

Copyright © 2014 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation  
 European Journal of Molecular Biotechnology  
 Has been issued since 2013.  
 ISSN: 2310-6255  
 Vol. 3, No. 1, pp. 41-48, 2014

DOI: 10.13187/issn.2310-6255  
[www.ejournal8.com](http://www.ejournal8.com)



UDC 628.543

### **Linen Fire as Biosorbent to Remove Heavy Metal Ions From Wastewater Modeling**

Ildar G. Shaikhiev

Kazan national research technology university, Russian Federation  
 K. Marks str. 68, Kazan, 420015  
 PhD (Technology)  
 E-mail: ildars@inbox.ru

**Abstract.** The possibility of using linen fires – Inopererabotki waste as a sorption material for the extraction of heavy metal ions from wastewater modeling. It is shown that treatment with acid solutions linen fires a low concentration increases the surface area of linen fires and thus sorption capacity for heavy metal ions. The values of the maximum sorption capacity ions Fe (III), Co (II), Ni (II) and Zn (II) under static and dynamic conditions. IR spectroscopy shows that along with the physical sorption process proceeds chemisorption.

**Keywords:** linen fire; heavy metal ions; removal; acidizing; sorption capacity.

#### **Введение.**

В последнее время в России и в мире интенсивно развивается новое направление в области охраны окружающей среды – использование отходов промышленного и сельскохозяйственного производства, а также зеленой и высушенной биомассы для удаления загрязнителей из природных и сточных вод [1-10]. Продукты, образующиеся в результате переработки природного сырья, имеют возобновляемую многотоннажную сырьевую базу, дешевы и эффективны. Их использование позволяет решать двойную природоохранную задачу – перевод отходов производств в разряд вторичных материальных ресурсов и использование для очистки водных сред от загрязнителей. Опубликовано значительное количество работ по исследованию целлюлозосодержащих отходов сельхозпереработки в качестве сорбционных материалов для удаления ионов тяжелых металлов (ИТМ) из загрязненных вод.

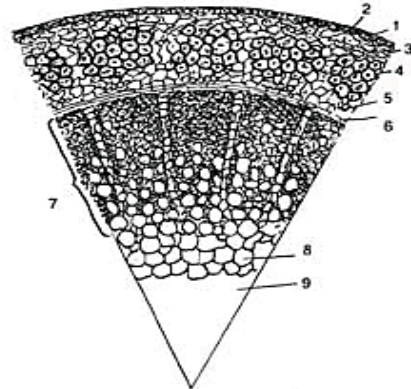
В последние годы наметился рост производства и переработки льна, как в Российской Федерации, так и во всем мире. Данное обстоятельство обусловлено, прежде всего, повышенным интересом к производству и потреблению льняных тканей и одежды, которые обладают повышенными экологическими и эксплуатационными характеристиками. По литературным данным [11] в последние годы в Российской Федерации посевные площади льна-долгунца составляют примерно 110 тыс. га, при этом валовой сбор льна в переводе на волокно составляет 56 тыс. т. При переработке тресты на льноперерабатывающих заводах образуется порядка 110 тыс. т льняной костры (ЛК) ежегодно. Основная доля производства и переработки льна (около 70 %) приходится на Центральный и Западно-Сибирский районы России. В данной работе исследовалась возможность удаления кострой ИТМ из модельных водных растворов и увеличения сорбционной емкости путем обработки растворами серной кислоты малой концентрации.

## Материалы и методы исследования.

**1. Строение стебля льна.** На поперечном срезе стебля льна-долгунца (рис. 1) можно наблюдать наружный слой-кожицу (эпидермис) 1 с поверхностью, покрытой пленкой, пропитанной воскообразными веществами (кутикула) 2.

Рис. 1. Строение стебля льна (срез):

- 1 – кожица (эпидермис),
- 2 – кутикула,
- 3 – кора,
- 4 – лубоволокнистые пучки,
- 5 – проводящая ткань,
- 6 – образовательная ткань,
- 7 – древесина,
- 8 – сердцевина,
- 9 – полость.



