

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ
РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ:**

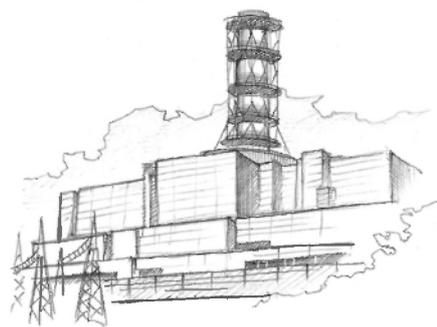
к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

22–23 апреля 2021

Обнинск

Сборник докладов



УДК 615:633:/636.2.033/034

К ВОПРОСУ О НОРМИРОВАНИИ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs В КОРМАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Исамов Н.Н.¹, Фесенко С.В.¹, Прудников П.В.², Губарева О.С.¹, Емлютина Е.С.¹

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: nizomis@yandex.ru

²ФГБУ «Брянскагрохимрадиология»

241524 Брянская область, Брянский район, п. Мичуринский, ул. Спортивная, д.1, Российская Федерация

e-mail: agroh32@mail.ru

Предложен метод оценки контрольных уровней ^{137}Cs в кормах крупного рогатого скота, основанный на оценке «непревышения» нормативов СанПиН в продукции животноводства с учётом вероятностного характера параметров перехода ^{137}Cs в корма и продукцию животноводства. Показано, что использование оценок, сделанных на основе предложенных контрольных уровней, позволяет оптимизировать ведение животноводства в районах Российской Федерации, загрязнённых после аварии на ЧАЭС.

Ключевые слова: корма, крупный рогатый скот, ^{137}Cs , молоко, мясо, санитарно-гигиенические нормативы, контрольные уровни

Как в начальный период после Чернобыльской аварии, так и в отдаленный период основной вклад в облучение население вносила продукция животноводства. С целью оперативного контроля загрязнения продукции животноводства были введены контрольные уровни на содержание ^{137}Cs в кормах [1,2]. Значение этих уровней устанавливалось таким образом, чтобы в среднем гарантировать отсутствие превышения допустимых уровней содержания ^{137}Cs в пищевых продуктах [3–6]. В то же время эти уровни не гарантировали абсолютное отсутствие превышения этих нормативов в условиях variability параметров переноса радионуклидов в организм животных.

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 [5,6] на определённом уровне вероятности. Учитывая, что коэффициент перехода радионуклидов из кормов в продукцию животноводства варьирует (распределён) в некотором диапазоне значений, для оценки значения этого параметра, используемого для целей нормирования, КП целесообразно взять границу верхних 5 % (95 % квантиль) от соответствующего распределения. Такой подход соответствует тому, что значение Q_j будет обеспечивать непревышение норматива СанПиН в 95 % или более случаях.

$$Q_j = \frac{A_j}{\text{КП}_j} \quad (1)$$

С другой стороны, содержание ^{137}Cs в суточном стандартном рационе кормления животных (j) при известной концентрации радионуклидов в кормах рассчитывается на основе стандартного выражения:

$$Q^j = \sum_i^N \delta_i^j \times q_i \quad (2)$$

Где, δ_i^j - весовое количество кормов вида (i) в суточном рационе кормления животных (j); q_i - концентрация ^{137}Cs в i -м виде кормов. В условиях существующего загрязнения между загрязнением кормов существуют определённые соотношения, которые определяются как закономерностями накопления радионуклидов сельскохозяйственными растениями, так и особенностями их обработки, применяемой для производства кормов для животных.

В качестве реперного вида корма рассматривается сено (грубые корма), которое входит практически в большинство рационов кормления животных. 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 реального загрязнения этого вида корма к содержанию ^{137}Cs в сене.

$$Q^j = \left\{ \text{КУ}_1 \times \delta_1^j + \sum_2^N \text{КУ}_i \times \delta_i^j \right\} \quad (3)$$

Где КУ_1 - контрольный уровень содержания радионуклида в сене (Бк/кг), КУ_i - контрольный уровень содержания радионуклида в i виде кормов. Поскольку принимается, что $\text{КУ}_i = \text{КУ}_1 \times r_i$, 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:

$$Q^j = \text{КУ}_1 \times \left\{ \delta_1^j + \sum_2^N \delta_i^j \times r_i \right\} \quad (4)$$

Тогда контрольный уровень содержания ^{137}Cs в

сене (KY_0) можно определить как:

$$KY_1 = \frac{Q^j}{\{\delta_1^j + \sum_2^y \delta_1^j \times r_i\}} \quad \text{или} \quad (5)$$

$$KY_1 = \frac{A^j}{KП^j \times \{\delta_1^j + \sum_2^y \delta_1^j \times r_i\}}$$

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

$$KY_i^j = KY_1^j \times r_i \quad (6)$$

Для обоснования контрольных уровней радионуклидов в кормах использовался состав типовых рационов кормления животных [7], и отношения концентрации радионуклидов в различных видах кормов к концентрации радионуклидов в грубых кормах (сене), рассчитанные по данным мониторинга, проводимого центром «Агрохимрадиология» Брянский в

юго-западных районах Брянской области. Для оценки 95 % квантилей коэффициентов перехода ^{137}Cs в продукцию животноводства был выполнен анализ данных, приведённых в обзоре МАГАТЭ [8], аналогичные расчёты были сделаны на основе только Российских данных [9, 10]. Как, геометрические средние так и арифметические средние значений КП в молоко и мясо, существенно (1,7–2,0) больше для российских данных. В то же время, 95 % квантили, оценённые на базе мировых и российских данных, довольно близки, причём 95 % квантиль КП в мясо, полученный на основе мировых данных даже несколько больше, оценённого на основе российских данных. Это объясняется существенно большей дисперсией значений, содержащейся в базе мировых данных и, как следствие, различной формой функций плотности распределения, аппроксимирующих эти данные (рис. 1).

