

Алексей КАРПЕНКО, Александр ЦАРЕНОК,

Ольга АНТИПЕНКО

*Институт радиобиологии НАН Беларуси,
Гомель, Республика Беларусь
e-mail: irb@irb.basnet.by*

УДК 636.034/631.16

<https://doi.org/10.29235/1818-9806-2023-8-80-86>

Радиологическая и экономическая эффективность сорбента цезия-137

На территории радиоактивного загрязнения в системе мероприятий, направленных на снижение поступления радионуклидов в продукцию животноводства, большое значение имеют приемы ввода в рационы цезийсвязывающих препаратов. Однако недостатком их применения является отсутствие в Беларуси собственного производства.

В статье рассмотрена радиологическая и экономическая эффективность сорбента цезия-137 белорусской разработки. Установлено, что энтеросорбент отечественного производства в составе рациона кроликов в дозе 2 г/гол. в 1,4 раза и в дозе 4 г/гол. в 2,6 раза, бычков – в дозе 40 г/гол. в 1,15 раза эффективнее, чем чистый ферроцин. С 5-х по 20-е сутки применения углеродного сорбента наблюдалось снижение содержания цезия-137 в молоке коров в 1,7–4,5 раза.

Затраты на 1 тыс. Бк разницы в накоплении цезия-137 в кроличьем мясе в группе с белорусским сорбентом в дозе 2 г/гол. в 7,6 раза и в дозе 4 г/гол. в 4,0 раза, в говядине – в 5,5 раза, молоко – в 5,2 раза ниже в сравнении с ферроцином.

Ключевые слова: углеродный ферроцинсодержащий сорбент, содержание ферроцина в мясе, сорбент цезия-137, эффективность сорбента.

Aleksey KARPENKO, Alexander TSARENOK,

Olga ANTIPENKO

*Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus,
Gomel, Republic of Belarus
e-mail: irb@irb.basnet.by*

Radiological and economic efficiency of the cesium-137 sorbent

On the territory of radioactive contamination, in the system of measures aimed at reducing the uptake of radionuclides by livestock products, a large place is occupied by the methods of introducing cesium-binding sorbents into the diets. However, the disadvantage of their use is the lack of the local production in Belarus.

The article discusses the radiological and economic efficiency of the caesium-137 sorbent of the Belarusian origin. It has been established that the Belarusian-made enterosorbent in the diet of rabbits at a dose of 2 g/head, 4 g/head and in the diet of bulls at a dose 40 g/head is 1,4, 2,6 and 1,15 times respectively more effective than pure ferrocine. Starting from the 5th to the 20th day of using the carbon sorbent, there is a decrease in the content of cesium-137 in the milk of cows from 1,7 to 4,5 times.

© Карпенко А., Царенок А., Антипенко О., 2023

The cost per 1 thousand Bq of the difference in the accumulation of cesium-137 in rabbit meat in case of the Belarusian sorbent at a dose of 2 g/head by 7,6 times lower in comparison with ferrocine, at a dose of 4 g/head by 4,0 times, in beef by 5,5 times, in milk by 5,2 times lower.

Keywords: ferrocine-containing carbon sorbent, ferrocine content in meat, cesium-137 sorbent, sorbent efficiency.

Введение

На современном этапе развития Республики Беларусь агропромышленный комплекс является важнейшей отраслью народного хозяйства, основным источником формирования продовольственных ресурсов. Он обеспечивает национальную продовольственную безопасность и значительные валютные поступления в экономику страны [1]. После катастрофы на Чернобыльской АЭС на загрязненной территории Беларуси долгоживущие изотопы ^{137}Cs и ^{90}Sr на десятки лет стали определять радиоактивное загрязнение сельскохозяйственной продукции, продуктов питания и уровни дозовых нагрузок на население [2, 3]. В системе мероприятий, направленных на снижение поступления радионуклидов в продукцию животноводства, большое место занимают приемы ввода в рационы специальных добавок, уменьшающих переход радионуклидов в продукты животноводства. Одной из таких контрмер по снижению концентрации ^{137}Cs в молоке и мясе является рекомендация применять цезийсвязывающие препараты [4, 5]. Для Беларуси их недостаток – отсутствие собственного производства цезийсвязывающих сорбентов, а также высокая стоимость покупных [6]. Следовательно, поиск собственных сорбентов, изучение их эффективности и налаживание выпуска являются весьма актуальными для республики.

