

УДК 574:539.163:636.084:614.876

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs В КОРМАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

© 2021 г. С. В. Фесенко^{1,*}, Н. Н. Исамов¹, П. В. Прудников², Е. С. Емлютина¹

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия*

² *Брянскагрохимрадиология, Брянск, Россия*

*E-mail: Corwin_17@mail.ru

Поступила в редакцию 30.04.2021 г.

После доработки 23.08.2021 г.

Принята к публикации 01.09.2021 г.

Представлен методический подход к обоснованию контрольных уровней содержания ^{137}Cs в кормах крупного рогатого скота (КРС), основанный на учете вероятностного характера параметров перехода ^{137}Cs в корма, молоко и мясо КРС. Выполнен сравнительный анализ мировых и российских данных по параметрам перехода ^{137}Cs из кормов в продукцию животноводства. Показано, что концентрации ^{137}Cs в молоке и мясе при содержании этого радионуклида в кормах, равные существующим контрольным уровням, обеспечивают безопасность молока, но не гарантируют соблюдение гигиенических нормативов на содержание ^{137}Cs в мясе. На основе методического подхода предложены контрольные уровни для мониторинга ^{137}Cs в кормах молочного и мясного скота в районах, подвергшихся загрязнению после Чернобыльской аварии. Использование предложенных контрольных уровней позволяет оптимизировать технологии ведения животноводства в районах Российской Федерации, загрязненных после аварии на ЧАЭС.

Ключевые слова: Чернобыльская авария, ^{137}Cs , контрольные уровни, крупный рогатый скот, молоко, мясо, коэффициенты перехода из кормов в продукцию животноводства

DOI: 10.31857/S0869803121060047

Ограничения на облучение человека, вызванные чернобыльской аварией, включая ограничения на использование содержащих радионуклиды пищевых продуктах, питьевой воде, древесине и некоторых других продовольственных и не продовольственных товарах, были внедрены вскоре после этой аварии как в СССР, так и во многих европейских странах [1–7]. В соответствии с Нормами радиационной безопасности [7], действующими в то время, Министерство здравоохранения СССР ввело временный предел на все тело средней эквивалентной дозы 100 мЗв в течение первого года после чернобыльской аварии (с 26 апреля 1986 г. по 26 апреля 1987 г.), 30 мЗв в течение второго года и по 25 мЗв в 1988 и 1989 г. [8]. Для ограничения внутреннего облучения населения в СССР были введены временные допустимые уровни (ВДУ) содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде [9–18].

Начиная с 1991 г., “нормальность” радиологической ситуации в отношении пищевых продуктов связывалась с эффективной дозой 1 мЗв/год (совместно от ^{90}Sr и ^{137}Cs) как уровнем невмешательства при распространении продуктов в торго-

вой сети [7]. В развитие этого дозового предела в 1996 г. были разработаны, а с 1997 г. введены в действие гигиенические нормативы СанПиН 2.3.2.560-96 “Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов” (далее СанПиН-96), согласно которым радиационная безопасность пищевых продуктов определяется соответствием этих продуктов определенным значениям удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs [14]. Соблюдение этих требований является обязательным на территории России для отечественной и импортной пищевой продукции.

СанПиН-96 был введен на всей территории России как важный элемент регулирования процесса реабилитации территорий и возвращения населения к нормальным условиям жизнедеятельности. Хотя разработка СанПиН-96 была инициирована в рамках государственной программы преодоления последствий Чернобыльской аварии и допустимые уровни удельной активности (ДУА) могли служить рабочими критериями для выделения территорий, где производится нормативно “чистая” продукция и защитные меропри-

ятия в агропромышленном комплексе не требуются, назначение ДУА было шире – контроль радиационной безопасности пищевых продуктов вне системы аварийного вмешательства.

Таким образом, СанПиН-96 замыкал систему радиационно-гигиенического нормирования пищевых продуктов от текущего периода времени до возникновения возможных радиационных аварий, когда может появиться дилемма – вводить ли аварийные уровни вмешательства или удерживать ситуацию в рамках требований СанПиН.

Как в начальный период после Чернобыльской аварии, так и в отдаленный период основной вклад в облучение население вносила продукция животноводства. С целью оперативного мониторинга загрязнения продукции животноводства в 1994 г. были предложены контрольные уровни (КУ) на содержание ^{137}Cs в кормах. Дополнительно к этим контрольным уровням, введенным впервые в 1994 г. (КУ-94), в Брянской и Калужской областях были введены более жесткие региональные контрольные уровни для концентрации ^{137}Cs в барде и жоме, которых составляли 111 и 185 Бк/кг соответственно.

Для обеспечения требований к безопасности пищевых продуктов в 2001 г. контрольные уровни содержания ^{137}Cs в кормах были изменены и введены в действие новые ветеринарные правила (ВП 13.5.13/06-01) [18]. В этом документе были приведены контрольные уровни (КУ-2001) концентраций ^{90}Sr и ^{137}Cs в кормах. При разработке этих показателей в значительной мере учитывались достигнутые уровни загрязнения кормов, а также молока и мяса на начало 2000-х годов. К сожалению, в 2001 г. эти ветеринарные правила были отменены, и в настоящее время единственным легитимным официальным документом, устанавливающим контрольные уровни содержания ^{137}Cs в кормах, остаются КУ-94, введенные в 1994 г.

Таким образом, в настоящее время отсутствует современная система нормативов, определяющих допустимые концентрации радионуклидов в кормах животных. Это существенно осложняет мониторинг радиоактивного загрязнения кормов, особенно в районах, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, а “допустимые” уровни содержания ^{137}Cs не гарантируют получение молока и мяса с содержанием, удовлетворяющим требованиям СанПиН 2.3.2.1078-01 (с доп. и изм. №18 – СанПиН 2.3.2.2650-10). Отсутствие документа, определяющего допустимые концентрации радионуклидов в кормах животных, является пробелом в российском регулировании, касающемся радиационной безопасности, и осложняет переход к нормальной жизнедеятельности в регионах, имеющих аварийный статус после ядерных аварий.