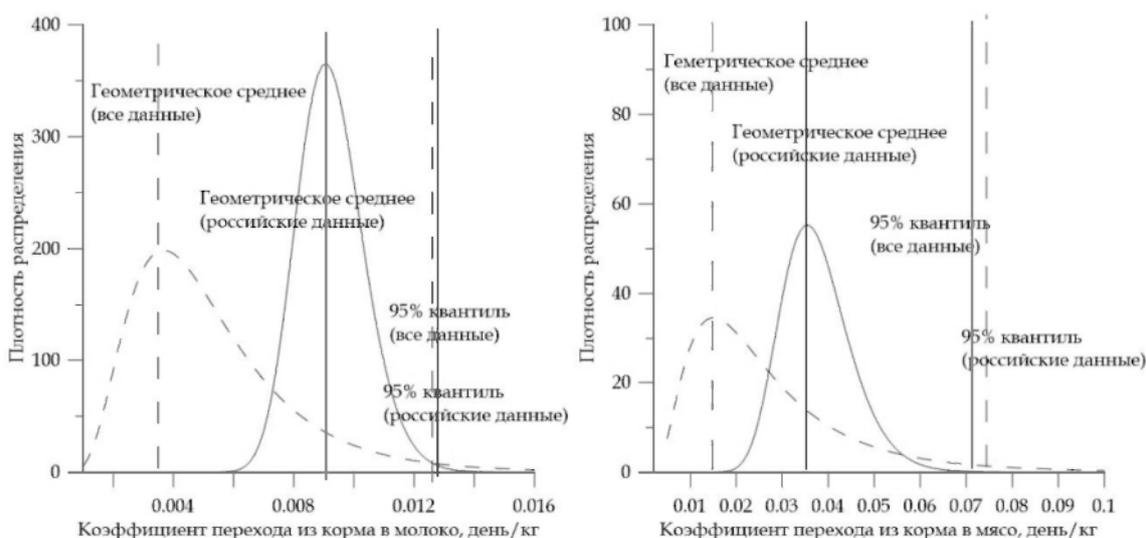


Рисунок 1. Сравнение функций плотности распределения, соответствующие данным по коэффициентам перехода в молоко и мясо, содержащихся в базах мировых и российских данных

Представленные данные позволяют надёжно оценить, 95 % 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/сутки) и 0,073 (Бк/кг)/(Бк/сутки), для молока и мяса крупного рогатого скота соответственно.

Контрольные уровни, рассчитанные на основе методического подхода, описанного выше, представлены в таблице 1. В качестве оценок контрольных уровней были взяты минимальные значения, полученные для типовых рационов, используемых как для лактирующих коров, так и при откорме КРС на мясо. Результаты этих оценок (табл. 1) показывают, что контрольные уровни содержания ^{137}Cs , обеспечивающие получение молока с содержанием ^{137}Cs , удовлетворяющим требованиям СанПиН 2.3.2.1078-01 в 1,4–2,7 раза больше, чем аналогичный показатель для мяса (СанПиН 2.3.2. 2650–10).

Сравнивая оценки контрольных уровней для

различных видов кормов, с аналогичными значениями ДУ, представленными в ВП 13.5.13/06-01, следует отметить, что наши оценки, 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. Видно, что все контрольные уровни: КУ 1994 и КУ 2001 обеспечивали, соблюдение нормативов на безопасность продукции (ВДУ 93 (370 Бк/кг) или СанПиН 2.3.2.1078-01 (100 Бк/кг), на период их использования (табл. 6). В то же время содержание ^{137}Cs в кормах на уровне этих контрольных значений, могло 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 на безопасность продукции.

Таблица 1. 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

	Молоко		Мясо		КУ 2020/КУ 2001	
	Расчётное значение	Округлённое значение	Расчётное значение	Округлённое значение	Молоко	Мясо
Сено	425	400	268	250	1,00	0,63
Сенаж	115	100	72	70	1,25	0,88
Зелёные 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 свекловичные	-	100	35	35	1,54	0,54

Таким образом, использование этих контрольных уровней, приведённых в таблице 1, обеспечивает получение безопасной продукции животноводства для всех типовых рационов содержания животных. Сопоставление концентраций ^{137}Cs в молоке и мясе при содержании этого радионуклида в кормах равным контрольным уровням 1994 и 2001 годов показало, что эти КУ обеспечивали безопасность молока, но, для большинства рационов, не гарантировали предельно допустимое содержание ^{137}Cs мясе. Использование оценок, сделанных на основе предложенных контрольных уровней, позволяет оптимизировать технологии ведения животноводства в районах Российской Федерации, загрязнённых после аварии на ЧАЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. КУ-94. Контрольные уровни содержания радионуклидов цезия-134, -137 и стронция-90 в кормах и кормовых добавках.

2. 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.

3. 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.

4. ВДУ 93. Временные допустимые уровни

содержания радионуклидов цезия-134, -137 и стронция-90 в пищевых продуктах. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.3.2.560-96. М. 1997.

5. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.3.2.1078-01.

6. 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. Издательство (июнь 2010). М. 2010. С. 105.

7. Томмэ М. Ф. Типовые рационы для крупного рогатого скота, свиней и овец по зонам страны. М.: «Колос». 1971. 612 с.

8. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh-water environments. IAEA Technical Reports Series No. 472. IAEA, Vienna.

9. Fesenko S. et al. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: 2. Transfer to milk // J. Environ. Radioact. 2007b. Vol. 98. P. 104-136. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.01.015>.

10. Fesenko S. et al. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: 3. Transfer to muscle // J. Environ. Radioact. 2009a. Vol. 100. P. 215-231. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.12.003>.

