

**Руководство по применению
контрмер в сельском
хозяйстве в случае
аварийного выброса
радионуклидов
в окружающую среду**



МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

МАГАТЭ

The IAEA does not normally maintain stocks of reports in this series.
However, microfiche copies of these reports can be obtained from

INIS Clearinghouse
International Atomic Energy Agency
Wagramerstrasse 5
P.O. Box 100
A-1400 Vienna, Austria

Orders should be accompanied by prepayment of Austrian Schillings 100,—
in the form of a cheque or in the form of IAEA microfiche service coupons
which may be ordered separately from the INIS Clearinghouse.

Секция, в которой подготовлен этот документ —
Секция агрохимикатов и остатков
Объединенный отдел ФАО/МАГАТЭ по ядерным методам
в продовольственной и сельскохозяйственной областях
Wagramerstrasse 5
P.O. Box 100
A-1400 Vienna, Austria

РУКОВОДСТВО ПО ПРИМЕНЕНИЮ КОНТРОЛЕ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ В СЛУЧАЕ АВАРИЙНОГО
ВЫБРОСА РАДИОНУКЛИДОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
МАГАТЭ, ВЕНА, 1994
IAEA-TECDOC-745
ISSN 1011-4289

Напечатано МАГАТЭ в Австрии
Май 1994

ПРЕДИСЛОВИЕ

В результате Чернобыльской аварии в 1986 г. произошло значительное радиоактивное загрязнение окружающей среды на больших территориях, в ряде случаев на большом удалении от места аварии. Были развернуты широкие научные исследования и накоплен большой практический опыт по преодолению последствий аварии. В области сельского хозяйства был предложен большой набор мероприятий по преодолению последствий подобных аварий, однако некоторые из них оказались малоэффективными, а в ряде случаев побочные вредные эффекты, по-видимому, превышали пользу от их применения. Часто приходилось принимать во внимание неизвестные ранее факторы и подходящие контрмеры варьировали не только от района к району, но и от фермы к ферме.

Аналитическая сводка литературных и опытных данных по переходу радионуклидов по пищевым цепочкам и по способам снижения этого перехода служит надежной основой для управления сельским хозяйством в случае новой крупной радиационной аварии. Работа в этом направлении была начата в 1990 г. группой консультантов в рамках Координированной исследовательской программы МАГАТЭ и КЕС по валидации моделей перехода радионуклидов в наземных, городских и водных экосистемах. В дальнейшем работа выполнялась по совместной программе Отдела ядерной безопасности МАГАТЭ и Секции агрохимии и загрязнений Объединенного отдела ФАО/МАГАТЭ по применению ядерных методов в области продовольствия и сельского хозяйства; программа получила название “Смягчение вредных последствий радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной среды”. Настоящее “Руководство” является результатом выполнения этой программы и предназначено в помощь администраторам, ученым и техническим специалистам, занятым в рассматриваемой области, при подготовке детальных планов применительно к местным условиям.

МАГАТЭ и ФАО выражают признательность и благодарность участникам рабочих групп консультантов и экспертов, а также всем, кто сделал возможным эту публикацию. В их числе: В.Ю. Агеец (Беларусь), Р.А. Алексахин (Российская Федерация), М. Антоновский (Австрия), Н.П. Архипов (Украина), Дж. Биккертон (США), В. Ветров (Российская Федерация), Э. Вирт (Германия), М. Грауби (Франция), В. Гурков (Беларусь), А. Жув (Франция), С.М.А.Д. Заед (Египет), К.Дж. Йохансон (Швеция), Дж.М. Кериши, Ки Хак Хан (Республика Корея), Р. Лайтгеб (Австрия), Ш. Митенэр (Бельгия), Х. Оберлендер (Австрия), К. Ове (Норвегия), А. Поваляев (Российская Федерация), Г. Прель (Германия), О. Премсталлер (Австрия), Б. Пристер (Украина), К. Рагху (Индия), А.Н. Ратников (Российская Федерация), И. Саше (Бразилия), М.Дж. Сигэл (Соединенное Королевство), Р. Стрэнд (Норвегия), М. Суомела (Финляндия), Ф.Дж. Сэндэллс (Соединенное Королевство), С.К. Фирсакова (Беларусь), О. Харбиц (Норвегия), Е. Хенрих (Австрия), С. Ховард (Соединенное Королевство), С. Хэйвуд (Соединенное Королевство), Н. Чандхури (Бангладеш), Ю.А. Широков (Российская Федерация), Ю. Юн-Ченг (Китай).

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКЦИИ

При подготовке данного материала к печати сотрудники Международного агентства по атомной энергии собрали и сделали сквозную нумерацию страниц оригиналов рукописей и уделили некоторое внимание форме представления материала.

Выраженные в материалах взгляды не обязательно отражают взгляды правительств стран-членов или организаций, под эгидой которых рукописи были созданы.

Использование в данной книге ссылок на отдельные страны или территории не подразумевает какого-либо мнения издателя, МАГАТЭ, как относительно юридического статуса данной страны или территории, правительственных и общественных институтов, так и их границ.

Упоминание отдельных компаний или их изделий или фирменных знаков не означает какого-либо одобрения или рекомендаций со стороны МАГАТЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

ЧАСТЬ 1. ВВЕДЕНИЕ	9
1. ВВЕДЕНИЕ	11
1.1. Радиационные аварии и контрмеры в сельском хозяйстве	11
1.2. Цель и задачи Руководства	11
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	12
2.1. Естественная радиоактивность окружающей среды	12
2.2. Радиологическая защита	13
2.3. Уровни вмешательства	15
3. РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ ДЛЯ КОНТРМЕР В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	18
3.1. Фазы аварии	18
3.1.1. Ранняя фаза	19
3.1.2. Промежуточная фаза	19
3.1.3. Поздняя фаза	19
3.2. Планирование	19
3.3. Принятие решений	20
ЧАСТЬ 2. КОНТРМЕРЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ: НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ	23
4. ВВЕДЕНИЕ	25
5. ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫЕ МЕРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДО И ВО ВРЕМЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ	26
5.1. Введение	26
5.2. Практические контрмеры	27
5.2.1. Контрмеры общего характера	27
6. КОНТРМЕРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПЕРВЫЕ НЕДЕЛИ ПОСЛЕ ВЫПАДЕНИЙ	28
6.1. Введение	28
6.2. Практические контрмеры	28
6.2.1. Контрмеры общего характера	28
6.2.2. Специальные меры при загрязнении молока ¹³¹ I	30
7. КОНТРМЕРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СРЕДНИЙ И ПОЗДНИЙ ПЕРИОДЫ ВРЕМЕНИ ПОСЛЕ ВЫПАДЕНИЙ	31
7.1. Введение	31
7.2. Дезактивация земли путем механической обработки почвы	31
7.2.1. Введение	31
7.2.2. Практические контрмеры	32
7.3. Изменение землепользования (перепрофилирование)	34
7.3.1. Введение	34
7.3.2. Практические контрмеры	35

7.4. Применение мелиорантов и удобрений для снижения перехода радионуклидов из почвы и растения	38
7.4.1. Введение	38
7.4.2. Контрмеры общего характера	40
7.4.3. Специальные контрмеры при загрязнении радиоцезием	41
7.4.4. Специальные контрмеры при загрязнении ⁹⁰ Sr	41
7.5. Контрмеры в животноводстве	42
7.5.1. Введение	42
7.5.2. Контрмеры общего характера	44
7.5.3. Специальные контрмеры при загрязнении радиоцезием	45
7.5.4. Специальные контрмеры при загрязнении радиостронцием	49
7.6. Контрмеры в рыболовстве и рыбном хозяйстве на пресных водоемах	50
7.6.1. Введение	50
7.6.2. Практические контрмеры	50
7.7. Контрмеры в лесном хозяйстве	52
7.7.1. Введение	52
7.7.2. Ограничительные контрмеры	53
7.7.3. Методы дезактивации	53
7.7.4. Использование химических веществ	55
7.7.5. Переработка лесного сырья	55
7.7.6. Изменение лесопользования и ведения лесного хозяйства	56
8. ВЫВЕДЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И КУЛИНАРНОЙ ОБРАБОТКЕ	57
8.1. Введение	57
8.2. Действие переработки и приготовления продуктов питания	59
8.2.1. Молочные продукты	60
8.2.2. Фрукты, овощи и крупы	60
8.3.3. Мясо и рыба	62

ЧАСТЬ III. ОРГАНИЗАЦИЯ ОТВЕТНЫХ МЕР

9. ВВЕДЕНИЕ	67
10. ГОТОВНОСТЬ К ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ	67
10.1. Создание и поддержание готовности структур по чрезвычайным ситуациям	67
10.2. Планы на случай чрезвычайных ситуаций	68
10.3. Мониторинг и оценка радиационной обстановки	69
10.4. Правовые вопросы	69
10.5. Резервные фонды и ресурсы	70
11. ОТВЕТНЫЕ МЕРЫ	70
11.1. Период раннего предупреждения	70
11.1.1. Задачи администрации	70
11.1.2. Задачи науки	71

11.2. Краткосрочные ответные меры	71
11.2.1. Задачи администрации	71
11.2.2. Задачи науки	71
11.3. Ответные меры в переходный период	72
11.4. Долгосрочные ответные мероприятия	72
12. ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ОБЩЕСТВА И ДЛЯ ФЕРМЕРОВ	73
12.1. В нормальной ситуации (без аварий)	73
12.2. После аварии	73
ЧАСТЬ IV. ЗАГРЯЗНЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	
ПРИ ЯДЕРНЫХ АВАРИЯХ В ПРОШЛОМ	75
13. ВВЕДЕНИЕ	77
14. ЯДЕРНЫЕ АВАРИИ, ПРИ КОТОРЫХ ПОТРЕБОВАЛОСЬ	
ПРИМЕНЕНИЕ ТОЛЬКО КРАТКОСРОЧНЫХ КОНТРМЕР	77
14.1. Уиндскейл	77
14.2. Паломарес	77
14.3. Космос 954	78
15. ЯДЕРНЫЕ АВАРИИ, ПРИ КОТОРЫХ ПОТРЕБОВАЛИСЬ КАК	
КРАТКОСРОЧНЫЕ, ТАК И ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ	
КОНТРМЕРЫ	78
15.1. Кыштым	78
15.2. Чернобыль	79
15.2.1. Бывший Советский Союз (Беларусь, Россия, Украина) ...	79
15.2.2. Австрия	83
15.2.3. Норвегия	90
15.2.4. Соединенное Королевство (только Англия)	91
ЛИТЕРАТУРА	95
БИБЛИОГРАФИЯ	101
ГЛОССАРИЙ	103

Часть I
ВВЕДЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. РАДИАЦИОННЫЕ АВАРИИ И КОНТРМЕРЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В результате аварии может произойти выброс радиоактивных веществ в окружающую среду. Поскольку ядерные установки обычно не размещают в густонаселенных районах, прилегающие к ним земли чаще всего относятся к сельской местности. Кроме того, как показала авария в Чернобыле в 1986 г., сельскохозяйственное производство может пострадать за сотни и даже тысячи километров от места аварии. Таким образом, для снижения возможного загрязнения сельскохозяйственной продукции необходимо иметь заранее подготовленные чрезвычайные планы введения контрмер даже в странах, не имеющих собственной атомной энергетики.

Как и в любом другом случае опасного загрязнения окружающей среды, должны быть задействованы все уровни государственного управления от центрального до местных.

В основе стратегии сельскохозяйственных контрмер лежат два главных положения:

- охрана здоровья человека путем снижения радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции и
- возвращение к обычному виду землепользования, насколько это возможно.

На практике, решение о введении контрмер с целью охраны здоровья должно учитывать также стоимость мероприятий и нарушение привычного уклада жизни.

Непосредственно после аварии могут быть введены краткосрочные ограничения, чтобы снизить облучение от короткоживущих радионуклидов, даже если в составе загрязнения могут содержаться и другие радионуклиды. Например, может быть введен запрет на потребление молока в течение нескольких недель, пока не распадется ^{131}I . При необходимости введения долгосрочных контрмер они имеют целью обеспечить “безопасные” условия проживания для населения загрязненных районов и в какой-то степени восстановить сельскохозяйственное производство.

Поступление радионуклидов в человека может быть уменьшено с помощью различных методов, таких, как снижение перехода в сельхозрастения путем химической обработки почвы или переработка пищевых продуктов. Разработаны также специальные режимы кормления животных загрязненными кормами для производства мяса с допустимыми уровнями загрязнения. Накопление некоторых радионуклидов в животных может быть снижено за счет добавок в корма химических веществ, связывающих радионуклиды.

Различные действия, предпринимаемые с целью избежать либо уменьшить радиоактивное загрязнение сельскохозяйственной продукции получили общее название “контрмеры в сельском хозяйстве”. В прошлом был накоплен большой объем знаний в этой области, связанный с последствиями ядерных аварий и выпадений от испытаний ядерного оружия, а также из экспериментальных исследований, однако многие вопросы требуют дальнейшего изучения. Например, ряд проблем, возникших в результате чернобыльской аварии в 1986 г., все еще остаются нерешенными, особенно в Беларуси, России и Украине. С другой стороны, чернобыльская авария стимулировала исследования в этой области, результаты которых могут использоваться в планах чрезвычайных мероприятий в случае любых ядерных аварий.

1.2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РУКОВОДСТВА

Этот документ имеет целью удовлетворить потребность в общих рекомендациях по разработке чрезвычайных планов отчетных действий в случае крупной ядерной аварии.

Документ предназначен для решения трех основных задач:

- (i) сформулировать общую стратегию для введения контрмер в сельском хозяйстве после аварийного выброса радиоактивных веществ;
- (ii) свести воедино данные о всевозможных контрмерах для их использования при разработке решений;
- (iii) оказать помощь странам-участникам МАГАТЭ в подготовке их собственных более подробных руководств по контрмерам в сельском хозяйстве.

Для решения этих трех задач в документе необходимо рассмотреть вопросы планирования чрезвычайных мероприятий и радиологической защиты, а также описание самих сельскохозяйственных контрмер.

В Части I рассматриваются проблемы радиоактивного загрязнения продовольствия и сельскохозяйственного производства, радиологической защиты и разработки стратегии введения контрмер; здесь же приводится сводка имеющихся методов и способов их применения. Этот обзор предназначен для лиц, принимающих решения и для ученых-сельхозников и содержит краткое изложение вопросов, которые подробно рассматриваются в последующих частях документа. Часть II содержит техническое описание всего набора применяемых контрмер, их эффективности и особенностей применения. Эта часть представляет особый интерес для специалистов, разрабатывающих планы чрезвычайных мероприятий, и для ученых-сельхозников. В Части III рассматриваются вопросы, связанные с введением и организацией ответных мер при возможном либо реальном загрязнении сельскохозяйственной среды и продовольствия; этот раздел специально адресуется специалистам в области управления и планирования. Часть IV содержит обзор опыта прошлых ядерных аварий. Глоссарий содержит определения различных технических терминов, используемых в документе. Этот доклад дополняет другие подобные документы, относящиеся к ответным мерам в случае ядерных аварий, которые были выпущены Организацией по продовольствию и сельскому хозяйству ООН (ФАО) [1], Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) [2] и Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) [3].

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Радияция всегда была одним из условий развития жизни в биосфере. Природные источники радиации вносят основной вклад в дозу облучения, обычно получаемую человеком. Средняя годовая доза за счет природных источников составляет примерно 2,4 мЗв [4], но типичные индивидуальные дозы лежат в диапазоне от 1 до 5 мЗв в год, а в экстремальных случаях могут превышать 100 мЗв.

Два основных природных источника радиации: космическое излучение и радионуклиды, присутствующие в биосфере, как основные естественные источники радиации, действуют в течение миллиардов лет. Космическое облучение обуславливает около 15% фоновой радиации, а газ радон, который выделяется из природных элементов урана и тория, дает около 50% дозы. Остальная часть дозы приходится, в основном, на радионуклиды в почве, главным образом на ^{40}K . Внутреннее облучение людей происходит за счет потребления ^{40}K , ^{210}Pb , ^{210}Po с пищей. Оба последних радионуклида являются продуктами распада ^{238}U . Поскольку усвоение ^{40}K в теле контролируется условиями гомеостатического равновесия, его вклад в дозу есть довольно постоянная величина. В то же время, внутреннее облучение от ^{210}Pb и ^{210}Po может зависеть от рациона питания.

Известно, например, что годовое поступление этих радионуклидов в организм человека в Японии примерно в пять раз выше, чем в Германии, поскольку японцы потребляют много морских продуктов, имеющих относительно высокое содержание этих радионуклидов [4].

Большое количество радиоактивных веществ было выброшено в окружающую среду в конце 50-х и начале 60-х годов при испытательных взрывах около 400 атомных бомб в атмосфере. Радиоактивные выпадения от этих испытаний содержали несколько сотен различных радионуклидов, но только четыре из них имеют значение для человека: ^{14}C (период полураспада 5730 лет), ^{137}Cs (30 лет), ^{90}Sr (30 лет) и ^3H (12 лет). Микроколичества этих радионуклидов можно определить в почве и продуктах питания повсюду на земном шаре и они обуславливают около 1% годовой дозы облучения.

Из этого рассмотрения следует, что термин “радиоактивное загрязнение” сельскохозяйственной среды или ее составляющих, следует понимать как повышение радиоактивности над уровнем естественного фона. Это следует иметь ввиду при установлении уровней радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных продуктов, на основе которых можно различать “загрязненные” и “незагрязненные продукты”. Для обоснования решений по контрмерам и другим подобным вопросам термин “загрязненная зона” можно также классифицировать как относительное понятие, например, опираясь на уровень загрязнения каким-либо отдельным радионуклидом. Это всего лишь первое приближение, поскольку загрязнение сельскохозяйственной продукции имеет неоднозначную связь с плотностью радиоактивного загрязнения местности.

2.2. РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

Термин “радиологическая защита” используется для обозначения мер по защите человека от действия ионизирующей радиации. Сложное взаимодействие ионизирующей радиации с живыми тканями изучается в течение почти столетия. Существующий уровень знаний достигнут путем интенсивных экспериментов *in vitro* и *in vivo* на животных с одновременным проведением хорошо документированных эпидемиологических исследований жертв атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки в 1945 г. и других групп людей, получивших относительно большие дозы облучения. Несмотря на некоторую неопределенность при экстраполяции этих эффектов в область малых доз, выводы и подходы, рекомендованные Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) обычно хорошо принимаются на международном уровне.

Аварийные выбросы радиоактивных веществ могут попадать в воздух, воду или на землю, но крупные аварии, сопровождаемые выбросом в атмосферу, в наибольшей степени требуют экстренных решений по мерам защиты. Вследствие таких выбросов люди могут быть облучены как внешним излучением от облака радиоактивных веществ, так и через вдыхание этих веществ. По мере того, как облако рассеивается, радиоактивные вещества будут осаждаться на поверхность земли и в виде сухих выпадений либо вымываться из облака с дождем или другими осадками. Вследствие этого люди могут облучаться напрямую от выпавших радиоактивных осадков при потреблении загрязненных продуктов питания и воды либо при вдыхании пыли, поднимаемой с поверхности земли (рис. 1).

Радиационное облучение вызывает два вида воздействия на здоровье человека, вызываемых детерминированными и стохастическими эффектами. Оба вида имеют широко известные количественные характеристики. Обширная и полезная сводка данных по этому вопросу содержится в Серии изданий МАГАТЭ по безопасности № 109 [5]. Детерминированные эффекты обычно проявляются вскоре после облучения, и их тяжесть

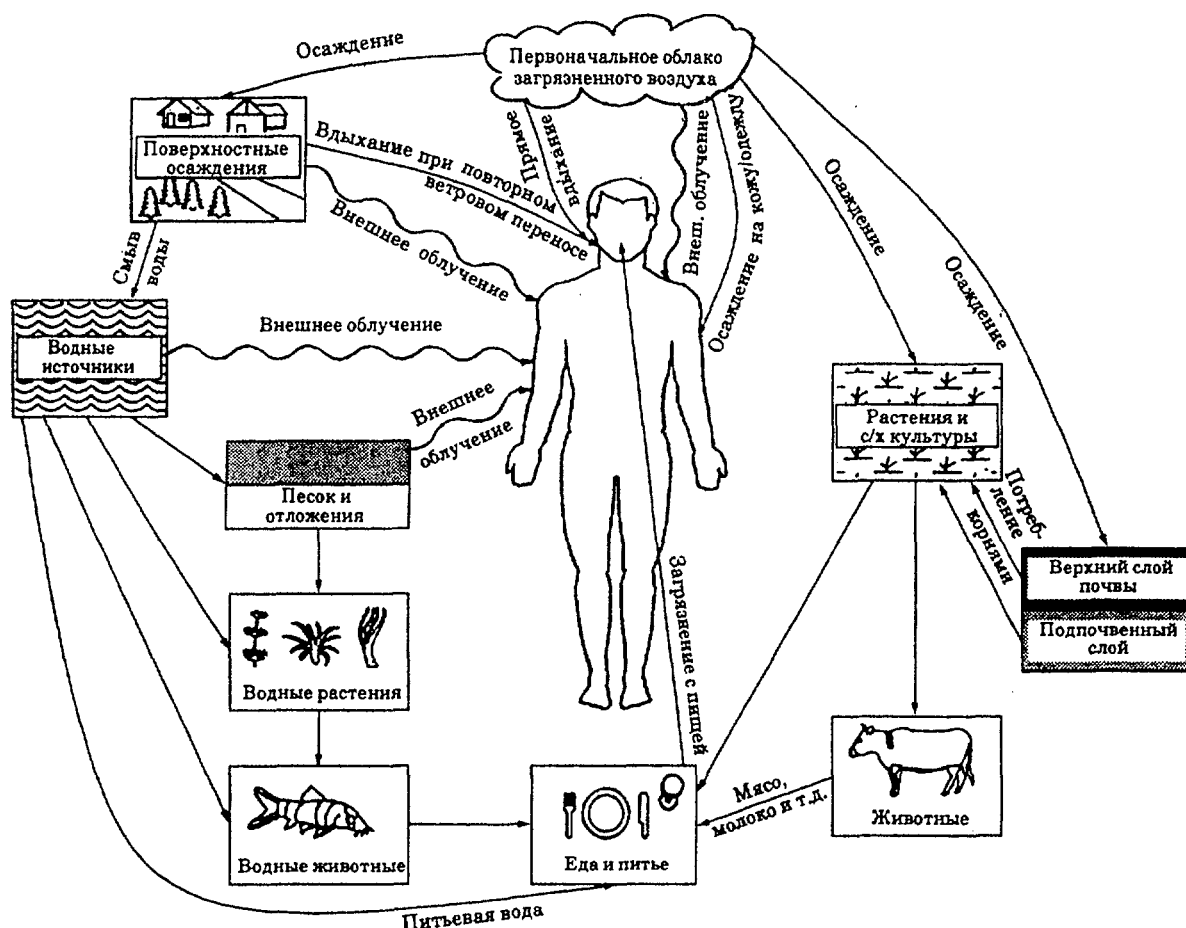


РИС. 1. Основные пути облучения человека из окружающей среды.

возрастает с увеличением полученной дозы, при этом имеется порог для эффектов острого облучения, ниже которого он вообще не проявляется (обычно ниже 0,5 Зв за два дня или около того). Следовательно, необходимо делать все возможное для предотвращения получения индивидуальной дозы облучения выше порогов, определенных для этих эффектов. Примерами могут служить поражение костного мозга и ожог кожи. Дозы, получаемые за счет загрязненной пищи обычно намного меньше тех, которые вызывают детерминированные эффекты; в любом случае, низкие дозы требуют применения контрмер.

Стохастические эффекты включают развитие раковых заболеваний и наследственных эффектов, которые обычно проявляются спустя много лет после вызывающего их облучения. В противоположность детерминированным эффектам они не имеют порога, ниже которого они не могут возникнуть. При этом они не возникают в каждом облученном индивидууме. С увеличением полученной дозы возрастает вероятность этих эффектов для индивидуума или его потомства. Например, дополнительный риск умереть от рака, вызванного облучением, равен величине порядка 5×10^{-5} на 1 мЗв полученной дозы. Следовательно, даже если доза очень мала, все же остается определенная конечная вероятность возникновения одного из этих эффектов. Для большой популяции, все индивидуумы в которой получают малые дозы радиации, можно оценить ожидаемое число

дополнительных стохастических эффектов, которые возникнут в популяции¹. Если учесть, однако, что другие причины нерадиационного свойства также вызывают эти эффекты², то очень трудно сказать с определенностью, что данный индивидуум страдал от прямых последствий радиационного облучения.

Весьма вероятно, что полная коллективная доза, полученная населением в результате аварийного выброса радиоактивных веществ в атмосферу, будет складываться из составляющих в широком диапазоне значений дозы: от нескольких человек, получивших большие дозы, до больших групп из населения, получивших очень низкие дозы. Основная часть из ожидаемого числа раковых заболеваний или других эффектов проявится в больших группах, получивших низкие дозы и никакие защитные меры не смогут этот эффект полностью исключить. Следовательно, при рассмотрении возможных контрмер лучшее, что может быть сделано, — это снизить, насколько это возможно, число ожидаемых негативных эффектов на здоровье населения. Это означает, что следует сосредоточить усилия на лицах, получивших наибольшие дозы, так как это дает наибольший результат при наименьшем числе людей, испытывающих неудобства от каких-либо защитных мер.

Психологический стресс и беспокойство будут всегда сопровождать ядерную аварию независимо от величины дозы облучения. Они более всего отражают ощущение риска для здоровья и состояния неуверенности в том, что власти компетентны, заслуживают доверия и предпринимают безотлагательные и эффективные меры контроля за дозой облучения. Понятные и простые рекомендации, одобренные на международном уровне, могут сделать многое для повышения авторитета национальной администрации и таким образом помочь снизить неизбежные психологические стрессы и чувство страха.

2.3. УРОВНИ ВМЕШАТЕЛЬСТВА

В обычных условиях эксплуатации ядерных установок радиоактивные выбросы в окружающую среду находятся под строгим контролем с тем, чтобы окружающее население получало наименьшие дополнительные дозы, насколько это возможно и разумно, в соответствии с нормами и ограничениями, согласованными на международном уровне. Эти ограничения установлены на уровнях, намного ниже тех, которые требуют срочных мероприятий по защите населения или окружающей среды. Они также включают в себя некоторый “запас прочности” на случай действия неизвестных источников облучения. Обычно величина этих дозовых пределов ниже, чем вариации дозы от локального естественного фона излучения.

Однако, в случае ядерной аварии, количество выброшенных радиоактивных веществ не поддается контролю и, независимо от виновников аварии, дозы облучения лиц из населения могут быть уменьшены только путем вмешательства, т.е. введения защитных мероприятий, которые, как правило, будут оказывать значительное влияние на людей и среду обитания. Эти мероприятия могут включать укрытие, применение таблеток со стабильным йодом, запрет на отдельные пищевые продукты, изменение профиля сельскохозяйственного и промышленного производства, дезактивацию, временную эвакуацию или полное отселение людей. Эти мероприятия сами по себе имеют негативные стороны, которые иногда оказывают прямое вредное воздействие на здоровье и самочувствие людей. Все они ограничивают свободу деятельности и выбора и отвлекают ресурсы,

¹ Если каждый из 10^5 людей получит 1 мЗв, то коллективная доза будет $10^5 \times 1 \times 10^{-3} = 100$ чел.-Зв. Такой же результат будет, если каждый из 10^4 людей получит 10 мЗв, или каждый из 1000 получит 100 мЗв. Ожидаемое число дополнительных смертей от рака в каждой из этих популяций будет приблизительно одинаковым: $5 \times 0,01 \times 100 = 5$.

² В развитых странах рак является причиной смерти от 1/5 до 1/3 от числа всех умерших.

которые могли бы быть направлены на решение других социальных задач. Таким образом, при решении вопроса о введении той или иной конкретной меры требуется оценить как пользу этой меры в терминах снижения риска от облучения для здоровья населения, так и вред от нее.

Следовательно, необходимо четко различать роль вводимых дозовых пределов и ограничений на нормальную деятельность от тех задач, которые решаются при установлении уровней вмешательства. Хотя при этом применяются одни и те же принципы (обоснования и оптимизация), речь идет о разных количественных показателях. В случае нормирования выбросов, общественная польза от предприятия, источника выбросов, сравнивается с дополнительным облучением от выбросов. В случае же с вмешательством (введением контрмер), польза от вмешательства сравнивается с уменьшением облучения, включая любые изменения облучения от естественной радиации. По этим причинам, уровни вмешательства, с одной стороны, и дозовые пределы и ограничения, с другой, в обычных обстоятельствах основаны на совершенно различных принципах и их численные значения будут, как правило, весьма различными. Только совершенно случайно их численные значения могут совпадать.

Общие принципы, на которых основаны эти рекомендации по вмешательству, изложены в Серии изданий по безопасности № 109 [5]. Они естественным образом следуют из того, что цель защитных мер состоит в охране здоровья людей. В основе принятия решений по вмешательству лежат три общих принципа:

- (а) Должны быть предприняты все возможные меры для предотвращения серьезных детерминированных эффектов.

Как уже отмечалось, этот принцип практически не относится к контрмерам в сельском хозяйстве.

- (в) Вмешательство должно быть оправданным в том смысле, что положительный эффект от введения защитных мер должен превышать вредные последствия.

Вмешательство оправдано, когда имеется результирующая польза от предпринятых действий. При некоторых обстоятельствах, негативные последствия вмешательства могут перевешивать пользу от предотвращения облучения, поэтому важно тщательно оценить эту возможность. Подробное обсуждение факторов, которые следует принять во внимание, содержатся в [5].

- (с) Следует *оптимизировать* уровни, на которых вводится вмешательство и уровни, на которых впоследствии снимается вмешательство с тем, чтобы защитные мероприятия дали максимальную результирующую пользу.

Вмешательство оптимально, когда результирующая польза от защитной меры максимальна. Для каждого мероприятия по защите можно выбрать уровень вмешательства, при превышении которого это мероприятие обычно вводится в действие, а если уровень не достигнут, мероприятие в действие обычно не вводится. Значения уровней вмешательства для всех мероприятий по защите должны быть выбраны таким образом, чтобы достичь максимальной результирующей пользы.

Уровни вмешательства, применяемые в особых ситуациях должны быть заранее установлены компетентными органами управления. Если численная величина рассматриваемого параметра превышает, либо должна (по прогнозу) превышать заданный уровень вмешательства, следует предпринять соответствующие действия для исправления ситуации. Как уже отмечалось, не следует путать уровни вмешательства с пределами дозовой нагрузки; по идее, уровни вмешательства должны быть выведены на основе вышеуказанных принципов (в) и (с).

К сожалению, двух одинаковых аварий не бывает — соотношения между различными радиоизотопами в выбросе, метеорологические условия, интенсивности перехода в различные продукты питания и такие факторы, как время года, будут влиять на дозы,

которые могут получить отдельные группы населения через пищевые цепочки. Теоретически, конкретные значения уровней вмешательства для различных радионуклидов и пищевых продуктов будут зависеть от преобладающих условий для каждой отдельной аварии. Однако уровни вмешательства должны быть установлены заранее, до аварии, чтобы избежать путаницы в позициях официальных органов, ответственных за контроль пищевых продуктов. Они также должны соответствовать действующему законодательству в области контроля качества продуктов. Применение уровней вмешательства, принятых на международном уровне, имеет большие преимущества, поскольку способствует укреплению доверия властей к надежности вводимых величин. Использование этих величин будет также способствовать предотвращению разногласий, которые могут возникнуть на границах соседних государств. Наконец, имеется множество доводов в пользу того, что значения уровней вмешательства, принятые для международной торговли, не должны отличаться от принятых внутри страны для контроля пищевых продуктов. Поскольку существуют довольно небольшие различия между теоретически возможным набором специфических уровней вмешательства и простым набором обобщенных уровней, дополнительные сложности при применении усложненных схем расчета уровней себя не оправдывают.

Комиссия по регулированию качества продуктов (Codex Alimentarius Commission) Организации по продовольствию и сельскому хозяйству ООН (ФАО) и Всемирная организация по здравоохранению (ВОЗ) рассмотрели вопрос о международных стандартах для обеспечения международной торговли продуктами питания. Были согласованы нормативы содержания радионуклидов в продуктах питания для международной торговли продовольствием [6]. Следует признать, что эти нормативы являются компромиссом между уровнями, приемлемыми с позиций радиологической защиты (которые были бы выше принятых) и естественным желанием стран, не затронутых аварией, избежать импорта хотя бы в малой степени загрязненных продуктов, даже в сравнении с естественным фоном. Базируясь на вышеприведенных доводах, они являются приемлемыми уровнями вмешательства с самой общей точки зрения. Эти нормативы представлены в табл. I.

Уровни вмешательства выражаются как концентрации отдельного радионуклида (или группы радионуклидов) в продукте питания (т.е. Бк/кг, Бк/л). Контрмеры должны применяться для того, чтобы обеспечить концентрации ниже этих уровней, в противном случае продукт должен быть выведен из сферы потребления. Для властей возникнет также необходимость разработать производные нормативы (так называемые оперативные уровни вмешательства) для других объектов, таких, как корма для животных, уровни загрязнения пастбищ, откуда следует удалить животных и т.д. Эти рабочие нормативы выражаются в соответствующих собственных единицах (например, Бк/м²).