Вследствие изложенного, основной целью настоящей статьи является обоснование контрольных уровней содержания ^{137}Cs в кормах крупного рогатого скота, гарантирующих получение молока и мяса с концентрациями ^{137}Cs , удовлетворяющими требованиям современных санитарных норм и правил в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КОНТРОЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ^{137}Cs В КОРМАХ

Контрольные уровни содержания ^{137}Cs в кормах и допустимые концентрации ^{137}Cs в продукции, используемые в различные периоды времени после аварии на ЧАЭС, приведены в табл. 1. Значения контрольных уровней устанавливались таким образом, чтобы было гарантировано не превышение допустимых уровней в пищевых продуктах, с учетом снижения этих нормативов до возможно низкого уровня. Для оценки допустимого количества радиоцезия в суточном рационе кормления животных использовались средние значения коэффициентов перехода ^{137}Cs из кормов в продукцию 0.01 для молока и 0.04 для мяса крупного рогатого скота (КРС).

В случае превышения контрольных уровней допускалось использование кормов для кормления рабочего скота и на ранней стадии откорма животных на мясо. В то же время анализ данных по поступлению ^{137}Cs в продукцию животноводства показал, что содержание радионуклидов в кормах на уровне КУ приводило в некоторых случаях к превышению допустимых концентраций ^{137}Cs в пищевых продуктах. Во многом это было связано с отсутствием учета неопределенности в оценке параметров перехода радионуклидов в продукцию животноводства и спецификой некоторых рационов кормления животных.

К основным видам кормов, составляющих рацион питания животных, входят: грубые (сено, солома, мякина) и сочные корма (силос, сенаж), корнеплоды, зеленые корма (травы естественные, сеяные и др.), концентрированные корма (зерно злаковых и бобовых культур, отруби), комбикорма и др. В районах, в которых находятся предприятия по производству этилового спирта и сахарной свеклы на сахар, в основу рациона кормления животных могут входить барда и свекловичный жом. Бардой называются отходы (побочный продукт) от винокурения, употребляемые как корм для домашних животных. Свекловичный жом – это “обессахаренная” свекловичная стружка, растворенная в воде перед использованием в качестве корма для животных. Из тонны сахарной свеклы получают около 35 кг сахара, 540 кг сырого жома и 40 кг мелассы или кормовой патоки.

Таблица 1. Допустимые уровни содержания ^{137}Cs (ВДУ) в пищевых продуктах (СанПиН) и контрольные уровни содержания этого радионуклида в кормах
Table 1. Permissible Levels (PL) in the food and reference levels (CL) of ^{137}Cs in the animal fodder

Вид продукта/Документ	ВДУ-91	ВДУ-93	СанПиН 2.3.2.560-96	СанПиН 2.3.2.1078-01	СанПиН 2.3.2. 2650 – 10
Допустимые уровни в пищевых продуктах, Бк					
Молоко	370	370	50.0	100.0	100
Мясо (говядина)	740	600	160.0	160.0	200.0
Годы действия	1991–1993	1993–1996	1996–2001	2001–2010	2010-нв
Контрольные уровни содержания ^{137}Cs в кормах					
Компоненты рациона		КУ-94		ВП 13.5.13/06-01	
Грубые корма – сено		600		400.0	
Грубые корма – солома		600		400.0	
Сочные корма – силос		600		80.0	
Сочные корма – сенаж		600		80.0	
Корнеплоды		600		60.0	
Зеленые корма		370		100.0	
Концентрированные корма		600		200.0	
Барда, жом свекольный		600		65	

В состав рациона могут входить и различного рода кормовые добавки, такие как мел, поваренная соль с микроэлементами, витамины А и D₂, а также диаммонийфосфат. В то же время весовые количества кормовых добавок низки, не влияют на поступление ^{137}Cs в рацион и не являются объектом нормирования.

При обосновании допустимых уровней содержания ^{137}Cs в кормах необходимо учитывать стохастический характер процессов, определяющих перенос радионуклидов в продукцию животноводства. Поэтому важным является обеспечение “непревышения” нормативов СанПиН 2.3.2.1078–01 и СанПиН 2.3.2.2650–10 на определенном уровне вероятности. В качестве такого уровня вероятности был принят 95%-ный квантиль. Квантиль – это значение, которое заданная случайная величина не превышает с фиксированной вероятностью. Так, например, если 95%-ный квантиль распределения радионуклидов в пробах молока составляет 100 Бк/л, это означает, что в 95% проб концентрация радионуклидов будет меньше или равна 100 Бк/л, и только в 5% проб она может превышать это значение.

Допустимое содержание радионуклида в суточном рационе “*k*” ($Q_k^{\text{ДУ}}$, Бк/кг) определяется нормативами СанПиН 2.3.2.1078–01 и СанПиН 2.3.2.2650–10 на содержание радионуклидов в *k*-й продукции животноводства (молоко, мясо) ($A_k^{\text{ДУ}}$, Бк/кг⁻¹) (табл. 1) и значением коэффициента перехода радионуклидов в этот вид продукции ($K_{\text{П}}^k$, (Бк кг)/(Бк/сут)). Учитывая, что коэффициент

перехода радионуклидов из кормов в продукцию животноводства варьирует (распределен) в некотором диапазоне значений, для оценки $K_{\text{П}}^k$, используемого для нормирования, целесообразно взять значение, соответствующее 95%-ной квантили соответствующего распределения. Такой подход соответствует тому, что допустимое суточное поступление ^{137}Cs в организм животного – $Q_k^{\text{ДУ}}$, рассчитанное на основе следующего выражения:

$$Q_k^{\text{ДУ}} = \frac{A_k^{\text{ДУ}}}{K_{\text{П}}^k} \quad (1)$$

гарантирует непревышение норматива СанПиН (A^j) в 95% случаев.

Содержание ^{137}Cs в суточном стандартном рационе кормления животных (Q) при известной концентрации радионуклидов в кормах рассчитывается на основе стандартного выражения:

$$Q^k = \sum_1^N \delta_i^k \times q_i, \quad (2)$$

где δ_i^j – весовое количество кормов вида (*i*) в суточном рационе кормления животных (*k*); q_i – концентрация ^{137}Cs в *i*-м виде кормов, *N* – количество различных кормов в рационе.

При оценке контрольных уровней важным является вопрос квотирования, т.е. определения квот на суточное поступление радиоцезия в организм животного с различными кормами. В реаль-

ных условиях между загрязнением кормов существуют определенные соотношения, которые определяются как закономерностями накопления радионуклидов сельскохозяйственными растениями, так и особенностями их переработки, применяемой для производства кормов для животных.