ON THE ISSUE OF ^{137}CS CONTENT REGULATION IN ANIMAL FEED

Isamov N.N.¹, Fesenko S.V.¹, Prudnikov P.V.², Gubareva O.S.¹, Yemlyutina E.S.¹

¹Russian Institute of Radiology and Agroecology
249032 Kievskoe shosse 109 km Obninsk, Kaluga region, Russian Federation

²FSBI "Center for Chemicalization and Agricultural Radiology" Bryansky»
241524 Bryansk region, Bryansk district, p. Michurinsky, st. Sportivnaya, 1, Russian Federation

The method of estimating ^{137}Cs reference levels in the cattle fodders based on the estimation of "non-exceedance" of hygienic standards in animal husbandry products with account for probabilistic nature of ^{137}Cs transfer parameters in fodders and animal husbandry products was suggested. It was shown that the use of assessments made on the basis of the proposed reference levels makes it possible to optimize the animal husbandry in the areas of the Russian Federation contaminated after the Chernobyl accident.

Keywords: *cattle, feeds, ^{137}Cs , milk, meat, hygiene standards, reference levels*

УДК 631.8.022.3

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И НОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Прудников П.В.¹, Прудников С.П.²

¹ФГБУ «Центр химизации и сельскохозяйственной радиологии «Брянский»
Брянская обл., Брянский р-н, п. Мичуринский, ул. Спортивная д. 1, Российская Федерация
e-mail: agrohim32@mail.ru

²Брянский филиал РАНХиГС.
г. Брянск, ул. Горького, д. 18, Российская Федерация
e-mail: prydnikov@yandex.ru

Воспроизводство плодородия почв и оптимизация питания растений требуют от ученых и специалистов агрохимслужбы на современном этапе мобилизации знаний и осуществления модернизации сельскохозяйственного производства, поиска альтернативных видов агрохимического сырья для непосредственного использования в качестве удобрений и химических мелиорантов. В связи с этим назрела необходимость совершенствования методических вопросов использования агрохимических средств, их агроэкологической и экономической оценки, разработки технологий применения новых видов удобрений и мелиорантов. Для реабилитации, загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель, целесообразно использовать мелиоранты, которые характеризуются высокой емкостью обмена, что обеспечивает снижение биологической подвижности радионуклидов и пролонгированное действие, а также доз облучения работающего персонала. Этим требованиям отвечает агрохимическое средство, разработанное на базе ЗАО «АИП-Фосфаты» – комплексное гранулированное минеральное удобрений «Борофоска». Её преимуществом как раз является комплексность воздействия в снижении радиационной нагрузки на продукцию растениеводства и животноводства, поскольку в одной грануле мелиоранта содержатся все компоненты, создающие антирадиационные барьеры (фосфор, калий, кальций, бор, кремний и др.). Нет необходимости в этом плане раздельного применения фосфорных и калийных удобрений, известняковой муки, микроэлементов и кремнийсодержащих веществ для получения нормативно чистой продукции. Цель исследований состояла в изучении новых технологически эффективных и экономически выгодных схем реабилитационных мероприятий, позволяющих снизить поступление радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию и дозовую нагрузку на человека, и получении практических результатов по совершенствованию, апробированию и внедрению их в производство.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, ¹³⁷Cs, удобрения, экономическая эффективность

Проблема снижения негативного воздействия Чернобыльской катастрофы в настоящее время не потеряла своей актуальности, и требуют значительных усилий и финансовых затрат. В настоящее время по-прежнему большое внимание следует уделять экономическому обоснованию защитных мер. Они должны быть направлены как на уменьшение поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию, так и на снижение ее себестоимости и повышение качества.

В наших исследованиях при расчете экономической эффективности применения агрохимических средств, в том числе новых форм комплексных удобрений на основе фосфоритов Полпинского месторождения в полевых опытах и производственных испытаниях основное внимание было уделено двум важным показателям: условно-чистому доходу (руб./га) и окупаемости затрат (руб./руб.).

Из таблицы 1 следует, что применение новых видов комплексных удобрений в полевом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве СПК «Заречье (Новозыбковский р-н) позволило увеличить продуктивность пашни в звене севооборота (оз. рожь, овсе с подсевом мн. трав, травы I года пользования, травы II года пользования) на 21–31 ц/га зерновых единиц,

что в 1,2–1,4 раза выше, чем в контроле. Расчет экономической эффективности по их применению показал, что самой эффективной формой комплексного удобрения является борофоска, приготовленная на основе хлористого калия, где условно чистый доход составил 2,5 рубля на 1 рубль затрат. Незначительно по рентабельности уступила борофоска, в состав которой был введен калий электролитный. От её применения условно чистый доход составил 2,2 рубля на рубль затрат.

Нитроборофоска, приготовленная на основе хлористого калия и калия электролитного, обеспечила условно чистый доход 1,9 и 2,1 рубля на 1 рубль затрат. Экономическая эффективность раздельного внесения NPK-удобрений в дозе N₈₀P₈₀K₈₀ отмечается на уровне применения нитроборофоски. Наиболее затратным являлось использование азофоски, которая обеспечило условно чистый доход 1,3 рубля на 1 рубль затрат.

По эффективности снижения цезия-137 в растениеводческую продукцию (зеленая масса многолетних трав) предпочтительным удобрением также является борофоска, приготовленная на основе калия электролитного, где кратность снижения составила 3,1 раза. На втором месте по эффективности

снижения цезия-137 в продукцию являются нитроборофоска приготовленная на основе хлористого калия и калия электролитного, где кратность снижения

составляет 1,8 и 1,7 раза. Наименьший эффект снижение радиоцезия в растениеводческую продукцию получен от применения азофоски – 1,2 раза.

Таблица 1. Экономическая и радиационная оценка применения новых комплексных удобрений в звене севооборота (СПК «Заречье, Новозыбковский р-он), 2004–2009 гг.

