УДК 661.183-032.34

А.Р. Цыганов[1], А.Э. Томсон[2], Т.В. Соколова[2], Н.Е. Сосновская[2], Т.Я. Царюк[2], В.С. Пехтерева[2], А.А. Царенок[3], И.В. Макаровец[3]

[1]Белорусский государственный технологический университет,
[2]Институт природопользования НАН Беларуси,
[3]Институт радиобиологии НАН Беларуси

ЭНТЕРОСОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ТОРФА С РАДИОПРОТЕКТОРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Аннотация. Проведена модификация сфагнового торфа гексацианоферратом железа. Изучены сорбционные свойства полученного композита по отношению к иону цезия. Установлена зависимость величины сорбции от кислотности среды, которая растет с увеличением pH. Институтом радиобиологии НАН Беларуси на базе МТФ «Дублин» ОАО «Маложинский» Брагинского района Гомельской области проведены испытания композиционного энтеросорбента в качестве кормовой добавки в рационе лактирующих коров. Установлена ее высокая радиологическая активность. Кратность снижения перехода ^{137}Cs в молоко по отношению к контролю на 22-е сутки проведения эксперимента составила 4,6 раза.

A.R. Tsyganov[1], A.E.Tomson[2], T.V. Sokolova[2], N.E. Sosnovskaya[2], T.Ya.Tsaryuk[2], V.S.Pekhtereva[2], A.A. Tsarenok[3], I.V. Makarovets[3]

[1]Belarusian State Technological University,
[2]Institute for Nature Management of the NAS of Belarus,
[3]Institute of Radiobiology of the NAS of Belarus

ENTEROSORBENT BASED ON PEAT WITH RADIOPROTECTIVE PROPERTIES

Annotation. Sphagnum peat was modified with iron hexacyanoferrate. The sorption properties of the obtained composite on relation to the cesium ion were studied. The dependence of the sorption value on the acidity of the medium, which increases with increasing pH, has been established. The Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus on the basis of the MTP "Dublin" JSC "Malozhinsky" of the Bragin district of the Gomel region tested a composite enterosorbent as a feed additive in the diet of lactating cows. Its high radiological activity was established. The multiplicity of the decrease in the transition of 137Cs into milk in relation to the control on the 22nd day of the experiment was 4.6 times.

Работами сотрудников Института природопользования НАН Беларуси и других исследователей [1] показана способность торфа сорбировать ионы тяжелых металлов, органические и газообразные вещества, обусловленная его химической природой. Носителями ионообменных свойств гуминовых кислот являются карбоксильные и гидроксильные группы, водород которых при благоприятных условиях способен замещаться другими катионами. Содержание кислых функциональных групп в препаратах фульвокислот колеблется для карбоксильных групп от 2,0 до 5,6 мг-экв/г вещества, фенольных гидроксилов – от 4,8 до 7,5 мг-экв/г вещества, в гуминовых кислотах содержание карбоксильных и фенольных групп лежит в пределах от 6,3 до 9,8 мг-экв/г. Органическое вещество малоразложившегося сфагнового торфа в значительной степени представлено компонентами углеводного комплекса, в которых активные функциональные группы способны придать материалу сорбционные свойства. Как было показано ранее [2], использование сфагнового торфа в качестве основного компонента при производстве кормовой добавки в рацион поросят-отъемышей обеспечит не только ее питательную ценность, но и способность сорбировать ионы тяжелых металлов, патогенные микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, микотоксины. Сфагновый торф широко распространен на торфяных месторождениях Республики Беларусь, особенно в ее северном регионе [1].

