

Шайхиев И.Г., д-р техн. наук, доц.,  
Степанова С.В., канд. техн. наук, доц.  
Казанский национальный исследовательский технологический университет  
Свергузова С.В., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## УДАЛЕНИЕ ИОНОВ КОБАЛЬТА ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИЗ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ *PISUM SATIVUM*

ildars@inbox.ru

Изучено удаление ионов кобальта концентрацией  $1000 \text{ мг/дм}^3$  с использованием экстрактов из высушенных и измельченных оболочек стручков гороха (*Pisum sativum*) в дозировках  $5\text{--}50 \text{ см}^3$  на  $100 \text{ см}^3$  модельного раствора. Исследовано влияние дозировок, а также значений pH экстрактов на эффективность удаления ионов  $\text{Co(II)}$ . Определено, что степень удаления ионов  $\text{Co(II)}$  с учетом разбавления модельного раствора нейтральными, кислыми и щелочными экстрактами из шелухи оболочек гороха (ЭШГ, ЭШГк и ЭШГщ) составила 76,5 %, 78,9 % и 81,3 %, соответственно. Показано, что удаление ионов кобальта происходит за счет образования нерастворимых в воде комплексов с белками, входящими в состав экстрактов.

**Ключевые слова:** ионы кобальта, оболочки стручков гороха, экстракт, очистка

**Введение.** Одним из токсичных элементов, широко применяемом в промышленном производстве и потреблении, является кобальт и его соединения. Определено, что нетоксические дозы кобальта стимулируют образование красных кровяных клеток и гемоглобина, токсические - угнетают. Растворимые соединения кобальта (20-60 мг) вызывают у человека ретикулоцитоз, большие дозы - ряд токсических явлений. При попадании на кожу соединений кобальта возможны острые дерматиты. Повышенное содержание кобальта в организме может наблюдаться у лиц, работающих в металлургической, стекольной и цементной промышленности. Повышенное количество кобальта в организме может наблюдаться при избыточном приеме витамина  $\text{B}_{12}$ . Соли кобальта используются при производстве некоторых сортов пива, что в ряде случаев приводит к развитию у потребителей «кобальтовой» кардиопатии. Наиболее высокой токсичностью для человека обладают растворимые соли: хлорид кобальта, карбонат кобальта.

Одним из эффективных методов удаления поллютантов из водных сред, в том числе и вышеуказанных ионов кобальта, является сорбционная очистка. Достоинством способа является возможность удаления загрязнений из водных объектов до практически нулевой остаточной концентрации. Наиболее часто в качестве сорбентов используются активированные угли различных марок. Основным недостатком последних является высокая стоимость, необходимость регенерации отработанного сорбента, что приводит к увеличению стоимости очистки. Данное обстоятельство не совсем приемлемо для хозяйствующих субъектов, особенно в настоящее

кризисное время и негативно сказывается на качестве очистки стоков.

В настоящее время в мировом сообществе стремительно развивается новое инновационное направление в области охраны окружающей среды – использование отходов промышленного и сельскохозяйственного производства, а также природного минерального сырья в качестве реагентов для удаления поллютантов из сточных и природных вод. В частности, для удаления ионов кобальта из водных сред исследовались следующие минеральные образования: каолинит [1], сепиолит [2], гематит [3], бентонит [4, 5], монтмориллонит [6] и другие.

Особый интерес представляют многотоннажные возобновляемые лигноцеллюлозные отходы от переработки сельскохозяйственного сырья и деревопереработки. Анализ мировой литературы показывает, что последние интенсивно исследуются для извлечения из водных сред красителей [7–11] и ионов тяжелых металлов, в основном, ионов  $\text{Cr(VI)}$ ,  $\text{Cd(II)}$ ,  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Ni(II)}$ ,  $\text{Pb(II)}$ ,  $\text{Zn(II)}$  [12–21] и ряда других поллютантов.

В мировой литературе известны работы по удалению ионов кобальта из водных сред с использованием, в частности, отходов от переработки моркови [22], скорлупы миндаля [23], кукурузных кочерыжек [24–26], лимонной цедры [27], льняной костры [28]. Следует отметить, что названные реагенты имеют невысокие сорбционные показатели по ионам  $\text{Co(II)}$ . Данное обстоятельство объясняется тем, что основным процессом извлечение ионов кобальта является хемосорбция, которая протекает лишь на поверхности сорбционных материалов с функцио-

нальными группами, входящими в структуру биополимеров и других химических соединений отходов.