Вариант	Общая стоимость затрат на применение удобрений, руб./га	Продуктивность звена севооборота ц/га з.е.	Прибавка урожая к контролю ц/га з.е.	Стоимость прибавки, руб/га	Условно чистый доход		Коэффициент накопления ¹³⁷ Cs в зеленой массе мн. трав	Кратность снижения, раз
					на 1 га, руб.	на 1 рубль затрат, руб.		
Контроль (без удобрений)	–	84	–	–	–	–	0,068	–
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ (ам. селитра + суперфосфат + хлор. калий)	5175	105	21	9450	4275	1,83	0,046	1,5
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ (азофоска)	6500	103	19	8550	2050	1,32	0,059	1,2
P ₈₀ K ₈₀ В _{0,5} (борофоска с калием электролитным)	4260	105	21	9450	5190	2,22	0,022	3,1
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ В _{0,5} (нитроборофоска (---))	6116	110	26	11700	5584	1,91	0,041	1,7
P ₈₀ K ₈₀ В _{0,5} (борофоска с калием хлористым)	4860	111	27	12150	7290	2,50	0,043	1,6
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ В _{0,5} (---)	6716	115	31	13950	7234	2,08	0,038	1,8

От использования «Борофоски гранулированной» в производственных опытах в СПК АФ «Культура» Брянского и ООО «Славянка» Комаричского районов на серых лесных почвах наибольшая продуктивность пашни получена в звене овощного севооборота (морковь – ячмень – озимая пшеница – кукуруза на силос). Данные таблицы 2 свидетельствуют, что в сумме за 4 года прибавка зерновых единиц составила 36 ц/га с условно-чистым доходом от реализации продукции 1,92 рубля на 1 руб. затрат. Менее рентабельным отмечалось звено севооборота – капуста – ячмень – оз. пшеница – кукуруза на силос. При продуктивности пашни 24 ц/га з.е. условно-чистый доход получен в размере 1,28 руб. на 1 руб. затрат.

Из таблицы 3 следует, что применение борофоски в звене севооборота с сахарной свеклой также обеспечило высокую экономическую эффективность. Прибавка продукции от её использования в сумме за 4 года составила 29 ц/га з.е. с условно-чистым доходом 1,83 рубля на 1 руб. затрат. Следует заметить, что во всех звеньях изучаемых севооборотов применение «Борофоски гранулированной» в производственных условиях было рентабельным.

При сравнительном анализе экономической и радиологической эффективности использования разных агрохимических средств при возделывании многолетних трав на испытательных полигонах МУП СХП «Дубенецкий» и МУП МТС «Красногорская» Красногорского района установлено (табл. 4 и 5), что наиболее предпочтительной формой минерального удобрения на загрязненных ¹³⁷Cs сельскохозяйственных угодьях является «Борофоска гранулированная». В

производственных условиях полигона № 1 её применение в трех различных дозах обеспечило условно-чистый доход 3,11–3,33 рубля на 1 руб. затрат при максимальном снижении радиоцезия в урожае многолетних трав в 5–8 раз к контролю. На полигоне № 2 при одноразовом внесении борофоски в дозе P₁₃₀K₂₀₈V_{3,2} без ежегодной подкормки азотом условно-чистый доход за 3 года составил 1,82 рубля на 1 руб. затрат с максимальным снижением поступления ¹³⁷Cs в растительную массу в 4,8 раза. Новая удобрительная смесь (нитроборофоска) обеспечила в почвенных условиях второго полигона получение условно-чистого дохода 1,9 рубля на 1 руб. затрат при кратности снижения накопления радиоцезия в травах в 3,3 раза. На обоих полигонах от применения «Борофоски гранулированной» и нитроборофоски получен зеленый корм, в большей мере отвечающий санитарно-гигиеническим нормативам.

В сравнении с применением борофоски прием калиевания почвы посредством внесения хлористого калия в повышенных дозах является с экономических позиций более рентабельным. Его использование на фоне азотной подкормки многолетних трав обеспечило условно-чистый доход 4,8–5,2 руб. на 1 руб. затрат (табл. 4), без внесения азотных удобрений – 2,7 руб. на 1 руб. затраченных средств (табл. 5). Однако с радиационных позиций этот прием оказался менее эффективным в сравнении с применением комплексного удобрения. Снижение поступления радиоцезия в травостой варьировало в среднем в обоих испытательных полигонах от 2,4 до 3,4 раза.

Таблица 2. Экономическая эффективность борофоски в звеньях плодосменных севооборотов на серых лесных почвах в производственных условиях (СПК АФ «Культура», Брянский район), 2004–2007 гг.

Вариант	Стоимость затрат на применение удобрений, руб./га	Продуктивность звена севооборота, ц/га з.е.	Прибавка урожая от борофоски, ц/га з. е.	Стоимость прибавки, руб./га	Условно чистый доход	
					на 1 га руб.	на 1 рубль затрат, руб.
Картофель - ячмень - оз. пшеница - ст. свекла						
N ₇₀ – фон	1921	132	–	–	–	–
Фон + P ₁₁₂ K ₁₃₀ V _{3,2}	8421	161	29	13050	4629	1,55
Ст. свекла – ячмень - оз. пшеница - ячмень						
N ₇₀ – фон	1921	104	–	–	–	–
Фон + P ₁₁₂ K ₁₃₀ V _{3,2}	8421	134	30	13500	5079	1,60
Морковь – ячмень - оз. пшеница - кукуруза на силос						
N ₇₀ – фон	1921	191	–	–	–	–
Фон + P ₁₁₂ K ₁₃₀ V _{3,2}	8421	227	36	16200	7779	1,92
Капуста – ячмень - оз. пшеница - кукуруза на силос						
N ₇₀ – фон	1921	177	–	–	–	–
Фон + P ₁₁₂ K ₁₃₀ V _{3,2}	8421	201	24	10800	2379	1,28

Таблица 3. Экономическая эффективность борофоски в звене севооборота (сахарная свекла, ячмень, яровая пшеница, яровая пшеница) на серых лесных почвах в производственных условиях (ООО «Славянка», Комаричский р-н), 2004–2007 гг.