Понятно, что при исключительных обстоятельствах простой набор рекомендованных здесь общепринятых уровней вмешательства может оказаться неприемлемым. В таком случае национальные органы могут ослабить эти стандарты для отдельной ограниченной ситуации. Рекомендованные уровни, до которых стандарты могут быть в разумных пределах ослаблены без риска для здоровья населения, даны в Техническом документе МАГАТЭ № 698 [7] и в документе ВОЗ по производным уровням вмешательства [3]. Например, после аварии в Чернобыле под влиянием ряда особых условий мясо северного оленя на севере Норвегии оказалось загрязненным примерно в двадцать раз выше соответствующего уровня, указанного в табл. I. Тем не менее, принимая во внимание, что люди не потребляют большого количества мяса оленя, национальные власти пришли к выводу, что при условии, что мясо будет находиться под жестким контролем, приемлемые уровни вмешательства могут быть ослаблены, чтобы защитить интересы лаппов (производителей мяса) без угрозы ущерба здоровью населения.

ТАБЛИЦА 1. РЕКОМЕНДОВАННЫЕ ОБЩИЕ УРОВНИ ВМЕШАТЕЛЬСТВА ПРИ ИЗЪЯТИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ, КОГДА ИМЕЮТСЯ В НАЛИЧИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПОСТАВКИ

Продукты общего потребления		
Доза на единицу поступления (Зв/Бк)	Нормируемые радионуклиды	Норматив (Бк/кг)
10^{-6}	^{241}Am , ^{239}Pu	10
10^{-7}	^{90}Sr	100
10^{-8}	^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs	1000
Молоко и детское питание		
10^{-6}	^{241}Am , ^{239}Pu	1
10^{-7}	^{90}Sr , ^{131}I	100
10^{-8}	^{134}Cs , ^{137}Cs	1000

Примечания:

Эти уровни относятся к системке национального контроля, где имеются альтернативные поставки продовольствия, в противном случае могут применяться более высокие уровни. Они соответствуют нормативам содержания радионуклидов в продуктах для международной торговли в период после ядерной аварии Комиссии по регулированию качества продуктов. Они не применяются к радионуклидам, которые обычно присутствуют в рационе. Нормативы Комиссии по регулированию качества продуктов рассчитаны на применение в течение одного года после аварии. Под аварией понимается неконтролируемый выброс радионуклидов в окружающую среду, приводящий к загрязнению пищевых продуктов, предлагаемых для международного торгового обмена.

Поскольку предлагаемые уровни получены при сильных ограничивающих предположениях, нет нужды суммировать вклады от каждой из трех групп радионуклидов в общий эффект; каждая группа должна рассматриваться независимо. Однако, если присутствуют два и более радионуклидов, активности этих продуктов аварии в составе одной группы должны суммироваться. Таким образом, величина 1000 Бк/кг относится ко всей группе. Например, если в результате аварии на ядерном реакторе, продукты питания загрязнены ^{134}Cs и ^{137}Cs , то величина 1000 Бк/кг будет относиться к суммарной активности обоих радионуклидов.

Эти уровни предназначены для применения к продуктам, приготовленным для употребления в пищу и необязательно должны ограничивать применение сушеных или консервированных продуктов до их разбавления или восстановления их первичных свойств.

Как ФАО, так и ВОЗ в докладах рабочих совещаний экспертов обращали внимание на необходимость особого подхода к некоторым видам пищевых продуктов, которые потребляются в небольших количествах, таких, как специи. Некоторые из этих продуктов, выращенные в районах, пострадавших от чернобыльских выпадений, имели очень высокие концентрации радионуклидов. Поскольку они занимают очень небольшое место в рационе питания и, стало быть, дают очень небольшой вклад в полную дозу, применение указанных нормативов к такого рода продуктам может привести к неоправданным ограничениям. ФАО и ВОЗ осознают, что различные страны могут иметь разный подход по отношению к таким видам продуктов.

3. РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ ДЛЯ КОНТРОЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

3.1. ФАЗЫ АВАРИИ

Время для введения и характер вводимых контролей зависят от количества и состава радионуклидов в аварийном выбросе, времени года и местных особенностей. Период времени после аварии можно условно разделить на три фазы, между которыми нельзя провести четких границ, поскольку они перекрывают друг друга.

3.1.1. Ранняя фаза

Она может наступить еще до начала выпадений, так как предупреждение об аварии может поступить за несколько часов, а иногда и дней до выпадений. Это время надо использовать для оценки ожидаемой величины и последствий загрязнения от выпавших продуктов аварии. Естественно, первоочередной задачей будет защита населения, но затем следует заняться защитой продовольствия и питьевого водоснабжения. Должны быть приняты решения по краткосрочным контрмерам, например, рекомендации содержать крупный рогатый скот в стойлах. Организации, ответственные за товарное обращение продовольствия, должны быть немедленно информированы. Ранняя стадия заканчивается, когда “облако” прошло и интенсивные выпадения прекратились. Само собой понятно, что вводимые во время этой фазы контрмеры должны применяться без промедления, если надеяться на их эффективность. При этом, однако, они будут основаны на прогнозе, составленном по неполным данным, что рождает большую неопределенность в условиях их применения. Поэтому краткосрочные контрмеры должны быть недорогими.

3.1.2. Промежуточная фаза

После прохождения радиоактивного облака, сопровождающегося интенсивными выпадениями, наступает период, который может длиться несколько недель или месяцев, пока не распадутся короткоживущие радионуклиды или не будет убран первый урожай. Товарное обращение наиболее важных продуктов питания должно находиться под контролем. Следует оценить радиационную дозу, получаемую людьми, которые имеют рацион питания с высоким содержанием радионуклидов в продуктах. Продукты питания также должны проверяться, а в случае, если предварительно установленные уровни вмешательства будут превышены, должны применяться контрмеры. Следует собрать данные о характеристиках и распределении радиоактивного загрязнения. В случае сильного и масштабного загрязнения следует начать предварительные исследования, чтобы определить возможность применения долгосрочных контрмер, планируемых на более поздний период. Следует также рассмотреть возможность поставок чистых продуктов питания через местную или международную торговлю.

3.1.3. Поздняя фаза

В поздней фазе радиоактивное загрязнение обусловлено главным образом долгоживущими радионуклидами, а загрязнение пищевого сырья происходит, в основном, за счет корневого поглощения растениями из почвы. Может быть определена необходимость в долгосрочных контрмерах в сельском хозяйстве, и подходящие контрмеры могут применяться на постоянной основе при одновременных поставках незагрязненных продуктов через торговлю.

3.2. ПЛАНИРОВАНИЕ

При планировании ответных мер в случае чрезвычайных ситуаций следует сформулировать общую стратегию введения защитных мероприятий в сельском хозяйстве. В подготовке таких планов большую услугу может оказать опыт, накопленный при авариях и испытаниях ядерного оружия.

Первый шаг состоит в определении наиболее вероятного сценария радиоактивного загрязнения местности и продуктов питания. Следует рассмотреть наиболее важные

радионуклиды и пути загрязнения пищевых продуктов, при этом необходимо располагать методами определения концентраций радионуклидов как при непосредственном загрязнении продуктов, так и за счет корневого поглощения. Для надежных прогнозов необходимо опытным путем получить характерные для местных условий коэффициенты перехода радионуклидов в растения. Необходимо также оценить внутренние дозы для усредненного рациона питания. Для выполнения таких расчетов существуют компьютерные программы.

Желательно также иметь в распоряжении информацию по типам почв, производству продуктов питания и другие полезные данные для оценки результатов и эффективности контрмер. Следует также иметь перечень возможных контрмер с примерной оценкой их стоимости.

Планы должны также содержать детальное практическое описание контрмер в форме, удобной для ученых-сельхозников, ветеринаров, фермеров, работников пищевой промышленности и рядовых жителей.

Для изучения загрязнения должна быть основана сеть станций для исследования радионуклидного состава выпадений, географического распределения загрязнения местности и пищевых продуктов. Эта сеть может базироваться на лабораториях, которые в обычное время осуществляют проверку качества пищевых продуктов, если эти лаборатории оснастить соответствующими приборами. Но в эту работу могут включиться также университеты и другие научные институты. Для этих лабораторий необходимо иметь постоянную программу проверки качества измерений, а также обучения и подготовки персонала. Регистрация измерений должна производиться в соответствии с принципами "хорошей лабораторной практики" (см., например, [8]).

Планы по чрезвычайным ситуациям включают также программу регулярных учений по проверке готовности организационных структур к различным ситуациям. Важно сознавать, что ситуация, возникающая после реального выброса, не обязательно будет следовать каким-то заранее предусмотренным сценариям. Таким образом, все, кого это касается, должны быть готовы действовать в условиях непредсказуемых ситуаций, а проверочные учения должны отрабатывать гибкость во взаимодействии участвующих организаций.

3.3. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

На ранней стадии аварии органы управления будут, в основном, следовать своим собственным планам на случай чрезвычайных ситуаций. Эти планы будут разработаны заранее с учетом замечаний, которые обсуждались выше в Разделе 3.2. Тщательная подготовка решений по введению контрмер в значительной мере будет оставаться за рамками планов из-за недостатка времени на эту работу. После окончания фазы оперативного реагирования возникает необходимость принятия более взвешенных решений по конкретным долгосрочным мероприятиям и/или ослаблению введенных контрмер, поскольку появляется более детальная информация и более реальная возможность выделения больших финансовых средств. В разработке этих решений большую пользу могут принести методы поддержки решений.

Нельзя говорить о какой-то общей стратегии введения контрмер в сельском хозяйстве, поскольку условия окружающей среды изменяются в широких пределах, а характеристики аварийных выбросов, количество пострадавшего населения, социальные, экономические и сельскохозяйственные условия также будут различными. Следовательно, при том, что стратегические схемы должны разрабатываться с учетом одних и тех же основополагающих соображений, разнообразие местных факторов будет обуславливать вариации в выборе наиболее подходящих контрмер.

Как было отмечено выше, основной целью введения какой-либо контрмеры должно быть снижение доз облучения населения и, как следствие, уменьшение риска здоровью людей. На практике это означает выбор такой стратегии контрмер, которая дает возможность производить продукты питания, имеющие уровни загрязнения ниже уровней вмешательства с наименьшими затратами, насколько это возможно, и с минимальными побочными эффектами. Простейший способ сравнения экономической эффективности предлагаемого набора контрмер, основанный на этом подходе, состоит в расчете цены единицы предотвращенной дозы. При этом отметим, что есть способ снизить радиоактивное загрязнение продукции до уровней ниже уровней вмешательства путем разбавления с чистыми продуктами, но коллективная доза при этом не снижается.

Могут иметь место, однако, значительные побочные эффекты от введения некоторых контрмер, затрагивающих экологические, экономические и социальные условия. Например, сельское хозяйство может потерять стабильность, фермеры и зависящие от них социальные группы могут оказаться без работы, в результате это вызовет тяжелые психологические последствия вплоть до появления клинических симптомов у подверженных стрессам людей. Поэтому важно понять, что основной упор следует делать на те контрмеры, которые дают возможность тем или иным способом использовать загрязненную землю, предпочтительно для сельскохозяйственного производства. Та или иная конкретная стратегия может оказаться неприемлемой с учетом особенностей местной культуры, хотя в экономическом смысле она была бы эффективной. Могут быть практические соображения в пользу применения контрмер в конкретном районе для того, чтобы ограничить распространение загрязненной продукции за пределы этого района. Реализация той или иной стратегии может привести к серьезной дезорганизации рынка продуктов на кратко- и среднесрочную перспективу. Выплата пособий и компенсаций фермерам в свою очередь

ТАБЛИЦА П. ОСНОВНЫЕ БЛОКИ ИНФОРМАЦИИ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Объект	Информация
Окружающая природная среда	Топографические карты, карты распределения почвенных характеристик и землепользования, гидрологическая сеть, карты плотности загрязнения радионуклидами, климатические данные
Сельское хозяйство	Производственные схемы, продуктивность, объемы и стоимость товарной продукции, потребление ресурсов, роль в экономике
Инфра-структура	Наличие и стоимость транспорта, коммуникации, снабжение топливом, водоснабжение, медицинское обслуживание
Социальные факторы	Распределение плотности населения, показатели занятости, эпидемиологические данные, использование сельской местности для рекреации
Перечень подходящих контрмер	Эффективность, потребность в ресурсах, стоимость, совместимость с другими контрмерами, возможные побочные эффекты
Радиоэкология	Соответствующие коэффициенты перехода, периоды накопления и биологического полувыведения у животных, коэффициенты удержания основными видами местной растительности, коэффициенты выведения радионуклидов при переработке

также могут оказать разрушительное влияние на рынок. Эти дополнительные факторы должны приниматься во внимание при разработке рекомендаций для фермеров, а при рассмотрении вопросов денежных компенсаций и выплат требуются политические решения. Существуют сложные методы поддержки решений, которые могут применяться для оптимизации выбора из имеющихся альтернатив [9]. Однако эти методы могут применяться лишь в тех случаях, когда проблема относительно проста и хорошо формализована, и к тому же имеются квалифицированные специалисты. Подобные методы в общем случае требуют большого объема данных, некоторые из которых перечислены в табл. II. Эти методы до настоящего времени практически не использовались для подготовки решений по сельскохозяйственным контрмерам, а сами решения основывались на оценке экономической эффективности отдельных контрмер и на субъективном анализе всех доводов “за” и “против”.

Часть II

**КОНТРИМЕРЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ:
НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ**

4. ВВЕДЕНИЕ

Эта часть Руководства предназначалась в первую очередь как источник первичной информации о контрмерах, которые могут применяться в случае ядерной аварии. Информация обобщена в формализованном виде, но, если требуется более детальное изложение, читатель может обращаться к литературным ссылкам.

Имеется большое разнообразие различных контрмер, которые могут уменьшить или предотвратить переход радионуклидов по пищевым цепочкам. При сжатом изложении неизбежно приходится прибегать к обобщению имеющейся информации. Необходимо иметь в виду, что контрмеры весьма отличаются друг от друга как по эффективности, так и по экономическим, экологическим и социальным последствиям [10]. Некоторые контрмеры находят широкое применение, другие нет. Основное внимание уделяется контрмерам, которые имеют целью воспрепятствовать загрязненным продуктам дойти до потребителя. В этом состоит общепринятый подход к ответным мерам в планах чрезвычайных мероприятий [11]. Имеется большое число радионуклидов, которые имеют вероятность попасть в окружающую среду при ядерных авариях. Те из них, против которых в первую очередь требуется применение контрмер, имеют следующие свойства:

- относительно высокую вероятность попасть в состав выброса при аварии;
- сравнительно большой период полураспада;
- высокую радиологическую опасность;
- потенциально высокую подвижность в природных средах;
- существенную роль в биосфере или близки по свойствам к таким элементам (например, стронций и кальций).

Согласно публикациям [12, 13] к группе наиболее важных потенциальных загрязнителей окружающей среды относятся более 30 радионуклидов, имеющих период полураспада более 5 дней. Некоторые включенные в эту группу радионуклиды, такие, как актиниды, плохо переходят по пищевым цепочкам, но могут быть источником дозовых нагрузок на людей, работающих в загрязненных районах.

Больше всего данных имеется для радионуклидов, которые были выброшены в окружающую среду в предыдущих авариях и которые хорошо переходят в пищевые продукты; к ним, в частности относятся, радиоiod (^{131}I), радиоцезий (^{134}Cs и ^{137}Cs) и радиостронций (^{90}Sr). Для других радионуклидов, которые вряд ли имеют такое же значение, имеется ограниченная информация о возможных контрмерах, хотя некоторые из перечисленных ниже контрмер будут эффективными для большого многообразия радионуклидов.

Описание многих из контрмер, перечисленных здесь, оновывается на статьях, опубликованных в журнале "Science of Total Environment" (1993), в которых изложены материалы рабочей группы по сравнительной оценке эффективности контрмер в сельском хозяйстве (REACT). Для более детального обсуждения некоторых из перечисленных здесь контрмер мы отсылаем читателя к этим материалам. Полезные источники информации, в которых имеются обобщенные результаты исследований в области контрмер, перечислены в прилагаемой библиографии.

Выбор и польза от применения контрмер зависят от фазы аварии. Короткоживущие радионуклиды будут создавать проблемы только в тех случаях, когда они быстро переходят по пищевым цепочкам в конечный пищевой продукт либо если имеет место прямое осаждение радиоактивных продуктов на вегетативную массу растений непосредственно перед уборкой урожая. Влияние долгоживущих радионуклидов должно рассматриваться в гораздо более широком диапазоне различных условий, включая мелиорированные земли, частично освоенные природные экосистемы, рыбное и лесное хозяйство.

Каждая контрмера сопровождается описанием методологии (где это необходимо), оценкой эффективности (где это возможно) и комментариями по способам применения.

Составителям этого документа было предложено дать оценку каждому методу в следующей шкале:

- А: широко применимый
- В: эффективный, но может не хватить нужных ресурсов
- С: технически эффективный, но требующий специального оборудования, которое трудно достать
- Д: не рекомендованный (недостаточно проверенный либо не дающий сколь-нибудь значительного эффекта).

Не все эксперты откликнулись на это предложение, и было высказано мнение, что эта классификация может привести к ошибочным оценкам. Классификационные баллы в последующем тексте, сопровождаемые иногда пояснениями, отражают мнение большинства специалистов относительно каждой контрмеры. Они совсем не означают окончательных оценок еще и потому, что как социально-экономические соображения, так и наличие необходимых ресурсов варьирует в весьма широких пределах. Дополнительно могут быть предложены альтернативные схемы классификации, использующие другие критерии. Некоторые эксперты отмечали, что многие приведенные оценки эффективности, вероятнее всего, завышены.

5. ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫЕ МЕРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДО И ВО ВРЕМЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ

5.1. ВВЕДЕНИЕ

Возможные действия в короткий период ограничены и зависят от наличия информации о типе и масштабе аварии. В ранней фазе от момента радиоактивного выброса до момента выпадений сведения о величине, составе и скорости выпадений будут, скорее всего, немногочисленны. Тем не менее, применяемые на этой стадии контрмеры могут оказаться эффективными для предотвращения либо ослабления долгосрочных последствий и стоят отдельного рассмотрения. Первоочередная задача состоит в том, чтобы избежать загрязнения продукции за счет прямого осаждения продуктов аварии. Поэтому особое внимание следует уделить готовому к уборке урожаю, в особенности тех культур, которые, как ожидается, будут удерживать на своей биомассе сравнительно большую долю выпадений (как, например, зеленые овощи и зерновые культуры).

Перечисленные ниже контрмеры легко применимы, а в некоторых случаях и недороги. Эти свойства особенно важны на данной стадии, когда невозможно с уверенностью сказать, в каком месте и насколько велики будут выпадения. Придется принимать оперативные решения об использовании этих мер, основываясь только на имеющейся информации.

Важно соотносить пользу от применения перечисленных ниже контрмер с потенциальным ущербом, включая возможное облучение людей, работающих на открытом воздухе. Необходимо также сделать анализ эффективности затрат, включая возможные вредные социальные последствия, которые могут быть вызваны слишком решительными действиями, что особенно вероятно при недостатке информации.

Более детальное обсуждение контрмер этого типа и их относительных достоинств можно найти в работе [14]. Сравнительно немногие из этих методов когда-либо применялись после аварии и по этой причине не для всех из них можно дать примеры использования.

5.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ КОНТРМЕРЫ

5.2.1. Контрмеры общего характера

5.2.2.1. Предотвратить поступление загрязнения с пастбищными травами при выпасе животных

Эффективность: Высокая, до 100%.

Пояснения: Перевод животных с пастбищ под крышу (или отказ от перевода стойловых животных на пастбище); снабжение их чистыми кормами. Эти меры предотвращают загрязнение молока, мяса и отходов. Для этого нужны помещения, но если их нет, можно держать животных на небольших огороженных площадках, чтобы ограничить их доступ на пастбище на то время, пока они будут содержаться на чистых кормах. По возможности, животных не следует поить дождевой водой или водой из наземных источников. Наличие запаса незагрязненных кормов будет зависеть от времени года; этот запас может быть недостаточным накануне обычного сезона заготовки кормов. Если нужно увести скот с пастбищ, следует обратить внимание на возможность получения дозы работниками, занятыми отгоном скота с загрязненной площади. Как краткосрочная мера, этот прием особенно необходим в случае, когда высокие уровни ^{131}I почти наверняка приведут к большим дозам облучения щитовидной железы у животных, как это случилось после чернобыльской аварии [15, 16]. Разумеется, прием может рассматриваться и как средне-, и как долгосрочная контрмера (см. Раздел 7).

Класс: А.

5.2.2.2. Избегать прямого загрязнения сельскохозяйственных продуктов

Метод 1: Укрыть водонепроницаемыми средствами открытые запасы продовольствия и кормов и открытые источники водоснабжения.

Эффективность: 100%.

Пояснения: Укрытие стогов сена, буртов свеклы, картофеля и т.п. пластиковым покрытием или брезентом является эффективным средством, которое сравнительно легко осуществить в местах, где обычно имеются подходящие материалы. Укрытие, вероятно, будет особенно эффективно при влажных выпадениях, которые могут проникать вглубь загрязненной поверхности.

Класс: А.

Метод 2: Убрать созревший урожай до начала выпадений.

Эффективность: 100%.

Пояснения: Можно избежать радиоактивного загрязнения урожая путем уборки созревших наземных частей сельскохозяйственных растений. Это должно быть сделано быстро, не обращая внимания на возможную нехватку рабочей силы, уборочной техники и объемов хранилищ. По идее, эта ответная мера должна основываться на стремлении предотвратить дозовую нагрузку, но на практике крестьяне, вероятнее всего, в первую очередь будут спасать наиболее ценные культуры.

Класс: А/В.

Метод 3: Укрыть обрабатываемые площади водонепроницаемым покрытием.

Эффективность: 100%.

Пояснения: Покрытие больших участков земли пластиковыми или другими материалами — дорогое мероприятие, и его следует рассматривать применительно к ценным культурам, таким, как овощи, фрукты и лечебные травы. Количество подходящей для этой цели пленки может быть ограничено, а ее применение может нанести ущерб урожаю, особенно в условиях жаркого климата, когда растения будут вянуть от недостатка влаги. Необходимо предусмотреть дезактивацию и захоронение использованного покрытия.

Класс: В.

6. КОНТРМЕРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПЕРВЫЕ НЕДЕЛИ ПОСЛЕ ВЫПАДЕНИЙ

6.1. ВВЕДЕНИЕ

Радионуклиды с коротким периодом полураспада создают только временные проблемы. Наиболее важным примером служит переход ^{131}I в молоко. Доля выпавшей радиоактивности, которая удерживается растениями и скорость, с которой эта доля уменьшается со временем при удалении активности с поверхности растений будут определять эффективность контрмер. Для многих радионуклидов и видов растений большая часть радиоактивности, попавшей на поверхность растений, будет удалена в течение первого месяца после выпадений под влиянием различных атмосферных процессов. Кроме того, концентрация в растениях будет уменьшаться вследствие разбавления при росте вегетативной массы.

Несмотря на ограниченность времени, во многих случаях можно применять эффективные и недорогие мероприятия. Следует помнить также, что обычно в выпадениях содержится несколько радионуклидов и некоторые из них будут долгоживущими. Следовательно, применяемые на этой стадии контрмеры должны быть эффективными для большого круга различных радионуклидов. Такие контрмеры должны быть простыми и легковыполнимыми, чтобы многие фермеры могли их применять, используя краткие инструкции и подручные средства.

6.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ КОНТРМЕРЫ

6.2.1. Контрмеры общего характера

6.2.1.1. Перевести животных, которые обычно находятся на пастбище, в помещения и снабжать их чистыми кормами

Эффективность: высокая, до 100%.

Пояснения: Те же, что и для краткосрочной контрмеры 5.2.1.1. Наличие запасов чистых кормов на период в несколько недель может оказаться более трудной проблемой. Запрет на выпас животных может быть снят только после получения подробных сведений о характере и величине выпадений, достаточных для вывода о том, что радиоактивное загрязнение пастбищ не приведет к загрязнению молока с концентрациями радионуклидов выше уровней вмешательства.

Класс: А/В.

6.2.1.2. Убрать урожай сельскохозяйственных культур и злаковых трав для захоронения или хранения

Методы: Растительные культуры и пастбищные травы, убранные в максимально сжатые сроки после выпадений, могут быть либо уничтожены, либо отправлены на хранение, пока не распадутся короткоживущие радионуклиды (например, ^{131}I). В зависимости от уровней загрязнения, убранные фуражные культуры можно давать на корм скоту с добавками химических веществ, предотвращающих усвоение радионуклидов, либо использовать для кормления подходящих видов животных (см. Раздел 7.5). Растительное сырье можно также дезактивировать с помощью подходящих методов переработки пищевых продуктов (см. Раздел 8). Зерно можно использовать также для производства спирта, а в некоторых случаях сохранить на семена.

Эффективность: Основной фактор, от которого зависит эффективность — интервал времени между радиоактивными выпадениями и уборкой урожая. Кроме того, эффективность удаления радиоактивности из сельскохозяйственной среды будет зависеть от доли радиоактивных веществ, которая была перехвачена вегетативной массой и скоростью их

удаления (под влиянием погодных условий). Первоначальный коэффициент перехвата зависит от таких факторов, как биомасса на единицу площади, полная площадь покрытия растительной массой и физические характеристики листвы. Путем уборки сельхозрастений можно удалить с загрязненной площади примерно 25–50% выпавшей радиоактивности, но эта доля может достигать 80% при плотном покрытии [17]. Экономическая эффективность будет зависеть от степени утилизации убранного урожая.

Пояснения: Простое удаление растительной массы с поля предотвращает дальнейшее загрязнение почвы за счет удаления активности с поверхности растений под действием погодных условий, а также препятствует передвижению радионуклидов от листьев к корням. Более полная информация о перехвате и удержании аэрозолей растениями дана в работе [18]. Уборка и захоронение пастбищной травы уменьшает поступление радионуклидов в выпасаемых животных. Однако, удаление пастбищной растительности может быть оправдано лишь в том случае, когда имеются альтернативные корма. Наличие рабочей силы может быть лимитирующим фактором.

Если растительность убирается с поля до того, как осаждаемая на нее радиоактивность будет удалена с поверхности растений, можно предотвратить загрязнение почвы на значительную, но весьма непостоянную долю от полной плотности выпадений. Эффективность и польза от применения этого приема зависят от времени и плотности выпадений, от стадии вегетации растений, а также от способа утилизации снятого урожая. Например, выпадения непосредственно перед началом плановой уборки могут привести к таким высоким уровням загрязнения фуражных культур, что убранный урожай придется отправить в отходы. Уничтожение таких отходов производится обычно путем закапывания в землю, хотя это рекомендуется только при загрязнении короткоживущей активностью со слабой растворимостью либо в случае захоронения в почвах с высоким потенциалом иммобилизации и где нет риска последующего корневого поступления в растения. Например, глинистые почвы особенно эффективно связывают цезий, а торфяные почвы, напротив, не следует использовать для этой цели. Вследствие этого, выбор подходящих площадок для захоронения отходов может быть ограниченным.

Более подробное обсуждение методов захоронения, используемых при проведении контрмер, приведено в Разделе 7.1. Вторичный ветровой подъем выпавшей радиоактивности и внешняя доза облучения могут создавать проблемы для работников, занятых уборкой урожая [19], и это требует введения соответствующих мер предосторожности.

Класс: А/В.

6.2.1.3. Задержать уборку фуражных/продовольственных культур

Пояснения: Если выпадения случаются непосредственно перед обычным временем начала уборки, можно посоветовать задержать уборку, чтобы дать время для снижения загрязнения растений под влиянием погодных условий и за счет разбавления растущей зеленой массой [20]. Удаление радионуклидов с поверхности растений можно даже ускорить путем смыва загрязнения искусственными дождевыми осадками или с помощью дождевальных установок. Этот прием, однако приводит к загрязнению почвы и может породить более серьезные проблемы в будущем. Время уборки следует определить исходя из оценки оставшейся на растениях активности. По смыслу этот метод противоположен методу, описанному в Разделе 6.2.1.2. Это видимое противоречие указывает на важность информации о величине и характере выпадений.

Класс: А (иногда В).

6.2.1.4. Запретить охоту, рыбную ловлю, потребление овощей и воды из наземных источников и атмосферных осадков

Пояснения: Эти продукты питания могут содержать особенно высокие уровни некоторых радионуклидов, и в отсутствие информации об уровнях загрязнения запрет может служить эффективной краткосрочной контрмерой. Эта мера может привести к

социальным напряжениям и экономическим потерям там, где эти продукты играют важную роль в рационе. Кроме того, могут возникнуть трудности с обеспечением жителей чистыми продуктами и водой.

Класс: А.

6.2.2. Специальные контрмеры при загрязнении молока ^{131}I

Йод-131 — один из самых подвижных радионуклидов. Независимо от того, в какой форме он находится, элементарной, в составе неорганических и органических соединений, считается, что йод быстро и полностью поглощается в кишечном тракте и накапливается в щитовидной железе, где он входит в состав гормонов. Постоянное поступление в организм йода является необходимым условием нормального функционирования щитовидной железы, при котором накопление радиойода в ней будет минимальным. Это обстоятельство важно для эндемичных районов с дефицитом стабильного йода [21].

Йод-131 накапливается также в грудных железах и выделяется с молоком, а также с мочой и, в меньшей степени, с фекалиями. Поскольку и физический период полураспада (8 дней) и биологические периоды полувыведения из щитовидной железы и снижения концентрации в молоке у ^{131}I достаточно короткие, загрязнение молока радиойодом — проблема краткосрочная. Уровни радиойода в коровьем молоке достигают максимума спустя 2 дня после одномоментного загрязнения пастбища. Результирующий переход радиойода из плазмы в молоко у коров намного меньше, чем у овец и коз, у которых он может превышать 50% от дневного потребления радиойода. На переход ^{131}I в молоко могут влиять многие факторы, в том числе качество кормов, удои, потребление стабильного йода, температура кормов и содержание в них веществ, способствующих развитию зоба [22]. Но взаимосвязь этих факторов, необходимая для прогнозных расчетов, еще не установлена.

Йод-131 обнаруживался в молоке в период до 45 дней после аварии в Чернобыле [15]. Большая скорость перехода ^{131}I в молоко обуславливает настоятельную необходимость поиска соответствующих контрмер.

6.2.2.1. Перерабатывать загрязненное молоко в продукты длительного хранения

Метод: Использовать молоко для производства масла, обезжиренного молочного порошка, сыра и других продуктов, которые можно хранить до употребления в пищу после распада ^{131}I .

Пояснения: Метод неприменим, если молоко имеет значительное загрязнение радиоцезием, радиостронцием или другими долгоживущими радионуклидами. Перерабатывающие предприятия могут отказаться принимать загрязненное молоко. Более подробное обсуждение в Разделе 8.

Класс: А/В.

6.2.2.2. Добавлять стабильный йод в корма

Метод: Обеспечить потребление стабильного йода в количествах выше необходимой дневной нормы.

Пояснения: Стабильный йод в рационе кормления, в форме йодида натрия или калия, регулирует секрецию радиойода в молоко и его усвоение в щитовидной железе. Динамическая зависимость между накоплением радиойода в щитовидной железе и его переходом в молоко четко не определена, и при некоторых условиях добавки стабильного йода могут увеличить уровни ^{131}I в молоке [23, 24]. Чтобы достичь наибольшего эффекта, следует начать давать стабильный йод как можно быстрее, поэтому возможность немедленной поставки препаратов имеет важное значение.

С увеличением стабильного йода в рационе увеличивается его концентрация в молоке. Дополнительная польза для потребителей из местного населения состоит в том,

что этот прием способствует снижению поступления радиойода в организм человека, предохраняя, таким образом, щитовидную железу от облучения [25].

Организация и введение обязательного приема стабильного йода животными на практике могут натолкнуться на сопротивление со стороны многих фермеров, производителей молочной продукции. Подобную контрмеру следует вводить на добровольных условиях под управлением администрации и при наличии достаточного количества йодных добавок.

Эти соображения, а также вероятность того, что данный метод в действительности может привести к росту содержания ^{131}I в молоке, затрудняет оценку метода по принятой классификации.

Класс: A/B/D.

7. КОНТРМЕРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СРЕДНИЙ И ПОЗДНИЙ ПЕРИОДЫ ПОСЛЕ ВЫПАДЕНИЙ

7.1. ВВЕДЕНИЕ

По мере того, как загрязнение распространяется в биосфере, расширяется диапазон подходящих контрмер и продолжительность их действия. Так, снятие и захоронение загрязненного слоя почвы есть, в принципе, простой метод, который не отнимает много времени, но дает долгосрочный эффект. В то же время изменение землепользования в техническом, экономическом и социальном отношениях является сложным приемом, для осуществления которого необходимо длительное время.