В качестве реперного вида корма можно рассматривать сено (грубые корма), которое входит в большинство рационов кормления животных. Вследствие этого при оценке квоты отдельных видов кормов в суточное поступление радионуклидов в организм животного содержание ^{137}Cs в кормах принималось за единицу, а загрязнение остальных видов кормов оценивалось как отношение концентрации ^{137}Cs в каждом из кормов к содержанию ^{137}Cs в сене.

Отношения загрязнения различных видов кормов к загрязнению сена (r_i) в каждом конкретном случае являются случайной величиной. Вследствие этого для гарантированного обеспечения соблюдения нормативов СанПин в качестве отношений, принимаемых для расчета контрольных уровней в кормах, принималась 95%-ная граница распределения величины r_i . Таким образом, $Q_k^{\text{ДУ}}$ можно представить в следующем виде:

$$Q_k^{\text{ДУ}} = \left(KУ_1 \times \delta_1^j + \sum_2^N KУ_i \times \delta_i^j \right), \quad (3)$$

где $KУ_1$ – контрольный уровень содержания радионуклида в сене (Бк/кг), $KУ_i$ – контрольный уровень содержания радионуклида в i виде кормов, N – количество кормов в рационе. Остальные параметры определены выше.

Поскольку принимается, что $KУ_i = KУ_1 \times r_i$, где r_i является отношением концентрации ^{137}Cs в i -м виде кормов к его концентрации в сене, выражение (3) можно преобразовать к следующему виду:

$$Q_k^{\text{ДУ}} = KУ_1 \times \left\{ \delta_1^k + \sum_2^N \delta_i^k \times r_i \right\}. \quad (4)$$

Тогда контрольный уровень содержания ^{137}Cs в сене ($KУ_1$) можно определить как:

$$KУ_1 = \frac{Q_k^{\text{ДУ}}}{\left\{ \delta_1^k + \sum_2^N \delta_i^k \times r_i \right\}} \quad (5)$$

или
$$KУ_1 = \frac{A_k^{\text{ДУ}}}{KП_k^{\text{ДУ}} \times \left\{ \delta_1^k + \sum_2^N \delta_i^k \times r_i \right\}}.$$

Соответственно контрольные уровни в других видах кормов ($KУ_i$) можно рассчитать, как:

$$KУ_i^k = KУ_1^k \times r_i. \quad (6)$$

Как отмечено выше, в качестве оценки r_i используется 95%-ный квантиль от выборки отношений, концентраций ^{137}Cs в кормах, нормированных на содержание этого радионуклида в сене, рассчитанных на основе данных мониторинга загрязнения кормов в районах, подвергшихся загрязнению после аварии на Чернобыльской АЭС.

Значения $KУ$ рассчитываются для всех рационов кормления животных, при этом выбираются значения, которые обеспечивают “непревышение” нормативов СанПиН для всех возможных рационов, т.е. в качестве контрольных уровней следует выбрать минимальные значения из набора $KУ_i^j$, рассчитанных для всех типичных рационов кормления животных.

ОБОСНОВАНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ УРОВНЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В КОРМАХ

Для применения представленного подхода к обоснованию значений контрольных уровней радионуклидов в кормах необходима следующая информация:

- состав типовых рационов кормления животных, предназначенных для производства продукции животноводства;
- 95%-ные квантили коэффициентов перехода в молоко и мясо;
- 95%-ные квантили отношений концентрации радионуклидов в различных видах кормов к концентрации радионуклидов в грубых кормах (сене).

Отметим, что в последнем случае отношения концентраций радионуклидов в различных видах кормов к концентрации радионуклидов в сене отражают реально существующие различия в уровнях загрязнения кормов, обеспечивая одинаковые требования к выбору контрольных уровней.

Рационы кормления животных

Для оценки поступления радионуклидов в продукцию животноводства использовались типовые рационы кормления молочного скота, рационы кормления выбракованных взрослых животных и молодняка КРС старше года на мясо при стойловом содержании в зимний период и выгульном содержании в летний период [19].

Следует отметить существующие отличия между рационами кормления лактирующих коров, выбракованных взрослых животных и молодняка КРС, выращиваемого на мясо при стойловом содержании в зимний период. Так, рацион лактирующих коров намного разнообразнее и включает ряд компонентов, обеспечивающих сбалансированность питания животных.

Таблица 2. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в молоко и мясо крупного рогатого скота
Table 2. Concentration factors of ^{137}Cs to cattle milk and meat

Продукт	<i>N</i>	Геометрическое среднее	Геометрическое стандартное отклонение	Среднее	Стандартное отклонение	95%-ный квантиль
Оценка на основе мировых данных						
Молоко	288	4.6×10^{-3}	2.0	6.1×10^{-3}	6.3×10^{-3}	1.3×10^{-2}
Мясо	58	2.2×10^{-2}	2.2	3.0×10^{-2}	2.3×10^{-2}	7.8×10^{-2}
Оценка на основе только российских (советских) данных						
Молоко	21	9.2×10^{-3}	1.3	9.8×10^{-3}	3.8×10^{-3}	1.3×10^{-2}
Мясо	13	3.8×10^{-2}	1.6	4.2×10^{-2}	1.7×10^{-2}	7.3×10^{-2}

Отдельно рассматривался травяной рацион, включающий зеленые и концентрированные корма. В этом случае зеленые корма определялись как референтный компонент рациона, а концентрированные корма — как дополнительный. Основой рациона лактирующих коров в зимне-стойловый период содержания в большинстве случаев служат грубые корма, тогда как в зимне-стойловый период при откорме животных на мясо основной вклад в рацион вносит силос [19].

Переход ^{137}Cs из кормов в молоко и мясо животных

В последнее время было выполнено несколько крупных обобщений как российских (советских), так и мировых данных по коэффициентам перехода радионуклидов в продукцию животноводства [20, 21]. Значительную долю мировых обзоров составляли данные российских исследований [22–31]. Полученные в результате анализа мировых данных параметры перехода приведены в табл. 2.