С целью импортозамещения в Институте природопользования НАН Беларуси был получен цезийсвязывающий сорбент на основе гексацианоферрата железа, введенного в поры активированного угля. Сорбент представляет собой *композицию торфяного активированного угля с содержанием 5 % ферроцина* [7].

С целью установления энтеросорбционной активности разработанного ферроцинсодержащего сорбента его необходимое количество было изготовлено и передано в ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси» для проверки на сельскохозяйственных животных.

Материалы и методы

Объектами исследования были взрослые кролики, бычки на откорме, лактирующие коровы. Предмет – сорбенты, корма и рационы животных, мышечная ткань, молоко, радиологические показатели, экономическая эффективность. Использовалась система результативных показателей, полученных в ходе математического, статистического и аналитического методов анализа [8].

Цель исследования заключалась в установлении радиологической и экономической эффективности сорбента цезия-137 белорусской разработки в рационах сельскохозяйственных животных на территории радиоактивного загрязнения.

Основная часть

В опытах на животных использовался ферроцин, приобретенный в ООО НПП «Эксорб» Российской Федерации, и разработанный в ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси» опытный образец углеродного энтеросорбента, модифицированного ферроцином.

В первом опыте на базе вивария РНИУП «Институт радиологии» были сформированы четыре группы кроликов-самцов 3-месячного возраста породы белый паннон (контрольная и три опытных) численностью 3 гол. в каждой (табл. 1). Продолжительность опыта – 30 дней.

Т а б л и ц а 1. Схема постановки опыта на кроликах по методу пар-аналогов

Группа	Количество животных, гол.	Живая масса на начало опыта, кг	Особенности кормления
Контрольная	3	1,8–2,3	Сено, комбикорм – основной рацион (ОР)
1-я опытная	3	1,8–2,3	ОР + 0,2 г ферроцина
2-я опытная	3	1,8–2,3	ОР + 2 г углеродного ферроцинсодержащего сорбента
3-я опытная	3	1,8–2,3	ОР + 4 г углеродного ферроцинсодержащего сорбента

Контрольная и опытные группы животных во время опыта получали в составе основного рациона сено злаково-бобовое (0,06 кг на голову в сутки с удельной активностью по ^{137}Cs 5500–6400 Бк/кг) и комбикорм-концентрат КК-92 для взрослых кроликов (ТУ РБ 600024008.125-2006) (0,15 кг на голову в сутки). Сорбенты цезия-137 давали животным в смеси с комбикормом.

После забоя животных и получения результатов радиометрических измерений было установлено, что кратность удельной концентрации цезия-137 в мышечной ткани кроликов опытных групп оказалась в 3,18–8,23 раза ниже по отношению к контролю. Также показано, что модифицированный ферроцином сорбент в дозе 2 г/гол. в 1,4 раза и в дозе 4 г/гол. в 2,6 раза эффективнее, чем чистый ферроцин. Дача 4 г модифицированного углеродного сорбента была более эффективна в 1,8 раза в сравнении с дачей 2 г (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Показатели удельного содержания цезия-137 в мышечной ткани и его поступления из рациона кроликов

Группа	Средняя удельная активность мышечной ткани, Бк/кг	Кратность снижения по сравнению с контрольной группой	Переход в звене «рацион-мышечная ткань», %
Контрольная	501,00 ± 226,30	–	138,6
1-я опытная	157,33 ± 45,00	3,18	43,5
2-я опытная	111,47 ± 44,30	4,49	30,8
3-я опытная	60,87 ± 16,20	8,23	16,8

Параметры перехода цезия-137 в звене миграции «рацион-мышечная ткань» в контрольной группе составили 138,6 %, в 1-й группе – 43,5 %, 2-й группе – 30,8 % и 3-й группе – 16,8 %, что соответственно на 95,1, 107,8 и 121,8 % меньше в сравнении с контролем. Применение модифицированного углеродного сорбента в дозе 2 г/гол. способствовало снижению перехода цезия-137 из рациона в мышечную ткань на 12,7 %, в дозе 4 г/гол. – на 26,7 % в сравнении с ферроцином в дозе 0,2 г/гол.

В ценах 2017 г. стоимость 1 кг собственно изготовленного модифицированного ферроцином углеродного сорбента на 96,6 бел. руб. была ниже, чем приобретенного в Российской Федерации ферроцина. Поэтому применение на кроликах собственного сорбента в дозе 2 г/гол. в сутки потребовало затрат на сумму 0,28 коп., в дозе 4 г/гол. – 0,56 коп., что соответственно было на 1,7 и 1,4 коп. меньше в сравнении с использованием ферроцина.