7.2. ДЕЗАКТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ ПУТЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

7.2.1. Введение

Многие радионуклиды, загрязняющие поверхность почвы при радиоактивных выпадениях, остаются в нескольких верхних сантиметрах почвы и медленно мигрируют вглубь по почвенному профилю. Спустя более, чем 30 лет после прекращения интенсивных наземных и воздушных испытаний ядерного оружия образованная при этом радиоактивность остается в верхних 15 см в большинстве типов почв. Стронций в известной степени более подвижен, чем цезий, а плутоний и америций во всех случаях прочно связаны с частицами грунта. Удержание радионуклидов в верхнем слое почвы имеет свои положительные и отрицательные стороны. Основные факторы опасности от удерживания радионуклидов в верхнем слое почвы состоят в том, что они: (i) могут усваиваться через корневое поглощение растениями с поверхностной корневой системой, например, травой; (ii) представляют собой слабоэкранированный источник внешней дозы облучения; (iii) обуславливают дополнительную дозу за счет вторичного ветрового подъема пыли. Однако, основная польза от малой подвижности радионуклидов заключается в возможности эффективного удаления основного количества загрязнения путем срезания тонкого слоя с поверхности почвы (см., например, [17]).

В этом разделе обсуждаются механические методы удаления радиоактивного загрязнения, в том числе удаление верхнего слоя почвы, вспашка либо предотвращение перераспределения радионуклидов в почве. Более полное описание излагаемых здесь приемов можно найти в обзорном докладе рабочей группы REACT [19, 26, 27], а также в обзорах [20, 28].

7.2.2. Практические контрмеры

7.2.2.1. Пахать, чтобы разбавить радионуклиды в корнеобитаемом слое почвы

Метод 1: Обычная вспашка отвальным плугом.

Эффективность: Эффективность зависит от типа почвы, глубины пахотного слоя и от вида выращиваемых культур, особенно от глубины корневой системы.

Пояснения: Этот метод эффективен там, где обычно применяется отвальная вспашка до глубины 20–30 см, поскольку всегда имеются в наличии плуги и трактора и не наносится вред плодородию почвы. Загрязнение будет оставаться в верхних 20–30 см, но уже с меньшей концентрацией. Поэтому, хотя радиоактивность и будет переходить в растения, коэффициент перехода будет ниже, чем до вспашки. Последующая вспашка может, конечно, вернуть загрязненный слой на поверхность. Такие методы вспашки, как дискование или плантажная вспашка, которые не переворачивают отрезанный пласт, будут менее эффективны. Следует принять во внимание опасность от вдыхания загрязненной пыли работниками при вспашке с использованием тягловой силы животных.

Класс: А/В.

Метод 2: Глубокая вспашка.

Эффективность: Глубокая вспашка сильно снижает поступление радионуклидов в растения, особенно для культур с неглубоко залегающей корневой системой. Для таких растений с коротким периодом вегетации, загрязнение может быть снижено до 10 раз.

Пояснения: Большие плуги на прицепе у мощных тракторов могут работать с глубиной вспашки до 1 м. Основное ограничение будет состоять в доступности такой техники. Негативные стороны глубокой вспашки включают: возможное нарушение дренажных условий; возможная безвозвратная потеря верхнего плодородного слоя почвы; перемещение на поверхность потенциально бесплодного слоя почвы; практическое отсутствие эффекта на песчаных почвах.

Класс: С.

Метод 3: Луцильная вспашка с предплужником и с запашкой пласта.

Эффективность: Этот вид вспашки значительно снижает переход радионуклидов в растения, в особенности для культур с неглубоко залегающей корневой системой. Даже для растений с глубокими корнями может быть достигнуто снижение коэффициента перехода по крайней мере в 10 раз.

Пояснения: Способ вспашки с предплужником и с запашкой пласта был изобретен для того, чтобы иметь возможность срезать 5–10 см верхнего слоя почвы и целиком переместить его на глубину 50 см под нетронутый пласт. Преимущество такой вспашки состоит в том, что при этом обычно не ухудшается плодородие почвы. Конечно, дренажные условия могут быть нарушены, но это рассматривается, как неизбежный побочный эффект. В настоящее время имеется лишь небольшое число таких плугов, поэтому применение этой техники ограничено. Кроме того, нужны более мощные тракторы, чем те, которыми располагают большинство фермерских хозяйств.

Класс: С.

7.2.2.2. Удалить тонкий поверхностный слой загрязненной почвы

Метод 1: Использование обычных дорожно-строительных механизмов, таких, как бульдозеры, скреперы и т.п.

Эффективность: Вместе с 5–10 см почвы может быть удалено до 95% выпавших веществ. Этот метод менее эффективен при применении спустя год и более после выпадений в отношении радионуклидов, имеющих высокую подвижность в почвах данного типа.

Пояснения: Удаление тонкого верхнего слоя загрязненной почвы существенно снижает опасность от вторичного ветрового подъема и позволяет также снизить загрязнение растений. Удаление загрязненного слоя почвы возможно применять как на пахотных землях, так и на пастбищах в той степени, в какой оставшийся слой почвы будет

достаточно плодородным, чтобы обеспечить получение устойчивых урожаев. Снятие верхнего слоя почвы при некоторых обстоятельствах невозможно, например, на мелких, каменистых почвах. На сырых болотных почвах будет трудно использовать тяжелую технику, а на тяжелых глинистых почвах дезактивация будет ограничиваться периодами года, когда почва поддается обработке. На песчаных, незакрепленных почвах нельзя эффективно удалить тонкий слой.

Этот метод является эффективной, хотя и дорогой, контрмерой на землях, где удаление тонкого верхнего слоя (5–10 см) не ухудшает плодородия и водного режима почв. Менее плодородные почвы могут потерять значительную долю питательных веществ при снятии верхнего слоя, поэтому в последующие сельскохозяйственные сезоны в них потребуются вносить дополнительные удобрения.

Как показал опыт чернобыльской аварии [19], главные недостатки метода состоят в необходимости больших материально-технических затрат и решения проблем захоронения огромного количества отходов. Например, слой почвы толщиной в 5 см, снятый с площади 1 га, имеет объем 500 м³ и массу около 700 т. Эти недостатки исключают возможность применения метода в качестве контрмеры во многих странах. Однако, он успешно применялся после аварии в Паломаресе (см. Часть IV).

Класс: С.

Метод 2: Использование дернорезущего комбайна для удаления тонкого слоя почвы.

Эффективность: Вместе с 2–4 см верхнего слоя почвы удаляется почти вся радиоактивность.

Пояснения: Дернорезка снимает только несколько верхних сантиметров почвы. Ее можно использовать на лугах или на заброшенных полях, заросших сорняками.

Современные типы дернорезущих машин не подходят для больших площадей, а в некоторых странах они вообще не используются. В настоящее время изучается возможность производства многомодульного механизма, в котором можно было бы объединить вместе несколько дернорезок на прицепе у одного трактора [29].

Была сделана попытка использовать метод искусственного задернования для закрепления поверхности почвы перед его удалением [29]. Для этого высевались семена травы вместе с торфяной смесью, содержащей полисахариды. После образования прочного дернового слоя, верхние 1–2 см почвы удаляются с помощью дернорезки. Дополнительное преимущество метода заключается в подавлении ветрового подъема, которому препятствует растущее дерновое покрытие, к тому же удаляемый слой менее загрязнен, чем в случае прямого срезания почвы. Структура почвы сохраняется, поскольку на большей части земель снимается только около 15% от обрабатываемого верхнего слоя почвы. Как показали исследования, выполненные в зоне чернобыльской аварии, возможен повторный рост местных видов трав на дезактивированных участках [30].

Класс: С.

Следующие две контрмеры не относятся, строго говоря, к сельскохозяйственным контрмерам и в действительности могут дать результат лишь на землях, изымаемых из сельскохозяйственного оборота. Однако, они включены в число обсуждаемых, исходя из возможности их применения на сельхозугодьях.

7.2.2.3. Закрепить поверхность почвы для подавления ветрового подъема

Метод: Применение пленкообразующих веществ, таких, как вода, почва, асфальтоподобные материалы, битум, эмульсии или химические связующие вещества/синтетические полимеры.

Эффективность: Различная, в зависимости от вида покрытия и степени его устойчивости.

Пояснения: Радионуклиды, загрязняющие поверхность почвы после выпадений, участвуют в ветровом подъеме радиоактивной пыли. Закрепление поверхности снижает эту опасность и удерживает выпавшие вещества в фиксированном состоянии в течение

длительного времени либо до применения подходящего метода дезактивации. Однако, при этом исходная почва оказывается под искусственным покрытием и впоследствии ее трудно восстановить. Более подробное описание различных видов применяемых покрытий и их эффективности приведено в работах [28, 29, 31]. См. также предыдущий раздел по применению метода искусственного задерживания.

Класс: С.

7.2.2.4. Нанести слой сорбента для предотвращения миграции захороненных радиоактивных отходов

Пояснения: При захоронении радиоактивных отходов, таких, как верхний слой почвы, собранный с загрязненных площадей, может происходить загрязнение грунтовых вод. Проводится изучение сорбентов, которые могут воспрепятствовать миграции, в частности, для применения в могильниках в зоне чернобыльской аварии [19, 26].

7.3. ИЗМЕНЕНИЕ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ (ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИЕ)

7.3.1. Введение

Изменение землепользования, в том числе вида возделываемых культур, может оказаться эффективной контрмерой от загрязнения продукции в промежуточный и поздний периоды времени после выпадений. Возможности этого метода рассмотрены в обзорном докладе Р. Алексахина и др., подготовленном рабочей группой REACT [32].

Имеется широкий набор вариантов перепрофилирования от незначительных изменений, таких, как смена вида сельскохозяйственной культуры на поле или вида животных на пастбище, до радикальных изменений, например, преобразования растениеводческих и животноводческих хозяйств в лесное хозяйство. Коренные перемены в схеме землепользования неизбежно влекут за собой долгосрочные и, по всей вероятности, тяжелые экономические и социальные последствия. Важно понимать, что радикальные преобразования следует вводить только тогда, когда менее радикальные меры оказываются недостаточными. Такие решения будут, по-видимому, приниматься спустя годы после аварии, особенно в районах с высокими уровнями загрязнения долгоживущими радионуклидами, такими, как ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{238/239/240}\text{Pu}$. Они должны приниматься также с учетом радионуклидного состава загрязнения, чтобы польза от защиты от одного радионуклида не сводилась на “нет” ущербом от другого.

Изменение землепользования ограничивается следующими условиями:

- ограниченные возможности сельскохозяйственного производства на загрязненных угодьях для отдельных видов культур и схем землепользования;
- схемы севооборота;
- экономические, социальные и экологические ограничения (в том числе, снижение уровня занятости, необходимость приобретения новой техники или отсутствие рынка для новой продукции);
- радиологические аспекты, такие, как изменение в дозах внешнего облучения работающих в зоне людей и опасность от вдыхания радиоактивной пыли, наряду с достигнутым снижением загрязнения продуктов питания. Таким образом, следует оценивать предотвращенную дозу в целом, а не только снижение активности в пищевой цепочке.

С учетом изложенных выше соображений становится очевидным, что возможный эффект от перечисленных ниже контрмер может изменяться в широких пределах в зависимости от большого числа как социально-экономических, так и радиологических факторов. Вероятнее всего, эти факторы будут почти целиком определяться местными и национальными особенностями.

7.3.2. Практические контрмеры

Первыми в перечне контрмер стоят те, которые имеют наименьшие социальные и экономические последствия; продолжают список более радикальные контрмеры.

7.3.2.1. *Подобрать подходящие сорта растений с более низкими уровнями радиоактивного загрязнения по сравнению с сортами, которые обычно выращиваются в данной местности*

Эффективность: Переменная, но можно добиться снижения уровня загрязнения до 4–5 раз.

Пояснения: Этот подход имеет весьма незначительные социальные и экономические последствия при том, что уровень загрязнения возделываемых культур может быть значительно снижен [15, 33, 34]. Так, в работе [15] утверждают, что подбор сорта является одним из наиболее эффективных, при этом простых и недорогих, способов снижения загрязнения сельскохозяйственных продуктов. В настоящее время большинство сведений о загрязнении разных сортов одной культуры относится к радиоцезию; они получены в странах бывшего СССР, загрязненных в результате чернобыльской аварии. Имеются лишь отрывочные данные по другим радионуклидам или культурам, производимым в других районах.

Класс: А/В.

7.3.2.2. *Подобрать альтернативные, но близкие по видам культуры, которые имеют более низкие уровни загрязнения, чем те, которые обычно выращиваются в данной местности*

Эффективность: Переменная, но можно добиться снижения уровня загрязнения до трех раз.

Пояснения: Метод подбора альтернативных, но близких по видам культур — следующий шаг после замены сорта — успешно применялся в странах бывшего СССР после чернобыльской аварии для снижения содержания радиоцезия в сельскохозяйственных растениях [34]. Такая замена, например, одного вида корнеплода на другой, есть простая и сравнительно недорогая контрмера, которая легко осуществляется и не наносит серьезного ущерба сельскохозяйственному производству. Сведения о других радионуклидах и культурах ограничены.

Класс: А/В.

7.3.2.3. *Выращивать продовольственные культуры, такие, как сахарная свекла или рапс, загрязнение которых при переработке снижается*

Эффективность: Переменная, снижение уровня загрязнения в конечном продукте до 10 раз.

Пояснения: Эта потенциально эффективная контрмера сохраняет земельный фонд для производства продовольствия. Большая доля радиоактивности часто выводится из сырья при промышленной переработке до того, как конечный продукт доходит до потребителя. Однако, не всегда можно найти данные по этому вопросу. Следует позаботиться о безопасной утилизации сильно загрязненных отходов при переработке. Например, скормливание отходов крупному рогатому скоту может оказаться неприемлемым.

Класс: А/В.

7.3.2.4. *Подобрать культуры с относительно низкой способностью к накоплению радионуклидов*

Эффективность: Переменная, но можно добиться снижения загрязнения до 8 раз.

Пояснения: Коэффициенты перехода радионуклидов из почвы в растения варьируют в широком диапазоне в зависимости от вида растения. Распределение радионуклидов между съедобными и несъедобными частями растений также изменчиво. Таким образом, заменой одного вида культуры на другой, в ботаническом отношении более отдаленный вид, можно добиться существенного снижения уровня загрязнения продукции. Например, выращивание зерновых культур вместо зеленых овощей дает снижение загрязнения продукции до 5 раз вследствие более низкого перехода радионуклидов в зерно. Следовательно, там, где зеленые овощи имеют слишком большое загрязнение, можно выращивать зерновые. Однако, переход к выращиванию зерновых означает серьезное изменение землепользования и повлечет за собой большие социальные и экономические последствия. При том, что коэффициент перехода радиоцезия в растения одного вида обладает большой изменчивостью, из данных, приведенных в обзоре Сегала [11], следует, что средние коэффициенты перехода для разных видов культур, выращиваемых на одной почве, будут возрастать в следующем порядке: зерновые < корнеплоды < травы < клубнеплоды < бобовые < зеленые овощи. Аналогичный ряд для радиостронция предложен в работе [13]: зерновые < клубнеплоды < корнеплоды < бобовые < травы < зеленые овощи.

Класс: А/В.

7.3.2.5. Прекратить производство пищевых продуктов, перейти на выращивание технических культур, таких, как лен, хлопок, садовые растения или растения для производства технических масел

Эффективность: Не поддается оценке в принятом значении этого термина.

Пояснения: Этот подход дает возможность продолжать ведение сельского хозяйства, но не для производства продовольствия. Использование земли под сады и цветочные плантации возможно в сравнительно небольших масштабах. В случае загрязнения больших площадей, более предпочтительным будет выращивание таких растений, как лен, хлопок и масличный рапс. Прежде чем давать рекомендации по применению этой контрмеры, следует убедиться, что производимые технические продукты не будут источником превышения доз облучения и что они имеют рыночный спрос. Кроме того, должно быть наличие производственных мощностей для их переработки, а также возможность безопасного обращения с отходами, которые могут быть радиоактивными.

Класс: А/В.

7.3.2.6. Использовать загрязненные земли для немолочного животноводства либо для выращивания животных, не предназначенных для немедленного убоя

Эффективность: Переменная.

Пояснения: Там, где пастбищные земли загрязнены и ограничена возможность поставок чистых кормов, использование последних дает наибольший эффект, если их постепенно скармливать молочным коровам для получения нормативно-чистого молока и мясному стаду на завершающей стадии откорма. После чернойбыльской аварии, концентрация радиоцезия в мясе крупного рогатого скота регулировалась с помощью специальной поэтапной программы откорма, применяемой с целью получения нормативно-чистого мяса при максимальном использовании имеющихся в наличии кормов [16]. На ранних стадиях откорма животным давали более загрязненные корма, затем уровень радиоцезия в корме постепенно снижали, в результате снижалось содержание радиоцезия в организме животных (табл. III и IV). Наименее загрязненные корма оставляли на последнюю стадию откорма, чтобы добиться снижения уровней радиоцезия в мясе ниже уровня вмешательства.

Класс: В.

ТАБЛИЦА III. КОНЦЕНТРАЦИЯ ^{137}Cs В РАЦИОНЕ И МЯСЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ОТКОРМА [16]

Стадия откорма	Рацион (кБк/д) (среднее \pm станд. откл.)	Содержание ^{137}Cs в мышцах (Бк/кг сырого веса)	
		В начале стадии	В конце стадии
Начальная	74 \pm 3	Произвольное	2960 \pm 73
Средняя	33 \pm 2	2960 \pm 73	1300 \pm 65
Последняя	15 \pm 1	1300 \pm 59	600 \pm 48

ТАБЛИЦА IV. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ КАЖДОЙ СТАДИИ ОТКОРМА [16]

Стадия откорма	Возраст животных на время убоя (годы)		
	1,5	2,5	2,5-9
	Время, необходимое для перехода к следующей стадии (дни)		
Начальная	Зависит от начального загрязнения		
Средняя	15	15	30
Последняя	50	60	60-120

7.3.2.7. Сменить виды животных

Метод: Заменить овец или коз на крупный рогатый скот.

Эффективность: Переменная, снижение загрязнения до 5 раз.

Пояснения: Небольшие жвачные животные, такие, как овцы или козы, обычно накапливают более высокие уровни радионуклидов, чем крупный рогатый скот, выпасаемый на тех же пастбищах. Например, содержание радиоцезия в молоке и мясе овец и коз может быть в 2-5 раз выше, чем у коров. При этом, экономическая выгода от такой замены вида может быть ниже ожидаемой из-за недостатка знаний, практического опыта и элементов новой хозяйственной инфраструктуры. К тому же, отдача от низкопродуктивных пастбищ выше при выпасе на них небольших жвачных животных, чем крупного рогатого скота. Более того, самые эффективные (т.е. с наименьшими коэффициентами перехода радионуклидов) продукты могут иметь не самую высокую экономическую отдачу, кроме того, во многих регионах нет необходимого (для замены) поголовья крупного рогатого скота.

Класс: В.

7.3.2.8. Заменить растениеводство на животноводство

Эффективность: Переменная, снижение загрязнения от менее чем 10 до 100, в зависимости от используемых критериев.

Пояснения: Сильно загрязненные земли можно использовать для мясного животноводства, поскольку биологический период полувыведения радионуклидов из животных достаточно непродолжительный, что обеспечивает удаление основной части загрязнения в течение периода содержания животных на чистых кормах. Однако, этот прием означает радикальное перепрофилирование, которое в значительной степени затрагивает интересы работающих на земле фермеров и связанных с ними социальных слоев.

Все мероприятия, требующие внедрения животноводства или замены пород скота, ограничены наличием поголовья альтернативных пород и квалифицированной рабочей силы, а также рыночным спросом на продукцию.

Класс: В.

7.3.2.9. Заменить сельскохозяйственное производство на лесное хозяйство

Эффективность: Не поддается оценке в принятом значении этого термина.

Пояснения: Загрязнение древесного сырья обычно на два порядка ниже, чем загрязнение многих видов продовольствия, а в ряде случаев допускается использование лесной продукции с более высокими уровнями загрязнения по сравнению с продовольствием. Предполагается, что социальный и экономический ущерб при переходе от сельскохозяйственного производства к лесному хозяйству будет высоким. Таким образом, это мероприятие следует принимать к рассмотрению только в том случае, когда уровень загрязнения земли настолько высок, что ее нельзя больше использовать для нужд сельского хозяйства даже при введении соответствующих контрмер. При загрязнении долгоживущими радионуклидами, такими, как ^{90}Sr и ^{137}Cs , длительный период между посадкой деревьев и заготовкой древесины имеет то преимущество, что за это время радиоактивность существенно снижается за счет распада. В то же время, длительная многолетняя задержка в получении экономической отдачи от вложенных в землю средств является недостатком этого метода. Может возникнуть необходимость тщательного контроля доступа в лес и его использования в зависимости от уровня загрязнения.

Класс: А/В.

7.4. ПРИМЕНЕНИЕ МЕЛИОРАНТОВ И УДОБРЕНИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПЕРЕХОДА РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ПОЧВЫ В РАСТЕНИЯ

7.4.1. Введение

Радионуклиды в верхнем слое почвы могут переходить в растения через корни, хотя в общем этот переход для многих радионуклидов регулируется разнообразными факторами. Степень перехода весьма различна для разных радионуклидов и типов почв и зависит как от физико-химических процессов в почве, которыми определяется доступность радионуклидов для растений [35], так и от физиологических потребностей растений.

Объем информации о поведении радионуклидов в почве и об эффективности контрмер весьма неоднороден. Радиоцезий и радиостронций были признаны наиболее важными потенциальными источниками образования дозы при поступлении в организм, поскольку в биологических системах они в общих чертах ведут себя, как натрий и кальций [10]. Их свойства хорошо изучены, так как оба они выбрасывались в атмосферу при наземных испытаниях ядерного оружия и при различных ядерных авариях. Имеется также информация о поведении плутония, который также является потенциальным источником облучения, в особенности, от вторичного ветрового подъема [10]. Переход ^{131}I из почвы не столь важен, ввиду его короткого периода полураспада. Долгоживущий ^{129}I (период полураспада $1,6 \times 10^7$ лет) также мог бы иметь значение, но он, по-видимому, не содержится в выбросах от большинства ядерных аварий, так что контрмеры против его перехода из почвы в растения не разрабатывались.

Почвенная мелиорация есть простой, недорогой и часто эффективный способ снизить переход радионуклидов из почвы в растения; при этом ущерб для окружающей среды невелик. Такие контрмеры интенсивно применялись после чернобыльской аварии [16, 34]. Для многих из них нужны материалы, которые обычно используются в сельском хозяйстве и, таким образом, легко доступны и могут применяться с помощью обычной сельскохозяйственной техники. Необходимо подчеркнуть, что различные типы почв и виды растений требуют особых приемов обработки. Агрохимическая мелиорация может проводиться отдельно либо в сочетании с другими мероприятиями, такими, как вспашка.

Однако, применение вспашки может быть ограничено необходимостью сохранения земли под пастбище, и это усиливает значение применения химических мелиорантов.

Приведенная в этом разделе информация относится только к радиоцезию и радиостронцию, принимая во внимание их значимость и малую вероятность того, что возникнет потребность в контрмерах от других радионуклидов. Приведенные ниже сведения и рекомендации по контрмерам по большей части взяты из обзора, представленного на рабочей группе REACT [36], в котором обобщены более подробные сообщения других участников рабочей группы [16, 34, 37, 38, 39].

Успешность описываемых ниже контрмер в большой степени зависит от свойств почвы: соединения цезия хорошо растворимы и поэтому можно ожидать, что $^{137}\text{Cs}^+$ будет легко переходить в растения. Однако, в большинстве типов почв ион цезия прочно сорбируется некоторыми глинистыми материалами и выводится из обменных процессов. Переход радиоцезия в растения зависит от количества и типа присутствующих в почве глинистых минералов, от pH почвы и от концентрации конкурирующих катионов (в особенности, K^+ и NH_4^+ , но также Cs^+ и Rb^+). Особенно благоприятные условия для перехода ^{137}Cs в растения имеются в почвах с относительно низким содержанием глинистых минералов и относительно высоким содержанием органических веществ, имеющих кислую реакцию (низкий pH) и низкое содержание доступного калия. Анаэробные условия, такие, как на рисовых полях, также увеличивают доступность ^{137}Cs .

Напротив, $^{90}\text{Sr}^{2+}$ доступен для корневого поглощения в гораздо более широком разнообразии почв, так как он не адсорбируется глинами в той же степени, как $^{137}\text{Cs}^+$ [36]. Стронций непрочно связывается с почвенными коллоидами (как неорганическими, так и органическими) путем катионного обмена, так что его избыток регулируется емкостью катионного обмена почвы и концентрацией других катионов, особенно Ca^{2+} . Изменение почвенных характеристик, таких, как pH, и внесение удобрений могут оказывать заметное влияние на коэффициенты перехода стронция в растения.

Контрмеры по химической обработке почвы могут снизить переход $^{134+137}\text{Cs}$ или ^{90}Sr в растения путем:

- (a) увеличения концентраций питательных веществ — катионов (K^+ или Ca^{2+}) в почвенном растворе, т.е. уменьшения отношений $^{137}\text{Cs}/\text{K}$ или $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$;
- (b) связывания (иммобилизации) радионуклидов через адсорбцию на привнесенных глинистых материалах или цеолитах или через осаждение на нерастворимых солях (например, фосфатах).

Применяемые в странах бывшего СССР контрмеры, основанные на внесении удобрений в сочетании с рекультивацией пастбищ (перепашка и посев травы с одновременным известкованием и внесением удобрений) были более эффективными для снижения перехода радиоцезия в растения, чем иммобилизация [34]. Эффективность их была частично обусловлена необходимостью повышения плодородия почв и урожайности растений, поэтому такая обработка может оказаться не столь полезной на более продуктивных почвах [10]. Следует заметить, что повышение урожая возделываемых культур в результате этих мероприятий может частично, а иногда и полностью, оправдать расходы на их проведение.

Решение вопроса о том, какую из контрмер следует применить, должно основываться на данных о пространственном распределении плотности загрязнения, о землепользовании и преобладающем типе почв. Необходимо подчеркнуть, что контрмера, дающая хороший эффект для одного радионуклида, необязательно будет эффективной для других, присутствующих в той же почве, и может даже привести к увеличению их доступности для растений. Например, внесение калийных удобрений в почвы с высоким содержанием органических веществ для снижения доступности радиоцезия может увеличить доступность радиостронция. Влияние различных схем химической обработки на соотношения ионов в почвенном растворе можно оценить путем анализа группового равновесия [38]. Этот метод был бы особенно полезен для почв, загрязненных несколькими радионуклидами, когда требуется применение средне- и долгосрочных контрмер.

Использование минеральных удобрений (Р, К) в соотношениях, обычно принятых в сельском хозяйстве развитых стран в зоне умеренного климата, часто оказывалось достаточным для снижения корневого поглощения радионуклидов в почвах с низкой продуктивностью. Поэтому, в условиях интенсивного сельскохозяйственного производства, дальнейшее увеличение норм внесения удобрений может не только не дать результата в виде снижения доступности радионуклидов, но даже привести к нежелательным агрономическим последствиям, таким, как снижение доступности необходимых питательных микроэлементов.

Известь увеличивает емкость катионного обмена в почве через увеличение рН. Это происходит оттого, что диссоциация некоторых функциональных групп, особенно в составе органических веществ, возрастает с увеличением рН, обеспечивая тем самым больше возможностей для катионного обмена. Напротив, кислые удобрения снижают емкость катионного обмена, поэтому их не следует применять.

Применение аммонийных удобрений как в виде солей, так и в виде жидкого аммония, также следует избегать, так как ион NH_4^+ по размеру и заряду подобен Cs^+ и поэтому может вытеснять его из сорбционных ловушек в почвенный раствор [40, 41]. Таким образом, удобрения следует применять в виде нейтральных солей, а азот — в форме нитратов [38].

7.4.2. Контрмеры общего характера

7.4.2.1. Известковать кислые почвы

Эффективность: Высокая, но зависит от исходного рН почвы; снижение перехода ^{90}Sr до 10 (в среднем 2–3), ^{137}Cs — до 3.

Пояснения: Известкование снижает переход радиоцезия и радиостронция в растения путем увеличения емкости катионного обмена почвы. Обычно это недорогой и простой метод.

Ввиду близости химических свойств Ca^{2+} и Sr^{2+} , внесение кальция снижает также доступность Sr за счет уменьшения отношения $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ в почвенном растворе. Поэтому лучшие результаты достигаются на почвах с низкой концентрацией обменного кальция (< 10 мг-экв. $\text{Ca}^{2+}/100$ г почвы) и с низким относительным насыщением, но для почв с уровнями обменного кальция до 10 мг-экв./100 г почвы применение метода еще оправдано. Это относится к минеральным почвам, в которых Sr^{2+} адсорбируется быстрее, чем Ca^{2+} . В почвах с высоким содержанием органических веществ, в которых хорошо адсорбируется Ca^{2+} , можно ожидать, что известь будет способствовать вытеснению радиостронция из обменных ловушек, хотя это маловероятно.

Известкование дает наибольший эффект в подавлении корневого поглощения радиоцезия при сочетании с внесением калия, особенно на гумидных почвах. Внесение более 3 т/га не дает никакого дополнительного эффекта.

Класс: А.

7.4.2.2. Вносить сапропель

Эффективность: Высокая, снижение перехода до 6 раз для цезия и до 5 для стронция.

Пояснения: Сапропель образуется из донных осадков природных озер и состоит из растительных остатков, разложившихся в анаэробных условиях [16]. Сапропель снижает переход как цезия, так и стронция. Там, где имеются его запасы, он дешев, прост в применении и увеличивает урожайность за счет повышения содержания питательных веществ и микроэлементов в обрабатываемых почвах. Сырой сапропель, однако, невыгодно перевозить на большие расстояния. Эффективность применения сапропеля от радиоцезия была установлена в загрязненных радиоцезием районах стран бывшего СССР после чернобыльской аварии. На практике сапропель дает эффект для радиоцезия на почвах с низким содержанием обменного калия. Он не приносит вреда растениям даже

при внесении в больших объемах (> 150 т/га). Хотя сапропель содержит кальций, известкование все равно следует применять, если pH вносимого сапропеля меньше 5. Сапропель широко применялся в странах бывшего СССР после чернобыльской аварии [16], но относительно его доступности и эффективности применения в других странах нет никаких данных. К использованию подобного типа донных отложений нужно подходить осторожно, так как в них могут содержаться недопустимо высокие уровни тяжелых металлов, если в водосборном бассейне имеются промышленные зоны.

Класс: В.

7.4.3. Специальные контрмеры при загрязнении радиоцезием

7.4.3.1. Применять калийные удобрения

Эффективность: Высокая при использовании на почвах с низким уровнем обменного калия и концентрацией калия в почвенном растворе ниже 20 мкМ. Снижение перехода до 5 раз.

Пояснения: Применение калийных удобрений снижает переход радиоцезия в растения за счет уменьшения отношения Cs/K в почвенном растворе.

Внесение калия — недорогой и относительно простой метод. Калий является химическим аналогом цезия и конкурирует с радиоцезием при корневом поглощении. Наилучшие результаты получаются на почвах с очень низким (< 10 мкМ) содержанием доступного калия. Применение повышенных доз калийных удобрений может привести к вытеснению радиоцезия из ионообменных зон (ловушек), что повлечет за собой увеличение корневого поглощения. Не рекомендуется вносить более $200 \text{ кг} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Класс: В.

7.4.3.2. Применять алюмосиликаты

Эффективность: Невысокая, снижение перехода в растения до 2 раз.

Пояснения: Алюмосиликаты увеличивают ионообменную емкость почвы, увеличивая тем самым сорбцию радиоцезия. Однако, эти химикаты сравнительно дороги, требуют внесения больших доз в несколько тонн на 1 га и не везде доступны.

Класс: В/D.

7.4.4. Специальные контрмеры при загрязнении ^{90}Sr

Основные сведения по эффективности химической обработки почв для снижения доступности радиостронция получены при исследованиях, выполненных после Кыштымской аварии на Урале в 1957 г. О некоторых результатах этих исследований было доложено на конференции Комиссии европейских сообществ [42].

7.4.4.1. Применять органические удобрения, такие, как навоз

Эффективность: Высокая, снижение перехода до 5 раз.

Пояснения: Органические удобрения обычно недороги и просты в применении, успешно заменяют минеральные удобрения и увеличивают урожайность за счет увеличения содержания в почве питательных веществ и микроэлементов. Они могут эффективно применяться для снижения доступности ^{90}Sr в малопродуктивных почвах, но при этом важно отметить, что внесение органических веществ может увеличить доступность радиоцезия. По этой причине метод нельзя рекомендовать в случае загрязнения почвы смесью радионуклидов. Также важно убедиться в том, что вносимые вещества, такие, как добытый в этих местах торф, не загрязнены радионуклидами от той же аварии.

Класс: А.