Вариант	Стоимость затрат на применение удобрений, руб./га	Продуктивность звена севооборота, ц/га з.е.	Прибавка урожая к контролю, ц/га з.е.	Стоимость прибавки, руб./га	Условно чистый доход	
					на 1 га, руб.	на 1 рубль затрат, руб.
N ₇₀ – фон	1921	110	–	–	–	–
Фон + P ₁₁₂ K ₁₃₀ V _{3,0}	7121	139	29	13050	5929	1,83

Таблица 4. Экономическая и радиационная эффективность применения агрохимических средств на многолетних травах (полигон № 1, МУП СХП «Дубенецкий» Красногорского р-на), 2008–2011 гг.

Вариант	Общая стоимость затрат на агрохимические работы, уборку и доработку дополнительного урожая, руб. /га	Суммарная урожайность, ц/га к.е.	Прибавка, ц/га к.е.	Стоимость прибавки, руб./га	Условно-чистый доход, руб.		Кн ¹³⁷ Cs в зеленой массе трав	Кратность снижения, раз
					на 1 га	на 1 руб. затрат		
Контроль (без удобрений)	–	74,3	–	–	–	–	0,118	–
N ₇₀ – фон	3685	129,4	55,1	22040	18355	5,98	0,097	1,2
Фон + P ₇₀ K ₁₁₂ V _{1,8} (борофоска)	12434	177,7	103,4	41360	28926	3,33	0,023	5,1
Фон + P ₁₀₀ K ₁₆₀ V _{2,5} (–//–)	16358	201,6	127,3	50920	34562	3,11	0,017	6,9
Фон + P ₁₃₀ K ₂₀₈ V _{3,2} (–//–)	20340	236,7	162,4	64960	44620	3,19	0,014	8,4
Фон + Kx ₁₂₀ (калий хлористый)	6129	154,4	80,1	32040	25911	5,23	0,050	2,4
Фон + Kx ₁₈₀ (–//–)	7587	165,9	91,6	36640	29053	4,83	0,035	3,4
Фон + Сапропель (CaCO ₃ +MgO) ₅₈₄₀	13330	152,7	78,4	31360	18030	2,35	0,061	1,9
Фон + Известняковая мука (CaCO ₃ +MgO) ₅₈₄₀	10940	149,3	75,0	30000	19060	2,74	0,064	1,8
Фон + Фосфоритная мука (PФ ₁₆₀ CaO ₂₀₀)	8743	134,0	59,7	23880	15137	2,73	0,077	1,5

Таблица 5. Экономическая и радиационная эффективность применения агрохимических средств на многолетних травах (полигон № 2, МУП МТС «Красногорская» Красногорского р-на), 2009–2011 гг.

Вариант	Общая стоимость затрат на агрохимические работы, уборку и доработку дополнительного урожая, руб. /га	Суммарная урожайность, ц/га к.е.	Прибавка, ц/га к.е.	Стоимость прибавки, руб./га	Условно-чистый доход, руб.		Кн ¹³⁷ Cs в зеленой массе трав	Кратность снижения, раз
					на 1 га	на 1 руб. затрат		
Контроль (без удобрений)	–	70,6	–	–	–	–	0,100	–
Сапропель (CaCO ₃ +MgO) ₅₈₄₀	6480	89,3	18,7	7480	1000	1,15	0,048	2,1
Мел (CaCO ₃ +MgO) ₆₈₀₀	11000	94,5	23,9	9560	-1440	0,87	0,042	2,4
Известняковая мука (CaCO ₃ +MgO) ₅₈₄₀	6020	96,0	25,4	10160	4140	1,69	0,039	2,6
Борофоска [P ₁₃₀ K ₂₀₈ B _{3,2} + (CaCO ₃) ₂₆₀ MgO ₂₆]	15502	141,1	70,5	28200	12698	1,82	0,021	4,8
Нитроборофоска [N ₇₈ P ₁₃₀ K ₂₀₈ B _{3,2} + (CaCO ₃) ₂₆₀ MgO ₂₆]	16100	147,2	76,6	30640	14540	1,90	0,030	3,3
KX ₁₈₀ (хлористый калий)	4502	101,2	30,6	12240	7738	2,72	0,040	2,5
N ₇₀ +PФ ₁₆₀ + KX ₁₈₀	13294	123,9	53,3	21320	8026	1,60	0,034	2,9

Применение известковых удобрений (сапропеля и известняковой муки) в производственных условиях также обеспечило рентабельное производство зеленого корма при условии ежегодного внесения азотных удобрений, где условно-чистый доход составил 2,4–2,7 руб. на 1 руб. затрат (полигон № 1). Однако эти агрохимические средства известкования почвы снизили удельную активность выращенной продукции лишь в 1,8–1,9 раза. От применения фосфоритной муки с ежегодной азотной подкормкой условно чистый доход составил 2,7 руб. на 1 рубль затрат при кратности снижения радиоцезия в травостое в 1,5 раза.

Применение аммиачной селитры необходимо в качестве подкормки для повышения урожайности зеленой массы многолетних трав. В наших исследованиях она обеспечила высокую прибавку урожая при низкой стоимости затрат и самую высокую их окупаемость – около 6 рублей на 1 руб. затрат, но снижала содержание ¹³⁷Cs незначительно.

Таким образом, в сравнении с традиционными агрохимическими мероприятиями (известкование, фосфоритование, калиевание) «Борофоска гранулированная» является экономически выгодным комплексным удобрением, во много раз снижает поступление радиоцезия в продукцию растениеводства,

обеспечивая получение сельскохозяйственной продукции, соответствующей нормам радиационной безопасности и её можно рекомендовать для проведения защитных и реабилитационных мероприятий на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ратников А.Н. и др. Эффективность комплекса агроメリоративных мероприятий в снижении накопления ¹³⁷Cs в продукции растениеводства в зоне аварии на Чернобыльской АЭС (на территории России) // Агрохимия. 1992. № 9. С. 112–116.
2. Санжарова Н.И. и др. Оценка эффективности защитных мероприятий на почвах, загрязненных радионуклидами // Агрохимический вестник. 1998 № 4. С. 26–34.
3. Чумаченко И.Н. Производство и применение фосфоритной муки на базе местных месторождений фосфоритов // Химия в сельском хозяйстве. 1987. № 12. С. 70–71.
4. Янишевский Ф.В., Боронин Н.К., Буланцев Ю.В. Эффективность молотых фосфоритов различных месторождений на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Агрохимия. 1998. № 9. С. 58–64.

