

И. Г. Шайхиев, И. Ш. Абдуллин, Э. М. Хасаншина,
К. И. Шайхиева

ВЛИЯНИЕ НА СОРБЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЬНЯНОЙ КОСТРЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ ЖЕЛЕЗА (III) ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ВЧ ПЛАЗМОЙ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: льняная костра, ионы железа (III), сорбция, плазма пониженного давления, обработка

Исследовано влияние параметров высокочастотной плазмы пониженного давления на сорбционные характеристики льняной костры по отношению к ионам железа (III). Найдено, что наибольшая сорбционная емкость по ионам Fe^{3+} наблюдается при обработке плазмой в атмосфере аргона. Определены режимы, при которых достигается наибольшее значение сорбционной емкости образцов льняной костры по отношению к ионам железа (III).

Keywords: linen scutch, iron ions (III), sorption, low pressure plasma processing

Influence of parameters of high-frequency low pressured plasma to the sorption characteristics of linen scutch towards iron (III). Founded that maximum adsorption capacity observed Fe^{3+} ions during the plasma treatment in an argon atmosphere. Defined modes in which the greatest value of the sorption capacity of linen scutch samples towards iron (III) achieves.

В продолжение экспериментальных работ по использованию целлюлозосодержащих отходов переработки сельскохозяйственного сырья в качестве сорбционных материалов (СМ) для удаления ионов тяжелых металлов (ИТМ) из водных сред [1, 2], исследована возможность удаления ионов железа (III) отходами льнопереработки.

Сорбция ИТМ целлюлозосодержащими отходами переработки сельскохозяйственных культур – перспективное направление в области охраны водных ресурсов. В частности, работами отечественных и зарубежных исследователей проведены исследования по возможности удаления ионов Fe^{3+} из водных сред с использованием рисовой шелухи [3, 4], соломы злаковых культур [5], отходов от выжимки апельсинового сока [6], кожицы фасоли [7, 8] и др.

Ранее сообщалось о возможности извлечения ионов $Zn(II)$ [9, 10], $Co(II)$ [11], $Cu(II)$ [12], $Cd(II)$ [10] и $Ni(II)$ [13] продуктами переработки льняного сырья.

В настоящей работе исследовалась сорбция ионов $Fe(III)$ льняной кострой из модельных стоков.

Первоначально строились изотермы сорбции ионов Fe^{3+} льняной кострой в нейтральной и кислой средах и определялась максимальная сорбционная емкость. В плоскодонные колбы емкостью 250 см³ помещались навески льняной костры массой по 1 г. Затем в колбы заливалось по 200 см³ растворов, содержащих ионы $Fe(III)$ в концентрациях от 20 до 4000 мг/дм³. В модельных растворах в качестве поллютанта использовался $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$. Навески сульфата железа (III) брались с учетом кристаллизационной воды. Колбы с находящимися в них навесками льняной костры и соответствующими растворами плотно закрывались пробками и энергично встряхивались в течение 3 часов. Затем реагент удалялся фильтрацией, а в фильтратах определялись остаточные концентрации ионов $Fe(III)$ согласно стандартной методики [14]. Из графиков изотерм сорбции (рис. 1) определено, что с увеличением

концентрации ионов Fe^{3+} в растворе сорбционная емкость льняной костры линейно увеличивается.

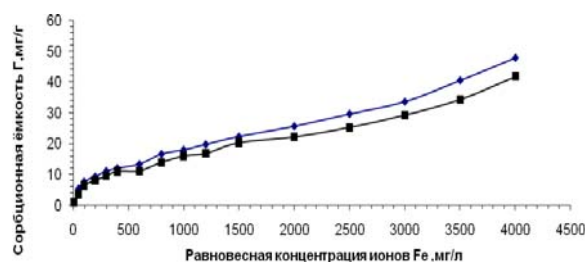


Рис. 1 – Изотермы сорбции ионов железа (III) льняной кострой в кислой и нейтральной средах

Проведенными исследованиями найдено, что максимальная сорбционная емкость по отношению к ионам $Fe(III)$ составляет: в кислой среде – 41,9 мг/г, в нейтральной среде – 47,9 мг/г, что несколько ниже таковых показателей, найденных для ионов Co^{2+} [11].