7.4.4.2. Вносить растворимые фосфатные удобрения

Эффективность: Снижение перехода до 10 раз.

Пояснения: Поскольку фосфат стронция довольно плохо растворим, внесение растворимых фосфатов может уменьшить доступность радиостронция путем образования труднорастворимых солей. При этом применение фосфатов (или сульфатов и силикатов) может привести к снижению доступа необходимых микроэлементов, фосфаты которых также труднорастворимы.

Класс: А.

7.5. КОНТРОЛИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

4.5.1. Введение

Поскольку продукты животноводства играют важную роль при образовании дозы облучения, имеется большое количество данных о поведении радионуклидов, особенно радиоцезия, радиостронция, радиойода, в организме животных. Значительная часть сведений, представленных в этом разделе, основана на материалах рабочей группы REACT; дополнительным источником информации послужил доклад Международного союза радиозэкологов (МСРЭ) для КЕС [43].

Степень загрязнения продуктов животноводства тем или иным радионуклидом зависит от его способности к поглощению и путей метаболизма в организме животного, от скорости выведения из организма (главным образом, с мочой, фекалиями и молоком), а также от характеристик миграции в системе почва–растение.

Основным путем, по которому большинство радионуклидов поступают в организм животного, является пероральное поступление с пищей с последующим усвоением в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), хотя радионуклиды могут поглощаться также через кожу и легкие. Усвоение питательных веществ происходит, в основном, в желудке (рубце) или в тонких кишках и степень перехода в организм меняется в широких пределах, от пренебрежимо малой для актинидов до почти полного поглощения для радиойода.

В результате поглощения радионуклиды поступают в кровь и разносятся по организму. Некоторые из них накапливаются в отдельных органах; например, ионы металлов, таких, как ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{65}Zn и ^{110}Ag накапливаются в печени, а радиойод — в щитовидной железе. Актиниды и радиостронций преимущественно накапливаются в костях, в то время как радиоцезий равномерно распределяется в мягких тканях.

Обычно величина загрязнения количественно выражается через коэффициент перехода, который определяется как отношение равновесной концентрации радионуклида в мясе или молоке к суточному поступлению этого радионуклида в организм с пищей [44].

Загрязнение животноводческих продуктов можно рассчитать, исходя из уровней загрязнения кормов с помощью коэффициентов перехода, приведенных в табл. V и суточного потребления кормов, приведенного в табл. VI. Эти данные взяты из “Справочника МАГАТЭ по значениям параметров, используемых при прогнозе миграции радионуклидов в природных средах средних широт” [45]. Периоды биологического полувыведения обычно рассчитываются из двух–трех экспоненциальных зависимостей, полученных для каждого радионуклида. Обсуждение подходящих значений параметров для цезия, стронция и йода можно найти в работах [46, 47]. В общем случае, продукты, для которых характерны высокие коэффициенты перехода и короткие периоды полувыведения, изначально будут самыми загрязненными. Например, куриные яйца и мягкие ткани быстро накапливают цезий.

Единственная эффективная контрмера при загрязнении любыми радионуклидами состоит в обеспечении животных чистыми кормами. Время ответной реакции на эту и другие контрмеры изменяется в тех же пределах, что и метаболические характеристики, физические периоды полураспада и биологические периоды полувыведения отдельных радионуклидов. Коэффициенты перехода трех основных радионуклидов в молоко, а ради-

ТАБЛИЦА V. КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕХОДА ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs И ^{90}Sr В РАЗЛИЧНЫЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ [45]

Продукт	Коэффициент перехода (д/л или д/кг)		
	^{131}I	$^{134}, ^{137}\text{Cs}$	^{90}Sr
Крупный рогатый скот			
молоко	$1,0 \times 10^{-2}$	$7,9 \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-3}$
мясо (говядина)	$3,8 \times 10^{-2}$	$5,1 \times 10^{-2}$	$8,0 \times 10^{-3}$
Овцы			
молоко	$4,9 \times 10^{-1}$	$5,8 \times 10^{-2}$	$5,6 \times 10^{-2}$
мясо (баранина)	$3,0 \times 10^{-2}$	$4,9 \times 10^{-1}$	$3,3 \times 10^{-1}$
Козы			
молоко	$4,3 \times 10^{-1}$	$1,0 \times 10^{-1}$	$2,8 \times 10^{-2}$
мясо		$2,3 \times 10^{-1}$	$2,8 \times 10^{-3}$
Свиньи			
мясо (свинина)	$3,3 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-1}$	$4,0 \times 10^{-2}$
Домашняя птица			
мясо	$1,10 \times 10^{-2}$	12,0	$8,0 \times 10^{-2}$
яйца	1,0	$4,5 \times 10^{-1}$	$1,8 \times 10^{-1}$

ТАБЛИЦА VI. ДНЕВНОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ СУХИХ КОРМОВ И ВОДЫ ДОМАШНИМИ ЖИВОТНЫМИ [45]

Вид животных	Потребление сухих кормов (кг/д)		Потребление воды (л/д)
	Ожидаемое	Разброс	
Молочные коровы	16,1	10-25	50-100
Мясной скот (500 кг)	7,2	5-10	20-60
Телята (160 кг)	1,9	1,5-3,5	5-15
Молочные козы	1,3	1,0-3,5	5-10
Молочные овцы	1,3	1,0-2,5	5-8
Мясные овцы (50 кг)	1,1	0,5-3,0	6-10
Свиньи (110 кг)	2,4	2,0-3,0	6-10
Куры-несушки	0,1	0,07-0,15	0,1-0,3
Бройлеры	0,07	0,05-0,15	0,1-0,3

оцеция в мясо, в общем случае будут ниже для крупных домашних животных, таких, как коровы, чем для мелких, таких, как овцы и козы. Коэффициенты перехода в мясо птицы и яйца также относительно высокие.

Во многих агросистемах с интенсивным ведением хозяйства высокие уровни загрязнения животноводческой продукции будут появляться только в течение нескольких недель или, по крайней мере, нескольких месяцев после пика радиоактивных выпадений. В этих условиях продолжительность и уровень загрязнения продукции будут в значительной мере определяться величиной доли выпадений, осевших и удерживаемых на поверхности растений. Это не относится к случаям, когда имеет место достаточно высокая плотность

загрязнения или устойчиво высокий переход радионуклидов из почвы в растения. Большие уровни загрязнения животноводческой продукции радиоцезием в агросистемах с экстенсивным ведением хозяйства могут сохраняться длительное время, даже если первоначальная плотность загрязнения была не очень велика. Это происходит по следующим причинам: (i) тип почвы обуславливает высокий коэффициент перехода в растения; (ii) некоторые виды растений накапливают относительно высокие уровни радиоцезия, например, дикорастущие растения и грибы и (iii) мелкие жвачные животные, которые накапливают более высокие уровни радиоцезия, чем крупные, часто выпасаются именно в таких условиях [48].

В работе [49] предлагается выделить четыре категории контрмер:

- ограничение поступления радионуклидов в организм животных;
- снижение усвоения попавших в организм радионуклидов;
- блокирование накопления или транспортировки через внутренние органы;
- увеличение скорости выведения ранее накопленной активности.

Наиболее эффективные контрмеры относятся, по большей части, к первым двум категориям. В работе [49] и докладе Международного союза радиоэкологов (МСРЭ) [43] содержится всестороннее обсуждение факторов, влияющих на выбор подходящих контрмер. Контрмеры, которые используются обычно от широкого набора радионуклидов, рассматриваются отдельно от специальных способов защиты от радиостронция и радиоцезия. Контрмеры, применяемые для предотвращения загрязнения молока радиойодом, рассматривались выше (Раздел 6.2.2.).

Важно помнить, что уровень гамма-излучения радионуклидов в среде в ряде случаев можно измерить. Это ценное обстоятельство можно использовать для прижизненного определения уровней загрязнения животных перед принятием решения о забое скота. Для решения вопроса о возможности потребления продуктов, загрязненных другими (не гамма-излучающими) радионуклидами, можно провести анализ каждой партии продукта. Это особенно полезно в отношении яиц, которые имеют сравнительно высокие коэффициенты перехода, но загрязнение которых будет небольшим, если кур кормить чистым зерном.

7.5.2. Контрмеры общего характера

7.5.2.1. *Вывести животных с загрязненных пастбищ или районов и/или снабжать их чистыми кормами*

Методы: Обеспечить животных чистыми кормами или перевести их в незагрязненные районы. Прекратить выпас, содержать животных в помещении или на закрытых площадках.

Пояснения: Тот же прием, который был описан в Разделах 5.2 и 6.2, применяемый в течение более долгого срока.

Для большинства домашних животных нетрудно заменить загрязненные корма на чистые, но это труднее сделать в частично освоенных природных экосистемах, особенно на долгое время. Недостаток метода заключается в использовании запасов кормов, предназначенных для употребления в другие сезоны. В районах с интенсивным ведением сельского хозяйства, наличие незагрязненных пастбищ может быть ограничено, особенно если практикуется пастбищное содержание скота. В хозяйствах, где применяется стойловое содержание, обычно имеется достаточный запас кормов.

Класс: А/В.

7.5.2.2. *Выращивать фуражные культуры с пониженной способностью накапливать загрязнение*

Пояснения: Многолетние травы и бобовые культуры более подвержены загрязнению, чем зерновые, корнеплоды и клубневые культуры. Поэтому выращивание послед-

них на корм скоту может снизить общий переход радионуклидов из почвы в животноводческие продукты (до 5–10 раз). Полный обзор этого и других методов, которые применялись в странах бывшего СССР после чернобыльской аварии, содержится в работе [16]. Общие подходы к проблеме выращивания менее загрязненных культур обсуждаются в Разделе 7.3.

Класс: А/В.

7.5.2.3. *Использовать загрязненные угодья для немолочного скотоводства или для откорма животных, не подлежащих немедленному убою*

Пояснения: Изложены выше в Разделе 7.3.2.

7.5.2.4. *Сменить вид животных*

Пояснения: Изложены выше в Разделе 7.3.2.

7.5.2.5. *Перевести продукты животноводства из разряда продовольствия на корм скоту*

Пояснения: Загрязненное мясо можно включить в состав животных кормов в сочетании с химическими фиксирующими добавками для кормления животных, не предназначенных к убою в ближайшем будущем.

Класс: В.

7.5.2.6. *Уничтожить продукты животноводства*

Пояснения: Строго говоря, это не контрмера, но этот прием должен быть принят во внимание. Например, эта мера применялась после аварии в Уиндскейле, когда около 3 млн. литров загрязненного ^{131}I молока было сброшено в Ирландское море [50] (что не всегда оправдано, см. Раздел 6.2.2.), и после чернобыльской аварии, когда было уничтожено загрязненное радиоцезием мясо. При этом может возникнуть проблема безопасного захоронения загрязненного молока и туш животных. При уничтожении продуктов возникает проблема отходов, поэтому эту меру следует применять только в исключительных случаях.

Класс: А/D.

7.5.3. *Специальные контрмеры при загрязнении радиоцезием*

Радиоцезий, как и калий, хорошо усваивается в желудочно-кишечном тракте и попадает в молоко и мясо, причем у различных видов животных своя степень усвоения. У однокамерных животных, таких, как свиньи и подсосный молодняк жвачных, радиоцезий практически полностью поглощается в организме, в то время как взрослые жвачные животные усваивают из растительной пищи около 70–85% радиоцезия. Усвоение радиоцезия зависит также от его физико-химических форм. Например, согласно оценкам, сделанным в [51], овцы усваивали около 65% радиоцезия, входящего в состав радиоактивных частиц от чернобыльской аварии. Поглощенный радиоцезий равномерно распределяется в мягких тканях, в одинаковой степени загрязняя мышцы, печень и почки. Уровни загрязнения костей намного ниже, чем мягких тканей. Концентрация радиоцезия в мясе молодняка обычно выше, чем у взрослых особей при одинаковом суточном потреблении.

В табл. VII дана сравнительная сводка коэффициентов перехода радиоцезия в животных и биологических периодов полувыведения. Особенно высок переход в домашнюю птицу, а биологические периоды полувыведения для крупного рогатого скота больше, чем для овец и коз.

ТАБЛИЦА VII. КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕХОДА И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ ПОЛУВЫВЕДЕНИЯ РАДИОЦЕЗИЯ ИЗ МЯСА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЖИВОТНЫХ

Продукт	Коэффициент перехода (д/кг)	Биологический период полувыведения ^а (д)
Крупный рогатый скот (говядина)	$5,1 \times 10^{-2}$	29
Овцы	$4,9 \times 10^{-1}$	14
Козы	$2,3 \times 10^{-1}$	18
Свиньи	$2,4 \times 10^{-1}$	19
Домашняя птица	12,0	28
Ссылка	[45]	[46]

^а Долгопериодная компонента

Биологический период полувыведения радиоцезия из молока сравнительно короткий, а уровни загрязнения молока быстро реагируют на колебания в загрязнении рациона. После однократного загрязнения пастбища, уровни загрязнения ^{137}Cs в молоке пасущихся коров достигают максимума через 3–5 дней. При постоянном потреблении загрязненных кормов, уровень ^{137}Cs в коровьем молоке стабилизируется через 3 недели и в молоко переходит около 5–12% от общего суточного потребления ^{137}Cs .

Относительно большой физический период полураспада обоих радиоизотопов ^{134}Cs (2,07 года) и ^{137}Cs (30 лет) обуславливает возможность постоянного высокого перехода радиоцезия в животных при загрязнении среды обитания. Высокая степень перехода радиоцезия в жвачных животных, пасущихся в условиях частично освоенных природных экосистем, наблюдалась в течение длительного времени [48]. Метод прижизненного измерения радиоцезия в животных, основанный на применении переносного зонда с детектором NaI, был усовершенствован после чернойбыльской аварии. В настоящее время с помощью этого относительно простого метода можно быстро получать необходимые результаты [52]. Контрмеры должны проводиться с учетом результатов мониторинга загрязнения молока и самих животных. Для защиты от загрязнения радиоцезием существует широкий выбор мероприятий, некоторые из которых были разработаны после чернойбыльской аварии.

7.5.3.1. Увеличить высоту стерни при скашивании фуражных культур, таких, как трава, силосные и зерновые культуры

Пояснения: С увеличением высоты срезания стеблей при уборке удастся избавиться от нижних частей растений, которые могут быть сильно загрязнены прилипшей к их поверхности почвенной пылью. Этот метод будет давать наилучшие результаты в первый год после радиоактивных выпадений. Его эффективность будет зависеть от вида растений и почвенных условий. Согласно данным наблюдений, приведенным в [53], удалось снизить загрязнение молока ^{137}Cs до трех раз и ^{131}I до девяти раз за счет кормления коров фуражом, полученным при скашивании растений с разной высотой стерни. На зерновых культурах этот прием дает меньший эффект. Впрочем, степень снижения загрязнения в каждой конкретной ситуации может быть определена только опытным путем.

Класс: А.

7.5.3.2. Использовать прижизненный мониторинг животных, чтобы избежать забоя сильно загрязненных животных

Пояснения: Прижизненный мониторинг животных можно использовать как на бойнях, так и на фермах, чтобы выявить животных, которых нужно кормить незагряз-

ненными кормами в период перез забоем. Это эффективное средство, но требует полупрофессионального подхода. Требуется соответствующая защита мониторов в сильно загрязненных районах. Эта методика широко используется (с хорошими результатами) после чернобыльской аварии как в трех республиках (см. например, [54]), так и в некоторых странах Восточной Европы [52].

Класс: А.

7.5.3.3. Изменить время забоя скота для снижения уровня загрязнения животных

Метод 1: Немедленный забой перед и/или во время выпадений.

Пояснения: Можно посоветовать осуществить немедленный забой, принимая во внимание, что содержание радиоцезия в животных будет расти в течение нескольких недель после выпадений. Чтобы избежать забоя сильно загрязненных животных, необходимо провести прижизненные измерения. Основная проблема состоит в возможном нежелании общества употреблять в пищу мясо забитых животных, несмотря на допустимые уровни его загрязнения радиоцезием. Товарная стоимость мяса может оказаться ниже из-за несвоевременного убоя. Ограниченные возможности скотобоен и холодильных камер могут создать дополнительные трудности.

Метод 2: Отсрочить забой скота после радиоактивных выпадений.

Пояснения: Перенос забоя на более поздние сроки дает возможность снизить поступление радиоцезия в животных за счет естественного очищения растений под действием погодных условий и процессов закрепления в почве. Разбавление активности зеленой массы за счет ее прироста будет заметно снижать концентрацию радиоцезия, если выпадения происходили в период активного роста растений. Для ускорения процессов самоочищения в этот период могут применяться и другие контрмеры.

Метод 3: Перенести время забоя скота на период года, когда уровни загрязнения мяса понижаются или пик активности миновал.

Пояснения: Эта мера применима к диким животным, имеющим сезонные особенности питания. Например, некоторые животные осенью едят большое количество грибов или лишайников, которые могут быть сильно загрязнены. После чернобыльской аварии мясо забиваемых осенью северных оленей имело уровни загрязнения в пять раз выше, чем забитых весной [55]. Эта контрмера требует хорошего знания сезонных вариаций в составе компонентов питания и их загрязнения для каждого вида животных. Изменение обычных сроков отстрела животных может привести к снижению вкусовых качеств мяса и веса туши, что приводит к экономическим потерям.

Класс: А/В.

7.5.3.4. Предотвратить кормление животных сильно загрязненными кормами

Метод 1: Выращивать фуражные культуры с меньшей способностью к загрязнению.

Пояснения: См. раздел о контрмерах общего характера (5.2.2.).

Метод 2: Не скормливать свиньям сильно загрязненную молочную сыворотку.

Пояснения: Молочная сыворотка и продукты ее переработки могут иметь относительно высокие уровни загрязнения радиоцезием и радиостронцием. Поэтому нежелательно скормливать эти продукты свиньям, если не добавлять в них химических фиксаторов, препятствующих усвоению радионуклидов в ЖКТ (см. ниже).

Класс: А/В.

7.5.3.5. Ввести обязательное применение химических связывающих веществ (фиксаторов) для снижения усвоения радиоцезия в ЖКТ

Метод 1: Прием животными берлинской лазури через добавки в концентраты.

Пояснения: Соединения, входящие в состав берлинской лазури (калий- и аммониевые соли феррогексацианидной кислоты) являются очень эффективными и удобными на практике химическими веществами, связывающими радиоцезий в ЖКТ сельскохозяйственных животных [49]. Они широко применялись в Норвегии после чернобыльской аварии, а до этого — в странах бывшего СССР. Доза препарата в 1 мг/кг живого веса в день обеспечивает снижение поступления радиоцезия в организм животного примерно на 50%, а при дозах 5–10 мг/кг в день переход ^{137}Cs в молоко и мясо можно снизить более чем на 90%. Препараты берлинской лазури можно давать всем видам сельскохозяйственных животных, включая жвачных, птиц и свиней (его также принимали люди после аварии в Гоянии в Бразилии), поскольку при указанных дозах не отмечалось никаких токсических эффектов. Для достижения наилучших результатов, препарат следует давать каждый день.

Класс: А.

Метод 2: Ввести в организм животных медленно растворяющиеся болюсы берлинской лазури.

Пояснения: Болюсы особенно подходят для пасущихся жвачных животных, так как они постепенно растворяют содержащийся в них ферроцианид в течение продолжительного времени (недели и месяцы). Чтобы обеспечить желаемое долговременное действие, компонентный состав болюса должен быть стандартизован, особенно в отношении постоянства удельного веса, благодаря которому болюс удерживается в рубце. Чтобы обеспечить нужный эффект, болюсы должны растворяться со скоростью по крайней мере 1 мг/кг живого веса в день. При применении этого метода к выпасаемым жвачным животным можно добиться снижения загрязнения молока и мяса в 2–5 раз. Более подробную информацию можно почерпнуть из работы [56].

Класс: А/В.

Метод 3: Ввести берлинскую лазурь в состав соли-лизунца (2,5% и более).

Пояснения: Берлинская лазурь может быть включена в состав брикетов соли для слизывания (соль-лизунец), которые оставляют в местах, доступных для домашних и пасущихся животных, находящихся на беспривязном содержании. Этот прием наиболее эффективен при низком содержании натрия в местных растительных кормах. После чернобыльской аварии он использовался в Скандинавских странах, но можно предположить, что в тропических странах он будет особенно эффективен. По вкусу соль-лизунец обычно привлекательна для животных, но большие концентрации берлинской лазури сокращают время жизни брикета. Применение лизунцов с содержанием 2,5% берлинской лазури дало возможность снизить уровень радиоцезия в овцах в среднем примерно на 50% [56].

Класс: А/В/С.

Метод 4: Добавить глинистые минералы или цеолиты в рацион животных.

Пояснения: Такие глинистые минералы, как бентонит, вермикулит, морденит, а также цеолиты (например, клиноптилолит) связывают радиоцезий в желудочно-кишечном тракте и снижают его усвоение. В странах бывшего СССР после чернобыльской аварии весьма эффективным средством для связывания цезия был признан гумалит — имеющаяся в продаже пищевая добавка. Он изготавливается на основе клиноптилолита с добавлением минералов и культуры дождевых червей, так что животные получают в его составе также витамины и микроэлементы.

Обзор химических соединений, которые можно использовать для связывания радиоцезия, содержится в работе [23]. Доза минеральных добавок 0,5 г/кг живого веса животного в день может дать снижение загрязнения примерно на 50%. Максимального снижения примерно в 5 раз можно добиться при дозах 1–2 г/кг живого веса в день. Различные виды глинистых минералов имеют разную способность к связыванию, и если большое стадо нуждается в применении минеральных добавок, то возникают трудности в поставках материала. Удобнее всего применять метод при стойловом содержании животных. Применение его для выпасаемого стада может быть затруднено или даже невозможно в условиях естественных пастбищ.

Класс: В.

7.5.3.6. Увеличить долю растительных волокон в рационе животных для снижения усвоения радиоцезия в ЖКТ

Метод: Давать животным больше грубых кормов, таких, как сено и силос, в особенности молочным коровам, имеющим в рационе большую долю концентратов.

Пояснения: Эффект от увеличения доли волокнистых кормов в рационе довольно слабо изучен. В работе [57] сделано предположение, что этот прием мог бы снизить уровень радиоцезия в молоке в два раза. Осуществимость этого метода зависит от наличия соответствующих грубых кормов, способности животных приспособиться к новому рациону [21] и от их продуктивности.

Класс: A/D.

7.5.4. Специальные контрмеры при загрязнении радиостронцием

Метаболизм стронция в большой степени регулируется присутствием его химического аналога, кальция, который содержится во всех биологических системах в гораздо больших концентрациях, чем стронций. В значительной мере степень поглощения радиостронция в ЖКТ определяется содержанием кальция в рационе. Кальций эффективнее проникает через биологические мембраны, чем стронций. В кишечнике отношение скоростей перехода кальция и стронция равно 5, в грудных железах — около 2. Таким образом, коэффициент перехода радиостронция в молоко в целом примерно в 10 раз меньше, чем кальция. Так же, как и кальций, радиостронций имеет сравнительно высокие коэффициенты усвоения в молодняке и в лактирующих животных. Усвоение будет еще выше при низком содержании кальция в кормах. Метаболизм радиостронция не регулируется собственным гомеостазом, но близко следует за гомеостатическими колебаниями кальция.

Радиостронций откладывается в костях, из которых он очень медленно выводится. Из организма радиостронций выводится преимущественно с фекалиями. С мочой выходит немного, но молоко служит хорошим транспортом при очищении организма от стронция. После одномоментного загрязнения пастбища концентрация радиостронция ($^{89/90}\text{Sr}$) в коровьем молоке достигает максимума через 3–4 дня. До 20% поступления ^{90}Sr с суточным рационом переходит в молоко коров, получающих зеленые корма с нормальным содержанием кальция. Медленное выведение $^{89/90}\text{Sr}$ из костей, если в них отложилось значительное количество радиостронция, может дать дополнительный вклад в уровень загрязнения молока.

Набор контрмер при загрязнении радиостронцием меньше, чем при загрязнении радиоцезием.

7.5.4.1. Обеспечить высокое содержание кальция в рационе для снижения содержания $^{89/90}\text{Sr}$ в молоке

Метод: Давать животным соли кальция или богатые кальцием натуральные корма.

Пояснения: Увеличение в 2–4 раза содержания кальция в рационе в 1,5–3 раза снижает уровень радиостронция в молоке в зависимости от начального содержания доступного кальция в корме. Имеются многочисленные и недорогие средства для добавления кальция в рацион. Согласно данным МСРЭ [43], добавки соединений кальция в рацион можно расположить в следующем порядке по степени снижения производимого действия: $\text{Ca}_3(\text{PO})_4 > \text{CaO} > \text{Ca}(\text{COO})_2 > \text{CaCO}_3 > \text{Ca}(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3)_2$. Кальций в составе зеленых кормов, по-видимому, более эффективен, чем в форме минеральных солей. Эту контрмеру следует применять с осторожностью, так как животные могут заболеть, если отношение Ca/P в кормах станет слишком высоким.

Класс: A.

7.5.4.2. Добавлять в рацион альгинат для снижения усвоения радиостронция в ЖКТ

Пояснения: Альгинаты снижают усвоение радиостронция как у однокамерных, так и у жвачных животных [58]. Например, в работе [22] было показано, что добавки альгината натрия в рацион молочных коров снижали поступление ^{90}Sr в молоко в 3–4 раза. На практике вязкость альгинатов (которые обычно извлекаются из морских водорослей, таких, как ламинарии) затрудняют их введение в серийно производимые корма. Животных часто трудно заставить есть эти корма, если содержание альгинатов в них больше 7% от веса рациона [59]. По этой причине использование альгинатов в настоящее время не может быть рекомендовано.

Класс: D.

7.6. КОНТРМЕРЫ В РЫБОЛОВСТВЕ И РЫБНОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ПРЕСНЫХ ВОДОЕМАХ

7.6.1. Введение

Загрязнение рыбы может происходить либо непосредственно от загрязненной воды или через потребление загрязненного корма и донных отложений. Загрязнение рыбной продукции многими радионуклидами вряд ли представляет проблему, потому что радионуклиды быстро оказываются связанными в донных отложениях или загрязнение ограничивается теми частями или органами рыб, которые редко употребляются в пищу.

Тем не менее, потребление пресноводной рыбы, загрязненной радиоцезием, может быть значимым источником накопления дозы радиации. После чернобыльской аварии, пресноводная рыба была признана одним из главных источников загрязнения пищи радиоцезием в районе отдельных групп населения в Швеции [60] и Норвегии [61]. В этих районах имеют место устойчиво высокие уровни загрязнения радиоцезием, прежде всего в озерах, имеющих водосборные бассейны на торфяных почвах.

Как и для продукции животноводства, доза облучения может быть ограничена с помощью эффективной системы мониторинга, которая гарантирует непревышение допустимых концентраций в рыбопродуктах. Для гамма-излучающих радионуклидов, таких, как радиоцезий, можно применять инструментальные методы контроля загрязнения улова перед его поступлением в продажу, хотя при большом числе участников лова можно ограничиться измерением пробы от каждого отдельного улова.

7.6.2. Практические контрмеры

Теоретически, контрмеры можно было бы применять на начальных стадиях получения продукции рыбного хозяйства на пресных водоемах. Однако, имеется очень мало публикаций, освещающих проблемы практического применения возможных контрмер в пресноводных экосистемах. Поэтому трудно дать количественную оценку эффективности многих из предложенных ниже приемов, большинство из которых основано на изучении поведения радиоцезия, хотя некоторые методы будут давать эффект и для других радионуклидов.

В целом, судя по отсутствию информации, кроме запрета на рыбную ловлю не существует других контрмер, которые можно было бы рекомендовать как практически осуществимые и экономически оправданные.

7.6.2.1. Запретить лов рыбы

Пояснения: Хотя часто это — единственная практическая мера по защите, она оказывается дорогостоящей и наносит социальный ущерб в районах, где рыба является

важной составляющей питания местного населения или основным продуктом местной экономики. Может потребоваться поставка продуктов питания взамен рыбы.

Класс: А.

7.6.2.2. Ограничить виды и количество рыбы, которая используется в пищу человеком

Пояснения: Ограничения в потреблении тех видов рыб, которые, вероятнее всего, будут наиболее сильно загрязнены, снизит поступление радионуклидов в организм, и, следовательно, внутреннюю дозу облучения. При этом под ограничение попадут, по-видимому, все виды хищных рыб и все илородные виды, которые в некоторых районах составляют все рыбные запасы; фактически это будет означать полный запрет на лов.

Класс: А.

7.6.2.3. Обработать рыбу для удаления сильно загрязненных органов

Пояснения: Обработка рыбы перед употреблением помогает избавиться от радионуклидов, которые концентрируются в отдельных органах; например, кобальт и цинк накапливаются в печени, а радиостронций — в костях. Этот прием не подходит для радиоцезия, который распределяется по всем мягким тканям, и для водных организмов, которые идут в пищу целиком. Для применения метода требуется квалифицированная рабочая сила и проведение некоторых измерений [62]. Более подробные сведения о переработке продуктов имеются в Разделе 8.

Класс: А.

7.6.2.4. Давать рыбе чистый гранулированный корм взамен загрязненного корма, которым обычно питается рыба

Метод: Регулярная подкормка рыбы чистым гранулированным кормом.

Пояснения: Так как загрязнение поступает в рыбу, в основном, через пищу [63, 64], замена натурального корма на чистый искусственный корм значительно снизит содержание радиоцезия в тканях. Этот прием легко осуществить в рыбоводных хозяйствах, где рыба обычно получает корм из рук человека, но в этой ситуации корм вряд ли будет загрязненным. Вряд ли этот метод найдет практическое применение в природных озерах и реках.

Класс: В/D.

7.6.2.5. Обработать воду и/или донные отложения для снижения уровня загрязнения водных трофических цепочек

Метод 1: Увеличение содержания калия и/или кальция в озере.

Пояснения: Снижение загрязнения пищевых цепочек путем дозированного внесения стабильного элемента дает ограниченный эффект, поскольку время пребывания радионуклидов в водной массе, в среднем, всего несколько недель [62]. (Этот метод может быть рассмотрен в случае хронического поступления радионуклидов в водную экосистему.) В зоне умеренного климата биологические периоды полувыведения радионуклидов из рыбы будут относительно большими (иногда более 100 дней [62]), так что применение этого вида контрмер должно осуществляться немедленно после радиоактивных выпадений, чтобы снизить возможное продолжительное загрязнение рыбы.

Метод 2: Осушение прудов и удаление верхнего загрязненного слоя донных отложений.

Пояснения: Удаление донных осадков — весьма дорогостоящее мероприятие. Толщина донных отложений со временем естественным образом растет по мере того, как осаждается взвешенный материал, при этом радионуклиды постепенно, обычно в течение 5–10 лет, выводятся из пищевых цепочек. Таким образом, прежде чем применять столь

радикальный прием, как удаление донных отложений, необходимо тщательно оценить его экономическую эффективность путем сравнения с затратами на другие мероприятия, такие, как ограничение лова рыбы.

Класс: D.

7.7. КОНТРМЕРЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

7.7.1. Введение

Основное содержание этого раздела построено на обзорном докладе [66], подготовленном на материалах рабочей группы REACT. Более детальные сведения даны в отдельных докладах этой рабочей группы [67, 68]; в последнем излагаются подходы к решению проблемы, которые были использованы в странах бывшего СССР после чернобыльской аварии [68]. В дополнение к этим работам, современные данные имеются в докладах, представленных на Семинаре по поведению радионуклидов в лесных экосистемах, организованном КЕС в Стокгольме (сентябрь 1992 г.); эти доклады опубликованы в специальном номере "Science of the Total Environment". Обсуждаемые в этом разделе контрмеры, возможно, в большей мере, чем в других разделах, предназначались исключительно для лесов умеренного пояса. Сомнительно, чтобы какие-либо из этих приемов были применимы в тропических лесах.

Полог леса может перехватывать значительную часть осаждаемых из атмосферы выпадений, особенно в случае сухого осаждения. Поскольку листья и стволы деревьев формируют вертикальные потоки дождевой воды, в случае выпадений с осадками вокруг стволов образуются локальные участки с повышенной плотностью загрязнения [67, 68]. Уровни загрязнения компонентов лесной экосистемы формируются под воздействием разнообразных факторов, поэтому биологические периоды полувыведения загрязнения из лесной растительности больше, чем в агросистемах. Во многих лесных экосистемах почвы имеют большое содержание гумуса в верхних горизонтах и, соответственно, высокую степень перехода радионуклидов в растения; при этом многолетние растения имеют тенденцию к удерживанию радионуклидов в органах, накапливающих питательные вещества. Лишайники, мхи и грибы, которые могут иметь высокие уровни загрязнения радиационным цезием, встречаются во многих лесных районах.