Кожица состоит из плотных сосудистых клеток с утолщенными стенками. Кора 3 расположена непосредственно под кожицей. Ее клетки частично заполнены хлорофиллом. Лубо-волоконистые пучки 4 залегают в тканях коры. Они состоят из групп элементарных волокон с толстыми целлюлозными стенками, склеенных между собой срединными пластинками из пектинов и других клеящих веществ. По форме элементарные волокна граненные и склеивание идет по плоскостям – граням волокон. Проводящая ткань 5 состоит из тонкостенных удлинённых клеток. Образовательная ткань (камбий) 6 в виде одно- или двухслойного кольца лежит на границе с древесиной 7. Сердцевина 8 выстилает внутреннюю часть стебля. Полость 9 не заполнена тканями. Примерно треть поперечного сечения стебля (исключая полость и сердцевину) занимают волокнистые и окружающие их ткани. Две трети заполнены древесиной. По массе это 25 – 45 % луб и на 75 – 55 % древесина. Элементарные волокна длиной от 2,5 до 120 мм ориентированы вдоль стебля, имеют заостренную с обоих концов форму и внутри замкнутый со всех сторон канал. Склеенные по граням элементарные волокна образуют пучки технических волокон. Элементарные волокна сдвинуты вдоль пучка и их утоненные концы как бы вклиниваются между соседними. Местами волокнистые пучки (технические волокна) склеиваются между собой, образуя сетчатую структуру (анастомоз).

В процессе мятья и трепания волокна приобретают вид длинных прядей, длина которых приблизительно равна длине стебля. Часть волокон при этом обрывается или откалывается, спутывается и попадает в отходы трепания.

Стебли льна при выделении волокна в процессах мятья и трепания разрушаются, а отпадающие одревесневелые части образуют костру. Размеры этих частиц колеблются от 1 до 10 мм по длине, чаще всего встречаются частицы длиной порядка 5 мм. Толщина колеблется в пределах 0,3-5 мм. По химическому составу ЛК сходна с древесиной. Из литературных данных известен химический состав ЛК, %: целлюлоза – 38-40; лигнин – 23-24; гемицеллюлоза – 14-15; пектины – 2-3; коксовый остаток – 2-3 [11].

**2. Методики проведения экспериментов.** Для построения изотерм сорбции в четырнадцать плоскодонных колб емкостью 250 мл помещались навески исследуемых образцов ЛК по 1 г. Затем в колбы заливалось по 200 мл растворов, содержащих ионы Fe(III), Co(II), Ni(II) и Zn(II) в концентрациях от 1 мг/дм<sup>3</sup> до 4000 мг/дм<sup>3</sup>. Для имитации кислых гальваностокков модельные растворы подкислялись раствором серной кислоты до достижения pH = 3.

В модельной СВ в качестве загрязнения использовались: Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, CoSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, NiSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O. Навески солей брались с учетом кристаллизационной воды.

Колбы с находящимися в них навесками ЛК и соответствующими растворами плотно закрывались пробками и энергично встряхивались в течение 3 часов. Затем образцы ЛК удалялись фильтрацией, а в фильтраатах определялись остаточные концентрации вышеназванных ИТМ согласно стандартным методикам.

Количество ионов металла, сорбированное 1 г ЛК ( $\Gamma$ ) в мг/г рассчитывалось по формуле:

$$\Gamma = ((C_0 - C_p) \cdot 200) / (1 \cdot 1000), \quad (1)$$

где  $C_0$  – исходная концентрация ионов металла, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_p$  – конечная концентрация ионов металла, мг/дм<sup>3</sup>; 200 – объем раствора, мл; 1 – вес СМ, г; 1000 – переход от мл к дм<sup>3</sup>.

Для изучения кинетики сорбции ИТМ в статических условиях в пять плоскодонных колб емкостью 250 мл помещались навески ЛК по 0,1 г. Навески вносились исходя из содержания сорбционного материала в количестве 1 г на дм<sup>3</sup> жидкости. Затем в колбы приливалось по 100 мл модельных растворов, содержащих ионы Co(II), Fe(III), Ni(II), Zn(II) в концентрации 100 мг/дм<sup>3</sup>.

Колбы с находящимися в них навесками ЛК и растворами плотно закрывались пробками и энергично встряхивались на шейкерах в течение заданных промежутков времени: 30 мин., 1 час, 2 часа, 3 часа, 5 часов.