Нами определено, что увеличение удаления ионов тяжелых металлов из водных растворов возможно при использовании в качестве реагентов экстрактов из отходов растительного происхождения или растительной биомассы. Экстракты содержат в своем составе природные биологически активные вещества, извлечение которых из биомассы гораздо дешевле их промышленного синтеза. В частности, при удалении ионов Cu(II), Fe(III) и Cr(VI) листвой и опилками коры дуба обыкновенного, а также с использованием экстрактов, полученных из них же, найдено, что последние гораздо эффективнее удаляют названные ионы из модельных растворов за счет образования нерастворимых в воде комплексов с таннидами [29–34].

Ранее было показано, что экстракты из отходов от переработки бобовых культур, в частности, стручков гороха (*Pisum sativum*) весьма эффективно зарекомендовали себя при удалении ИТМ в концентрациях 100 мг/дм<sup>3</sup> [35, 36]. Однако, в некоторых случаях, содержание ИТМ в сточных водах достигает нескольких сотен мг/дм<sup>3</sup> и сорбционная очистка затруднена ввиду

быстрой насыщаемости сорбционных материалов сорбатом.

**Основная часть.** В связи с вышеизложенным, в настоящей работе исследовалось удаление ионов Co(II) из модельных растворов с использованием экстрактов из оболочек стручков гороха. Последние готовились следующим образом: предварительно высушенные и измельченные оболочки стручков гороха с размером частиц от 0,5 до 1 мм в количестве 100 г заливались 1 дм<sup>3</sup> дистиллированной воды, нагретой до 90 °С, и настаивалась в течение 3 часов для наиболее полного экстрагирования органических веществ в водную фазу. Для оценки влияния значения pH на эффективность удаления ионов Co<sup>2+</sup> экстрактами, воду предварительно подкисляли или подщелачивали 0,1 Н растворами HCl или NaOH, соответственно, до достижения pH = 2,5 или pH = 10,5. По истечении названного промежутка времени, экстракты отделялись от сырья и анализировались.

Физико-химические показатели экстрактов из шелухи оболочек стручков гороха, полученные в нейтральной (ЭШГ), кислой (ЭШГк) и щелочной (ЭШГщ) средах, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические показатели экстрактов из шелухи оболочек стручков гороха

Показатели	ЭШГ	ЭШГк	ЭШГщ
pH	5,76	2,5	10,5
ХПК, мг O/дм <sup>3</sup>	6048	5184	4992
Плотность, мг/см <sup>3</sup>	1003,25	1001,9	1001,2
Светопропускание, %	21	17,8	1,5
Общая щелочность, мг·экв/дм <sup>3</sup>	5,2	-	10,8
Общая кислотность, мг·экв/дм <sup>3</sup>	1,2	19,0	-
Цвет	светло-коричневый	светло-коричневый	светло-коричневый

Как следует из данных, приведенных в таблице 1, полученные экстракты имеют высокое значение ХПК, обусловленное наличием в них большого количества органических веществ.

Соответственно, модельный раствор с содержанием ионов Co<sup>2+</sup> 1000 мг/дм<sup>3</sup>, приготовленный растворением соответствующей навески семиводного сульфата кобальта (4,768 г) в 995 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, имел следующие показатели: pH – 5,37, плотность – 1000,12 мг/см<sup>3</sup>, цвет – светло-розовый.

Ход проведения эксперимента заключался в следующем: в шесть плоскодонных колб, содержащих по 100 см<sup>3</sup> заранее приготовленного модельного раствора, добавлялся соответствующий экстракт в объеме от 5 до 50 см<sup>3</sup>. Приливание последнего к модельному раствору при-

водило к образованию дисперсной фазы коричневого цвета, которая обусловлена образованием комплексов аминокислот с ионами кобальта. Образующийся осадок постепенно седиментировал. На рисунке 1 приведена кинетика уплотнения дисперсной фазы, полученной приливанием к 100 см<sup>3</sup> модельного раствора 50 см<sup>3</sup> того или другого экстракта. Как следует из приведенных графиков седиментации дисперсной фазы, наиболее быстро оседал осадок, полученный в результате добавления к модельному раствору ЭШГ. Кинетика седиментации осадков, полученных при приливании кислого и щелочного экстрактов практически идентична, однако следует отметить, что наименьший объем осадка в мерном сосуде наблюдается в конце экспери-

мента в случае использования щелочного экстракта.