ECONOMIC EFFICIENCY OF APPLICATION OF AGROCHEMICALS AND NEW COMPLEX FERTILIZERS ON RADIOACTIVELY CONTAMINATED SOILS OF THE BRYANSK REGION

Prudnikov P.V. ¹, Prudnikov S.P. ²

¹FSBI "Center for Chemicalization and Agricultural Radiology" Bryansky, \Bryansk region, Bryansk district, Michurinsky village, street Sportivnaya, 1, Russian Federation

²The Bryansk branch Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration Bryansk, Gorky Street, 18, Russian Federation

Reproduction of soil fertility and optimization of plant nutrition require scientists and specialists of the agrochemical service at the present stage to mobilize knowledge and modernize agricultural production, to search for alternative types

of agrochemical raw materials for direct use as fertilizers and chemical ameliorants. In connection with it, there is the necessity to improve the methodological issues of the usage of agrochemicals, their agroecological and economic assessment, development of technologies of the usage of new types of fertilizers and ameliorants. It is reasonable to use ameliorants, which are characterized by a high exchange capacity, which ensures a decrease in the biological mobility of radionuclides and prolonged action, as well as the radiation doses of working personnel for the remediation of agricultural lands contaminated with radionuclides. These requirements are met by an agrochemical product developed on the basis of "AIP-Fosfaty" ZAO, a complex granular mineral fertilizer borofoska. Its advantage is the complexity of the impact in reducing the radiation load on crop and livestock products, as one granule of the ameliorant contains all the components that create anti-radiation barriers (phosphorus, potassium, calcium, boron, silicon, etc.). There is no need for the separate usage of phosphorus and potassium fertilizers, limestone flour, trace elements and silicon-containing substances to obtain normatively pure products. The purpose of the study was to learn new technologically effective and economically viable schemes of remediation measures that allow to reduce the intake of radionuclides in agricultural products and the dose load on a person, and to obtain practical results for their improvement, testing and introduction into production.

Keywords: radioactive contamination, ¹³⁷Cs, fertilizers, economic efficiency.

УДК 615:633

СНИЖЕНИЕ ^{137}CS В КОРМОВЫХ КУЛЬТУРАХ В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Фесенко С.В.¹, Исамов Н.Н.¹, Прудников П.В.², Емлютина Е.С.¹, Титов И.Е.¹

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: corwin_17f@mail.ru

²ФГБУ «Брянскагрохимрадиология»
241524 Брянская область, Брянский район, п. Мичуринский, ул. Спортивная, д.1, Российская Федерация
e-mail: agrohim32@mail.ru

international Research and Practice Conference

Представлены данные по динамике коэффициентов перехода ^{137}Cs в корма в отдалённый период после аварии на ЧАЭС. Показано, что экологические периоды полуснижения коэффициентов перехода в отдалённый период после аварии (2008–2019 гг.) варьировали в пределах от 4,2 до 27,2 лет. В период естественного (при отсутствии защитных мероприятий) снижения КП в корма в 2014–2020 гг., эти периоды несколько сократились и составляли от 4,1 до 15,7 лет в зависимости от видовых особенностей кормов.

Ключевые слова: ^{137}Cs , сельскохозяйственные растения, коэффициенты перехода, защитные мероприятия, период полуснижения

Снижение содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции с течением времени после поступления радионуклидов в окружающую среду - характерное явление для миграции радионуклидов в аграрных и природных экосистемах. Оно связано с тем, что поступившие радионуклиды постепенно фиксируются природными сорбентами (почвами, донными отложениями и т.д.), как следствие, уменьшается биологическая доступность радионуклидов для включения в пищевые цепочки. Вследствие этого, важное значение при определении приоритетов в применении защитных мероприятий в агропромышленном производстве имеет анализ динамики изменения поступления радионуклидов в сельскохозяйственные растения [1]. Такой анализ позволяет

оценить параметры снижения во времени поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию и играет существенную роль при оценке периодов времени, когда загрязнённые территории могут быть возвращены к условиям нормальной жизнедеятельности. При оценке данных по динамике коэффициентов перехода важно учитывать влияние защитных мероприятий. В рамках ФЦП «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006–2010 годы» на период до 2013 года в юго-западных районах Брянской области проводились работы по реабилитации загрязнённых территорий (табл. 1).

Таблица 1. Объёмы культуртехнических и агрохимических работ на загрязнённых землях Брянской области тыс. га [2].

Виды работ	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Культуртехнические	14,6	11,9	9,4	11,2	9,5	14,5	12,5	8,0
Известкование	3,5	2,9	2,2	0,7	1,1	1,4	2,2	1,9
Фосфоритование	2,1	3,6	2,5	–	–	–	0,6	0,6
Калиевание	5,0	2,3	1,0	1,5	1,5	2,8	2,2	1,7
ИТОГО	25,2	20,7	15,1	13,4	12,1	18,7	17,5	12,2

Проведение этих мероприятий несомненно сказалось на снижении загрязнения сельскохозяйственной продукции. Для оценки динамики снижения содержания ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции использовали данные радиационного мониторинга, проводимого в юго-западных районах Брянской области центром ФГБУ «Брянскагрохимрадиология». Для обработки информации использовали статистические методы, предложенные в работе [3]. К каждой выборке (то есть комбинации вид продукции/год) применялся критерий для отбраковки данных, которые впоследствии удалялись. К малым выборкам (менее 25 значений) применялся критерий Диксона, а к более крупным - применялись стандартные критерии. После отбраковки данных определяли параметры распределения. Таким образом, создавался набор средних значений для каждой комбинации вид продукции/год. Эффективные периоды полуснижения КП рассчитывали с помощью стандартных методов линейной регрессии. Исходная информация содержала более 10 тысяч значений концентрации ^{137}Cs в грубых и сочных кормах и зерне.

