кормовых угодий

Тип луга	Почва	Минеральные удобрения, кг/га			Органические удобрения т/га
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Суходольные	Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	45–60	40–60	60–90	50–60
	Дерново-подзолистые суглинистые и глинистые	40–60	30–60	60–90	40–50
Пойменные	Аллювиальные песчаные и супесчаные	30–45 40–60	30–60 0–30	60–100 60–90	30–50 –
	Аллювиальные суглинки	30–45	–	40–60	–
Низинные и осушенные торфяники	Дерново-луговая с гумусовым горизонтом 22–25 см	–	60–90	90–120	–
	Торфяная с мощностью торфяного слоя свыше 50 см	40–60	60–90	90–120	10–15
Осушенные низинные и переходные торфяники	Торфяные со слаборазложившимся торфом	60–80	60–80	120	30–40
	Торфяные с хорошо разложившимся торфом	–	60–80	90–120	–
	Торфяно-глеевые	30–60	60–80	90–120	–

Для достижения продуктивности 30 ц кормовых единиц с гектара сенокоса на дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых почвах дозы азотных удобрений должны составлять 120–150 кг/га д.в. Внесение одних азотных удобрений или несбалансированное применение азота, фосфора и калия может усиливать усвоение цезия-137 корневой системой трав и приводит к повышенному накоплению в урожае. Оптимальной дозой, отвечающей радиозэкологическим требованиям, является доза на суходолах с минеральной почвой – N₁₂₀P₉₀K₁₂₀, которая

обеспечивает снижение накопления цезия-137 в травах до 5 раз. На пойменных угодьях для производства зеленых кормов, обеспечивающих получение экологически чистой продукции животноводства, дозы минеральных удобрений составляют $N_{120}P_{90}K_{120}$ или $N_{180}P_{120}K_{180}$. Для получения нормативно чистого сена на пойме (КУ-94, 600 Бк/кг цезия-137) соотношение азота и калия в составе полного минерального удобрения должно быть 1 : 1,5 ($N_{120}P_{90}K_{180}$ или $N_{180}P_{120}K_{270}$). На торфяно-болотных почвах дозу азота рекомендуется снижать до 50–70 кг/га д.в. и повышать дозу калия до 240 кг/га, при этом соотношение N : P : K должно находиться в пределах 1–1,5 : 1 : 3.

Эффективность коренного улучшения природных сенокосов и пастбищ, а также выродившихся травостоев многолетних трав зависит от типа луга, свойств почвы, особенностей формирования ландшафтов, интенсивности миграции радионуклидов по профилю, погоднo-климатических условий и финансовой обеспеченности проводимых агрономелиоративных работ.

О применении агрономелиорантов установлено, что известкование является обязательным приемом на кислых почвах. Отличительной особенностью проведения известкования на радиоактивно загрязненных кормовых угодьях является применение известковых материалов в дозах, в 1,5–2 раза превышающих дозы, рассчитанные по гидролитической кислотности (Нг) (Фесенко С.В. и др., 1998; Подоляк А.Г. и др., 2007).

При известковании повышается эффективность минеральных удобрений и возрастает продуктивность сенокосов и пастбищ (таблица 3.2.7). Наиболее надежным приемом снижения содержания радионуклидов в травостое при коренной агрономелиорации пойменного луга служат известкование и внесение минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{90}K_{180}$. Такая технология позволяет получать за два укоса до 530–550 ц/га зеленой массы с удельной концентрацией цезия-137 в пределах норматива, содержание протеина в зеленой массе 24–27 г/кг, каротина – 5,5–5,8 мг/кг. Качество кормов как по питательности, так и по содержанию радионуклидов можно регулировать при дробном внесении известковых материалов и минеральных удобрений в качестве подкормок при скашивании или стравливании травостоя.

Таблица 3.2.7. – Примерные дозы извести при коренном улучшении лугов на дерново-подзолистых почвах с содержанием гумуса не более 3 % (т/га)

Механический состав почв	рН солевой вытяжки				
	4,5 и ниже	4,6	4,8	5,2	5,5
Супесчаные и легкосуглинистые	5,5	5,5	4,0	3,0	2,5
Средне- и тяжелосуглинистые	7,5	6,5	6,0	5,0	4,0

В качестве специального приема на радиоактивно загрязненных кормовых угодьях рекомендуется использовать природные мелиоранты (палыгорскитовые глины, цеолиты, бентонит, вермикулит). При первичном загрязнении кормовых угодий радиоактивными веществами в качестве специального приема применяют глинование – внесение мелиорантов на поверхность загрязненной почвы и дернины.

Одним из необходимых приемов является подбор трав и травосмесей. Рекомендуется высевать травосмеси с преобладанием знаковых трав, которые накапливают в 1,5–3,0 раза меньше радионуклидов, чем бобовые культуры. Способы специальных обработок дернины и почвы (разрушение дернины дискованием, вспашка обычным и двухъярусным плугами, применение раундапа) и замена естественного травостоя сеяным злаковым понижают содержание цезия-137 в зеленой массе трав в 1,5–6,0 раз. При повторном применении коренного улучшения кормовых угодий его эффективность уменьшается примерно в 1,5–2,0 раза (Богдевич И.М. и др., 2004; Подоляк А.Г и др., 2002; Фирсакова С.К., 1992).

При планировании и проведении работ на кормовых угодьях необходимо учитывать особенности технологий создания культурных сенокосов и пастбищ на лугах различных типов. Луговые экосистемы характеризуются значительным разнообразием, что необходимо учитывать при разработке технологий создания культурных сенокосов и пастбищ. Луговые экосистемы обычно подразделяют на четыре типа: суходольные, пойменные, низинные и болотные

Суходольные луга расположены на повышенных дренированных равнинах и склонах разной крутизны, сформировавшиеся при периодически промывном, десуктивно-выпотном водном режиме. Грунтовые воды залегают на значительной глубине. В зоне катастрофы на ЧАЭС почвенный покров представлен дерново-подзолистыми песчаными, супесчаными или суглинистыми почвами.

Пойменные луга характерны для территорий периодически затопляющихся на срок до 30 дней. Его формирование

обусловлено паводковым водным режимом. Грунтовые воды находятся на глубине 0,5–2,5 м и ниже. Почвы аллювиальные, большей частью плодородные.

При коренном улучшении пойменных лугов во время первичной обработки почвы доза внесения азотных удобрений составляет 40–90 кг д.в. на 1 га. По традиционной технологии при перезалужении пойменных угодий вносят минеральные удобрения в дозе $N_{120-180}P_{90-120}K_{120-180}$ под пастбищное использование сеяных трав и $N_{120-180}P_{90-120}K_{180-270}$ под сенокосное использование. Для снижения накопления цезия-137 в травостое на пойменных лугах рекомендуется внесение сбалансированного минерального удобрения при соотношении $N:P:K = 2-3:1:2-3$. При этом дозы фосфорных удобрений ограничиваются 60 кг/га д.в, а дозы калийных удобрений выше 180 кг/га д.в. не рекомендуются. Оптимальной дозой, отвечающей экологическим и экономическим требованиям, является соотношение $N_{180}P_{60}K_{180}$. На пойменных лугах, где не проводится коренное улучшение, хорошие результаты дает поверхностное известкование

В зоне аварии на ЧАЭС на пойменных лугах преобладающими типами являются пойменная аллювиальная, пойменная дерновая, торфяно-глеевая почва. При подборе травосмесей для этих почв следует учитывать длительность затопления пойм, интенсивность накопления радионуклидов разными видами трав и способность их к образованию очеса. На загрязненных радионуклидами пойменных лугах предпочтение следует отдавать верховым злакам, таким, как тимофеевка луговая, кострец безостый, райграс высокий, двукосточник тростниковидный, и промежуточным – овсяница луговая, ежа сборная. На торфяных почвах при возможном их затоплении до 15–20 суток рекомендуется использовать тимофеевку луговую, овсяницу тростниковидную, кострец безостый; при более длительном затоплении (до 30–40 суток) не используют овсяницу тростниковидную (Подоляк А.Г. и др., 2001). Если же длительность затопления превышает 40 суток, рекомендуется посев двукосточника тростниковидного (приложения С, Т, У).

Пойменные луга лучше использовать в качестве сенокосов. Пастбищное использование пойменных лугов на почвах с избыточным увлажнением должно полностью исключаться.

Следующий тип лугов – низинные луга. Низинные луга, как правило, располагаются в плоских понижениях на водоразделах, в долинах рек, у подножия склонов и т. д. Водный режим лугов колеблется от умеренного до избыточного; грунтовые воды устойчивы и служат постоянным источником увлажнения почв.

Болотные луга расположены в более глубоких понижениях на водоразделах, по окраинам озер, притеррасным частям пойм рек. Водный режим – водонасыщенный или периодически водонасыщенный. Грунтовые воды залегают на глубине 0,5 – 1,5 м и часто выходят на поверхность. Почвы – лугово-болотные, торфянистые и торфяные, – подлежат обязательному осушению.

На торфяных почвах рекомендуется применение сниженных доз азотных удобрений до 50–70 кг/га д.в. и повышенных доз калия до 240 кг/га д.в. При этом соотношение N : P : K должно быть в пределах 1 – 1,5 : 1 : 3 – 4.

В последние годы в связи с естественным распадом радионуклидов и улучшением радиоэкологической обстановки имеет место возврат бывших сельскохозяйственных угодий в оборот. Например, для загрязненных районов Брянской области России разработана технология создания культурных сенокосов и пастбищ на бывшей пашне. Данная технология экономически более оправдана по сравнению с созданием кормовых угодий на естественных лугах, так как исключает затраты на мелиоративные работы и культуртехнические мероприятия. Она находит своё применение и в условиях Беларуси.

При создании культурных кормовых угодий на бывшей пашне проводится комплекс агротехнических и агрохимических мероприятий с последующим высевом многолетних трав. Агрохимические мероприятия включают внесение магнийсодержащих известковых удобрений и повышенные дозы фосфорно-калийных удобрений. На кислых и бедных фосфором почвах (P_2O_5 не менее 10 мг/100 г почвы) рекомендуется вносить фосфоритную муку в дозе 1,5–2 т/га. На нейтральных почвах в качестве стартового используются комплексные азотфосфорсодержащие удобрения. Подбор травосмесей производится с учетом районированных злаковых трав. В состав травосмесей можно включать до 20 % бобовых трав (клевер белый, вика). В структуре пастбищных угодий 20 % посевов может занимать костер в чистом виде.

Таким образом, как свидетельствует опыт агропроизводства на загрязненных территориях, мелиоративные мероприятия и создание сеяных травостоев на природных сенокосах и пастбищах, с учетом плотности загрязнения почв радионуклидами и уровня плодородия почв гарантируют создание прочной кормовой базы для животных и получение кормов, обеспечивающих получение продукции животноводства в соответствии с нормативами СанПиН 2.3.2.1078-01 и РДУ-99.

3.2.2. Радиологическая эффективность создания культурных пастбищ

В системе организационных защитных мероприятий важнейшим в постчернобыльский период является создание культурных пастбищ и улучшенных сенокосов. Эта мера обеспечивает снижение загрязнения трав в два-шесть раз.

И в настоящее время улучшение пастбищ в качестве защитной меры проводится в тех населённых пунктах, где регистрируются случаи превышения допустимых концентраций радионуклидов в молоке коров.

Формируемые дозы внутреннего облучения населения больше у жителей сельской местности, так как они используют в питании продукты, производимые в личных подсобных хозяйствах. К числу наиболее потребляемых в сельской местности продуктов относится молоко, которое у проживающего на загрязнённой территории населения, формирует до 80 % среднегодовой индивидуальной дозы от внутреннего облучения. Следовательно, наибольший эффект снижения дозы дают контрмеры на сенокосах и пастбищах в результате их коренного улучшения. При исследовании радиологической эффективности культурных угодий сотрудниками РНИУП «Институт радиологии» было установлено, что с момента использования травостоев окультуренного пастбища в течение последующих четырёх лет предотвращенная индивидуальная доза от молока на 1 кБк/м^2 может составлять 2 мкЗв/год на минеральных почвах и 6 мкЗв/год на торфяно-болотных почвах (Аверин В.С., 2003).

Так как молоко является одним из основных дозообразующих продуктов питания, а луга и пастбища, используемые для производства молока и мяса, занимают половину всей площади сельскохозяйственных угодий, проведение мероприятий по созданию культурных пастбищ и их эффективному использованию в наибольшей степени способствуют снижению дозы внутреннего облучения сельских жителей.

Цель наших исследований заключалась в радиологической оценке эффективности создания сенокосов и пастбищ для скота в населённых пунктах, в которых отмечалось производство молока с содержанием радионуклидов, превышающим допустимый уровень для цельного молока в отдалённый период после аварии.

Объектами исследований являлись сенокосы и пастбища для частного сектора на территории радиоактивного загрязнения в шести населённых пунктах Брагинского, девяти – Хойникского, двух – Наровлянского и одном – Добрушского районов. Проект



создания сенокосов и пастбищ для скота 18 населённых пунктов, в которых отмечалось производство молока с превышающим допустимые уровни содержанием радионуклидов в цельном молоке, был разработан в РНИУП «Институт радиологии» в 2008 году. В проекте содержится информация о наличии, расположении, использовании и радиационной обстановке на существовавших в 2008 году сенокосно-пастбищных угодьях. Уточнено поголовье коров, определены размеры, месторасположение запланированных участков под размещение пастбищ и сенокосов с картографическим отображением информации, определены агрохимические и радиологические показатели участков, установлены размеры перехода радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в цепь почва – травостой. В проект включены мероприятия при создании угодий по обработке почвы, системе применения удобрений, подбору состава травосмесей и посеву трав, уходу за сенокосами и пастбищами, организации системного использования пастбищ, организации пастбищ и сенокосооборота, организации водопоеания животных и т. д. В проекте указаны объёмы материальных и финансовых средств, необходимые для его внедрения. Реализация проекта направлена на уменьшение поступления радионуклидов из почвы в пастбищную траву за счёт внесения минеральных удобрений, известковых материалов, подбора травосмесей, рационального использования создаваемых кормовых угодий. Это способствует снижению перехода радионуклидов в молоко и далее в организм сельских жителей при потреблении ими молока.

Научное сопровождение реализации проекта институтом радиологии проводилось поэтапно в соответствии с планом финансирования работ по созданию сенокосов и пастбищ для частного скота, разработанному Комитетом по сельскому хозяйству и продовольствию Гомельского облисполкома.

В соответствии с планом финансирования и из расчёта 1 га кормовых угодий на одну корову в 2009 году было создано 150 га сенокосов и пастбищ в шести населённых пунктах Брагинского района (Берёзки, Киров и Красное) и Хойникского района (Малишев, Новосёлки и Стреличево).

Работы по перезалужению кормовых угодий проводились районными предприятиями по ремонту мелиоративных систем совместно с хозяйствами, на территории которых находились населённые пункты. Многокомпонентные смеси многолетних трав готовились в КСУП «Семена трав» по рецептурам, заложенным в проекте.

Травосмеси в сравнении с чистыми посевами злаковых трав имеют преимущества по продуктивности и более устойчивы к неблагоприятным условиям среды. Поэтому в состав травосмесей

входили овсяница тростниковидная, тимофеевка луговая, ежа сборная, клевер белый, клевер луговой и др. Норма высева травосмеси составляла 26 кг/га.

Для определения содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в травостое кормовых угодий до их создания и после были отобраны усреднённые пробы зелёной массы и подвергнуты радиохимическому и спектрометрическому исследованию в тех населённых пунктах, где создание угодий было завершено в весенне-летний период.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что после коренного улучшения угодий содержание цезия-137 в травостоях уменьшилось с 6,3 до 3,3 Бк/кг в н. п. Красное, с 18,5 до 13,0 Бк/кг в н.п. Малишев, с 81,3 до 10,0 Бк/кг в н.п. Новосёлки и с 491 до 114 Бк/кг в н.п. Стреличево. Содержание стронция-90 также уменьшилось с 30,9 до 20,0 Бк/кг в н.п. Красное, с 16,4 до 12,2 Бк/кг в н.п. Малишев, с 59,4 до 17,0 Бк/кг в н.п. Новосёлки и с 18,5 до 14,0 Бк/кг в н.п. Стреличево.

Согласно требованиям РДУ-99, содержание цезия-137 в молоке и цельномолочной продукции не должно превышать 100 Бк/кг, стронция-90 – 3,7 Бк/кг. Поэтому для получения молока в пределах требований РДУ-99 и при условии перехода цезия-137 из рациона коров в 1 кг молока не более 1 %, стронция-90 – 0,14 %, максимальное содержание цезия-137 в рационах молочных коров не должно превышать 10000 Бк/сутки и стронция-90 – 2640 Бк/сутки. На основании этих условий для вновь созданных пастбищ был составлен прогноз поступления радионуклидов в пищеварительный тракт и молоко коров с учётом, что животные в течение пастбищного дня потребляют до 60 кг пастбищной травы. Оказалось, что если до коренного улучшения кормовых угодий в н. п. Стреличево поступление в молоко коров цезия-137 при концентрации в пастбищной траве 491 Бк/кг, а в н. п. Новосёлки при концентрации стронция-90 в 1 кг травы 59,4 Бк/кг, находилось выше предельно допустимых уровней РДУ-99, то после проведения коренного улучшения пастбищ во всех населённых пунктах произошло снижение поступления радионуклидов в организм животных, получаемую от них продукцию. Молоко стало соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям. Удельное содержание цезия-137 в 1 кг молока снизилось на 1,8 Бк/кг в н.п. Красное и на 226,2 Бк/кг в н.п. Стреличево или в 1,4–8,1 раза по всем населённым пунктам, соответственно удельная концентрация стронция-90 – на 0,3 Бк/кг в н.п. Малишев и Стреличево и на 3,6 Бк/кг в н.п. Новосёлки или в 1,3–3,5 раза.

В соответствии с Законом РБ «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий» от 6 января 2009 года № 9-3 при превышении средней эффективной годовой дозы облучения населения величины 1 мЗв над уровнем естественного и техногенного радиационного фона должны проводиться защитные мероприятия. Мероприятия не отменяются при снижении средней эффективной годовой дозы облучения населения до значений в интервале от 1,0 мЗв до 0,1 мЗв и не проводятся в случае дозы ниже 0,1 мЗв.

Расчёт доз внутреннего облучения D за счёт потребляемого населением молока проводился по формуле:

$$D = e \times F \times A,$$

где $8,0 \times 10^{-5}$ мЗв/Бк – ожидаемая эффективная доза на единицу поступления стронция-90;

$1,3 \times 10^{-5}$ мЗв/Бк – ожидаемая эффективная доза на единицу поступления цезия-137;

F – годовое потребление молока, л;

A – среднее содержание радионуклида в молоке коров по населённому пункту, Бк/л.

При расчётах использовались значения годового потребления молока, которое для жителей Гомельской области составляет до 280 л/год на одного человека.

После создания пастбищ ожидаемые дозы облучения сельских жителей от потребляемого молока снизились в н.п. Красное в 1,6 раза, в н.п. Малишев в 1,3 раза, в н.п. Новосёлки в 5,5 раза и в н.п. Стреличево в 4,0 раза.

Таким образом, на территории радиоактивного загрязнения агросреды и в отдалённый период после аварии коренное улучшение сенокосов и пастбищ продолжает оставаться эффективным приёмом, позволяющим снижать в кормах и молоке коров личных подсобных хозяйств накопление радионуклидов и тем самым уменьшать внутреннее облучение сельских жителей.

ГЛАВА 4. СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

4.1. Прогнозирование содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции

После масштабного радиоактивного загрязнения агроферы производство любой сельскохозяйственной продукции основывается на её прогнозировании и последующей специализации. Прогноз загрязнения растениеводческой продукции позволяет заблаговременно планировать набор культур для возделывания на загрязнённых радионуклидами угодьях, размещение по полям севооборотов и отдельным участкам с учётом плотности загрязнения почв и разного использования получаемой продукции (продовольственные цели, фураж, промышленная переработка и др.). На основе прогноза осуществляются отдельный выпас дойных коров, откормочного молодняка, а также заготовка кормов в зависимости от плотности загрязнения почв и назначения продукции.

Прогнозирование определяется требованиями к качеству сельскохозяйственной продукции, производимой на загрязнённой территории. В России и Беларуси существуют различные допустимые уровни концентрации радионуклидов в продуктах питания, сельскохозяйственном сырье и кормах (таблицы 4.1.1. и 4.1.2.). Аналогичная для двух стран радиоэкологическая ситуация обуславливает одинаковые подходы при определении нормативов загрязнения молока цезием-137. Согласно требованиям СанПиН. 2.3.2.1078-01 (приложения А, Б) и РДУ-99 (приложения В, Г), содержание цезия-137 в молоке и цельномолочной продукции для пищевых целей не должно превышать 100 Бк/л, стронция-90–25 Бк/л и 3,7 Бк/л соответственно. Однако имеются различия в требованиях нормативных документов по содержанию стронция-90 в молоке, что обусловлено различиями в изотопном составе радиоактивных выпадений. В Республике Беларусь наблюдаются более высокие уровни загрязнения сельскохозяйственных угодий по стронцию-90 и имеют место случаи превышения нормативов содержания радионуклида во всех видах грубых кормов и, как следствие, в молоке (Богдевич И.М., Подоляк А.Г., 2004; Кенигсберг Я.Э., 2008).

Таблица 4.1.1. – Допустимые уровни содержания стронция-90 и цезия-137 в продукции животноводства

Вид продукции	Россия (СанПиН 2.3.2.1078-01)		Беларусь (РДУ-99)	
	¹³⁷ Cs, Бк/кг(л)	⁹⁰ Sr, Бк/кг(л)	¹³⁷ Cs, Бк/кг(л)	⁹⁰ Sr, Бк/кг(л)
Молоко и цельномолочная продукция	100	25	100	3,7
Мясо: говядина, баранина и продукты из них	160	50	500	не нормируется
свинина	160	50	180	не нормируется
птица	180	50	180	не нормируется

Таблица 4.1.2. – Допустимые уровни содержание стронция-90 и цезия-137 в основных кормах (для получения цельного молока)

Наименование корма	Россия (ВП 13.5.13/06-01)		Беларусь (РДУ-99)	
	¹³⁷ Cs, Бк/кг	⁹⁰ Sr, Бк/кг	¹³⁷ Cs, Бк/кг	⁹⁰ Sr, Бк/кг
Сено	400	180	1300	260
Солома	400	180	330	185
Сенаж	80	150	500	100
Силос	80	150	240	50
Корне- и клубнеплоды	60	80	160	37
Травяная мука, хвойная мука	600	100	900	-

Значительные различия существуют по допустимым уровням содержания цезия-137 в мясе (говядина, баранина) – в России в 3 раза меньше, чем в Беларуси. Соответственно более жесткие (в 3–6 раз) требования предъявляются и по содержанию цезия-137 в кормах (сено, сенаж, силос). Если содержание радионуклида в кормах находится в пределах нормативных величин, указанных в ВП 13.5.13/06-01, рационы животных составляются, исходя из зоотехнических требований.

Для Республики Беларусь действующие нормативы на корма для крупного рогатого скота предусматривают использование рационов с низкой долей сена, сенажа и силоса. При загрязнении

отдельных видов кормов, превышающем допустимый уровень, нормирование в рационе радионуклидов производится за счет увеличения доли более чистых кормов, прежде всего концентрированных (Аверин В.С. и др., 2003; Ильязов Р.Г., 1988; Фесенко С.В., 1995).

Действующие в России и Беларуси нормативно-правовые документы основаны на существовании в момент их принятия социально-экономических условий и рассчитаны на применение административных методов реализации запланированных мероприятий.

Главным критерием приемлемости разрабатываемых мероприятий является их комплексная радиационно-гигиеническая оправданность, социально-психологическая эффективность и экономическая целесообразность.

В настоящее время радиоактивное загрязнение сельскохозяйственной продукции формируется в основном за счёт корневого поступления радионуклидов в продукцию растениеводства и далее в животноводческую продукцию. При одинаковой плотности загрязнения почв цезием-137 и стронцием-90 поступление стронция-90 из почв в растения в среднем в 10 раз выше, чем цезия-137 (Богдевич И.М., Подоляк А.Г., 2004).

Накопление радионуклидов в урожае сельскохозяйственных культур зависит от плотности загрязнения почв, типа, гранулометрического состава и агрохимических свойств почв, биологических особенностей культур.

Для построения прогноза удельного содержания цезия-137 и стронция-90 в сельскохозяйственной продукции необходима исходная информация, согласно схеме, приведенной на рисунке 9.

Исходная информация должна учитывать:

- среднюю плотность загрязнения элементарных участков сельскохозяйственных земель цезием-137 и стронцием-90, (кБк/м^2 или Ки/км^2) по данным последнего тура радиологического обследования сельскохозяйственных земель;

- тип почвы и ее гранулометрический состав, величину обменной кислотности и содержание подвижного калия по данным последнего тура агрохимического обследования сельскохозяйственных земель.

- коэффициенты перехода (КП, $\text{Бк/кг} : \text{кБк/м}^2$) радионуклидов в основную и побочную продукцию сельскохозяйственных культур;

- перечень планируемых для возделывания сельскохозяйственных культур (на продовольственные цели, технические цели; сырьё на переработку, корма);

- виды и половозрастные группы сельскохозяйственных животных;
- типы рационов кормления сельскохозяйственных животных;
- технологии содержания сельскохозяйственных животных;
- коэффициенты перехода радионуклидов из суточного рациона в продукцию животноводства (в % на 1 кг продукта)

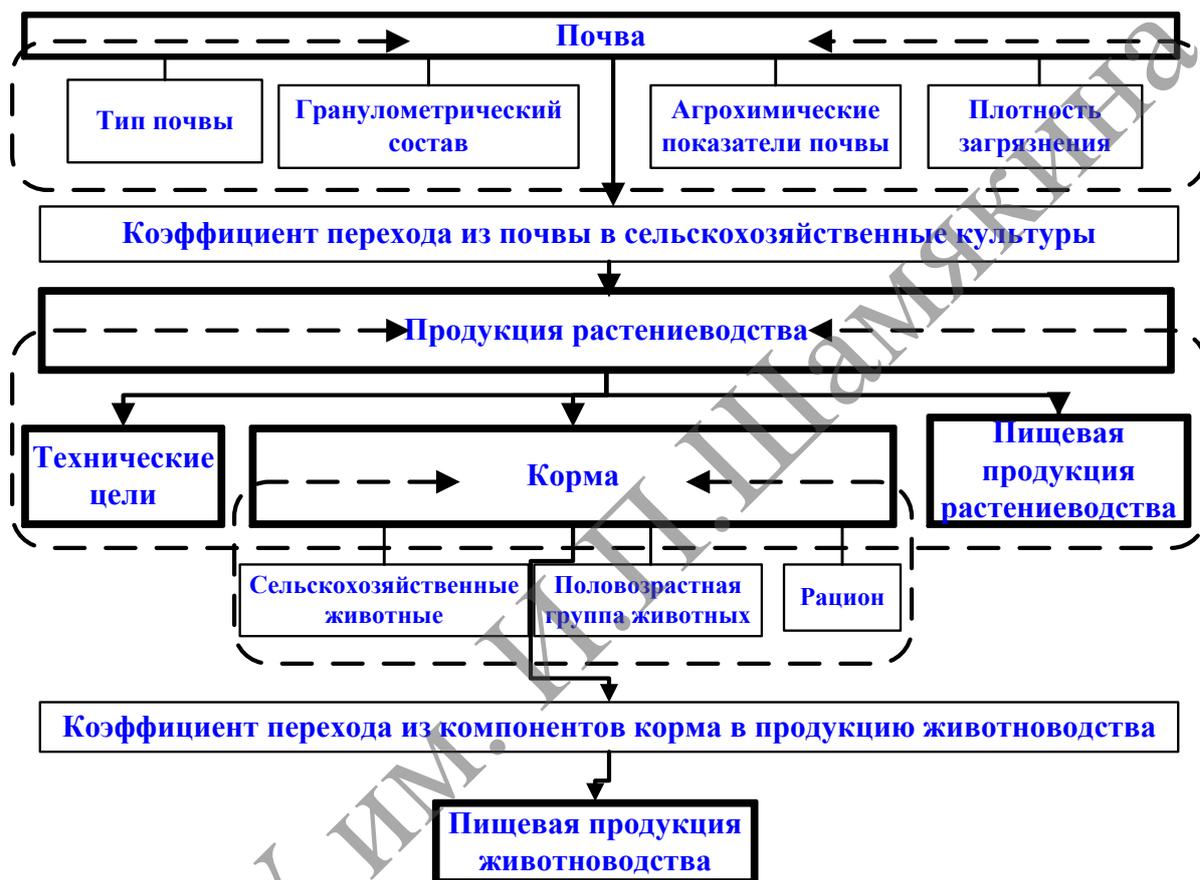


Рисунок 9. – Схема исходных данных для прогноза загрязнения сельскохозяйственной продукции

Ведение отраслей сельскохозяйственного производства на загрязненной территории и их специализация базируются на прогнозировании поступления радионуклидов в продукцию, и, прежде всего, в продукцию растениеводства. Прогноз загрязнения радионуклидами продукции растениеводства позволяет заблаговременно планировать набор культур для возделывания на загрязненных радионуклидами землях, размещение их по полям севооборотов и отдельным участкам с учетом различного использования получаемой продукции (продукты питания, фураж, промышленная переработка и др.).

