

О. Н. АНТИПЕНКО

РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФЕРРОЦИНСОДЕРЖАЩИХ СОРБЕНТОВ

*Департамент по ликвидации последствий
катастрофы на Чернобыльской АЭС МЧС Республики Беларусь,
г. Минск, Республика Беларусь
Antipenko_79@mail.ru*

В статье представлены результаты исследований радиологической эффективности включения в рацион бычков на откорме сорбентов цезия-137 (I-я опытная группа – углеродный ферроцинсодержащий сорбент на основе торфа; II-я опытная группа – углеродный ферроцинсодержащий сорбент; III-я опытная группа – ферроцин). Кратность снижения поступления цезия-137 в организм бычков была ниже соответственно в 6,4 раза, 5,0 раз и 4,4 раза в сравнении с контролем.

Ключевые слова: сорбенты, эффективность, цезий-137, бычки на откорме.

После аварии на Чернобыльской АЭС, в результате которой значительные территории Беларуси оказались загрязненными долгоживущими изотопами цезия-137 и стронция-90, актуальным является получение на этих территориях сельскохозяйственной продукции в пределах РДУ-99 [9, 6, 8].

Загрязнению цезием-137 с плотностью более 1 Ки/км² подверглась территория Республики Беларусь площадью 46,615 тыс. км², в том числе 18,6 тыс. км² или 21 % сельскохозяйственных земель. Загрязнение территории Республики Беларусь стронцием-90 носит более локальный характер по сравнению с загрязнением цезием-137. Уровни загрязнения территории стронцием-90 более 0,15 Ки/км² наблюдались на

площади 21,1 тыс. км² в Гомельской и Могилевской областях, или 10% территории республики [2]. С 1986 г. площадь территории радиоактивного загрязнения республики цезием-137 вследствие его радиоактивного распада уменьшилась в 1,7 раза и по состоянию на 01.01.2020 составляла 13,4 % общей площади республики (27,9 тыс. км²). Площадь загрязнения республики стронцием-90 в результате его распада сократилась почти в 1,9 раза (с 10 до 5,3 % или с 21,1 до 11,8 тыс. км²) [2].

Радиоактивному загрязнению цезием-137 подверглись более 1,8 млн га сельскохозяйственных земель Беларуси. Из них 265 тыс. га (около 15 %) были выведены из хозяйственного оборота в 1986 г. В 1992 г. проведен первый тур обследования и крупномасштабного картирования сельскохозяйственных земель. По данным первого тура, площадь сельскохозяйственных земель, загрязненных цезием-137 с плотностью выше 37 кБк/м² или >1 Ки/км² составила 1,438 млн га или 17,8 % всех сельскохозяйственных земель. С 1992 по 2020 г. площадь сельскохозяйственных земель, загрязненных цезием-137, сократилась на 589,9 тыс. га, или на 41 % [2].

В 2020 г. сельскохозяйственное производство ведется на 848,1 тыс. га земель, загрязненных цезием-137, из которых 33,2 % одновременно загрязнены стронцием-90.

Применение при откорме животных кормов с низким содержанием цезия-137 в рационе позволило в последние годы исключить возврат скота с мясокомбинатов по результатам прижизненного радиометрического контроля [2].

К одному из направлений получения сельскохозяйственной продукции в рамках санитарно-нормативных требований решения проблемы относится использование в кормлении животных энтеросорбентов, связывающих и выводящих из желудочно-кишечного тракта эндогенных и экзогенных радионуклидов [1, 4]. Для снижения поступления цезия-137 в нашей республике апробированы и разрешены к широкому использованию ферроцинсодержащие препараты в качестве антидота цезия-137 [7, 5]. Действие сорбентов основано на избирательной сорбции изотопов цезия из жидкой фазы химуса. При прохождении кормовых масс по желудочно-кишечному тракту сорбенты прочно связывают радиоизотопы цезия и выводятся из организма с фекалиями.