В дальнейшем определялось кинетика удаления ионов $Fe(III)$ с концентрацией 100 мг/дм³ в статических и динамических условиях из модельных растворов. Для проведения экспериментов в статических условиях в плоскодонные колбы емкостью 250 см³ помещались навески льняной костры по 0,1 г., что соответствовало содержанию последней в дозировке 1 г/дм³. В колбы приливалось по 100 см³ модельных растворов с концентрацией ионов Fe^{3+} 100 мг/дм³. Колбы с находящимися в них модельными растворами и навесками льняной костры плотно закрывались пробками и энергично встряхивались в течение 5 часов. Через определенные промежутки времени пробы отфильтровывались от исследуемого сорбционного материала, в фильтратах определялись остаточные концентрации исследуемых ионов. Отмечено, что снижение концентрации ионов железа (III) происходит линейно с течением времени. Проведенными экспериментами

определено, что остаточная концентрация последних в модельном растворе после 5 часов контактирования с реагентом составила: в нейтральной среде – 53,9 мг/дм³, в кислой среде – 97,1 мг/дм³, что соответствует значению сорбционной емкости 46,1 мг/г и 2,9 мг/г соответственно. Как видно из приведенных данных, в кислой среде сорбции ионов Fe(III) на поверхности льняной костры практически не происходит.

Значения названного параметра, определенного в динамических условиях, несколько ниже: 40,9 мг/г – в нейтральной среде и 18,3 мг/г – в кислой среде. Для определения названных значений в сорбционные колонки набивалось по 5 г льняной костры и пропускался раствор с концентрацией ионов Fe(III), равной 100 мг/дм³. Посредством дозатора устанавливался расход прохождения модельной сточной воды (СВ) через слой костры, равный 20 см³/мин; общий объем прошедшего раствора – 2,4 дм³. Через определенные промежутки времени определялись остаточные концентрации вышеуказанных ионов в растворе, прошедшего через слой реагента. По полученным данным строились графики зависимости остаточной концентрации ИТМ в растворе после очистки от времени прохождения модельной воды через слой сорбционного материала в нейтральной и кислой среде.

Тем не менее, как отмечалось выше, сорбционная емкость льняной костры по ионам Fe³⁺ невысока. В этой связи исследовалась возможность повышения сорбционных характеристик к названным ионам металла исследуемого СМ путем обработки последнего в потоке высокочастотной (ВЧ) плазмы пониженного давления.

Для выявления наиболее подходящего режима обработки варьировались следующие параметры плазменной обработки: давление в рабочей камере плазмотрона (Р) – от 13,3 до 26,6 Па, расход плазмообразующего газа (Q) – от 0,02 до 0,06 г/с, сила тока на аноде (I_а) – от 0,3 до 0,9 А, напряжение на аноде плазмотрона (U_а) – от 1,5 до 7,5 кВ, время обработки (Т) – от 1 до 30 мин. Начальная концентрация ионов Fe³⁺ в модельном растворе составила 300 мг/дм³.

Первоначально исследовалась зависимость поглотительной способности костры от природы плазмообразующего газа. В качестве последних использовались воздух, аргон, смеси аргона с воздухом и аргона с пропаном в соотношениях 70:30. Гистограммы зависимости количества ионов Fe(III), сорбированных образцами костры после плазмообработки, приведены на рис. 2. Одновременно, при прочих равных параметрах, варьировалось давление в рабочей камере (13,3 и 26,6 Па).