Расчет уровня загрязнения продукции растениеводства производится по формуле:

$$A = P_1 \times КП \text{ или } A = 37 \times P_2 \times КП,$$

где A – удельная активность сельскохозяйственной продукции, $Бк/кг$;
 P_1 – плотность загрязнения почвы радионуклидом, $кБк/м^2$;
 P_2 – плотность загрязнения почвы радионуклидом, $Ки/км^2$;
КП – коэффициент перехода радионуклида из почвы в сельскохозяйственные культуры, $(Бк/кг:кБк/м^2)$ (приложения Д, Е, Ж, И);
37 – коэффициент пересчета в Бк.

Значения КП ($Бк/кг : кБк/м^2$) радионуклидов из почвы в сельскохозяйственные культуры изменяются со временем, в зависимости от процессов фиксации и/или выщелачивания цезия-137 и стронция-90 в почве, поэтому их периодическое уточнение очень важно для планирования и корректировки агропроизводства.

В условиях Беларуси за счёт процессов, происходящих в почвенном поглощающем комплексе в период с 2000 по 2010 год, показатели коэффициентов перехода цезия-137 уменьшились на 5–20 % (на 5 % – на торфяных, на 17–20 % – на дерново-подзолистых почвах). За этот же период концентрации цезия-137 в сельскохозяйственной продукции за счёт радиоактивного распада снизилось на 17 %, а в целом, с учётом как процессов радиоактивного распада, так и необратимой фиксации цезия-137 в почве на 22–37 % (Подольяк А.Г., 2013).

В отношении коэффициентов перехода стронция-90 следует отметить, что они снижаются с течением времени на порядок более медленно, чем коэффициенты перехода цезия-137. Не ожидается статистически значимых их изменений и в ближайшие 10 лет. Поэтому при построении прогнозов на 2015 и последующие годы значения коэффициентов перехода можно считать постоянными (не зависящими от времени).

Если смотреть дальше по биологической пищевой цепи, то переход радионуклидов из кормов в продукцию животноводства зависит от уровня и полноценности кормления животных, сбалансированности рационов кормления животных по основным минеральным элементам питания, возраста животных, физиологического состояния, продуктивности. Для получения молока и мяса, соответствующих нормативным требованиям по содержанию радионуклидов, корма для молочного скота и молодняка на заключительной стадии откорма должны выращиваться на улучшенных сенокосах и пастбищах или пашне.

С увеличением содержания клетчатки в рационе с 1,5 до 3,6 кг/сутки отмечается уменьшение коэффициента перехода цезия-137 в молоко ($KП (\%) = Bк/л : Bк/рацион$) с 0,9 до 0,3. Аналогичная закономерность наблюдается для стронция-90 в молоке коров – при увеличении содержания сырой клетчатки в рационах со злаковыми травами с 4,8 до 5,7 кг коэффициенты перехода стронция-90 в молоко снижаются в 1,8 раза.

При несбалансированных рационах в стойловый период наблюдается повышение перехода из рациона в молоко коров цезия-137 до 1,1 % и стронция-90 до 0,8 %.

Прогнозирование радиоактивного загрязнения животноводческой продукции базируется на данных о загрязнении компонентов рациона (отдельных видов кормов – сено, сенаж, силос и т.д.) и в целом рациона, а также на коэффициентах перехода радионуклидов из рационов в единицу продукции. Удельное содержание цезия-137 и стронция-90 в основных видах кормов устанавливается путем:

- прогноза удельного содержания цезия-137 и стронция-90 в компонентах рациона,
- фактических измерений содержания цезия-137 и стронция-90 в компонентах рациона;

Цезий-137 более интенсивно переходит из кормов в молоко и мясо по сравнению со стронцием-90 (таблица 4.1.3).

Таблица 4.1.3. – Коэффициенты перехода радионуклидов из суточного рациона в продукцию животноводства (КП, % на 1 кг (л) продукта)

Вид продукции	Радионуклиды	
	цезий-137	стронций-90
Молоко коровье:		
стойловый период	0,5	0,24
пастбищный период	0,8	0,24
Молоко козье	10	2,0
Говядина	4	0,04
Свинина	25	0,10
Баранина	15	0,10
Козлятина	20	1,5
Мясо кур	450	0,20
Яйцо	3,5	3,20

Удельное содержание цезия-137 и стронция-90 в молоке и мясе линейно зависит от уровня загрязнения рациона:

$$УA_{\pi} = КП \times A,$$

где $УA_{\pi}$ – содержание радионуклида в продукции животноводства, Бк/кг (Бк/л);

A – содержание радионуклида в суточном рационе, Бк/сутки;

$КП$ – коэффициент перехода радионуклида из суточного рациона в 1 л молока или в 1 кг мяса, % или Бк/кг (Бк/л) в продукции : Бк/сутки в рационе.

Как было выше сказано, прогнозирование уровня загрязнения будущего урожая культур основывается на коэффициентах перехода радионуклидов в основную и побочную продукцию сельскохозяйственных культур, результатах радиологического и агрохимического обследования почв. К этому следует добавить, что для повышения оправдываемости прогнозов необходимо использовать средние значения $Кп$ (Бк/кг : кБк/м²) за период не менее трёх лет. Это связано со значительным влиянием на накопление радионуклидов в растениях погодных условий вегетационного периода.

Коэффициенты перехода выводят на основании результатов научных исследований и обработки большого массива данных наблюдений в производственных условиях. Например, при составлении прогнозного содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции ОАО «Ветковский Агросервис» нами использовались собственно полученные значения коэффициентов перехода, также $Кп$ из «Рекомендаций по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь» (Минск, 2008) и результаты последнего радиологического и агрохимического обследования, проведенного Гомельским ОПИСХ (имеются во всех хозяйствах).

Определение прогнозных уровней загрязнения продукции цезием-137 и стронцием-90 осуществлялось путем умножения их коэффициентов перехода на величину плотности загрязнения почвы.

В таблице 4.1.4 представлено прогнозное содержание радионуклидов в растениеводческой продукции для ОАО «Ветковский Агросервис», составленное на 2009 год совместно с агрономической службой хозяйства.

Таблица 4.1.4. – Прогнозные концентрации радионуклидов в растениеводческой продукции в ОАО «Ветковский Агросервис»

Культура	Содержание обменного калия в почве, мг/кг	Плотность загрязнения почвы цезием-137, кБк/м ²	Кп в звенерастения – почва	Содержание цезия-137 в продукции, Бк/кг	рН почвы	Плотность загрязнения почвы стронцием-90, кБк/м ²	Кп в звене растения – почва	Содержание стронция-90 в продукции, Бк/кг
Озимая рожь	181,8	333	0,02	6,6	5,7	17,76	0,86	15,2
Озимое тритикале	292,6	429,2	0,02	8,5	5,7	19,24	0,74	14,2
Озимая пшеница	261,9	718,1	0,02	14,3	5,5	19,98	1,46	29,1
Озимый рапс	160,3	553,1	0,21	116	5,5	0,69	5,8	4,0
Ячмень	223	551,3	0,03	16,8	5,7	19,98	1,64	32,7
Яровая пшеница	247	551,3	0,02	11,0	6,2	27,38	1,15	31,4
Овес	179,5	403,3	0,06	24,1	5,5	23,31	1,32	30,7
Люпин	174,5	321,9	0,45	144,8	6,0	15,17	3,82	57,9
Корнеплоды	236	136,9	0,02	2,7	5,9	12,58	0,72	9,0
Картофель	198,2	600,8	0,04	24,0	5,4	18,13	0,25	4,5
Однолетние травы	196,2	562,4	0,06	33,7	5,5	25,16	3,72	93,5
Кукуруза(силос)	203,8	325,6	0,06	19,5	5,7	15,17	2,01	30,4
Многолетние бобово-злаковые травы (сено)	209,6	606,8	0,46	279,1	5,8	21,83	17,5	383,1
Многолетние зла-ковые травы (сено)	194,3	751,1	0,67	503,2	5,7	16,28	9,06	147,4
Сенокосы (сено)	166	588,3	0,67	394,1	5,7	17,02	9,06	154
Пастбища (зелёная масса)	157	529,1	0,14	74,0	5,7	16,28	1,94	31,5

Согласно показателям таблицы, из всего перечня растениеводческой продукции наиболее высокие концентрации цезия-137 следует ожидать в травянистых кормах (однолетние и многолетние травы и сено), которые используются в кормлении КРС, при этом наибольшим загрязнением отличается сено.

В зерновой группе самые высокие концентрации цезия-137 имеют люпин и рапс. Для переработки на пищевые цели допускается прием на перерабатывающие предприятия зерна с содержанием цезия-137 не более 90 Бк/кг и рапса – 1500 Бк/кг. Фактическое накопление цезия-137 в зерне должно быть ниже нормативного содержания, из чего следует, что вся зерновая группа по содержанию данного радионуклида подходит для приема на перерабатывающие предприятия пищевой промышленности.

Анализ прогнозных концентраций стронция-90 в растениеводческой продукции показывал, что накопление стронция-90, как и цезия-137, в травянистых кормах больше, чем в зерне. Для переработки на пищевые цели допускается приём зерна с нормативом содержания стронция-90 не более 11 Бк/кг, поэтому вся зерновая группа в ОАО «Ветковский Агросервис», за исключением отдельных видов зерна (рапс), может быть использована только на кормовые цели или техническую переработку.

Согласно РДУ-99, зерно на фураж и переработку в комбикорм для цельного молока допускается с содержанием стронция-90 до 100 Бк/кг, в комбикорм для переработки на масло – до 500 Бк/кг. Получаемая растениеводческая продукция в основном используется в животноводческой отрасли для производства товарной продукции, которая направляется на пищевые цели, поэтому важно знать заранее, с каким содержанием радионуклидов она будет получена. Расчет прогнозного содержания радионуклидов в животноводческой продукции также производился для ОАО «Ветковский Агросервис».

Для составления прогноза поступления радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в животноводческую продукцию определили ожидаемый в 2009 году валовой сбор растениеводческой продукции в натуральном выражении и в кормовых единицах. Используя прогнозные концентрации радионуклидов в растениеводческой продукции, установили содержание радионуклидов в валовом урожае, в 1 кг натурального корма, в 1 кормовой единице. Было установлено, что из 8745 т к.ед. растениеводческой продукции на долю зерновых культур приходится 4697 т к.ед. или 54 %. Предусматривалось, что из этого количества часть зерна будет реализована за пределы хозяйства, остальное – скормлено животным. Кормовая группа (корнеплоды, картофель, однолетние

травы, кукуруза на силос, многолетние травы, сенокосы и пастбища) составила 4048 т к.ед., или 46 % от всей растениеводческой продукции, она направлялась для кормления животных и получения животноводческой продукции.

По расчётам, содержание цезия-137 в 1 кг натурального корма зерновой группы в среднем составила 21,4 Бк/кг, в 1 к.ед. – 17,7 Бк/кг, стронция-90 – соответственно 21,8 и 18,0 Бк/кг. В кормовой группе растениеводческой продукции содержание цезия-137 ожидалось в 1 кг натурального корма – 97 Бк/кг, в 1 к. ед. – 424 Бк/кг и стронция-90 – соответственно 58,7 и 256,8 Бк/кг.

На получение 1 кг молока в хозяйстве затрачивается около 1,0 к. ед., при этом переход радиоцезия из рациона в 1 кг молока находится на уровне 0,8 %. В условиях зимнего кормления коров рационом с питательностью 10 к. ед. и состоящим на 70 % из кормов кормовой группы и 30 % зерновой, при удое 10 кг молока содержание цезия-137 в 1 к.ед. определяется на уровне $302,1$ Бк/кг ($424 \times 0,7 + 17,7 \times 0,3 = 302,1$), в рационе – $302,1 \times 10 = 3021$ Бк, в 1 кг молока – $24,2$ Бк ($3021 \times 0,8 : 100$).

При таком кормлении коров ожидаемая концентрация стронция-90 в 1 кг молока следующая: при содержании стронция-90 в 1 к. ед. рациона на уровне $185,2$ Бк ($256,8 \times 0,7 + 18 \times 0,3 = 185,2$) его содержание в рационе находится около 1852 Бк ($185,2 \times 10$), а при условии, что коэффициент перемещения стронция-90 из рациона в 1 кг молока не превысит 0,1 %, содержание радионуклида в молоке следует ожидать не более $1,85$ Бк/кг ($1852 \times 0,1 : 100$).

Если в хозяйстве рацион кормления изменяется и на 1 кг молока будет затрачиваться не 1 к.ед, а 1,5 к.е., то концентрация цезия-137 может увеличиться до $36,3$ Бк/кг, стронция-90 – до $2,8$ Бк/кг. И, наоборот, при снижении затрат кормов на 1 кг молока ниже 1 к. ед. удельная активность радионуклидов в молоке будет снижаться.

В пастбищный период, во время которого рацион молочного скота состоит на 70 % из зелёной массы пастбищной травы и 30 % зерновой группы, прогноз концентраций радионуклидов имеет несколько другой вид. Удельная активность цезия-137 в 1 к. ед. рациона составит 293 Бк ($411 \times 0,7 + 17,7 \times 0,3 = 293$), рациона – 2930 Бк (293×10), стронция-90 – соответственно $127,9$ Бк ($175 \times 0,7 + 18 \times 0,3 = 127,9$) и 1279 Бк ($127,9 \times 10$).

Содержание в 1 кг молока цезия-137 следует ожидать на уровне $23,4$ Бк/кг ($2930 \times 0,8 : 100$) и стронция-90 – $1,27$ Бк/кг ($1279 \times 0,1 : 100$).

Таким образом, прогнозирование концентраций радионуклидов в производимой сельскохозяйственной продукции показывает, что

как растениеводческая, так и животноводческая продукция по удельной активности цезия-137 и стронция-90 не превышает нормативы РДУ-99 при условии использования сельскохозяйственных угодий с плотностями загрязнения, приведенных в расчётах, и отсутствии кормов с естественных угодий.

4.2. Влияние уровня и вида радиоактивного загрязнения на специализацию агросферы

В соответствии с действующим законодательством Республики Беларусь проживание и трудовая деятельность населения на территории радиоактивного загрязнения не требует каких-либо ограничений, если средняя годовая эффективная доза облучения населения (СГЭД) не превышает 1 мЗв (0,1 бэр) над уровнем естественного и техногенного радиационного фона. При превышении СГЭД 1 мЗв над уровнем естественного и техногенного радиационного фона проводятся защитные мероприятия, а при снижении до значений в интервале от 1,0 до 0,1 мЗв – защитные мероприятия не отменяются. Согласно Перечню населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения по состоянию на 2010 год, в зонах радиоактивного загрязнения находилось 2402 населенных пункта, в которых проживало 1141,3 тыс. человек. По сравнению с 2004 годом количество населенных пунктов на территории радиоактивного загрязнения уменьшилось на 211 с количеством населения 153,4 тыс. человек. По состоянию на 11 января 2014 года в зонах радиоактивного загрязнения находится 2393 населенных пункта с количеством проживающих в них 1142,6 тыс. человек (Цыбулько Н.Н., 2014).

Целью проведения всех защитных мероприятий на загрязнённой территории является недопущение превышения индивидуальной дозы облучения населения (до 0,1 бэр (1 мЗв) в год). Во время чернобыльской катастрофы в агроэкосистемы Беларуси выпал длинный шлейф радионуклидов, в составе которого основными оказались долгоживущие цезий-137 и стронций-90. В настоящее время они являются определяющими загрязнителями продовольственной продукции. На пути из почвы до организма человека данные радионуклиды имеют свои пути перемещения, и после поступления в организм каждый формирует различные дозы облучения. По данным Б.Н. Анненкова и В.С. Аверина (2003), при поступлении с пищей 1 Бк стронция-90

доза облучения составляет 0,08 мкЗв, цезия-137 – 0,013 мкЗв. На этом основании для определения эффективности защитных мероприятий на сельскохозяйственных угодьях с соотношением стронций-90/цезий-137 0,03 и выше рекомендуется результативность контрмер рассчитывать по сумме доз облучения от обоих радионуклидов.

В послеаварийный период в проведении защитных мероприятий в агропромышленном комплексе выделяют три периода: первый период – 1986–1992 гг.; второй период – 1992–2001 гг. и третий период – 2002–2015 гг. В свою очередь последний, третий период, состоит из нескольких этапов, о которых будет сказано несколько ниже.

В первом периоде проведения защитных мероприятий одним из первоочередных стоял вопрос прекращения ведения растениеводства и животноводства на землях с плотностью загрязнения цезием-137 более 40 Ки/км². К концу 1990 года эта проблема была решена полностью. Из сельскохозяйственного оборота было выведено 40,5 тыс. сельхозугодий, в том числе 22,6 тыс. пашни. Кроме этого, из оборота изъяли сельхозугодия с меньшей плотностью загрязнения, на которых практически в течение четырёх лет не удалось получить нормативно-чистую сельскохозяйственную продукцию. На этом основании только в 1989 году в Гомельской области из оборота вывели 116 тыс. га сельхозугодий, в том числе 28 тыс. га пашни.

К 1991 году в области сократились сельхозугодия на 218 тыс. га, или на 14,7 %, в том числе пашни на 66,6 тыс. га, или на 8 %. Посевная площадь в 1990 году составила 787,6 тыс. га, или 91 % к уровню 1986 года. Кроме ликвидированных в 1986 году в трёх южных районах 20 колхозов и совхозов, в 1991 году упразднили ещё 18 хозяйств из пяти районов Гомельской области (Ветковский район – 10, Чечерский – 3, Кормянский – 2, Добрушский – 2, Хойникский – 1).

В 1990 году решением Гомельского облисполкома № 55 от 12 марта были утверждены мероприятия по изменению специализации сельского хозяйства в загрязнённых районах области. На основании результатов исследований растениеводческой продукции и рекомендаций по ведению сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения земель агрономической службой области стало проводиться переуплотнение структуры посевных площадей. В связи с высоким содержанием радионуклидов в продукции в Гомельской области полностью прекратили посев гречихи, на 18,8 тыс. га (45%) сократили посевы зернобобовых культур. Зернобобовые культуры были оставлены

там, где они давали продукцию, соответствующую временным допустимым уровням.

При возделывании льна и кормовых корнеплодов значительное число агроприёмов приходилось выполнять вручную, особенно при переработке льнотресты, во время которой происходило дополнительное облучение рабочих. По этой причине в области сократили посевные площади льна на 73 % и кормовых корнеплодов на 24 % к уровню 1986 года. На 28,1 тыс. га сократились посевы зерновых культур, которые возделывались в зоне более 40 Ки/км². Одновременно с этим в области значительно увеличились посевные площади кукурузы не только на силос, но и на зерно. По радиометрическим измерениям эта культура по сравнению с другими давала относительно чистую продукцию. С учётом этого в 1991 году посевы кукурузы были увеличены на 2 тыс. га, или на 23 % по отношению к 1986 году. Увеличены также площади под однолетними травами. Их доля в структуре посевных площадей возросла до 7 %.

Наряду с изменением структуры посевных площадей, в области проводилась работа по снижению накопления радионуклидов за счёт внесения повышенных доз минеральных удобрений и известковых материалов. На землях общественного пользования с 1986 года по 1 сентября 1991 года дополнительно было внесено 475,9 тыс. т действующего вещества минеральных удобрений на общей площади 1,5 млн га, произвестковано 156,8 тыс. га загрязнённых сельхозугодий. Ежегодно колхозам и совхозам выделялось около 1,1 млн. т «чистых» органических наполнителей для разбавления ими навоза с повышенным фоном.

Для снижения отрицательного взаимодействия химических реагентов и радионуклидов дозы азота под сельскохозяйственные культуры устанавливались только по выносу, были исключены из применения высокотоксичные пестициды первой и второй группы опасности, организован контроль над количеством нитратов и пестицидов в сельскохозяйственной продукции.

В 1986–1987 гг. участки, находящиеся в личном пользовании сельских жителей, прошли полное обследование на загрязнённость радионуклидами. В соответствии с результатами обследования в 1986–1988 гг., было произвестковано 9036 га приусадебных земель и на них внесено 45,3 тыс. т доломитовой муки. Одновременно с этим из расчёта 510 кг/га действующего вещества заправлены повышенные дозы минеральных удобрений. В последующие годы минеральные удобрения выделялись частному сектору под потребность через хозяйства. Кроме того, на земли приусадебного

пользования внесено 34,1 тыс. т цеолитов на площади 3,4 тыс. га, выделено 83 тыс. т чистых компостирующих материалов (торф, лигнин, сапрпель).

С целью получения более чистой растениеводческой продукции внесли изменения в технологии производства. Так, на загрязнённых землях прекратили отдельную уборку хлебов, при заготовке кормов в зоне проживания 15–40 Ки/км² уборка трав проводилась на повышенном срезе на сенаж и силос для уменьшения соприкосновения массы с почвой. На сенокосах и пастбищах, кроме пойменных угодий, повсеместно проводилось перезалужение с углублённой отвальной обработкой почвы.

Всё это позволило значительно снизить накопление радионуклидов в растениеводческой продукции. Например, если в 1986 году 68,4 % заготовленного сена превышало установленные уровни, то в 1990 году только 6 %. В таких видах продукции, как зерно, картофель, овощи, зелёная масса кукурузы, не наблюдалось превышений временных допустимых уровней.

Результаты работы, проводимой в растениеводческой отрасли по получению более чистой продукции, нашли отражение и продолжение в животноводстве. На молочно-товарных фермах, расположенных в зоне 15–40 Ки/км², была также скорректирована специализация. Коровы с ферм, где на протяжении четырёх лет не удавалось получить нормативно-чистое молоко, переведены на другие фермы или переданы другим хозяйствам.

Предприятия перерабатывающей промышленности с 15 мая 1990 года прекратили приёмку молока, которое по загрязнённости радионуклидами превышало допустимые санитарно-гигиенические нормативы.

Выпас скота, находящегося как в общественном, так и в личном пользовании, производился только на культурных пастбищах, перезалуженных в послеаварийный период.

Корма, заготовленные на пойменных лугах, на которых не проводились агроулучшающие мероприятия, скармливались молодняку крупного рогатого скота, предназначенному для откорма. В колхозах и совхозах заработала система заключительного откорма скота, основанная на использовании относительно чистых кормов.

Благодаря принимаемым мерам, в общественном секторе в 1987 году было получено 29 % молока, не соответствующего нормативу, в 1988 году – 17 %, в 1989 году – 6,3 % и в 1990 году – 0,1 % (в 1986 году – 66,5 %).

С 1988 года прекратилось производство мяса с содержанием радионуклидов выше санитарно-гигиенических нормативов. Если в 1987 году 9,7 % всего произведённого мяса не соответствовало нормативам, то в 1990 году только – 0,1 %.

Результатом всех этих разработанных, принятых и осуществленных мер явилось то, что с июня 1990 года в продажу начали поставлять цельномолочную продукцию с содержанием цезия-137 не более 1×10^{-9} Ки/л (37 Бк/л), что было в десять раз ниже международных нормативов.

На протяжении второго периода защитных мероприятий продолжались работы по применению агрохимических и агротехнических мероприятий. Были разработаны нормативные документы, ряд рекомендаций и предложений, направленных на получение сельскохозяйственной продукции с минимальным накоплением радионуклидов.

В системе защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве важное место отводится оптимизации землепользования. Земледельческая отрасль может быть эффективной только на почвах с высоким и средним плодородием. Поэтому малопродуктивные участки с низким оценочным баллом (менее 20) переводились в луговые угодья, а наименее плодородные песчаные и заболоченные почвы с плотностью загрязнения цезием-137 более 555 кБк/м^2 и стронцием-90 более 37 кБк/м^2 передавались под залесение.

Следующим шагом в системе защитных мероприятий являлась оптимизация структуры посевов. Подбор культур и сортов с минимальным накоплением радионуклидов – наиболее доступное средство снижения перехода радионуклидов из почвы в растения. Если в первые годы после аварии бобовые выводились из севооборотов как культуры, накапливающие повышенные количества цезия-137 и стронция-90, то на втором периоде защитных мероприятий проводилось дифференцированное насыщение севооборотов высокодоходными культурами – рапсом, подсолнечником, кукурузой на зерно и высокобелковыми культурами семейства бобовых и пр.

Для получения продукции с допустимым содержанием радионуклидов и необходимой окупаемостью затрат важным является обеспечение в почве бездефицитного баланса гумуса, фосфора и калия. С этой целью применение минеральных удобрений в дозах до 200–250 кг действующего вещества на гектар относится к одним из условий выполнения данных требований при производстве растениеводческой продукции.



На территориях, где комплекс защитных мероприятий не позволял в полной мере получать в радиологическом отношении качественную продукцию, реализовывались программы перепрофилирования или переспециализации сельскохозяйственного производства. В растениеводческой отрасли они проходили в виде совершенствования структуры посевных площадей с выращиванием культур с наименьшим накоплением радионуклидов, развитием семеноводства, увеличением производства кормов под полную потребность собственного животноводства.

В животноводческой отрасли переспециализация проводилась путём перевода молочного скота с привязного на беспривязное содержание и доением коров в доильных залах с меньшим количеством обслуживающего персонала. В ряде хозяйств перепрофилировали молочную отрасль на мясное скотоводство и коневодство, получили развитие промышленное свиноводство и птицеводство.

Начиная с 2002 года, реализовался третий период проведения защитных мер в сельскохозяйственном производстве, направленный на получение экономически оправданной продукции, или период совершенствования специализации в соответствии со сложившейся радиологической обстановкой в районах загрязнения, проводимый в соответствии с разработанными бизнес-планами.

Переспециализация хозяйств являлась одним из вариантов адресной реабилитации, основанной на выборе направления деятельности сельскохозяйственных организаций, расположенных на территории радиоактивного загрязнения, с использованием оценок перераспределения радионуклидов с кормами, товарной продукцией растениеводства и животноводства в зависимости от выбора направления хозяйственной деятельности сельхозпредприятий. Она осуществлялась на основе метода составления программ специализации сельскохозяйственного производства, например, переспециализация хозяйства на мясное скотоводство.

Финансирование разработок и реализация научно обоснованных программ переспециализации сельскохозяйственных организаций, в которых принимаемые защитные меры не позволяли добиться гарантированного устойчивого производства нормативно-чистой продукции проводилось в основном за счет средств республиканского бюджета.

При разработке программ исходили из того, что специализация растениеводства на территории радиоактивного загрязнения базируется на применении адаптивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивающих

высокую урожайность с минимальными трудовыми и энергетическими затратами. При изменении специализации хозяйства важным звеном в растениеводстве является анализ существующей и разработка новой структуры посевных площадей. Структура посевных площадей уточняется с учетом потребностей в товарной продукции растениеводства, кормопроизводства и межхозяйственного кооперирования с учётом уровня радиоактивного загрязнения

Для отрасли растениеводства на загрязненной территории выделяют несколько основных направлений специализации: семеноводство, кормопроизводство, производство технических культур. При этом основными факторами, влияющими на поступление радионуклидов в растения, являются:

- плотность радиоактивного загрязнения;
- уровень почвенного плодородия;
- видовые особенности культур.

Для отрасли животноводства основными направлениями специализации являются: молочное, специализированное мясное, выращивание и откорм молодняка КРС, выращивание нетелей, коневодство и свиноводство. При выборе направления специализации хозяйств учитываются следующие технологические факторы:

- уровень радиоактивного загрязнения продукции животноводства;
- состояние кормовой базы;
- существующий уровень производства продукции в хозяйстве;
- обеспеченность кадрами.

Например, переспециализация молочного скотоводства на мясное целесообразно проводить в хозяйствах, расположенных на низкоплодородных, заболоченных землях с плотностью загрязнения цезием-137 15–40 Ки/км². При этом технология мясного скотоводства включает три взаимосвязанных производственных цикла:

- первый – подсосное выращивание телят до 6–8-месячного возраста по системе «корова-теленки», обеспечивающее хорошее развитие молодняка;
- второй – выращивание молодняка для ремонта и воспроизводства собственного стада;
- третий – доращивание и интенсивный откорм молодняка и выбракованного взрослого скота на мясо на рационах, включающих нормативно-чистые корма или с применением сорбентов. Удельный вес коров в товарном стаде должен составлять 30–35 %, нетелей – 10–15 %. Для воспроизводства

стада 25–30 % коров в течение года следует заменять нетелями, что возможно при условии получения не менее 90 деловых телят на 100 коров и нетелей. Оптимальным сроком сезонного отела следует считать зимний период с декабря по март.

Переспециализация в каждом конкретном хозяйстве начиналась с анализа специалистами РНИУП «Институт радиологии» радиологической обстановки, существовавшей в хозяйстве, специализации производственной деятельности, финансового состояния и др. После принятия решения о необходимости переспециализации разрабатывалась бизнес-программа или бизнес-план, в которых учитывались вышеприведенные специальные технологии ведения сельскохозяйственного производства.