Как и для многих частично освоенных природных экосистем, имеется большое разнообразие типов леса в зависимости от типа почв, климата, орографии, видового состава деревьев и других представителей флоры и фауны, так что характеристики и величина радиоактивного загрязнения компонентов леса также будут изменяться в широких пределах. С другой стороны, помимо заготовки древесины, леса используются в самых разнообразных целях, в том числе для отдыха людей. При таком разнообразии условий выбор контрмер определяется конкретными условиями каждой лесной площади. Приведенные ниже меры включают в себя методы снижения доз облучения людей, использующих лес для своих целей, а также мероприятия, направленные на снижение уровней загрязнения лесной продукции и методы дезактивации.

Как и в других разделах, необходимо рассматривать не только степень снижения доз облучения, но также и социальные и экономические последствия применяемых мер, особенно в первый год после выпадений. Это особенно важно, поскольку некоторые контрмеры несут с собой радикальные перемены в традиционном лесопользовании, либо дорогостоящие восстановительные мероприятия. В действительности, общее негативное воздействие радиоактивного загрязнения на лес будет, скорее всего, незначительным, если не считать случаев экстремально сильного загрязнения леса. В то же время, те, кто работает в лесу, в особенности, если значительная доля их пищевого рациона приходится на лесные продукты, будут подвержены риску облучения. Например, по имеющимся оценкам, дозы облучения, полученные в 1990 г. работниками лесного хозяйства России до 3 раз превышали дозы, полученные другими категориями населения, проживающего в тех же районах. Таким образом, наиболее рациональный подход будет состоять в прекраще-

нии хозяйственной деятельности в лесу до того момента, пока процессы естественного самоочищения (смыв с поверхности растений и закрепление в почве) снизят потенциальную опасность радиологических последствий до приемлемого уровня [66].

Для лесных экосистем имеется широкий набор разнообразных контрмер. Опыт, накопленный после кыштымской и чернобыльской аварий ясно показывает, что наибольший эффект чаще всего дает широкое использование как агротехнических (включая химические и биологические средства), так и административных мер. Так как в лесных экосистемах невозможно провести полную дезактивацию, на первый план выдвигаются приемы более жесткого и эффективного управления, особенно в случае загрязнения долгоживущими радионуклидами. Выбор наиболее подходящих контрмер будет зависеть от основных путей облучения человека в конкретных условиях. Поэтому перечисленным ниже контрмерам трудно присвоить какие-то приоритеты.

7.7.2. Ограничительные контрмеры

7.7.2.1. Ограничить доступ в лес

Эффективность: Потенциально высокая, но зависит от строгости исполнения ограничений.

Пояснения: Ограничение доступа в загрязненные леса снижает радиационные дозы, получаемые как работниками лесного хозяйства, так и остальным населением. Такие ограничения могут быть введены сразу же после радиоактивных выпадений и на долгий срок, особенно в случае загрязнения долгоживущими радионуклидами. После введения ограничений необходимо проводить радиационный мониторинг для определения условий, когда ограничения могут быть смягчены. Может оказаться нелегким делом убедить население подчиняться этим ограничениям, в особенности тех, кто привык пользоваться лесом до его загрязнения.

Класс: А.

7.7.2.2. Предотвращать лесные пожары путем введения специальных ограничительных и административных мер

Пояснения: Защита от лесных пожаров относится к числу долгосрочных мер и имеет целью снижение вероятности вторичного загрязнения от поднятых в воздух радиоактивных аэрозолей. Эта мера особенно важна в сильно загрязненных районах, таких, как 30-километровая зона отселения вокруг чернобыльской АЭС. Противопожарные мероприятия требуют относительно небольших затрат.

Класс: А.

7.7.3. Методы дезактивации

7.7.3.1. Собрать и вывезти опад листьев и хвои

Метод: Листья и хвоя могут быть собраны путем сгребания вручную или с применением специальной техники.

Эффективность: От низкой до высокой, в зависимости от времени после выпадений, величины первоначального удержания оседающих радиоактивных веществ листьями и хвоей, времени года и погодных условий.

Пояснения: Сбор и удаление загрязненного опада листьев и хвои может служить эффективным средством дезактивации лесной подстилки, снижая тем самым мощность дозы внешнего облучения. Это мера дает эффект, если выпадения происходят непосредственно перед осенним листопадом. Из-за трудностей в сборе опада в больших массивах спелых древостоев и его последующего удаления, этот метод имеет практическую ценность только для дезактивации небольших площадей, таких, как городские парки, сады и приусадебные участки.

Класс: C/D.

7.7.3.2. Использовать дефолианты с последующим удалением опада

Метод: Имеется набор различных дефолиантов, эффективность которых в настоящее время проходит проверку [29].

Эффективность: Может быть от низкой до высокой, в зависимости от времени года.

Пояснения: Этот прием подобен вышеизложенному, за исключением того, что опад листьев/хвои вызывается искусственно. В настоящее время этот метод находится в стадии исследования и пока не может быть рекомендован. Скорее всего, он окажется дорогим, непригодным к применению для многих типов леса и имеющим возможные побочные токсические воздействия. Можно ожидать также, что подобное грубое вмешательство будет крайне негативно воспринято обществом. Одно из возможных достоинств метода состоит в предотвращении перехода радионуклидов в растения через поверхность листьев и хвои.

Класс: D.

7.7.3.3. Вырубить лес и убрать древесину

Метод: Использование обычной техники вырубki леса, но при сильном загрязнении срубленные деревья должны быть захоронены в специально вырытых траншеях.

Эффективность: Метод может быть эффективным только в сочетании с удалением верхнего слоя почвы, за исключением особых случаев.

Пояснения: Полная рубка и удаление срубленных деревьев в ранний период после аварии снижают первичное загрязнение в пораженном районе. Этот прием был использован в странах бывшего СССР после чернобыльской аварии для ликвидации “рыжего леса” [19]. Однако, это дорогостоящий метод, применение которого может привести к высоким дозам облучения участников работ. К другим недостаткам относится серьезная проблема удаления отходов и возможный тяжелый экологический ущерб, включая эрозию почвы. Этот прием имеет практическое значение на ограниченной площади и вряд ли применялся где-либо еще, кроме “рыжего леса”.

Класс: D.

7.7.3.4. Вспахать площадь вырубki перед лесовосстановительными работами

Эффективность: Может быть высокой на почвах с большой буферной емкостью.

Пояснения: Перепахивка после вырубki и перед посадкой леса снижает переход радионуклидов в растения за счет разбавления и в результате процессов физико-химической фиксации в почве. Хотя этот метод теоретически привлекателен, он обычно не имеет практического значения из-за физических ограничений, таких, как орография и возможная эрозия почвы. Вспашка может также увеличить минерализацию гумусных горизонтов в лесных почвах, что приводит к возрастанию подвижности радионуклидов в почвах с низкой буферной емкостью.

Класс: D.

7.7.3.5. Снять и удалить верхний слой почвы для дезактивации грунта под пологом леса

Эффективность: Очень высокая, может быть более 90%.

Пояснения: Как и для агросистем, теоретически возможно срезать сильно загрязненный верхний слой лесной почвы. Очевидно, однако, что эту работу будет гораздо труднее выполнить в условиях древостоя, где это приведет к повреждению корней деревьев, а удаление верхнего плодородного слоя в особенности повредит лесным почвам. Операция будет дорогостоящей и приведет к большим дозам облучения персонала, занятого удалением отходов. Большой объем образовавшихся радиоактивных отходов также является серьезным недостатком метода. По этим причинам метод можно рекомендо-

вать для применения только на небольших площадях, таких, как городские парки и приусадебные участки.

Класс: C/D.

7.7.3.6. Поливать загрязненные кроны детергентами с помощью авиации

Эффективность: Низкая, близкая к нулю.

Пояснения: Поливка загрязненных крон моющими средствами — краткосрочная мера на ранней стадии, которая, вероятно, может снизить начальное поверхностное загрязнение и риск вторичного загрязнения от ветрового подъема аэрозолей. Тем не менее, имеющиеся данные говорят о ее практической непригодности, неэффективности и высокой стоимости. Не рекомендуется.

Класс: D.

7.7.4. Использование химических веществ

7.7.4.1. Произвести химическую обработку почвы (известкование, удобрение и т.п.) для снижения перехода радионуклидов в лесные растения

Эффективность: Переменная, в зависимости от радионуклида и типа почвы.

Пояснения: Это долгосрочная контрмера, относительно простая, хотя ее применение в условиях леса обходится дороже, чем на обрабатываемых почвах. Возможны нежелательные побочные эффекты, как и в случае с агросистемами, см. Раздел 7.3. [38, 69]

Класс: A.

7.7.4.2. Обеспечить диких животных минеральной подкормкой с добавлением Cs-связывающих веществ для снижения загрязнения мяса дичи

Метод: Введение химических связывающих веществ радионуклидов (и стабильных аналогов) в состав специально приготовленных солей (соль-лизунец) или в растительную подкормку.

Эффективность: Весьма переменная, возможно снижение содержания ^{137}Cs в мясе дичи до 2–3 раз.

Пояснения: Метод недорог при использовании широко распространенных Cs-связывающих веществ. Снижение активности в дичи зависит от того, будут ли животные приходить и лизать соль-лизунец. Измерить эффективность трудно. Более подробные сведения можно найти в Разделе 7.5.3.6.

Класс: B/D.

7.7.5. Переработка лесного сырья

7.7.5.1. Перерабатывать древесное сырье в менее загрязненные вторичные продукты

Метод: Переработка сырой древесины в стройматериалы, бумагу, картон и химические продукты, такие, как спирт, деготь и скипидар.

Эффективность: Переменная, в зависимости от применяемой технологии переработки (см. табл. VIII). При производстве химических продуктов может быть достигнуто более чем 1000-кратное снижение содержания ^{137}Cs ; при производстве бумаги — 100-кратное.

Пояснения: Загрязненная древесина может быть переработана в относительно чистые продукты; некоторые примеры даны в табл. VIII. Для осуществления этого подхода могут потребоваться большие капиталовложения, если нет готовых производственных мощностей. Но этот подход оправдан с учетом большой социальной и экономической пользы. Могут возникнуть проблемы со сбытом продукции, удалением

ТАБЛИЦА VIII. ФАКТОРЫ ОЧИЩЕНИЯ (ФО) ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ ОТ ^{137}Cs ПРИ ЕГО ПЕРЕРАБОТКЕ.
(ФО — концентрация ^{137}Cs в сырой древесине/концентрация ^{137}Cs в продукте переработки) [70]

Сырье	Технология переработки продукта	Конечный товарный продукт	Фактор очищения для ^{137}Cs	Примечание
Бревна	Окоривание	Окоренная древесина	> 2	Оценка среднего ФО для всей массы бревна
Древесина	Химическая обработка	Спирт, декоть, скипидар и др.	> 1000	Оценки, основанные на косвенных данных
Щепа мягких пород	Целлюлозно-бумажное производство	Бумага и картон	50–100	Опытные данные шведских предприятий
Щепа твердых пород	Целлюлозно-бумажное производство	Бумага и картон	~ 50	

радиоактивных отходов производства и в связи с дополнительными дозовыми нагрузками на рабочих.

Класс: В.

7.7.5.2. *Использовать древесину на дрова*

Эффективность: Существенный положительный экономический эффект, который стоит принять во внимание.

Пояснения: Использование малопродуктивных загрязненных участков леса на заготовку дров — один из способов утилизации таких лесов. При этом, однако, возникает проблема удаления образовавшейся радиоактивной золы, в особенности при загрязнении древесины ^{137}Cs .

Класс: A/D.

7.7.6. Изменение лесопользования и ведения лесного хозяйства

7.7.6.1. *Изменить выбор и способы переработки лесных продуктов*

Метод: Прекратить сбор сильно загрязненных лесных продуктов, таких, как некоторые виды грибов, и применять подходящие методы переработки для снижения загрязнения готовых пищевых продуктов.

Эффективность: Потенциально высокая для групп населения, постоянно употребляющих в пищу лесные продукты.

Пояснения: Эта мера будет надежно работать при условии, что люди, которых она касается, получают соответствующую информацию об особенностях загрязнения различных видов растений и грибов. Наибольший эффект она дает, по-видимому, в грибные сезоны. Сведения по переработке продукции имеются в Разделе 8.

Класс: А.

7.7.6.2. *Изменить время охотничьего сезона для снижения загрязнения мяса дичи*

Метод: Обычно состоит в переносе охотничьего сезона с осени на весну.

Эффективность: В зависимости от сезонных вариаций в составе корма животных, загрязнение мяса радиоцезием может быть снижено в 2–3 раза.

Пояснения: Метод дает хороший эффект в случае большого урожая грибов осенью. Недопустим, в том числе по этическим соображениям, перенос охотничьего сезона на период года, когда животные выводят потомство. Для получения более подробных сведений см. Раздел 7.4.

Класс: А.

7.7.6.3. Изменить использование лесных ресурсов

Эффективность: Потенциально высокий экологический и экономический эффект.

Пояснения: Использование лесных ресурсов можно изменить от лесозаготовок до закладки лесных питомников, из которых саженцы будут поставляться в менее загрязненные районы. Этот прием относится к категории средне- и долгосрочных контрмер, рекомендованных для районов со средними и низкими уровнями загрязнения (например, менее 0,6 ТБк/км² ¹³⁷Cs). Такое изменение вида лесопользования дает возможность непрерывного хозяйственного и экологического использования загрязненных земель.

Класс: А/В.

7.7.6.4. Осуществить залесение неиспользуемых земель и реконструкцию низкопродуктивных лесонасаждений

Эффективность: Переменная, зависит от конкретных изменений вида лесопользования.

Пояснения: Залесение неиспользуемых земель и реконструкция низкопродуктивных лесонасаждений дает возможность получать конкурентноспособную товарную продукцию лесного хозяйства на брошенных сельскохозяйственных землях. Требуются большие начальные капиталовложения при том, что доход можно ожидать не ранее, чем через несколько десятилетий.

Класс: А/В.

8. ВЫВЕДЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И КУЛИНАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

8.1. ВВЕДЕНИЕ

Изложенные в этом разделе сведения взяты, в основном, из доклада [71], подготовленного в рамках проекта VAMP МАГАТЭ и из следующего за ним “Справочника МАГАТЭ для значений параметров, используемых для прогноза миграции радионуклидов в природных средах средних широт” [45]. Эти методы можно применять как в условиях личного хозяйства, так и в пищевой промышленности. Консервация продуктов, загрязненных короткоживущими радионуклидами, путем замораживания и изготовления консервов или сухопродуктов дает возможность сохранить продовольствие в течение времени, достаточного для распада радиоактивности.

Многие из обычно применяемых на практике способов первичной обработки и технологической переработки продуктов, а также способов приготовления пищи могут обеспечить значительное снижение загрязнения пищевых продуктов и, следовательно, внутренней дозы облучения. Однако обезвоживание продуктов приводит к увеличению их удельной активности, хотя прежний уровень загрязнения продукта будет восстановлен при соответствующей кулинарной обработке [72].

Можно выделить три категории приемов обработки пищевого сырья: (i) очистка поверхности путем мытья, ополаскивания и применения щеток; (ii) избирательное удаление наиболее загрязненных частей продукта, например, снятие кожуры, удаление листьев и костей; (iii) глубокая переработка такими методами, как вымачивание, маринование, изготовление сыров и производство растительного масла. Необходимо, однако, признать, что мелкооптовые торговцы вряд ли будут закупать загрязненные продукты, если

предполагается их дальнейшая дезактивация до безопасных уровней путем переработки в домашних условиях.

Для выражения количественного результата технологической обработки продукта в этом разделе используются два термина:

- коэффициент удержания активности в продукте, F_r , который определяется как доля от первоначальной активности радионуклида, остающейся в продукте после его обработки;
- эффективный выход продукта, P_e , определяемый как вес готового продукта, деленный на первоначальный вес пищевого сырья. Величина P_e важна для молочных продуктов и учитывает технологический выход каждого продукта.

Чтобы избежать неправильного толкования, эти термины иллюстрируются данными, относящимися к радиоцезию и радиостронцию. Значение F_r , равное 0,4 для радиоцезия в вареном мясе указывает на то, что только 40% от всей активности радиоцезия в сыром мясе остается в вареном мясе после кипячения, а 60% переходит в отвар (табл. IX). При производстве молочных продуктов следует пользоваться значениями фактора P_e (табл. X). Например, величина коэффициента $F_r = 0,61$ для козьего сыра означает, что 39% радиостронция выводится из продукта при переработке козьего молока в сыр, но, с учетом того, что выход сыра составляет 12% от массы молока, концентрация радиостронция в козьем сыре будет $(0,61/0,12 = 5)$ в 5 раз больше, чем его исходная концентрация в молоке. Таким образом, чтобы оценить суммарный эффект от переработки, необходимо разделить значение F_r каждого радионуклида на соответствующее значение P_e . Для таких продуктов, как тесто и рис, которые поглощают воду при приготовлении, эффект будет обратным.

Значения F_r для всех животноводческих продуктов обусловлены однородным загрязнением сырой массы. Все данные, относящиеся к растительным продуктам, относятся к характеристикам общего загрязнения, в основном, за счет корневого поступления и последующего перераспределения в органах растений, хотя для овощей представлены также значения F_r , относящиеся к "поверхностному загрязнению". Поверхностное загрязнение необходимо учитывать в тех случаях, когда наружные поверхности растений непосредственно загрязняются при радиоактивных выпадениях или при ветровом подъеме почвенной пыли и эти загрязненные части растений не отделяются от основной массы при уборке урожая.

ТАБЛИЦА IX. КОЭФФИЦИЕНТ УДЕРЖАНИЯ F_r И ЭФФЕКТИВНЫЙ ВЫХОД ПРОДУКТА P_e ДЛЯ МЯСА И РЫБЫ

Исходный продукт	Способ переработки	Sr	Cs	I	Ru	P_e
Мясо млекопитающих (коровы, свиньи, овцы, олени, кролики и т. п.)	Варка мяса	<u>0,5</u> 0,4–0,9	<u>0,4</u> 0,2–0,7	0,6	0,3	0,7
	Варка костей	0,999	0,2–0,3	0,98	0,7	1,0
	Жаренье	0,8	0,5–0,8			0,4–0,7
	Тушение в МВП		0,4–0,5			
	Соление в рассоле		0,1–0,7			0,4–0,7
	Соление сухое		0,8			0,9
	Маринование		0,1–0,6			
	Производство колбас и сосисок		0,4–1,0			
Мясо птицы	Варка	0,5				
Рыба	Варка	0,9	<u>0,7</u> 0,2–0,9	0,5–0,9		
	Жаренье		0,8–0,9	0,7–0,8		

Примечание: подчеркнуты наиболее достоверные оценки.

ТАБЛИЦА X. КОЭФФИЦИЕНТ УДЕРЖАНИЯ F_r И ЭФФЕКТИВНЫЙ ВЫХОД ПРОДУКТА P_e ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ [71]

Продукт	Sr	Cs	I	P_e
Сливки	<u>0,07</u> 0,04–0,25	0,05 0,03–0,25	0,06–0,19	0,08 0,03–0,24
Пахта	<u>0,93</u> 0,75–0,96	<u>0,95</u> 0,85–0,99	0,81–0,94	<u>0,92</u> 0,76–0,97
Масло	<u>0,006</u> 0,0025–0,012	<u>0,01</u> 0,0003–0,16	0,035–0,01	<u>0,04</u> 0,03–0,05
Жирное молоко	<u>0,06</u> 0,03–0,07	<u>0,05</u> 0,02–0,13	0,05–0,13	<u>0,04</u> 0,03–0,14
Топленое масло	0,001–0,002	<u>0,00</u> 0,00–0,00	0,02	<u>0,04</u> 0,04–0,04
Молочный порошок	1,00	1,00	1,00	0,12
Сыр ^a козий	0,61	0,07–0,15	0,08–0,14	<u>0,12</u> 0,08–0,17
Сычужное сбраживание	0,025–0,80	<u>0,07</u> 0,05–0,23	<u>0,20</u> 0,11–0,53	<u>0,12</u> 0,08–0,18
Молочно-кислое сбраживание	0,04–0,08	0,11–0,12	0,22–0,27	<u>0,10</u> 0,08–0,12
Творог при сычужном сбраживании	0,07–0,17	0,01–0,05		
Творог при молочно- кислом сбраживании	0,22			
Йогурт		0,34		
Сыворотка ^a сычужная	0,20–0,80 0,70–0,90	0,73–0,96 0,75–0,90	0,47–0,89 0,60–0,73	<u>0,90</u> 0,70–0,94 0,82
Казеин ^a сычужный	0,10–0,85 0,05–0,08	0,01–0,08 0,01–0,04	0,02–0,12 0,03–0,04	0,03–0,06 0,01–0,06
Казеиновая сыворотка ^a сычужная	0,08–0,16 0,67–0,86	0,77–0,83 0,83–0,84	0,69–0,82 0,78–0,80	<u>0,76</u> 0,73–0,79 <u>0,78</u> 0,75–0,79
Молоко ^b (ионообменная очистка)	<u>0,1</u>	<u>0,01</u>	<u>0,1</u>	

Примечание: подчеркнуты наиболее достоверные оценки.

^a Для технологий сычужного и кислого сбраживания значения коэффициентов приводятся по отдельности.

^b Дезактивация молока ионообменными методами в производственных условиях.

Необходимо подчеркнуть, что все значения F_r , относящиеся к экстрактивным способам обработки, таким, как кипячение, поджаривание в масле и т.п., должны приниматься в расчет только в том случае, когда экстрагирующая жидкость идет в отход и не используется для приготовления других продуктов. Точно так же следует помнить, что радионуклиды, выведенные из пищевых продуктов при их обработке, могут затем попасть в другие продукты, используемые, например, на корм скоту. Поэтому при оценке общего результата обработки продукта следует учитывать побочные продукты и отходы.

Эффект от обработки загрязненного пищевого сырья зависит от радионуклида, вида продукта и метода обработки. Обработка способна уменьшить радиоактивность во многих видах продовольствия, по крайней мере, наполовину и поэтому относится к числу важных и простых способов защиты от загрязнения. Применение такого рода контрмер легче поддается регулированию в условиях массового производства. Это, однако, не снижает пользы от рекомендаций по выбору и способам домашнего приготовления продуктов. В Норвегии после чернойбыльской аварии, такие рекомендации имели результатом значительные и устойчивые изменения в наборе привычных продуктов питания и способов приготовления пищи у критических групп населения [61].

8.2. ДЕЙСТВИЕ ПЕРЕРАБОТКИ И ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Ниже приводятся подробные данные о том, какое действие оказывает переработка и приготовление продуктов питания из основных видов продовольствия.

8.2.1. Молочные продукты

Имеется большой объем данных о поведении радиоцезия, радиостронция и радио-йода при переработке молока (табл. X), но по другим радионуклидам данных мало. При этом F_r представляет собой долю активности радионуклида, которая остается в продукте переработки. Тем не менее, в обычных условиях почти все побочные продукты переработки употребляются в пищу, так что лишь небольшая доля радиоактивности выводится из молочного рациона населения при переработке молока. При том, что после аварии обычные схемы переработки молока могут быть целенаправленно перестроены для снижения потребления, сохранение полноценного рациона питания для населения остается важной задачей, и этим не следует пренебрегать. В частности, интенсивные меры по выведению радиостронция из молока могут привести к дефициту кальция в рационе.

Распределение радионуклидов между различными продуктами переработки зависит от технологического выхода каждого продукта. Например, повышение выхода сливок приведет к соответствующему повышению значения F_r для сливок, если повышенный выход не повлияет на концентрацию радионуклида в сливках.

Как видно из содержания табл. X, все три радионуклида имеют тенденцию оставаться в водной фракции молока. При этом, с жирами связывается сравнительно больше радиойода, а стронций и йод лучше переходят в сыр.

Загрязненное молоко не следует перерабатывать в молочный порошок, кроме случаев загрязнения короткоживущими радионуклидами, которые могут распасться за время хранения (например, ^{131}I). В любом случае, высушивание не выводит радионуклиды из продукта.

Соли радиоцезия имеют тенденцию оставаться в водной фазе, так что его концентрация в масле, сливках и сыре сравнительно малы. Перестройка молочного производства на изготовление сортов сыра, которые, по имеющимся данным, будут иметь самые низкие концентрации радиоцезия, является одной из самых эффективных ответных мер при загрязнении молока. Заметным исключением будет козий сыр, который изготавливается из молочной сыворотки с относительно высоким содержанием радиоцезия [73]. Этого загрязнения можно избежать, если использовать деминерализованную сыворотку, поскольку при деминерализации цезий из нее выводится.

Способ сбраживания, как было показано, оказывает заметное влияние на переход радиостронция в сыр. При использовании сычужной закваски значение F_r для радиостронция предсказать невозможно, но переход его в сыр часто бывает велик. Показано, что при молочно-кислом сбраживании переход радиостронция в сыр гораздо меньше. Для всех радионуклидов вариации F_r при производстве сыра способом молочно-кислого сбраживания будут меньше, чем при использовании сычужной закваски.

8.2.2. Фрукты, овощи и крупы

Действие процессов переработки на загрязнение овощей и фруктов весьма разнообразно. В табл. XI приведены данные о снижении общего радиоактивного загрязнения, которого можно достичь при различных способах обработки; данные о снижении только поверхностного загрязнения содержатся в табл. XII. При анализе этих данных важно понимать различие между загрязнением растений при осаждении радиоактивных веществ на поверхность и при корневом поглощении.

Для очищения поверхности фруктов и овощей (в том числе клубней и корнеплодов) от внешнего загрязнения, применяются мытье, очистка и снятие кожуры или шелухи, т.е. простые, общедоступные и эффективные меры снижения концентраций радиоактивности.

За исключением свеклы, технологическая переработка корнеплодов незначительно снижает их загрязнение (табл. XIII). Очистка кожуры может быть эффективным средством удаления радиоактивности, связанной с прилипшими к коже частицами почвы.

Концентрация радиоцезия в некоторых видах грибов может быть особенно велика и оставаться высокой в течение долгого времени после выпадений. С другой стороны,

ТАБЛИЦА XI. КОЭФФИЦИЕНТ УДЕРЖАНИЯ F_r И ЭФФЕКТИВНЫЙ ВЫХОД ПРОДУКТА P_c ПРИ ОБРАБОТКЕ ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ. ДАННЫЕ ОТНОСЯТСЯ К ОБЩЕМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ ПРОДУКТА [71]

Продукты	Метод обработки	St	Cs	Другие нуклиды	P_c
Шпинат	Промывка	0,4–1,0	0,6	Co: 0,9	1,0
	Промывка и бланширование	0,4–1,0	0,5–0,6		0,8
	Ополаскивание	0,9	1,0		0,7
	Консервирование	0,5	0,2		0,7
	Замораживание	1,0			0,7
Салат	Удаление несъедобных частей		0,5		0,7
	Бланширование	0,3–0,9	0,1–0,6		0,5
Капуста	Маринование		0,9	Ru: 0,5	0,9
	Промывка	0,3	0,9		1,0
	Промывка и бланширование	0,4–1,0	0,1–1,0		0,7
	Ополаскивание	0,8			0,7
	Замораживание	0,2–0,9	0,7		0,7
	Консервирование	0,4	0,2		0,7
Цветная капуста	Очистка		0,5		0,7
Бобы	Промывка	0,1			1,0
	Бланширование	0,3–1,0	0,6–0,9		0,9
	Консервирование	0,3–0,8	0,4–1,0		
	Фротация	0,4–0,6	1,0		
	Соление	0,6	1,0		
Помидоры	Промывка	0,7			1,0
	Очистка от кожуры	0,7			0,9
	Консервирование	0,8			
	Тушение	0,5			0,5
Лук	Очистка, промывка, кипячение	0,5			
Грибы	Варка	0,7–0,9	0,2–0,5		0,6
	Варка в 2% растворе соли	0,2			
	Консервирование	0,5			
	Обваривание	0,1–0,4			
	Вымачивание сухих грибов	0,1–0,2			
	Обваривание и соление	0,00			
Огурцы	Соление, маринование		0,15		
	Консервирование	0,35	0,06		
Персики	Очистка	0,5			0,9
	Консервирование	0,5			
	Щелочная очистка	0,09	0,03		
Клубника	Ополаскивание	0,7	0,6		1,0
Ягоды	Джем и муссы		0,6–0,8		0,6–0,8
	Ополаскивание		0,8		

основная часть активности радиоцезия может быть выведена из грибов при варке, обваривании кипятком и вымачивании сушеных грибов.

Значения F_r для крупяных изделий обычно ниже 0,5 (табл. XIV). При этом, как и для молочных продуктов, полный эффект от переработки зерна в крупу будет зависеть от технологического выхода продукта.

ТАБЛИЦА XII. КОЭФФИЦИЕНТ УДЕРЖАНИЯ F , И ЭФФЕКТИВНЫЙ ВЫХОД ПРОДУКТА P_c ПРИ ОБРАБОТКЕ ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ. ДАННЫЕ ОТНОСЯТСЯ ТОЛЬКО К ПОВЕРХНОСТНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ ПРОДУКТА [71]

Продукты	Метод обработки	Sr	Cs	I	Другие нуклиды	P_c
Шпинат	Промывка	0,2	0,2–0,9	0,07–0,8	Ru: 0,4–0,8	1,0
	Промывка и бланширование	0,4–0,7	0,2–0,9	0,6–0,7	Ru: 0,5–0,8	0,8
	Ополаскивание			0,4		
Салат	Промывка		0,2–1,0	0,1–0,5	Ru: 0,2	1,0
	Удаление несъедобных частей		0,1–0,4	0,1–0,4	Ru: 0,01–0,3	0,7
Капуста	Удаление несъедобных частей		0,9	0,5	Ru: 0,7–1,0	0,8
	Промывка	0,07	0,09	0,4		1,0
	Промывка и бланширование	0,3	0,2–0,7			0,7
	Ополаскивание			0,2–0,5		
Цветная капуста	Очищение		0,05–0,2	0,03	Ru: 0,02	0,7
Бобы	Промывка					1,0
	Бланширование	0,3	0,3	0,7		0,9
	Фротация	0,4	0,4	0,2		
	Соление	0,4	0,4			
Помидоры	Промывка			0,5		1,0
	Варка			0,2		0,7
Лук	Удаление несъедобных частей		0,2	0,2	Ru: 0,2	0,9
	Промывка		0,3	0,2		1,0
Грибы	Варка в 2% растворе соли		0,3			
Ягоды	Ополаскивание		0,8–0,9		Ru: 0,8–1,0	
	Джемы и муссы				Ru: 0,7	0,6–0,8
	Варка		0,3–0,5	0,2	Te: 0,3–0,7 Ba: 0,6–0,9	

8.2.3. Мясо и рыба

В табл. XIII приведены данные по действию обработки на содержание радионуклидов в мясных и рыбных продуктах. По-видимому, вид (происхождение) мяса не влияет на эффект его очищения при обработке. Обжаривание на закрытом и открытом огне и сухая обработка мяса мало влияют на содержание в нем радиоцезия, в то время как при варке, солении, мариновании, а также при изготовлении колбас и ветчин радиоцезий эффективно удаляется из продукта.

При загрязнении туши радиостронцием следует избегать механических способов отделения костей, так как это может привести к дополнительному загрязнению продукта радиостронцием [74].

ТАБЛИЦА XIII. КОЭФФИЦИЕНТ УДЕРЖАНИЯ F_r И ЭФФЕКТИВНЫЙ ВЫХОД ПРОДУКТА P_c ДЛЯ КАРТОФЕЛЯ И КОРНЕПЛОДОВ [71]

Исходный продукт	Метод обработки	Sr	Cs	Другие нуклиды	P_c
Картофель	Варка с кожурой	0,9–1,0	0,8–0,9	Po: 0,4–0,7	0,9
	Очистка кожуры	0,5–0,9	0,6–0,8	Po: 0,3–0,5 Pu, Am: 0,1–1,0	0,8
	Очистка и варка	0,7–0,8	0,6		0,8
	Жаренье	0,6			0,6
	Варка неочищенных клубней в МВП		0,8		0,8
	Варка очищенных клубней в МВП		1,0		0,6
	Консервирование	0,7	1,0		0,6
	Дезактивация	0,5	0,05–0,2	Ru: 0,5	
Морковь	Очистка скребком, промывка, варка	0,8			0,8
	Снятие кожуры	0,7	0,5	Ru, Am: 0,4	0,8
	Приготовление с кожурой		0,5–0,8		0,8–0,9
	Тушение неочищенной моркови в МВП		0,7		0,8
	Тушение очищенной моркови в МВП		0,5		0,7
Свекла	Снятие кожуры	0,8	0,4–0,7	Pu, Am: 0,45	0,8
	Приготовление неочищенной свеклы		0,3–0,7		0,9
	Приготовление очищенной свеклы		0,3		0,8
	Тушение неочищенной свеклы в МВП		0,4		0,75
	Тушение очищенной свеклы в МВП		0,3		0,7
Пастернак	Снятие кожуры	0,7	0,6	Pu: 0,3	
Брюква	Снятие кожуры	0,65	0,6	Pu: 0,7	

ТАБЛИЦА XIV. КОЭФФИЦИЕНТ УДЕРЖАНИЯ F_r И ЭФФЕКТИВНЫЙ ВЫХОД ПРОДУКТА P_c ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР [71]

Исходный продукт	Способ переработки	Sr	Cs	Pu, Am	P_c
Зерно пшеницы	Помол в белую муку	0,09–0,5	0,2–0,6	0,1–0,2	0,7
	Помол в темную муку	0,1–0,2	0,05–0,1		0,05–0,1
	Помол в манную крупу		0,15–0,5		0,2–0,3
	Помол в отруби	0,6–0,9	0,5–0,6		0,1–0,2
	Приготовление блюд из проросшего зерна		0,9		1,8
	Дробление или изготовление хлопьев		0,1–0,15		0,9–0,95
Зерно твердых сортов пшеницы	Помол в муку		0,1–0,6		0,08–0,8
	Помол в крупу		0,3–0,4		0,6–0,7
	Помол в отруби		0,4–0,5		0,2
Зерно ржи	Помол в белую муку	0,6	0,3–0,6	0,2	0,6–0,8
	Помол в темную муку		0,2		0,1
	Помол в отруби		0,35–0,7		0,15–0,4
	Приготовление блюд из проросшего зерна ржи		0,8–0,9		1,9–2,4
Зерно ячменя	Помол в белую муку	0,5	0,2–0,6	0,1–0,2	0,6–0,8
	Помол в манную крупу		0,35		0,1
	Помол в отруби		0,4		0,4
Зерно овса	Помол в белую муку	0,3	0,4	0,4	0,4
Тесто	Выпечка		0,8–0,9		2,2

Часть III

ОРГАНИЗАЦИЯ ОТВЕТНЫХ МЕР

9. ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение контрмер в сельском хозяйстве является частью национальных планов действий в случае радиационной аварии. Органы управления, наука и сельскохозяйственное производство имеют свои планы мероприятий, в которых можно выделить следующие организационные уровни при проектировании и осуществлении контрмер:

- центральное правительство и местная администрация;
- государственные и частные научные организации;
- консультативные органы в сельском хозяйстве;
- пищевая промышленность;
- сельскохозяйственные общины.