В Государственной программе по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011-2015 годы и на период до 2020 года (далее - Госпрограмма), в комплексе защитных мероприятий

в сельскохозяйственном производстве, предусмотрено обеспечение ферроцинсодержащим комбикормом молочного скота личных подсобных хозяйств. Эта мера предназначена для тех населенных пунктов, где по данным радиационного контроля учреждений государственной санитарного надзора, в любой год из последних трех отмечается производство молока с превышением РДУ-99 по содержанию цезия-137 [3].

В настоящее время единственным производителем и поставщиком ферроцина на постсоветском пространстве является ООО НПП «Эксорб» (г. Екатеринбург, Российская Федерация). Стоимость одного килограмма составляет 50 долларов США.

С целью импортозамещения в Институте природопользования НАН Беларуси в период 1987-1990 гг. проведены исследования по получению сорбционных материалов, избирательно сорбирующих цезий-137, на основе гексацианоферратов меди, цинка, кобальта, железа, введенных в поры активированного угля. По результатам лабораторных исследований, модифицированные гексацианоферратом железа (ферроцином) активные угли показали результаты намного лучше, чем исходный ферроцин.

Разработка новых препаратов и их лабораторные исследования, проводимые в рамках мероприятия «Научное решение проблем радиационной защиты населения, управления территориями и социально-экономического развития пострадавших регионов» Госпрограммы показали, что при создании производства и выпуске углеродных ферроцинсодержащих сорбентов для нужд животноводства можно отказаться от импорта и, соответственно, снизить расходы валютных средств и обеспечить импортозамещение.

Цель работы – изучить сорбционную эффективность углеродных ферроцинсодержащих сорбентов белорусского производства на сельскохозяйственных животных.

С целью изучения кратности снижения содержания ^{137}Cs и других техногенных токсикантов (Pb, Cd, Hg, As) в мясе, в 2019 году были проведены два научно-производственных опыта. В качестве исходных компонентов для получения углеродного ферроцинсодержащего сорбента использовался торфяной активный уголь фосфорнокислотной активации, хлорное железо ($\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) и гексацианоферрат (II) калия в виде 5 %-ых водных растворов.

С целью установления сорбционной активности сорбентов, модифицированных ферроцином, был проведен физиологический

опыт на экспериментальных животных (бычки, молодняк крупного рогатого скота).

При постановке на опыт животные отбирались по принципу пар-аналогов, с учетом живой массы и возраста.

Разница между контрольной и опытными группами заключалась в том, что бычкам опытных групп в состав концентратов вводились сорбенты из расчета 40 г/голову в сутки из расчёта ферроцина по 105 мг/кг живой массы.

Содержание и уход за подопытными животными были одинаковыми, и соответствовать принятой на животноводческих объектах технологии производства мяса, а также организации труда. Кормление животных осуществлялось дважды в день по установленному распорядку рабочего дня.

Отбор проб мяса говядины проводился от каждого бычка после забоя согласно СТБ-1050-2008 «Отбор проб мяса, мясных продуктов, животных жиров и яиц».

Определение удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг) в исследуемых образцах кормов, мяса выполнялось на γ -спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard» с погрешностью не более 30 %.

В ходе проведения научно-производственных опытов велся учет кормления животных по количеству съеденных кормов основного рациона и не съеденных остатков (путем контрольного взвешивания 1 раз в 5 дней).

Полученный, в результате исследований, цифровой материал был обработан биометрически по П. Ф. Рокицкому.

Для проведения научно-производственного опыта по изучению радиологической и зоотехнической эффективности углеродного ферроцинсодержащего сорбента на молодняке крупного рогатого скота, находящегося на откорме, было выбрано сельскохозяйственное предприятие (ОАО «Маложинский» Брагинского района Гомельской области), расположенное на территории радиоактивного загрязнения.

В ходе анализа хозяйственной деятельности данного сельскохозяйственного предприятия была подобрана ферма, расположенная в пределах населенного пункта Маложин, на которой содержится скот на откорме. На данной ферме проведена работа по отбору животных, в соответствии с общепринятыми зоотехническими методиками, для проведения эксперимента. По принципу пар-аналогов были сформированы 1 контрольная и 3 опытные группы бычков черно-пестрой породы 18-20-ти месячного

возраста, численностью по 5 голов в каждой. Схема проведения научно-производственного опыта приведена в [таблице 1](#).