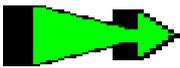
Выбор направлений и разработка программ совершенствования специализации сельскохозяйственных предприятий осуществлялись РНИУП «Институт радиологии» и его Могилевским филиалом МЧС Республики Беларусь совместно с Гомельским и Могилёвским комитетами по сельскому хозяйству и продовольствию и райисполкомами загрязненных районов. Бизнес-программы согласовывались Минсельхозпродом, Департаментом по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, НАН Беларуси и утверждались Гомельским и Могилёвским облисполкомами.

Так как бизнес-планы предусматривали выделение на эти цели средств из республиканского бюджета, то началом переспециализации послужили решения Главы государства (протоколы от 26-27 апреля 2001 г. №12, от 26 мая 2004 г. №13 и от 9 июля 2006 г. №10). Третий период проведения защитных мероприятий состоял из нескольких отдельных временных этапов.

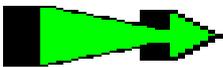
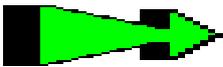
4.2.1. Радиологическая эффективность переспециализации

Следует отметить, что в течение всего времени, прошедшего после катастрофы на ЧАЭС, в районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению, осуществлялся и осуществляется целый комплекс защитных мероприятий, направленных на снижение радиационных нагрузок на население. В состав комплекса входят организационные, агротехнические, агрохимические, технологические, санитарно-гигиенические и информационные мероприятия (таблица 4.2.1).

Таблица 4.2.1. – Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию

Контрмеры	Содержание контрмер
1	2
<p>Организационные</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - инвентаризация угодий по плотности загрязнения радионуклидами и составление карт; - прогноз содержания радионуклидов в продукции растениеводства, кормопроизводства и животноводства; - инвентаризация угодий в соответствии с результатами прогноза и определение угодий, на которых возможно выращивание культур для различных целей: продовольственное, производство кормов, получение семенного материала, техническая переработка; - исключение угодий из хозяйственного пользования; - изменение структуры посевных площадей и севооборотов; - переспециализация отраслей животноводства; - организация радиационного контроля продукции; - оценка эффективности мероприятий.
<p>Агротехнические</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - коренное и поверхностное улучшение сенокосов и пастбищ; - гидромелиорация (осушение и оптимизация водного режима); - предотвращение вторичного загрязнения.
<p>Агрохимические</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - известкование кислых почв; - внесение органических удобрений; - внесение повышенных доз фосфорных и калийных удобрений; - оптимизация азотного питания растений на основе почвенно-растительной диагностики; - внесение микроудобрений; - снижение пестицидной нагрузки.
<p>Технологические</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - промывка и первичная очистка убранный плодоовощной и технической продукции; - переработка продукции с целью снижения в ней концентрации радионуклидов.

Продолжение таблицы 4.2.1

1	2
Санитарно-гигиенические 	<ul style="list-style-type: none"> - соблюдение санитарно-гигиенических и других требований, установленных действующим в республике законодательством; - обеспечение дополнительным комплектом спецодежды.
Информационные 	<ul style="list-style-type: none"> - информирование населения, заинтересованных министерств и ведомств о результатах радиационного контроля и эффективности проводимых защитных мероприятий; - информирование работников и населения о новых эффективных мерах по снижению перехода радионуклидов в возделываемые культуры и готовую продукцию; - научные исследования; - подготовка и повышение квалификации специалистов сельского хозяйства; - наглядные пособия, публикации, школы, обучение.

Как видно из всего перечня мероприятий, организационные мероприятия включают в себя проведение перепрофилирования или специализацию производственной деятельности хозяйств, направленные на получение продукции с минимальным содержанием радиоактивных веществ.

В земледелии действие различных мероприятий, применяемых для снижения накопления радионуклидов в растениях, направлено, главным образом, на свойства почвы. Например, агротехнические приемы проводятся с целью изменения распределения радионуклидов в почвенном профиле, агрохимические – для изменения кислотности почв, увеличению сорбционной способности или концентраций конкурентных ионов. При этом сравнение радиологической эффективности защитных мероприятий осуществляется по кратности снижения накопления радионуклидов в растениях (Агеев В.Ю., 2001; Аверин В.С., 2003; Путятин Ю.В., 2008).

Если говорить о пахотных землях, то установлено, что применение данных технологических приемов позволяет снижать переход загрязнителей из почвы в урожай сельскохозяйственных культур от 1,1 до 10 раз (таблица 4.2.2).

Таблица 4.2.2 – Эффективность агротехнических и агрохимических приемов, обеспечивающих снижение накопления радионуклидов в продукции растениеводства

Технологический прием	Кратность снижения
Обработка почв (вспашка с оборотом пласта, глубокая вспашка)	Снижение накопления в 1,2–5,0 раза
Известкование (в дозе 1,5–2,0 Н ₂)	Снижение накопления в 2,0–4,0 раза
Применение органических удобрений	Снижение накопления в 1,2–2,5 раза
Применение фосфорных удобрений	Снижение накопления для ¹³⁷ Cs в 1,0–1,5 раза, для ⁹⁰ Sr в 1,2–3,5 раза
Применение калийных удобрений	Снижение накопления для ¹³⁷ Cs в 1,5–3,5 раза; для ⁹⁰ Sr 1,2–1,5 раза
Оптимизация доз применения азотных удобрений	Превышение оптимальных доз ведет к росту накопления в растениях в 1,2–2,5 раза
Применение природных сорбентов (цеолиты, глины и др.)	Эффект нестабилен: отсутствие эффекта или снижение накопления радионуклидов в 1,2–3,0 раза
Подбор видов и сортов культур с минимальными уровнями накопления	Снижение накопления в зависимости от вида до 30, от сорта до 7 раз

В отношении луговых земель можно отметить следующее. Среди традиционных приемов улучшения лугов существует два основных – поверхностное и коренное улучшение сенокосов и пастбищ. Проведение этих традиционных мероприятий по повышению продуктивности травостоев способствует снижению накопления радионуклидов в травостое. Поверхностное улучшение лугов с одновременным известкованием и внесением повышенных доз фосфорно-калийных удобрений уменьшает переход стронция-90 и цезия-137 в травостой в 1,6–2,9 раза, а коренное – в 2,7–6,2 раза (таблицы 4.2.3 и 4.2.4). Подбор видов трав с наиболее низкими уровнями накопления радионуклидов позволяет в среднем снизить загрязнение травостоя в 2–3 раза. На лугах с избыточным увлажнением необходимо проводить осушение с последующим коренным перезалужением осушенных участков. Эффективность такого комплекса мероприятий высока: снижение накопления радионуклидов в травостое достигает 3–10 раз (Белоус И.М., 2002; Подоляк А.Г., 2007).

Таблица 4.2.3 – Эффективность защитных мероприятий на кормовых землях

Мероприятие	Кратность снижения содержания ^{137}Cs в травостое
Коренное улучшение	2,7–6,2
Поверхностное улучшение	1,6–2,9
Осушение + поверхностное улучшение	2,5–5,5
Осушение + коренное улучшение	3,0–10,0
Применение нетрадиционных мелиорантов (цеолит, палыгорс-кит, вермикулит и т.п.)	1,0–2,5
Подбор травосмесей	2,0–3,0

Таблица 4.2.4. – Влияние защитных мероприятий на снижение КП стронция-90 в кормовые культуры (кратность снижения)

Мероприятие	Группы почв			
	песчаные, супесчаные	легко- и среднесуглинистые	тяжелосуглинистые, глинистые	торфяные
Коренное улучшение	1,6–3,5	1,6–3,5	1,6–3,5	2,5–5,5
Коренное улучшение + известкование	2,4–4,2	2,4–4,2	2,4–4,2	2,8–6,2
Коренное улучшение + NPK (1:2:2)	2,4–3,9	2,4–3,9	2,4–3,9	2,5–4,2
Коренное улучшение + известкование + NPK (1:2:2)	2,8–5,9	2,8–5,9	2,8–5,9	3,6–9,2
Поверхностное улучшение	1,1– ,5	1,1–2,5	1,1–2,5	1,5–4,1
Поверхностное улучшение + известкование	1,5–3,6	1,5–3,6	1,5–3,6	1,8–5,6
Поверхностное улучшение + NPK (1:2:2)	1,6–3,3	1,6–3,3	1,6–3,3	1,8–4,1
Поверхностное улучшение + известкование + NPK (1:2:2)	2,5–4,7	2,5–4,7	2,5–4,7	3,0–5,4

Эффективность коренной агромелиорации в получении экологически безопасных кормов на природных сенокосах и пастбищах зависит от типа луга, режима его увлажнения, ландшафтных характеристик, свойств почв, состояния травостоя (Подольяк А.Г., 2007).

Одновременно с земледелием оценивается радиологическая эффективность защитных мероприятий в животноводстве (таблица 4.2.5). При ведении животноводства на техногенно загрязненных территориях выделяют 3 категории специальных мероприятий по эффективности снижения перехода радионуклидов в продукцию животноводства: организационно-хозяйственные, зоотехнические и ветеринарные (Агеец В.Ю., 2001; Аверин В.С., 2003; Ильязов Р.Г., 1988; Карпенко А.Ф., 2012).

Таблица 4.2.5. – Кратность снижения содержания цезия-137 в продукции животноводства при применении различных технологических приемов и защитных мероприятий

Мероприятие, технологический прием	Вид животных	Вид продукции	Кратность снижения
<i>Ограничительные</i>	КРС	Молоко	8,3–8,5
<i>Организационные</i>	КРС	Молоко	4,0–4,1
	КРС	Мясо	3,3–3,5
<i>Ветеринарные</i>			
Применение Сс-связывающих препаратов	КРС	Молоко	1,5–21,8
Применение сорбентов	КРС	Мясо	2,3–7,5
	КРС	Молоко	1,2–2,0
<i>Зоотехнические</i>			
Предубойный откорм «чистыми кормами»	КРС	Мясо	2,0–15,2
	Лошади	Мясо	1,9–9,5
	Овцы	Мясо	2,8–76,4
Рациональное использование сенокосов и пастбищ	КРС	Молоко	1,3–10,4
Подбор кормов для рациона	КРС	Молоко	1,7–2,5
	КРС	Мясо	32,6–41,8

1. *Организационно-хозяйственные мероприятия* включают в себя: эвакуацию животных, ограничение или запрещение выпаса животных; замену пастбищного содержания животных стойловым; перепрофилирование отраслей животноводства; подбор кормов

в рационах по степени их загрязнения; предубойный откорм животных; организацию «зеленого конвейера и т.п.

2. *Зоотехнические мероприятия* включают приемы рациональной пастьбы и кормления животных. Например, пастьбу животных следует начинать при отрастании травостоя не менее 10–15 см. Регулирование пастбищного содержания животных обеспечивается системой пастьбы и соблюдением норм нагрузки животных на пастбища, а также использованием в рационах зеленой подкормки.

Организация загонной пастьбы с порционным стравливанием пастбищ по сравнению с вольным бессистемным выпасом ограничивает потребление животными нижнего наиболее загрязненного яруса травостоя. При недостатке пастбищного корма в хозяйствах организуют пастбищно-стойловое или стойлово-лагерное содержание скота, при которых пастьба животных сочетается с подкормкой кормами «зеленого конвейера» и концентратами.

3. *Ветеринарные мероприятия* предусматривают использование в рационах животных кормовых добавок и специальных препаратов, предотвращающих всасывание техногенных загрязнителей в желудочно-кишечном тракте, дезактивацию кожных покровов, а также целенаправленную профилактическую диспансеризацию животных.

В ряду ветеринарных защитных мероприятий выделяют две основные группы контрамер, обеспечивающие гарантированное производство нормативно чистых продуктов животноводства (молоко, мясо). К первой группе относятся специфические цезий-связывающие препараты: ферроцин, бифеж, ферроцинсодержащие болюсы и брикеты соли-лизунца. Применение в рационах животных ферроцианидсодержащих препаратов (ФСП) является наиболее эффективным приемом снижения перехода цезия-137 в молоко и мясо.

Вторая группа состоит из природных сорбентов: цеолиты, вермикулит, различные глины, трепелы, сапропели и т.д. Состав сорбентов представлен широким спектром биофильных макро- и микроэлементов, обеспечивающих оптимизацию минерального питания животных, с одной стороны, и, в силу своих сорбционных свойств, уменьшающие поступление радионуклидов в организм животных, с другой.

В третий период проведения защитных мероприятий главным условием ведения сельскохозяйственного производства на загрязненной территории являлось получение продукции,



соответствующей санитарно-гигиеническим требованиям по содержанию радионуклидов, экономически выгодной и конкурентоспособной. Данный период времени назвали периодом реабилитации, или периодом возврата к условиям относительно нормальной жизнедеятельности населения, который может длиться не одно десятилетие. Поэтому проблема реабилитации загрязненных территорий относится к одной из сложнейших при ликвидации последствий ядерных аварий. Из-за особой масштабности загрязнения окружающей среды черныбыльская катастрофа выделяется из ряда известных ядерных аварий.

Следует отметить, что вопрос о перепрофилировании агропроизводства на загрязненной территории возник уже в первые месяцы после аварии. Вместе с тем, на протяжении ряда лет в пострадавших районах сельское хозяйство в основном развивалось по исторически сложившимся направлениям. Это подтверждают данные о структуре посевных площадей, плотности размещения коров в расчете на 100 га сельскохозяйственных угодий и по численности свиноматок на 100 га пашни. Курс на переспециализацию с учётом радиологической обстановки (молочное скотоводство на мясное) или только изменение отдельных направлений производственной деятельности (развитие семеноводства, производство кормов и др.) был принят в результате решения Главы государства.

Как было сказано выше, выбор направлений и разработка программ переспециализации, а также их авторское сопровождение осуществлялись РНИУП «Институт радиологии» и его Могилевским филиалом.

Реализация программ переспециализации начиналось в хозяйствах с создания материально-технической базы (реконструкции животноводческих и других помещений, поставки породистого скота, элитных семян, техники, других материальных ресурсов), с целью выхода хозяйств, в конечном счёте, на показатели производства, обеспечивающие повышение экономической эффективности в соответствии с принятой стратегией на экономическую реабилитацию пострадавших регионов.

На переспециализацию требовались большие финансовые средства, поэтому она проводилась по времени в три этапа.

На I этапе, в 2002–2005 годах, реализованы программы для 13 хозяйств Хойникского, Брагинского, Наровлянского районов Гомельской и 6 хозяйств 5 районов Могилевской области.

На II этапе, в 2006–2007 годах, реализация программ осуществлялась в 19 оставшихся хозяйствах Хойникского, Брагинского,

Наровлянского районов Гомельской области и 9 хозяйствах 5 районов Могилёвской области.

На III этапе, в 2007–2010 годах, выполнены программы в 9 хозяйствах Гомельской и 2 хозяйствах Могилевской областей.

Всего за три этапа проведения переспециализации реализованы программы для 57 хозяйств, что составляет 10 процентов от количества сельхозорганизаций, имеющих загрязненные угодья.

Благодаря переспециализации, происходило внедрение новых направлений сельскохозяйственного производства, характеризующихся существенно менее жесткими требованиями содержания радионуклидов в сырье, обеспечивающих возможности гарантированного производства нормативно чистой продукции, технологий, потенциально экономически более эффективных в конкретных условиях хозяйствования: мясное скотоводство на основе специализированных мясных пород крупного рогатого скота, свиноводство, семеноводство зерновых, картофеля, производство рапса, переработка непригодного на продовольственные цели зерна с повышенным содержанием стронция-90.

На I этапе реализации программ, в 2002–2005 годах, на создание материально-технической базы было использовано 34,3 млрд рублей государственных средств (Гомельская область 24,9 млрд, Могилевская область – 9,4 млрд). За эти средства хозяйствам поставлено 1572 головы крупного рогатого племенного скота, в том числе 450 голов скота специализированных мясных пород, 399 единиц техники, в том числе 17 зерноуборочных комбайнов, 23 трактора, другие материальные ресурсы (оборудование, элитные семена), реконструировано и построено 65 объектов.

Результатом проделанной работы явилась рентабельная в 2005 году работа всех переспециализируемых сельхозпредприятий, тогда как в 2001 году практически все они были убыточными. Если до переспециализации рентабельность 13 хозяйств Гомельской области в среднем составляла минус 10,8 %, а для 6 хозяйств Могилевской области – минус 11,3 %, то в 2006 году она увеличилась до плюс 35,2 % и до плюс 26,0 % соответственно.

Например, убытки 13 хозяйств Гомельской области в 2002 году (начало переспециализации) составляли 582,2 млн рублей, 6 хозяйств Могилевской области в 2003 году – 141 млн рублей. Но уже в 2006 году прибыль в переспециализированных хозяйствах Гомельской области была получена в сумме 13 824 млн рублей, хозяйствах Могилевской области – 6 635 млн рублей. Были превышены показатели по денежной выручке.

Переспециализация в 13 хозяйствах Гомельской области также позволила в 2007 году обеспечить в 8 организациях удои молока в соответствии с запланированными уровнями в бизнес-планах.

На реализацию программ II этапа переспециализация хозяйствам в 2006–2007 годах было выделено 45,35 млрд руб. (Гомельская область – 32,4 млрд руб., Могилевская область – 12,95 млрд руб.). В это время 28 хозяйствам закуплено и поставлено 1030 голов крупного рогатого скота, в том числе 390 голов скота специализированных мясных пород, 782 единицы техники, в том числе 11 зерноуборочных комбайнов, 107 тракторов. Выполнены работы по реконструкции 11 животноводческих и других производственных помещений.

Было обеспечено повышение рентабельности сельскохозяйственного производства во всех 19 хозяйствах Гомельской области. Средняя рентабельность по итогам 2006 года составила 17,8 %, по итогам 2007 года – 22,2 %. Производство валовой продукции по итогам 2006 года увеличилось на 2325,1 млн рублей, или на 6,7 %, прибыль – на 1116 млн рублей. По итогам 2007 года рост производства валовой продукции составил 7788 млн рублей, или 21 %, прибыли – 560 млн рублей.

Повысилась эффективность животноводства. В 2006 году в хозяйствах было обеспечено повышение удоев в среднем на 259 кг (3450 кг на одну голову), в четырех они превысили 4000 кг на одну корову. Среднесуточные привесы крупного рогатого скота в девяти хозяйствах превысили 500 г. По итогам 2007 года удои на одну корову составили в среднем 3979 кг, превысили 3500 кг в девяти хозяйствах, а в пяти – 4000 кг. Среднесуточные привесы крупного рогатого скота превысили 450 г в девяти хозяйствах.

Реализация программ переспециализации позволила обеспечить рентабельное производство сельскохозяйственной продукции также во всех девяти хозяйствах Могилевской области. Средняя рентабельность по итогам 2006 года составила 31,4 %, по итогам 2007 года – 31,7 %.

Производство валовой продукции в 2006 году увеличилось на 714,5 млн рублей, или на 4,3 %, прибыль – на 1832 млн рублей. За 2007 год производство валовой продукции увеличилось на 1315,1 млн рублей, или на 6,5 %, и составило 21 631,1 млн рублей, прибыль – на 621 млн рублей.

Во всех хозяйствах обеспечен рост урожайности зерновых и зернобобовых культур. По сравнению с 2005 годом средняя урожайность зерновых в 2006 году увеличилась на 0,5 % с гектара,

в 2007 году – на 5 % с гектара, причем в четырех хозяйствах она превысила 30 центнеров с гектара. Валовое производство зерна увеличилось более чем на 10 тыс. тонн. Все сельскохозяйственные организации, переспециализируемые на производство семян зерновых, зернобобовых культур, рапса, многолетних трав, вышли на запланированные объемы производства.

Повысилась и эффективность животноводства. В 2006 году было обеспечено повышение удоев в семи хозяйствах, в которых они превысили 3500 кг. Все переспециализируемые сельскохозяйственные организации в 2006 году выполнили план производства и реализации молока и мяса. В 2007 году в четырех хозяйствах удои превысили 4000 кг, а среднесуточные привесы крупного рогатого скота – 450 г. Выполнены задания по производству мяса и молока.

В целом за время реализации двух этапов переспециализации в 46 хозяйствах двух областей республики удалось создать необходимую материально-техническую базу, освоить современные технологии сельскохозяйственного производства, создать условия для гарантированного устойчивого производства нормативно чистой сельхозпродукции всей номенклатуры, за исключением зерна на продовольственные цели в трех наиболее загрязненных стронцием-90 районах – Хойникском, Брагинском и Наровлянском Гомельской области. Для решения этой проблемы и компенсации убытков хозяйств была выбрана технология переработки такого зерна на спирт. С этой целью был восстановлен и введен в действие спиртзавод в КСУП «Экспериментальная база «Стреличево» Хойникского района. Созданные мощности позволяют принимать ежегодно 5 тыс. тонн загрязненного зерна по цене продовольственного.

В Могилевской области удалось полностью решить проблему производства зерна, непригодного на продовольственные цели в связи с повышенным содержанием стронция-90, которая имела место только в переспециализируемых хозяйствах. За время двух этапов в трёх южных районах Гомельской области во всех хозяйствах были внедрены бизнес-программы. Анализ состояния агропроизводства в этих районах показал, что за период 2003–2008 годов в хозяйствах 3 районов Гомельской области прирост валового производства зерна увеличился на 69 %, валового производства молока – на 45 %, привеса КРС – на 62 %, привеса свиней – на 51 %, валовой продукции в стоимостном выражении – в 4,6 раза, прибыли от реализации продукции в 2,3 раза (таблица 4.2.6).

Таблица 4.2.6. – Объем дополнительной продукции, полученной в переспециализируемых хозяйствах трех районов Гомельской области (за период 2003–2008 годов)

Показатели	Ед. измерения	Наименование районов			
		Брагинский	Наровлянский	Хойникский	Всего по 3 р-нам
Прирост зерна	тонны	20248	5799	12583	38630
	%	87	70	51	69
Прирост молока	тонны	7393	2417	2917	12727
	%	56,2	62	17	45
Прирост привеса КРС	тонны	843	303	704	1850
	%	41	102	43	62
Прирост привеса свиней	тонны	0	97	50	147
	%	0	53	49	51
Прирост валовой продукции в сопост. ценах	млн.	32400	12713	36150	81263
	разы	4	5	4,8	4,6
Прирост прибыли от реализации продукции	млн	3058	724	1903	5677
	разы	2,4	2,1	2,5	2,3

Реализация указанных программ переспециализации обеспечила создание условий для устойчивого снижения содержания радионуклидов в производимой продукции.

Так, производство говядины с наиболее низким содержанием цезия-137 (до 100 Бк/кг) в хозяйствах Гомельской области, в которых реализованы программы на I этапе, увеличилось с 65,7 % в 2003 году до 85,6 % в 2007 году, или на 19,9 %, в хозяйствах участвующих на II этапе реализации программ, – с 69,1 % в 2006 году до 71,4 %, или на 2,3 %.

В целом по Гомельской области производство такой говядины возросло с 87 % в 2003 году до 96 % в 2007 году, или на 9 % за данный период времени (таблица 4.2.7).

Результаты наблюдений показали, что ежегодное увеличение производства говядины до 100 Бк/кг в хозяйствах I этапа переспециализации в среднем составило 4,97 %, II этапа – 2,3 %, в целом по области – 2,25 %. Отсюда следует, что темпы снижения содержания цезия-137 в говядине хозяйств I этапа переспециализации оказались в 2,2 раза, II этапа – в 1,02 раза более высокими в сравнении со среднеобластными.

Таблица 4.2.7. – Динамика поступления загрязненной цезием-137 говядины из хозяйств-участников 1-го и 2-го этапов переспециализации, тонн

Год наблюдений	Поступило из 13 хозяйств			Поступило из 19 хозяйств			Поступило по Гомельской области		
	всего	в том числе		всего	в том числе		всего	в том числе	
		до 100 Бк\кг	%		до 100 Бк\кг	%		до 100 Бк\кг	%
2003	644,2	423,2	65,7				16833,7	10378,2	87
2004	767,8	526,1	68,5				14104,5	12868	91
2005	766,7	541,5	70,6				14605,1	13423,3	91
2006	811,5	647,5	79,8	572,6	395,4	69,1	15783,6	14701,7	93
2007	898,3	768,8	85,6	707,2	504,9	71,4	16236,8	15663,1	96

В отношении производства молока показано, что в 2007 году из хозяйств I этапа переспециализации на молокозаводы было поставлено 95,1 % молока с удельной активностью цезия-137 до 37 Бк/кг, что на 11,5 % больше, чем в 2003 году; из хозяйств II этапа – 89,2 %, что на 6 % больше, чем в 2006 году, в целом по Гомельской области – 98,7 %, или на 2,7 % больше в сравнении с 2003 годом (таблица 4.2.8).

Таблица 4.2.8 – Динамика поступления загрязненного цезием-137 молока из хозяйств-участников 1-го и 2-го этапов переспециализации, тонн

Год наблюдений	Поступило из 12 хозяйств			Поступило из 19 хозяйств			Поступило по Гомельской области		
	всего	в том числе		всего	в том числе		всего	в том числе	
		до 37 Бк\кг	%		до 37 Бк\кг	%		до 37 Бк\кг	%
2003	8676,3	7251,5	83,6				261783	252374	96,0
2004	9785,7	8630,4	88,2				327365	318046	97,1
2005	10898,3	9731,4	89,3				379316	366805	96,7
2006	11971,5	10962,5	91,6	17262,4	14362,4	83,2	438298	430067	98,1
2007	13782,0	13105,8	95,1	19886,6	17748,6	89,2	470147	464391	98,7

Ежегодное увеличение продажи молока с удельной активностью цезия-137 до 37 Бк/кг в хозяйствах I этапа в среднем составило 2,88 %, II этапа – 6 % и по области – 0,68 %. Из этого вытекает, что темпы снижения удельного содержания цезия-137 в производимом молоке хозяйств I этапа были выше в 4,2 раза, II этапа – в 8,8 раза, чем в среднем по области.

Таким образом, анализ результатов двух этапов переспециализации производства сельскохозяйственных организаций на загрязненной территории свидетельствовали о ее производственной, экономической и радиологической эффективности.

4.2.2. Экономическая и радиологическая оценка переспециализации производства сельскохозяйственных предприятий Брагинского района

В 2002 году в РНИУП «Институт радиологии» были разработаны бизнес-планы совершенствования специализации для 7 сельскохозяйственных организаций Брагинского района. Позднее, в 2005 году, Гомельским областным комитетом по сельскому хозяйству и продовольствию по методике Института радиологии были разработаны еще 6 программ для остальных сельскохозяйственных организаций данного региона. В качестве основных направлений измененной и углубленной специализации хозяйств были определены производство картофеля, зерна, кормов, семян рапса, семеноводство зерновых культур и многолетних трав, а также молочно-мясное и специализированное мясное скотоводство. В 2008 году (после укрупнения хозяйств) в Брагинском районе функционировали 9 сельскохозяйственных предприятий.

На цели реализации утвержденных программ хозяйствам Брагинского района из республиканского бюджета, в рамках Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на ЧАЭС, было выделено 18,2 млрд руб. (таблица 4.2.9).

Объемы средств, направляемых хозяйствам, колебались от 1258,3 млн руб. для КСУП «Дублинский» до 3275,8 млн руб. для КСУП «Брагинский». Средний на одно хозяйство размер поступлений составил 2023,5 млн руб. Данные ресурсы использовались для приобретения сельскохозяйственной техники и оборудования, реконструкции животноводческих помещений, закупки племенного скота, семян, средств защиты растений, а также ветеринарных препаратов.

Таблица 4.2.9. – Средства, выделенные хозяйствам Брагинского района на реализацию программ совершенствования специализации, млн руб.

Наименование	2002–2005 гг.	2006 г.	2007 г.	Всего
КСУП «Брагинский»	1014,0	1069,9	1191,9	3275,8
КСУП «Чемерисский»	26,4	1348,3	1426,1	2800,8
КСУП им. Жукова	911,4	645,4	683,0	2239,8
КСУП «Маложинский»	2098,5	–	–	2098,5
КСУП «Пераможник»	2021,3	–	–	2021,3
КСУП «Комаринский»	1752,1	–	–	1752,1
КСУП «Брагинка»	1432,4	–	–	1432,4
КСУП «Красное»	1332,7	290,0	360,8	1332,7
КСУП «Дублинский»	10,1	561,2	687,0	1258,3
Итого	9948	3914,9	4348,8	18211,7

При разработке упомянутых ранее программ предполагалось, что степень эффективности их реализации будет зависеть не только от объема государственных инвестиций, но и от финансовых, материальных и технических возможностей самих хозяйств. Государственная помощь должна была положительным образом сказаться на решении ряда проблем, способствовать сокращению объемов ручного труда на загрязненных территориях, увеличению зарплат, повышению престижности работы в сельском хозяйстве, ликвидации недостатка кадров. Однако в полной мере этого не произошло.