Дисперсная фаза коричневого цвета удалялась фильтрованием, сушилась и взвешивалась, а фильтрат анализировался на изменение физи-

ко-химических показателей. На рисунке 2 приведены графики изменения массы образующегося сухого вещества осадка (МСО) в зависимости от вида экстракта.

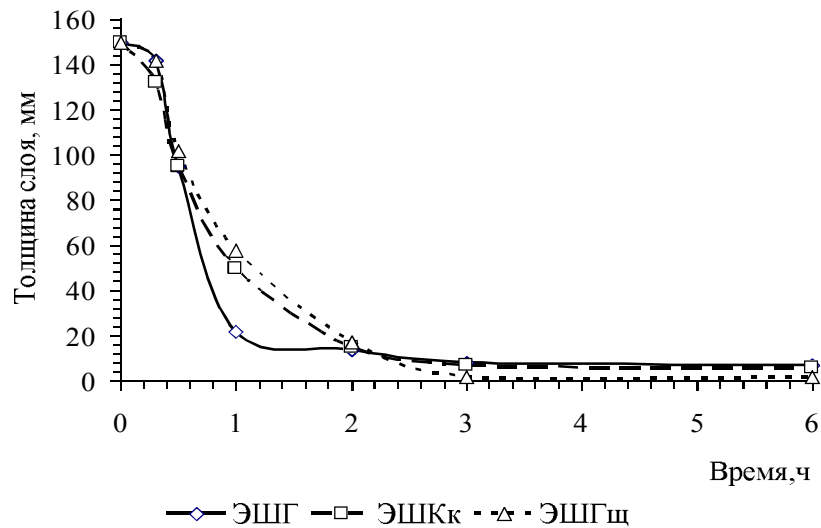


Рис. 1. Зависимость изменения толщины слоя осадка от времени при использовании ЭШГ, ЭШГк, ЭШГщ

Как следует из приведенных на рисунке 2 графиков, наибольшая масса осадка образуется при приливании к модельному раствору щелоч-

ного экстракта; добавление ЭШГ и ЭШГк приводит к практически сопоставим значениям образующихся масс осадков.

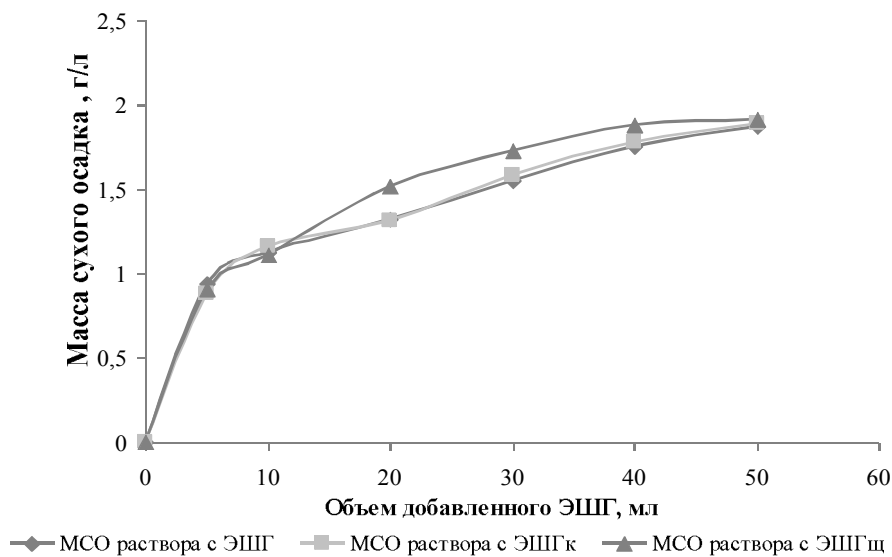


Рис. 2. Зависимость изменения массы сухого остатка от объема добавляемого экстракта

Как говорилось ранее, исходный модельный раствор с содержанием ионов кобальта имеет значение  $pH = 5,37$ . Приливание к нему экстрактов способствует некоторому изменению названного параметра (рис. 3). Как следует из графиков изменения значений  $pH$  смесевых растворов, добавление ЭШГ практически не влияет на исследуемый показатель ввиду близких значений. В тоже время, приливание 5 см<sup>3</sup> подкис-

ленного (ЭШГк) или щелочного (ЭШГщ) экстрактов способствует резкому изменению значений  $pH$ . Увеличение в последующем дозировок приливаемых экстрактов способствует дальнейшему плавному изменению значений  $pH$  в кислую или щелочную области.