Затем образцы ЛК отфильтровывались и в фильтраатах определялись остаточные концентрации исследуемых ИТМ фотометрическим методом.

Для изучения кинетики сорбции ИТМ в динамических условиях в адсорбционные колонки набивалось по 5 г ЛК и пропускался раствор с концентрацией ионов Fe(III), Co(II), Ni(II) и Zn(II), равной 100 мг/дм<sup>3</sup>. Устанавливался определенный расход прохождения модельной СВ через слой ЛК, равный 20 мл/мин. Через определенные промежутки времени определялись остаточные концентрации вышеназванных ионов в воде, прошедшей через слой реагента.

Количество ИТМ, поглощенных 1 г ЛК ( $M$ ) за определенный промежуток времени в динамических условиях, определялось по формуле:

$$M_i = ((C_0 - C_p) \cdot v \cdot \tau) / (m \cdot 1000), \quad (2)$$

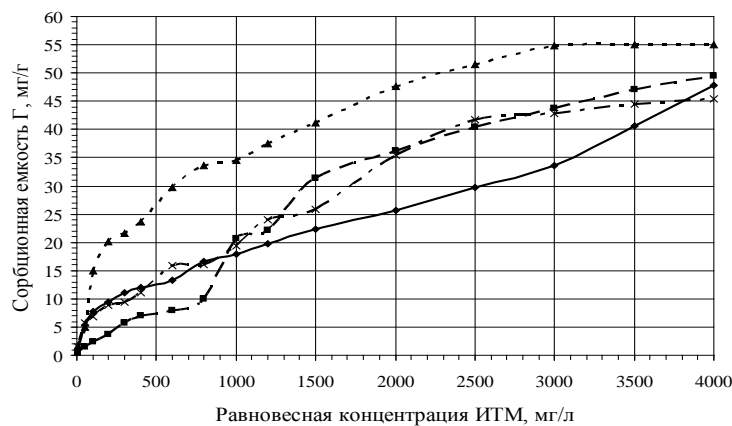
где  $C_0$  – исходная концентрация ионов металла,  $C_0 = 100$  мг/дм<sup>3</sup>;  $C_p$  – конечная концентрация ионов металла, мг/дм<sup>3</sup>;  $v$  – скорость прохождения раствора,  $v = 20$  мл/мин;  $m$  – вес ЛК,  $m = 5$  г;  $\tau$  – интервал пробоотбора, мин; 1000 – переход от мл к дм<sup>3</sup>.

Суммированием всех значений  $M$  за 150 минут определялось значение максимальной сорбционной емкости исследуемых образцов ЛК в заданных одинаковых условиях:

$$M = \sum M_i$$

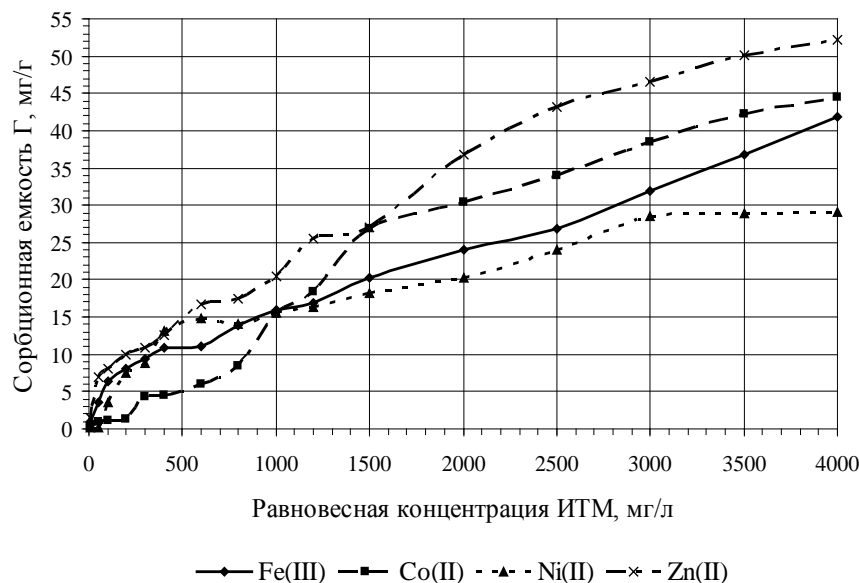
### Результаты и обсуждение.