Ограниченность выделенных из бюджета сумм и их распыление не способствовали осуществлению глубоких изменений, внедрению в животноводстве и растениеводстве новых, прогрессивных технологий. Следует добавить, что в расчете на 100 га сельхозугодий хозяйства Брагинского района получали вложения из отраслевых бюджетов и внебюджетных источников в тех же объемах, что и иные, менее загрязненные районы. Поэтому уровень оснащенности рассматриваемых хозяйств материальными и техническими средствами соответствовал среднему по области.

Вместе с тем следует отметить, что внедрение программ в загрязненных районах Гомельской области стало отправной точкой в процессе обновления материально-технической базы аграрного производства, его роста, стало значительным стимулом для улучшения производственно-экономических показателей работы сельскохозяйственных организаций.

Анализ производственно-экономической деятельности сельхозпредприятий Брагинского района с 2002 г. (в период внедрения программ) и оценка темпов достижения ими программных показателей

показали, что данные структуры не только увеличили объемы производства основных видов сельскохозяйственной продукции (зерна, мяса, молока), но и повысили рентабельность (таблица 4.2.10).

Таблица 4.2.10. – Результаты производственно-экономической деятельности сельхозорганизаций Брагинского района

Показатели	2002 г.	2008 г.	Изменения, +/-
1	2	3	4
Валовой сбор зерна, т	23214	43611	188%
Урожайность зерна, ц/га	21,2	30,4	+9,2
Реализация зерна государству, т	4233	7335	173%
Себестоимость 1 т зерна, тыс. руб.	94	285	в 3 раза
Средняя цена реализации 1 т зерна, тыс. руб.	112	313	в 2,8 раза
Прибыль (+), убыток (–) от реализации зерна, млн руб.	221	404	+183
Рентабельность производства зерна, %	21,3	6,4	–14,9 п.п.
Валовое производство молока, т	13025	20468	157%
Удой на корову, кг.	2223	3679	+1456
Товарность молока, %	65	80	123%
Реализация молока, т	9640	17499	182%
Себестоимость 1 т молока, тыс. руб.	220	551	в 2,5 раза
Средняя цена реализации 1 т молока, тыс. руб.	162	664	в 4 раза
Прибыль (+), убыток (–) от реализации молока, млн руб.	–535	1268	+1803
Рентабельность производства молока, %	–24,8	11,8	+36,6 п.п.
Поголовье крупного рогатого скота на конец года, гол.	23226	25730	111%
Поголовье коров на конец года, гол.	6790	7490	110%
Валовой привес крупного рогатого скота, т	2055	2789	136%
Среднесуточный привес крупного рогатого скота, г	354	454	+100
Реализовано мяса крупного рогатого скота, т	1562	1961	126%
Себестоимость 1 т привеса крупного рогатого скота, тыс. руб.	2087	6324	в 3 раза
Средняя цена реализации 1 т мяса крупного рогатого скота, тыс. руб.	1040	3650	в 3,5 раза
Прибыль (+), убыток (–) от реализации мяса крупного рогатого скота, млн руб.	–530	–2077	в 3,9 раз
Рентабельность производства мяса крупного рогатого скота, %	–20,9	–22,9	+2 п.п.

Продолжение таблицы 4.2.10

1	2	3	4
Заготовлено кормов на условную голову, ц к.ед.	16,0	26,3	164%
Себестоимость 1 т к.ед., тыс. руб.	78	212	в 2,7 раза
Общий объем денежной выручки, млн руб.	5970	29165	в 4,9 раза
Чистые прибыль (+), убыток (-), млн руб.	–	8577	–
Уровень рентабельности, %	–	26,6	–
Прибыль (+), убыток (-) от реализации продукции, млн руб.	-1252	50	–
Уровень рентабельности реализованной продукции, %	-18,1	0,2	–
Количество убыточных хозяйств (по реализованной продукции), ед.	12	1	–

С 2002 по 2008 г. хозяйства региона увеличили валовые сборы зерна на 20,4 тыс. т (88 %), валовое производство молока – на 7,4 тыс. т (57 %), мяса – на 0,73 тыс. т (36 %). Объемы реализации государству зерна увеличились на 3,1 тыс. т, молока – на 7,8 тыс. т, мяса – на 0,4 тыс. т. В 2008 году в Брагинском районе урожайность зерна была выше средней по области на 0,1 ц/га, удой на корову – ниже на 92 кг. Уровень убыточности производства говядины в Гомельской области в этом же году составил 33,1 %, тогда как в Брагинском районе значение данного показателя на 10,2 п.п. было ниже.

С 2002 г. по 2008 г. объем денежной выручки сельскохозяйственных организаций Брагинского района возрос на 23,2 млрд руб. (в 4,9 раза), а их чистая прибыль составила 8,57 млрд руб. Удельный вес чистой прибыли хозяйств Брагинского района среди районов Гомельской области увеличился до 3,4 %. В 2003–2008 гг. значение индекса эффективности (отношение прироста денежной выручки на 1 балло-га сельскохозяйственных угодий к сумме средств, выделенных на совершенствование программ) в рассматриваемом регионе составило 1,22. Если в 2002 году убыточными по реализации продукции являлись 12 из 13 хозяйств района, то в 2008 г. к таковым было отнесено только 1 (КСУП им. Жукова).

Наиболее ощутимые положительные результаты от внедрения программ были получены в КСУПах «Комаринский» и «Брагинский». Первое хозяйство специализируется на мясном скотоводстве, второе – на производстве молока. Большинство из 4,8 тыс. га земли, которыми располагает КСУП «Комаринский», приходится на легкие супесчаные почвы со средним баллом пашни 16,8. Однако, благодаря

внедрению мясного скотоводства экономическое положение хозяйства значительно улучшилось. В 2008 году им было получено 273 млн руб. прибыли от реализации продукции. Рентабельность составила 12,4 % (в 2005 году – 6 %, 2006 году – 3,3 %, 2007 году – 12 %). С 2002 года поголовье КРС в КСУП «Комаринский» увеличилось на 28 % и к 01.01.2009 достигло 3146 голов, на 50 % превысив плановое (1056 голов). За тот же период поголовье коров в хозяйстве увеличилось на 39 %. Валовой привес в 2008 году вырос до 378 т, что на 40 % больше плана. Продуктивность животных в 2006 году составляла 545 г, 2007 г. – 502 г, 2008 г. – 508 г (при плановом значении 550 г). Основной причиной недостаточной продуктивности скота являлось не сбалансированное кормление (как в период зимовки, так и в пастбищный).

КСУП «Брагинский» специализируется на производстве молочного сырья. В 2008 году урожайность зерна в хозяйстве достигла 35,5 ц/га, что позволило увеличить его производство в 1,8 раза к уровню 2002 года. За тот же период поголовье КРС увеличилось на 18 %, валовое производство молока – в 2,1 раза, годовой удой на корову составил 4784 кг. Хозяйство в целом справилось с выполнением основных показателей заложенными в бизнес-программе.

Одновременно с этим, КСУПы «Красное» и «Дублинский», расплывшие выделенные денежные средства по различным направлениям, имели худшие результаты. Поэтому в 2009 году эти хозяйства были присоединены к более сильным: первое – к КСУП «Комаринский», второе – к КСУП «Маложинский».

При разработке и внедрении программ совершенствования специализации агропроизводства главным условием его ведения, как в Брагинском, так и в других районах являлось получение продукции соответствующей республиканским допустимым уровням (РДУ). В результате совершенствования специализации и укрепления материально-технической базы хозяйства Брагинского региона увеличили производство мяса КРС с удельной активностью цезия-137 менее 100 Бк/кг, то есть более чистого. Удельный вес продукции данной категории вырос на 36,2 % (таблица 4.2.11). И если в 2002–2007 гг. отмечались случаи возврата мясокомбинатами скота на дополнительную очистку, то в 2008 году такие факты были исключены полностью. Необходимо подчеркнуть, что с 2002 г. по 2008 г. доля поступавшей на мясокомбинаты из Брагинского района говядины с содержанием цезия-137 не более 160 Бк/кг (соответствующей СанПиН 2.3.2.1078–01 Российской Федерации) увеличилась на 14,5 % и достигла 96,3 %.

Таблица 4.2.11. – Удельный вес мяса КРС с различным содержанием цезия-137, поступившего из переспециализированных хозяйств Брагинского района, %

Удельная активность, Бк/кг	Годы наблюдений						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Менее 100	48,3	79,4	78,3	84,2	84,7	86,4	84,5
100–160	33,5	10,1	11,7	12,4	6,4	8,3	11,8
160–250	13,6	7,5	9,1	2,5	7,3	4,1	3,0
250–400	3,5	3,0	0,8	0,9	1,6	1,2	0,7
400–500	1,1	0	0,1	0	0	0	0
Более 500	0	0	0	0	0	0	0
Возврат скота КРС, голов	55	59	5	7	8	45	0

Аналогичная ситуация наблюдалась и в сфере производства молока. С 2002 по 2008 г. удельный вес данного сырья с активностью цезия-137 менее 37 Бк/л увеличился с 79,2 % до 90,8 % (прирост на 11,6 %) (таблица 4.2.12).

Таблица 4.2.12. – Удельный вес молока с различным содержанием цезия-137, поступившего из хозяйств Брагинского района, в период 2002–2008 гг., %

Удельная активность, Бк/л	Годы наблюдений						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Менее 37	79,2	82,8	81,0	85,1	91,0	96,2	90,8
37–50	9,7	6,6	8,4	6,2	5,5	1,5	5,1
50–65	4,2	3,5	4,9	4,0	1,9	0,9	2,2
65–80	2,8	2,0	3,2	2,5	0,8	0,5	0,5
80–100	1,6	1,6	1,7	1,6	0,7	0,7	0,9
Более 100	2,5	3,5	0,8	0,6	0,1	0,2	0,5

В отдельных хозяйствах Брагинского района (КСУП «Брагинка», им. Жукова, «Пераможник») часть производимого продовольственного зерна имела содержание стронция-90, превышающее нормативное. Зерно данной категории использовалось в качестве семенного, фуражного, а также для производства спирта. Содержащее повышенное количество радионуклидов молоко перерабатывалось на сливочное масло.

Таким образом, внедрение программ совершенствования специализации агропроизводства в Брагинском районе с учётом радиологической обстановки позволило улучшить и обновить

материально-техническую базу хозяйств. Это дало толчок к стимулированию развития, повышению эффективности их работы. Финансирование соответствующих программ дало наиболее ощутимые результаты в хозяйствах, выбравших научно обоснованные направления деятельности, не распылявших средства, а направлявших их на развитие конкретных технологий. Внедрение предложенных программ положительным образом сказалось на улучшении радиологического качества аграрной продукции.

4.2.3. Содержание цезия-137 в продукции животноводства Хойникского района

Начальный путь радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции начинается с корневого поступления радионуклидов в растения и далее переходит в животноводческую продукцию. Для снижения поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию проводится комплекс защитных мер, направленных на повышение уровня плодородия почв, оптимизацию землепользования, переспециализацию, создание культурных пастбищ и сенокосов, применение цезийсвязывающих препаратов и др. Все эти меры выполняются в рамках государственных программ по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, финансирование которых осуществляется за счёт бюджета республики.

В результате многолетней реализации защитных мер и естественного распада радионуклидов за послеаварийный период поступление цезия-137 и стронция-90 в сельскохозяйственную продукцию снижается. Вместе с тем положительные изменения в радиационной обстановке требуют со стороны научных работников регулярного наблюдения за её изменениями для уточнения стратегии ведения сельскохозяйственного производства.

Одной из сторон оценки радиационной обстановки является изучение накопления радионуклидов в продукции животноводства в динамике, эффективность её производства в условиях радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий, в частности, Хойникского района как наиболее пострадавшего и расположенного вблизи ЧАЭС.

Объектами исследований являлись все сельскохозяйственные предприятия Хойникского района. Материалом изучения служили земельные угодья хозяйств, плотности загрязнения почв радионуклидами, объемы производимой и загрязненной продукции, структура животноводческой продукции, экономические показатели работы.

Исследованиями установлено, что после катастрофы на ЧАЭС в результате эвакуации и отселения жителей 37 населенных пунктов в сельскохозяйственном производстве Хойникского района произошли существенные изменения. Площади сельскохозяйственных угодий сократились на 35,7 тыс. га, или на 46,1 %, в том числе пашни на 10,6 тыс. га, или 34 %. Из имевшихся до аварии 24 колхозов и совхозов продолжают свою деятельность 8 хозяйств.

В настоящее время из 41,7 тыс. га сельскохозяйственных угодий, на которых ведется сельскохозяйственное производство, 39,8 тыс. га имеют плотность загрязнения цезием-137 выше 1 Ки/км². Часть сельскохозяйственных участков в количестве 2,5 тыс. га, расположенных на пахотных и кормовых угодьях, имеют плотность загрязнения данным радионуклидом 15–40 Ки/км². Кроме этого, 39,6 тыс. га или 95 % сельскохозяйственных земель одновременно загрязнены стронцием-90 с плотностью от 0,15 до 3,0 Ки/км² и 185 га – с плотностью более 3 Ки/км².

Известно, что поступление радионуклидов в урожай и корма для животных резко уменьшается на высокоплодородных почвах, характеризующихся оптимальными агрохимическими свойствами. В целях снижения поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию в Хойникском районе применяются повышенные дозы фосфорных и калийных удобрений, поддерживающее известкование. Например, в 2010 году объемы фосфорных и калийных удобрений, полученные сельскохозяйственными предприятиями района по чернобыльской программе, составили 53 % от общей дозы фосфора и 63 % от общей дозы калия, внесенных на все сельскохозяйственные угодья. Общий объем минеральных удобрений (азотные, фосфорные, калийные), внесенных в 2010 году в районе на 1 га пашни, составил 391 кг д.в., в 2009 г. – 380 кг д.в., органических удобрений – 8,5 т, в 2009 г. – 11,2 т.

Контрмеры в кормопроизводстве положительно сказываются на уровне производства нормативно-чистого молока и мяса как в общественном секторе, так и в частном. За 2009 – 2010 годы превышений РДУ-99 по содержанию цезия-137 более 100 Бк/кг в молоке, поступившем на молокозаводы из хозяйств и от населения Хойникского района, не зарегистрировано (таблица 4.2.13).

Таблица 4.2.13. – Содержание цезия-137 в молоке, поступившем на молокозаводы из хозяйств Хойникского района

Год	Поступило всего, т	Менее 37 Бк/л, т	%	37–100 Бк/л, т	%	Более 100 Бк/л, т	%
2000	10533,5	8942,6	85	1552,2	15	38,7	0,4
2001	11855,6	11161,1	94	694,5	6	0	0,0
2002	11608,1	9392,4	81	2100,9	18	114,8	1,0
2003	11363,5	9801,5	86	1509,6	13	52,4	0,5
2004	12131,2	11063,6	91	1062,1	9	5,5	0,0
2005	12851,7	11248,3	88	1467,3	11	136,1	1,1
2006	13162,0	11340,1	86	1605	12	216,9	1,6
2007	13181,0	11772,7	89	1295,8	10	112,5	0,9
2008	15823,6	15124,7	96	685,3	4	13,6	0,1
2009	18011,0	17871,3	99	139,7	1	0	0,0
2010	17817,1	17783,3	99,8	33,8	0,2	0	0,0

В местах откорма и на мясокомбинатах первичный контроль содержания цезия-137 в теле животных проводится методом прижизненного определения, который позволяет отбирать животных для забоя и в случае их несоответствия нормативу дополнительно откармливать на чистых кормах. Поэтому при поступлении из хозяйств на мясокомбинаты скота с превышением содержания цезия-137 из-за недостаточного контроля он возвращается обратно в хозяйства. В 2010 году по данной причине был зарегистрирован один случай возврата 20 голов скота из мясокомбината в КСУП «Оревичи».

Следует указать, что за период с 2000 по 2010 год количество говядины, реализованной из района на мясокомбинаты области, увеличилось в 2 раза и в 2010 году достигло 445 т. Одновременно с этим удельный вес говядины с радиоактивностью менее 160 Бк/кг увеличился на 20 % (таблица 4.2.14), то есть содержание в ней цезия-137 снижалось.

Аграрный сектор района включает 6 коммунальных сельскохозяйственных унитарных предприятий (КСУП «Велетин», КСУП «Мележа», КУП «Э/база Стреличево», КСУП «Судково», КСУП «Великоборский», КУП «Оревичи»), ОАО «Агросервис», четыре предприятия обслуживающей и перерабатывающей отрасли, пять крестьянско-фермерских хозяйств. Район специализируется на производстве мяса, молока, зерна, картофеля, сахарной свеклы, выращивании рапса.

Таблица 4.2.14. – Количество мяса КРС, поступившего на мясокомбинаты из хозяйств Хойникского района в период 2000–2010 годов, по диапазонам содержания цезия-137, тонн

Год	Поступило всего	Менее 160 Бк/кг	%	160–500 Бк/кг	%	Более 500* Бк/кг	%
2000	221,6	171,8	78	49,8	22	0	0
2001	307,1	184,1	60	123	40	0	0
2002	349,3	294,2	84	55,1	16	0	0
2003	352,4	266,3	76	86,1	24	0	0
2004	331,7	301,7	91	30	9	0	0
2005	363,7	313,8	86	49,9	14	0	0
2006	358,9	318,8	89	40,1	11	0	0
2007	378,9	310	82	68,9	18	0	0
2008	306,0	274,7	90	31,3	10	0	0
2009	494,7	493,5	100	1,2	0,2	0	0
2010	445,0	437,6	98	7,4	2	0	0

* 500 Бк/кг – норматив содержания цезия-137 в говядине, баранине согласно РДУ Республики Беларусь.

В целом динамика производства продукции животноводства с 2000 года имеет положительную тенденцию (рисунок 10). Анализ производственных и экономических показателей животноводческой отрасли сельскохозяйственных организаций Хойникского района за 2010 год показал, что в областной структуре производства молока район занимает 2,9 %, реализации скота 1 % (таблица 4.2.15). Резервом производства продукции является увеличение надоев молока. За 2010 год в районе было получено от каждой коровы на 669 кг молока меньше, чем в среднем по области. Производство говядины и свинины убыточно, рентабельность молока составила 7,3 %, что ниже на 8,2 % среднеобластного показателя.

Три сельскохозяйственные организации района, из 120 по области, в 2010 году сработали с прибылью, что позволяет им, несмотря на сложные радиологические условия, развивать производство и обеспечивать проживание сельского населения.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствовали, что с течением времени после чернобыльской катастрофы радиологическая обстановка в животноводческой отрасли Хойникского района постепенно улучшается.

Благодаря принимаемым мерам и естественному распаду радионуклидов, удельное содержание радионуклидов в животноводческой продукции снижалось.

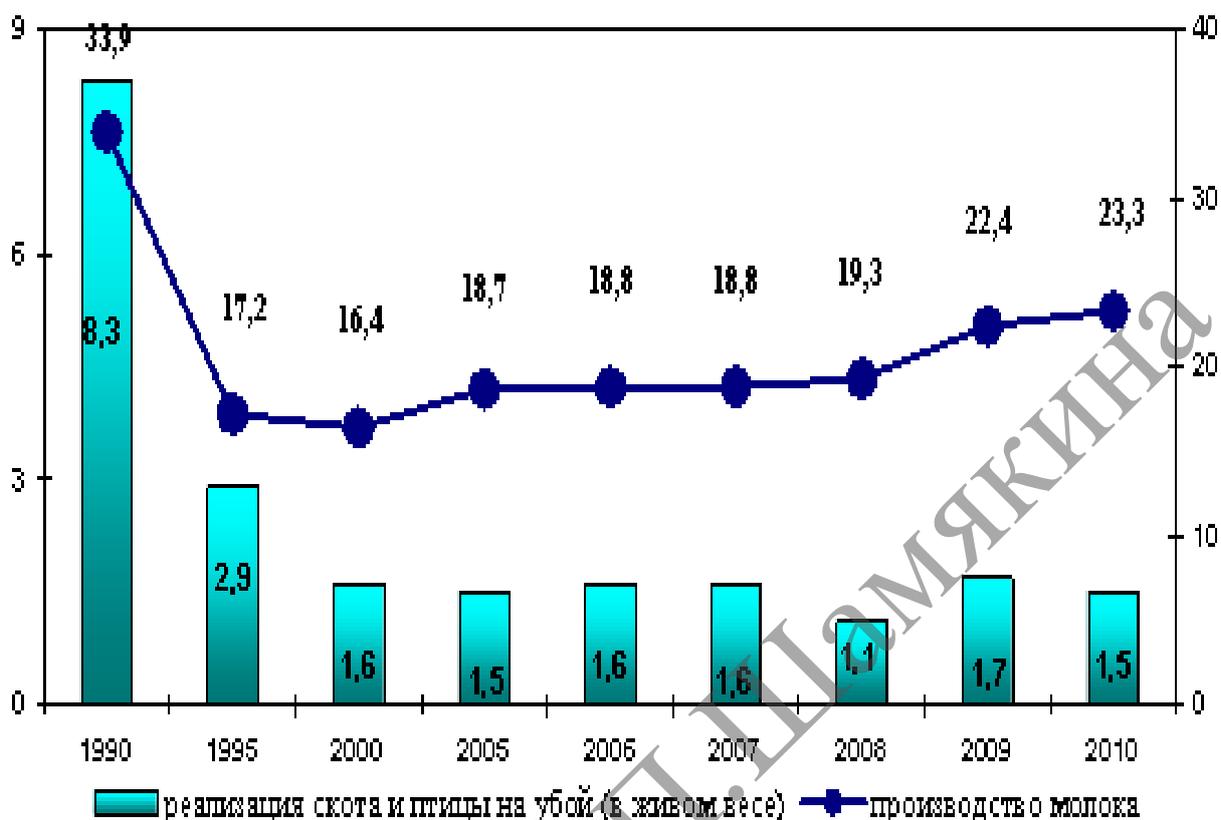


Рисунок 10. – Производство продукции животноводства в сельскохозяйственных организациях Хойникского района, тыс. тонн

Таблица 4.2.15. – Показатели работы животноводческих отраслей Хойникского района и Гомельской области за 2010 год

Экономические и производственные показатели сельскохозяйственных предприятий	Хойникский район	Гомельская область
1	2	3
Молоко		
Валовое производство молока, тонн	23305	812843
Удой от коровы, кг	3696	4365
Товарность молока, %	79,1	82,4
Средняя цена реализации 1 т, тыс. руб.	825,7	875,4
Прибыль +, убыток - от реализации, млн руб.	+967	+80473
Рентабельность, %	+7,3	+15,5
Скот и птица		
Поголовье КРС на конец года, голов	21163	603721
В том числе коров	7340	203368

Продолжение таблицы 4.2.15

1	2	3
Среднесуточный привес КРС, грамм	553	614
Средняя цена реализации 1 тонны, тыс. руб.	3524,5	3919,2
Прибыль +, убыток – от реализации, млн руб.	-3832	-149643
Рентабельность, %	-35,8	-35,4
Поголовье свиней на конец года, голов	1108	366619
Среднесуточный привес, грамм	202	535
Средняя цена реализации 1 тонны, тыс. руб.	4293,5	5115
Прибыль +, убыток – от реализации, млн руб.	-40	+14553
Рентабельность, %	-13,5	+6,9
Реализовано скота и птицы всего, тонн	1538	146196
Заготовлено кормов на усл. голову, ц к.ед.	27,7	21,9
Себестоимость 1 тонны к.ед., тыс. руб.	284	380
Общее количество хозяйств	8	227
из них безубыточных хозяйств	3	120

Количество молока как в общественном, так и в сборном молоке, поступившем на молокозаводы из частного сектора Хойникского района, с активностью цезия-137 более 100 Бк/кг в 2009–2010 годах достигло 100 %. Динамика производства продукции животноводства с 2000 года имеет положительную тенденцию, наблюдается прирост производства молока. Резервом производства является увеличение рентабельности молока и устранение убытков от производства свинины и говядины. Из 8 хозяйств в 2010 году только 3 (37,5 %) хозяйства от своей производственной деятельности получили положительные экономические результаты.

4.2.4. Производство животноводческой продукции в условиях Наровлянского района

После катастрофы на ЧАЭС в результате эвакуации и отселения жителей 37 населенных пунктов в сельскохозяйственном производстве Наровлянского района, как и в других пострадавших районах, произошли существенные изменения. Площади сельскохозяйственных угодий сократились на 23,7 тыс. га, или более чем на 50 %, в том числе пашни на 12,1 тыс. га. Из имевшихся до аварии 13 колхозов и совхозов продолжают свою деятельность только два хозяйства.

В настоящее время из 19,4 тыс. га сельскохозяйственных угодий, на которых ведется сельскохозяйственное производство, 18,5 тыс. га имеют плотность загрязнения цезием-137 выше

1 Ки/км². Часть сельскохозяйственных участков в количестве 2,8 тыс. га, расположенных на пахотных и кормовых угодьях, имеют плотность загрязнения данным радионуклидом 15–40 Ки/км². Кроме этого 13,6 тыс. га или 70 % сельскохозяйственных земель одновременно загрязнены стронцием-90 с плотностью от 0,15 до 0,5 Ки/км² и 9,7 % угодий – с плотностью от 0,5 до 2 Ки/км².

Попадание радионуклидов в урожай и корма для животных резко уменьшается на высокоплодородных почвах, характеризующихся оптимальными агрохимическими свойствами. В целях снижения поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию в Наровлянском районе применяются повышенные дозы фосфорных и калийных удобрений, поддерживающее известкование. В 2009–2010 годах объемы внесенных фосфорных и калийных удобрений на сельхозугодья увеличились. Причем минеральные удобрения, полученные по чернобыльской программе, составили более 50 % от общей дозы фосфора и около 70 % калия, внесенных на все сельскохозяйственные угодья. Достаточно высокий объем внесения минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры является одним из условий роста урожайности и валовых сборов зерна и кормов. Общий объем минеральных удобрений (азотные, фосфорные, калийные), внесенных в 2010 году в районе на 1 га пашни, составил 316 кг д.в., органических удобрений – 4,4 т.

Контрмеры в кормопроизводстве положительно сказываются на уровне производства нормативно-чистого молока и мяса как в общественном секторе, так и в частном. За 2007–2010 годы превышений РДУ-99 по содержанию цезия-137 в молоке, поступившем на молокозаводы из хозяйств и населения Наровлянского района, не зарегистрировано. Динамика количества молока с превышением норматива, поступающего на молокозаводы из хозяйств общественного и частного сектора, показана на рисунке 11.

Контроль качества мяса общественного сектора при внутрихозяйственном убое показал, что с 2005 по 2010 год среднее значение содержания цезия-137 в свинине составило 25–46 Бк/кг, в говядине 46–120 Бк/кг. За период с 2000 по 2010 годы количество говядины, поступившей из района на мясокомбинаты области, увеличилось в 2,4 раза и в 2010 году достигло 204,5 т. Одновременно с этим удельный вес говядины с радиоактивностью менее 160 Бк/кг вырос на 63 % (таблица 4.2.16).

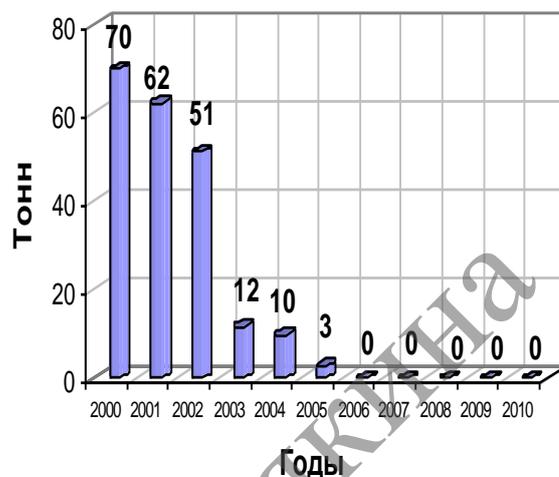
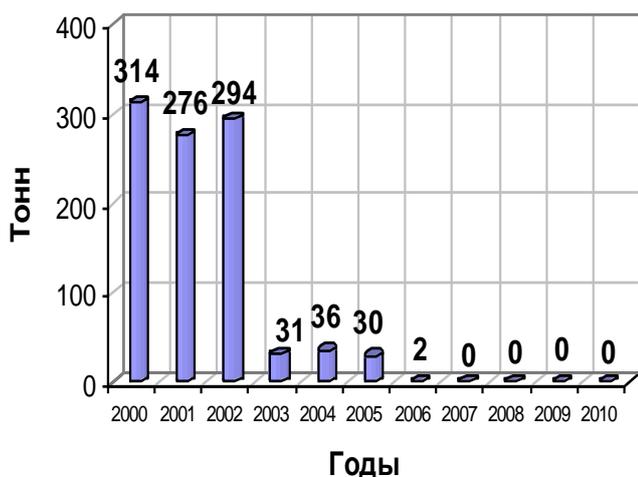


Рисунок 11. – Динамика поступления молока на молокозаводы из общественного (слева) и частного (справа) секторов Наровлянского района, с превышением 100 Бк/кг по содержанию цезия-137

Таблица 4.2.16. – Количество мяса КРС, поступившего в период 2000–2010 гг. на мясокомбинаты из хозяйств Наровлянского района, по диапазонам содержания цезия-137, тонн

Год	Поступило всего	Менее 160 Бк/кг	%	160-500 Бк/кг	%	Более * 500 Бк/л	%
2000	83,7	27,4	33	56,3	67	0	0
2001	129,0	52,4	41	76,6	59	0	0
2002	94,2	39,2	42	55	58	0	0
2003	135,3	83,6	62	51,7	38	0	0
2004	178,9	128,9	72	50	28	0	0
2005	209,1	176,8	85	32,3	15	0	0
2006	222,9	171,9	77	51	23	0	0
2007	222,2	200,7	90	21,5	10	0	0
2008	168,4	151,3	90	17,1	10	0	0
2009	169,4	162,3	96	7,1	4	0	0
2010	204,5	186,5	91	18,0	9	0	0

* 500 Бк/кг – норматив содержания цезия-137 в говядине, баранине, согласно РДУ РБ.