Графики зависимости остаточного содержания ионов  $Co(II)$  в фильтратах приведены на рис. 4.

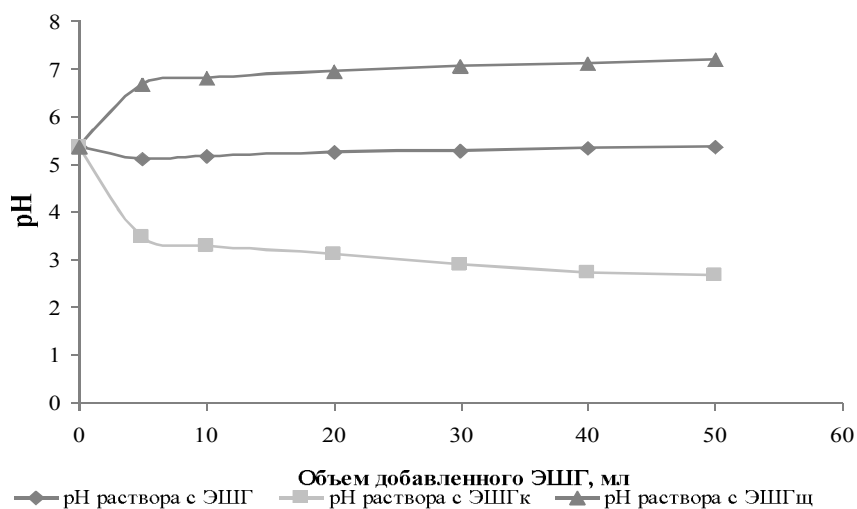
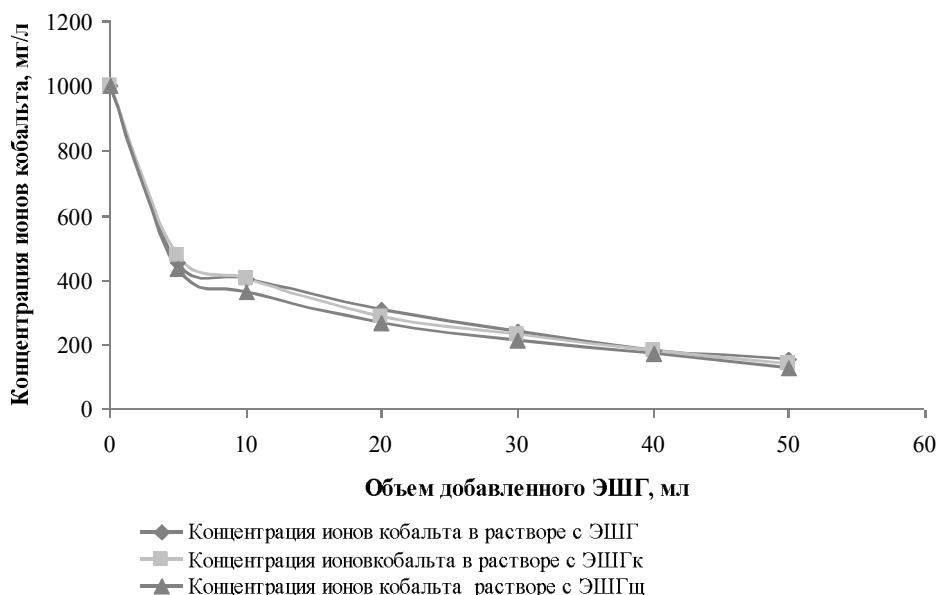


Рис. 3. Зависимость изменения значений pH от объемов добавляемых экстрактов

Рис. 4. Зависимость остаточной концентрации ионов  $\text{Co(II)}$  в фильтратах от объемов добавленных экстрактов

Как следует из приведенных графиков (рис. 4), наибольшее снижение концентрации ионов  $\text{Co}^{2+}$  наблюдается при добавлении к модельному раствору щелочного экстракта. Наименьшая остаточная концентрация ионов  $\text{Co(II)}$  наблюдается в случае приливания к модельному стоку  $50 \text{ см}^3$  ЭШГщ —  $124,5 \text{ мг/дм}^3$ , наибольшая — при добавлении ЭШГ ( $156,4 \text{ мг/дм}^3$ ). Данное обстоятельство, по всей видимости, объясняется тем, что в данном интервале pH (рис. 3), наряду с комплексами ионов кобальта с белками, дополнительно образуются еще и малорастворимый в воде гидроксид кобальта, увеличивая степень очистки. Проведенными расчетами определено, что степень удаления ионов  $\text{Co(II)}$  с учетом разбавления модельного раствора экстрактами (ЭШГ, ЭШГк и