Как видно из гистограмм, приведенных на рис. 2а, при давлении в рабочей камере плазмотрона 13,3 Па обработка костры плазмой в среде аргона приводит к наибольшему значению сорбционной емкости по отношению к ионам Fe(III). При давлении в рабочей камере плазмотрона, равной 26,6 Па, наибольшие значения сорбционной емкости наблюдаются для образцов костры плазмообработанных в атмосфере аргона с воздухом и аргона с

пропаном. В связи с вышеизложенным, в дальнейшем производилась обработка льняной костры ВЧ плазмой при пониженном давлении (26,6 Па) с варьированием параметров в среде аргона и смеси аргона с воздухом.

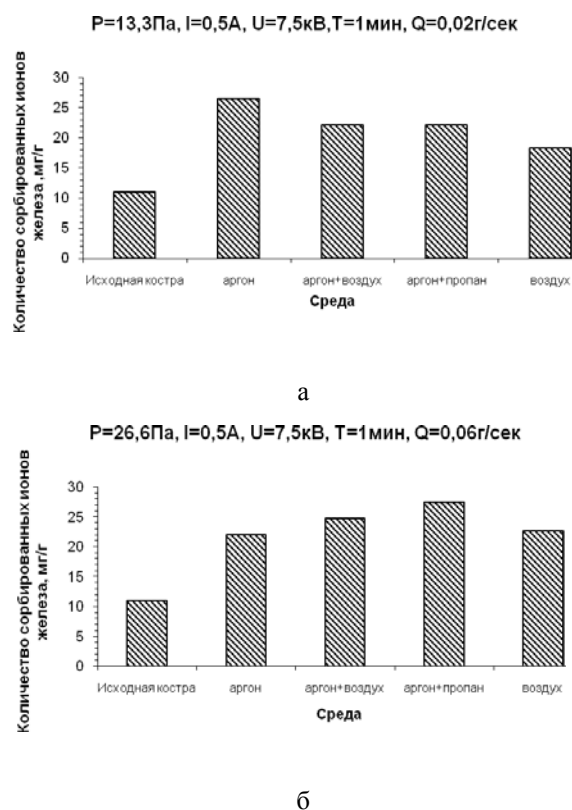


Рис. 2 – Зависимости сорбционной емкости плазмообработанных образцов льняной костры по ионам железа (III) в зависимости от вида и давления с расходом плазмообразующего газа а) Р=13,3 Па и Q=0,02 г/сек; б) Р=26,6 Па и Q = 0,06 г/сек

Первоначально изучалось влияние анодного напряжения на аноде плазмотрона на сорбционную емкость льняной костры по отношению к ионам Fe(III). Гистограммы количества последних, поглощенных образцами костры после плазмообработки, в зависимости от значений U_а и вида плазмообразующего газа, приведены на рис. 3.

Найдено, что увеличение значений U_а приводит к проявлению экстремальных зависимостей. Так, например, при плазмообработке в среде аргона сорбционная емкость костры по отношению к ионам Fe³⁺ с увеличением анодного напряжения до 2 кВ повышается, затем понижается.

Как следует из приведенных гистограмм (рис. 3), плазмообработка в среде аргона приводит к несколько большему значению сорбционной емкости льняной костры по ионам железа по сравнению с образцами, обработанными в среде аргона. В дальнейшем исследовалось влияние силы тока на аноде плазмотрона на сорбционные характеристики исследуемого СМ. Гистограммы зависимости последних в зависимости от вида плазмообразующего газа и силы тока приведены на рисунке 4.

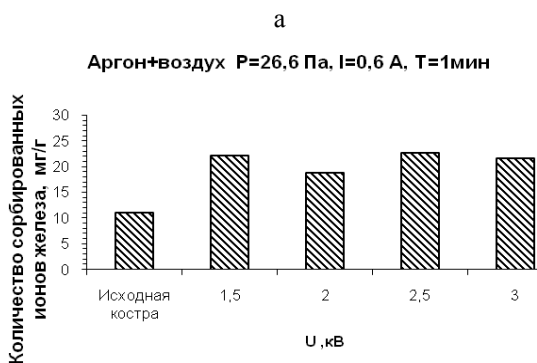
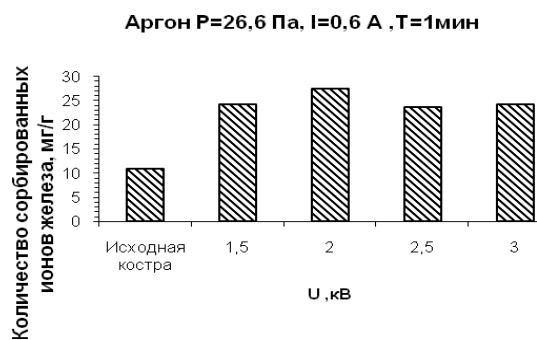