Как видно из показателей (рисунок 12), начиная с 2006 года, из района прекратилось поступление крупного рогатого скота с превышением допустимого уровня по цезию-137.

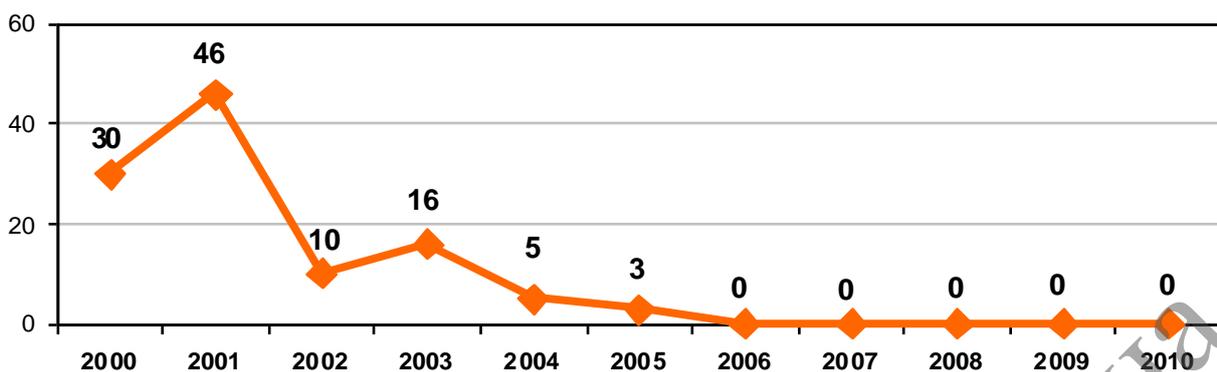


Рисунок 12. – Возврат скота в общественном секторе Наровлянского района с превышением допустимого уровня по цезию-137, голов

Значительный вклад в производство сельскохозяйственной продукции вносят личные подсобные хозяйства населения. В 2009 году жителями Гомельской области в подсобных хозяйствах было произведено 18 % молока, 18 % скота и птицы на убой, 84 % картофеля, 78 % овощей, 74 % плодов и ягод.

Известно, что в загрязненных районах молоко является продуктом ежедневного потребления и основным дозообразующим компонентом рациона населения на загрязненной территории. Поэтому для решения проблемы производства нормативно чистого молока в Наровлянском районе ежегодно создаются культурные пастбища для скота частного сектора (рисунок 13).



Рисунок 13. – Создание культурных пастбищ для скота частного сектора в Наровлянском районе

Результатом проведения таких мер является снижение числа населенных пунктов с превышением РДУ по содержанию в молоке цезия-137. Наблюдения показывают, что в 2010 году количество населенных пунктов в Наровлянском районе, в которых зарегистрировано производство молока в личных подсобных хозяйствах с превышением РДУ-99 по содержанию цезия-137, сократилось до 4 (рисунок 14).

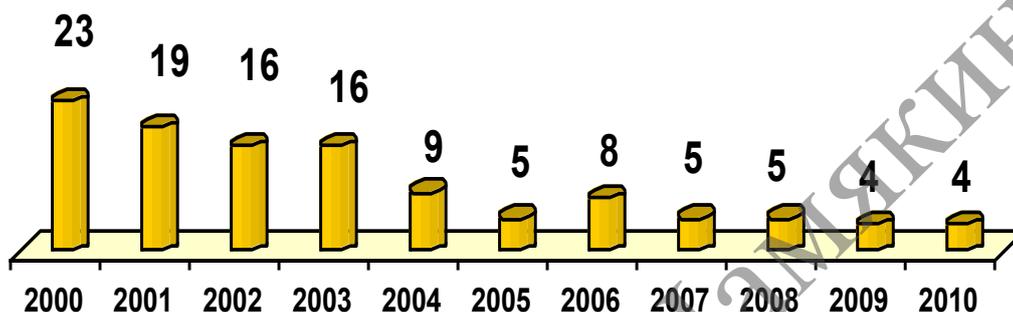


Рисунок 14. – Количество населенных пунктов Наровлянского района с превышением РДУ-99 по содержанию цезия-137 в молоке частного сектора (2000–2010 годы)

Одновременно с этим сборное молоко, поступившее на молокозаводы из частного сектора Наровлянского района в 2010 году, с содержанием цезия-137 менее 37 Бк/л составило 100 % (таблица 4.2.17).

Таблица 4.2.17. – Содержание цезия-137 в сборном молоке, поступившем на молокозаводы из частного сектора Наровлянского района (2000–2010 годы), тонн

Год	Поступило всего	Менее 37 Бк/л	%	37–100 Бк/л	%	Более 100 Бк/л	%
2000	525,1	300,7	57	154,5	29	69,9	13,3
2001	792,3	460,4	58	269,6	34	62,3	7,9
2002	572,5	345,7	60	175,5	31	51,3	9,0
2003	600,7	440,9	73	148,1	25	11,7	1,9
2004	700,2	456,8	65	233,5	33	9,9	1,4
2005	623,9	487,3	78	133,9	21	2,7	0,4
2006	520,3	422,4	81	97,7	18,9	0,2	0,1
2007	379,5	341,2	90	38,3	10	0	0
2009	364,3	364,1	99,03	0,2	0,07	0	0
2010	355,3	355,3	100	0	0	0	0

В отношении стронция-90 было показано, что если в 2009 году превышение РДУ-99 в молоке наблюдалось в двух населенных пунктах, то в 2010 году не отмечалось ни в одном.

В настоящее время аграрный сектор района включает два сельскохозяйственных предприятия: КУП «Владимировский-Головчицы», специализирующийся на молочно-мясном скотоводстве с развитым свиноводством и КСУП «Братство», специализацией которого является молочно-мясное скотоводство.

Динамика производства продукции животноводства в районе с 2000 года имеет положительную тенденцию, в последние годы наблюдается прирост производства молока (рисунок 15).

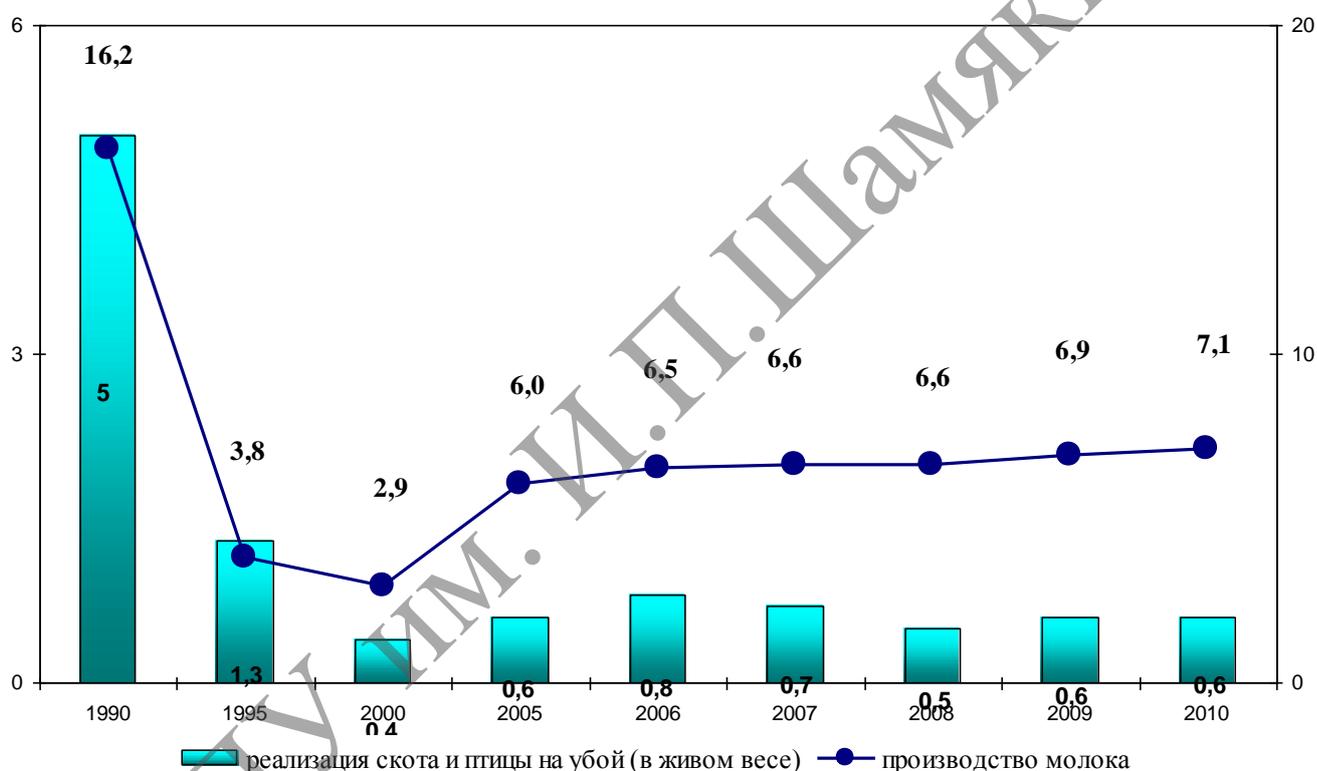


Рисунок 15. – Производство продукции животноводства в сельскохозяйственных организациях Наровлянского района, тыс. тонн

Анализ производственных и экономических показателей животноводческой отрасли сельскохозяйственных организаций Наровлянского района за 2010 год показал, что в областной структуре производства молока район занимает 0,9 %, реализации скота 0,4 % (таблица 4.2.18). Резервом производства продукции является увеличение надоев молока. За 2010 год в районе надоено от каждой коровы на 459 кг меньше, чем в среднем по области. Производство говядины и свинины убыточно, а рентабельность молока на 16,4 % выше среднеобластного показателя. Две

сельскохозяйственные организации района по итогам работы за 2010 год получили прибыль.

Таким образом, результаты исследований свидетельствовали, что с течением времени радиологическая обстановка в животноводческой отрасли Наровлянского района постепенно нормализуется. Благодаря принимаемым мерам в агропроизводстве и естественному распаду радионуклидов, удельное содержание радионуклидов в животноводческой продукции снижается. Количество молока как в общественном, так и в сборном молоке, поступившем на молокозаводы из частного сектора Наровлянского района, с активностью цезия-137 менее 37 Бк/кг в 2010 году достигло 100 %. Динамика производства продукции животноводства с 2000 года имеет положительную тенденцию, наблюдается прирост производства молока. Несмотря на убыточное производство свинины и говядины в целом животноводческая отрасль работает рентабельно.

Таблица 4.2.18. – Показатели работы животноводческих отраслей Наровлянского района и Гомельской области за 2010 год

Экономические и производственные показатели сельскохозяйственных предприятий	Наровлянский район	По Гомельской области
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Молоко		
Валовое производство молока, тонн	7101	812843
Удой от коровы, кг	3906	4365
Товарность молока, %	79,5	82,4
Средняя цена реализации 1 т, тыс. руб.	879,3	875,4
Прибыль +, убыток - от реализации, млн руб.	+1147	+80473
Рентабельность, %	+31,9	+15,5
Скот и птица		
Поголовье КРС на конец года, голов	5349	603721
в том числе коров	2185	203368
Среднесуточный привес КРС, грамм	674	614
Средняя цена реализации 1 тонны, тыс. руб.	3881	3919,2
Прибыль +, убыток - от реализации, млн руб.	-816	-149643
Рентабельность, %	-30,7	-35,4
Поголовье свиней на конец года, голов	4995	366619
Среднесуточный привес, грамм	389	535
Средняя цена реализации 1 тонны, тыс. руб.	4725,7	5115

Продолжение таблицы 4.2.18

1	2	3
Прибыль +, убыток - от реализации, млн руб.	-93	+14553
Рентабельность, %	-12,9	+6,9
Реализовано скота и птицы всего, тонн	608	146196
Заготовлено кормов на усл. голову, ц. к.ед.	41,4	21,9
Себестоимость 1 тонны к.ед., тыс. руб.	347	380
Общее количество хозяйств, ед.	2	227
из них безубыточных	2	120

4.2.5. Экономическая и радиологическая эффективность получения сельскохозяйственной продукции в трёх южных районах Гомельской области

Изучение в сравнении эффективности сельскохозяйственного производства в южных районах Гомельской области, внедривших программы совершенствования специализации, проводилось по результатам работы за 2009 год. К этому времени было известно, что на реализацию программ в хозяйствах трёх южных районов Гомельской области из республиканского бюджета в рамках Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на ЧАЭС было выделено в 2002–2007 годах – 55,2 млрд руб.

Оценка темпов достижения основных программных показателей свидетельствовала, что программа по производству зерна в трёх южных районах Гомельской области за 2009 год была выполнена на 118,1 %, в том числе по Брагинскому району – на 132 %, по Наровлянскому району – на 77 % и по Хойникскому району – на 123 %. В 2009 году валовой сбор зерна составил 103 634 тонны, что на 47 727 тонн, или на 85,6 %, выше уровня 2002 года.

Урожайность зерновых культур в 2009 году достигла 33,9 ц/га (по программе 29,5 ц/га). Прибавка урожая к уровню 2002 года составила 12,3 центнеров с каждого гектара. Урожайность более 30 ц/га получили двенадцать хозяйств из семнадцати, в том числе пять хозяйств получили урожайность более 40 ц/га. Самая высокая урожайность была получена в КСУП имени Мележа Хойникского района – 52,9 ц/га и в КСУП «Чемерисский» Брагинского района – 46,3 ц/га.

Показателей по валовому производству зерна не достигли 3 хозяйства из семнадцати: КУП «Владимировский-Головчицы»

(72 %) и КСУП «Братство» (87 %) Наровлянского района и КУП «Э/б «Стреличево» (89 %) Хойникского района.

Программные показатели по урожайности зерновых культур не выполнили три хозяйства Наровлянского района и одно Хойникского района. Недостаточная культура земледелия, отсутствие высококвалифицированных кадров, невыполнение в полном объёме рекомендаций института не позволили данным хозяйствам выполнить программные показатели по производству зерна.

Материалы изучения плотностей загрязнения радионуклидами сельскохозяйственных площадей южных районов свидетельствовали, что, например, в Хойникском районе до 89 % сельскохозяйственных угодий и 95,5 % пашни загрязнены стронцием-90 выше 0,3 Ки/км², на которых проблематично получать продовольственное зерно в пределах РДУ-99 (11 Бк/кг). Поэтому зерно, с удельной концентрацией стронция-90 выше норматива, направляется для использования на семенные цели, на фураж и в качестве сырья при производстве спирта на Стреличевском спиртзаводе.

В 2009 году на зимне-стойловый период в Гомельской области было заготовлено на 1 условную голову по 26 ц к. ед., в Брагинском районе на 6,1 ц к. ед., в Наровлянском районе на 12,3 ц к. ед. и Хойникском районе на 11,6 ц к. ед. больше данного средне-областного показателя. В трёх районах были также выполнены показатели по заготовке кормов, определенных в программах. Так, в Брагинском районе они были выполнены на 117 %, в Наровлянском районе – на 125 % и в Хойникском районе – на 123 %.

В 2009 г выход кормовых единиц в целом по Гомельской области составил 34,8 ц к. ед. с 1 га сельскохозяйственных угодий и 44,3 ц к. ед. с 1 га пашни, соответственно в Брагинском районе – 32,5 ц к. ед. и 44,1 ц к. ед., в Наровлянском районе – 25,0 ц к. ед. и 35,3 ц к. ед. и в Хойникском районе – 43,7 ц к. ед. и 58,0 ц к. ед. В сравнении с 2008 годом выход кормовых единиц с 1 га сельскохозяйственных угодий в Наровлянском районе оказался на 1,2 ц к. ед. ниже и с 1 га пашни – выше на 2,1 ц к. ед., а в Брагинском и Хойникском районах выход кормовых единиц с 1 га как сельхозугодий, так и пашни в 2009 году был выше в сравнении с предыдущим годом.

Важным показателем эффективности кормопроизводства является себестоимость кормов. В целом по Гомельской области себестоимость 1 т к. ед. в 2009 году по отношению к 2008 году составила 106 %, в Брагинском районе – 109 %, Наровлянском районе – 110 % и Хойникском районе – 120 %.

Из приведенных данных видно, что себестоимость 1 т к. ед. в трех районах увеличилась больше, чем в среднем по области, при этом наиболее существенный рост произошел в Хойникском районе.

Следующим показателем, характеризующим качество заготовленных кормов, является содержание переваримого протеина. Если в 2009 году в целом по Гомельской области содержание протеина в 1 к. ед. снизилось до 77 г (уменьшилось на 8 г в сравнении с 2008 годом), в Наровлянском районе также уменьшилось на 1 г и составило 72 г в 1 к. ед., то в Брагинском районе увеличилось и достигло 92 г в 1 к. ед., в Хойникском районе также увеличилось на 7 г и составило 89 г в 1 к. ед.

Согласно программам совершенствования специализации, во всех хозяйствах трёх районов требовалось увеличить поголовье КРС и выйти на запланированное его количество. Однако из трёх районов два района – Наровлянский и Хойникский – не выполнили программные показатели. Например, в 2009 году в Наровлянском районе поголовье скота составило 78 % и в Хойникском районе – 91 % от предусмотренного программами переспециализации. Следует далее добавить, что в 2009 году в Наровлянском районе поголовье КРС даже уменьшилось к уровню предыдущего года на 3 %, в то время как в Брагинском и Хойникском районах как и в целом по Гомельской области наблюдался его рост.

Молочное скотоводство относится к отрасли, которая во многом формирует финансовое благополучие хозяйств. Состояние и развитие молочного скотоводства характеризуется наличием коров. Следует отметить, что в 2009 году поголовье коров по отношению к 2008 году приросло на 1 % как в целом по Гомельской области, так и в каждом из трёх районов. Вместе с тем, в 2009 году поголовье коров в Брагинском районе было ниже программного показателя на 5 %, в Наровлянском районе – на 19 % и в Хойникском районе – на 11 %.

Плотность поголовья КРС на 100 га сельскохозяйственных угодий относится к показателям, отражающим интенсификацию аграрного производства. В 2009 году на 100 га сельхозугодий в области приходилось по 48,1 голов КРС, в том числе коров – 15,4 голов. В Брагинском районе первый показатель был выше на 5,8 голов, второй – ниже на 0,8 голов, в Наровлянском районе первый показатель оказался ниже на 20,7 голов, второй – на 5,2 голов, в Хойникском районе первый показатель был выше на 4,5 голов, второй – на 0,8 голов.

В Гомельской области основным продуктом животноводческой отрасли является молоко, которое и определяет экономическое



состояние районов и хозяйств. Валовое производство молока как по Гомельской области, так и в трёх районах ежегодно наращивается. Темп его роста в области в 2009 году по отношению к 2008 году составил 112 %, в Брагинском районе также 112 %, Наровлянском – 105 % и в Хойникском – 116 %. Одновременно с этим валовое производство молока в Брагинском районе составило 95 %, в Наровлянском районе – 77 %, Хойникском районе – 81 % от запланированных показателей по программам специализации. Несмотря на то, что районы не справились с выполнением программ по валовому производству молока, часть хозяйств их выполнила.

Особое внимание в молочном животноводстве уделяется повышению продуктивности коров. Более продуктивные животные на единицу произведенного молока затрачивают меньше корма. Анализ годовой продуктивности коров показал, что по удоям коров Брагинский и Наровлянский районы в 2009 году перевыполнили программные показатели, а Хойникский район на них не вышел. Так, Брагинский район перевыполнил этот показатель на 37 %, Наровлянский район – на 4 %, а Хойникский район на 2 % недовыполнил. В Брагинском районе данный показатель из 7 хозяйств выполнили 6, в Наровлянском районе выполнили оба хозяйства и в Хойникском районе из 8 хозяйств выполнили 3. Следует указать на отставание продуктивности коров трёх районов от среднеобластной. Если удой на корову по Гомельской области в 2009 году достиг 4212 кг, то в Брагинском районе был меньше на 48 кг, в Наровлянском районе – на 356 кг и Хойникском районе – на 589 кг. Из этого следовало, что над повышением продуктивности коров необходимо работать специалистам всех трёх районов и это является существенным резервом улучшения экономического состояния как отдельных хозяйств, так и районов в целом.

Молочное скотоводство, кроме производства молока, является основным производителем ремонтного молодняка для пополнения основного стада и поставщиком откормленного скота на мясоперерабатывающие предприятия области. О состоянии данного направления отрасли судят по валовым и среднесуточным привесам КРС.

В 2009 году валовое производство привеса КРС по отношению к 2008 году по области составило 113 %, по Брагинскому району – 121 %, по Наровлянскому району – 90 % и Хойникскому району – 114 %. Из чего следует, что в анализируемом году в Наровлянском районе допущено снижение валового привеса КРС. Хуже выполняются задания, доведенные по программе переспециализации.

Недовыполнение привесов в Брагинском районе составило 6 %, в Наровлянском районе – 34 %, в Хойникском районе – 19 %. Из всех хозяйств трёх районов производство валового привеса КРС достигло программных значений только в КСУП им Жукова и КСУП «Комаринский» Брагинского района, в остальных хозяйствах оно осталось на уровне 50–97 %. Следовательно, производству валовых привесов КРС необходимо уделять более серьёзное внимание специалистам животноводства и руководителям сельскохозяйственных организаций.

Аналогичная ситуация отмечена в отношении выполнения среднесуточных привесов КРС. Так, если в 2009 году среднесуточный привес КРС по области составил 563 г и увеличился по отношению к 2008 году на 35 г, то в Брагинском районе среднесуточный привес был на уровне 502 г, в Наровлянском районе – 548 г и Хойникском районе – 516 г. В Наровлянском районе среднесуточный привес не только не увеличился, а даже снизился на 53 г в сравнении с показателем 2008 года. Вместе с тем, только в Наровлянском районе среднесуточный привес был на 28 г выше заложенного в программе переспециализации, в то время как в Брагинском районе оказался ниже на 38 г и Хойникском районе ниже на 34 г.

Хорошо налаженная работа по воспроизводству стада даёт возможность не только своевременно производить ремонт стада, отбирать высокопродуктивных животных и формировать из них стада, но и решать перспективные вопросы молочного производства. В 2009 году в Гомельской области на 100 маток было получено по 98 телят, на 100 коров – по 85. В Брагинском районе первый показатель был выше на 3 головы, второй остался на среднеобластном уровне. В Наровлянском и Хойникском районах выход приплода был значительно меньше среднеобластного. Так, в хозяйствах Наровлянского района на 100 маток было получено приплода на 25 голов и на 100 коров на 15 голов меньше, чем по области, в Хойникском районе соответственно на 8 и 11 голов. Кроме этого, в 2009 году в сравнении с показателями 2008 года произошло снижение выхода приплода на 3 % на 100 маток в Брагинском районе, на 15 % на 100 маток и на 8 % на 100 коров в Наровлянском районе. В Хойникском районе выход приплода практически сохранился на уровне 2008 года.

Показателем, характеризующим состояние воспроизводства стада, является ввод первотёлок в основное стадо. По области ввод первотёлок в основное стадо составил 25 % и в сравнении с 2008



годом увеличился на 2 %. В Брагинском районе он сохранился в течение двух последних лет на уровне 27 %, в Наровлянском районе в основное стадо ввели только 12 % первотелок, при этом ввод снизился в сравнении с показателями 2008 года на 5 %. Из этого можно сделать вывод, что в Наровлянском районе работа по воспроизводству основного стада находилась в неудовлетворительном состоянии.

Таким образом, проводимый интегральный индексный анализ эффективности производства основных видов сельскохозяйственной продукции показывал определенные резервы, имеющиеся в производстве, что позволяло рекомендовать пути улучшения производственных показателей в хозяйствах загрязненных районов.

От результатов анализа и исследований, проводимых сотрудниками РНИУП «Институт радиологии», авторского сопровождения внедрения программ зависело качество их реализации, снижение себестоимости основных видов сельскохозяйственной продукции, что в итоге способствовало повышению эффективности сельскохозяйственного производства переспециализированных южных районов Гомельской области.

Кроме этого, была выполнена оценка влияния проводимых мероприятий на снижение содержания цезия-137 в продукции животноводства. Для этого провели сравнение их эффективности с естественным распадом радионуклидов, т.е. при отсутствии каких-либо факторов, влияющих на снижение содержания радионуклидов (создание пастбищ, дифференцированное кормление и др.), рассчитаем удельный вес продукции с превышением 100 Бк/кг – для мяса КРС, 37 Бк/кг – для молока.

В таблице 4.2.19. и на рисунке 16 представлено сравнение фактического и расчётного (за счёт естественного распада) удельного веса мяса КРС, поступившего из переспециализированных хозяйств Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов с удельной активностью цезия-137 более 100 Бк/кг.

Из показателей таблицы 4.2.19 и рисунка 16 видно, что удельный вес мяса КРС, поступавшего из переспециализированных хозяйств, в Брагинском районе выше 100 Бк/кг максимально снизился за период 2002–2003 годов – в 2,5 раза относительно расчётного (на 30 %), и в дальнейшем изменялся незначительно. К 2009 году разница между фактическим и расчётным составила 36,5 % (5,9 раза).

Таблица 4.2.19. – Удельный вес мяса КРС, поступившего из переспециализированных хозяйств Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов с удельной активностью цезия-137 более 100 Бк/кг, %

Удельный вес	Годы наблюдений							
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
БРАГИНСКИЙ РАЙОН								
фактический	51,7	20,6	21,7	15,8	15,3	13,6	15,5	7,5
расчётный	51,7	50,5	49,4	48,2	47,1	46,1	45,0	44,0
НАРОВЛЯНСКИЙ РАЙОН								
фактический	100	96,9	81,2	81,3	58,4	24,6	17,5	14
расчётный	100	97,7	95,5	93,3	91,2	89,1	87,1	85,1
ХОЙНИКСКИЙ РАЙОН								
фактический	55,4	49,8	23,6	32	28,6	28,6	23,7	2,6
расчётный	55,4	54,1	52,9	51,7	50,5	49,4	48,2	47,1

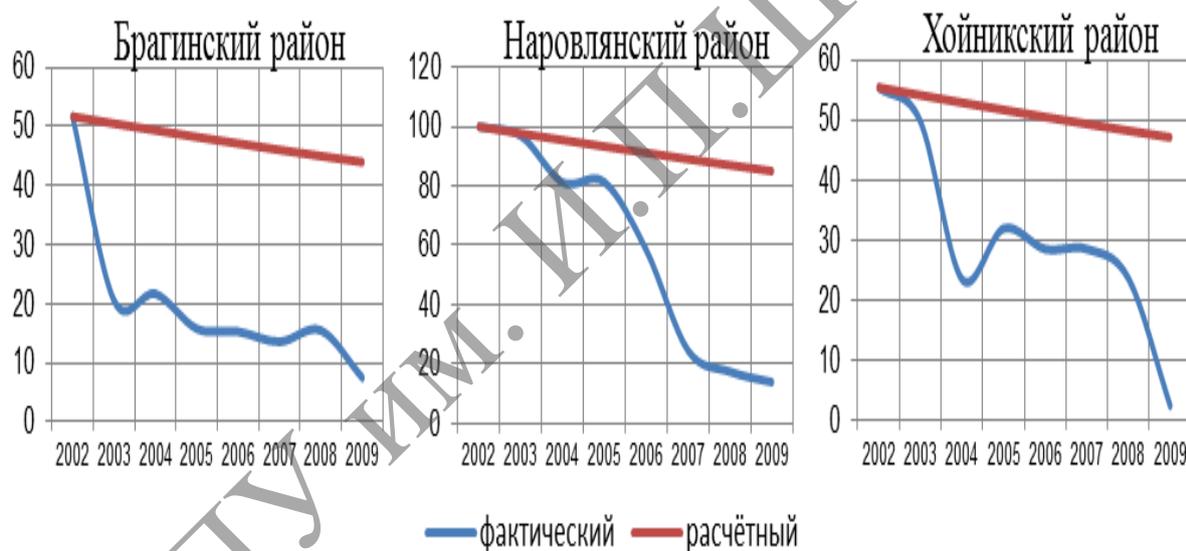


Рисунок 16. – Удельный вес мяса КРС, поступившего из переспециализированных хозяйств Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов с удельной активностью цезия-137 более 100 Бк/кг, %

В Наровлянском районе мероприятия переспециализации по снижению накопления цезия-137 имели максимальную эффективность в период с 2005 по 2007 г. и позволили снизить содержание радионуклида в 3,6 раза (на 64,5 %), к 2009 году снижение удельного веса полученной продукции выше 100 Бк/кг достигло 71,1 % (в 6,1 раза) относительно расчётного.

