

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2020-2-125-131>
УДК 636.087+662.641.2

Поступила в редакцию 15.10.2020
Received 15.10.2020

ЭНТЕРОСОРБЦИОННАЯ ФЕРРОЦИНСОДЕРЖАЩАЯ КОРМОВАЯ ДОБАВКА НА ОСНОВЕ ТОРФА

А. Э. Томсон¹, Т. В. Соколова¹, Н. Е. Сосновская¹, Ю. Ю. Навоша¹, Т. Я. Царюк¹,
В. С. Пехтерева¹, И. П. Фалюшина¹, А. А. Царенок²

¹Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

Аннотация. Разработана энтеросорбционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа. Обоснован выбор торфа в качестве основы для получения энтеросорбционной кормовой добавки. Проведена модификация сфагнового торфа гексацианоферратами металлов. Изучены сорбционные и спектральные свойства синтезированных сорбентов по отношению к иону цезия. Обоснован выбор композита, включающий сфагновый торф и гексацианоферрат железа (ферроцин) в качестве энтеросорбционной кормовой добавки с радиопротекторными свойствами. Предварительные испытания радиологической эффективности кормовой добавки в рационе бычков показал кратность снижения содержания ¹³⁷Cs в мясной продукции примерно в 6 раз по сравнению с контролем.

Ключевые слова: кормовая добавка; энтеросорбент; сфагновый торф; гексацианоферраты металлов; ферроцин; ферроцинсодержащий сорбент.

Для цитирования. Томсон А. Э., Соколова Т. В., Сосновская Н. Е., Навоша Ю. Ю., Царюк Т. Я., Пехтерева В. С., Фалюшина И. П., Царенок А. А. Энтеросорбционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 125–131.

ENTEROSORPTION FERROCIN-CONTAINING FEED ADDITIVE BASED ON PEAT

A. E. Tomson¹, T. V. Sokolova¹, N. E. Sosnovskaya¹, Yu. Yu. Navosha¹, T. Ya. Tsariuk¹,
V. S. Pekhtereva¹, I. P. Faliushina¹, A. A. Tsarenok²

¹Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

²Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

Abstract. An enterosorption ferrocine-containing feed additive based on peat has been developed. The choice of peat as the basis for obtaining an enterosorption feed additive has been substantiated. Modification of sphagnum peat with metal hexacyanoferrates was carried out. The sorption and spectral properties of the synthesized sorbents with relation to the Cs ion have been studied. The choice of a composite including sphagnum peat and iron hexacyanoferrate (ferrocine) as an enterosorption feed additive with radioprotective properties is justified. Preliminary tests of the radiological efficacy of the feed additive in the diet of gobies showed a multiplicity of decrease in the ¹³⁷Cs content in meat products by about 6 times compared with the control.

Keywords: feed additive; enterosorbent; sphagnum peat; metal hexacyanoferrates; ferrocine; ferrocine-containing sorbent.

For citation. Tomson A. E., Sokolova T. V., Sosnovskaya N. E., Navosha Yu. Yu., Tsariuk T. Ya., Pekhtereva V. S., Faliushina I. P., Tsarenok A. A. Enterosorption ferrocine-containing feed additive based on peat. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 125–131.

Введение. 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. Торф состоит из разнообразных химических соединений органической и неорганической природы. В него входят гидрофильные составляющие, т. е. вещества, взаимодействующие с водой (целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин, гуминовые вещества), а также гидрофобные составляющие, представленные восками, парафинами, смолами. Из многообразия химических компонентов торфа для сорбционного взаимодействия имеют значение гуминовые кислоты и фульвокислоты, легкогидролизуемые вещества (уроновые кислоты)

и в некоторой степени лигнин. Гуминовые вещества торфа, включающие гуминовые кислоты и фульвокислоты, – полифункциональные соединения. Они содержат различные функциональные группы, подразделяющиеся на карбоксильные, гидроксильные (фенольные, спиртовые), фенольные (гидрохинонные и пироновые), карбонильные (хинонные, кетонные), а также метаксильные аминогруппы.

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 гидроксидов – от 4,8 до 7,5 мг-экв/г вещества, в гуминовых кислотах содержание карбоксильных и фенольных групп находится в пределах от 6,3 до 9,8 мг-экв/г.