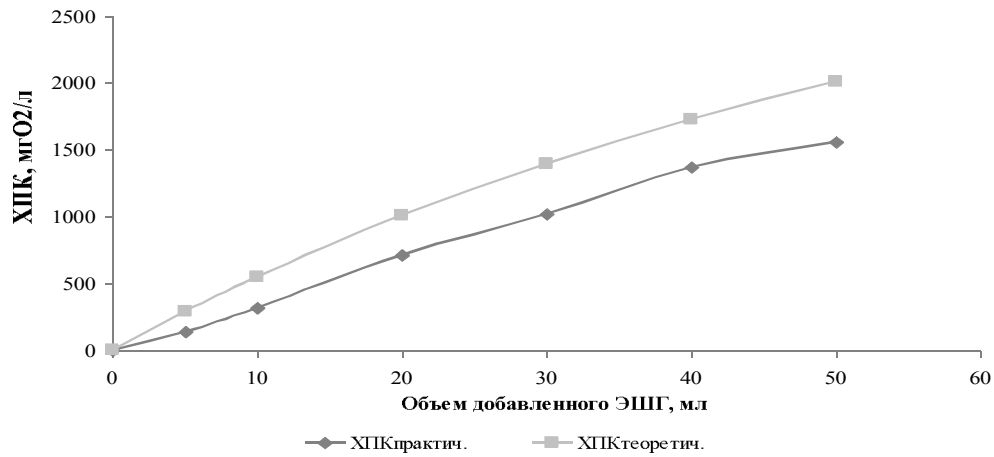
ЭШГщ) составила 76,5 %, 78,9 % и 81,3 %, соответственно.

Проведенными анализами установлено, что во всех случаях значения ХПК фильтратов с увеличением количества добавляемых к модельным растворам экстрактов повышаются (рис. 5), что вполне закономерно, так как последние имеют высокое содержание органических соединений, что подтверждается начальными значениями ХПК.

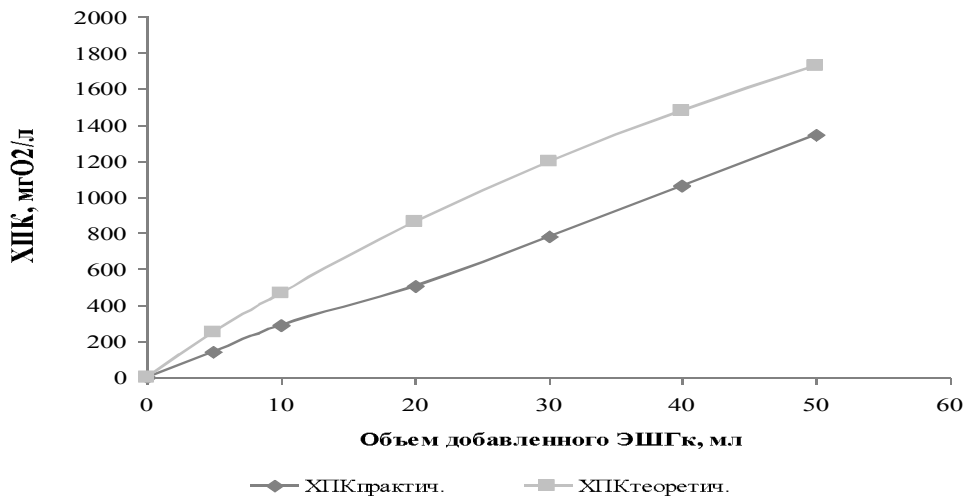
Верхние линии на графиках (рис. 5а-в) показывают изменение значений ХПК, полученные в результате смешения дистиллированной воды с экстрактами (эксперимент сравнения) в результате простого разбавления в указанных ранее пропорциях. Нижние графики демонстрируют зависимость изменения значений ХПК смесевых фильтратов после отделения образо-

вавшегося осадка. Разница между значениями ХПК холостого опыта и смесового фильтрата соответствует тому количеству органических соединений, вступивших в реакцию комплексо-