В результате аварии на Чернобыльской АЭС значительные территории оказались зараженными радионуклидами, в том числе долгоживущими изотопами ^{137}Cs и ^{90}Sr, актуальным стало получение на этих территориях чистой продукции животноводства. Эта проблема может быть решена с применением энтеросорбционного метода, основанного на связывании и выведении из желудочного тракта радионуклидов. Для этой цели хорошо зарекомендовали ферроцианиды – комплексообразующие соединения избирательного действия, а также композиционные препараты, включающие сорбенты и комплексообразователи. Ранее нами разработан углеродный ферроцинсодержащий сорбент на основе торфяного активированного угля и ферроцина. Изучены физико-технические, энтеросорбционные и спектральные свойства материала. Результаты физиологического опыта показали, что добавление 4 г/гол. в сутки модифицированного углеродного сорбента в рацион кормления кроликов снижает накопление

^{137}Cs в мясе в 8 раз по сравнению с контролем [3]. Учитывая отсутствие торфяного активированного угля в настоящее время и предполагаемую его высокую стоимость, целью настоящей работы явилось получение активного энтеросорбционного материала, используя в качестве основы для модификации торф, как более дешевый и доступный материал, обладающий рядом ценных свойств, и гексацианоферрат железа (ферроцин).

Объектами исследования явились сфагновый торф и композиционный энтеросорбент, получение которого заключалось в реакции образования ферроцина в присутствии торфа. Оценка радиопротекторных свойств синтезированного композита проводилась по его способности сорбировать ионы цезия из 0,001 н. раствора нитрата цезия (C_{Cs^+} = 0,133 г/л).. Анализ исходных и равновесных растворов проводили атомно-эмиссионным методом на спектрометре ZEEnit 700P. По экспериментальным данным, рассчитывали статическую обменную емкость (СОЕ), коэффициент распределения (K_d) и эффективность поглощения. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективность поглощения ионов цезия сфагновым торфом и композиционным сорбентом

Сорбент	СОЕ, мг/г	Эффективность поглощения, %	K_d, мл/г
Сфагновый торф	3,50	57,4	74,2
Сфагновый торф + ферроцин	5,3	99,4	4791,7

Готовый продукт – энтеросорбент представляет собой композиционный материал на основе торфа, содержащий 5 % ферроцина. Введение в сфагновый торф ферроцина увеличивает СОЕ по иону цезия на 51,4 %. Эффективность поглощения – на 73,1 %, а $K_д$ увеличивается в 65 раз. Энтеросорбент – кормовая добавка, обладает специфической способностью связывать ^{137}Cs, поступающий с кормом в желудочно-кишечный тракт животного, тем самым предотвращая всасывание радиоактивного цезия в кровь, а, следовательно, поступление в молоко и мясо.

С целью изучения влияния кислотности среды на способность связывать ионы цезия по описанной выше методике проводили сорбцию указанного иона из 0,001 н. раствора азотнокислого цезия при pH 2,43 и

6,28 торфом и композиционным сорбентом. Результаты представлены в таблице 2.

Как следует из приведенных данных, с увеличением pH с 2,45 до 6,28 (имитация кислотности содержимого желудка и тонкого кишечника соответственно) сорбция возрастает.

Таблица 2 – Зависимость сорбции иона цезия торфом и сорбентом на основе торфа и ферроцина от кислотности среды

Сорбент	pH	СОЕ, мг/г	K_d, мл/г	Эффективность поглощения, %
Сфагновый торф	2,45	2,10	39,7	43,6
	6,28	3,42	175,7	76,9
Сфагновый торф + ферроцин	2,45	4,9	1842,0	85,4
	6,28	5,4	3243,6	88,9
	6,28	4,3	208,8	77,9

Для торфа значения СОЕ, K_d и эффективности поглощения возрастают на 38,6; 76,44 43,3 %, для композита торф + ферроцин – на 9,34;43,24;3,4 % соответственно. Полученные данные свидетельствуют о различном механизме сорбции цезия. Так сорбция цезия исходным торфом существенно зависит от кислотности среды. СОЕ и K_d возрастают на 38,6 и 77,4 %, что указывает на преимущественно ионообменный механизм. На композиционном сорбенте имеет место сочетание ионообменного и специфического механизмов.

Предварительные испытания лабораторного образца композиционного энтеросорбента на основе торфа и ферроцина в качестве кормовой добавки в рационе бычков, проведенные в Институте радиобиологии НАН Беларуси, показали кратность снижения ^{137}Cs в мясной продукции примерно в 6 раз по сравнению с контролем.