Построенные изотермы сорбции ЛК по отношению к ионам Fe(III), Ni(II), Zn(II) и Co(II) в нейтральной и кислой среде приведены на рис. 2. Очевидно, что в данном случае, применительно к изотермам сорбции названных ИТМ, справедлив закон Генри, т.е. сорбционная емкость пропорциональна конечной концентрации ионов металла в растворе, что соответствует изотермам С-типа. Максимальная сорбционная емкость ( $\Gamma$ ) льняной костры по отношению к ионам  $Co^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ni^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  относительно невелика и составляет 50, 48, 55 и 45 мг/г в нейтральной среде и 45, 42, 29 и 52 мг/г в кислой среде, соответственно, при максимальной концентрации указанных ИТМ в растворе, равной 4000 мг/дм<sup>3</sup>.



a)

—●— Fe(III) —■— Co(II) —▲— Ni(II) —×— Zn(II)



б)

Рис. 2. Изотермы сорбции ИТМ: а) в нейтральной среде, б) в кислой среде

Найдено, что ионы  $\text{Co(II)}$ ,  $\text{Fe(III)}$  и  $\text{Ni(II)}$  имеют более низкие значения параметра  $\Gamma$  в кислой среде, а ионы  $\text{Zn(II)}$  - в нейтральной.

Следующий этап работы заключался в определении кинетики удаления ИТМ исследуемым сорбционным материалом в статических условиях.

Значения остаточной концентрации ИТМ в модельной воде после 5 часового контакта с исследуемым реагентом приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Значения остаточной концентрации ИТМ в модельном растворе после 5 часового контакта с кострой**

ИТМ	Остаточная концентрация ИТМ в растворе, обработанного кострой в нейтральной среде в статических условиях, мг/дм <sup>3</sup>	Остаточная концентрация ИТМ в растворе, обработанного кострой в кислой среде в статических условиях, мг/дм <sup>3</sup>
$\text{Co}^{2+}$	76	79
$\text{Fe}^{3+}$	53,9	97,1
$\text{Ni}^{2+}$	43,5	90,2
$\text{Zn}^{2+}$	60	26

Следующий этап экспериментальной работы заключался в изучении кинетики удаления ИТМ из нейтральных и кислых модельных растворов в динамических условиях. Проведенными экспериментами найдено, что сорбционная емкость ЛК по отношению к ионам  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  составляет 20, 41, 38 и 13,4 мг/дм<sup>3</sup> в нейтральной среде и 19, 18, 27 и 7,4 мг/дм<sup>3</sup> в кислой среде соответственно. Результаты исследований, проведенных в динамических условиях, несколько отличаются от данных, полученных в статических условиях. Отмечено, что сорбционная емкость исследуемых ИТМ в нейтральной среде выше, чем в кислой.

С целью повышения сорбционной емкости костры по отношению к ИТМ в данной работе исследовались в качестве модификаторов костры растворы серной кислоты. Предпосылкой для химической обработки служила работа [12], в которой с целью создания

эффективного и дешевого сырья для очистки сточных вод разработан способ синтеза фосфорнокислого катионита из ЛК. Для синтеза ионитов использована методика фосфорилирования целлюлозы ортофосфорной кислотой в присутствии мочевины. Отмечено, в частности, что полученный фосфорнокислый катионит может быть эффективно использован для очистки воды от солей жесткости при pH = 9 и от ИТМ при pH = 6-9.

В связи с вышеизложенным, определялись сорбционные характеристики модификатов костры в зависимости от концентрации  $H_2SO_4$  (0,5 – 3 %) в растворе, с которым контактирует сорбционный материал. Начальная концентрация ИТМ в растворе составила 300 мг/дм<sup>3</sup>, время выдержки костры в растворах кислот - 60 минут. Гистограммы зависимости сорбционной емкости ЛК по отношению к ионам Co(II), Fe(III), Ni(II) и Zn(II) от концентрации растворов  $H_2SO_4$  приведены на рис. 3, из которого видно, что обработка серной кислотой приводит к значительному увеличению сорбционной емкости по отношению к ионам  $Fe^{3+}$  и  $Zn^{2+}$ , незначительному – к ионам  $Co^{2+}$  и снижению искомого параметра по отношению к ионам  $Ni^{2+}$ .