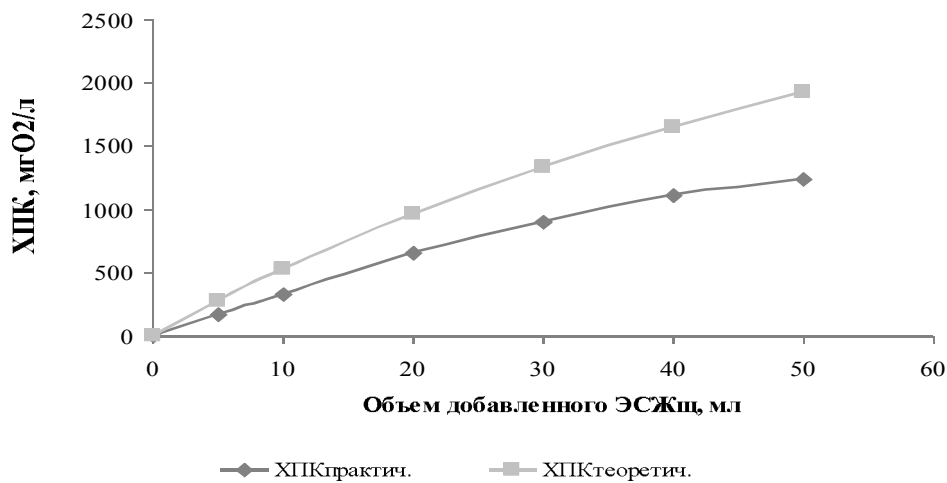
образования с ионами кобальта с образованием выпавших в осадок нерастворимых в воде соединений.



а



б



в

Рис. 5. Изменение значений ХПК в зависимости от объема приливаемого экстракта: а) ЭШГ; б) ЭШГ<sub>к</sub>; в) ЭШЖ<sub>щ</sub>.

Сравнивая графики, приведенные на рисунках 5а-в, очевидно, что наибольшая разница при приливании максимального в данных экспериментах количества экстрактов ( $50 \text{ см}^3$  к  $100 \text{ см}^3$  модельного раствора с ионами кобальта) наблюдается при добавлении ЭШГ ( $\Delta \text{ХПК} = 454 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$ ). При добавлении кислого и щелочного экстрактов к модельному раствору, значения разницы между значениями ХПК в указанных соотношениях составили  $\Delta \text{ХПК} = 385$  и  $421 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$ , соответственно.