Группы легкогидролизуемых веществ торфа представлены главным образом соединениями углеводного характера. В легкогидролизуемых соединениях торфа верхового типа установлено [2] наличие в углеводном комплексе пентоз, гексоз и смеси двух уроновых кислот. В составе легкогидролизуемых веществ преобладает ксилоза. Кроме карбонильной и гидроксильной групп в состав моносахаридов может входить карбоксильная группа (уроновые кислоты) или аминогруппа (аминосахара). Исходя из сказанного, можно полагать, что легкогидролизуемые вещества торфа способны к реакциям ионного обмена из-за присутствия в них карбоксильных и аминогрупп.

В сорбционных процессах могут участвовать также активные группы лигнина. В лигнине имеются метаксильные группы, кислые гидроксильные группы, карбонильные и карбоксильные группы.

Таким образом, сорбционными центрами в торфе являются активные функциональные группы гуминовых и фульвокислот, углеводного комплекса и лигнина.

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 порослят 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 Беларуси, особенно в ее северном регионе [3]. Месторождения сфагнового торфа, залегающие в различных регионах, интенсивно разрабатываются для производства грунтов, в этой связи рассмотрение вопроса о его доступности как сырья для указанных целей не вызывает сомнения. Наибольший интерес как сырье для разрабатываемых кормовых добавок представляет верховой малоразложившийся торф сфагновой группы. Особенность его морфологической структуры – высокая сохранность неразложившейся растительной ткани сфагновых (белых) мхов, представленной не только форменными остатками (листья, стебли, ветви), но и почти полностью сохранившимися растениями, содержащими гиалиновые водонесные клетки сфагнума. Это придает ему своеобразные физические свойства: высокую влагопоглощающую и сорбционную способность, что позволяет рассматривать его в качестве сорбента тяжелых металлов, щелочей и таких газообразных продуктов жизнедеятельности, как аммиак и др. В сравнении с другими видами торфа он проявляет выраженные антисептические и биоцидные свойства, а также обогащен йодом, флаваноидами, каратиноидами и витаминами.

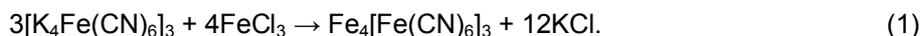
Так как в результате аварии на Чернобыльской АЭС значительные территории оказались зараженными радионуклидами, в том числе долгоживущими изотопами ^{137}Cs и ^{90}Sr , актуальным стало получение на этих территориях чистой продукции животноводства. Эта проблема может быть решена путем применения энтеросорбционного метода, основанного на связывании и выведении из желудочно-кишечного тракта радионуклидов. Для этой цели хорошо зарекомендовали ферроцианиды – комплексобразующие 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 [4].

Учитывая отсутствие торфяного активированного угля в настоящее время и предполагаемую его высокую стоимость, целью настоящей работы явилось получение активного энтеросорбционного материала с использованием в качестве основы для модификации торфа, как более дешевого и доступного материала, обладающего рядом ценных свойств, и гексацианоферратов металлов.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования явились сфагновый торф и гексацианоферраты металлов. Сфагновый торф – основу в композиции компонентов – отбирали из штабелей на полях добычи месторождения «Радемье» ОАО «Зеленоборское» Смолевичского района Минской области. В основе синтеза гексацианоферратов металлов лежат реакции взаимодействия

гексацианоферрата калия (желтой кровяной соли – ЖКС) и солей тяжелых металлов: хлорного железа, сернокислой меди, хлористого цинка, железомедных квасцов $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$.

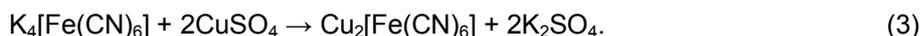
Реакции протекают по уравнениям.



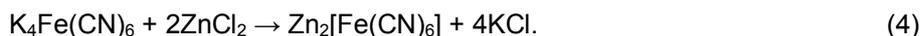
В результате образуется гексацианоферрат железа $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ – ферроцин.



Образуется смешанный калиевомедный гексацианоферрат $\text{K}_2\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$.