Полученные данные позволяют оценить параметры, используемые для нормирования поступления ^{137}Cs в молоко и мясо крупного рогатого скота. Следует отметить, что коэффициенты перехода ($K_{\text{П}}$) радионуклидов в молоко и мясо КРС, представленные в базе мировых данных, получены для существенно более широкого набора условий ведения животноводства и включают как экстенсивные, так и интенсивные технологии ведения сельского хозяйства. Этим определяются более широкие диапазоны для параметров, которые оценены на основе мировых данных.

95%-ные квантили, оцененные на основе как мировых, так и российских данных, довольно близки, причем 95%-ный квантиль $K_{\text{П}}$ в мясо, полученный на основе мировых данных, даже несколько больше $K_{\text{П}}$, оцененного на основе российских данных (рис. 1). Это объясняется существенно большей дисперсией значений, содержащейся в базе мировых данных и, как следствие, различ-

ной формой функции плотности распределения, аппроксимирующей эти данные.

Представленные данные позволяют достаточно надежно оценить 95%-ные квантили для коэффициентов перехода ^{137}Cs из кормов в молоко и мясо крупного рогатого скота, в качестве которых можно принять 0.013 (Бк/кг)/(Бк/сут) и 0.073 (Бк/кг)/(Бк/сут), для молока и мяса крупного рогатого скота соответственно. Отметим, что эти значения, особенно для мяса, существенно больше, чем значения $K_{\text{П}}$ 0.01 (молоко) и 0.04 (мясо), использованные ранее для разработки нормативов КУ-94 и Ветеринарных правил (ВП 13.5.13/03–00) [18]. Соответственно, они должны приводить к более жестким требованиям по ограничениям суточного поступления радионуклидов в организм животного с кормом.

Таким образом, данные табл. 2 позволяют оценить допустимое суточное поступление ^{137}Cs из кормов в молоко и мясо крупного рогатого скота, гарантирующее “непревышение” содержания этого радионуклида в продукции животноводства на 95%-ном уровне. Эти значения составляют 7700 Бк/сут для молочного скота и примерно 2700 Бк/сут для мясного скота соответственно.

Содержание ^{137}Cs в кормах животных в районах Брянской области

Соотношение между концентрациями ^{137}Cs в кормах, производимых в районах радиоактивного загрязнения, имеет важное значение при обосновании квотирования кормов по вкладу в суточное потребление этого радионуклида животными. Отношение концентраций ^{137}Cs в кормах к концентрации этого радионуклида в сене, рассчитанные на основе данных за 2008–2018 гг. [32], приведены в табл. 3.

Вариабельность отношений содержания ^{137}Cs в зеленых кормах к сене характеризуется высокой изменчивостью при значении геометрического

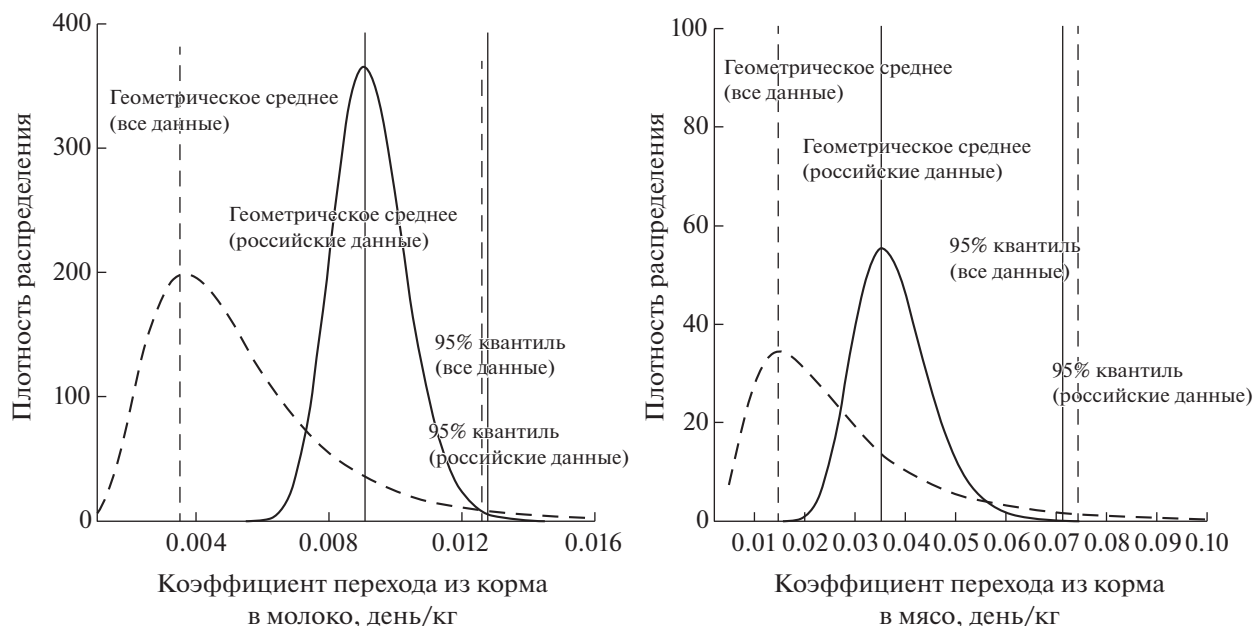


Рис. 1. Сравнение функций плотности распределения, соответствующих данным по коэффициентам перехода в молоко и мясо, содержащихся в базах мировых и российских данных.

Fig. 1. Comparison of distribution density functions corresponding to transfer coefficients to milk and meat (beef) derived from the global and Russian databases.

стандартного отклонения 2.39, при этом средняя концентрация ^{137}Cs в зеленых кормах достаточно близка к средней концентрации ^{137}Cs в сене. Это можно объяснить тем, что одни и те же угодья обычно не используются одновременно для выпаса и заготовки кормов. При выпасе животных могут использоваться неокультуренные луга, естественные угодья с низкой продуктивностью, тогда как для заготовки сена используют более высокопродуктивные сенокосы с низкими коэффициентами перехода в растительность. Существуют ограничения на выпас в поймах рек, а заготовка зеленой массы на сено или сенаж обычно проводится на мелиорированных, окультуренных угодьях с сеянными травами. В результате коэффи-

циенты перехода радионуклидов в зеленую массу могут отличаться до 100 раз и более.