Таблица 1 – Схема проведения научно-производственного опыта

Группы	Количество животных в группе	Живая масса на начало опыта, кг	Продолжительность, дней	Особенности кормления
Контрольная	5	360-380	35	ОР*
I опытная	5	360-380	35	ОР* + сорбент ¹ 40 г/гол. в сутки. (105 мг/кг ж.м.)
II опытная	5	360-380	35	ОР* + сорбент ² 40 г/гол. в сутки. (105 мг/кг ж.м.)
III опытная	5	360-380	35	ОР* + сорбент ³ 105 мг/кг ж.м.
Примечание: ОР* – основной рацион (культуры зеленого конвейера, комбикорм-концентрат для бычков на откорме; сорбент ¹ – углеродный ферроцинсодержащий сорбент на основе торфа; сорбент ² – углеродный ферроцинсодержащий сорбент; сорбент ³ – ферроцин.				

Основной рацион бычков состоял из зеленой массы культур зеленого конвейера и зернофуража собственного производства, компонентный состав которого был следующий: тритикале – 50 %, пшеница – 50 %. Разница между группами заключалась в том, что бычкам опытных групп в состав концентратов вводились сорбенты.

Содержание и уход за подопытными животными были одинаковыми, и соответствовали принятой на животноводческом объекте технологии производства мяса, а также организации труда. Кормление было двукратным по установленному распорядку рабочего дня.

Полный зоотехнический анализ кормов был проведен в лаборатории массовых анализов ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси» по общепринятым методикам.

Анализ кормления животных показал, что в рационах контрольной и опытных групп наблюдалась оптимальная сбалансированность по кормовым единицам (норма кормления – 5,1 кормовых единиц, в I, II и III опытных группах 5,6; 5,5 и 5,6 кормовых единиц

соответственно). Содержание обменной энергии по сравнению с нормой кормления в среднем было выше на 21-29 %. Обеспеченность рационов переваримым протеином по сравнению с нормой кормления была выше на 5,0-12,0 %.

Оптимальное соотношение кальция и фосфора в рационах для крупного рогатого скота должно составлять 1,5-2,1. В исследуемых рационах подопытных животных оно находилось на уровне 1,4:1, что свидетельствует о нарушении данного соотношения в сторону дефицита кальция.

Сахаропротеиновое отношение при выращивании и откорме должно составлять 0,8-1,0, а фактически в рационах животных контрольной и опытных групп оно находилось на уровне 0,7, что объясняется дефицитом растворимых углеводов в рационах подопытных животных.

Содержание макро- и микроэлементов находилось ниже рекомендуемой нормы: кальция на 11,7-17,3 %; магния – 5,8-11,5 %; меди – 27,5-32,1 %; цинка – 28,4-32,8 %; кобальта – 25,0 %; марганца – 2,9-9,0 %.

В ходе подготовки научно-производственного опыта проведены этологические наблюдения над животными. Проведено изучение пищевых привычек животных, а также выполнен учет остатков несъеденных кормов, который по зеленой массе рапса составил 2,5-3 кг в сутки. Поедание концентрированного корма было полным.

В первые двадцать дней проведения опыта, активность суточных рационов бычков на откорме по ^{137}Cs составляла 2000-2250 Бк. С 21 по 25 сутки активность рационов находилась на уровне 2350 Бк. С 26 суток и до окончания проведения опыта (35-е сутки) активность рационов увеличилась до 3100-3165 Бк.

Накопление цезия-137 в мышечной ткани животных в течение опыта оценивалось путём проведения прижизненной дозиметрии животных (на 1-е, 10-е, 20-е и 25-е сутки) с использованием радиометра-дозиметра МКС-01М «СОВЕТНИК - ЗАО «ТИМЕТ». На 35-е сутки был произведен убой животных и были получены фактические значения содержания ^{137}Cs в мышечной ткани бычков.

Так, с 1-х по 20-е сутки проведения опыта содержание ^{137}Cs в организме животных подопытных групп находилось менее 80 Бк/кг живой массы ([таблица 2](#)).

На 25-е сутки были получены значения прижизненной дозиметрии животных в контрольной группе на уровне 90 ± 20 Бк/кг.