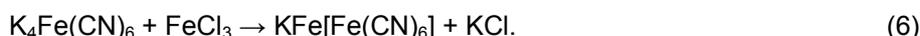
Образуется гексацианоферрат меди $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.



Образуется гексацианоферрат цинка $\text{Zn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.



Образуется аммонийжелезогексацианоферрат $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$.



Образуется смешанный калиевожелезный феррат, или гексацианоферрат калияжелеза (лазурь железная «милори») $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Принимая во внимание опыт получения кормовой добавки с энтеросорбционными свойствами на основе активированного угля и гексацианоферрата железа (ферроцина), количество вводимых в композиты гексацианоферратов металлов составляло 5 % на абсолютно сухую навеску.

Сфагновый торф + ферроцин

К навеске сфагнового торфа, предварительно смоченной дистиллированной водой, при постоянном перемешивании добавляли рассчитанное количество растворов определенной концентрации ЖКС и хлорного железа. В результате взаимодействия по реакции (1) образуется ферроцин в виде объемного студенистого осадка, который адсорбируется на поверхности торфа. Полученную композиционную суспензию центрифугировали и осадок отмывали дистиллированной водой от избытка хлорного железа (проба с 3%-м раствором гексацианоферрата калия) и ионов хлора (проба с 1%-м раствором нитрата серебра). Осадок сушили. По приведенной выше схеме получали композиты, содержащие торф, смешанный калиевомедный феррат (2), гексацианоферрат меди (3), гексацианоферрат цинка (4), аммонийжелезоцианоферрат (5) и смешанный калиевожелезный феррат (6).

Оценку радиопротекторных свойств синтезированных композитов проводили по их способности сорбировать ионы цезия из 0,001 н. раствора нитрата цезия ($C_{\text{Cs}^+} = 0,133$ г/л).

К навеске композиционного сорбента (1,0000 г а. с. в.) приливали 50 мл 0,001 н. раствора нитрата цезия. После встряхивания в течение 24 ч (время для установления статического равновесия) осадок отделяли от равновесного раствора. Раствор анализировали на остаточное содержание ионов цезия атомно-эмиссионным методом на атомноабсорбционном спектрометре ZEE nit 700 р. По экспериментальным данным рассчитывали статическую обменную емкость

$$\text{COE} = \frac{(C_{\text{исх.}} - C_{\text{равн.}})}{20a}, \text{ мг / г,}$$

где $C_{\text{исх.}}$ – концентрация исходного раствора, мг/л; $C_{\text{равн.}}$ – концентрация равновесного раствора мг/л; 20 – коэффициент пересчета; а – навеска, г а. с. в.

Эффективность поглощения ионов цезия

$$\Theta = \frac{C_{\text{исх.}} - C_{\text{равн.}}}{C_{\text{исх.}}} \cdot 100, \%$$

где $C_{\text{исх.}}$ – концентрация исходного раствора, мг/л; $C_{\text{равн.}}$ – концентрация равновесного раствора мг/л.

Коэффициент распределения

$$K_d = \frac{\text{COE}}{C_{\text{равн.}}}, \text{ мл / г,}$$

где COE – статическая обменная емкость, мг/г, $C_{\text{равн.}}$ – равновесная концентрация раствора, мг/мл.

Регистрация ИК-спектров была выполнена на ИК-спектрофотометре с Фурье-преобразованием IRPrestige-21 (Schimadzu) методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), который позволяет исследовать сильно поглощающие образцы в нативном состоянии без дополнительной пробоподготовки. При исследовании использовали приставку однократного отражения MIRacle с призмой ZnSe.

Результаты и их обсуждение.

Геоботаническая, физико-химическая характеристики образцов сфагнового торфа и их компонентный состав представлены в табл. 1–3.

Таблица 1. Геоботаническая характеристика образцов верхового малоразложившегося торфа, отобранного на месторождении «Радемье»

Table 1. Geobotanical characteristics of samples of low-decomposed peat taken from the Rademye field

Объект исследования	Тип торфа	Степень разложения, %	Вид торфа	Ботанический состав	Содержание, %
Сфагновый торф (ОАО «Зеленоборское»)	Верховой	15–20	Сфагновый магелланикум	Магелланикум Ангустифолиум Шейхцерия Пушица Фускум	60 20 10 10 ед.