При производстве сена используется травостой различного типа, который высушивается до определенной влажности. Процент сухого вещества в травостое различного типа варьирует от 27.8 до 44% (вейнико-злаково-разнотравный травостой). Для травостоя злаково-разнотравного пастбища эта величина составляет 35.4%. После высушивания сена содержание сухого вещества увеличивается до 82–85%. Соответственно, можно ожидать, что коэффициенты перехода, рассчитанные на 1 кг сена, от 1.8 до 2.4 больше, чем коэффициенты перехода, рассчитанные на 1 кг сырой массы травы, отобранной на том же поле.

Таблица 3. Отношение концентрации ^{137}Cs кормах к концентрации этого радионуклида в сене по данным радиологического контроля в 2008–2018 гг.

Table 3. Ratios of ^{137}Cs concentrations in feedstuffs to that in hay according to radiological monitoring data for 2008–2018

Тип рациона	Сенаж	Зеленые корма	Силос	Солома	Концентраты
N	223	439	243	253	330
Геометрическое среднее	0.27	0.67	0.24	0.36	0.18
Геометрическое стандартное отклонение	1.85	2.39	1.80	1.89	1.82
Арифметическое среднее	0.30	0.97	0.28	0.42	0.21
Стандартное отклонение	0.16	0.87	0.14	0.21	0.10
Минимальное	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02
Максимальное	0.70	3.97	0.60	0.93	0.46

Таблица 4. Отношение коэффициентов перехода в некоторые виды кормов по отношению к сене сеяных трав
Table 4. Ratios of transfer coefficients to some feedstuffs to that to grass hay

Корма	Число проб	Содержание сухого вещества	Отношение геометрических средних	Отношение арифметических средних
Корнеплоды	81	0.21	0.15	0.13
Зеленая масса	401	0.20	0.79	0.85
Кукурузный силос	101	0.25	0.23	0.18

Таблица 5. Контрольные уровни содержания ^{137}Cs в кормах (КУ-2021), обеспечивающие соблюдение норматива СанПиН 2.3.2.1078-01 и СанПиН 2.3.2. 2650-10 в молоке и мясе
Table 5. Reference levels (RLs) of ^{137}Cs in the feedstuffs (RL-2021) to ensure compliance with SanPiN 2.3.2.1078-01 and SanPiN 2.3.2. 2650-10 in milk and meat of cattle

Корма	Молоко		Мясо		КУ 2021/КУ 2001	
	расчетное значение	округленное значение	расчетное значение	округленное значение	молоко	мясо
Сено	425	400	268	250	1.00	0.63
Сенаж	115	100	72	70	1.25	0.88
Зеленые корма	202	200	75	75	2.00	0.75
Силос	102	100	72	70	1.25	0.88
Корнеплоды	85	80	—	80	1.33	1.33
Солома	153	150	97	100	0.38	0.25
Концентраты	76	70	48	50	0.35	0.25
Барда ржаная	—	100	38	35	1.54	0.54
Жом свекловичный	—	100	35	35	1.54	0.54

Похожими закономерностями характеризуются и отношения концентраций к сене и других кормов.

Радиационный контроль некоторых видов кормов, таких как кормовая свекла, барда и свекловичный жом в районах, пострадавших после аварии на ЧАЭС, проводился в ограниченном объеме. Вследствие этого для оценки отношений между содержанием радионуклидов в этих кормах и сене является использование коэффициентов перехода радионуклидов из почвы в соответствующие кормовые культуры (табл. 4).

Значения, приведенные в табл. 4, рассчитаны на основе информации, представленной в работе [20], обобщающей существующие данные по параметрам переноса радионуклидов в окружающей среде, включая поступление радионуклидов из почвы в кормовые культуры. Отметим, что эти значения пересчитаны на естественный вес в корнеплодах, зеленой массе и силосе, обеспечивая эквивалентность этой информации данным, приведенным в табл. 3.

Отношения содержания ^{137}Cs в зеленой массе травы и в кукурузном силосе к его содержанию в сене, приведенные в табл. 4, близки к значениям, наблюдаемым в районах России, загрязненных после аварии на Чернобыльской АЭС, подтверждая возможность использования данных для кормовой свеклы при проведении этих оценок. Таким образом, данные табл. 4 хорошо согласуются с данными табл. 3, что позволяет их использовать для оценки контрольных уровней как для кормления лактирующих коров, так и при откорме КРС на мясо. Особое значение это имеют при обосновании КУ для кормов, таких как барда (ржаная и картофельная) и свекловичный жом, данные радиологического мониторинга о содержании ^{137}Cs для которых ограничены.

КОНТРОЛЬНЫЕ УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs В КОРМАХ

Контрольные уровни, рассчитанные на основе методического подхода, описанного выше, представлены в табл. 5.

Наряду с расчетными величинами приведены округленные значения, которые удобны для практического использования. Следует отметить, что в отличие от контрольных уровней 1994 г. (КУ-94) в настоящей работе предложено использовать отдельные контрольные уровни для кормов, предназначенных для молочного и мясного скота, рассчитываемые на основе формул (5) и (6).

В соответствии с предложенной методологией, в качестве оценок контрольных уровней были взяты минимальные значения, рассчитанные для всех типовых рационов, приведенных в работе [19]. Значения КУ для мясного скота были рассчитаны как для откорма молодняка, так и выбранного взрослого скота.

Данные табл. 5 показывают, что контрольные уровни, обеспечивающие получение молока с содержанием ^{137}Cs , удовлетворяющим требованиям СанПиН 2.3.2. 2650–10, в 1.4–2.7 раза больше, чем аналогичный показатель для мяса. Таким образом, применение контрольных уровней по содержанию ^{137}Cs в мясе к кормам для молочного скота безусловно обеспечит соблюдение требований СанПиН 2.3.2.1078–01 и СанПиН 2.3.2. 2650–10. В то же время они будут неоправданно консервативны для кормления молочного скота и могут привести к дополнительным потерям кормов. Таким образом, введение отдельных контрольных уровней позволяет оптимизировать ведение животноводства на загрязненных территориях и избежать возможных потерь кормов, использование которых допустимо без снижения качества продуктов питания.

Контрольные уровни, приведенные в настоящей работе, отражают соотношения между загрязнением кормов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС и учитывают различия в кормлении молочного и мясного скота. Содержание ^{137}Cs в молоке и мясе при концентрациях этого радионуклида в кормах, соответствующих контрольным уровням, приведено в табл. 6.