Ввиду того, что радиоактивное загрязнение окружающей среды может иметь самые различные последствия, центральное правительство должно создать структуры, ответственные за осуществление ответных мероприятий. По всей видимости, эти структуры должны иметь в своем составе подразделения, занимающиеся вопросами сельского хозяйства, контроля качества продуктов, здравоохранения, торговли, финансов и правового регулирования.

Конкретные задачи местной администрации будут зависеть от тех полномочий, которыми она наделена в каждой стране. Заметим только, что во многих случаях местные власти могут играть ключевую роль в непосредственном осуществлении контрмер. Поскольку большинство представителей местной администрации не имеют необходимой подготовки в вопросах сельского хозяйства и науки, должно быть налажено тесное сотрудничество с соответствующими органами управления и специалистами. Из этого следует также, что функции местной администрации должны быть, по возможности, четко и конкретно определены.

Важно сознавать, что кадры, на которые возложено выполнение мероприятий, изложенных ниже в Разделах 10.1, 10.2, 10.3 и 11, являются жизненно важным национальным достоянием и должны поддерживаться в состоянии постоянной готовности.

Обсуждаемые здесь предметы прямо не относятся к работникам сельского хозяйства. Консультативные органы, действующие как на индивидуальной (ветеринары, агрономы и т.п.), так и на корпоративной (комитеты, земельные советы и т.п.) основе должны играть роль связующего звена между администрацией и фермерами. Они должны активно участвовать в разработке инструкций и рекомендаций по введению контрмер, распространять их среди фермеров и обеспечивать программы обучения и подготовки специалистов преподавателями ведущих дисциплин.

Пищевая промышленность должна участвовать в мероприятиях по снижению загрязнения путем переработки пищевого сырья. В частности, специалисты по переработке могли бы внести большой вклад в решение проблемы путем предоставления выбора возможных приемов утилизации загрязненных продуктов. Их участие было бы также полезным для оценки транспортных возможностей.

10. ГОТОВНОСТЬ К ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ

10.1. СОЗДАНИЕ И ПОДДЕРЖАНИЕ ГОТОВНОСТИ СТРУКТУР ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ

Как правило, любое правительство имеет механизм для решения проблем, возникающих при аварийном загрязнении природной среды, который обычно создается в составе основных ведомств (таких, как министерства сельского хозяйства, здравоохранения и др.). Важным условием является обеспечение взаимодействия между подразделениями, относящимися к различным ведомствам, с тем, чтобы при выполнении собственных ведомственных задач их действия оставались в русле единой политики.

Система должна быть создана на постоянной основе и регулярно инспектироваться как на уровне отдельных подразделений, так и на национальном уровне для поддержания готовности к ответным мерам как в предаварийный период и в период раннего предупреждения, так и в периоды, следующие за появлением радиоактивного загрязнения.

Функция администрации состоит в разработке и развертывании программы чрезвычайных мер. При этом следует рассмотреть следующие основные задачи:

- подготовить чрезвычайный план действий и контрмер;
- обеспечить необходимую связь и координацию между участвующими организациями;
- обеспечить необходимую оперативность в развертывании систем мониторинга и оценки обстановки;
- обеспечить подготовку необходимой для работы базы научных и технологических знаний;
- обучить управленческие и профессиональные кадры и подготовить их к действиям в чрезвычайных условиях;
- обеспечить средствами связи передачу экстренной информации фермерам, производителям продовольствия и всему обществу;
- установить информационную связь с соседними государствами, действующими международными организациями/институтами и средствами массовой информации;
- создать базу данных об источниках продовольственного снабжения;
- разработать там, где это возможно, базы данных с именами и адресами всех фермеров и сведениями о производимой ими продукции.

10.2. ПЛАНЫ НА СЛУЧАЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Должны существовать хорошо обоснованные планы, к которым административный аппарат мог бы уверенно обратиться при возникновении чрезвычайной ситуации. Каждый работник должен иметь ясное представление о круге своих обязанностей и ответственности, так, чтобы он/она знали, что они должны делать и от кого получать директивы. Следующие основные положения должны быть отражены в планах.

- Исполнительные структуры должны находиться в тесном контакте с органами, занимающимися разработкой политики и планированием.
- Уровни вмешательства и соответствующие им оперативные уровни вмешательства должны быть заранее установлены и действовать в начальной и последующих фазах развития аварийной ситуации. Эти уровни лежат в основе разработки контрмер.
- Необходимо иметь данные о стоимости и эффективности различных контрмер и их правильном поэтапном применении. Вместе с системой уровней вмешательства и оперативных уровней, эти данные составляют основу национального руководства по контрмерам.
- Необходимо установить механизм введения контрмер на уровне отдельных хозяйств через соответствующие исполнительные структуры. Возможно, это будет специально созданная служба, но предпочтительнее использовать уже существующие структуры, такие, как консультативные комитеты/советы.
- Следует иметь в наличии планы и технические средства контроля эффективности проводимых контрмер, в том числе приборы для измерения загрязнения почвы и растений, а также прижизненного измерения загрязнения животных и планы контроля загрязнения продукции пищевой промышленности.

Следует предусмотреть создание запасов животных кормов и химикатов, например, берлинской лазури, для снижения перехода радионуклидов по пищевым цепочкам. Вряд ли это будут делать сами фермеры и сомнительно, чтобы имеющихся в стране обычных запасов хватило в случае аварии.

Объем подготовительных работ будет зависеть, в основном, от ожидаемой вероятности загрязнения региона в случае радиационной аварии. Полномасштабные программы

предупредительных мер оправданы в районах, прилегающих к потенциально опасным ядерным объектам (подобным атомным электростанциям), в то время как в удаленных районах с низкой плотностью населения приемлемые затраты на подобные приготовления будут ниже.

10.3. МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Ученые должны оказывать содействие администрации в обучении и подготовке персонала и консультативную помощь, в том числе, по мониторингу загрязнения сельскохозяйственной среды. В идеале, основные задачи научной поддержки состоят в том, чтобы:

- оказать помощь в разработке чрезвычайных планов ответных мероприятий на случай возможного широкомасштабного загрязнения окружающей среды;
- разработать и осуществить программы по обучению и подготовке научного и управленческого персонала и по повышению уровня знаний среди сельского населения и общества в целом;
- создать радиоаналитические лаборатории, оснащенные стандартным оборудованием и методиками и укомплектованные обученным персоналом, имеющими метрологический сертификат качества измерений и налаженные связи с другими лабораториями и административными центрами (для получения аналитических методик, требований к пробоотбору, а также для обмена результатами анализов). По-видимому, нет необходимости и возможности проводить все эти мероприятия во всех регионах (например, не всем нужно разрабатывать модели, пригодные для каких-то особых местных условий);
- подготовить все необходимое для мониторинга объектов сельскохозяйственной среды и продуктов, который может выполняться как в обычном режиме, так и в случае чрезвычайной ситуации;
- подготовить базу данных мониторинга;
- подготовить и вести базу знаний по контрмерам;
- разработать программы контрмер для сельскохозяйственных районов вокруг существующих и проектируемых ядерных объектов;
- подобрать современные модели расчета дозы, специально адаптированные для местных (региональных) природных условий; эти модели должны также учитывать действие контрмер.
- по мере возможности, следует создать банк почвенных и растительных проб для сравнения с фоновыми характеристиками загрязнения в случае ядерной аварии;
- подготовить и вести банк необходимой информации по сельскохозяйственному производству, типам почв и климату;
- подготовить и вести базу данных по радиозоологическим параметрам, таким как коэффициенты перехода радионуклидов по пищевым цепочкам;
- отобрать или разработать модели миграции радионуклидов для конкретных местных условий.

10.4. ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ

Должна быть создана ясная правовая основа действий по вмешательству в случае аварии. Верховенство законов по качеству продуктов питания и защите прав потребителей должно быть достаточно всеобъемлющим, чтобы не возникало необходимости спешно создавать новые законы сразу же после аварии.

Как было отмечено выше, следует заранее установить численные значения предельно-допустимых уровней загрязнения пищевых продуктов. Эти ограничения могут быть сформулированы на основе принятых на международном уровне рекомендаций Комиссии по продовольствию (ФАО) [6] для продуктов, участвующих в международном торговом обмене. Возможно, следует пересматривать установленные уровни в течение

заранее определенного периода времени (например, 1 или 3 месяца) с учетом конкретных условий каждой аварии.

Должны быть рассмотрены правовые аспекты, непосредственно относящиеся к контрмерам в сельском хозяйстве, в том числе:

- любые правовые ограничения в применении контрмер;
- необходимость получения разрешения на применение химических веществ, планируемых для мелиорации почв или в качестве кормовых добавок (например, берлинская лазурь);
- может потребоваться правовое обоснование для создания запасов чистых кормов, химикалий и т.п.;
- правовая основа для компенсации потерь сельскохозяйственного производства в результате аварийного загрязнения сельскохозяйственных угодий;
- обязательства по возмещению ущерба юридического лица, ответственного за аварию.

10.5. РЕЗЕРВНЫЕ ФОНДЫ И РЕСУРСЫ

Практическая любая программа контрмер нуждается в финансовом и материальном обеспечении, поэтому следует предусмотреть учреждение специальных чрезвычайных фондов и резервов (продовольствия, кормов для скота, химикалий, специальной техники).

Возможные источники финансирования включают:

- бюджетные отчисления на случай стихийных бедствий и катастроф;
- иски о возмещении ущерба к юридическому лицу, ответственному за аварию;
- государственные и международные взносы в фонд помощи.

Вероятнее всего, только первый из этих источников будет иметь реальные средства для финансирования непосредственно после аварии.

11. ОТВЕТНЫЕ МЕРЫ

11.1. ПЕРИОД РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ

На удалении более 500 км от места выброса начало выпадений можно ожидать спустя период время от нескольких часов до нескольких дней после события. Иногда поступает информация об аварии, которая еще находится в стадии развития и отсутствуют оценки ожидаемых уровней загрязнения за пределами площадки. В таких случаях может оставаться достаточно времени для принятия предупредительных мер.

11.1.1. Задачи администрации

Планы на случай чрезвычайных ситуаций должны включать следующие действия:

- (a) приступить к организации ответных мер в случае аварийной ситуации;
- (b) ввести в действие и проверить системы связи, включая международные каналы;
- (c) постоянно информировать общественность (в особенности работников сельского хозяйства) в полном объеме об ожидаемом развитии событий и о действиях, которые могут быть предприняты для предохранения продовольствия от загрязнения;
- (d) приступить к разработке планов контрмер, на промежуточной и поздней фазах аварийной ситуации, соответствующих ожидаемому загрязнению.

Все действия администрации на этой и последующей фазах должны доводиться до сведения соседних стран и международных организаций для обеспечения необходимой координации.

11.1.2. Задачи науки

Имеющаяся информация, например, о самой аварии или о результатах анализа радиоактивного шлейфа и метеорологические данные, должны использоваться для прогноза вероятных последствий аварии для страны в целом и для сельского хозяйства в частности. Важным условием являются сотрудничество с другими отечественными и международными научными организациями, особенно в области обмена информацией.

При необходимости, следует мобилизовать весь персонал служб оперативного реагирования, подготовить полевые отряды к проведению измерений, освободить лаборатории от текущих работ, собрать сотрудников администрации в центре(ах) по чрезвычайным ситуациям. Следует начать либо усилить мониторинг радиоактивного загрязнения продовольствия и объектов окружающей среды.

11.2. КРАТКОСРОЧНЫЕ ОТВЕТНЫЕ МЕРЫ

Первые данные о загрязнении сельскохозяйственной среды и последующем загрязнении пищевых цепочек, скорее всего, будут основаны на модельных расчетах. Эти прогнозные оценки могут быть использованы для выявления тех районов и видов продуктов, которые должны стать первоочередными объектами измерения в программах по мониторингу. Постепенно эти расчетные данные будут дополняться поступающими данными измерений. Важно, чтобы эти данные быстро доходили до руководства и чтобы жители постоянно получали информацию в возможно полном объеме.

Продолжительность краткосрочных ответных мер зависит от периода полураспада выпавших короткоживущих радионуклидов, обычно представленных ^{131}I ($T_{1/2} = 8$ д.). Период в несколько недель достаточен для практически полного распада таких радионуклидов.

11.2.1. Задачи администрации

Первоочередной задачей должна быть приостановка уборки урожая и товарного обращения сельскохозяйственной продукции, загрязненной выше установленных норм. В число специальных мер следует включить введение заранее разработанных предельно-допустимых уровней (ПДУ) загрязнения и развертывание интенсивных программ мониторинга. Должен быть наложен запрет на товарное обращение пищевых продуктов, загрязнение которых превышает введенные ПДУ. Следует найти альтернативные источники снабжения продовольствием через местную или международную торговлю.

Вторым по важности вопросом является обеспечение необходимого участия научных организаций. Следует сформулировать основные задачи, решение которых сможет обеспечить научную поддержку при разработке решений. Необходимо организовать и приступить к выполнению предварительных исследований и промежуточных программ по контрмерам.

11.2.2. Задачи науки

Главное направление деятельности будет в области мониторинга, оценки доз и контрмер.

Основная информация включает достаточно детальные и удобные в работе карты загрязнения сельскохозяйственной среды (см. табл. II). Они должны быть получены при проведении обследования радиационной обстановки, которое следует начать как можно скорее. Желательно иметь данные фоновой загрязненности, полученные до радиоактивных выпадений (или до аварии). Система поддержки решений должна допускать замену расчетных данных в моделях по принятию решений на данные прямых измерений по мере их поступления. Одной из основных задач прогноза должен быть расчет ожидаемых уровней загрязнения зреющего урожая на момент его уборки.

Предпринятые в период раннего предупреждения контрмеры в области сельского хозяйства следует критически оценить и рассмотреть целесообразность введения дополнительных краткосрочных мероприятий.

11.3. ОТВЕТНЫЕ МЕРЫ В ПЕРЕХОДНЫЙ ПЕРИОД

Если проблема радиоактивного загрязнения территории продолжает оставаться актуальной, должен быть рассмотрен вопрос о применении долгосрочных контрмер для снижения загрязнения пищевых цепочек. Было бы уместным также пересмотреть уровни вмешательства. Следует также принимать во внимание облучение работников, в том числе за счет таких радионуклидов, как ^{239}Pu , которые обычно не включаются в пищевые цепочки.

Долгосрочные проблемы обусловлены, главным образом, загрязнением долгоживущими радионуклидами, особенно ^{137}Cs и ^{90}Sr . Уровни загрязнения должны быть получены к этому времени с помощью радиационных съемок, проведенных во время ранней фазы. Соответствующие ответные мероприятия при загрязнении долгоживущими радионуклидами нуждаются в более глубоком и системном подходе, чем это требовалось в период принятия краткосрочных ответных мер. Следовательно, текущие контрмеры требуются пересматривать.

При этом, основная задача как административных, так и научных подразделений будет состоять в подготовке долгосрочных программ. В них входит:

- пересмотр уровней вмешательства и оперативных уровней;
- продолжение мониторинга и контроля загрязнения пищевых продуктов;
- развертывание соответствующих научных и технологических исследований;
- подготовка баз данных для обеспечения перспективного планирования;
- разработка долгосрочного радиологического прогноза (загрязнение окружающей среды и сельскохозяйственных культур, проектные дозы и т.п.);
- поддержка наиболее важных и эффективных контрмер и подготовка долгосрочных программ;
- развертывание образовательных программ для специалистов и широкой публики.

11.4. ДОЛГОСРОЧНЫЕ ОТВЕТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Во многих случаях польза от долгосрочных контрмер состоит в обеспечении устойчивого ведения сельского хозяйства в загрязненных районах, а также в снижении дозовой нагрузки на население и/или сокращении расходов на поставки продовольствия из других областей. Поскольку эти мероприятия могут потребовать значительных изменений местного сельскохозяйственного производства, для введения контрмер может потребоваться нечто большее, чем разработка рекомендаций. Например, можно обеспечивать пораженные районы такими материальными ресурсами, как кормовые добавки, химикалии для мелиорации почв или техника. В некоторых случаях можно законодательно вводить принудительные меры, но такой шаг требует самого серьезного обоснования.

Для проверки эффективности контрмер, а также для обеспечения прочного общественного спокойствия, необходимо проводить непрерывный мониторинг уровней загрязнения сельхозпродукции. Консультативные службы в области сельского хозяйства играют важную роль в обеспечении выполнения вводимых контрмер со стороны фермеров. Следует постоянно контролировать уровни загрязнения экосистем в пораженных районах для того, чтобы определить необходимость продолжения вмешательства и проведения контрмер.

Создание опытных хозяйств или демонстрационных проектов могло бы стать эффективным средством обучения фермеров методам применения контрмер и для демонстрации эффективности контрмер как самим фермерам, так и общественности. Для совершенствования контрмер может возникнуть необходимость в проведении исследований в рамках текущих программ НИР и ОКР.

12. ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ОБЩЕСТВА И ДЛЯ ФЕРМЕРОВ

Необходимо, чтобы передаваемые в средства массовой информации сведения не противоречили друг другу, а также сведениям из других источников. Часто информация может исходить из нескольких географически отдаленных источников и в этом случае важно обеспечить их согласованность, чтобы сохранить доверие и не давать почвы для слухов. В этих рамках общество должно постоянно получать полную информацию насколько позволяют средства, а малейшие попытки введения цензуры должны быть исключены.

12.1. В НОРМАЛЬНОЙ СИТУАЦИИ (БЕЗ АВАРИЙ)

В нормальной ситуации следует постоянно давать обществу полную информацию по ядерным проблемам, чтобы люди были подготовлены к пониманию всего того, что будет происходить в случае аварии. Население должно быть информировано о возможных последствиях будущей аварии и об имеющихся планах ответных мероприятий, обеспечивающих его защиту. Фермерам нужна более специальная информация о том, как авария может повлиять на их жизнь и что предполагается делать после аварии.

Следует подготовиться к тому, чтобы после аварии население быстро получило авторитетную информацию. Например, необходимо заранее установить места проведения пресс-конференций. Работники администрации должны приобрести практические навыки как в области детального знания ответных действий в случае ядерных аварий, так и в общении с хорошо осведомленными, а иногда даже агрессивными репортерами. Они должны быть способны работать не только с представителями организаций, позитивно относящихся к ядерной энергетике, но также и с ее противниками. Чиновникам следует учитывать условия ограниченного времени, в которые поставлены представители прессы и проявлять уступчивость, насколько позволяет чрезвычайная ситуация. Тексты некоторых правительственных сообщений могут быть подготовлены заранее в такой форме, чтобы, когда потребуется, в них нужно будет вставить только конкретные данные, относящиеся к происшедшей аварии.

12.2. ПОСЛЕ АВАРИИ

Важно, чтобы чиновники, ответственные за связь с прессой, были полностью осведомлены о действиях и заявлениях всех ведомств, поэтому оперативная связь правительственного пресс-центра со всеми ведомствами имеет большое значение. Это еще одна область, в которой проведение регулярного обучения в высшей степени необходимо. В некоторых случаях, если власти захотят иметь гарантии, что их официальные заявления будут напечатаны газетами без искажений, они могут оплатить их как объявления.

В дополнение к распространяемой через прессу информации общего характера, фермеры должны получать информацию непосредственно из авторитетных источников в ясной и краткой форме. В ней могут содержаться следующие сведения:

- масштаб и величина загрязнения сельскохозяйственных угодий в легкодоступной форме (карты);
- основные источники опасности и возможные последствия;
- наименования, адреса центральных и местных органов власти, к которым следует обращаться за информацией и помощью;
- вводимые или планируемые действия, включая уровни вмешательства и предельно-допустимые уровни загрязнения;
- финансовые аспекты контрмер.

Часть IV

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
ПРИ ЯДЕРНЫХ АВАРИЯХ В ПРОШЛОМ**

13. ВВЕДЕНИЕ

За прошедшие 35 лет три крупные ядерные аварии на предприятиях ядерной энергетики привлекли внимание и потребовали применения контрмер в сельском хозяйстве. Эти аварии случились в Уиндскейле (Соединенное Королевство), Кыштыме (бывший СССР) и Чернобыле (бывший СССР).

Другие серьезные ядерные аварии, сопровождавшиеся загрязнением земель, имели место в Паломаресе (Испания) при падении бомбардировщика с ядерным оружием на борту, и в Канаде в результате сгорания при входе в атмосферу спутника Космос 954 с ядерной энергетической установкой.

В некоторых случаях эти аварии вызвали краткосрочные последствия местного масштаба, а в других случаях — широкомасштабные долговременные последствия.

14. ЯДЕРНЫЕ АВАРИИ, ПРИ КОТОРЫХ ПОТРЕБОВАЛОСЬ ПРИМЕНЕНИЕ ТОЛЬКО КРАТКОСРОЧНЫХ МЕР

14.1. УИНДСКЕЙЛ

10 октября 1957 г., во время проведения экспериментов по охлаждению графитового замедлителя в реакторе на природном уране с воздушным охлаждением, урановое топливо перегрелось и произошел аварийный выброс в атмосферу летучих радиоактивных элементов, в частности, йода.

Основными продуктами деления в выбросе были ^{131}I (740 ТБк) и ^{137}Cs (22,2 ТБк) и в гораздо меньших количествах ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{144}Ce и ^{210}Po [75]. Спустя 12–24 часа после выброса, ^{131}I был обнаружен в молоке, производимом на местных фермах. Через два дня, 12 октября, было принято решение о введении запрета на потребление всего молока, имеющего загрязнение выше 3700 Бк/л; запрет действовал до 14 октября. В зоне контроля площадью 500 км² все молоко было собрано и вылит в канализацию. Запрет продолжался 25 дней и, согласно оценкам, предотвратил накопление коллективной дозы $3,5 \times 10^3$ чел.·Зв на щитовидную железу у местного населения [76]. Введение ограничений на другие пищевые продукты, кроме молока, было признано нецелесообразным. Загрязнение травы ^{131}I снижалось с эффективным периодом полувыведения в пять дней, с таким же периодом снижались уровни ^{131}I в молоке [75]. Эмпирически установленное соотношение между концентрациями ^{131}I в молоке и траве показало, что уровню загрязнения травы 370 кБк/см² соответствовала концентрация ^{131}I в молоке 37 кБк/л.

Предпринятые действия: запрет на использование молока, производимого в зоне контроля площадью 500 км² в течение 25 дней после аварии. Был принят производный уровень вмешательства для ^{131}I в молоке: 3,7 кВк/л.

14.2. ПАЛОМАРЕС

В январе 1966 г. во время дозаправки в воздухе над Паломаресом в северной Испании потерпел катастрофу бомбардировщик ВВС США с четырьмя термоядерными бомбами на борту. Две бомбы разбились при падении на землю, при этом произошло рассеивание содержащихся в них урана и плутония. Большая часть загрязненной площади в 226 га была занята сельскохозяйственными землями, при этом более 2,2 га имели плотность загрязнения выше 1200 кБк/м², более 17 га — в пределах 120–1200 кБк/м², более 87 га — в пределах 12–120 кБк/м² и более 120 га — до 12 кБк/м² [77].

Предпринятые действия: Дезактивация сельскохозяйственных земель путем снятия верхнего слоя почвы.

В январе 1987 г. советский спутник Космос 954 вышел из-под контроля и разрушился при входе в атмосферу Земли. Его осколки были рассеяны вдоль следа длиной 600 км на северо-западе Канады. Кроме больших обломков стальных конструкций, бериллиевых стержней и т.п., которые упали вдоль четко определенной оси следа, на большой площади территории выпали мелкие частицы (0,1–1 мм в диаметре) обогащенного топлива из реактора. В области сельского хозяйства не понадобились никакие контрмеры.

15. ЯДЕРНЫЕ АВАРИИ, ПРИ КОТОРЫХ ПОТРЕБОВАЛИСЬ КАК КРАТКОСРОЧНЫЕ, ТАК И ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ КОНТРМЕРЫ

15.1. КЫШТЫМ [78]

Кыштымская авария произошла вследствие взрыва емкости, содержащей высокоактивные отходы радиохимического завода по производству плутония, расположенного недалеко от г. Кыштым, около 100 км к югу от Свердловска, сейчас Екатеринбург, (Южный Урал, Россия). Неисправность в системе охлаждения привела к высушиванию, спонтанному радиационному разогреву и последующему взрыву содержащихся в накопительной емкости нитратно-ацетатных солей. В результате в атмосферу было выброшено около 74 ПБк радионуклидов со средними и большими периодами полураспада (табл. XV), которые выпали на земную поверхность. По данным измерений плотность загрязнения ^{90}Sr достигала 4 ТБк/км², при этом в выпадениях присутствовало большое количество гамма-излучающих радионуклидов (табл. XV).

Площадь территории с плотностью загрязнения выше 3,7 ГБк/км² ^{90}Sr , согласно оценкам, составила 15 000 км² (300 × 50 км²). В зоне с загрязнением выше 74 ГБк/км² ^{90}Sr , занимающей площадь около 1000 км², находились 23 деревни с 10 700 жителями.

В течение первых нескольких месяцев после аварии было установлено, что основная опасность от выпавшей радиоактивности была обусловлена внешним облучением. Спустя 4–5 лет, после того как радионуклиды со средним периодом полураспада (^{144}Ce , ^{95}Zr + ^{95}Nb , ^{106}Ru) практически распались, основным источником радиационной опасности в загрязненных районах стал ^{90}Sr , в основном за счет загрязнения пищевых цепочек.

Предпринятые действия: В период проведения экстренных мероприятий после аварии основной защитной мерой была эвакуация 1100 человек из наиболее загрязненных районов (выше 3,7 ГБк/км²). Была образована закрытая для доступа зона, в которой было запрещено производить сельскохозяйственные работы и заниматься какой-либо хозяйственной деятельностью. В течение следующего года продолжалась эвакуация людей, пока

ТАБЛИЦА XV. ПОЛНАЯ АКТИВНОСТЬ ОСНОВНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ, ВЫБРОШЕННЫХ В АТМОСФЕРУ ПРИ КЫШТЫМСКОЙ АВАРИИ [78]

Нуклид	Период полураспада	Полная активность (ТБк)
^{90}Sr + ^{90}Y	28,6 лет	4×10^3
^{95}Zr + ^{95}Nb	65 дней	18×10^3
^{106}Ru	1 год	$2,7 \times 10^3$
^{137}Cs	30 лет	26
^{144}Ce + ^{144}Pr	284 дня	$48,8 \times 10^3$

из 19 деревень, находящихся в зоне с уровнями загрязнения выше 74–148 ГБк/км² ⁹⁰Sr не были эвакуированы почти 90% жителей. В результате около 700 км² сельскохозяйственных и лесных угодий были выведены из хозяйственного оборота. По прошествии времени в районах вокруг закрытой зоны были введены нормативы загрязнения пищевых цепочек ⁹⁰Sr [78].

15.2. ЧЕРНОБЫЛЬ [79]

26 апреля 1986 г. на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС, расположенной примерно в 100 км к северу от столицы Украины – Киева, произошла авария, которая привела к выбросу 2 ЭБк радиоактивных веществ. Несколько миллионов гектаров пахотных земель и лесов были загрязнены до уровней, требующих введения радиационного контроля и контрмер, а за несколько дней радиоактивные выпадения распространились на тысячи километров от места аварии. В первые несколько дней после аварии основным объектом внимания был радиойод, контрмерой против которого было введение запрета на потребление молока. На расстоянии до 70 км от Чернобыля большой вклад в загрязнение земной поверхности вносили частицы облученного топлива, а так называемые “горячие частицы” были обнаружены в дальних выпадениях во многих европейских странах. В более поздний период основными радионуклидами, загрязняющими продукты питания, были долгоживущие радионуклиды ¹³⁴Cs и ¹³⁷Cs. В этом разделе приводится краткое описание действий, предпринятых в разных странах во время и после распространения радиоактивных продуктов аварии, имеющее целью показать сложность таких ситуаций и важность предварительного планирования и подготовки.

15.2.1. Бывший Советский Союз (Беларусь, Россия и Украина)

Начиная с 1986 г., планирование и введение контрмер в сельском хозяйстве в бывшем СССР проводилась в рамках всесоюзных программ, которые разрабатывались союзным правительством совместно с республиканскими институтами. Таким образом, имеется общая основа для ретроспективного обзора применения сельскохозяйственных контрмер.

15.2.1.1. Загрязнение сельскохозяйственной среды

Около 52 000 км² сельскохозяйственных угодий на территории бывших советских республик, в настоящее время государств Беларусь, Российская Федерация и Украина, были загрязнены выпадениями от чернобыльской аварии с плотностью загрязнения выше 37 ГБк/км² ¹³⁷Cs (табл. XVI). Наиболее сильное загрязнение приходится на пояс средних широт.

ТАБЛИЦА XVI. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ¹³⁷Cs

Загрязнение (ГБк/км ²)	37–185	185–555	555–1480	Более 1480	Всего
Площадь (км ²)	38 000	9000	3500	1500	52 050

В загрязненных районах в пределах 200–300 км от Чернобыльской АЭС около 40% земель приходится на сельскохозяйственные угодья и такая же доля занята лесами. В этих районах проживает 5 миллионов человек, 50% которых живут в сельской местности.

Первые полевые измерения показали, что в выпадениях содержится практически тот же состав радионуклидов (кроме благородных газов), что и в реакторе 4-го блока ЧАЭС на момент аварии. В течение нескольких недель после аварии загрязнение продовольствия

было обусловлено, в основном, ^{131}I . Для определения размеров загрязненных районов в Беларуси и на Украине использовались усредненные данные о загрязнении молока ^{131}I , которые были получены при бракераже молока, производимого в крупных колхозах, поставлявших продукцию на большие молокозаводы.

Первая карта радиоактивного загрязнения была подготовлена к середине июня 1986 г.; она отображала пространственное распределение только одного параметра — мощности дозы гамма-излучения, измеренной на высоте 1 м над поверхностью. Поэтому эта карта давала возможность делать только грубые оценки плотности загрязнения земли различными радионуклидами. Таким образом, в первые несколько месяцев после аварии решения в области сельскохозяйственного производства могли приниматься на основе недостаточной информации о загрязнении основных пищевых продуктов. Более детальные и надежные данные о плотности загрязнения промежуточных и долгоживущих радионуклидов появились не ранее августа–сентября 1986 г.

В мае 1986 г. в отдаленных от Чернобыля районах Беларуси (Гомельская и Могилевская области), Российской Федерации (Брянская обл.) и Украины (Киевская обл.) были обнаружены зоны загрязнения с аномально высокими уровнями ^{137}Cs в выпадениях. Весьма высокая неоднородность картины пространственного распределения выпадений вынудила власти развернуть программу аэрогамма-съемок всей территории Беларуси и Украины и значительной части европейской территории России. Эти съемки были впоследствии дополнены интенсивным отбором проб почвы, в итоге чего были построены карты плотности загрязнения долгоживущими радионуклидами (^{137}Cs , ^{90}Sr , плутоний).