В Хойникском районе отмечается два эффективных этапа проведения мероприятий. Первый в 2003–2004 г. с эффективностью

снижения в 2,2 раза (на 29,3 %), второй в 2008–2009 г., когда произошло снижение в 18,1 раза (на 44,5 %).

В таблице 4.2.20 и на рисунке 17 представлено сравнение фактического и расчётного удельного веса молока, поступившего из переспециализированных хозяйств Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов с удельной активностью цезия-137 более 37 Бк/л.

Таблица 4.2.20. – Удельный вес молока, поступившего из переспециализированных хозяйств Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов с удельной активностью цезия-137 более 37 Бк/л, %

Удельный вес	Годы наблюдений							
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
БРАГИНСКИЙ РАЙОН								
фактический	20,8	17,2	19	14,9	9	3,8	9,2	2,7
расчётный	20,8	20,3	19,9	19,4	19,0	18,5	18,1	17,7
НАРОВЛЯНСКИЙ РАЙОН								
фактический	34,2	20,1	17,4	21,1	13	12,1	3,5	0,8
расчётный	34,2	33,4	32,7	31,9	31,2	30,5	29,8	29,1
ХОЙНИКСКИЙ РАЙОН								
фактический	19	13,8	8,8	12,6	13,7	10,7	4,4	0,8
расчётный	19	18,6	18,1	17,7	17,3	16,9	16,5	16,2

Из приведенных показателей видно, что мероприятия переспециализации по снижению накопления цезия-137 в молоке в Брагинском районе имели максимальную эффективность в период с 2004 по 2007 г. и позволили снизить содержание радионуклида в 4,9 раза, что составило 14,7 % от расчётного. К 2009 году удельный вес молока с активностью более 37 Бк/л был на уровне 15 %, что в 6,6 раза ниже расчётного.

В Наровлянском районе отмечается стабильный эффект от мероприятий, где каждый год происходило снижение удельного веса производства молока выше 37 Бк/л по содержанию цезия-137 в 2–2,5 раза, за исключением 2005 года (1,5 раза). За период с 2008 по 2009 год удалось добиться снижения до уровня 28,3 % (36,4 раза) по сравнению с расчётным.



Рисунок 17. – Удельный вес молока, поступившего из переспециализированных хозяйств Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов с удельной активностью цезия-137 более 37 Бк/кг, %

В Хойникском районе отмечается тенденция по аналогии с производством мяса КРС. Имеется два периода наиболее эффективного снижения производства удельного веса молока выше 37 Бк/л. В первый период, 2002–2004 годы, произошло снижение в 2,1 раза (9,3 %), во второй, 2006–2009 годы, – в 20,2 раза (15,4 %) относительно расчётного.

Таким образом, проведенные мероприятия по переспециализации положительным образом способствовали снижению накопления радионуклидов в продукции в Брагинском, Наровлянском и Хойникском районах и в целом оказались эффективными. По состоянию на 2009 год удалось снизить удельный вес производимого мяса КРС с удельной активностью цезия-137 менее 100 Бк/кг в Брагинском районе – на 36,5 %, в Наровлянском – на 71,1 %, в Хойникском – на 44,5 %, удельный вес производимого молока с удельной активностью цезия-137 менее 37 Бк/л снизился в Брагинском районе – на 15 %, в Наровлянском – на 28,3 %, в Хойникском – на 15,4 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Катастрофа на Чернобыльской АЭС привела к радиоактивному загрязнению окружающей среды, в том числе и сельскохозяйственных угодий на значительной территории Республики Беларусь. В Беларуси первоначально в зоне загрязнения цезием-137 плотностью выше 37 кБк/м^2 (выше 1 Ки/км^2) оказалось 1 866,0 тыс. га сельскохозяйственных земель (около 20 % их общей площади) в 59 административных районах. Из сельскохозяйственного оборота было выведено 265,4 тыс. га земель, в том числе 84,1 тыс. га пахотных. Площади загрязненных земель и их удельный вес по областям значительно различаются. Основные массивы загрязненных цезием-137 земель расположены в Гомельской и Могилевской областях – 85,3 % от общей их площади.

Радиационный фон после катастрофы на ЧАЭС определялся 21 радионуклидом. Основное их количество выпало с мелкодисперсными частицами углерода с адсорбированными атомами металлов (конденсационные формы), а также в виде топливных частиц. Наибольшую опасность для живых организмов представляла группа биологически активных радионуклидов: йод-131, стронций-90, цезий-134 и 137, плутоний-238, -239 и -240, церий-141 и -144, рутений-103 и -106, цирконий-95, ниобий-95. Радионуклиды, выпавшие на поверхность почвы, под воздействием природных процессов стали мигрировать как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Скорость миграции радионуклидов зависит от комплекса факторов, среди которых можно выделить физико-химические свойства радиоактивных выпадений, погодноклиматические условия, физико-географические особенности данного региона, свойства почв и характер подстилающей поверхности.

Особо опасны радиоизотопы с большим периодом полураспада. В составе этой группы находятся такие загрязнители земной поверхности, как стронций-90, цезий-137, америций-241 и все изотопы плутония. Наибольшую опасность для человека, животных и растений представляют цезий-137 и стронций-90. Они легко включаются в трофические цепи и являются источниками внутреннего и внешнего облучения организмов. До настоящего времени цезий-137 и стронций-90 являются определяющими загрязнителями продовольственной продукции. На пути из почвы до организма человека данные радионуклиды имеют свои пути

перемещения, и после поступления в организм каждый формирует различные дозы облучения.

Сложная радиологическая обстановка в послеаварийные годы требовала принятия и внедрения в агропроизводство адекватных мер по организации радиационной защиты сельского населения, внесения изменений в отраслевую специализацию в соответствии с новыми и необычными для производства условиями. К этому вынуждали введенные нормирование и гигиеническая регламентация содержания радионуклидов в пищевых продуктах, сельскохозяйственном сырье. В первые годы после аварии действовали временные допустимые уровни содержания цезия-137 в пищевых продуктах и питьевой воде (ВДУ-86, ВДУ-88), принятые Минздравом СССР. Затем в 1990 году в республике были приняты «Республиканские контрольные уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в продуктах питания и питьевой воде (РКУ-90)». В дальнейшем неоднократно принимались республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах (РДУ-92, РДУ-96, РДУ-99).

С первых месяцев послеаварийного времени стало ясно, что реализация на практике требований системы радиационной защиты населения при традиционном ведении сельскохозяйственного производства, которое было характерно для доаварийного времени, не может выполняться в полной мере. Между плотностью радиоактивного загрязнения окружающей среды и производством сельскохозяйственной продукции существует взаимосвязь. Чем выше степень загрязнения, тем больше ограничений и уже специализация отраслей сельхозпроизводства.

В послеаварийный период в проведении защитных мероприятий в агропромышленном комплексе можно выделить три периода: первый период – 1986–1992 гг.; второй период – 1992–2001 гг. и третий период – 2002–2015 гг.

В первом периоде проведения защитных мероприятий одним из первоочередных стоял вопрос прекращения ведения растениеводства и животноводства на землях с плотностью загрязнения цезием-137 более 40 Ки/км². К концу 1990 года эта проблема была решена полностью.

К 1991 году в Гомельской области сократились сельхозугодия на 218 тыс. га или на 14,7 %, в том числе пашни на 66,6 тыс. га или на 8 %. Посевная площадь в 1990 году составила 787,6 тыс. га, или 91 к уровню 1986 года. Кроме ликвидированных в 1986 году в трёх южных районах 20 колхозов и совхозов, в 1991 году



упразднили ещё 18 хозяйств из пяти районов Гомельской области. В связи с высоким содержанием радионуклидов в продукции в области был полностью прекращён посев гречихи, сокращены посевы зернобобовых культур, льна, кормовых корнеплодов. Зернобобовые культуры были оставлены там, где они давали продукцию, соответствующую временным допустимым уровням. Одновременно с этим в области значительно увеличились посевные площади кукурузы не только на силос, но и на зерно. Наряду с изменением структуры посевных площадей, в области проводилась работа по снижению накопления радионуклидов за счёт внесения повышенных доз минеральных удобрений и известковых материалов, были исключены из применения высокотоксичные пестициды первой и второй группы опасности, организован контроль над количеством нитратов и пестицидов в сельскохозяйственной продукции.

С целью получения более чистой растениеводческой продукции вносились изменения в технологии производства. На загрязнённых землях была прекращена отдельная уборка хлебов, при заготовке кормов в зоне проживания $15\text{--}40 \text{ Ки/км}^2$ уборка трав проводилась на повышенном срезе на сенаж и силос для уменьшения соприкосновения массы с почвой. На сенокосах и пастбищах, кроме пойменных угодий, повсеместно проводилось перезалужение с углублённой отвальной обработкой почвы.

Все эти и некоторые другие меры позволили значительно снизить накопление радионуклидов в растениеводческой продукции.

Одновременно вносились изменения в работу животноводства. На молочно-товарных фермах, расположенных в зоне $15\text{--}40 \text{ Ки/км}^2$, была также скорректирована специализация. Коровы с ферм, где на протяжении четырёх лет не удавалось получить нормативно-чистое молоко, переведены на другие фермы или переданы другим хозяйствам.

Предприятия перерабатывающей промышленности с 15 мая 1990 года прекратили приёмку молока, которое по загрязнённости радионуклидами превышало допустимые санитарно-гигиенические нормативы.

Выпас скота, находящегося как в общественном, так и в личном пользовании, производился только на культурных пастбищах, перезалуженных в послеаварийный период.

Корма, заготовленные на пойменных лугах, на которых не проводились агроулучшительные мероприятия, скармливались молодняку крупного рогатого скота, предназначенному для откорма.

В колхозах и совхозах заработала система заключительного откорма скота, основанная на использовании относительно чистых кормов. С 1988 года прекратилось производство мяса с содержанием радионуклидов выше санитарно-гигиенических нормативов.

На протяжении второго периода защитных мероприятий продолжались работы по применению агрохимических и агротехнических мероприятий. Разрабатывались нормативные документы, рекомендации и предложения, направленные на получение сельскохозяйственной продукции с минимальным накоплением радионуклидов. Малопродуктивные участки с низким оценочным баллом (менее 20) переводились в луговые угодья, а наименее плодородные песчаные и заболоченные почвы с плотностью загрязнения цезием-137 более 555 кБк/м^2 и стронцием-90 более 37 кБк/м^2 передавались под залесение. Одним из шагов в системе защитных мероприятий являлась оптимизация структуры посевов, подбор культур и сортов с минимальным накоплением радионуклидов. Если в первые годы после аварии бобовые выводились из севооборотов как культуры, накапливающие повышенные количества цезия-137 и стронция-90, то во втором периоде защитных мероприятий проводилось дифференцированное насыщение севооборотов высокодоходными культурами – рапсом, подсолнечником, кукурузой на зерно и высокобелковыми культурами семейства бобовых и пр.

Для обеспечения в почве бездефицитного баланса гумуса, фосфора и калия вносились минеральные удобрения в дозах до 200–250 кг действующего вещества на гектар.

На территориях, где комплекс защитных мероприятий не позволял в полной мере получать в радиологическом отношении качественную продукцию, реализовывались программы перепрофилирования или переспециализации сельскохозяйственного производства. В растениеводческой отрасли они проходили в виде совершенствования структуры посевных площадей с выращиванием культур с наименьшим накоплением радионуклидов, развитием семеноводства, увеличением производства кормов под полную потребность собственного животноводства.

В животноводческой отрасли переспециализация проводилась путём перевода молочного скота с привязного на беспривязное содержание и доением коров в доильных залах с меньшим количеством обслуживающего персонала. В ряде хозяйств перепрофилировали молочную отрасль на мясное скотоводство

и коневодство, получили развитие промышленное свиноводство и птицеводство.

В 1990 году решением Гомельского облисполкома № 55 от 12 марта были утверждены мероприятия по переспециализации сельского хозяйства в загрязнённых районах области.

Реализация этих мероприятий на Гомельщине началась с 2002 года, в третий период проведения защитных мер в сельскохозяйственном производстве, направленном на получение экономически оправданной продукции, или период совершенствования специализации в соответствии со сложившейся радиологической обстановкой в районах загрязнения, и проводимого в соответствии с разработанными бизнес-планами.

Финансирование разработок и реализация научно обоснованных программ переспециализации сельскохозяйственных организаций, в которых принимаемые защитные меры не позволяли добиться гарантированного и устойчивого производства нормативно-чистой продукции, проводилось в основном за счет средств республиканского бюджета.

Третий период, или переспециализация по степени внедрения, состоял из трех временных этапов, так как на ее проведение требовались большие финансовые средства.

На I этапе, в 2002–2005 годах, были реализованы программы для 19 хозяйств, на II этапе, в 2006–2007 годах, – в 28 хозяйствах, на III этапе, в 2007–2010 годах, – 11 хозяйствах Гомельской и Могилевской областей.

В послеаварийное время для получения сельскохозяйственной продукции с допустимым содержанием радионуклидов и обеспечения радиационной безопасности работающих разработан целый комплекс организационных, агротехнических, агрохимических, технологических и санитарно-гигиенических мероприятий. Однако из всего перечня мероприятий до настоящего времени практически не была в достаточной мере изучена эффективность проведения переспециализации сельскохозяйственного производства. Поэтому в данной монографии уделено больше внимания исследованию именно данного вопроса. И как показали результаты собственных исследований первых двух этапов переспециализации, проведенной в Беларуси в 47 хозяйствах Гомельской и Могилевской областей, они позволили установить ее положительную производственную, экономическую и радиологическую эффективность.

Следующим вопросом, которому также не было уделено со стороны исследователей достаточно внимания, оставались загрязненные торфяные почвы. В результате аварии на Чернобыльской АЭС более 500 тыс. га торфяно-болотных почв Белорусского Полесья оказались в зоне радиоактивного воздействия. Их реабилитация и специализация, с учётом радиологических и экономических критериев, может осуществляться при условии достижения максимально возможной эффективности защитных мероприятий. Одним из основных показателей, определяющих необходимость проведения реабилитации сельскохозяйственных земель или уровень вмешательства, являлась степень их загрязнения радионуклидами.

Организация кормопроизводства на радиоактивно загрязненных территориях предусматривает обеспечение, с одной стороны, повышения продуктивности кормовых угодий, с другой, – снижение накопления радионуклидов в травостоях сенокосов и пастбищ до уровней, гарантирующих производство продукции животноводства, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам. При проведении мероприятий на торфяных почвах основными принципами ведения лугопастбищного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения считались:

- дифференцированное использование луговых угодий в зависимости от типа луга, уровня загрязнения, свойств почв, ландшафтной характеристики и радиоэкологической классификации лугов;

- инвентаризация состояния пастбищных и сенокосных угодий, повышение их продуктивности, обеспечение оптимальной нагрузки животных при выпасе на пастбище;

- внедрение специализированных технологий улучшения кормовых угодий.

В этой связи актуальной являлась разработка и изучение эффективных агрохимических защитных мероприятий для торфяных почв, обеспечивающих получение нормативно чистых кормов в условиях радиоактивного загрязнения. Было известно, что начительно труднее получить урожай многолетних трав с низким содержанием радионуклидов, пригодных для скармливания скоту, и получения качественного молока и мяса. Это обуславливалось как биологическими особенностями многолетних трав, которые накапливают радионуклидов в 10–20 раз больше, чем зерновые культуры, так и частичным размещением трав на заболоченных



землях, где наблюдается повышенный переход радионуклидов из почвы в растения.

Установлены новые экспериментальные данные, полученные в полевых условиях на торфяных почвах и дающие ряд рекомендаций для их широкого практического использования при возделывании многолетних злаковых и бобово-злаковых травосмесей.

Таким образом, в результате изучения радиационной обстановки на территории радиоактивного загрязнения, проведения экспериментальных исследований и наблюдений в зонах сельскохозяйственной деятельности получены новые знания и расширились наши представления о возможностях и путях влияния на стабилизацию и улучшение радиологической ситуации.

МГТУ им. И.П.Шамякина

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверин, В.С. Роль защитных мероприятий для снижения доз облучения населения и получения нормативно чистой сельскохозяйственной продукции / В.С. Аверин, А.Г. Подоляк // Белорусское сельское хозяйство. – 2010. – № 4 (96). – С. 18–22.
2. Аверин, В.С. Основные принципы, цели и задачи концепции реабилитации населения и территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС / В.С. Аверин // 17 лет после Чернобыля; проблемы и решения: сб. науч. тр. – Минск, 2003. – С. 89–91.
3. Агеец, В.Ю. Переспециализация сельскохозяйственного производства – одна из эффективных составляющих реабилитации загрязненных радионуклидами территорий / В.Ю. Агеец // 17 лет после Чернобыля; проблемы и решения: сб. науч. тр. – Минск, 2003. – С. 92–94.
4. Агеец, В.Ю. Система радиозэкологических контрмер в агрофере Беларуси / В.Ю. Агеец // Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии». – Минск, 2001. – 250 с.
5. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. – Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», 2006. – 288 с.
6. Агрохимия: учеб. пособие / И.Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Ураджай, 2000. – 319 с.
7. Алексахин, Р.М. Радиозэкологические уроки Чернобыля / Р.М. Алексахин // Радиобиология. – 1993. – Т. 33. Вып. 1. – С. 3–14.
8. Алексахин, Р.М. Сельскохозяйственная радиозэкология / Р.М. Алексахин, Н.А. Корнеев; под ред. Р.М. Алексахина и Н.А. Корнеева. – М.: Экология. 1992. – 400 с.
9. Алексахин, Р.М. Ядерная энергия и биосфера / Р.М. Алексахин. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 216 с.
10. Америций и плутоний в агроэкосистемах. Чернобыльская катастрофа (монография) / В.С. Аверинк [и др.]; под ред. д. б. н. / В.С. Аверина. – Гомель: ОАО «Полеспечать», 2014. – 176 с.
11. Анненков, Б.Н. Ведение сельского хозяйства в районах радиоактивного загрязнения (радионуклиды в продуктах питания) / Б.Н. Анненков, В.С. Аверин. – Минск: Пропилеи, 2003. – 111 с.
12. Анненков, Б.Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева. – М.: Агропромиздат, 1991. – 287 с.

13. Архипов, Н.П. К оценке размеров поступления стронция-90 из почвы в растения и его накопления в урожае / Н.П. Архипов, А.В. Егорова, В.М. Клечковский // Доклады ВАСХНИЛ. – 1969. – № 1. – С. 2–4.

14. Асаблівасці назапашвання радыенуклідаў сельска-гаспадарчымі раслінамі ва ўмовах павышанага радыяцыйнага фону поўдня Беларусі / В.І. Гапоненка [і інш.] // Весці АН БССР. Сер. біялаг. навук. – 1991. – №1. – С. 26–31.

15. Афанасик, В.И. Влияние водного режима почвы на интенсивность поступления радионуклидов в растительную продукцию / В.И. Афанасик // Мелиорация переувлажненных земель: сб. научных работ БелНИИМ и Л. – Минск, 1995. – С. 29–44.

16. Барановский, А.З. Влияние минеральных удобрений на продуктивность торфяно-болотных почв и эффективное использование элементов питания / А.З. Барановский // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. работ / НПО Белорус. НИИ мелиорации и луговодства. – Минск, 1995. – Т. 42 – С. 246–260.

17. Барбер, С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве Механистический подход / С.А. Барбер; под ред. Э.Е. Хавкина. – М.: Агропромиздат, 1988. – 376 с.

18. Белоус, Н.М. Эффективность различных факторов по снижению накопления ¹³⁷Cs в урожае сельскохозяйственных культур / Н.М. Белоус // Новозыбковская гос. с.-х. опыт. станция, 2002. – Вып. 7. – С. 3–26.

19. Богдевич, И.М. Основы ведения сельского хозяйства / И.М. Богдевич, В.Ю. Агеец, С.К. Фирсакова // Экологические, медико-биологические и социально-экономические последствия катастрофы на ЧАЭС в Беларуси; под ред. Е.Ф. Конопки, И.В. Ролевича. – Минск, 1996. – С. 52–102.

20. Богдевич, И.М. Прогноз накопления ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в кормах по степени окультуренности дерново-подзолистых почва / И.М. Богдевич, А.Г. Подоляк // Агрохим. вестник. 2004. – № 3. – С. 28–32.

21. Богдевич, И.М. Влияние минеральных удобрений на урожайность многолетних злаковых трав и накопление радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr на торфяной почве / И.М. Богдевич, А.Г. Подоляк, И.И. Ивашкова // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 252–261.

22. Валетов, В.В. Биодоступность ¹³⁷Cs из сенажа, заготовленного с использованием консервантов / В.В. Валетов, Е.И. Дегтярева // Веснік Мазырскага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта імя І.П. Шамякіна. – Мозырь, 2013. – № 4. – С. 24–29.

23. Валетов, В.В. Влияние радиоактивного излучения на показатели крови людей / В.В. Валетов, Е.И. Дегтярева // Эколого-биологические аспекты состояния и развития Полесского региона: материалы VII Междунар. заочн. науч.-практ. конф. «Современные экологические проблемы развития Полесского региона и сопредельных территорий: наука, образование, культура», Мозырь, 2016 г. / УО МГПУ им. И.П. Шамякина; редкол.: О.П. Позывайло (отв. ред.) [и др.]; под общ. ред. д-ра биол. наук, проф. В.В. Валетова. – Мозырь, 2016. – С. 109–111.

24. Валетов, В.В. Доступность радионуклидов из грубых кормов, выращенных на торфяно-болотистых почвах, для КРС / В.В. Валетов, Е.И. Дегтярева // Современные экологические проблемы устойчивого развития Полесского региона и сопредельных территорий: наука, образование, культура: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., Мозырь, 23-24 окт. 2014 г. / УО МГПУ им. И.П. Шамякина; редкол.: О.П. Позывайло (отв. ред.) [и др.]; под общ. ред. д-ра биол. наук, проф. В.В. Валетова. – Мозырь, 2014. – С. 65–67.

25. Ведение личных подсобных хозяйств на территории радиоактивного загрязнения. Работа на огороде и садовом участке / Р.Г. Ильязов, Н.В. Гребенщикова. – Гомель: ООО «Иноротрибо», 1988. – 30 с.

26. Вирченко, Е.П. Радионуклидорганические соединения в почвах зоны влияния Чернобыльской АЭС / Е.П. Вирченко, Г.И. Агапкина // Почвоведение. – 1993. – № 1. – С. 13–17.

27. Влияние агрохимических свойств и степени окультуренности почв на поступление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостой основных типов лугов Белорусского Полесья / И.М. Богдевич [и др.] // Сб. науч. тр. / РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси. – Минск, 2004. – Вып. 33. – С. 150–155.

28. Влияние активного перемешивания радиоактивно загрязнённого слоя почвы на накопление радионуклидов в растениях / В. Л. Василевский [и др.]: тез. докл. Респ. науч.-практ. конф. по радиобиологии и радиоэкологии. – Минск, 1990. – С. 36.

29. Влияние способов обработки почв и удобрений на продуктивность пастбищных трав и накопления ими радионуклидов на торфяно-болотных почвах Полесья Украины / С.М. Рижук [и др.] // Агроэкологический журнал. – 2002. – № 4. – С. 23–26.

30. Восстановление загрязнённых радионуклидами переувлажнённых земель / В.И. Афанасик [и др.] // Природные ресурсы. – 1997. – № 4. – С. 37–40.

31. Головки, Д.Г. Земледелие на торфяных почвах и осушаемых пойменных землях / Д.Г. Головки. – Л.: Колос, 1975. – 232 с.
32. Гудков, И.Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии / И.Н. Гудков. – Киев: УСХА, 1991. – 328 с.
33. Гулякин, И.В. Радиоактивные продукты деления в почве и растениях / И.В. Гулякин, Е.В. Юдинцева. – М.: Госатомиздат, 1962. – 205 с.
34. Гулякин, И.В. Сельскохозяйственная радиобиология / И.В. Гулякин, Е.В. Юдинцева. – М.: Колос, 1973. – 272 с.
35. Гусаков, В.Г. Нормативные показатели производственно-экономической деятельности для обеспечения конкурентоспособности сельского хозяйства / под ред. В.Г. Гусакова [и др.] // Аграрная экономика. – 2007. – № 10. – С. 12–13.
36. Доброхотов, Г.Н. Краткий зоотехнический справочник / Г.Н. Доброхотов. – М.: Колос, 1975. – С. 20–65.
37. Дозы облучения работников при проведении сельскохозяйственных операций на загрязнённой радионуклидами (^{137}Cs , ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$) территории / В.С. Аверин [и др.] // Радиация и риск. – 2014. – Т. 23, № 2. – С. 85–93.
38. Закономерности изменения содержания ^{137}Cs в продукции животноводства на территории Российской Федерации, подвергшейся загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС / С.В. Фесенко и др. // Радиационная биология. Радиэкология. – 1995. – Т. 35, вып. 3. – С. 316–327.
39. Иванов, Ю.А. Радиэкологическое обоснование долгосрочного прогнозирования радиационной обстановки на сельскохозяйственных угодьях в случае крупных ядерных аварий (на примере аварии на Чернобыльской АЭС): автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.01 / Ю.А. Иванов; Всероссийский науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии и агроэкологии. – Обнинск, 1997. – 50 с.
40. Иванов, 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.
41. Изменение доступности радионуклидов растениями при химизации сельского хозяйства / Е.В. Юдинцева [и др.] // Агрохимия. – 1982. – № 5. – С. 82.
42. Ильин, В.Б. Элементный химический состав растений / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1985 – 129 с.
43. Ильин, М.И. Миграция радионуклидов в агроценозах Полесья Украины, расположенных на торфяных почвах / М.И. Ильин,

Г.П. Перепелятников // Проблемы сельскохозяйственной радиологии: сб. науч. тр. – Киев, 1993. – Вып. 3. – С. 97–110.

44. Кадыров, М.А. Научную основу кормопроизводству Беларуси / М.А. Кадыров, Л.В. Кукреш // Белорусское сельское хозяйство. – 2005. – №4. – С. 7–13.

45. Карпенко, А.Ф. Определение содержания радионуклидов в продукции животноводства по концентрации в кормовых единицах рациона / А.Ф. Карпенко, С.Н. Андруш, Е.В. Дубежинский // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: материалы XIII международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию образования зооинженерного факультета УО «БГСХА». – Горки, 2010. – С. 334–338.

46. Карпенко, А.Ф. Радиоэкологические проблемы сельского населения на загрязненной территории / А.Ф. Карпенко // Проблемы социально-экономического и правового обеспечения инновационного развития Беларуси: материалы XVI Межвузовской научно-практической конференции (3 февраля 2012 года, г. Гомель) / под общ. ред. С.И. Ляха. – Гомель: Гомельский филиал Международного университета «МИТСО», 2012. – Ч. 2. – С. 105–108.

47. Карпенко, А.Ф. Резервы развития скотоводства в южных, загрязненных радионуклидами, районах Гомельской области / А.Ф. Карпенко, А.Л. Мостовенко, В.К. Гурин // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. тр. Т. 46 / Научно-практический центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству; редкол.: И.П. Шейко (гл. ред) [и др.]. – Жодино: научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству, 2011. – Ч. 2. – С. 271–278.

48. Карпенко, А.Ф. Экономическая и радиологическая оценка эффективности производства сельскохозяйственных предприятий Брагинского района / А.Ф. Карпенко, А.Л. Мостовенко, М.В. Макарова // Аграрная экономика. – 2010. – № 5. – С. 30–34.

49. Карпенко, А.Ф. Прогнозирование загрязнения животноводческой продукции по концентрации в кормовой единице цезия-137 и стронция-90 / А.Ф. Карпенко, С.Н. Андруш, Л.А. Воспукова // Медико-биологические последствия Чернобыльской катастрофы: материалы международной научной конференции 15–16 октября 2009 г. – Гомель, 2009. – С. 76–81.

50. Карпенко, А.Ф. Производство животноводческой продукции в условиях Наровлянского района / А.Ф. Карпенко, Е.В. Дубежинский // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сборник научных трудов: в 2 ч. / гл. редактор А.П. Курдеко. – Горки : БГСХА, 2012. – Вып. 15. – Ч. 1. – С. 321–327.

51. Карпенко, А.Ф. Радиологическая оценка переспециализации / А.Ф. Карпенко, А.Л. Мостовенко, Е.В. Дубежинский // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: Материалы XIV международной научно-практической конференции, посвященной образованию кафедр кормления с.-х. животных, физиологии, биотехнологии и ветеринарии и 15-летию кафедры ихтиологии и рыбоводства УО «БГСХА». – Горки, 2011. – С. 3–6.