Сравнивая контрольные уровни для кормов, полученные на основе формул (5) и (6), с аналогичными значениями ветеринарных правил ВП 13.5.13/06–01 (табл. 6), следует отметить, что они, в большинстве случаев, выше контрольных уровней ВП 13.5.13/06–01 для молока и ниже контрольных уровней, ВП 13.5.13/06–01 для мяса. Исключением являются контрольные уровни для концентратов, соломы, барды и жома. В этих случаях значения ВП 13.5.13/06–01 значительно (3–4 раза) превышают контрольные уровни, полученные в нашей работе как для молока, так и для мяса.

Данные, приведенные в табл. 6, также показывают, что контрольные уровни КУ-1994 и КУ-2001 обеспечивали соблюдение нормативов на безопас-

ность молочной продукции (ВДУ 93 (370 Бк/кг) или СанПиН 2.3.2.1078–01 (100 Бк/кг), действующие на период их использования. В то же время концентрации ^{137}Cs в кормах на уровне этих значений могли приводить к значительному превышению нормативов по содержанию этого радионуклида в мясе для большинства типовых рационов.

Это позволяет сделать вывод, что КУ-94 и КУ-2001 были в первую очередь направлены на получение молока, удовлетворяющего гигиеническим нормативам. Потенциальное превышение ^{137}Cs в мясе не велико – 10–30% и могло быть компенсировано за счет дополнительного откорма животных на чистых кормах. Контрольные уровни на содержание ^{137}Cs в барде и жоме не обеспечивали безопасности получаемого мяса и были неадекватно оценены на основе практики ведения производства в загрязненных районах.

В табл. 6 также приведены средние отношения концентрации ^{137}Cs в молоке при кормлении животных кормами с содержанием ^{137}Cs на уровне КУ-94 и ВП 13.5.13/06–01, рассчитанные для типовых рационов кормления животных. Из таблицы видно, что средние значения отношений концентраций ^{137}Cs в молоке на уровне КУ-94 и ВП 13.5.13/06–01 к нормативам на допустимое содержание ^{137}Cs в этом продукте находятся на уровне 0.55–0.58, т.е. обеспечивают безопасность производимого молока почти с двукратным консерватизмом. Аналогичные отношения, рассчитанные для мяса, достаточно близки к единице, что подтверждает выводы, сделанные выше. Таким образом, нормативы КУ-94 и КУ-2001 могли приводить к необоснованным действиям по содержанию и кормлению лактирующих коров.

Раздельные контрольные уровни на содержание ^{137}Cs в кормах молочного и мясного скота, предложенные в настоящей работе, обеспечивают существенно более рациональное использование кормов, производимых на загрязненной территории. При этом средние значения отношения концентраций ^{137}Cs на уровне КУ-2021 к нормативам содержание ^{137}Cs в молоке, соответствующее СанПиН 2.3.2. 2650–01, составляет 0.76 для молока и 0.79–0.87, обеспечивая разумный консерватизм для обеспечения безопасности всего набора рационов кормления животных.

Данные табл. 6 также обеспечивают возможность оптимального подбора рационов в зависимости от уровня загрязнения территорий. Минимальное содержание в молоке при содержании ^{137}Cs в кормах лактирующих коров соответствует силосно-сенажному и силосно-концентратному рационам, а для скота на откорме на мясо – сенажному и силосно-сенажному рационам. Высо-

Таблица 6. Содержание ^{137}Cs в молоке и мясе при концентрациях ^{137}Cs в кормах, соответствующих контрольным уровням. Значения концентраций ^{137}Cs в молоке или мясе, превышающие соответствующие нормативы, показаны курсивом

Table 6. ^{137}Cs concentrations in milk and meat calculated for the ^{137}Cs concentrations in feedstuffs corresponding the reference levels. Values of ^{137}Cs concentrations in fodder resulting in exceeding the standards for foodstuffs are shown in Italics

Тип рациона	КУ-1994	КУ-2001	КУ-2021
Молочный скот – молоко			
Травяной	148	46	99
Сенной	276	72	93
Смешанный	210	66	83
Силосный	210	56	76
Силосный	162	36	42
Силосно-сенажный	288	58	69
Силосно-концентратный	207	48	67
Среднее отношение к допустимой концентрации	0.58	0.55	0.76
Мясной скот – мясо			
<i>Откорм молодняка</i>			
Травяной (Зеленые корма – 40 кг)	592	<i>160</i>	198
Травяной (Зеленые корма – 35 кг)	<i>602</i>	<i>168</i>	197
Травяной (содержание зеленых кормов 27 кг)	<i>640</i>	<i>188</i>	196
Сенажно-силосный	<i>696</i>	136	153
Сенажный	504	72	106
Силосный (А)	<i>820</i>	<i>179</i>	195
Силосный (Б)	583	122	151
Откорм на барде	<i>1066</i>	<i>192</i>	110
Откорм на жоме	<i>1080</i>	<i>165</i>	114
Среднее отношение к допустимой концентрации	0.99 (0.86 ¹)	0.96 ² (0.76 ¹)	0.79
<i>Откорм выбракованного взрослого крупного рогатого скота</i>			
Травяной (содержание зеленых кормов 40 кг)	<i>640</i>	160	198
Силосно-сенажный	<i>720</i>	106	151
Силосный	<i>816</i>	144	180
Откорм на барде	<i>1774</i>	<i>237</i>	190
Откорм на жоме	<i>1526</i>	<i>201</i>	166
Среднее отношение к допустимой концентрации	1.5 (0.98 ¹)	0.96 (0.76 ¹)	0.87

¹ Без учёта рационов на барде и свекловичном жоме.

² Для ВДУ в мясе 160 Бк/кг.

кое содержание ^{137}Cs в молоке соответствует рационам с повышенным содержанием кукурузного силоса (28–30 кг). Наибольшие концентрации ^{137}Cs в молоке характерны для травяных рационов, т.е. при выпасе животных на пастбище, что требует особого внимания при организации контроля кормов для животных в летний период.