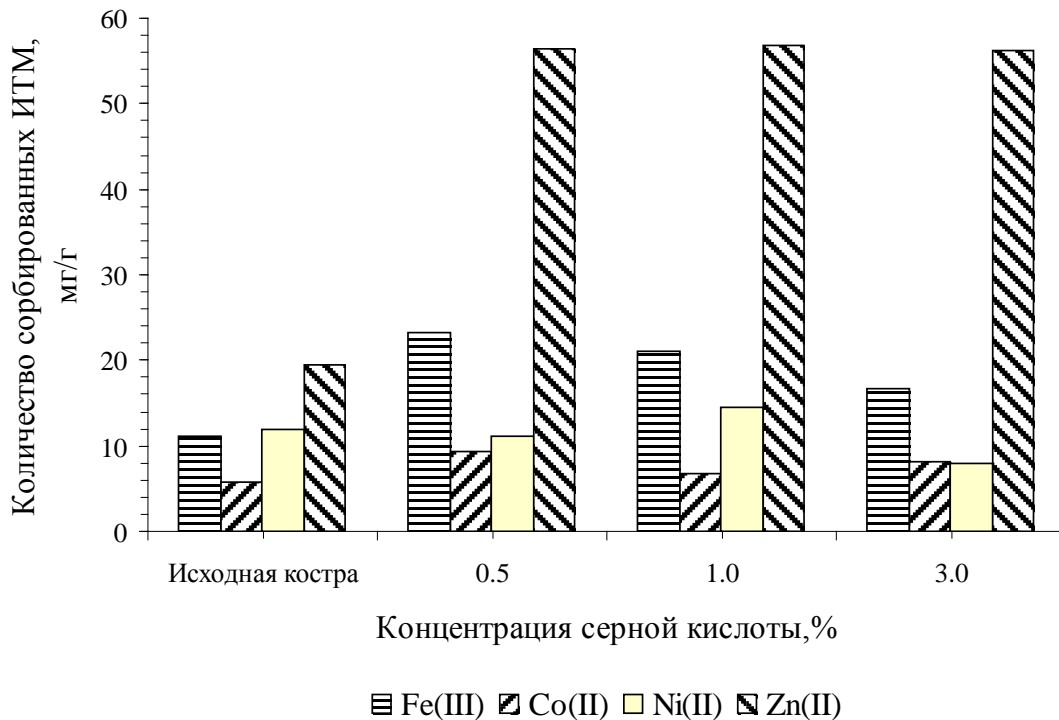


Рис. 3. Зависимость сорбционной емкости костры и ее модификатов По отношению к ИТМ от концентрации серной кислоты в растворе

Кроме того, наблюдается тенденция к снижению сорбционной емкости по отношению к исследуемым ИТМ с увеличением концентрации кислоты в растворе. По всей видимости, увеличение сорбционной емкости по ИТМ связано с увеличением площади поверхности ЛК в результате сернокислотной обработки. Подтверждением данного предположения являются фотографии поверхности исходной ЛК и образца, подвергнутого взаимодействию с малоконцентрированным раствором модификатора (рис. 4).



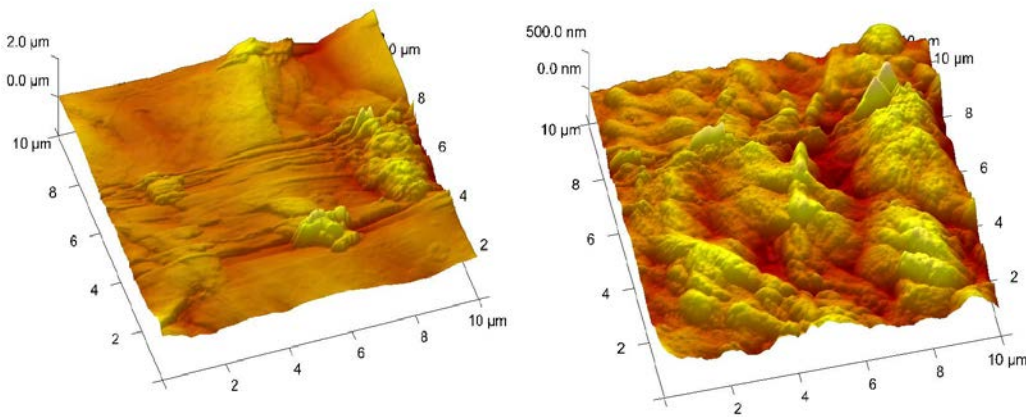


Рис. 4. Фотографии поверхности исходной льняной костры (слева) и после обработки раствором серной кислоты (справа)

Предположительно, удаление названных ИТМ происходит как в результате физической сорбции, так и хемосорбции.