52. Карпенко, А.Ф. Радиологические и экономические показатели производства продукции животноводства в Хойникском районе / А.Ф. Карпенко, Е.В. Дубежинский // Животноводство и ветеринария. – Горки, 2012. – № 2. – С. 8–13.

53. Карпенко, А.Ф. Состояние развития мясного скотоводства по программам переспециализации в Гомельской области / А.Ф. Карпенко, А.Л. Мостовенко, Е.В. Дубежинский // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. тр. – Вып. 14. – Ч. 1. – Горки, 2011. – С. 218–223.

54. Карпенко, А.Ф. Эколого-экономические проблемы агропроизводства Гомельской области после Чернобыльской катастрофы: монография / А.Ф. Карпенко. – Брянск: Дельта, 2012. – 258 с.

55. Карпенко, А.Ф. Эффективность сельскохозяйственного производства переспециализированных южных районов Гомельской области / А.Ф. Карпенко, А.Л. Мостовенко, А.А. Зайцев // Устойчивое развитие экономики: состояние, проблемы, перспективы: материалы пятой международной научно-практической конференции: в 2 ч. УО «Полесский государственный университет». г. Пинск, 28-29 апреля 2011 г. / Национальный банк Республики Беларусь [и др.], редкол. : К.К. Шебеко [и др.] – Пинск, ПолесГУ, 2011. – Ч. 2. – С. 77–80.

56. Касьянчик, С.А. Влияние минеральных удобрений на продуктивность многолетних трав и размеры перехода радионуклидов в травяные корма на торфяно-болотных почвах / С.А. Касьянчик, Т.М. Серая, Ю.В. Путятин // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – № 5. – С. 29–31.

57. Кенигсберг, Я.Э., Гигиеническое нормирование содержания цезия-137 и стронция-90 в продуктах питания: чернобыльский опыт Беларуси / Я.Э. Кенигсберг // Радиационная гигиена. – 2008. – Т. 1. – № 2. – С. 32–35.

58. Клечковский, В.М. Поведение в почвах и растениях микроколичеств стронция, цезия, рутения и циркония / В.М. Клечковский, И.В. Гулякин // Почвоведение. – 1958. – №3. – С. 2–16.

59. Корнеев, Н.А. Снижение радиоактивности в растениях и продуктах животноводства / Н.А. Корнеев, А.Н. Сироткин, Н.В. Корнеева. – М.: Колос, 1977. – 208 с.

60. Корнеев, Н.А. Сфера агропромышленного производства – радиологические последствия аварии и основные защитные мероприятия / Н. А. Корнеев [и др.] // Атомная энергия. – 1988. – Т. 65, вып. 2. – С. 129–134.

61. Корнеев, Н.А. Проблемы снижения содержания радионуклидов в агропромышленной продукции: материалы годовичного собрания ВАСХНИЛ / Н.А. Корнеев. – Таллин, 1987. – С. 21–24.

62. Кулаковская, Т.Н. Влияние известкования на фосфатный и калийный режимы дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Т.Н. Кулаковская, Л.П. Детковская, Т.В. Поздняк // Известкование и применение минеральных удобрений в интенсивных системах земледелия: тез. докл. науч. конф. – Горки, 1985. – С. 62–65.

63. Кулаковская, Т.Н. Справочник по удобрениям: справ. пособие / Т.Н. Кулаковская; под ред. акад. ВАСХНИЛ. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: Ураджай, 1978. – 256 с.

64. Кулаковская, Т.Н. Требование растений к реакции почвенной среды и проблемы известкования кислых почв в условиях интенсивного земледелия / Т.Н. Кулаковская // Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. – Минск: Ураджай, 1978. – С. 119–145.

65. Лапа, В.В. Оптимальные дозы удобрений под сельскохозяйственные культуры (рекомендации) / В.В. Лапа, В.Н. Босак / Белорус. РУП Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2002. – 25 с.

66. Ликвидация последствий Чернобыльской аварии в АПК Белоруссии / Г.В. Василюк [и др.] // Агрохимический вестник. – 2001. – № 3. – С. 12–16.

67. Методические указания по выбору направлений специализации сельскохозяйственных организаций на загрязненных радионуклидами территориях / В.С. Аверин [и др.]. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2005. – 51 с.

68. Минеев, В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев. – М.: Колос, 2004. – С. 642–643.

69. Многолетние травы как экологическое звено при сохранении плодородия торфяных почв, загрязненных радионуклидами / А.Г. Подоляк [и др.] // Мелиорация. – 2011. – № 1(65). – С. 165–175.

70. Моисеев, И.Т. К вопросу о влиянии минеральных удобрений на доступность Cs-137 из почв сельскохозяйственным растениям / И.Т. Моисеев, Л.А. Рерих, Ф.А. Тихомиров // *Агрохимия*. – 1986. – №2. – С. 89–94.

71. Мостовенко, А.Л. Реализация программ изменения специализации хозяйств, расположенных на территории радиоактивного загрязнения / А.Л. Мостовенко, А.Ф. Карпенко // *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. тр.* – Вып. 12. – Ч. 1. – Горки, 2009. – С. 342–348.

72. Мостовенко, А.Л. Содержание радионуклидов в животноводческой продукции после переспециализации сельскохозяйственного производства / А.Л. Мостовенко, А.Ф. Карпенко // *Медико-биологические проблемы жизнедеятельности*. – Гомель, 2011. – № 1(5). – С. 167–170.

73. Научные основы реабилитации сельскохозяйственных территорий загрязненных в результате крупных радиационных аварий / Н.Н. Цыбулько [и др.]: под общ. ред. Н.Н. Цыбулько. – Минск: Институт радиологии, 2011. – 438 с.

74. О подвижности и формах нахождения стронция-90, стабильного стронция и кальция в дерново-подзолистой и чернозёмной почвах / Ф.И. Павлоцкая [и др.] // *Радиоактивность почв и методы определения*. – М.: Наука, 1966. – С. 20.

75. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 460 с.

76. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б.С. Пристер [и др.]. – Киев: Урожай, 1986. – 256 с.

77. Особенности вертикальной миграции цезия-137 в почвах сельскохозяйственных угодий некоторых областей РСФСР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС / А. Н. Ратников [и др.] // *Проблемы ликвидации последствий аварии на ЧАЭС в агропромышленном производстве – пять лет спустя: итоги, проблемы и перспективы*: тез. докл. Всес. конф. – Обнинск, 1991. – Т. 1. – С. 4.

78. Особенности создания культурных лугов длительного пользования на торфяных почвах / А.Ф. Веренич, Н.А. Бобровский // *Оценка эколого-мелиоративных мероприятий в зоне Белорусского Полесья в условиях рыночных отношений: сб. науч. тр.* / Белорус. государственный экономический университет. – Минск, 2001. – Вып. 2. – С. 109–112.

79. Оценка плодородия почв Белоруссии / Н.И. Смян [и др.]. – Минск: Ураджай, 1989. – 359 с.

80. Павлоцкая, Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах / Ф.И. Павлоцкая. – М.: Атомиздат, 1974. – 107 с.

81. Петухова, Н.Н. Геохимия почв Белорусской ССР / Н.Н. Петухова. – Минск: Наука и техника, 1987. – 231 с.

82. Поведение радиоцезия в системе почва – почвенный раствор – растение / В.П. Мацко [и др.] Фундаментальные и прикладные исследования радиобиологии: биологические эффекты малых доз и радиоактивное загрязнение среды: тез. докл. Междунар. науч. конф. – Минск, 1998. – С. 169.

83. Повышение плодородия мелиорируемых почв Белорусского Полесья / А.С. Мееровский, С.А. Касьянчик, Г.А. Соколов // Проблемы Полесья: сб. науч. тр. – Минск: Наука и техника, 1989. – Вып. 12. – С. 171–179.

84. Подворко, Г.А. Закономерности миграции ^{137}Cs на болотных лугах в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС: автореф. дис. канд. биол. наук: 03.00.01/ВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии Рос. акад. с.-х. наук. – Обнинск, 2004. – 27 с.

85. Подоляк, А.Г. Влияние агрохимических и агротехнических приемов улучшения основных типов лугов Белорусского Полесья на поступление в травостой ^{137}Cs и ^{90}Sr : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук 06.01.04 / А.Г. Подоляк; НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2002. – 19 с.

86. Подоляк, А.Г. Влияние видовых и сортовых особенностей зернобобовых культур на аккумуляцию радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr / А.Г. Подоляк, В.П. Жданович // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2007. – Т. 47, № 5. – С. 625–636.

87. Подоляк, А.Г. Радиологические аспекты использования луговых земель на торфяных почвах в отдаленный период после катастрофы на ЧАЭС / А.Г. Подоляк, Т.В. Ласько // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – Гомель, 2011. – С. 171–178.

88. Подоляк, А.Г. Рациональное использование минеральных удобрений под многолетние травы на загрязненных радионуклидами торфяных землях / А.Г. Подоляк, Т.В. Ласько // Белорусское сельское хозяйство. – 2010. – № 10 (102). – С. 25–29.

89. Подоляк, А.Г. Рациональное использование пойменных земель, загрязненных радионуклидами в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС: материалы науч. практ. семинара (Национальный парк Рациональное использование пойменных земель: «Припятский», 19–21 июня 2013 г.) / Нац. акад. Наук

Беларуси; В.С. Хомич (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Минсктиппроект, 2013. – С. 37–40.

90. Подоляк, А.Г. Влияние вертикальной миграции и форм нахождения ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах на их биологическую доступность на примере естественных лугов Белорусского Полесья / А.Г. Подоляк // *Агрохимия*. – 2007. – № 2. – С. 72–81.

91. Подоляк, А.Г. Оптимизация видового состава сельскохозяйственных культур на торфяных почвах различных стадий трансформации в целях получения качественной растениеводческой продукции на загрязненной радионуклидами территории / А.Г. Подоляк, Е.Г. Сарасеко // *Агрохимический вестник*. – 2012. – № 3. – С. 31–36.

92. Подоляк, А.Г. Проблемы получения качественной растениеводческой продукции на загрязненных радионуклидами территориях / А.Г. Подоляк, Е.Г. Сарасеко, Е.И. Дегтярева // *Веснік Мазырскага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта імя І.П. Шамякіна*. – 2012. – № 2 (35). – С. 46–54.

93. Подоляк, А.Г. Рекомендации по использованию загрязненных радионуклидами пойменных земель Белорусского Полесья / А.Г. Подоляк, С.Ф. Тимофеев, Н.В. Гребенщикова. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2001. – 27 с.

94. Подоляк, А.Г. Травосмеси на основе клевера в зоне радиоактивного загрязнения / А.Г. Подоляк, Т.В. Арастович // *Белорусское сельское хозяйство*. – 2005. – № 6 (38). – С. 36–38.

95. Подоляк, А.Г. Эффективность минеральных удобрений при возделывании многолетних бобово-злаковых трав на загрязненной ^{137}Cs и ^{90}Sr торфяной почве / А.Г. Подоляк, И.И. Новикова // *Почвоведение и агрохимия*. – 2011. – № 2. – С. 163–170.

96. Поникарова, Т.М. Выращивание многолетних кормовых трав на торфяных почвах, загрязненных радионуклидами / Т.М. Поникарова, В.Ф. Дричко, В.Н. Ефимов // *Основные направления получения экологически чистой продукции растениеводства: тез. докл. респ. науч.-пр. конф.* – Горки, 1992. – С. 56–58.

97. Поникарова, Т.М. О механизме сорбции радиоцезия торфяными почвами / Т.М. Поникарова // *Почвы, их эволюция, охрана и повышение производительной способности в современных социально-экономических условиях: материалы I съезда Белорус. общества почвоведов*. – Минск-Гомель, 1995. – С. 273–275.

98. Поступление стронция-90 и цезия-137 глобального происхождения населению БССР в 1984–1985 гг. / Р.М. Бархударов

[и др.] // Актуальные вопросы радиационной гигиены: тез. докл. Всес. конф. – Обнинск 15–16 окт. 1987 г. – С. 31–32.

99. Потылкина, Т.В. Состояние кролиководства на территории радиоактивного загрязнения Гомельщины / Т.В. Потылкина, А.Ф. Карпенко // Стратегия развития зоотехнической науки: тез. докл. междунар. научн.-практ. конф., посвященной 60-летию зоотехн. науки Беларуси (22–23 окт. 2009 года). – Жодино, 2009. – С. 371–372.

100. Почвоведение: учебник для университетов / Г.Д. Белицина [и др.]. – М.: Высш. шк., 1968. – 440 с.

101. Применение некорневых подкормок сельскохозяйственных культур микроудобрениями на загрязненных радионуклидами почвах: рекомендации / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси». – Минск, 2004. – 19 с.

102. Применение удобрений в интенсивном земледелии: справ. пособие / М.П. Шкель [и др.]. – Минск: Ураджай, 1989. – 216 с.

103. Пристер, Б.С. Способ комплексной оценки свойств почвы для прогнозирования накопления радионуклидов растениями / Б.С. Пристер, Г. Бизольд, Ж.Д. Ковелин // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2003. – № 43. – С. 688–696.

104. Проблемы радиационной реабилитации загрязнённых территорий / Ю.М. Жученко [и др.]; под редакцией В.Ю. Агейца. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2004. – 121 с.

105. Прогнозирование величины накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостоях основных типов лугов Белорусского Полесья по агрохимическим свойствам почв / А.Г. Подоляк [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2007. – № 3. – С. 54–62.

106. Прогнозирование накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостоях основных типов лугов Белорусского Полесья по агрохимическим свойствам почв / А.Г. Подоляк [и др.] // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2005. – Т. 45, № 1. – С. 100–111.

107. Путятин, Ю.В. Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию: монография / Ю.В. Путятин. – Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2008. – 255 с.

108. Радиозэкологические аспекты животноводства (последствия и контрмеры после катастрофы на Чернобыльской АЭС) / Р.Г. Ильязов [и др.]; под общ. ред. Р.Г. Ильязова. – Гомель: «Полеспечать», 1996. – 179 с.

109. Рак, М.В. Влияние некорневых подкормок медью на изменение содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr и Cu в многолетних злаковых

травях на торфяно-болотной почве / М.В. Рак, З.С. Ковалевич // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 1(34). – С. 169–171.

110. Резервы производства зерна в южных районах Гомельской области, загрязненных радионуклидами / А.Г. Подоляк [и др.] // Земляробства і ахова раслін. – 2010. – № 5. – С. 18–20.

111. Рекомендации по безопасному проживанию и ведению личного подсобного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения территории / В.С. Аверин [и др.]. – Гомель: «Институт радиологии», 2003. – 100 с.

112. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / И.М. Богдевич [и др.]; под ред. проф. И.М. Богдевич. – Минск, 2008. – 74 с.

113. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2011–2015 гг. / под общ. ред. д-ра б.н. В.С. Аверина. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2011. – 91 с.

114. Рекомендации по оптимизации фосфорного и калийного статуса пахотных почв в зависимости от уровня интенсификации земледелия по областям и районам Беларуси / И.М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И.М. Богдевича / РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2008. – 28 с.

115. Рекомендации по получению травяных кормов в пределах РДУ на торфяно-болотных почвах, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr / под ред. академика И.М. Богдевича. – Минск, 2005. – 44 с.

116. Рекомендации по проведению репрофилирования отрасли молочного скотоводства на специализированное мясное в хозяйствах, пострадавших от аварии на ЧАЭС. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2001. – 24 с.

117. Руководство по ведению сельскохозяйственного производства на радиоактивно загрязненных территориях Республики Беларусь и Российской Федерации / Р.М. Алексахин [и др.]. – Минск-Москва, 2005. – 142 с.

118. Руководство по применению контрмер в сельском хозяйстве в случае аварийного выброса радионуклидов в окружающую среду / МАГАТЭ, IAEA-TECDOC-745. – 1994. – 104 с.

119. Сборник нормативных и методических документов, регламентирующих ведение сельского хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС (в 3-х томах) / под ред. Н.И. Санжаровой. – Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2006. – 434 с.

120. Серая, Т.М. Особенности калийного питания многолетних трав на торфяных почвах: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04. / Т.М. Серая. – Минск, 1991. – 231 л.

121. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси». – Минск, 2006. – 28 с.

122. Скоропанов, С.Г. Основные выводы из опыта осушения болотных почв / С.Г. Скоропанов // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь – 1996. – № 3. – С. 55–61.

123. Смяян, Н.И. Загрязнение земель сельскохозяйственных угодий БССР радионуклидами, их формы и вертикальная миграция в основных типах почв / Н.И. Смяян, И.Н. Марцуль // Основные положения концепции сельскохозяйственного производства в зоне радиационного загрязнения выбросами Чернобыльской АЭС. – Минск, 1990. – С. 38–46.

124. Современные проблемы радиологии в сельскохозяйственном производстве: монография / Ю.А. Мажайский [и др.], под общ. ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань: Мещерский ф-л ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемия, 2010. – 363 с.

125. Сорбционно-десорбционные процессы и подвижность радиоактивного цезия в различных типах болотных экосистем / С.В. Овсянникова [и др.] // Фундаментальные и прикладные исследования радиобиологии: биологические эффекты малых доз и радиоактивное загрязнение среды: тезисы докладов международной научной конференции – Минск, 1998. – С. 182.

126. Сортовые и видовые различия по накоплению радионуклидов некоторыми озимыми и яровыми зерновыми культурами / В.С. Быстрицкий [и др.] // Проблемы ликвидации последствий аварии на ЧАЭС в агропромышленном производстве – пять лет спустя: итоги, проблемы и перспективы : тез. докл. Всес. конф. – Обнинск, 1991. – С. 27–29.

127. Состояние радионуклидов Чернобыльского выброса на территории Белоруссии / Е.П.Петряев [и др.] : тез. докл. науч.-практ. конф. по радиобиологии и радиоэкологии. – Минск, 1990. – С. 129.

128. Справочник мелиоратора / В.А. Анисимов [и др.]. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 235 с.

129. Стариков, Х.Н. Увлажнение осушаемых торфяников / Х.Н. Стариков. – М.: Колос, 1977. – 295 с.

130. Тепляков, И.Г. Влияние способов обработки почвы на распределение радионуклидов в почве и поступление их в урожай сельскохозяйственных растений / И.Г. Тепляков, В.В. Мартюшев, В.В. Базилев // Проблемы ликвидации последствий аварии на ЧАЭС

в агропромышленном производстве – пять лет спустя: итоги, проблемы и перспективы : тез. докл. Всес. конф. – Обнинск, 1991. – Т. 1. – С. 132.

131. Тимофеев, С.Ф. Уровни загрязнения зерновых культур экспериментально возделываемых в зоне отселения и отчуждения / С.Ф. Тимофеев, А.А. Новик, Г.И. Полекшанова // Тез. докл. Респ. науч.-практ. конф. по радиобиологии и радиоэкологии. – Минск, 1990. – С. 155.

132. Тюрюканова, Э.Б. Экология стронция-90 в почве / Э.Б.Тюрюканова. – М.: Атомиздат, 1976. – 128 с.

133. Урожай и содержание основных элементов питания в многолетних злаковых травах при возделывании на осушенной торфяно-болотной почве / С.А. Касьянчик [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2007. – № 1. – С. 42–48.

134. Фирсакова, С.К. Луговые биогеоценозы как критические радиоэкологические системы и принципы ведения луговодства в условиях радиоактивного загрязнения (на примере Белорусского Полесья после аварии на ЧАЭС): дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.01 / С.К. Фирсакова. – Обнинск, 1992. – 54 л.

135. Фоломкина, З.М. Накопление стронция-90 и цезия-137 в урожае растений в зависимости от механических фракций почв и применения удобрений: автореф. дис. канд. с.-х. наук / З.М. Фоломкина. – М., 1968. – 17 с.

136. Формы нахождения в почвах и динамика накопления Cs-137 в сельскохозяйственных культурах после аварии на Чернобыльской АЭС / Н.И. Санжарова [и др.] // Почвоведение. – 1997. – № 2. – С. 159–164.

137. Хомич, В.К. Исследования радиоэкологической обстановки на территории Белоруссии в условиях интенсивных радиоактивных выпадений: дис. ... канд. биол. наук / В.К. Хомич. – Обнинск, 1990. – 23 л.

138. Цыбулько, Н.Н. Радиационная защита населения Беларуси после чернобыльской катастрофы / Н.Н. Цыбулько // Радиация и риск. Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра. – Москва-Обнинск, 2014. – Т. 23, № 2. – С. 112–119.

139. Чаев, Е.П. Многолетние травы на торфяниках / Е.П. Чаев. – Минск: Ураджай, 1989. – 71 с.

140. Экологические последствия радиоактивного загрязнения природных сред в районе аварии на Чернобыльской АЭС / Ю.А. Израэль [и др.] // Атомная энергия. – 1988. – Т. 64. – Вып. 1. – С. 28.

141. Экономика сельского хозяйства / И.А. Минаков [и др.]; под ред. И.А. Минакова. – М.: Колос, 2004. – С. 295–298.

142. Элементы питания и их роль в формировании урожайности сельскохозяйственных культур / В.В. Лапа [и др.] // Справочник агрохимика: справ. изд. / В.В. Лапа [и др.]; под ред. д-ра с.-х. н. проф. В.В. Лапа. – Минск: Белорусская наука, 2007. – С. 109–117.

143. Эффект применения нетрадиционных мелиорантов на загрязненной радионуклидами торфянисто-глеевой почве / Е.Г. Сарасеко [и др.] // Проблемы радиологии загрязненных территорий: юб. тем. сб. / РНИУП «Институт радиологии»; под ред. В.Ю. Агееца. – Гомель, 2006. – С. 167–174.

144. Эффективность минеральных удобрений при возделывании многолетних бобово-злаковых трав на загрязненной ^{137}Cs и ^{90}Sr торфяной почве / И.М. Богдевич, А.Г. Подоляк, И.И. Ивашкова // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 1(48). – С. 150–158.

145. Эффективность применения калийных удобрений под многолетние травы на торфяно-болотных почвах, загрязненных радионуклидами / Т.М. Серая [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – №1(34). – С. 396–400.

146. Эффективность программ переспециализации сельскохозяйственных предприятий на территории радиоактивного загрязнения / В.С. Аверин [и др.] // Аграрная экономика. – 2009. – № 10. – С. 30–34.

147. Milbourn, G.L. The absorption of radioactive strontium by plants under field conditions in the United Kingdom / G. L. Milbourn [et al.]. // I.Rucl.Energy.Part.A.Reactor Sci– 1959. – V. 40. – №24. – P.116.

148. Milbourn, G.L. The uptake of radioactive strontium by crops under field conditions in the United Kingdom / G.L. Milbourn // I.Agr.Sci. – 1960. – V. 55. – №2. – P. 273.

149. USSR State Committee on the Utilisation of Atomic Energy "The Accident at the Chernobyl NPP and its Consequences" IAEA Post Accident Review Meeting, Vienna, 25-29. August 1986.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Требования СанПиН 2.3.2.1078-01 к содержанию ^{137}Cs и ^{90}Sr
в некоторых продуктах питания

Вид продукции	^{137}Cs Бк/кг,л	^{90}Sr Бк/кг,л
Мясо (все виды убойных, промысловых и диких животных)	160 (без костей)	50 (без костей)
Кости (все виды)	160	200
Мясо птицы, в т.ч. полуфабрикаты	180	80
Яйца и жидкие яичные продукты (меланж, белок, желток)	80	50
Молоко	100	25
Рыба	130	100
Зерно продовольственное, в т.ч. пшеница, рожь, тритикале, овес, ячмень, просо, рис, кукуруза, сорго	70	40
Зернобобовые, горох, фасоль, маш, нут, чечевица	50	60
Хлеб, булочные изделия и сдобные изделия	40	20
Мед	100	80
Картофель, овощи, бахчевые	120	40
Фрукты, ягоды, виноград	40	30
Ягоды дикорастущие	160	60
Грибы свежие	500	50
Грибы сухие	2500	250
Орехи	200	100
Семена масличных культур	70	90
Масло коровье	200	60
Вода питьевая	общая α -радиоактив- ность 0,1 Бк/л	общая β -радиоактив- ность 1,0 Бк/л

Приложение Б
 Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности
 кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни
 содержания радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs . Ветеринарные правила
 и нормы ВП 13.5.13/06-01

№ п/п	Наименование корма, кормовой добавки	Допустимый уровень радионуклидов Бк/кг, л	
		^{90}Sr	^{137}Cs
1.	Грубые корма (сено, солома)	180	400
2.	Сочные корма (силос, сенаж)	150	80
3.	Корнеклубнеплоды, бахчевые	80	60
4.	Травы естественные и сеяные	50	100
5.	Комбикорм, зерно злаковых и бобовых культур, дерть	140	200
6.	Жом, барда	120	65
7.	Жмых, шрот	200	600
8.	Травяная мука, хвойная мука	100	600
9.	Ягель	100	300
10.	Мясо, рыба, субпродукты, жир и др.	100	600
11.	Корма сухие животного происхождения с растительными и др. добавками	100	600
12.	Консервы мясные, рыбные, в том числе с растительными и др. добавками	100	600
13.	Мука костная, мясная, рыбная	200	600
14.	Цельное молоко, заменители молока	50	370
15.	Сухие молочные смеси и заменители молока	200	800
16.	Белково-витаминные, минеральные добавки. Премиксы, корма микробиологического синтеза	150	750

Примечания:

1. Приведены нормативы для получения цельного молока.
2. Допустимые уровни содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в прочих, не перечисленных в данной таблице кормах и кормовых добавках, устанавливают по аналогии видовой принадлежности корма.
3. Содержание ^{137}Cs в комбикормах для кур-несушек не может превышать 140 Бк/кг.

Приложение В

Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99) **

NN	Наименование продукта	Бк/кг, Бк/л	
		Стронций-90	Цезий-137
1.	Вода питьевая	0,37	10
2.	Молоко и цельномолочная продукция	3,7	100
3.	Молоко сгущенное и концентрированное		200
4.	Творог и творожные изделия		50
5.	Сыры сычужные и плавленые		50
6.	Масло коровье		100
7.	Мясо 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	3,7	80
9.	Хлеб и хлебобулочные изделия	3,7	40
10.	Мука, крупа, 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 потребления виде	1,85	37
21.	Прочие продукты питания		370

Примечание: Для продуктов питания, потребление которых составляет менее 10 кг/год на человека (специи, чай, мед), устанавливаются допустимые уровни, в 10 раз более высокие, чем установленные величины для прочих пищевых продуктов.

** – Действие РДУ-99 продлено Постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 16 мая 2001 г N 26 «Об утрате силы подпункта 1.2 пункта 1 Республиканских допустимых уровней содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и воде (РДУ-99)».

Приложение Г

Республиканские допустимые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr
в сельскохозяйственном сырье и кормах

Для переработки на пищевые цели допускается прием на перерабатывающие предприятия:

Продукция	Содержание, Бк/кг	
	Цезий-137	Стронций-90
<i>Молоко для переработки на:</i>		
сливочное масло	370	18
цельномолочные продукты, сыры и творог	100	3,7
молоко сухое и концентрированное	30	3,7
<i>Мясо:</i>		
говядина, баранина	500	Не нормируется
свинина, птица	180	Не нормируется
<i>Растительное сырье:</i>		
овощи	100	Не нормируется
фрукты	40	Не нормируется
садовые ягоды	70	Не нормируется
зерно	90	11
зерно на детское питание	55	3,7
<i>Прочее сырье</i>	370	Не нормируется

** – письмо Минсельхозпрода от 21.05.01 N 07-3/115 «О сроке действия РДУ-99 и сырьевых нормативов».

1. Прием, хранение и использование для посева семян зерновых, зернобобовых, крестоцветных культур, однолетних и многолетних трав разрешается с содержанием цезия-137 до 1850 Бк/кг.

2. Прием семян рапса для переработки на продовольственные и технические цели допускается с содержанием цезия-137 до 1500 Бк/кг

3. Для переработки на спирт допускается использование сырья с содержанием цезия-137 до 3700 Бк/кг.

4. Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в основных видах кормов предусмотрены для получения различных видов конечной продукции:

- цельного молока (*и молока-сырья для переработки на сыры и творог*);

- молока-сырья для переработки на масло;

- мяса говядины и баранины (*заключительная стадия откорма*).

Приложение Га

Республиканские допустимые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr
в сельскохозяйственном сырье и кормах

Виды кормов	Содержание, Бк/кг				
	Цезий-137			Стронций-90	
	Молоко цельное*	Молоко сырье для переработки на масло	Мясо, заключительный откорм КРС	Молоко цельное	Молоко сырье для переработки на масло
Сено	1300	1850	1300	260	1300
Солома	330	900	700	185	900
Сенаж	500	900	500	100	500
Силос	240	600	240	50	250
Корнеплоды	160	600	300	37	185
Зерно на фураж, комбикорм	180	600	480	100	500
Зеленая масса	165	600	240	37	185
Хвойная, травяная мука, дробина пивная, жом, патока, барда, мясокостная мука	900	-	-	-	-
Мезга, молочные продукты (обрат)	600	-	-	-	-
Прочие виды кормов	900	-	-	-	-

* – Корма для производства молока-сырья для переработки на сыры и творог, а также для откорма свиней и птицы должны соответствовать тем же требованиям.