Определенное внимание должно уделяться и определению удельной активности ^{137}Cs в барде и свекловичном жоме. В то же время эти корма производятся на предприятиях по переработке, что снижает потенциальную погрешность оценки содержания радионуклидов в продукции животноводства, связанную с отбором этих проб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые предложен метод оценки контрольных уровней в кормах крупного рогатого скота, основанный на учете вероятностного характера параметров перехода ^{137}Cs в корма и продукцию животноводства. Особенности этого метода является логичный алгоритм обоснования контрольных уровней и введение отдельных контрольных уровней для кормов, используемых для содержания молочного и мясного скота. Использование этих контрольных уровней обеспечивает получение безопасной продукции животноводства для всех типовых рационов содержания животных. Использование предложенных контрольных уровней позволяет оптимизировать технологии ведения животноводства в районах Российской Федерации, загрязненных после аварии на ЧАЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия // Информация, подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ (25–29 августа 1986 г., Вена). М.: ГКАЭ СССР, 1986. 57 с. [Avariya na Chernobyl'skoj AEHS i ee posledstviya // Informatsiya, podgotovlenaya dlya soveshaniya ehkspertov MAGATE (25–29 avgusta 1986 goda, Vena). М.: ГКАЭН СССР, 1986. 57 p. (In Russian)]
2. Ильин Л.А., Павловский О.А. Радиологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и меры, предпринятые с целью их смягчения // Атомная энергия. 1988. Т. 65. Вып. 2. С. 119–129. [Il'in L.A., Pavlovskij O.A. Radiologicheskie posledstviya avarii na Chernobyl'skoj AEHS i mery, predprinatyie s tsel'yu ikh smyagcheniya // Atomnaya ehnergiya. 1988. V. 65. Вып. 2. P. 119–129. (In Russian)]
3. Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Environment" (EGE). IAEA: Vienna, 2006. 166 p.
4. International Advisory Committee, International Chernobyl Project: Technical Report. IAEA: Vienna, 1991. 740 p.
5. Alexakhin R.M., Fesenko S.V., Sanzharova N.I. Serious radiation accidents and the radiological impact on agriculture // Radiat. Prot. Dosim. 1996. V. 64. P. 37–42.
6. Alexakhin R.M., Sanzharova N.I., Fesenko S.V. et al. Chernobyl radionuclide distribution, migration, and environmental and agricultural impacts // Health Phys. 2007. V. 93. № 5. P. 418–426.
7. Balonov M. et al. Harmonization of standards for permissible radionuclide activity concentrations in foodstuffs in the long term after the Chernobyl accident // J. Radiol. Prot. 2018. V. 38. P. 854–867.
8. Нормы радиационной безопасности НРБ-76 и Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений. 2-е изд.; перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1981. 79 с. [Normy radiatsionnoj bezopasnosti NRB-76 i Osnovnye sanitarnye pravila raboty s radioaktivnymi veshhestvami i drugimi istochnikami ioniziruyushhikh izluchenij. 2-e izd.; pererab. i dop. М.: Energoizdat, 1981. 79 p. (In Russian)]
9. Временные нормативы допустимого содержания радиоактивных веществ в продуктах питания в случае аварии ядерного реактора атомной станции (Утв. Министром здравоохранения СССР 3 мая 1986 г.) М.: Минздрав СССР, 1986. [Vremennye normativy dopustimogo soderzhaniya radioaktivnykh veshhestv v produktakh pitaniya v sluchae avarii yadernogo reaktora atomnoj stantsii (Utv. Ministrom zdravookhraneniya SSSR 3 maya 1986 g.) М.: Minzdrav SSSR, 1986 (In Russian)]
10. Временное допустимое содержание радиоактивного йода в питьевой воде и пищевых продуктах на период ликвидации последствий аварии (Утв. 6 мая 1986 г. № 4104–86) М.: Минздрав СССР, 1986. 2 с. [Vremennoe dopustimoe soderzhanie radioaktivnogo joda v pit'evoy vode i pishhevykh produktakh na period likvidatsii posledstvij avarii (Utv. 6 maya 1986 g. №4104-86) М.: Minzdrav SSSR, 1986. 2 p. (In Russian)]
11. ВДУ содержания радиоактивных веществ в продуктах питания, питьевой воде, лекарственных травах (суммарная бета-активность). № 129–252/ДСП. 30 мая 1986. М.: Минздрав СССР, 1986. 5 с. [VDU soderzhaniya radioaktivnykh veshhestv v produktakh pitaniya, pit'evoy vode, lekarstvennykh travakh (summar-naya beta-aktivnost'). № 129-252/DSP. 30 maya 1986. Minzdrav SSSR: М.; 1986. 5 p. (In Russian)]
12. Временные допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде, устанавливаемые в связи с аварией на Чернобыльской АЭС (ВДУ-91), утверждены 22 января 1991 г. главным санитарным врачом СССР А.И. Кондрусевым. М.: Минздрав СССР, 1991. 2 с. [Vremennye dopustimye urovni soderzhaniya tseziya-137 i strontsiya-90 v pishhevykh produktakh i pit'evoy vode, ustanavlivaemye v svyazi s avariej na Chernobyl'skoj AEHS (VDU-91) utverzhdeny 22 yanvarya 1991 g. glavnyim sanitarnym vrachom СССР A.I. Kondrusevym. М.: Minzdrav СССР, 1991. 2 p. (In Russian)]
13. ВДУ 93. Временные допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-134, -137 и стронция-90 в пищевых продуктах. М.: Минздрав РФ, 1993. 2 с. [VDU 93. Vremennye dopustimye urovni soderzhaniya radionuklidov tseziya-134, -137 i strontsiya-90 v pishhevykh produktakh. М.: Minzdrav RF, 1991. 2 p (In Russian)]
14. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.3.2.560-96. М., 1997. [Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu i bezopasnosti prodovol'stvennogo syr'ya i pishhevykh produktov. Sanitarnye pravila i normy. SanPiN 2.3.2.560-96. М., 1997. (In Russian)]
15. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых про-