В конце 1986 г. загрязненные районы были разделены на зоны по критерию плотности загрязнения ^{137}Cs , в которых применялись соответствующие контрмеры в сельском хозяйстве. Были выделены четыре класса территорий по уровню загрязнения ^{137}Cs :

- (i) плотность загрязнения ниже 555 ГБк/км²: контрмеры не применяются, сельское хозяйство ведется без ограничений;
- (ii) плотность загрязнения от 555 до 1480 ГБк/км²: зона строгого контроля с ограничениями проживания (дети и беременные женщины эвакуируются); ведение сельского хозяйства возможно только при проведении мероприятий по охране здоровья работников;
- (iii) плотность загрязнения от 1480 до 3,7 ТБк/км²: зона полного отселения, ведение сельского хозяйства под строгим контролем с целью ограничить загрязнение продукции;
- (iv) плотность загрязнения выше 3,7 ТБк/км²: прекращение сельскохозяйственного производства, земли подлежат залесению.

15.2.1.2. Роль правительства, администрации и научных организаций в проведении контрмер в сельском хозяйстве

В связи с отсутствием своевременной официальной информации о масштабах аварии, первая группа правительственных экспертов в области сельского хозяйства была собрана лишь через неделю после аварии.

Для решения проблем управления, возникших в связи с широкомасштабным загрязнением сельскохозяйственной среды, при Госкомитете СССР по агропромышленному комплексу (Госагропром) была создана специальная правительственная комиссия. Аналогичные региональные группы были образованы в Беларуси и на Украине. Одновременно были образованы соответствующие комиссии экспертов по вопросам сельскохозяйственной радиологии и мониторинга. Одной из главных задач этих комиссий была разработка рекомендаций по контрмерам в сельском хозяйстве. При этом основную практическую работу по мониторингу сельскохозяйственной среды и применению контрмер выполняли местные (областные и районные) органы управления сельским хозяйством. В эту работу были вовлечены до 1,5 тыс. административных работников и специалистов, которые работали в тесном взаимодействии с соответствующими союзными, республиканскими и местными органами Министерства здравоохранения, Госкомитета СССР по гидрометеоро-

рологии и контролю природной среды, Министерства обороны и Госкомитета СССР по лесному хозяйству.

В число основных задач, решаемых этими ведомствами, входили:

- составление карт загрязнения сельскохозяйственных земель и продуктов питания ^{137}Cs и ^{90}Sr ;
- разработка производных уровней вмешательства в виде предельных уровней загрязнения почв и фуража (кормов), соответствующих ранее принятым допустимым уровням загрязнения пищевых продуктов;
- измерение и контроль радиоактивного загрязнения продовольственного сырья и конечных продуктов его переработки;
- разработка и применение краткосрочных и промежуточных контрмер для снижения загрязнения сельскохозяйственной продукции и утилизации загрязненного сельскохозяйственного сырья;
- планирование долгосрочных программ ведения сельского хозяйства на загрязненных землях.

В 1986–1992 гг. эти задачи решались следующим образом.

(i) Ввиду ограниченности ресурсов, картирование обширных загрязненных территорий проводилось поэтапно, начиная с наиболее загрязненных районов в радиусе 30–50 км от Чернобыльской АЭС. С конца 1986 г. в программу картирования уже были включены территории с уровнем загрязнения ниже 185 ГБк/км². Плотность съемки увеличилась от одной представительной точки измерения в узле сетки 10 × 10 км, в первом варианте карты 1986 г., до представительной точки в квадрате 1 × 1 км в 1991 г. Число точек отбора проб почвы для измерения плотности загрязнения ^{90}Sr и плутония было, соответственно, в 10 и 100 раз меньше, чем для ^{137}Cs .

Опыт картирования показал, что имелась потребность скорее в детальных картах загрязнения каждого поля, а не в усредненных данных, снимаемых с мелкомасштабных карт. Такие детальные съемки в масштабе отдельных полей были начаты в 1989 г. и продолжались по крайней мере до 1993 г.

Необычно высокие концентрации ^{137}Cs были обнаружены в 1987–1988 гг. в некоторых районах Белорусского и Украинского Полесья с относительно низкими уровнями загрязнения почвы (37–110 ГБк/км² ^{137}Cs). Такой аномально высокий переход ^{137}Cs из почвы в растения объясняется особыми свойствами характерных для этих районов торфяных и торфяно-болотных почв. Возможное присутствие участков с такими почвами в других районах обусловило необходимость расширения работ по картированию до уровней плотности загрязнения в 37 ГБк/км² и ниже. Кроме того, в 1987–1989 гг. продолжались работы по картированию загрязнения молока радиоцезием, как эффективного средства для идентификации территорий, подлежащих детальному наземному обследованию (включая отбор почвенных проб) для построения карт загрязнения ^{137}Cs .

(ii) С первых недель после аварии была развернута сеть контроля загрязнения продовольствия, но в тот период эта работа проводилась без должной координации между различными организациями Министерства здравоохранения и Госагропрома СССР. Потребовалось время для упорядочения ответственности за эту работу между местными организациями этих ведомств. Первые варианты методик контроля загрязнения продуктов были разработаны к июню–августу 1986 г. В течение 1987–1991 гг. они постоянно совершенствовались по мере улучшения измерительных приборов. В частности, в 1987 г. была разработана методика прижизненного (*in vivo*) измерения содержания ^{137}Cs в теле животных, что позволило резко снизить производство мяса со сверхнормативным загрязнением.

В 1991–1992 гг. в службах контроля загрязнения сельхозпродукции было занято 12 тыс. человек, работающих в 73 местных агрохимических и 749 ветеринарных лабораториях и станциях контроля, действующих в структурах сельскохозяйственных министерств Беларуси, России и Украины.

(iii) Первый вариант “Временных рекомендаций по ведению сельскохозяйственного производства на территориях Украинской ССР и Белорусской ССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате чернобыльской аварии” был подготовлен комиссией экспертов Госагропрома СССР 30 мая 1986 г. Эти рекомендации были основаны, главным образом, на знаниях в области сельскохозяйственной радиологии, приобретенных при ликвидации последствий кыштымской аварии на Южном Урале в 1957 г. (см. выше, Раздел 15.1). К сожалению, этот документ носил общий характер и во многих случаях недостаток подготовленных административных и научных работников мешал осуществлению тех или иных рекомендаций.

Чтобы исправить положение, в мае–августе 1986 г. были подготовлены и переданы на места более 400 наименований различных технических документов директивного и методического характера. В них устанавливались основные правила и методы уборки, сортировки по использованию и переработке урожая ведущих сельскохозяйственных культур, а также основные рекомендации по содержанию и кормлению животных в загрязненных районах. Главная цель этих документов состояла в обеспечении работников сельского хозяйства знаниями и рекомендациями для получения нормативно чистой продукции.

Ко времени первого после аварии сезона уборки урожая в июле–октябре 1986 г. концептуальные основы долговременных контрмер еще не были разработаны. Причиной этого был недостаток знаний и опыта в планировании долгосрочных программ сельскохозяйственного производства в неблагоприятных условиях широкомасштабного радиоактивного загрязнения земель, включая вредные социальные и экономические последствия.

Временные рекомендации от 30 мая 1986 г. неоднократно пересматривались по мере накопления опыта в области контрмер. В последней редакции этот документ был выпущен в 1991 г. в форме “Руководства по ведению сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения территории РСФСР, Украинской ССР и Белорусской ССР”. В соответствии с этим документом, из использования выводятся сельскохозяйственные угодья с плотностью загрязнения выше 1480 ГБк/км^2 ^{137}Cs .

После распада СССР в 1991 г. дальнейшая работа по усовершенствованию методических пособий продолжалась в каждом из независимых государств Беларуси, Российской Федерации и Украины в соответствии с их собственными национальными законами, регулирующими решения социальных и экономических проблем в загрязненных районах.

15.2.1.3. Ведущие защитные меры в сельском и лесном хозяйстве

Основными продуктами сельскохозяйственного производства в загрязненных районах являются молоко, мясо, картофель, кормовые культуры, многолетние травы, зерновые и сахарная свекла. Почвы по большей части довольно бедные: подзолистые, песчаные, суглинистые, торфяные и торфяно-болотные.

Основные усилия были направлены на то, чтобы воспрепятствовать либо, по крайней мере, снизить переход радионуклидов по пищевой цепочке почва–растения–животные–молоко–мясо. С самого начала внедрялись три категории контрмер:

- повсеместная перепашка обрабатываемых земель и рекультивация пастбищ;
- известкование кальций-дефицитных почв с одновременным внесением (там, где это необходимо) повышенных доз минеральных удобрений, главным образом, калийных и фосфорных;
- изменение землепользования (перепрофилирование хозяйства) в тех случаях, когда по прогнозным оценкам, первые две категории контрмер не давали ожидаемого результата.

Выведение естественных и малопродуктивных пастбищ из оборота было основной контрмерой в животноводстве. В первые недели и месяцы после аварии при отсутствии достаточно оснащенной сети контроля загрязнения молока было принято решение о запрете потребления цельного молока на территориях с плотностью загрязнения ^{137}Cs выше 185 ГБк/км^2 . Все молоко, произведенное в загрязненных районах, покупалось госу-

дарственными организациями и перерабатывалось на государственных молочных заводах на масло, сыр и другие продукты с низким остаточным содержанием радионуклидов. Эта контрмера оказалась вполне эффективной в снижении вклада молока в коллективную дозу внутреннего облучения. В результате, удалось предотвратить значительные экономические потери.

Контрмеры в мясном животноводстве были гораздо менее эффективными, чем в молочном секторе. В начале, из-за отсутствия достаточно детальных сведений об уровнях загрязнения территории за пределами 30-километровой зоны отселения вокруг Чернобыльской АЭС, около 120 тыс. голов крупного рогатого скота, выведенных из этой зоны, в течение нескольких недель выпасались на сильно загрязненных пастбищах. Перевод этого стада на чистые корма для снижения загрязнения мяса путем самоочищения нельзя было осуществить, главным образом, из-за недостатка запасов фуража на момент аварии. В итоге, в мае-июне 1986 г. был произведен убой 120 тыс. голов эвакуированного из зоны поголовья, в результате чего было заготовлено около 30 тыс. т мяса этого скота, загрязненного выше ВДУ. Около 90% этого мяса были в дальнейшем утилизированы в виде добавок к мясным продуктам (колбасы, консервы и т.п.), а остальные 10% уничтожены. В последующие годы этот негативный опыт был учтен и основным приемом снижения загрязнения мяса стало выдерживание животных на чистых кормах в течение 3–4 месяцев перед убоем.

Изменение землепользования (перепрофилирование) оказалось наиболее экономически выгодной мерой в условиях большого хозяйства, характеризующихся весьма неоднородной картиной распределения почвенных разностей и плотности радиоактивного загрязнения по территории хозяйства.

Поверхностное и коренное улучшение естественных лугов и пастбищ в зависимости от толщины дернины и неровностей поверхности почвы, обеспечивало снижение перехода ^{137}Cs в многолетние травы в 4–12 раз. Этого было достаточно для обеспечения условий ведения молочного животноводства в районах, где по уровню радиоактивного загрязнения допускалось проживание населения.

Другим эффективным мероприятием для снижения загрязнения молока и мяса было дифференцированное использование кормов в зависимости от производимой продукции, вида и возраста животных. Например, откорм молодняка крупного рогатого скота может производиться на довольно сильно загрязненных пастбищах, если соблюдены условия радиационной безопасности работников. В дальнейшем концентрация ^{137}Cs в мясе животных может быть снижена в течение 3–6 месяцев за счет последовательного снижения загрязнения в кормах при постепенном переводе стада с загрязненных на более чистые сельскохозяйственные земли.

В общем, было достигнуто хорошее понимание того, что эффективность контрмер в большой мере зависит от правильной организации радиационного мониторинга на всех стадиях получения продукции от почвы, кормов и сельскохозяйственного сырья до готовых продуктов питания, включая прижизненный мониторинг загрязнения животных.

15.2.2. Австрия

15.2.2.1. Выпадения и загрязнение продовольствия

Загрязненные воздушные массы достигли Австрии в середине дня 29 апреля 1986 г. Это событие было зарегистрировано системой раннего предупреждения радиационной опасности Австрии, которая представляет собой сеть автоматических гамма-рентгенометров, которые передают показания мощности дозы в режиме реального времени в диапазоне от уровня фона до более 10 Зв/ч. Анализ радионуклидного состава аэрозолей также был начат 29 апреля. Основная доля радиоактивных веществ выпала на земную поверхность до 8 мая 1986 г.

Вследствие весьма неоднородной картины осадков над Австрией во время прохождения радиоактивного шлейфа, загрязнение сельскохозяйственных районов варьирует в

широких пределах. Уровни загрязнения восточных районов Австрии, наиболее важных производителей зерновых и овощей, но не играющих такой заметной роли в производстве молока, были довольно низкими (около 4 кБк/м² ¹³⁷Cs). Другой крупный сельскохозяйственный регион, включающий северную часть провинции Зальцбург и западную часть Верхней Австрии (основная продукция — молоко, зерновые и овощи), более заметно пострадал от выпадений (уровни загрязнения в пределах 40–100 кБк/м² ¹³⁷Cs). Уровни загрязнения на большей части остальной территории лежали в промежутке между этими значениями. Загрязнение некоторых альпийских пастбищ достигало 150 кБк/м² ¹³⁷Cs, но они использовались только для выпаса скота в летний период.

В равнинных областях и в предгорных районах бассейнов больших рек во время выпадений коровы уже выпасались на открытых пастбищах, а запасы чистого сена были ограничены. В горных районах скот еще содержался в стойлах, а основная часть кормов приходилась на сено из запасов сезона 1985 г. Зерновые культуры еще только созревали, но овощи, такие, как шпинат и салат были готовы к уборке.

Первые измерения загрязнения молока и в немногих местах травы были сделаны 30 апреля, дополнив регулярные измерения мощности дозы и радиоактивности воздуха и осадков.

Усредненные за каждый день значения концентрации ¹³¹I в коровьем молоке в начале мая 1986 г. лежали в пределах 150–320 Бк/л при максимальных значениях около 2000 Бк/л (в овечьем молоке — до 41 800 Бк/л). В начале июня 1986 г. средние значения ежедневных измерений содержания ¹³⁷Cs в коровьем молоке были около 100 Бк/л и около 150 Бк/кг в говядине. Загрязнение баранины, по нескольким непредставительным данным измерений, составляло около 2 200 Бк/кг ¹³⁷Cs в мае и около 700 Бк/кг в июне 1986 г.

В начале мая содержание ¹³¹I в шпинате было около 80 000 Бк/кг, а ¹³⁷Cs — около 3 000 Бк/кг. Соответствующие значения для салата были 4 000 Бк/кг и 700 Бк/кг.

15.2.2.2. Органы оперативного реагирования

Вскоре после того, как первые сведения об аварии достигли Австрии, в Федеральном министерстве здравоохранения и охраны окружающей среды была создана комиссия экспертов, на которую в то время были возложены обязанности по обеспечению защиты от радиации. Эта специальная комиссия, в которую вошли специалисты по радиационной защите, методам измерения радиоактивности, сельскому хозяйству, а также представители армии и гражданской администрации и другие, в почти непрерывных заседаниях разрабатывала рекомендации по решениям, которые принимал министр. Одним из первых шагов было предупреждение против применения препаратов стабильного йода для блокады накопления радиойода в щитовидной железе, а также заявление, что ни в одном из районов на территории Австрии не существует серьезной угрозы здоровью населения от внешнего облучения или от загрязнения воздуха.

Большинство земельных правительств (Landesregierungen) создали внутри своих структур аналогичные комиссии специалистов для помощи властям в разработке решений.

15.2.2.3. Контрмеры

Справочник по контрмерам в то время разрабатывался сотрудниками Министерства. Он был почти закончен, но из-за большого объема его издание не планировалось.

К исполнению был принят целый ряд контрмер в области сельского хозяйства и контроля продовольствия, выбор которых основывался на содержании указанного справочника, мнении участвующих в комиссии ученых и на психологических доводах (табл. XVII).

ТАБЛИЦА XVII. ПОЛНАЯ СВОДКА КОНТРОЛЕЙ, ВВЕДЕННЫХ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ АВСТРИИ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

Дата введения	Вид контрмеры	Содержание	Срок действия
30.04.86	Ограничения на продукты Ограничения на корма для животных Общие ограничения	Предостережение не есть свежие овощи Предостережение не выпускать молочный скот на пастбища Предостережение оберегаться от пыли	
01.05.86	Общие ограничения Ограничения на продукты питания Ограничения на корма для животных Ограничения на продукты питания Мониторинг	Предостережение не попадать под дождь Предостережение не пить дождевую воду (водоснабжение в горных альпийских районах) Рекомендация не выпускать скот на пастбища и не давать свежие зеленые корма Рекомендация тщательно мыть овощи перед едой Программа ежедневных измерений всех цистерн с молоком на всех 224 молочных заводах	
02.05.86	ПДУ ПДУ	370 Бк/л ¹³¹ I в молоке Рекомендация использовать для питья молоко с уровнем загрязнения ниже 185 Бк/л ¹³¹ I	Переносился 26.05.86
03.05.86	Ограничения на продажу товаров Ограничения на корма для животных Ограничение на импорт Ограничения на закупки	Указание губернаторам земель запретить товарное обращение молока с загрязнением выше ПДУ Указание губернаторам земель запретить использование зеленых кормов, если превышен ПДУ в молоке Указание губернаторам земель запретить импорт молока, молочных продуктов, свежих фруктов и овощей из Болгарии, ЧССР, Венгрии, Польши, Румынии и СССР Предостережение населению не покупать молоко непосредственно у фермеров	22.05.86 с последующим введением ПДУ
04.05.86	Ограничение на корма для животных Ограничение на продукты питания	Повторение указания губернаторам земель запретить выпас скота и кормление зелеными кормами Предостережение не потреблять продукты из овечьего и козьего молока	07.05.92
06.05.86	Ограничения на продажу Ограничения на импорт	Запрет на продажу зеленых овощей, выращенных в открытом грунте (в особенности шпината, салата, капусты), цветной капусты, бобов и томатов Указание от 03.05.86 распространилось на Италию и Югославию	22.05.86 с последующим введением ПДУ
07.05.86	Ограничения на корма для животных Ограничения на импорт	Отмена запрета выпаса скота и кормления зелеными кормами (из-за трудностей в снабжении сеном), но с настоятельной рекомендацией не давать молочному скоту зеленых кормов Указание от 03.05.86 распространилось на Албанию, Грецию и Турцию	
08.05.86	Ограничения на продажу	Запрет на продажу овечьего и козьего молока, а также сыра	до 15.05.86
12.05.86	Ограничения на корма для животных	Запрет на скармливание молочной сыворотки свиньям в двух районах земли Зальцбург	
15.05.86	Ограничения на продажу	Отмена ограничений на продажу овечьего и козьего молока и сыра при отсутствии загрязнения продуктов	17.07.86
16.05.86	Ограничения на отстрел дичи Ограничения на импорт Ограничения на корма для животных	Продление сезона запрета на охоту Запрет импорта продуктов из дичи из восточно-европейских стран и СССР Рекомендация не кормить свиней молочной сывороткой	11.06.86 15.07.86

ТАБЛИЦА XVII. (продолжение)

Дата введения	Вид контрмеры	Содержание	Срок действия
21.05.86	Ограничения на корма для животных Ведение сельскохозяйственных работ То же	Повторение рекомендации как можно дольше избегать давать животным зеленые корма Рекомендация как можно раньше провести первый сенокос и хранить заготовленное сено отдельно от других запасов Рекомендация задержать перевод рогатого скота на альпийские пастбища пока не будут получены результаты исследований	
23.05.86	ПДУ	11,1 Бк/кг (0,3 нКи/кг) ^{137}Cs в детском питании; 185 Бк/кг (5 нКи/кг) ^{131}I в овощах, фруктах, грибах и приготовленных из них продуктах	Переносился 05.06.86
26.05.86	ПДУ	ПДУ для ^{131}I в молоке и продуктах из молока ужесточен до 185 Бк/л	Действует по настоящее время
27.05.86	Ограничения на корма для животных	Предупреждение не использовать молочную сыворотку для откорма свиней	
31.05.86	Ограничения на корма для животных ПДУ ПДУ	Запрет кормить свиней молочной сывороткой (провинция Зальцбург) 185 Бк/л для ^{137}Cs в молоке и продуктах из молока, но для питья предпочтительно использовать молоко с уровнем ниже 74 Бк/л ^{137}Cs 370 Бк/кг для $^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$ в сыре и твороге	Еще действует Изменен в июне 1986 г.
02.06.86	Ограничения на корма для животных	Запрет кормить свиней молочной сывороткой (вся Австрия)	Вскоре отменен
03.06.86	ПДУ ПДУ	185 Бк/кг для $^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$ в свинине и мясе птицы 555 Бк/кг для $^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$ в мясе других животных (говядина, телятина, баранина, дичь, дикий кабан и т.п.)	Еще действует Изменен 09.06.86
05.06.86	ПДУ ПДУ	Изменен до 74 Бк/кг для ^{131}I в овощах, фруктах и приготовленных из них продуктах 11 Бк/кг для ^{137}Cs в овощах, фруктах, грибах и приготовленных из них продуктов	Еще действует Действует по настоящее время, исключая орехи и смородину
06.06.86	ПДУ	Изменен до 592 Бк/кг (16 нКи/кг) для $^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$ в сыре	Еще действует
09.06.86	ПДУ ПДУ ПДУ	592 Бк/кг (16 нКи/кг) для $^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$ в меде Изменен до 185 Бк/кг для ^{137}Cs в сыре и твороге Изменен до 592 (16 нКи/кг) $^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$ в мясе животных, за исключением свинины и домашней птицы (говядина, телятина, баранина, дичь, дикий кабан и т.п.)	Еще действует Еще действует Еще действует за исключением, мяса дичи (отменен 15.07.86)
11.06.86	Ограничение охоты	Отмена продления запрета на охоту при условии загрязнения мяса дичи ниже ПДУ	15.07.86
12.06.86	Ограничения на корма для животных	Запрет на скормливание свиньям молочной сыворотки на всей территории Австрии (восстановлен)	
16.06.86	Ограничения на продукты питания То же	Предупреждение не есть дикорастущих грибов Рекомендация не кормить грудных детей готовым детским питанием	

ТАБЛИЦА XVII. (продолжение)

Дата введения	Вид контрмеры	Содержание	Срок действия
23.06.86	Ограничения на корма для животных	Исключение из запрета скармливать молочную сыворотку свиньям, если концентрация $^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$ в сыворотке или снятом молоке меньше 37 Бк/кг и загрязнение мяса сохраняется ниже ПДУ	
26.06.86	Ограничение на продажу	ПДУ для ^{137}Cs в смородине смягчен до 370 Бк/кг (10 нКи/кг) при закупках для производства джема, соков и фруктовых сиропов	
02.07.86	Ограничения на продукты питания	Рекомендация употреблять в пищу собранные дикорастущие грибы в количестве не более 1 кг в месяц	
08.07.86	То же	Рекомендация не давать детям фрукты, выращенные в собственных хозяйствах в районах с повышенным радиоактивным загрязнением	
15.07.86	Ограничения на мясо	Отмена всех ограничений на потребление мяса диких животных и птиц и рекомендация взрослым употреблять дичь в пищу в обычных небольших количествах. Но лица из групп риска, беременные и кормящие женщины, младенцы и дети должны сократить или совсем прекратить потребление дичи	
17.07.86	ПДУ	ПДУ для коровьего молока и молочных продуктов распространяются также на овечье и козье молоко и сыр	
	Ведение сельскохозяйственных работ	Запрет на использование шламма сточных вод для удобрения полей	Частично изменены до максимальных уровней
18.09.86	Ограничение на продажу	ПДУ для $^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$ в орехах увеличен до 592 Бк/кг (16 нКи/кг)	Еще действует
03.10.86	Мониторинг	Обязательный выборочный прижизненный контроль загрязнения мяса (говядина и телятина) животных на больших скотобойнях	До 30.06.86
Осень 1986	Практика кормления животных	На основе изучения различных приемов кормления и данных измерения загрязнения фуража Федеральное министерство сельского и лесного хозяйства установило схемы кормления животных на зимний сезон 1986–1987 гг. Была введена программа снабжения наиболее загрязненных районов кормами с низким уровнем загрязнения	
Зима 87/88	То же	После того, как испытания соли Гизе в течение года показали полное отсутствие канцерогенности, они были использованы в качестве кормовых добавок в районах с повышенным загрязнением молока. Эта мера имела целью изучение эффективности метода, а не получение нормативно-чистого молока	
Лето 1988	Ограничения на продукты питания	Рекомендация ограничить потребление дикорастущих грибов и мяса дичи	

15.2.2.4. Законодательство

Применение всех вышеуказанных контрмер было основано на Законе Австрии о радиационной защите (1969 г.), который устанавливает, что в случае возникновения опасности радиоактивного загрязнения, угрожающей здоровью населения, глава земельной

администрации (Landeshauptmann) должен организовать проведение контрмер. В число этих мер входит ограничение движения транспорта, перемещения граждан, товаров, продовольствия и фуража и контроль водоснабжения.

Хотя Австрийский закон о радиационной защите (1972 г.), который устанавливает национальные уровни вмешательства и производные уровни загрязнения техногенными радионуклидами, формально не применим к случаю загрязнения от чернобыльской аварии, было решено принять концепцию 1,67 мЗв в качестве основы для установления предельно-допустимой индивидуальной дозы для лиц из населения. Дополнительно для включения в концепцию было предложено рассмотреть нормы потребления загрязненной пищи, внешнюю и ингаляционную дозы, а также поведение групп риска (новорожденные, дети, беременные женщины и кормящие матери).

15.2.2.5. Производные уровни вмешательства (предельно-допустимые уровни)

На ранней стадии развития событий после аварии было неясно, удастся ли удержать максимальную эффективную дозу ниже 1,67 мЗв или дозу на щитовидную железу ниже 10 мЗв. Эта неопределенность проистекала, главным образом, из-за недостатка информации о динамике выхода радиоактивных продуктов из источника в Чернобыле, неоднозначного развития метеорологической ситуации и из-за неясной судьбы второго реактора (по слухам, он тоже начал гореть).

Тогда, основываясь на пределах дозы, установленных в законе о радиационной безопасности для двух опорных радионуклидов, ^{131}I и ^{137}Cs (или $^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$), были рассчитаны предельно-допустимые концентрации радионуклидов для наиболее важных продовольственных продуктов с учетом уровня их годового потребления лицами из групп риска, а также вкладов в дозу других радионуклидов, содержащихся в выпадениях.

Самые низкие предельно-допустимые уровни (ПДУ) загрязнения были сознательно установлены для детского питания.

Помимо общего снижения дозы для среднестатистических лиц из населения, введение ПДУ преследовало и другие цели:

- защита отдельных лиц или групп (ограничение максимально возможного облучения);
- обязательное применение контрмер на уровне производителей продовольствия;
- руководство для производителей и потребителей в новой и незнакомой области регулирования;
- защита внутреннего рынка от сильно загрязненных импортных товаров;
- обеспечение внутренней и экспортной торговли нормативной базой.

В Австрии все еще действуют упомянутые выше ПДУ. Так как они были рассчитаны, исходя из условий чернобыльской аварии, их придется пересматривать в случае другой аварии с другим радионуклидным составом выбросов.

15.2.2.6. Финансирование

Прямые и косвенные затраты на проведение контрмер в целом покрывались из государственного бюджета. Убытки от потери продовольственных товаров, загрязнение которых было выше ПДУ, компенсировались по решению местных властей.

Программы по снабжению фуражом финансировались Министерством сельского хозяйства и проводились в жизнь через земельные сельскохозяйственные палаты (Landwirtschaftskammer). Например, в наиболее пострадавшие районы по сниженным ценам были поставлены 180 тыс. т относительно чистых сухих кормов для производства молока и более 20 тыс. т кукурузного силоса для мясного животноводства.

15.2.2.7. Неблагополучные районы Австрии в 1992 г.

До последнего времени молоко коров, пасущихся в некоторых альпийских районах Австрии, все еще содержит ^{137}Cs выше ПДУ — 185 Бк/л. Как правило, такое молоко не потребляется в цельном виде, а отправляется на местные сыроварни. Из-за введения довольно жесткого ПДУ для грибов (111 Бк/кг), такие виды, как *Xerocomus badius*, *Rozites caperata* и *Cantharellus cibarius* часто загрязнены выше ПДУ и собранные партии приходится уничтожать. В некоторых лесах Австрии все еще сохраняются относительно высокие концентрации ^{137}Cs (несколько тысяч Бк/кг) в мясе дичи, особенно в мясе косули. Но это не создает никаких проблем для администрации, так как отсутствует ПДУ загрязнения дичи.

В некоторых районах концентрации ^{137}Cs в молоке все еще превышают 11,1 Бк/л, принятую в качестве ПДУ для детского питания.

15.2.2.8. Заключительные замечания

После чернобыльской аварии Комиссия по радиационной защите Австрии составила сводку контрмер, которая может использоваться как общее руководство для разработки чрезвычайных планов в случае широкомасштабного аварийного загрязнения. В табл. XVIII приведены оценки эффективности этих мер. Это руководство постоянно обновляется и переиздается Федеральным министерством здравоохранения, спорта и защиты прав потребителей. В настоящей редакции в нем рассматриваются случаи аварии на ядерных установках, катастрофы спутников с ядерными компонентами (таких, как Космос 954) и самолетов-носителей ядерных зарядов, которые не сопровождаются детонацией ядерных боеголовок (как в Паломаресе).

ТАБЛИЦА XVIII. ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНТРМЕР В АВСТРИИ
(Среднее снижение облучения, по данным [80], табл. XXVI в сокращении)

Контрмера и радионуклид	Снижение эффективной дозы (мЗв)		
	Взрослый ^a	Ребенок 5 лет	Ребенок 1 год
Запрет на кормление животных зелеными кормами			
^{131}I	0,021	0,047	0,215
$^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$	0,012	0,004	0,010
Запрет на продажу зеленых овощей			
Все радионуклиды	0,129	0,197	0,152
Предостережение не пить свежее молоко, приобретенное у крестьян			
^{131}I	0,009	0,020	0,094
$^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$	0,021	0,008	0,017
Бракераж свежего молока			
^{131}I	0,009	0,020	0,094
$^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$	0,083	0,030	0,070
Схемы кормления для молочного животноводства	0,027	0,010	0,024
Схемы кормления для мясного животноводства	0,014	0,007	0,0012
ПДУ для ^{131}I в молоке	0,0069	0,011	0,049
ПДУ для ^{137}Cs в молоке	0,0011	0,004	0,001
ПДУ для ^{137}Cs в детском питании	—	—	0,085
ПДУ для ^{137}Cs в овощах и фруктах	≤0,0046	≤0,015	≤0,019

^a Среднее для всего населения.

Следует добавить, что за время, прошедшее после аварии, была усовершенствована государственная система аварийного оповещения (которая реагирует также и на неядерные события). Для научной поддержки разрабатываемых решений была выбрана немецкая радиоэкологическая модель ECOSYS, адаптированная к австрийским условиям, которой можно будет пользоваться в будущем.

15.2.3. Норвегия

15.2.3.1. Радиоактивные выпадения и ответные действия властей

Юго-восточные ветры в первые несколько дней после чернобыльской аварии и сильные дожди в южных и центральных районах Норвегии обусловили неоднородную картину выпадений. Плотность выпадений суммы ^{134}Cs и ^{137}Cs в целом изменялась от 0 до 100 кБк/м², достигая в некоторых местах максимальных значений до 1000 кБк/м². В результате выпадений, в основном, пострадали малоосвоенные природные экосистемы, используемые под пастбища для овец, коз, северных оленей и, в меньшей степени, крупного рогатого скота.

Поскольку авария произошла ранней весной, в период выпадений коровы получали чистые корма в условиях стойлового содержания, поэтому молоко не было загрязнено ^{131}I . Хотя в мае 1986 г. органы здравоохранения ввели запрет на потребление салата, загрязненного в результате прямого осаждения радиоактивных продуктов на листья, основные проблемы в сельскохозяйственном производстве были связаны с загрязнением ^{137}Cs овец, коз, северных оленей, а также рыбы и, в меньшей степени, крупного рогатого скота и молока.

При том, что средние уровни загрязнения были умеренными, максимальные значения ^{137}Cs в наиболее загрязненных районах превышали 1000 Бк/кг в мясе крупного рогатого скота и в коровьем и козьем молоке, 1000 Бк/кг в баранине, 50 000 Бк/кг в пресноводной рыбе и 80 000 Бк/кг в мясе северного оленя.

15.2.3.2. Введение производных уровней вмешательства (предельно-допустимых уровней) для пищевых продуктов и применение контрмер

К июню 1986 г., после консультаций со специалистами в области радиационной защиты и сельского хозяйства, правительственные организации, ответственные за контроль качества продовольствия, ввели предельно-допустимые уровни для пищевых продуктов: 370 Бк/кг для молока и детского питания и 600 Бк/кг для всех остальных продуктов. Позднее, после коротких рабочих консультаций с руководством служб по радиационной защите и с представителями народа саами, в ноябре 1986 г. ПДУ для мяса северного оленя был смягчен до 6000 Бк/кг, и это же значение ПДУ было принято для рыбы и мяса диких животных в июле 1987 г.