Таблица 2. Физико-химические свойства сфагнового торфа

Table 2. Physical and chemical properties of sphagnum peat

Объект исследования	Влажность, %	Зольность, %	pH (водная вытяжка)	Органических веществ, % на сухое вещество
Сфагновый торф (ОАО «Зеленоборское»)	37,5	4,6	3,3	95,4

Таблица 3. Компонентный состав сфагнового торфа

Table 3. Component composition of sphagnum peat

Объект исследования	Битумы, %	Легко-гидролизуемые вещества, %	Трудно-гидролизуемые вещества, %	Сумма гидролизуемых веществ, %	Гуминовые кислоты, %	Фульвокислоты, %	Гуминовые вещества, %	Негидролизуемый остаток, %
Сфагновый торф (ОАО «Зеленоборское»)	3,2	36,8	24,5	61,3	16,8	8,4	25,2	10,3

По данным, приведенным в табл. 1, сфагновый торф характеризуется невысокой степенью разложения, которая находится в пределах 15–20 %.

Изучение компонентного состава сфагнового торфа (табл. 3) свидетельствует о высоком содержании легкогидролизуемых веществ, выход которых в торфе достигал 37 % от органической массы. Как известно, легкогидролизуемые компоненты представлены гексозными и пентозными сахарами, а также пектинами, что позволяет рассматривать их как дополнительный источник углеводного питания сельскохозяйственных животных, а также как сорбент, учитывая способность пектинов связывать ионы тяжелых металлов, радионуклиды и другие различные токсиканты.

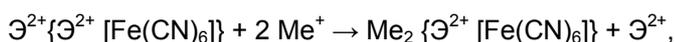
Эффективность поглощения ионов цезия композиционными сорбентами на основе сфагнового торфа и ферроцианидов металлов представлена в табл. 4.

По способности сорбировать ионы цезия, исходя из сравнения экспериментальных данных табл. 4, получен ряд сродства композиционных сорбентов к иону цезия: торф + $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ > торф + $\text{K}_2\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ > торф + $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ > торф + $\text{Zn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ > торф + $\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ > торф + $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ > торф.

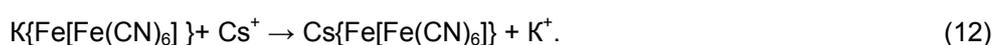
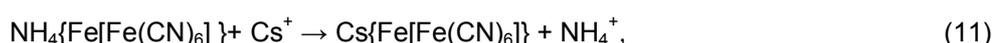
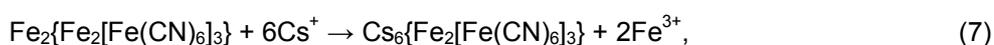
Таблица 4. Эффективность поглощения ионов цезия композиционными сорбентами на основе сфагнового торфа и ферроцианидов металлов**Table 4. Efficiency of absorption of caesium ions by composite sorbents based on sphagnum peat and metal ferrocyanides**

Сорбент	СОЕ, мг/г	Эффективность поглощения, %	K_d , мл/г
Сфагновый торф	3,5	57,4	74,2
Сфагновый торф + ферроцин	5,3	4791,7	99,4
Сфагновый торф + $K_2Cu_3[Fe(CN)_6]$	5,1	99,4	4603,9
Сфагновый торф + $Cu_2[Fe(CN)_6]$	4,7	98,0	3931,9
Сфагновый торф + $Zn_2[Fe(CN)_6]$	4,5	96,3	1160,7
Сфагновый торф + $NH_4Fe[Fe(CN)_6]$	4,3	82,9	228,0
Сфагновый торф + $KFe[Fe(CN)_6]$	4,1	73,5	125,8

Полученные результаты можно объяснить химизмом протекающих процессов. Представляя смешанные ферроцианиды как полиядерные комплексные соединения или неорганические иониты, входящие в состав синтезированных композитов, сорбцию цезия можно описать следующими химическими уравнениями согласно схеме



где Э = Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} и др., а Me – K^+ , Cs^+ , Rb^+ .