Рис. 3 – Значения сорбционной емкости плазмообработанных образцов льняной костры по ионам железа (III) в зависимости от напряжения на аноде и плазмообразующего газа: а) в атмосфере аргона; б) в атмосфере аргона с воздухом

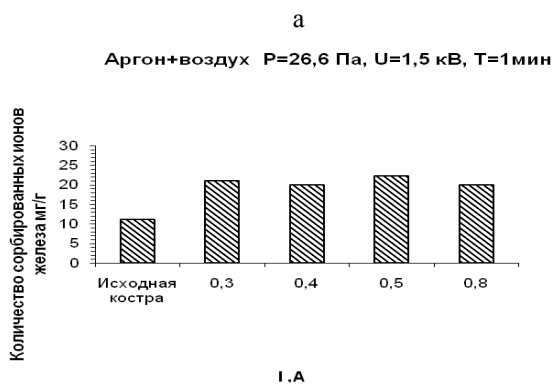
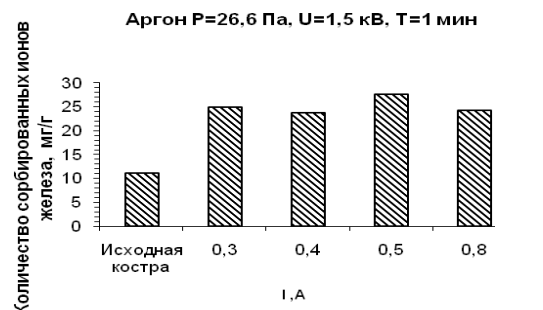


Рис. 4 – Зависимости значений сорбционной емкости льняной костры по ионам железа от силы тока и вида плазмообразующего газа: а) в атмосфере аргона; б) в атмосфере аргона с воздухом

Как следует из приведенных на рис. 4 данных, наибольшее значение сорбционной емкости достигается для образцов, обработанных ВЧ плазмой пониженного давления в среде аргона при силе тока на аноде плазмотрона $I_a = 0,5$ А.

Зависимости показателя сорбционной емкости для исследуемого СМ по ионам Fe^{3+} в зависимости от времени плазмообработки приведены на рис. 5.

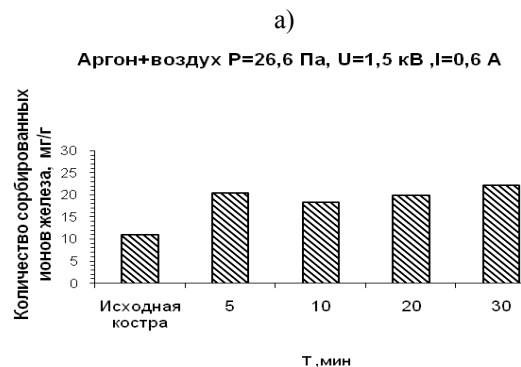
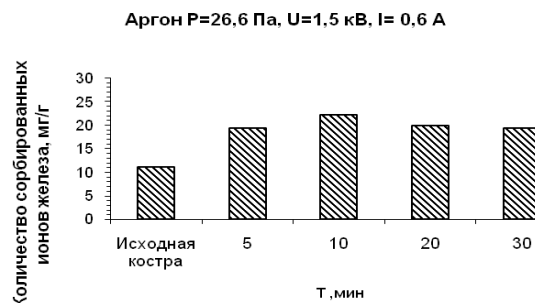