В конце 1986 г. были организованы два консультативных комитета, один для правительственных органов, занятых проведением контрмер в сельском хозяйстве, другой — для служб контроля качества продовольствия, занятых программой по мониторингу, постоянным контролем продуктов, обработкой данных пробоотбора, оценкой результатов мониторинга и пересмотром ПДУ. В состав консультативных комитетов входили эксперты-ученые, представители правительственных органов, фермерских организаций и пищевой промышленности. Важнейшей задачей при создании эффективной системы мониторинга была разработка методов прижизненного контроля загрязнения животных. В дальнейшем на местные службы радиационного контроля и органы управления сельским хозяйством была возложена ответственность за проведение мониторинга и оценку данных в соответствии с методиками пробоотбора и обработки данных, разработанными и утвержденными центральными органами.

Несмотря на введенные в 1986 г. контрмеры, около 5% произведенной баранины и некоторое количество оленины были забракованы. В связи с этим были разработаны

более дешевые и эффективные контрмеры для снижения прижизненного загрязнения животных. Районы, пострадавшие от радиоактивных выпадений, были разделены на несколько зон для введения контрмер разной продолжительности.

Применялись следующие контрмеры:

- выращивание животных на чистых кормах;
- использование добавок в корма и концентраты (бентониты и гексацианоферраты и особенно соль Гизе);
- использование соли Гизе (ферроцианидов) в лизунцах и в болюсах;
- забой северных оленей ранней осенью, когда уровни загрязнения мяса относительно низкие;
- рекомендации по выбору продуктов питания.

Контрмеры внедрялись в сельскохозяйственные общины в форме рекомендаций, исходящих от центральных и местных органов управления сельским хозяйством, местных консультативных служб и фермерских организаций. На ранней стадии было решено, что фермеры должны получить соответствующую компенсацию от правительства на покрытие всех расходов, связанных с введением контрмер.

Чтобы избежать получения больших дозовых нагрузок критическими группами населения (оленоводы, охотники и лица, имеющие ограниченный по разнообразию рацион питания или потребляющие в пищу не прошедшие контроль мясо и рыбу), распространялись листовки, содержащие советы по выбору пищевого рациона. Эти советы были с большим пониманием приняты населением, рекомендации дали хороший эффект, а стоимость этого мероприятия была небольшой.

На ранней стадии оказалось трудным или почти невозможным делом осуществить надлежащую оптимизацию и правильный выбор наиболее экономичных контрмер. В результате, сравнительные оценки величины затрат и положительного эффекта (анализ “стоимость/эффективность”) выполнялись после применения контрмер. Общее заключение состоит в том, что стоимость введенных в Норвегии контрмер была оправдана, если принять во внимание возможный ущерб от предотвращенной эффективной дозы.

Отказ от загрязненного продовольствия обходится довольно дорого по сравнению с методами прижизненного выведения радиоактивности из организма животных, которые были разработаны в Норвегии и применялись в широком масштабе.

15.2.3.3. Законодательство

В Норвегии было необходимо придать законный статус вводимым ПДУ и применению кормовых добавок (бентонита и соли Гизе). ПДУ были установлены в рамках общего закона о качестве продовольствия, в то время как законность применения добавок была обеспечена органами фармакологического контроля.

15.2.4. Соединенное Королевство (только Англия)

15.2.4.1. Радиоактивные выпадения и ответные действия властей

Уровни загрязнения территории Соединенного Королевства после чернойбыльской аварии были, в основном, низкими. Тем не менее, дождевые осадки, выпавшие при прохождении радиоактивного шлейфа в некоторых возвышенных районах, вызвали образование гораздо более высоких уровней загрязнения радиоцезием (до 40 кБк/м²). В Соединенном Королевстве правительство отвечает за судьбу каждого отдельного региона, и этот раздел посвящен только Англии. Широкомасштабные мероприятия по мониторингу загрязнения окружающей среды и пищевых цепочек, развернутые сразу же после аварии, показали, что ни один из видов сельскохозяйственной продукции не имел загрязнения выше предельно-допустимого уровня. Для многих видов продовольствия правительство руководствовалось независимыми нормативами в виде предельно-допустимых

аварийных уровней (ПДАУ), рекомендованных Национальным управлением по радиационной защите. Максимальные уровни ^{131}I в молоке не достигали 20% от ПДАУ, а загрязнение зеленых овощей оставалось ниже 1% от ПДАУ, поэтому никакого экстренного вмешательства не потребовалось.

Обследование наиболее загрязненных районов показало, что уровни радиоцезия в овцах в нескольких четко ограниченных зонах на возвышенностях продолжали расти вследствие круговорота цезия в торфяных почвах с низким уровнем минеральных веществ. Со временем возникла необходимость ввести ограничения на перемещение овечьих стад в этих зонах. Для обеспечения этих мероприятий был разработан метод прижизненного измерения загрязнения животных, названный “норма и пропуск”.

Сельское хозяйство и вопросы качества продовольствия в Англии остаются в ведении Министерства сельского хозяйства, рыболовства и продовольствия (MAFF). Оперативной реакцией Министерства было развертывание вышеупомянутого широкомасштабного мониторинга загрязнения. В составе Министерства уже существовали отделы, в обязанности которых входило реагирование на чрезвычайные ситуации, а также специальное научное подразделение по проблеме радиоактивного загрязнения пищевых цепочек; поэтому не требовалось создавать новые структуры по чрезвычайным ситуациям.

15.2.4.2. Принятие решений

Было принято, что можно обойтись без формальных процедур принятия решений. Любое решение о введении ограничений на загрязненные продукты питания принимается единолично министром сельского хозяйства. Рекомендации формулировались научным подразделением Министерства на основе результатов мониторинга и установленных ПДАУ. Для содержания радиоцезия в овцах ПДАУ не были заранее определены. Решение Министерства установить норму 1000 Бк/кг было основано на рекомендациях, сформулированных группой экспертов Европейского сообщества, учрежденной в соответствии со статьей 31 Договора о Евратоме. С учетом того, что эта норма была намного ниже любого уровня загрязнения, угрожающего здоровью людей, она должна была вызывать доверие общества. Зоны, в которых вводились ограничения, из соображений предосторожности первоначально были очерчены с большим запасом площади. Впоследствии, когда были получены более детальные данные мониторинга, границы зон были сужены.

15.2.4.3. Законодательство и регулирование

Ко времени, когда произошла чернобыльская авария, Закон о продовольствии и окружающей среде (1985 г.) уже давал министру сельского хозяйства право вводить ограничения на сбор урожая, на товарное обращение любых видов сельхозпродукции, которая могла бы быть загрязнена или могла представлять опасность для здоровья людей. Для введения ограничений министру не требовалось иметь никаких новых законов.

Компенсации за ущерб фермерам, попавшим под действие ограничений, не входят в круг действия Закона о продовольствии. Для аварий, произошедших в пределах Соединенного Королевства, ответственность за возмещение убытков ложится на юридическое лицо — виновника аварии. С учетом особых обстоятельств чернобыльской катастрофы, правительство Соединенного Королевства согласилось выплатить компенсации фермерским хозяйствам, попавшим в зоны с ограничениями, за расходы, связанные с необходимостью подчиняться требованиям радиационного контроля и за ущерб от снижения товарной стоимости животных.

15.2.4.4. Выбор возможных вариантов решений

За годы, прошедшие после чернобыльской аварии, система “норма и пропуск”, используемая для контроля загрязнения животных в зонах ограничений, весьма успешно обеспечивала нормативную чистоту мяса, доходящего до потребителя. Как результат, считается, что в настоящее время не нужны никакие другие контрмеры. При этом жела-

ТАБЛИЦА XIX. СВОДКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА “НОРМА И ПРОПУСК” ДЛЯ ОВЕЦ, ПЕРЕГОНЯЕМЫХ ИЗ ЗОНЫ ОГРАНИЧЕНИЯ В КАМБРИИ

	1986 ^a г.	1987 г.	1988 г.	1989 г.	1990 г.	1991 г.	Всего
Число животных	28 490	73 156	92 878	104 861	105 564	107 552	512 501
Число бракованных по загрязнению	3526	2372	739	326	160	136	7259
% отбракованных	12	3,2	0,85	0,31	0,15	0,13	1,42
Максимальное значение при замерах (Бк/кг)	3089	3379	2594	1864	1459	1479	

^a После введения метода, сентябрь 1986.

ТАБЛИЦА XX. СВОДКА ДАННЫХ ПО МОНИТОРИНГУ В СКОТОБОЙНЯХ ПОСЛЕ ВВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ В ФЕВРАЛЕ 1989 г.^a

	1989 г.	1990 г.	1991 г.	Всего
Число животных	10 535	10 159	10 871	31 565
Средняя активность (Бк/кг)	65	49	58	—
Максимальная активность (Бк/кг)	456	467	438	—

^a По трем скотобойням в Камбрии и трем в Ланкашире.

тельно в максимально возможной степени уменьшить площадь зон ограничений. Некоторые сельскохозяйственные контрмеры, такие, как обязательное применение болюсов берлинской лазури или химическая обработка почв, показали свою перспективность. Рекомендации к их применению могут быть подготовлены в рамках обычной структуры для принятия решений внутри Министерства, состоящей в настоящее время из нескольких временных комитетов, в которые входят ответственные чиновники и ученые вместе с представителями от Шотландии, Уэльса и Северной Ирландии.

15.2.4.5. Общее заключение

Система “норма и пропуск” была весьма эффективной для обеспечения защиты здоровья населения. Она также оказала положительное влияние на восстановление доверия общества, благодаря чему потребление британской баранины остается на том же уровне, что и до аварии. Система дает возможность фермерам, работающим в загрязненных зонах, поддерживать обычный уровень сельскохозяйственного производства. В табл. XIX и XX представлены данные, иллюстрирующие результаты программы мониторинга.

Существование ограничений в оставшихся небольших зонах в Камбрии и Северном Уэльсе не считается серьезной проблемой. Система “норма и пропуск” в значительной мере решила основные проблемы, возникшие после чернобыльских выпадений. В загрязненных зонах продолжают исследования по разработке методов снижения уровней ¹³⁷Cs в пастбищных травах, которые позволят снять все ограничения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Radioactive Fallout in Soils, Crops and Food, Soils Bulletin No. 61, FAO, Rome (1989).
- [2] Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident (Proc. Symp. Vienna, 1989), 2 vols, IAEA, Vienna (1990).
- [3] WORLD HEALTH ORGANIZATION, Derived Intervention Levels for Radionuclides in Food, WHO, Geneva (1988).
- [4] UNITED NATIONS, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (1988).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency, Safety Series No. 109 (in press).
- [6] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/WORLD HEALTH ORGANIZATION, Codex Alimentarius, General Requirements, Section 6.1, Guideline Levels for Radionuclides in Foods Following Accidental Nuclear Contamination, Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Rome (1991).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Generic Intervention Levels for Protecting the Public in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, Interim Report for Comment, IAEA-TECDOC-698, Vienna (1993).
- [8] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, Good Laboratory Practice in the Testing of Chemicals, OECD, Paris (1982).
- [9] PROEHL, G., MUELLER, H., JACOB, P., PARETZKE, H.G., "The dynamic radioecological model ECOSYS: A tool for the management of nuclear accident consequences", Environmental Impact of Nuclear Accidents (Proc. 4th Symp. Cadarache, 1988), CEA Centre d'études nucléaires de Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance (1988) B43-50.
- [10] WILKINS, B.T., HOWARD, B.J., DESMET, G.M., ALEXAKHIN, R.M., MAUBERT, H., Strategies for the deployment of agricultural countermeasures, Sci. Total Environ. 137 1-3 (1993) 1-8.
- [11] SEGAL, M.G., Agricultural countermeasures following deposition of radioactivity after a nuclear accident, Sci. Total Environ. 137 1-3 (1993) 31-48.
- [12] EDLEY, M.T., Review of SPADE Soil-Plant-Animal Models, ANS Rep. 2274-RI to Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Associated Nuclear Services, Epsom, UK (1990).
- [13] ARNOLD, L., Recommendations for Reduction of Agricultural Impact Subsequent to a Nuclear Accident, ANS Rep. 2387-R2 to Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Associated Nuclear Services, Epsom, UK (1991).
- [14] WILLDROT, C., Agrotechnical countermeasures to be applied before and during deposition of radioactive fallout, Sci. Total Environ. 137 1-3 (1993) 21-29.
- [15] PRISTER, B.S., LOSHCHILOV, N., PEREPELYATNIKOVA, L., PEREPELYATNIKOV, G., BONDAR, P., Efficiency of measures aimed at decreasing the contamination of agricultural products in areas contaminated by the Chernobyl accident, Sci. Total Environ. 112 (1992) 79-87.
- [16] PRISTER, B.S., PEREPELYATNIKOV, G.P., PEREPELYATNIKOVA, L.V., Countermeasures used in the Ukraine to produce forage and animal food products with radionuclide levels below intervention limits after the Chernobyl accident, Sci. Total Environ. 137 1-3 (1993) 183-198.
- [17] SANDALLS, F.J., "Review of countermeasures used in agriculture following a major nuclear accident", Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident (Proc. Symp. Vienna, 1989), IAEA, Vienna (1990) 129-140.
- [18] CHAMBERLAIN, A.C., Radioactive Aerosols, Cambridge Environmental Chemistry Series 3, Cambridge University Press, Cambridge (1991).
- [19] VOVK, I.F., BLAGOYEV, V.V., LYASHENKO, A.N., KOVALEV, I.S., Technical approaches to decontamination of terrestrial environments in the CIS (former USSR), Sci. Total Environ. 137 1-3 (1993) 49-63.

- [20] VAN DORP, F., ELEVELD, R., FRISSEL, M.J., Agricultural Measures to Reduce Radiation Doses to Man Caused by Severe Nuclear Accidents, ITAL Wageningen Rep. EUR 7370 EN, Commission of the European Communities, Luxembourg (1980).
- [21] JONES, B.E.V., Management methods of reducing radionuclide contamination of animal food products, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 227-233.
- [22] LENGEMANN, F.W., WENTWORTH, R.A., COMAR, C.L., "Physiological and biochemical aspects of the accumulation of contaminant radionuclides in milk", *Lactation: A Comprehensive Treatise*, Vol. 3, Nutrition and Biochemistry of Milk Maintenance (LARSON, B.L., SMITH, V.L., Eds), Academic Press, London (1974) 159-215.
- [23] VOIGT, G., Chemical methods to reduce the radioactive contamination of animals and their products in agricultural ecosystems, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 205-225.
- [24] LENGEMANN, F.W., Metabolism of radioiodine by lactating goats given iodine-131 for extended periods, *J. Dairy Sci.* **53** (1970) 165-170.
- [25] WATSON, E.C., NELSON, I.C., WOOD, C.H., McCLELLAN, R.O., BUSTAD, L.K., Effect of varying stable iodine in diets of cows fed ^{131}I on uptake of ^{131}I in man drinking the milk: An abstract, *Health Phys.* **9** (1963) 1419.
- [26] MAUBERT, H., VOVK, I., ROED, J., ARAPIS, G., JOUVE, A., Reduction of soil-plant transfer factors: Mechanical aspects, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 163-167.
- [27] JOUVE, A., SCHULTE, E., BON, P., CARDOT, A.L., Mechanical and physical removing of soil and plants as agricultural mitigation techniques, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 65-79.
- [28] ARNOLD, L., Methods to Reduce Agricultural Impact Subsequent to a Nuclear Accident, ANS Rep. 2367-R1 to Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Associated Nuclear Services, Epsom, UK (1990).
- [29] JOUVE, A., MAUBERT, H., MILLAN-GOMEZ, R., KUTLAKHMEDOV, Y., "Rehabilitation of soils and surfaces after a nuclear accident, some techniques tested in the Chernobyl zone", paper presented at Int. Conf. on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prague, 1993.
- [30] DAVYDCHUK, V., "The natural conditions of the experiment on soil deactivation by the method of contaminated layer removal", *Strategies of Decontamination*, Annual Report to Commission of the European Communities DGXII (MAUBERT, H., Ed.), CEC Contract No. COSU-CT92-0018, Cadarache, France (1992) 12.
- [31] SMITH, C.B., LAMBERT, J.A., "Technology and costs for cleaning up land contaminated with plutonium", *Selected Topics: Transuranium Elements in the General Environment*, Technical Note ORP/CSD-78-1, Environmental Protection Agency, Washington, DC (1978) 490-545.
- [32] ALEXAKHIN, R.M., et al., Change in land use and crop selection, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 169-172.
- [33] ØHLENSCHLÄGER, M., The Transfer of Radionuclides in the Terrestrial Environment, Rep. Risø-M-2934, Risø Natl Lab., Roskilde (1991).
- [34] ALEXAKHIN, R.M., Countermeasures in agricultural production as an effective means of mitigating the radiological consequences of the Chernobyl accident, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 9-20.
- [35] DESMET, G.M., VAN LOON, L.R., HOWARD, B.J., Chemical speciation and bioavailability of elements in the environment and their relevance to radioecology, *Sci. Total Environ.* **100** (1991) 105-124.
- [36] NISBET, A.F., et al., Application of fertilizers and ameliorants to reduce soil to plant transfer of radiocaesium and radiostrontium in the medium to long term: A summary, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 173-182.
- [37] LEMBRECHTS, J., A review of literature on the effectiveness of chemical amendments in reducing the soil-to-plant transfer of radiostrontium and radiocaesium, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 81-98.
- [38] NISBET, A.F., Effects of soil-based countermeasures on solid-liquid equilibria in agricultural soils contaminated with radiocaesium and radiostrontium, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 99-118.
- [39] KONOPLEV, A.V., et al., Influence of agricultural countermeasures on the ratio of different forms of radionuclides in soil and soil solution, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 147-162.

- [40] MINOTTI, P.L., CRAIG, D., KACKSON, W.A., High caesium uptake in wheat seedlings cultured with ammonium, *Soil Sci. Soc. Am., Proc.* **29** (1965) 220-221.
- [41] EVANS, E.J., DEKKER, A.J., Effect of nitrogen on caesium-137 in soils and its uptake by oat plants, *Can. J. Soil Sci.* **49** (1968) 349-355.
- [42] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, Comparative Assessment of the Environmental Impact of Radionuclides Released during Three Major Nuclear Accidents: Kyshtym, Windscale and Chernobyl, Rep. EUR 13574, CEC, Luxembourg (1991).
- [43] INTERNATIONAL UNION OF RADIOECOLOGISTS, Effects of Countermeasures on Radionuclides Transfer to Animal Products, Working Group on Plant-Animal Transfer, Contract Report to Commission of the European Communities, DGXI (in press).
- [44] WARD, G.M., JOHNSON, J.E., Validity of the term transfer coefficient, *Health Phys.* **50** (1986) 411-414.
- [45] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments, Technical Reports Series No. 364, IAEA, Vienna (1994).
- [46] COUGHTREY, P.J., Radioactivity Transfer to Animal Products, ANS Rep. 2223-RI to the Commission of the European Communities, DGXI, Associated Nuclear Services, Epsom, UK (1990).
- [47] BISHOP, G.P., BEETHAM, C.J., CUFF, Y.S., Review of Literature for Chlorine, Technetium, Iodine and Neptunium, NIREX Radioactive Waste Disposal Safety Studies, Rep. NSS/R193, Associated Nuclear Services, Epsom, UK (1989).
- [48] HOWARD, B.J., BERESFORD, N.A., HOVE, K., Transfer of radiocaesium to ruminants in natural and semi-natural ecosystems and appropriate countermeasures, *Health Phys.* **61** (1991) 715-725.
- [49] HOVE, K., et al., Countermeasures for reducing radioactive contamination of farm animals and farm animal products, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 249-260.
- [50] JACKSON, D., JONES, S.R., "Reappraisal of environmental countermeasures to protect members of the public following the Windscale Nuclear Reactor Accident, 1957", Comparative Assessment of the Environmental Impact of Radionuclides Released during Three Major Nuclear Accidents: Kyshtym, Windscale and Chernobyl, Rep. EUR 13574, Commission of the European Communities, Luxembourg (1991) 1015-1039.
- [51] SINGLETON, D.L., et al., Development of a laboratory method to predict rapidly the availability of radiocaesium, *Analyst* **117** (1992) 505-509.
- [52] HOWARD, B.J., Management methods of reducing radionuclide contamination of animal food products in semi-natural ecosystems, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 249-260.
- [53] BERTILSSON, J., ANDERSSON, I., JOHANSON, K.J., Feeding green-cut forage contaminated by radioactive fallout to dairy cows, *Health Phys.* **55** (1988) 855-862.
- [54] FIRSAKOVA, S.K., Effectiveness of countermeasures applied in Belarus to produce milk and meat with acceptable levels of radiocaesium after the Chernobyl accident, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 199-203.
- [55] JOHANSON, K.J., BERGSTROM, R., VON BOTHMER, S., KARDELL, L., "Radiocaesium in Swedish forest ecosystems", *The Chernobyl Fallout in Sweden* (MOBERG, L., Ed.), Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (1991) 477-486.
- [56] HOVE, K., Chemical methods for reduction of the transfer of radionuclides to farm animals in semi-natural environments, *Sci. Total Environ.* **137** 1-3 (1993) 235-248.
- [57] JOHNSON, J.E., WARD, G.M., FIRESTONE, E., KNOX, K.L., Metabolism of radioactive caesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) and potassium by dairy cattle as influenced by high and low forage diets, *J. Nutr.* **94** (1968) 282-288.
- [58] VAN DER BORGHT, O., COLARD, J., VAN PUymbROECK, S., KIRCHMANN, R., "Recontamination from milk in piglets (swine): Influence of sodium alginate on the $^{85}\text{Sr}/^{134}\text{Cs}$ ratio of the body burden and on the comparative $^{85}\text{Sr}/^{45}\text{Ca}$ absorption", *Radioecological Concentration Processes* (ABERG, B., HUNGATE, F.P., Eds), Pergamon Press, Oxford and New York (1967) 583-593.

- [59] THOMPSON, J.C., WENTWORTH, R.A., COMAR, C.L., "Control of fallout contamination in the post attack diet", Proc. Symp. on Survival of Food Crops and Livestock in the Event of Nuclear War (BENSON, B.W., SPARROW, A.H., Eds), Brookhaven Natl Lab., NY (1970) 566-595.
- [60] MATTSSON, S., MOBERG, L., "Fallout from Chernobyl and atmospheric nuclear weapons tests: Chernobyl in perspective", The Chernobyl Fallout in Sweden. Results from a Research Programme on Environmental Radiology (MOBERG, L., Ed.), Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (1991) 591-627.
- [61] STRAND, P., SELNAES, T.D., BCE, E., HARBITZ, O., ANDERSSON-SORLIE, A., Chernobyl fallout: internal doses to the Norwegian population and the effect of dietary advice, Health Phys. **63** (1992) 385-392.
- [62] FOULQUIER, L., Etude bibliographique sur la capacité et les modalités de la fixation de radiocaesium par les poissons, Rep. CEA-BIB-231 (2), Commissariat à l'énergie atomique, Paris (1979).
- [63] LAMBRECHTS, A., Essai de modelisation du transfert du césium 137 dans les compartiments d'un écosystème d'eau douce simplifié, Rep. CEA-R-5268, Commissariat à l'énergie atomique, Paris (1986).
- [64] ELLIOTT, J.M., et al., Radioactivity in fish from two Cumbrian lakes after Chernobyl: Sources of variability within the data, J. Appl. Ecol. **29** (1992) 108-120.
- [65] DAVISON, W., HILTON, J., HAMILTON-TAYLOR, J., LIVENS, F., KELLY, M., Measurement, interpretation and modelling of Cs-137 transport through two freshwater lakes after Chernobyl, J. Environ. Rad. **19** 2 (1993) 125-153.
- [66] GUILLITTE, O., et al., Decontamination methods for reducing radiation doses arising from radioactive contamination of forest ecosystems: A summary of available counter-measures, Sci. Total Environ. **137** 1-3 (1993) 307-314.
- [67] GUILLITTE, O., WILLDROT, C., An assessment of experimental and potential counter-measures to reduce radionuclide transfers in forest ecosystems, Sci. Total Environ. **137** 1-3 (1993) 273-288.
- [68] TIKHOMIROV, F., SCHCHEGLOV, A.I., SIDOROV, V.P., Forests and forestry: Radiation protection measures with special reference to the Chernobyl accident zone, Sci. Total Environ. **137** 1-3 (1993) 289-305.
- [69] SHAW, G., Blockade by fertilizers of caesium and strontium uptake into crops: effects on the root uptake process, Sci. Total Environ. **137** 1-3 (1993) 119-133.
- [70] RAVILA, A., HOLM, E., Flux of radionuclides in the forest industry, Sci. Total Environ. (in press).
- [71] NOORDIJK, H., QUINAULT, J.M., "The influence of food processing and culinary preparation on the radionuclide content of foodstuffs: a review of available data", First Report of the VAMP Terrestrial Working Group, IAEA-TECDOC-647, Vienna (1992) 35-59.
- [72] CAWSE, P.A., BAKER, S.J., GRANDISON, A.S., LEWIS, M.J., PATEL, S., "The influence of processing on the radionuclide content of food", Proc. Int. Sem. on Intervention Levels and Countermeasures for Nuclear Accidents, Rep. EUR 14469, Commission of the European Communities, Luxembourg (1992) 271-288.
- [73] STRAND, P., BRYNILDSEN, L.I., HARBITZ, O., TVETEN, U., "Measures introduced in Norway after the Chernobyl accident: A cost benefit analysis", Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident (Proc. Symp. Vienna, 1989), Vol. 2, IAEA, Vienna (1990) 191-202.
- [74] BENGTSSON, G.B., "Reduction of radionuclides in foodstuffs", Radioaktivt nedfall fra Tsjernobyl-ulykken. Følger norsk landbruk, naturmiljø og matforsyning (GARMO, T.H., GUNNERØD, T.B., Eds), Norges Landbruksvitenskapelige forskningsråd, Trondheim (1992) 129-148.
- [75] DUNSTER, H.J., HOWELL, H., TEMPLETON, W.L., "District surveys following the Windscale accident", Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 18, United Nations, New York (1958) 296-308.
- [76] CRICK, M.J., LINSLEY, G.S., An assessment of the 1957 Windscale accident reactor fire, Int. J. Radiat. Biol. **46** (1984) 479-506.

- [77] IRANZO, E., ESPINOSA, A., IRANZO, C., "Evaluation of remedial actions taken in agricultural area contaminated by transuranides", Impact des accidents d'origine nucléaire sur l'environnement (Proc. 4th Symp. Cadarache, 1988), Vol. 2, CEA, Centre d'études nucléaires de Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance (1988) F-1.
- [78] ROMANOV, G.N., NIKIPELOV, B.V., DREZHKO, E.G., "Establishing criteria for judging the effectiveness of radiation protection measures following the Kyshtym accident", Proc. Int. Sem. on Intervention Levels and Countermeasures for Nuclear Accidents, 1991, Rep. EUR 14469, Commission of the European Communities, Luxembourg (1992) 155-181.
- [79] МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ, Международный чернобыльский проект, технический доклад, МАГАТЭ, Вена (1992).
- [80] MÜCK, K., "Abschätzung der Effektivität der nach dem Reaktorunfall ergriffenen Gegenmaßnahmen", Die Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf Österreich — Folgestudien, Forschungsberichte 6/89, Bundeskanzleramt, Vienna (1989) Section 7.

БИБЛИОГРАФИЯ

ПОСЛЕДНИЕ ОБЗОРЫ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКИМ КОНТРМЕРАМ

ARNOLD, L., Methods to Reduce Agricultural Impact Subsequent to a Nuclear Accident, ANS Rep. 2367-R1 to Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Associated Nuclear Services, Epsom, UK (1990).

ARNOLD, L., Recommendations for Reduction of Agricultural Impact Subsequent to a Nuclear Accident, ANS Rep. 2387-R2 to Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Associated Nuclear Services, Epsom, UK (1991).

COUGHTREY, P.J., Land management following an accident, Proc. 2nd Int. IBC Seminar on Decommissioning of Nuclear Facilities, London, 1990, Associated Nuclear Services, Epsom, UK (1990).

DESMET, G. (Ed.), Improvement of Practical Countermeasures: The Agricultural Environment, Post Chernobyl Action, Final Rep. EUR 12554 EN, DGXII, Commission of the European Communities, Luxembourg (1991).

FNSEA/CNIEL, Agriculture, Environnement et Nucléaire: Comment Réagir en cas d'accident, Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles, Centre Interprofessionnel de L'Economie Laitière, Paris (1990).

HOWARD, B.J., DESMET, G.M. (Eds), REACT: Relative Effectiveness of Agricultural Countermeasure Techniques, Sci. Total Environ. 137 1-3 (1993).

LEISING, C., WIRTH, E., "Evaluation of countermeasures", Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident (Proc. Symp. Vienna, 1989), Vol. 2, IAEA, Vienna (1990) 103-110.

SANDALLS, F.J., "Review of countermeasures used in agriculture following a major nuclear accident", Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident (Proc. Symp. Vienna, 1989), Vol. 2, IAEA, Vienna (1990) 129-140.

СПРАВОЧНЫЕ ПОСОБИЯ, СЛУЖАЩИЕ РУКОВОДСТВОМ ПО КОНТРМЕРАМ ДЛЯ РАБОТНИКОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

АЛЕКСАХИН Р.М., Руководства для сельскохозяйственной деятельности в загрязненных районах Чернобыльской области 1991-1995 гг., Москва (1991).

Radiological Emergency Information for Farmers, Food Processors and Distributors, United States Department of Agriculture/Federal Emergency Management Agency, Washington, DC (1989).

ГЛОССАРИЙ

активность. Отношение числа N самопроизвольных ядерных превращений в данном количестве радионуклида за малый интервал времени dt к этому интервалу времени:

$$A = \frac{dN}{dt}$$

беккерель. Производная единица активности в системе СИ, равная одному радиоактивному распаду в секунду. Размерность — с^{-1} ; связь с традиционной единицей радиоактивности Кюри:

$$1 \text{ Бк} = 2,7027 \times 10^{-11} \text{ Ки}$$

бэр. Единица эквивалентной дозы, используемая в области радиационной защиты, предшествующая зиверту (Зв).

грэй. Единица поглощенной дозы ионизирующего излучения в системе СИ, равная одному джоулю энергии излучения, поглощенной в 1 кг вещества, подвергающегося облучению. Размерность — Дж/кг, связь с часто употребляемой единицей рад:

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$$

детерминированные эффекты воздействия на здоровье. Последствия воздействия облучения на здоровье, вероятность появления которых быстро растет от нуля до единицы при возрастании дозы выше некоторого порога. Тяжесть последствий также возрастает с ростом дозы над порогом воздействия.

закон радиоактивного распада. Относительная скорость уменьшения числа радиоактивных атомов данного радионуклида есть величина постоянная, не зависящая от времени и окружающих условий. Она является физической характеристикой данного радионуклида:

$$\lambda = \frac{-1}{N} \frac{dN}{dt}$$

где N — число радиоактивных атомов данного радионуклида на время t ; λ — постоянная распада радионуклида. Интегрирование этого уравнения дает:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

где N_0 — число радиоактивных атомов на время $t = 0$.

зиверт. Единица эквивалентной дозы ($1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$).

изотопы. Нуклиды с одинаковым атомным номером, (т.е. принадлежащие к одному химическому элементу), но с разным атомным весом (т.е. с одинаковым Z , но с разными A).

ионизирующее излучение. Любое излучение, состоящее из прямо или косвенно ионизирующих частиц или сочетание того и другого.

кюри. Единица активности, предшествующая Беккерелю (Бк). Кюри определяется как:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ распадов в секунду} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}$$

нуклид. Любая совокупность одинаковых атомов, имеющих общие характеристики: (1) число протонов Z в ядрах, (2) число нейтронов N в ядрах и (3) одинаковое энергетическое состояние ядер (в случае изомеров).

относительная биологическая эффективность. Фактор, который позволяет учитывать разное биологическое воздействие ионизирующего излучения различного состава, т.е. с различной линейной передачей энергии, сопровождающееся образованием одной и той же поглощенной дозы.

период полураспада (радионуклида) ($T_{1/2}$). $T_{1/2}$ — характеристика радионуклида — время, в течение которого число ядер данного радионуклида в результате радиоактивного распада уменьшается в два раза.

поглощенная доза. Отношение средней энергии $d\epsilon$, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме к массе dm вещества в этом объеме:

$$D = \frac{d\epsilon}{dm}$$

рад. Единица поглощенной дозы, предшествующая Грэю (Гр). Рад определяется как:

$$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр} = 0,01 \text{ Дж/кг} (= 100 \text{ эрг/г})$$

радионуклид. Радиоактивный нуклид.

стохастические эффекты воздействия на здоровье. Типичные эффекты воздействия облучения на здоровье людей обычно включающие широкий набор раковых заболеваний и наследственных эффектов. Вероятность появления одного из этих эффектов у отдельных лиц или их потомков в разных поколениях возрастает с увеличением полученной дозы.

удельная активность. Число самопроизвольных ядерных распадов в единице массы данного вещества в единицу времени. Выражается в Беккерелях (Бк) или Кюри (Ки) на моль или на грамм.