Приложение Д

Средние коэффициенты перехода (КП, Бк/кг:кБк/м²) цезия-137 для дерново-подзолистых супесчаных почв Республики Беларусь

Культура	Содержание обменного калия, мг/кг почвы				
	менее 80	81-140	141-200	201-300	более 300
Зерно (влажность 14%)					
Овес	0,22	0,082	0,055	0,041	0,032
Озимая рожь	0,036	0,028	0,019	0,017	0,010
Озимая пшеница	-	-	0,028	0,018	0,010
Яровая пшеница	-	-	0,036	0,020	0,017
Ячмень	0,063	0,053	0,043	0,029	0,027
Люпин	0,55	0,50	0,40	0,36	0,33
Горох	0,51	0,45	0,35	0,28	0,18
Вика	0,27	0,23	0,19	0,15	0,13
Рапс яровой	-	0,25	0,19	0,14	0,12
Просо	-	-	0,10	0,067	0,047
Кукуруза	-	-	0,057	0,041	0,026
Солома (влажность 20%)					
Овес	0,40	0,12	0,058	0,045	0,028
Озимая рожь	0,093	0,062	0,040	0,037	0,022
Озимая пшеница	-	-	0,091	0,060	0,033
Яровая пшеница	-	-	0,072	0,22	0,023
Ячмень	0,12	0,088	0,054	0,049	0,046
Сено (влажность 16%)					
Клевер	0,93	0,65	0,47	0,39	0,34
Многолетние злаковые травы	2,0	1,4	0,68	0,55	0,46
Многолетние злаково-бобовые смеси	1,1	0,81	0,56	0,44	0,38
Естественные сенокосы	2,7	1,9	-	-	-
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	3,0	2,1	1,6	1,4	1,3
Сенаж (влажность 55%)					
Клевер	0,50	0,35	0,25	0,21	0,18
Многолетние злаковые травы	1,1	0,77	0,37	0,30	0,25
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,60	0,44	0,30	0,24	0,21
Естественные сенокосы	1,43	1,0	-	-	-

Культура	Содержание обменного калия, мг/кг почвы				
	менее 80	81-140	141-200	201-300	более 300
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	1,58	1,13	0,87	0,75	0,71
Силос (влажность 75%)					
Клевер	0,28	0,19	0,14	0,12	0,10
Многолетние злаковые травы	0,59	0,43	0,20	0,16	0,14
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,33	0,24	0,17	0,13	0,11
Горохо-овсяная смесь	0,22	0,17	0,13	0,069	0,069
Вико-овсяная смесь	0,13	0,082	0,063	0,050	0,038
Естественные сенокосы	0,79	0,57	-	-	-
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	0,88	0,63	0,49	0,42	0,39
Кукуруза	-	-	0,080	0,061	0,043
Зеленая масса (влажность 82%)					
Клевер	0,20	0,14	0,10	0,083	0,073
Многолетние злаковые травы	0,43	0,31	0,15	0,12	0,099
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,24	0,17	0,12	0,094	0,082
Горохо-овсяная смесь	0,16	0,12	0,090	0,050	0,050
Вико-овсяная смесь	0,090	0,059	0,045	0,036	0,028
Естественные сенокосы	0,57	0,41	-	-	-
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	0,63	0,45	0,35	0,30	0,28
Кукуруза	-	-	0,057	0,044	0,031
Люпин	-	-	0,20	0,16	0,13
Рапс яровой	-	0,22	0,15	0,082	0,058
Горох	-	0,11	0,098	0,062	0,043
Рапс озимый	-	-	0,034	0,022	0,012
Галега восточная	-	0,050	0,040	0,030	0,025
Пайза	-	-	0,060	0,050	0,050
Сорго	0,080	0,060	0,050	0,040	0,040
Люцерна	0,13	0,10	0,080	0,060	0,060
Лядвенец рогатый	-	0,16	0,12	0,080	0,060

Приложение Е

Средние коэффициенты перехода стронция-90 (КП, Бк/кг:кБк/м²) для дерново-подзолистых супесчаных почв Республики Беларусь

Культура	Уровень кислотности почвы, рН _(КС)					
	< 4,5	4,6- 5,0	5,1- 5,5	5,6- 6,0	6,1- 7,0	>7,0
Зерно (влажность 14%)						
Овес	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
Озимая рожь	1,0	0,84	0,79	0,72	0,69	0,61
Озимая пшеница	-	-	1,1	1,0	0,89	0,85
Яровая пшеница	-	-	1,1	1,1	0,88	0,81
Ячмень	-	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2
Люпин	-	4,0	3,4	3,0	2,8	2,6
Горох	-	2,4	1,8	1,6	1,5	1,4
Вика	-	2,1	1,6	1,5	1,4	1,3
Рапс яровой	-	5,4	1,4	1,3	1,2	1,2
Солома (влажность 20%)						
Овес	5,6	4,9	4,2	3,8	3,7	3,4
Озимая рожь	5,3	4,7	4,1	3,7	3,6	3,4
Озимая пшеница	-	-	5,4	5,1	4,4	4,1
Яровая пшеница	-	-	5,7	5,2	4,3	3,9
Ячмень	-	6,0	5,7	5,2	4,9	4,6
Сено (влажность 16%)-						
Клевер	-	-	22	18	14	11
Многолетние злаковые травы	12	10	8,9	7,6	6,9	5,4
Многолетние злаково-бобовые смеси	-	19	16	13	11	8,5
Естественные сенокосы	17	13	11	-	-	-
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	24	21	18	15	14	10
Лядвенец рогатый	-	8,3	5,8	5,3	4,9	3,1
Галега восточная	-	19	16	14	9,5	5,3
Сенаж (влажность 55%)						
Клевер	-	-	12	9,4	7,6	5,6
Многолетние злаковые травы	6,6	5,6	4,8	4,1	3,7	2,9
Многолетние злаково-бобовые смеси	-	10	8,4	7,1	6,0	4,5
Естественные сенокосы	9,0	6,8	5,7	-	-	-
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	13	11	9,5	8,1	7,3	5,5

Культура	Уровень кислотности почвы, рН _(КСI)					
	< 4,5	4,6- 5,0	5,1- 5,5	5,6- 6,0	6,1- 7,0	>7,0
Силос (влажность 75%)						
Клевер	-	-	6,4	5,2	4,2	3,1
Многолетние злаковые травы	3,7	3,1	2,7	2,3	2,1	1,6
Многолетние злаково-бобовые смеси	-	5,6	4,7	3,9	3,3	2,5
Горохо-овсяная смесь	-	3,6	3,2	2,7	2,3	1,7
Вико-овсяная смесь	-	3,5	3,2	2,7	2,1	1,6
Естественные сенокосы	5,0	3,8	3,1	-	-	-
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	7,1	6,1	5,3	4,5	4,1	3,1
Кукуруза	-	2,8	2,2	1,8	1,2	0,70
Зеленая масса (влажность 82%)						
Клевер	-	-	4,6	3,8	3,1	2,3
Многолетние злаковые травы	2,6	2,2	1,9	1,6	1,5	1,2
Многолетние бобово-злаковые смеси	-	4,0	3,4	2,8	2,4	1,8
Горохо-овсяная смесь	-	2,6	2,3	2,0	1,6	1,3
Вико-овсяная смесь	-	2,6	2,3	2,0	1,6	1,1
Естественные сенокосы	3,6	2,7	2,3	-	-	-
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	5,1	4,4	3,8	3,2	2,9	2,2
Кукуруза	-	2,0	1,6	1,3	0,8 8	0,5 2
Люпин	-	5,8	4,8	3,8	2,9	1,7
Рапс яровой	-	2,8	2,3	2,0	1,7	1,5
Горох	-	5,4	4,5	3,6	2,6	1,6
Вика	-	4,0	3,6	3,0	1,8	1,4
Лядвенец рогатый	-	1,8	1,2	1,1	1,1	0,6 6
Галега восточная	-	4,0	3,5	2,9	2,0	1,1
Пайза	-	3,4	2,8	2,6	1,6	-
Сорго	-	3,9	3	2,7	1,5	-
Люцерна	-	5,2	4,5	4,1	3,5	-

Приложение Ж

Средние коэффициенты перехода цезия-137 (КП, Бк/кг:кБк/м²)
для торфяных почв Республики Беларусь

Тип травостоя	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы			
	<200	201-400	401-600	601-1000
Мощность торфяного слоя менее 1 м				
Сено (влажность 16 %)				
Естественный злаково-разнотравный	10,2	7,3	4,8	2,5
Сеяный многолетний злаковый	7,6	3,9	2,6	1,8
Сеяный многолетний бобово-злаковый	2,7	1,9	1,3	-
Сенаж (влажность 55 %)				
Естественный злаково-разнотравный	5,5	3,9	2,6	1,3
Сеяный многолетний злаковый	4,1	2,1	1,4	1,0
Сеяный многолетний бобово-злаковый	1,4	1,0	0,7	-
Силос (влажность 75 %)				
Естественный злаково-разнотравный	3,0	2,2	1,4	0,7
Сеяный многолетний злаковый	2,3	1,7	0,8	0,5
Сеяный многолетний бобово-злаковый	0,8	0,7	0,4	-
Зеленая масса (влажность 82 %)				
Естественный злаково-разнотравный	2,2	1,6	1,0	0,5
Сеяный многолетний злаковый	1,6	0,8	0,6	0,4
Сеяный многолетний бобово-злаковый	0,6	0,4	0,3	-
Мощность торфяного слоя более 1 м				
Сено (влажность 16 %)				
Естественный злаково-разнотравный	22	19	12	7
Сеяный многолетний злаковый	4,8	1,8	0,6	0,4
Сенаж (влажность 55 %)				
Естественный злаково-разнотравный	12	9,9	6,3	3,7
Сеяный многолетний злаковый	2,6	0,94	0,3	0,2
Зеленая масса (влажность 82%)				
Естественный злаково-разнотравный	4,6	4,0	2,5	1,5
Сеяный многолетний злаковый	1,0	0,4	0,13	0,08

Приложение И

Средние коэффициенты перехода стронция-90 (КП, Бк/кг:кБк/м²)
для торфяных почв Республики Беларусь

Тип травостоя	Уровень кислотности почвы, pH _(KCl)		
	4,51-5,00	5,01-5,50	5,51-6,00
Мощность торфяного слоя менее 1 м			
Сено (влажность 16 %)			
Естественный злаково-разнотравный	5,2	3,8	2,6
Сеяный многолетний злаковый	3,7	2,4	1,9
Сеяный многолетний бобово-злаковый	6,8	5,5	3,2
Сенаж (влажность 55 %)			
Естественный злаково-разнотравный	2,8	2,0	1,4
Сеяный многолетний злаковый	2,0	1,3	1,0
Сеяный многолетний бобово-злаковый	3,7	2,9	1,7
Зеленая масса (влажность 82 %)			
Естественный злаково-разнотравный	1,1	0,8	0,6
Сеяный многолетний злаковый	0,8	0,5	0,4
Сеяный многолетний бобово-злаковый	1,5	1,2	0,7
Мощность торфяного слоя более 1 м			
Сено (влажность 16 %)			
Естественный злаково-разнотравный	17	4,4	3,2
Сеяный многолетний злаковый	3,4	3,0	2,6
Сенаж (влажность 55%)			
Естественный злаково-разнотравный	9,2	2,4	1,7
Сеяный многолетний злаковый	1,8	1,6	1,4
Силос (влажность 75%)			
Естественный злаково-разнотравный	5,1	1,3	1,0
Сеяный многолетний злаковый	1,0	0,91	0,76
Зеленая масса (влажность 82%)			
Естественный злаково-разнотравный	3,7	0,95	0,69
Сеяный многолетний злаковый	0,73	0,65	0,55

Приложение К

Дозы известковых удобрений на загрязненных радионуклидами
землях (Республика Беларусь)

Почва	рН в КСІ	Доза СаСО ₃ на незагрязненных землях, т/га	Доза СаСО ₃ на загрязненных землях, (т/га) при плотности, (кБк/м ²)	
			137Cs 37-185 90Sr 5,6-11,1	137Cs >185 90Sr > 11,1
Пашня				
Дерново-подзолистые:				
Суглинистые	<4,5	8,5	8,5	15,0
	4,6-5,0	7,5	7,5	13,0
	5,1-5,5	6,5	6,5	11,0
	5,6-6,0	4,5	4,5	7,0
Супесчаные	<4,5	6,5	6,5	11,5
	4,6-5,0	5,5	5,5	9,5
	5,1-5,5	4,5	4,5	7,0
	5,6-6,0	–	3,0	4,0
Песчаные	<4,5	5,5	5,5	8,5
	4,6-5,0	4,5	4,5	6,5
	5,1-5,5	3,5	3,5	4,5
Торфяно-болотные	<4,0	12	19,0	19,0
	4,1-4,5	7,0	11,0	11,0
	4,6-5,0	4,0	6,0	6,0
Улучшенные сенокосы и пастбища				
Суглинистые	<4,5	9,0	9,0	15,5
	4,6-5,0	8,0	8,0	13,5
	5,1-5,5	6,5	6,5	11,5
	5,6-6,0	4,5	4,5	7,5
Супесчаные	<4,5	7,0	7,0	11,5
	4,6-5,0	6,0	6,0	10,0
	5,1-5,5	4,5	4,5	7,5
	5,6-6,0	-	3,5	5,0
Песчаные	<4,5	6,0	6,0	9,0
	4,6-5,0	5,0	5,0	7,0
	5,1-5,5	4,0	4,0	5,0
Торфяно-болотные	<4,0	12,0	19,0	19,0
	4,1-4,5	7,0	11,0	11,0
	4,6-5,0	4,0	6,5	6,5

Дозы фосфорных удобрений
на загрязненных радионуклидами землях

Почва	Содержание P_2O_5 , мг/кг почвы	Основные дозы P_2O_5 , кг/га	Дополнительные дозы P_2O_5 (кг/га) при плотности загрязнения, (кБк/м ²)		
			Cs 37-185 Sr 5,55-11,1	Cs 185-555 Sr 11,1-37	Cs 555-1480 Sr 37-111
Пашня					
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
	251-400	10	-	-	-
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
	800-1200	10	-	-	-
Улучшенные сенокосы и пастбища					
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
	251-400	-	-	-	10
Торфяно-болотные	менее 200	55	15	30	45
	201-300	40	10	20	30
	301-500	35	5	10	15
	501-800	20	-	5	10
	801-1200	-	-	-	-

Дозы калийных удобрений
на загрязненных радионуклидами землях

Почва	Содержание K ₂ O, мг/кг почвы	Основные дозы K ₂ O, кг/га	Дополнительные дозы K ₂ O (кг/га) при плотности загрязнения, (кБк/м ²)		
			Cs 37-185 Sr 5,55-11,1	Cs 185-555 Sr 11,1-37	Cs 555-1480 Sr 37-111
Пашня					
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	25	-	-	-
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	30	-	-	-
Сенокосы и пастбища					
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	20	-	-	-
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	30	-	-	-

Максимальные дозы азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры, возделываемые на минеральных почвах

Культура	Органические удобрения (фон), т/га	Максимально допустимая годовая доза азотных удобрений, кг/га д.в.
Картофель	60-70	90
Озимые зерновые	30-40	120
Яровые зерновые	–	90
Сахарная свекла	60-70	120
Кормовая свекла	75	150
Кукуруза	70	150
Многолетние злаковые травы	–	160
Капуста	70	120
Морковь	–	90
Томаты	40	120
Огурцы	120	90
Столовая свекла	40	120
Лук-репка	40	90
Зеленые овощи	40	60

Дозы и сроки некорневых подкормок сельскохозяйственных культур микроэлементами

Культуры	Микро-элементы	Доза г/га, д. в.	Сроки применения
Озимые и яровые зерновые; мн. злаковые травы	Марганец	50	Начало выхода в трубку
Зернобобовые	Бор	30-50	Бутонизация
Кормовая свекла	Бор	50-100	Смыкание листьев в рядках и междурядьях
Озимый и яровой рапс	Бор Марганец	75-100 50-75	Бутонизация
Кукуруза	Цинк Марганец	50-75 50	6-8 листьев
Семенники многолетних бобовых трав	Бор	50	Бутонизация

Приложение Р

Травосмеси, рекомендуемые при перезалужении пастбищных угодий на суходольных и низинных лугах, загрязненных цезием-137 и стронцием-90

Тип почвы	Тип травостоя	Вид травосмеси	Норма высева, кг/га	
Плотность загрязнения цезием-137 < 15 Ки/км ² (555 кБк/м ²), стронцием-90 < 0,50 Ки/км ² (18,5 кБк/м ²)				
Дерново-подзолистые автоморфные, дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные	Бобово-злаковые среднеспелые	овсяница луговая	15	
		тимopheевка луговая	10	
		клевер белый	3	
		клевер луговой (раннеспелый)	2	
		всего	30	
	Бобово-злаковые позднеспелые	овсяница луговая	10	
		тимopheевка луговая	8	
		мятлик луговой	6	
		клевер белый	3	
		клевер луговой (позднеспелый)	3	
		всего	30	
		Дерновые, дерново-подзолистые полугидроморфные	Бобово-злаковые среднеспелые	овсяница луговая
	тимopheевка луговая			5
	кострец безостый или лисохвост луговой			6
мятлик луговой	3			
клевер луговой (раннеспелый)	3			
клевер белый	3			
всего	30			

Тип почвы	Тип травостоя	Вид травосмеси	Норма высева, кг/га
	Бобово-злаковые позднеспелые	овсяница луговая	8
		тимофеевка луговая	6
		коострец безостый или лисохвост луговой	4
		мятлик луговой	4
		клевер белый	5
		клевер гибридный (розовый)	3
		всего	30
		Плотность загрязнения цезием-137 > 15 Ки/км ² (555 кБк/м ²), стронцием-90 > 0,50 Ки/км ² (18,5 кБк/м ²)	
Дерново-подзолистые автоморфные, дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные	Злаковые раннеспелые	овсяница луговая	10
		ежа сборная	8
		коострец безостый	5
		тимофеевка луговая	5
		мятлик луговой	2
		всего	30
Дерновые, дерново-подзолистые полугидроморфные	Злаковые раннеспелые	ежа сборная	12
		лисохвост луговой или костер безостый	8
		овсяница луговая	5
		мятлик луговой	5
		всего	30

Приложение С

Травосмеси, рекомендуемые для перезалужения пастбищных угодий на торфяных почвах, загрязненных цезием-137 и стронцием-90

Тип почвы	Тип травостоя	Вид травосмеси	Норма высева, кг/га
Плотность загрязнения цезием-137 < 10,0 Ки/км ² (370 кБк/м ²), стронцием-90 < 0,30 Ки/км ² (11,1 кБк/м ²)			
Торфяные	Бобово-злаковые среднеспелые	тимофеевка луговая	6
		овсяница луговая	6
		кострец безостый или лисохвост луговой	6
		мятлик луговой	6
		клевер ползучий	6
		всего	30
	Бобово-злаковые позднеспелые	тимофеевка луговая	6
		овсяница луговая	6
		лисохвост луговой	4
		мятлик луговой	6
		клевер ползучий	4
		клевер гибридный	4
	всего	30	
	Злаковый ранний	ежа сборная	12
		лисохвост луговой	8
овсяница луговая		6	
мятлик луговой		4	
всего	30		
Плотность загрязнения цезием-137 > 10,0 Ки/км ² (370 кБк/м ²), стронцием-90 > 0,30 Ки/км ² (11,1 кБк/м ²)			
Торфяные	Злаковые раннеспелые	овсяница луговая	10
		ежа сборная	8
		кострец безостый	5
		тимофеевка луговая	5
		мятлик луговой	2
	всего	30	
	Злаковые раннеспелые	ежа сборная	12
		лисохвост луговой или костер безостый	8
		овсяница луговая	5
		мятлик луговой	5
всего		30	

Приложение Т

Травосмеси, рекомендуемые при перезалужении сенокосов
на суходольных и низинных лугах,
загрязненных цезием-137 и стронцием-90

Тип почвы	Тип травостоя	Вид травосмеси	Норма высева, кг/га
Плотность загрязнения $^{137}\text{Cs} < 15 \text{ Ки/км}^2$ (555 кБк/м^2), $^{90}\text{Sr} < 0,50 \text{ Ки/км}^2$ ($18,5 \text{ кБк/м}^2$)			
Дерново-подзолистые автоморфные, дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные	Бобово-злаковые раннеспелые	люцерна гибридная	10
		ежа сборная	3
		всего	13
	Бобово-злаковые среднеспелые	кострец безостый	8
		овсяница луговая	8
		тимopheевка луговая	4
		клевер луговой (раннеспелый)	5
		всего	25
		люцерна гибридная	7,5
		кострец безостый	11
		всего	18,5
		Бобово-злаковые позднеспелые	люцерна гибридная
	тимopheевка луговая		5
	всего		15
	овсяница луговая		12
	тимopheевка луговая		8
	клевер луговой (позднеспелый)		5
	всего		25

Тип почвы	Тип травостоя	Вид травосмеси	Норма высева, кг/га	
Дерновые, дерново-подзолистые полугидроморфные	Бобово-злаковые среднеспелые	люцерна гибридная	10	
		ежа сборная	3	
		всего	13	
		коострец безостый	8	
		овсяница луговая	6	
		тимофеевка луговая	5	
		клевер луговой (раннеспелый)	6	
		всего	25	
		Бобово-злаковые позднеспелые	люцерна гибридная	10
	тимофеевка луговая		5	
	всего		15	
	овсяница луговая		10	
	тимофеевка луговая		5	
	коострец безостый		5	
	клевер гибридный		5	
	всего		25	
	Плотность загрязнения $^{137}\text{Cs} > 15 \text{ Ки/км}^2$ (555 кБк/м^2), $^{90}\text{Sr} > 0,50 \text{ Ки/км}^2$ ($18,5 \text{ кБк/м}^2$)			
	Дерново-подзолистые автоморфные, дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные	Злаковые раннеспелые	овсяница луговая	10
ежа сборная			5	
коострец безостый			5	
тимофеевка луговая			5	
всего			25	

Тип почвы	Тип травостоя	Вид травосмеси	Норма высева, кг/га
Дерновые, дерново- подзолистые полугидроморфные	Злаковые раннеспелые	овсяница луговая	10
		лисохвост луговой или костер безостый	5
		тимофеевка луговая	5
		мятлик луговой	5
		всего	25

МГТУ им. И.П.Шамякина

Схемы севооборотов и чередование культур в них

Пахотные земли с преобладанием автоморфных дерново-подзолистых легкосуглинистых почв мощных и подстилаемых мореной или песком с глубины около 1 м		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ячмень 2. Мн. травы 3. Мн. травы 4. Озимые + пожнивные 5. Пропашные 6. Ячмень 7. Клевер 8. Яровые зерновые 9. Кукуруза 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Оз. пшеница + пожнивные 3. Пропашные 4. Ячмень 5. Мн.травы 6. Мн.травы 7. Озимые + пожнивные 8. Овес 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Озимые + пожнивные 3. Пропашные 4. Ячмень 5. Мн. травы 6. Мн. травы 7. Озимые + пожнивные 8. Зернобобовые, овес
<ol style="list-style-type: none"> 1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Озимые 3. Клевер 4. Ячмень + пожнивные 5. Пропашные 6. Ячмень 7. Клевер 8. Оз. пшеница + пожнивные 	<ol style="list-style-type: none"> 1 Озимые на з/м + одн. травы 2. Озимые + пожнивные 3. Пропашные 4. Ячмень 5. Озимые 6. Клевер 7. Ячмень + пожнивные 8. Овес 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Озимые 3. Клевер 4. Ячмень + пожнивные 5. Лен, з/бобовые, овес 6. Озимые, ячмень 7. Клевер 8. Ячмень 9. Оз. рожь, овес
<ol style="list-style-type: none"> 1. Одн. травы с подсевным однол. райграсом или поукосные 2. Ячмень 3. Мн.травы 4. Мн.травы 5. Озимые + пожнивные 6. Кукуруза 7. Ячмень 8. Клевер 9. Яровые зерновые 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Одн. травы + подсевные и поукосные 2. Ячмень 3. Мн.травы 4. Мн.травы 5. Кукуруза 6. Люцерна, люцерна + клевер + злаки (выводное поле) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Одн. травы + подсевные и поукосные 2. Ячмень 3. Клевер 4. Кукуруза 5. Корнеплоды 6. Мн.травы (выводное поле)

1. Одн. травы + мн.травы 2-4. Мн.травы 5. Озимые + пожнивные 6. Корнеплоды 7. Силовосные	1. Одн. травы + клевер 2. Клевер 3. Озимые + поукосные 4. Корнеплоды 5. Силовосные 6. Мн.травы (выводное поле)	1. Однол. травы + люцерна 2-5. Люцерна (3-4 года) 6-9. Кукуруза (3-4 года)
Пахотные земли с преобладанием автоморфных дерново- подзолистых супесчаных, подстилаемых мореной с глубины около 0,5 м		
1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Оз. пшеница + пожнивные 3. Пропашные 4. Ячмень 5. Клевер 6. Кукуруза 7. Ячмень	1. Озимые + пожнивные 2. Пропашные 3. Ячмень 4. Мн.травы 5. Мн.травы 6. Озимые + пожнивные 8. Яр. зерновые	1. Озимые + пожнивные 2. Пропашные 3. Ячмень 4. Мн.травы 5. Мн.травы 6. Озимые + пожнивные 7. Кукуруза 8. Ячмень
1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Оз. пшеница + пожнивные 3. Пропашные 4. Ячмень 5. Клевер 6. Ячмень 7. Оз. рожь	1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Озимые + пожнивные 3. Картофель 4. Ячмень 5. Клевер 6. Ячмень 7. Оз. рожь + пожнивные 8. Овес	1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Ячмень 3. Клевер 4. Яровые зерновые 5. Пропашные 6. Кукуруза
1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Клевер 3. Ячмень 4. Одн. травы + поукосные 5. Пропашные 6. Кукуруза	1. Одн. травы + клевер 2. Клевер 3. Озимые на з/м + посевные и поукосные культуры 4. Корнеплоды, кукуруза 5. Кукуруза	1. Одн. травы + люцерна 2-5. Люцерна (3-4 года) 6-9. Кукуруза (3-4 года)

<p>Пахотные земли с преобладанием автоморфных дерново-подзолистых супесчаных, подстилаемых мореной с глубины около 1 м; песчаных, подстилаемых мореной около 0,5 м и суглинистых, подстилаемых песками</p>		
<p>1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Озимая рожь + пожнивные 3. Картофель 4. Ячмень 5. Клевер 6. Кукуруза</p>	<p>1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Озимая рожь + пожнивные 3. Картофель 4. Ячмень 5. Клевер 6. Кукуруза 7. Ячмень</p>	<p>1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Озимые + пожнивные 3. Пропашные 4. Ячмень + пожнивные 5. Кукуруза 6. Овес</p>
<p>1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Озимые + пожнивные 3. Пропашные 4. Ячмень 5. Оз. рожь + пожнивные 6. Овес</p>	<p>1. Одн. травы + поукосные 2. Ячмень + клевер 3. Клевер 4. Кукуруза 5. Кукуруза</p>	
<p>Пахотные земли с преобладанием автоморфных дерново-подзолистых супесчаных и песчаных, подстилаемых песками</p>		
<p>1. Озимые на з/м + одн. травы 2. Озимая рожь + пожнивные 3. Картофель 4. Овес</p>	<p>1. Люпин на з/м 2. Озимая рожь + пожнивные 3. Картофель 4. Ячмень + пожнивные 5. Кукуруза 6. Овес</p>	<p>1. Люпин на з/м 2. Озимая рожь + пожнивные 3. Картофель 4. Ячмень + пожнивные 5. Овес</p>
<p>1. Люпин 2. Яровые зерновые 3. Озимые + пожнивные 4. Картофель 5. Ячмень + пожнивные 6. Овес</p>	<p>1. Озимые з/м + поукосные 2. Озимые, яров. зерновые + пожнивные 3-4. Кукуруза</p>	<p>1. Люпин на з/м 2. Озимые, яр. зерновые + пожнивные 3. Картофель 4-5. Кукуруза</p>

Научное издание

ПОДОЛЯК Александр Григорьевич
ВАЛЕТОВ Валентин Васильевич
КАРПЕНКО Алексей Фёдорович

НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
В ПОСТЧЕРНОБЫЛЬСКИХ УСЛОВИЯХ

Корректор *Л. В. Журавская*
Оригинал-макет *Е. В. Лис*

Подписано в печать 01.09.2017. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 14,07. Уч.-изд. л. 17,78.
Тираж 100 экз. (1-й завод 1–40 экз.). Заказ 19.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Мозырский государственный
педагогический университет имени И. П. Шамякина».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий N 1/306 от 22 апреля 2014 г.
Ул. Студенческая, 28, 247760, Мозырь, Гомельская обл.
Тел. (0236) 32-46-29