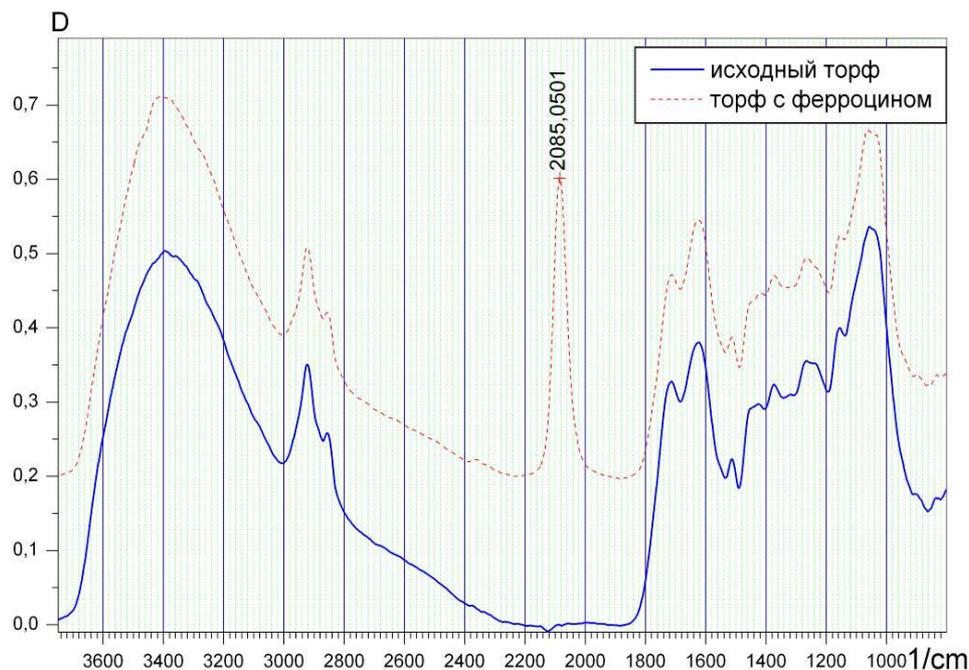


Анализ приведенных уравнений показывает, что наибольшее количество цезия сорбируется композитом, содержащим ферроцин (уравнение 7), и композитом, содержащим смешанный калиево-медный гексацианоферрат – четыре иона цезия (уравнение 8). Меньше всего сорбируется ионов цезия композитами, содержащими смешанные аммонийжелезо- и калийжелезо-ферраты – один ион цезия (уравнения 11 и 12 соответственно), что согласуется с экспериментальными данными, приведенными в табл. 4.

На основании анализа полученных данных в качестве кормовой добавки нами выбран композит, включающий торф и гексацианоферрат железа (ферроцин).

На рисунке представлены ИК-спектры исходного и модифицированного ферроцином торфа. Как видно из рисунка, на спектре торфа, модифицированного ферроцином, наблюдается полоса поглощения иона ферроцианида ($\lambda = 2085$ 1/см).

Наработан лабораторный образец композиционного сорбента, содержащего торф и ферроцин. Предварительные испытания кормовой добавки в рационе бычков, проведенные Институтом радиобиологии НАН Беларуси, показали кратность снижения содержания ^{137}Cs в мясной продукции примерно в 6 раз по сравнению с контролем.



ИК-спектры исходного и модифицированного ферроцином торфа

IR-spectra of the initial and ferrocin-modified peat

Заключение. Разработана энтеросорбционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа. Опираясь на анализ ранее проведенных исследований и данных из литературных источников, обоснован выбор торфяного сырья – сфагнового торфа для получения эффективной энтеросорбционной кормовой добавки. Проведена модификация торфа гексацианоферратами металлов. Изучены сорбционные свойства полученных композитов по отношению к иону цезия. Определены СОЕ и K_d , эффективность поглощения из 0,001 н. растворов нитрата цезия. На основании анализа сорбционных характеристик по способности сорбировать ионы цезия получен ряд средств композиционных сорбентов к иону цезия: торф + $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 >$ торф + $\text{K}_2\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2 >$ торф + $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6] >$ торф + $\text{Zn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6] >$ торф + $\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] >$ торф + $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] >$ торф. Обоснован выбор композита, включающий сфагновый торф и гексацианоферрат железа (ферроцин) в качестве энтеросорбционной кормовой добавки с радиопротекторными свойствами. Изучены спектральные свойства материала. Показано, что на ИК-спектре торфа, модифицированного ферроцином, наблюдается полоса поглощения иона ферроцианида ($\lambda = 2085 \text{ 1/cm}$). Институтом радиобиологии НАН Беларуси разработан лабораторный образец композиционного сорбента, содержащего торф и ферроцин. Предварительные испытания кормовой добавки в рационе бычков, проведенные Институтом радиобиологии НАН Беларуси, показали кратность снижения содержания ^{137}Cs в мясной продукции примерно в 6 раз по сравнению с контролем.