**Выводы.** Таким образом, проведенными экспериментами определено, что наибольшая степень удаления ионов кобальта из модельных растворов с концентрацией  $1000 \text{ мг}/\text{дм}^3$  наблюдается при добавлении щелочного экстракта из высушенных и измельченных оболочек стручков гороха. Однако, учитывая, что разница в эффективности удаления ионов  $\text{Co(II)}$  щелочным экстрактом и ЭШГ составляет  $4,8 \%$ , использование ЭШГ видится проблематичным, т.к. в дальнейшем необходимо нейтрализация смесового фильтрата, что приводит к дополнительным финансовым издержкам. В этой связи, наиболее оптимальным является применение ЭШГ для удаления ионов кобальта из растворов с большой концентрацией. Очевидно, что после использования экстракта, необходима последующая очистка другими методами для достижения требуемых показателей по сбросу стоков в природные водоемы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Yavuz O., Altunkaynak Y., Guzel F. Removal of copper, nickel, cobalt and manganese from aqueous solution by kaolinite // *Water Research*. 2003. vol. 37. P. 948–952.
2. Kara M., Yuzer H., Sabah E., Celik M.S. Adsorption of cobalt from aqueous solutions onto sepiolite // *Water Research*. 2003. Vol. 37. P. 224–232.
3. Arthur W.R., Gino C.B-M. Adsorption of Cu, Pb, Zn, Co, Ni and Ag by goethite and hematite: a control on metal mobilization from redbeds into stratiform copper deposits // *Economic Geology*. 1993, vol. 88. P. 1226–1236.
4. Kubilay S., Gürkan R., Savran A., Sahan T. Removal of  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Zn(II)}$  and  $\text{Co(II)}$  ions from aqueous solutions by adsorption onto natural bentonite // *Adsorption*. 2007. vol. 13. P. 41–51.
5. Мосталыгина Л.В., Елизарова С.Н., Мосталыгина А.Г. Реагентный и сорбционный метод с применением бентонитовой глины для очистки сточных вод от ионов хрома // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2014. № 6. С. 172–175.
6. Gutierrez M., Fuentes H.R. A Langmuir isotherm-based prediction of competitive sorption of Sr, Cs and Co in Ca-montmorillonite // *Waste Management*. 1993. vol. 13. P. 327–332.
7. Crini G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review // *Bioresource Technology*. 2006. vol. 97. № 9. P. 1061–1085.
8. Yagub M.T., Sen T.K., Afroze S., Ang H.M., Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2014. vol. 209. P. 172–184.
9. Gupta V.K. Application of low-cost adsorbents for dye removal-a review // *Journal of Environment Management*. 2009. vol. 90. № 8. P. 2313–2342.
10. Bharathi K.S., Ramesh S.T. Removal of dyes using agricultural waste as low-cost adsorbents: a review // *Applied Water Science*. 2013, vol. 3. P. 773–790.
11. Mohammed M.A., Shitu A., Ibrahim A. Removal of methylene blue using low cost adsorbent: A review // *Research Journal of Chemical Sciences*. 2014. vol. 4. №1. P. 91–102.
12. Шайхиев И.Г. Использование отходов деревопереработки в качестве реагентов для очистки сточных вод // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2008. № 12. С. 29–42.
13. Шайхиев И.Г. Использование растительных сельскохозяйственных отходов для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. ч. I. // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2010. № 3. С. 15–25.
14. Шайхиев И.Г. Использование растительных сельскохозяйственных отходов для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. ч. II. // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2010. № 4. С. 30–40.
15. Nguyen T.A.H., Ngo H.H., Guo W.S., Zhang J., Liang S., Yue Q.Y., Li Q., Nguyen T.V. Applicability of agricultural waste and by-products for adsorptive removal of heavy metals from wastewater // *Bioresource Technology*. 2013. vol. 148. P. 574–585.
16. Ahluwalia S.S., Goyal D. Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater // *Bioresource Technology*. 2007. vol. 98. P. 2243–2257.
17. Zhao G., Wu X., Tan X., Wang X. Sorption of heavy metal ions from aqueous solutions: A review // *The Open Colloid Science Journal*. 2011. vol. 4. P. 19–31.
18. Mohammed M.A., Shitu A., Tadda M.A., Ngabura M. Utilization of various agricultural waste materials in the treatment of industrial wastewater containing heavy metals: A review // *International Research Journal of Environment Sciences*. 2014. vol. 3. № 3. P. 62–71.
19. Sharma P.K., Ayub S., Tripathi C.N. Agro and horticultural wastes as low cost adsorbents for

removal of heavy metals from wastewater: A review // International Refereed Journal of Engineering and Science. 2013. vol. 2, № 8. P. 18–27.

20. Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Макарова Ю.А. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью сорбентов - отходов деревообрабатывающей и сельскохозяйственной отраслей промышленности // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 9. С. 43–45.

21. Lesmana S.O., Febriana N., Soetaredjo F.E., Sunarso J., Ismadji S. Studies on potential applications of biomass for the separation of heavy metals from water and wastewater // Biochemical Engineering Journal. 2009. vol. 44. P. 19–41.

22. Güzel F., Yakut H., Topal G. Determination of kinetic and equilibrium parameters of the batch adsorption of Mn(II), Co(II), Ni(II) and Cu(II) from aqueous solution by black carrot (*Daucus carota L.*) residues // Journal of Hazardous Materials. 2008. vol. 153. № 3. P. 1275–1287.

23. Ahmadpour A., Tahmasbi M., Bastami T.R., Besharati J.A. Rapid removal of cobalt ion from aqueous solutions by almond green hull // Journal of Hazardous Materials. 2009. vol. 166. P. 925–930.

24. Parab H., Joshi S., Shenoy N., Lali A., Sarma U.S., Sudersanan M. Determination of kinetic and equilibrium parameters of the batch adsorption of Co(II), Cr(III) and Ni(II) onto coir pith // Process Biochemistry. 2006. vol. 41. № 3. P. 609–615.

25. Parab H., Joshi S., Shenoy N., Lali A., Sarma U.S., Sudersanan M. Esterified coir pith as an adsorbent for the removal of Co(II) from aqueous solution // Bioresource Technology. 2008. vol. 99. № 6. P. 2083–2086.