Для подтверждения вышеназванного предположения проведены ИК - спектрометрические исследования образцов костры после взаимодействия с растворами солей металлов. Как было отмечено ранее, основной составляющей льняной костры является целлюлоза – длинноцепной полисахарид, состоящий из гликозидных остатков, связанных между собой эфирными мостиками (1,4-β-гликозидными связями). Для макромолекулы целлюлозы характерны гидроксильная группа и незначительное содержание карбонильных групп. Установлено, что на каждые 1000 глюкозных остатков цепи макромолекулы целлюлозы приходится 2-3 группы С(О)ОН [13].

С целью выявления механизма взаимодействия, исследовались методом ИК-спектроскопии образцы костры, подвергнутые обработке солями металлов, в качестве которых взяты FeCl<sub>3</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub> и CoSO<sub>4</sub>. Изменение характера спектра и смещение полосы поглощения в области 1730 см<sup>-1</sup> (рис. 5), соответствующей колебаниям С(О)ОН-группы, свидетельствует о том, что последняя вступает во взаимодействие с ИТМ по реакции ионного обмена. Данное обстоятельство подтверждают данные работы [14].

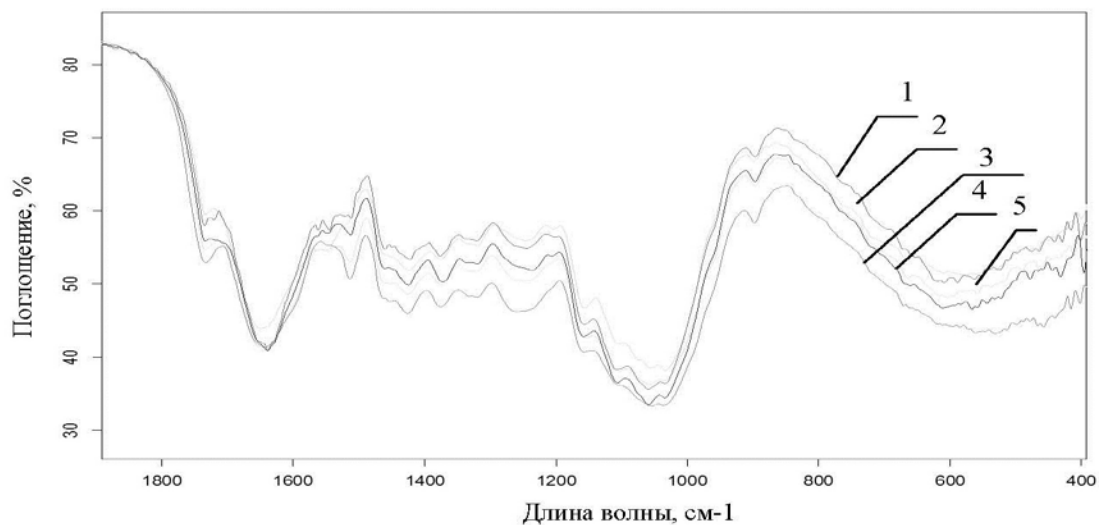


Рис. 5. ИК-спектры поглощения в области 400 – 1900 см<sup>-1</sup>: 1) исходной костры и обработанной водными растворами: 2) CuSO<sub>4</sub>; 3) FeCl<sub>3</sub>, 4) CoSO<sub>4</sub>, 5) ZnSO<sub>4</sub>

Изменение рисунка спектров исходной костры и образцов, подвергнутых обработке растворами солей в области 3000-3600 см<sup>-1</sup>, характерной для колебаний гидроксильной группы, свидетельствует о том, что в процессе хемосорбции ИТМ кострой участвуют и ОН-группы, входящие в состав биополимеров КР. Данное взаимодействие подтверждается исследованиями, опубликованными в работах [13, 15].