Список использованных источников

1. Новые аспекты получения и применения адсорбционных материалов на основе торфа / В. К. Жуков [и др.] // Природопользование. – 2002. – № 8. – С. 167–182.
2. Биологически активная кормовая добавка с сорбционными свойствами для поросят-отъемышей / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 249–261.
3. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларуская навука, 2009. – 328 с.
4. Композиционный энтеросорбент на основе торфяного активированного угля / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование. – 2018. – № 2. – С. 128–133.

References

1. Zhukov V. K., Tomson A. E., Samsonova A. S., Sokolova T. V., Nikolaenkov A. I. *Novye aspekty polucheniya i primeneniya adsorbtsionnykh materialov na osnove torfa* [New aspects of production and application of peat-based adsorption materials]. *Prirodopolzovanie = Nature Resources*, 2002, no. 8, pp. 167–182. (in Russian)
2. Tomson A. E., Naumova G. V., Ovchinnikova T. F., Sokolova T. V., Zhmakova N. A., Tsaryuk T. Ya., Makarova N. L., Sosnovskaya N. E. *Biologicheski aktivnaya kormovaya dobavka s sorbtsionnymi svoistvami dlya porosyat-otemyshei* [Biologically active feed additive with sorption properties for weaning piglets]. *Prirodopolzovanie = Nature Resources*, 2019, no. 1, pp. 249–261. (in Russian)
3. Tomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and products of its processing]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009, 328 p. (in Russian)
4. Tomson A. E., Sokolova T. V., Navosha Yu. Yu., Tsaryuk T. Ya., Sosnovskaya N. E., Bulgakova N. A., Pekhtereva V. S., Falyushina I. P., Tsarenok A. A. *Kompozitsionnyi enterosorbent na osnove torfyanogo aktivirovannogo uglya* [Composite enterosorbent based on peat activated carbon]. *Prirodopolzovanie = Nature Resources*, 2018, no. 2, pp. 128–133. (in Russian)

Информация об авторах

Томсон Алексей Эммануилович – кандидат химических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, заведующий Центром по торфу и сапропелям, заведующий лабораторией экотехнологий, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь). E-mail: altom@nature-nas.by

Соколова Тамара Владимировна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: tomsok49@tut.by

Сосновская Наталия Евгеньевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: natalisosnov@mail.ru

Навоша Юльян Юльянович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: navoscha@tut.by

Царюк Татьяна Яковлевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: tsariuk9@mail.ru

Пехтерева Виктория Станиславовна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: pehvik@yandex.ru

Фалюшина Ирина Петровна – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Царенко Александр Александрович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 16, 246000, г. Гомель, Беларусь). E-mail: a.tsarenok@tut.by

Information about the authors

Alexey E. Tomson – Ph. D. (Chemical), Assistant Professor, Deputy Director, Head of the Center of Peat and Sapropel, Head of Lab. of Ecotechnology, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: altom@nature-nas.by

Tamara V. Sokolova – Ph. D. (Technical), Assistant Professor, Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: tomsok49@tut.by

Nataliya E. Sosnovskaya – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: natalisosnov@mail.ru

Yulian Yu. Navosha – Ph. D. (Physical and Mathematical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: navoscha@tut.by

Tatiana Ya. Tsariuk – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: tsariuk9@mail.ru

Victoriya S. Pekhtereva – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: pehvik@yandex.ru

Iryna P. Faliushina – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Alexander A. Tsarenok – Ph. D. (Technical), Head of Laboratory, Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (16, Fedyuninsky Str., 246000, Gomel, Belarus). E-mail: a.tsarenok@tut.by