26. Parab H., Joshi S., Sudersanan M., Shenoy N., Lali A., Sarma U.S. Removal and recovery of cobalt from aqueous solutions by adsorption using low cost lignocellulosic biomass-coir pith // Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering. 2010. vol. 45, № 5. P. 603–611.

27. Bhatnagar A., Minocha A.K., Sillanpää M. Adsorptive removal of cobalt from aqueous solution by utilizing lemon peel as biosorbent // Biochemical Engineering Journal. 2010. vol. 48. № 2. P. 181–186.

28. Шайхиев И.Г., Абдуллин И.Ш., Хасаншина Э.М., Шайхиева К.И. Влияние параметров плазменной обработки на сорбционные характеристики льняной костры по отношению к ионам кобальта // Вестник Казанского технологического университета. 2014. т.17. № 9. С. 61–64.

29. Степанова С.В., Багаува А.И., Шайхиев И.Г. Исследование возможности использования отходов деревоперерабатывающей промышленности для очистки модельных вод от ионов тяжелых металлов. 1. Исследование возможности применения коры дуба в качестве реагента для удаления ионов железа (III) из модельных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 10. С. 49–54.

30. Степанова С.В., Багаува А.И., Шайхиев И.Г. Исследование возможности использования отхода деревоперерабатывающей промышленности для очистки модельных сточных вод от ионов тяжелых металлов. 2. Исследование экстрактов из отходов деревопереработки (кора дуба) для удаления ионов Cu(II) // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 11. С. 64–70.

31. Багаува А.И., Степанова С.В., Шайхиев И.Г. Исследование экстрактов из отходов деревопереработки (опилки коры дуба) для удаления ионов хрома (VI) из модельных растворов // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 14. С. 74–79.

32. Юсупова А.И., Шайхиев И.Г. Исследование возможности использования экстрактов из опилок коры и листьев *Quercus robur* в качестве реагентов для удаления ионов железа (III) из модельных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 7. С.189–191.

33. Юсупова А.И., Шайхиев И.Г. Удаление ионов железа (III) экстрактами из коры и листьев дуба и изучение морфологии и кинетики седиментации осадков // Вода: химия и экология. 2014. № 3. С. 76–83.

34. Юсупова А.И., Шайхиев И.Г. Исследование очистки модельных стоков, содержащих ионы Cu(II), опилками и экстрактами из коры *QUERCUS ROBUR* // Научно - технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С. 356–358.

35. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И., Степанова С.В., Хаертдинова А.А., Влияние pH экстрактов из оболочек стручков *Pisum sativum* на удаление ионов меди из модельных растворов // Вестник технологического университета. 2015. т. 19. № 2. С. 98–102.

36. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И., Степанова С.В., Панарин Д.А., Очистка модельных растворов от ионов кобальта водными экстрактами из оболочек стручков *Pisum sativum* с различными значениями pH // Вестник технологического университета. 2015. т. 19. № 4. С. 150–153.

---

**Shaikhiev I.G., Stepanova S.V., Sverguzova S.V.****THE USE OF EXTRACTS FROM WASTES OF PISUM SATIVUM TO REMOVE HIGH CONCENTRATIONS OF COBALT IONS FROM MODEL SOLUTIONS**

*Investigated the removal of cobalt ions initial concentration 1000 mg/dm<sup>3</sup> by using extracts from the dried and crushed shells pea pods (Pisum sativum) a dosage of 5-50 cm<sup>3</sup> per 100 cm<sup>3</sup> of model solution. The influence of dosages and pH values of the extracts on the removal efficiency of ions Co(II). The removal efficiency of ions Co(II) subject to dilution model solution neutral, acidic and alkaline extracts of husks of peas (EHP, EHP<sub>acid</sub> and EHP<sub>alk</sub>) amounted to 76,5 %, 78,9 % and 81,3 %, respectively. Determined that the removal of cobalt ions occurs due to the formation of insoluble complexes with proteins present in the extracts.*

**Key words:** ions of cobalt, shells pea pods, extract, purification

---

**Шайхиев Ильдар Гильманович** доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной экологии.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

Адрес: Россия, 420015, Казань, ул. К. Маркса, д. 68.

E-mail: ildars@inbox.ru

**Степанова Светлана Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной экологии.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

Адрес: Россия, 420015, Казань, ул. К. Маркса, д. 68.

E-mail: ssvkan@yandex.ru

**Свергузова Светлана Васильевна**, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой промышленной экологии.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: pe@intbel.ru