В опытных группах данный показатель оставался по-прежнему менее 80 Бк/кг.

После проведения контрольного убоя бычков на ОАО "Гомельский мясокомбинат" и проведения измерения содержания ^{137}Cs в мышечной ткани животных были получены следующие данные: контроль – 125,3±1,3 Бк/кг; 1-я опытная – 19,7±4,9 Бк/кг; 2-я опытная – 25,0±5,7 Бк/кг; 3-я опытная – 28,7±5,2 Бк/кг.

Кратность снижения поступления ^{137}Cs в организм бычков на откорме в конце проведения опыта составила: 1-я опытная группа – 6,4 раз; 2-я опытная группа – 5,0 раз; 3-я опытная группа – 4,4 раз.

Таблица 2 – Содержание ^{137}Cs в организме бычков на откорм

Группа / номер животного	Сутки проведения опыта					Кратность снижения ^{137}Cs
	1	10	20	25	35	
	прижизненная дозиметрия				убой	
контрольная группа						
06681	<80	<80	<80	90±20	125,3	–
14184	<80	<80	<80	94±20	126,6	
76500	<80	<80	<80	92±20	124,0	
M±m					125,3±1,3	
I опытная группа						
76033	<80	<80	<80	<80	25,1	6,4
76475	<80	<80	<80	<80	15,4	
14370	<80	<80	<80	<80	18,6	
M±m					19,7±4,9	
II опытная группа						
56093	<80	<80	<80	<80	27,2	5,0
81443	<80	<80	<80	<80	18,6	
76545	<80	<80	<80	<80	29,3	
M±m					25,0±5,7	
III опытная группа						
56399	<80	<80	<80	<80	33,9	4,4
56547	<80	<80	<80	<80	28,7	
56099	<80	<80	<80	<80	23,6	
M±m					28,7±5,2	

В результате проведенных исследований, было установлено, что наибольшая радиологическая эффективность была достигнута при использовании углеродного ферроцинсодержащего сорбента на основе торфа, использование которого позволило снизить поступление ^{137}Cs в организм животных в 6,4 раза по сравнению с контролем. Радиологическая эффективность по 2-й опытной группе (кратность

снижения поступления ^{137}Cs составила 5,0 раз) была достигнута при использовании угольного сорбента, а при использовании ферроциана в чистом виде кратность снижения поступления ^{137}Cs в организм бычков составила 4,4 раза.

Список литературы

1 Алексахин, Р.М. Сельскохозяйственная радиология / Р. М. Алексахин, Н. А. Корнеев. – М.: Экология. 1991. – 398 с.

2 Беларусь и Чернобыль: 34 года спустя. Информационно-аналитические материалы. – Минск: ИВЦ Минфина, 2020. – 38 с.

3 Государственная программа по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011 – 2015 годы и на период до 2020 года. – Минск, 2011. – 132 с.

4 Губарева, О. С. Применение новых ферроциансодержащих комплексных кормовых добавок для снижения содержания ^{137}Cs в молоке коров. / О. С. Губарева, Н. Н. Исамов, П. Н. Цыгвинцев // Радиация и риск. 2015. – Т. 24, № 4. С. 35–40.

5 Губарева, О.С. Оценка радиологической эффективности комплексного применения смеси комбикормов с ферроциансодержащими препаратами в хозяйствах юго-западных районов Брянской области / О. С. Губарева, Н. Н. Исамов, П. Н. Цыгвинцев, Е. И. Рясная, Е. Н. Алешкина // Радиация и риск. 2017. – Т. 26. – № 1. – С. 89–96.

6 Карпенко, А.Ф. Радиоэкологическое состояние сельскохозяйственных земель Гомельщины / А. Ф. Карпенко // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 1. (г. Киров, 3–5 декабря 2018 г.). – Киров : ВятГУ, 2018. – С. 292-297.

7 Карпенко, А.Ф. Эколого-экономические проблемы агропроизводства Гомельской области после Чернобыльской катастрофы: монография / А. Ф. Карпенко. – Брянск: Дельта, 2012. – 258 с.

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

9 Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012 – 2016 годы. – Минск, 2012. – 122 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