Второй научно-производственный опыт (табл. 3) проводился на базе сельскохозяйственного предприятия ОАО «Маложинский» Брагинского района Гомельской области, где были сформированы одна контрольная и две опытные группы бычков черно-пестрой породы 18–20-месячного возраста численностью по 5 гол. в каждой.

Т а б л и ц а 3. Схема проведения научно-производственного опыта на бычках

Группа	Количество животных в группе, гол.	Живая масса на начало опыта, кг	Продолжительность, дни	Особенности кормления
Контрольная	5	360–380	35	ОР*
1-я опытная	5	360–380	35	ОР* + сорбент ¹ 40 г/гол. в сутки
2-я опытная	5	360–380	35	ОР* + сорбент ² 3 г/гол. в сутки

П р и м е ч а н и я. ОР* – основной рацион (культуры зеленого конвейера, зернофураж собственного производства: тритикале – 50 %, пшеница – 50 %); сорбент¹ – углеродный ферроцинсодержащий сорбент; сорбент² – ферроцин.

На 35-е сутки был произведен убой животных и получены фактические значения содержания ¹³⁷Cs в мышечной ткани бычков контрольной группы 125,3 ± 1,3 Бк/кг; 1-й опытной – 25,0 ± 5,7 Бк/кг; 2-й опытной – 28,7 ± 5,2 Бк/кг. Из этих показателей следует, что кратность накопления ¹³⁷Cs в организме бычков на откорме, в сравнении с контролем, была ниже в 1-й опытной группе в 5,0 раза, 2-й – в 4,4 раза. В группе с углеродным ферроцинсодержащим сорбентом, в сравнении с группой с ферроцином, кратность накопления ¹³⁷Cs в среднем была в 1,15 раза ниже (на 3,7 Бк/кг).

Показатели перехода цезия-137 в звене биологической миграции из рациона в 1 кг мышечной ткани в контрольной группе показаны как 4,04 %, в 1-й группе – 0,81 % и 2-й группе – 0,93 %.

Стоимость приобретения сорбентов для 1-й и 2-й групп составила 9,77 и 51,45 бел. руб. соответственно. Затраты на 1 тыс. Бк разницы с контролем

в накоплении цезия-137 в говядине в 1-й группе находились на уровне 0,09 бел. руб., во 2-й группе – 0,50 бел. руб. Применение углеродного сорбента экономически в 5,5 раза оказалось более выгодным в сравнении с ферроцином.

Третий научно-производственный опыт проводился в ОАО «Ветковский агро-сервис» Ветковского района. Для опыта были сформированы две группы лактирующих коров: опытная и контрольная по 5 гол. в каждой (табл. 4).

Т а б л и ц а 4. Схема научно-производственного опыта на лактирующих коровах

Группа	Количество животных в группе, гол.	Живая масса на начало опыта, кг	Продолжительность, дни	Особенности кормления
Контрольная	5	550–600	20	ОР*
Опытная	5	550–600	20	ОР* + сорбент 40 г/гол. в сутки (67 мг/кг ж. м.)

Примечание. ОР* – силос, сено, зеленая масса культур зеленого конвейера, комбикорм.

В табл. 5 приведены результаты радиологических измерений молока по периодам опыта: удельная концентрация ¹³⁷Cs в контрольной группе составила 5,93 Бк/кг, в опытной – 2,22 Бк/кг, что на 3,71 Бк/кг оказалось меньше.

Т а б л и ц а 5. Удельная активность молока экспериментальных коров

Группа	Удельная активность молока, Бк/кг по периодам отбора						
	Начало опыта	5-е сутки	8-е сутки	11-е сутки	14-е сутки	17-е сутки	20-е сутки
Контрольная	3,1 ± 0,5	2,4 ± 0,5	5,8 ± 2,2	4,3 ± 0,6	7,7 ± 0,7	6,9 ± 0,8	7,9 ± 3,7
Опытная	2,6 ± 1,0	1,4 ± 0,4	1,3 ± 0,1	1,6 ± 0,3	3,0 ± 1,8	2,4 ± 1,5	3,6 ± 2,0
Кратность снижения, раз по сравнению с контролем	–	1,7	4,5	2,7	2,6	2,9	2,2

Как видно из данных табл. 5, кратность снижения содержания ¹³⁷Cs в молоке коров опытной группы с 5-х по 20-е сутки находилась в интервале от 1,7 до 4,5 раза. При этом вынос ¹³⁷Cs с молоком в контрольной группе за время опыта при среднем удое 23,9 кг и содержании радионуклида 5,93 Бк/кг составил 14 173 Бк, в опытной группе при среднем удое 24,9 кг и содержании радионуклида 2,22 Бк/кг – 5528 Бк, что на 8645 Бк меньше.