Данные, отражающие динамику изменения КП с 2008 по 2020 гг период, приведены на рисунке 1. Видно, что за период наблюдений КП уменьшились от 3 до 10 раз. Характер этого снижения зависел как от

особенностей технологий возделывания кормов, так и от проводимых реабилитационных мероприятий. Наиболее значительное снижение КП отмечено для зелёных кормов. Менее существенное уменьшение КП в рассматриваемый период отмечалось для сена и сенажа и наиболее медленно снижение загрязнения продукции наблюдали для силоса и зерна (рис. 1).

Динамика изменения КП в различные сроки после аварии существенно отличалась. При этом можно выделить два периода, различающихся по характеру снижения коэффициентов перехода. В период с 2010 по 2012 гг. отмечался определённый рост концентраций ^{137}Cs в зерне и кукурузе на силос. За этот период концентрации ^{137}Cs в этих видах продукции увеличились до 30 %. В значительной мере указанный рост можно объяснить снижением объёмов проведения мероприятий. В последующем темпы уменьшения возрастали, отражая снижение доступности радионуклидов в почве вследствие естественного старения радионуклидов. В определённой степени это отмечалось для сена и сенажа (рис. 1) и только для зеленных кормов наблюдалось устойчивое снижение уровней загрязнения на всем рассматриваемом промежутке времени. Следует также отметить наличие корреляции в динамике снижения концентраций ^{137}Cs в сене и сенаже. Коэффициент корреляции составляет 0,77.

При этом корреляция между динамикой ^{137}Cs в сене и других видах кормов не является значимой.

Для количественного анализа динамики снижения содержания ^{137}Cs в кормах и зерне использовался подход, основанный на оценке экологических периодов полуснижения (T_e) [1] (табл. 2). По определению, экологический период полуснижения (T_e) равен времени, в течение которого содержание радионуклидов в выделенных компонентах трофической цепи под влиянием всех факторов (за исключением радиоактивного распада) уменьшается в 2 раза. Так как

характер снижения КП существенно отличался для отдельных видов кормов и периодов времени после аварии (рис. 1), для сравнительного анализа доступности радионуклида для корневого поглощения растениями были рассчитаны экологические периоды полуснижения КП для двух периодов. В качестве первого периода рассматривался период времени с 2008 по 2012 гг., когда эффект от применения мероприятий был наиболее заметен, и в качестве второго периода с 2013- по 2020 гг., когда динамика концентраций ^{137}Cs в кормах носила естественный характер.

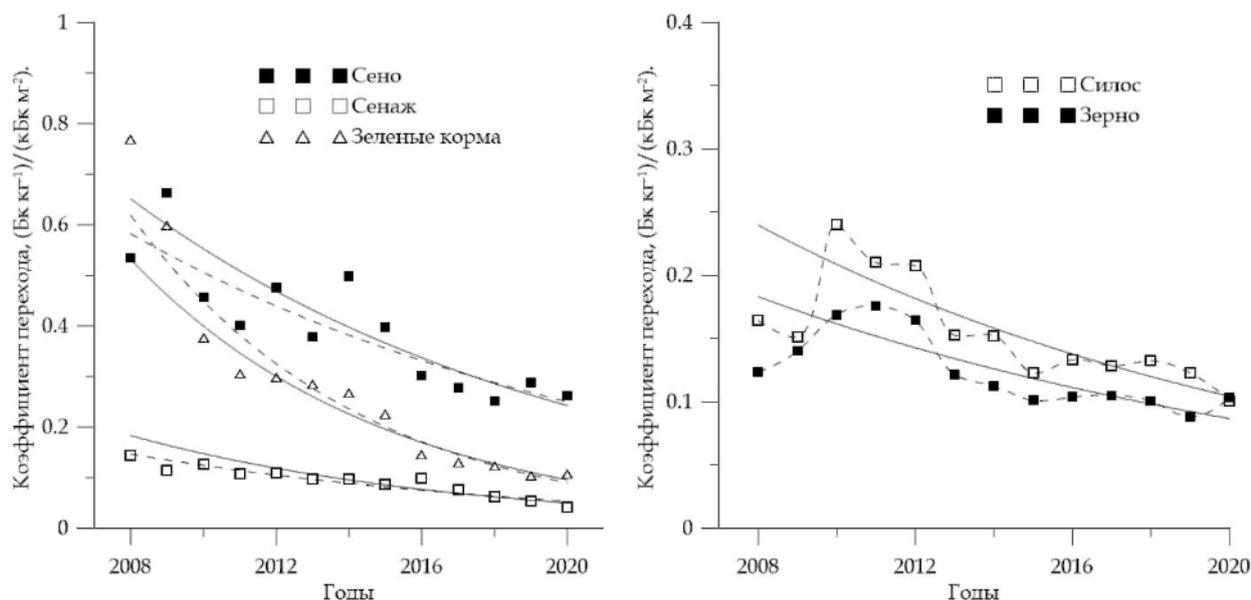


Рисунок 1. Динамика снижения содержания ^{137}Cs кормах и зерне, производимых в юго-западных районах Брянской области.