Установлено, что из наиболее пострадавших от чернобыльской катастрофы районов, к которым относятся Брагинский, Ветковский, Добрушский, Ельский, Кормянский, Наровлянский, Хойникский и Чечерский, поступает молоко с удельной концентрацией ^{137}Cs не выше 37 Бк/кг, однако в этих районах существует высокая вероятность получения молока, не соответствующего требованиям РДУ-99 по содержанию ^{137}Cs в молоке (выше 100 Бк/кг). На базе МТФ «Дублин» ОАО «Маложинский» Брагинского района Институтом радиобиологии проведен научно-хозяйственный эксперимент по применению

энтеросорбционной кормовой добавки в рацион лактирующих коров согласно схеме, представленной в таблице 3.

Таблица 3 – Схема научно-хозяйственного эксперимента

Группа	Количество животных в группе	Живая масса на начало опыта, кг	Продолжительность, дней	Особенности кормления
Контрольная	5	550–600	30	ОР*
1-я опытная	5	550–600	30	ОР* + композиционная ферроцин–содержащая кормовая до–бавка на основе торфа – 30 г/гол. (1,5 г/гол. по ферроцину в сутки)
2-я опытная	5	550–600	30	ОР* + сорбент ферроцин – 3 г/гол. в сутки

Примечание: ОР* – основной рацион (трава пастбищная – 30 кг; зеленая масса кукурузы молочной спелости – 15 кг; солома овсяная – 2 кг; комбикорм для коров КК-60П – 3 кг).

Содержание и уход за подопытными животными был одинаковым, и соответствовал принятой на животноводческом объекте технологии производства молока, а также организации труда.

Отбор проб молока проводился от каждой коровы в соответствии со схемой отбора проб молока во время утреннего доения согласно СТБ-1051-2012 «Отбор проб молока и молочных продуктов. Общие требования» на 0, 6-е, 12-е, 18-е и 22 -е сутки опыта.

Определение удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг) в исследуемых образцах кормов, молока выполнялось на γ-спектрометрическом комплексе "Canberra-Packard".

В таблице 4 приведены результаты оценки радиологической эффективности композиционной ферроцинсодержащей кормовой добавки на основе торфа и сорбента ферроцина по способности влиять на снижение перехода ^{137}Cs из рациона в молоко, а также рассчитана кратность снижения удельной активности молока в опытных группах по сравнению с контролем.

Таблица 4 – Показатели радиологической эффективности применения кормовых добавок в рационах лактирующих коров

Группа	Начало экспери–мента (6-е сутки)	Конец эксперимента (22-е сутки)
Кратность снижения ^{137}Cs в молоке коров опытных групп (в сравнении с контролем)		
1-я опытная группа (композиционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа)	3,1	4,6
2-я опытная группа (сорбент ферроцин)	2,2	4,6

Использование композиционной ферроцинсодержащей кормовой добавки на основе торфа в рационах лактирующих коров показало высокую радиологическую эффективность и не уступало по эффективности ферроцину.

Так, уже на 6-е сутки проведения эксперимента наблюдается заметное снижение перехода ^{137}Cs из рациона в молоко по опытным группам (табл. 4). К концу эксперимента переход ^{137}Cs из рациона в молоко в 1-й и 2-й опытных группах составил 0,2 %.

Кратность снижения перехода ^{137}Cs в молоко опытных групп по отношению к контролю на 22 сутки проведения эксперимента составила 4,6 раз.

Список использованных источников

1. Томсон А.Э. Торф и продукты его переработки. // А. Э. Томсон, Г. В. Наумова – Минск: «Беларуская навука». – 2009. – 328 с.

2. Томсон А.Э., Наумова Г.В., Овчинникова Т.Ф., Соколова Т.В., Жмакова Н.А., Царюк Т.Я., Макарова Н.Л., Сосновская Н.Е. Биологически активная кормовая добавка с сорбционными свойствами для поросят-отъемышей // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 249-261.

3. Томсон А.Э., Соколова Т.В., Навоша Ю.Ю., Царюк Т.Я., Сосновская Н.Е., Булгакова Н.А., Пехтерева В.С., Фалюшина И.П., Царенок А.А. Композиционный энтеросорбент на основе торфяного активированного угля // Природопользование. – 2018. – № 2. – С. 128-133.