За время эксперимента опытной группе коров было скормлено 4 кг углеродного сорбента на сумму 5,60 бел. руб. Разница в содержании ¹³⁷Cs в надоемном молоке опытной группы, в сравнении с контрольной, была получена в количестве 8645 тыс. Бк, что в денежном выражении на 1 тыс. Бк составило 0,65 бел. руб. Применение для этих целей ферроцина оказалось бы примерно в 5,2 раза более затратным в сравнении с углеродным сорбентом.

Заключение

Энтеросорбент белорусского производства в составе рационов для кроликов в дозах 2 и 4 г/гол., бычков на откорме и лактирующих коров в дозе 40 г/гол. является эффективной добавкой для снижения накопления цезия-137 в организме сельскохозяйственных животных. Применение углеродного модифицированного сорбента и ферроцина способствует в 3,18–8,23 раза более низкому накоплению цезия-137 в мышечной ткани кроликов в сравнении с контролем. Углеродный модифицированный ферроцином (5 %) сорбент в дозе 2 г/гол. в 1,4 раза и в дозе 4 г/гол. в 2,6 раза эффективнее, чем чистый ферроцин. Включение в состав рациона бычков углеродного ферроцинсодержащего сорбента позволяет снизить поступление ^{137}Cs в организм животных в 5,0 раза по сравнению с контролем и в 1,15 раза в сравнении с ферроцином. С 5-х по 20-е сутки применения углеродного сорбента наблюдается снижение содержания ^{137}Cs в молоке коров от 1,7 до 4,5 раза.

Затраты на 1 тыс. Бк разницы в накоплении цезия-137 в кроличьем мясе в группе с углеродным ферроцинсодержащим сорбентом в дозе 2 г/гол. в 7,6 раза и в дозе 4 г/гол. в 4,0 раза, в говядине – в 5,5 раза, в молоке – в 5,2 раза ниже в сравнении с ферроцином.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гусаков, В. Как обеспечить устойчивость, конкурентность и эффективность национального АПК / В. Гусаков // Аграр. экономика. – 2020. – № 2. – С. 3–11.
2. 35 лет после чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления ее последствий: национальный доклад Республики Беларусь / Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыл. АЭС М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь. – Минск: ИВЦ Минфина, 2020. – 152 с.
3. История преодоления последствий Чернобыльской катастрофы / Департамент по ликвидации последствий на Чернобыл. АЭС М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь. – Минск, 2020. – 319 с.
4. Использование берлинской лазури для снижения уровня загрязнения радиоактивным цезием молока и мяса, производимых на территориях, пострадавших от Чернобыльской аварии / МАГАТЭ. – Вена, 1997. – 25 с.
5. Карпенко, А. Ф. Сорбенты цезия-137 для животноводства / А. Ф. Карпенко // Животноводство и ветеринар. медицина. – 2020. – № 1. – С. 3–7.
6. НПП «Эксорб» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eksorb.com>. – Дата доступа: 24.03.2023.
7. Композиционный энтеросорбент на основе торфяного активированного угля / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование. – 2018. – № 2. – С. 128–133.
8. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений / ВАСХНИЛ; [подготовил Г. М. Лоза [и др.]]. – Фрунзе: М-во сел. хоз-ва СССР, 1984. – 108 с.

Поступила в редакцию 19.06.2023

Сведения об авторах

Карпенко Алексей Федорович – ведущий научный сотрудник лаборатории производства экологически безопасной продукции животноводства в условиях техногенного загрязнения территорий, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

Царенок Александр Александрович – заведующий лабораторией производства экологически безопасной продукции животноводства в условиях техногенного загрязнения территорий, кандидат сельскохозяйственных наук;

Антипенко Ольга Николаевна – аспирант лаборатории производства экологически безопасной продукции животноводства в условиях техногенного загрязнения территорий

Information about the authors

Karpenko Aleksey Fyodorovich – Leading Researcher of the Laboratory of Environmentally Safe Animal Production under Technogenic Contamination Conditions, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

Tsarenok Alexander Alexandrovich – Head of the Laboratory of Environmentally Safe Animal Production under Technogenic Contamination Conditions, Candidate of Agricultural Sciences;

Antipenko Olga Nikolaevna – Post-Graduate Student of the Laboratory of Environmentally Safe Animal Production under Technogenic Contamination Conditions