Пунктирные линии показывают аппроксимацию данных за 2008–2020 гг. сплайном (правый рисунок) или экспонентой (левый рисунок). Сплошные линии показывают аппроксимацию данных за 2013–2020 гг. экспонентой

Таблица 2. Периоды полуснижения концентраций ^{137}Cs в кормах в отдалённый период после аварии на ЧАЭС

Вид продукции	2008–2020		2013–2020		1989–1994 [1]	
	$T_{1/2}$	R^2	$T_{1/2}$	R^2		
Сено	9.9	0.80	8.5	0.76	4,6-21,0	0,6-0,9
Сенаж	8.3	0.87	6.3	0.85	1,4-29,6	0,6-0,9
Силос	14.4	0.53	11.9	0.58	7,5-17,3	0,21-0,86
Зелёные корма	4.2	0.95	4.1	0.94	4,9-15,4	0,5-0,87
Зерно	27.2	0.22	15.7	0.88	3,8-6,7	0,65-0,87

В среднем за период с 2008–2020, коэффициенты перехода ^{137}Cs в кормовые культуры уменьшились от 1,2 до 7,8 раз. В период «естественного снижения» коэффициентов перехода с 2014 по 2020 гг. оно составило от 2,3 до 8 раз. При анализе этих данных следует учитывать, что коэффициенты перехода радионуклидов в растения зависят от большого числа факторов, что определяет их значительные колебания в реальных условиях. В зависимости от конкретных погодных условий, КП могут колебаться до 3 раз [4]. Важным фактором, влияющим на поступление

радионуклидов в растения, являются и дозы удобрений, а также мероприятию по снижению загрязнения продукции [1]. Эти факторы являются неконтролируемыми и вносят дополнительную неопределённость при оценке тенденций и параметров снижения КП. Особенно значимо эти факторы затрудняют оценку параметров уменьшения КП в отдалённый период после выпадений, когда изменение коэффициентов перехода носит менее выраженный характер.

В то же время сопоставление трендов в изменении коэффициентов перехода, отражающих

«естественную» динамику снижения КП (данные 2014–2020 гг.) и динамику снижения этих показателей в период проведения защитных мероприятий позволяет приближённо оценить эффект от их применения. Показано, что значительно больший эффект от проведения мероприятий отмечался на пахотных угодьях до 50–60 %, в то время как интегральный эффект на сенокосах не превышал 20 %. Отметим, что эти данные являются средневзвешенными и отражают интегральный эффект с как с учётом угодий на которых мероприятия проводились, та и те на которых они не проводились.

Для получения соотношений между коэффициентами перехода в различные виды кормов, полученные данные были объединены. Затем отношения были рассчитаны отдельно для каждого года и каждого вида кормов. Нормируя средние значения КП на соответствующее значение для сена, корма можно расположить в следующий ряд по возрастанию коэффициентов перехода: зерно (концентраты) (0,27) ~ сенаж (0,23) < силос (0,37) < зелёная масса (0,6) < сено (1).

Представленные данные позволяют сделать вывод, что, начиная с 2013 года, коэффициенты перехода ^{137}Cs в кормовые растения имеют достоверную тенденцию к снижению ($R^2 > 0,9$). Представленные данные находятся в достаточно хорошем соответствии с оценками, полученными на основе наблюдений за глобальными выпадениями (периоды полуснижения КП равны 8–15 годам в среднем для всех

видов растений) [5] и оценками вторых периодов полуснижения, полученными после аварии на Чернобыльской АЭС [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фесенко С.В. и др. Динамика снижения коэффициентов перехода ^{137}Cs в сельскохозяйственные растения после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 1998. Т. 38. Вып. 2. С. 256–273.

2. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязнённых территорий: Монография / Под ред. чл.-корр. РАН Н.И. Санжаровой и проф. С.В. Фесенко. М.: РАН, 2018. 278 с.

3. Гераськин С.А. и др. Статистические методы анализа эмпирических распределений коэффициентов накопления радионуклидов растениями // Сельскохозяйственная биология. 1991. №1. С. 130–137.

4. Громов В.А., Николаева Е.М., Маракушин А.В. Прогнозирование накопления ^{90}Sr в зерне ячменя в зависимости от погодных условий // Агрохимия. 1982. № 9. С. 118–125.

5. Sources, Effects and Risks of Ionising Radiation // UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1988. Report to the General Assembly. United Nations. N.Y. 645 p.

REDUCTION OF ^{137}Cs IN FORAGE CROPS IN THE LONG TERM AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT

Fesenko S.V.¹, Isamov N.N.¹, Prudnikov P.V.², Yemlyutina E.S.¹, Titov I.E.¹

¹Russian Institute of Radiology and Agroecology
249032 Kievskoe shosse 109 km Obninsk, Kaluga region, Russian Federation

²FSBI "Center for Chemicalization and Agricultural Radiology" Bryansky
241524, Bryansk region, Bryansk district, p. Michurinsky, st. Sportivnaya, 1, Russian Federation

The data on the dynamics of ^{137}Cs transfer coefficients to animal feeds in the long term after the Chernobyl accident are presented. It is shown that the ecological half-lives of transfer factors in 2008–2020 varied from 4.2 to 27.2 years. In 2014–2020, during the period of natural (in the absence of protective measures) reduction of the transfer factors to the forage, the half-lives decreased and ranged from 4.1 to 15.7 years, depending on the forage species.

Keywords: ^{137}Cs , forage, transfer factors, countermeasures, half-lives

Научное издание

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ
РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ:
к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС**

Сборник докладов
международной научно-практической конференции
(22-23 апреля 2021 г., Обнинск)

ISBN 978-5-903386-46-8



Компьютерная верстка Шубина О.А.

Подписано в печать 12.04.2021 г.
Формат 60x90 1/8. Гарнитура PT Sans.
Усл. печ. л. 49,86. Тираж 350 экз. Заказ № 55.

Издательство ФГБНУ ВНИИРАЭ
249032, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км
www.rirae.ru

Отпечатано в ООО "Компания "Оптим-арт"
249038, г.Обнинск, ул. Гурьянова, д.21, оф.116
+7 484 395-56-46, info.optibook@gmail.com
www.optibook.ru