Рис. 5 – Значения сорбционной емкости образцов льняной костры по ионам железа (III) в зависимости от времени плазмообработки и вида плазмообразующего газа: а) в атмосфере аргона; б) в атмосфере аргона с воздухом

Как следует из приведенных на рис. 5 гистограмм, увеличение времени обработки плазмой в среде аргона приводит к экстремальным зависимостям: сначала значение сорбционной емкости несколько повышается, далее – несколько понижается. Плазмообработка костры в среде аргона с воздухом приводит к несколько иной картине: с увеличением времени нахождения образцов исследуемого СМ в рабочей камере плазмотрона значение сорбционной емкости несколько повышается. Тем не менее, следует отметить, что варьирование показателей плазмообработки не приводит к значительным изменениям сорбционных показателей льняной костры по ионам $Fe(III)$ как, например, при сорбции ионов $Co(II)$ [11].

Проведенными экспериментами найдено, что наибольшее значение сорбционной емкости по ионам железа достигается при обработке льняной костры ВЧ плазмой пониженного давления при следующих показателях: плазмообразующий газ – аргон, $P = 26,6$ Па, $I_a = 0,5$ А, $U_a = 1,5$ кВ, $T = 10$ мин.

Литература

1. С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев, *Вестник Казанского технологического университета*, **17**, 1, 181-184 (2014).
2. С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев, *Вестник Казанского технологического университета*, **17**, 3, 166-168 (2014).
3. E. Chockalingam, S. Subramanian, *Chemosphere*, **62**, 5, 699-708 (2006).
4. И.В. Шевелева, А.Н. Холомейдик, А.В. Войт, Л.А. Земнухова, *Химия растительного сырья*, **4**, 171-176 (2009).
5. О.В. Броварова. Автореф. дисс. канд. хим. наук, Архангельский гос. техн. ун-т, Архангельск, 2006. 20 с.
6. R.P. Dhakal, K.N. Ghimine, K. Innoue, *Hidrometallurgy*, **79**, 182-190 (2005).
7. Патент РФ 2394776 (2010).
8. В.П. Пухова. Автореф. дисс. канд. техн. наук, Северо-Кавказский гос. технол. ун-т, Владикавказ, 2014. 24 с.
9. Т.Е. Никифорова, В.А. Козлов, С.В. Натарева, Е.А. Дубкова, *Известия ВУЗов. Химия и химическая технология*, **57**, 3, 91-97 (2014).
10. Т. Е. Никифорова [и др.], *Тезисы докладов Междун. научно-техн. конф. «Актуальные проблемы переработки льна в современных условиях»*, Кострома: КГТУ, 123-124 (2002).
11. И.Г. Шайхиев, И.Ш. Абдуллин, Э.М. Хасаншина, К.И. Шайхиева, *Вестник Казанского технологического университета*, **17**, 9, 61-64 (2014).
12. Т.Е. Никифорова, В.А. Козлов, Н.А. Багровская, *Химия растительного сырья*, **4**, 45-52 (2005).
13. Т.Е. Никифорова, В.А. Козлов, Е.А. Модина, *Химия растительного сырья*, **4**, 23-30 (2010).
14. ПНД Ф 14.1:2.50-96. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой / М.:Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ. – 1996. – 16 с.

© **И. Г. Шайхиев** – д.т.н., зав. каф. инженерной экологии КНИТУ, ildars@inbox.ru; **И. Ш. Абдуллин** – д.т.н., проф., проректор по научной работе КНИТУ; **К. И. Шайхиева** – студ. каф. инженерной экологии КНИТУ; **Э. М. Хасаншина** – к.т.н., асс. каф. экологии Альметьевского муниципального института.

© **I. G. Shaykhiev** – Prof. KNRTU, ildars@inbox.ru; **I. Sh. Abdullin** – Prof. KNRTU; **E. M. Khasanshina** – stud. KNRTU; **K. I. Shaykhieva** – associate professor, Almetevskian municipal institute.