Таким образом, проведенными исследованиями показана возможность использования льняной костры в качестве СМ для удаления ИТМ из модельных растворов, определены сорбционные характеристики в статических и динамических условиях и предложено увеличение последних путем обработки ЛК слабыми растворами серной кислоты.

### Примечания:

1. Шайхиев И.Г. (2008) Использование отходов деревопереработки в качестве реагентов для очистки сточных вод. Все материалы: энциклопедический справочник
2. Шайхиев И.Г. (2010) Использование растительных сельскохозяйственных отходов для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. ч. I. Все материалы: энциклопедический справочник. 3, с. 15-25.
3. Шайхиев И.Г. (2010) Использование растительных сельскохозяйственных отходов для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. ч. II. Все материалы: энциклопедический справочник. 34, с. 30-40.
4. Hubbe M.A., Hasan S.H., Ducoste J.J. (2011) Cellulosic substrates for removal of pollutants from aqueous system: a review. 1. Metals. *BioResources*. 6(2). pp. 2161-2287.
5. Alpana S. (2008) Chromium adsorption on agro based waste materials: a review. *Res. J. Biotech*. 2. pp. 207-209.
6. Шайхиев И.Г., Минлигулова Г.А. (2010) Очистка водных объектов от ионов хрома с использованием отходов промышленного и сельскохозяйственного производства. Часть. 2. Удаление ионов хрома отходами промышленного производства. *Вода и экология: проблемы и решения*. 4, с. 59-72.
7. Шайхиев И.Г., Минлигулова Г.А. (2011) Очистка водных объектов от ионов хрома с использованием отходов промышленного и сельскохозяйственного производства. Часть. 3. Удаление ионов хрома отходами переработки сельскохозяйственного сырья. *Вода и экология: проблемы и решения*. 1, с. 33-44.
8. Kumar P., Agnihotri R., Wasewar K.L., Uslu H., Yoo C.K. (2012) Status of adsorptive removal of dye from textile industry effluent. *Desalination and water treatment*. 50 (1-3). pp. 226-244.
9. Geethakarathi A., Phanikumar B.R. (2011) Industrial sludge based adsorbents/ industrial byproducts in the removal of reactive dyes – A review. *Int. J. of Water Resources and Environ. I Eng*. 3(1), pp. 1-9.
10. Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н. Сорбенты для очистки вод от нефтепродуктов. Саратов: СГТУ, 2010. 108 с.
11. Живетин В.В., Гинзбург Л.Н., Ольшанская О.М. Лен и его комплексное использование. М.: Информ-Знание, 2002. 400 с.
12. Елинсон И.С. (1998) Синтез и свойства новых сорбционных материалов на основе льняной костры. *Труды 3 научно-техн. конф. «Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии»*, Гродно. с. 169-174.
13. Никифорова Т.Е. (2009) Сорбционные свойства и природа взаимодействия целлюлозосодержащих полимеров с ионами металлов. *Химия растительного сырья*. 1. с. 5-14.
14. Гусев С.С., Ермоленко И.Н. (1966) Частоты карбоксилатных ионов и структура солей карбоксилсодержащих полисахаридов. *Известия АН БССР. Серия химические науки*. 4. с. 105-107.
15. Грунин Ю.Б., Иванова В.Л. (1985) Характер взаимодействия в системе «целлюлоза – водный раствор электролита». *Бумажная промышленность*. 2. с. 10-11.

### References

1. Shaikhiev I.G. (2008) Ispol'zovanie otkhodov depevopepepabotki v kachestve peagentov dlya ochistki stochnykh vod. Vse materialy: entsiklopedicheskii spravochnik
2. Shaikhiev I.G. (2010) Ispol'zovanie rastitel'nykh sel'skokhozyaistvennykh otkhodov dlya ochistki stochnykh vod ot ionov tyazhelykh metallov. ch. I. Vse materialy: entsiklopedicheskii spravochnik. 3, s. 15-25.
3. Shaikhiev I.G. (2010) Ispol'zovanie rastitel'nykh sel'skokhozyaistvennykh otkhodov dlya ochistki stochnykh vod ot ionov tyazhelykh metallov. ch. II. Vse materialy: entsiklopedicheskii spravochnik. 34, s. 30-40.
4. Hubbe M.A., Hasan S.H., Ducoste J.J. (2011) Cellulosic substrates for removal of pollutants from aqueous system: a review. 1. Metals. *BioResources*. 6(2). pp. 2161-2287.
5. Alpana S. (2008) Chromium adsorption on agro based waste materials: a review. *Res. J. Biotech*. 2. pp. 207-209.