- дуктов. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.3.2.1078–01. [Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu i bezopasnosti prodovol'stvennogo syr'ya i pishhevykh produktov. Sanitarnye pravila i normy. SanPiN 2.3.2.1078–01. (In Russian)]
16. СанПиН 2.3.2.2650–10. Дополнения и изменения N 18 к санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам СанПиН 2.3.2.1078–01 “Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов (июнь 2010). М., 2010. С. 105. [SanPiN 2.3.2.2650–10. Dopolneniya i izmeneniya N 18 k sanitarno-ehpidemiologicheskim pravilam i normativam SanPiN 2.3.2.1078–01 "Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishhevoj tsennosti pishhevykh produktov (iyun' 2010). M., 2010, 105 p. (In Russian)]
 17. КУ-94. Контрольные уровни содержания радионуклидов цезия-134, -137 и стронция-90 в кормах и кормовых добавках. М.: Минсельхозпрод России, 1994. 2 с. [KU-94. Kontrol'nye urovni sodержaniya radionuklidov tseziya-134, -137 i strontsiya-90 v kormakh i kormovykh dobavkakh. M.: Minsel'khozprod Rossii, 2 p. (In Russian)]
 18. ВП 13.5.13/03-00. Государственная система ветеринарного нормирования Российской Федерации. Радиационная безопасность. Ветеринарные правила обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения (Утв. Главным государственным ветеринарным инспектором РФ 25.05.2001). М.: Минсельхозпрод России, 2000. 7 с. [VP 13.5.13/03-00. Gosudarstvennaya sistema veterinarnogo normirovaniya Rossijskoj Federatsii. Radiatsionnaya bezopasnost'. Veterinarnye pravila obespecheniya radiatsionnoj bezopasnosti zhivotnykh i produktov zhivotnogo proiskhozhdeniya (Utv. Glavnym gosudarstvennym veterinarnym inspektorom RF 25.05.2001). M.: Minsel'khozprod Rossii, 2000. 7 p. (In Russian)]
 19. Томмэ М.Ф. Типовые рационы для крупного рогатого скота, свиней и овец по зонам страны. М.: “Колос”, 1971. 612 с. [Tomme M.F. Tipovye ratsiony dlya krupnogo rogatogo skota, svinej i ovets po zonam strany. M.: “Kolos”, 1971. 612 s. (In Russian)]
 20. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh-water environments. IAEA Technical Reports Series № 472. Vienna: IAEA.
 21. Howard B.J., Beresfor N.A., Barnett C.L., Fesenko S. Radionuclide transfer to animal products: revised recommended transfer coefficient values // J. Environ. Radioact. 2009. V. 100. P. 263–273.
 22. Fesenko S. et al. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: 2. Transfer to milk // J. Environ. Radioact. 2007. V. 98. P. 104–136. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.01.015>
 23. Fesenko S. et al. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: 3. Transfer to muscle // J. Environ. Radioact. 2009. V. 100. P. 215–231. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.12.003>
 24. Fesenko S. et al. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: Transfer to animal tissues // J. Environ. Radioact. 2018. V. 192. P. 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.06.012>
 25. Fesenko S. et al. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: part 1. Gut absorption // J. Environ. Radioact. 2007. V. 98. P. 85–103. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.02.011>
 26. Fesenko S. et al. Review of Russian-language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: part 4. Transfer to poultry // J. Environ. Radioact. 2009. V. 100. P. 815–822. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2009.06.009>
 27. Fesenko S.V. et al. The dynamics of the transfer of caesium-137 to animal fodder in areas of Russia affected by the Chernobyl accident and doses resulting from the consumption of milk and milk products // Radiat. Prot. Dosim. 1997. V. 69. № 4. P. 289–299. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a031916>
 28. Fesenko S.V., Colgan P.A., Sanzharova N.I. et al. The dynamics of the transfer of caesium-137 to animal fodder in areas of Russia affected by the Chernobyl accident and resulting doses from the consumption of milk and milk products // Radiat. Prot. Dosim. 1997. V. 69. № 4. P. 289–299.
 29. Fesenko S.V. et al. Twenty years' application of agricultural countermeasures following the Chernobyl accident: lessons learned // J. Radiol. Prot. 2006. V. 26. P. 351–359.
 30. Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Spiridinov S.I., Sanzharova N.I. Dynamics of ¹³⁷Cs concentration in agricultural products in areas of Russia subjected to contamination after the accident at the Chernobyl nuclear power plant // Radiat. Prot. Dosim. 1995. V. 60. № 2. P. 155–166.
 31. Fesenko S.V., Jacob P., Alexakhin R. et al. Important factors governing exposure of the population and countermeasure application in rural settlements of the Russian Federation in the long term after the Chernobyl accident // J. Environ. Radioact. 2001. № 56. P. 77–98.
 32. Панов А.В., Прудников П.В., Титов И.Е. и др. Радиоэкологическая оценка сельскохозяйственных земель и продукции юго-западных районов Брянской области, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12. № 1. С. 25–33. [Panov A.V., Prudnikov P.V., Titov I.E. et al. Radioehkologicheskaya otsenka sel'skokhozyajstvennykh zemel' i produktov yugo-zapadnykh rajonov Bryanskoj oblasti, zagryaznennykh radionuklidami v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoj AEHS// Radiatsionnaya gigiena. 2019. V. 12. № 1. P. 25–33. (In Russian)]

Radiological Justification of Reference Levels of ^{137}Cs Concentrations in Fodder of Agricultural Animals

S. V. Fesenko^{a,#}, N. N. Isamov^a, P. V. Prudnikov^b, and E. S. Emlyutina^a

^a Russian Research Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia

^b BryanskagrokhimRadiology, Bryansk, Russia

[#]E-mail: Corwin_17@mail.ru

An approach to the justification of the ^{137}Cs reference levels in animal fodders based on consideration of a stochastic nature of parameters of ^{137}Cs transfer to fodders, milk and meat of cattle is presented. It is shown that ^{137}Cs concentrations in milk and meat when this concentration of ^{137}Cs in the fodder are at the reference levels adopted in the Russian Federation being ensured milk safety but does not guaranteed meeting of hygienic limits for ^{137}Cs concentrations in meat for most types of animal diets. The comparative analysis of the world and Russian data on the parameters of ^{137}Cs transfer from fodder to animal products has been carried out. Based on the approach presented the ^{137}Cs reference levels in fodders used for keeping dairy and meat cattle in the contaminated territory after the Chernobyl accident have been suggested. The application of these reference levels ensures obtaining of safe animal products for typical animal feeding rations. The implementation of the suggested reference levels may allow optimization of livestock technologies in the areas of the Russian Federation contaminated after the Chernobyl accident.

Keywords: Chernobyl accident, ^{137}Cs , reference levels, cattle, milk, meat, coefficients of transfer from feed to livestock products