6. Shaikhiev I.G., Minligulova G.A. (2010) Ochistka vodnykh ob"ektov ot ionov khroma s ispol'zovaniem otkhodov promyshlennogo i sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva. Chast'. 2. Udalenie ionov khroma otkhodami promyshlennogo proizvodstva. Voda i ekologiya: problemy i resheniya. 4, s. 59-72.
7. Shaikhiev I.G., Minligulova G.A. (2011) Ochistka vodnykh ob"ektov ot ionov khroma s ispol'zovaniem otkhodov promyshlennogo i sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva. Chast'. 3. Udalenie ionov khroma otkhodami pererabotki sel'skokhozyaistvennogo syr'ya. Voda i ekologiya: problemy i resheniya. 1, s. 33-44.
8. Kumar P., Agnihotri R., Wasewar K.L., Uslu H., Yoo C.K. (2012) Status of adsorptive removal of dye from textile industry effluent. Desalination and water treatment. 50 (1-3). pp. 226-244.
9. Geethakarathi A., Phanikumar B.R. (2011) Industrial sludge based adsorbents/ industrial byproducts in the removal of reactive dyes – A review. Int. J. of Water Resources and Environ. I Eng. 3(1), pp. 1-9.
10. Sobgaida N.A., Ol'shanskaya L.N. Sorbenty dlya ochistki vod ot nefteproduktov. Saratov: SGTU, 2010. 108 s.
11. Zhivetin V.V., Ginzburg L.N., Ol'shanskaya O.M. Len i ego kompleksnoe ispol'zovanie. M.: Inform-Znanie, 2002. 400 s.
12. Elinson I.S. (1998) Sintez i svoystva novykh sorbtsionnykh materialov na osnove l'nyanoi kostry. Trudy 3 nauchno-tekhn. konf. «Resursosberegayushchie i ekologicheskie chistye tekhnologii», Grodno. s. 169-174.
13. Nikiforova T.E. (2009) Sorbtsionnye svoystva i priroda vzaimodeystviya tsellyulozosoderzhashchikh polimerov s ionami metallov. Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 1. s. 5-14.
14. Gusev S.S., Ermolenko I.N. (1966) Chastoty karboksilatnykh ionov i struktura solei karboksilsoderzhashchikh polisakharidov. Izvestiya AN BSSR. Seriya khimicheskie nauki. 4. s. 105-107.
15. Grunin Yu.B., Ivanova V.L. (1985) Kharakter vzaimodeystviya v sisteme «tsellyuloza – vodnyi rastvor elektrolita». Bumazhnaya promyshlennost'. 2. s. 10-11.

УДК 628.543

### **Льняная костра в качестве биосорбента для удаления ионов тяжелых металлов из модельных сточных вод**

Ildar G. Shaikhiev

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская Федерация  
 Ул. К. Маркса, 68, Казань, 420015  
 Заведующий кафедрой Инженерной экологии, доктор технических наук  
 E-mail: ildars@inbox.ru

**Аннотация.** Исследована возможность использования льняной костры – отхода льнопереработки в качестве сорбционного материала для извлечения ионов тяжелых металлов из модельных сточных вод. Показано, что обработка льняной костры растворами кислот малой концентрации способствует увеличению площади поверхности льняной костры и, соответственно, сорбционной емкости по ионам тяжелых металлов. Определены значения максимальной сорбционной емкости по ионам Fe(III), Co(II), Ni(II) и Zn(II) в статических и динамических условиях. Методом ИК-спектроскопии показано, что наряду с физической сорбцией протекает процесс хемосорбции.

**Ключевые слова:** льняная костра; ионы тяжелых металлов; удаление; кислотная обработка; сорбционная емкость.