



УДК 66.081.3

**СОРБЦИОННЫЙ СПОСОБ УДАЛЕНИЯ  
ЦИНКА ( $Zn^{2+}$ ) ИЗ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ  
СТОЧНЫХ ВОД  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА***Куасси Б. Г.<sup>1</sup>, Климов П. В.<sup>1</sup>,  
Смоляниченко А. С.<sup>1,2</sup>*<sup>1</sup>Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация<sup>2</sup>Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Ростов-на-Дону, Российская Федерация[guillaumekb@yahoo.fr](mailto:guillaumekb@yahoo.fr)[PVK05@inbox.ru](mailto:PVK05@inbox.ru)[arpis-2006@mail.ru](mailto:arpis-2006@mail.ru)

Проведены исследования, в ходе которых осуществлялось удаление цинка из промышленных сточных вод завода «Ростсельмаш» (г. Ростов-на-Дону). При этом применялся сорбционный способ очистки, основанный на использовании скорлупы ореха анакарда, выращиваемого в Республике Кот-д'Ивуар. Согласно экспериментальным данным, эффективность очистки составила 94 %, что подтверждает способность скорлупы ореха анакарда осуществлять сорбционную очистку промышленных сточных вод.

**Ключевые слова:** машиностроительный завод, скорлупа ореха анакарда, Республика Кот-д'Ивуар, углеродный сорбент, промышленные сточные воды, тяжелые металлы, удаление цинка ( $Zn^{2+}$ ).

**Введение.** Очистка производственных сточных вод на заводе «Ростсельмаш» производится в пять основных стадий: осаждение песка в горизонтальной песколовке с круговым движением воды, улавливание нефтепродуктов, масел и т.д. в нефтеловушке, коагуляция мелкодисперсных примесей, тяжелых металлов в реакторах, отстаивание хлопьевидного осадка во вторичном вертикальном отстойнике, доочистка сточных вод на механических фильтрах. В настоящее время расход производственных сточных вод составляет здесь 980 м<sup>3</sup>/ч. Основные показатели загрязнений сточных вод представлены в табл. 1.

Для повышения качества очистки сточных вод по одному из представленных показателей, а именно цинку ( $Zn^{2+}$ ), был использован сорбционный способ очистки с применением скорлупы ореха анакарда.

Данный материал является сельскохозяйственным отходом и представляет собой большую проблему для экосистемы Республики Кот-д'Ивуар [1]. Это крупнейшая страна-производитель ореха анакарда в Африке: 380 000 тонн в 2010 г., 480 000 тонн в 2012 г., 625 000 тонн в 2015 г. и

UDC 66.081.3

**SORPTION METHOD OF ZINC ( $Zn^{2+}$ )  
REMOVAL FROM GALVANIC  
WASTEWATER OF A  
MACHINE-BUILDING PLANT***Kouassi B. G.<sup>1</sup>, Klimov P. V.,  
Smolyanichenko A. S.<sup>1,2</sup>*<sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation<sup>2</sup> Admiral Ushakov State Maritime University, Rostov-on-Don, Russian Federation[guillaumekb@yahoo.fr](mailto:guillaumekb@yahoo.fr)[PVK05@inbox.ru](mailto:PVK05@inbox.ru)[arpis-2006@mail.ru](mailto:arpis-2006@mail.ru)

The article provides studies, during which the removal of zinc from industrial wastewater of the Rostsemash machine-building plant (Rostov-on-Don) was carried out, using a sorption cleaning method, based on the use of anacard nut shell grown in the Republic of Côte d'Ivoire. According to the experimental data, the cleaning efficiency was 94%, which confirms the ability of anacard nutshell for sorption purification of industrial wastewater.

**Keywords:** machine-building plant, anacard nutshell, Côte d'Ivoire, carbon sorbent, industrial wastewater, heavy metals, Zinc ( $Zn^{2+}$ ) removal.

около 725 000 тонн в 2016 г., что составляет 24 % всего производства в мире [2, 3]. Скорлупа ореха анакарда не подвергается на сегодняшний день переработке, к тому же не разлагается.

Таблица 1

Состав и концентрация загрязнений в сточных водах завода «Ростсельмаш»

Показатели	Единица измерения	Концентрации сточных вод	
		средние	максимальные
Температура	°С	20	22
Взвешенные вещества	мг/л	530	939
pH	-	8,52	11,4
Cr <sup>3+</sup>	мг/л	4,0	7,0
Al <sup>3+</sup>	мг/л	1,9	2,3
Cu <sup>2+</sup>	мг/л	1,5	0,8
Zn <sup>2+</sup>	мг/л	15	47
Fe <sup>3+</sup>	мг/л	5,88	19,3
Хлориды	мг/л	300	460
Сульфаты	мг/л	492	730
Нефтепродукты	мг/л	200	310

Одним из способов использования сельскохозяйственных отходов является подготовка углеродного сорбента. В настоящее время применение углеродных сорбентов встречается практически во всех областях промышленности, в сельском хозяйстве и в медицине [4–10]. Целью исследований в данной работе является получение углеродного сорбента из сельскохозяйственных отходов, скорлупы ореха анакарда, и использование его для очистки производственных сточных вод от цинка.

В ходе эксперимента была применена скорлупа ореха анакарда, которая является отходом завода (OLAM) в г. Димбокро (Республика Кот-д'Ивуар) (рис. 1, 2, 3).

Скорлупа ореха анакарда содержит масло, которое называется Cashew Nut Shell Liquid (CNSL). Предварительно необходимо извлечь масло (CNSL) из скорлупы ореха анакарда, так как при её горении выделяются пары кислот, вредные для человека и окружающей среды [11].



Рис. 1. Скорлупа ореха анакарда



Рис. 2. Скорлупа ореха анакарда, фракция 3–6 мм



Рис. 3. Углеродный сорбент из скорлупы ореха анакарда, фракция 0,16 мм

В данном случае скорлупа ореха анакарда промывалась несколько раз в воде для удаления примесей и пыли. Затем она сушилась в течение 24 часов и измельчалась до фракции 3–6 мм, далее скорлупа в течение 2–3 часов варилась в воде.

После варки скорлупу ореха анакарда заливали 5-процентным раствором КОН и выдерживали в растворе в течение суток.

После активации скорлупа карбонизировалась, затем подвергалась термической обработке без доступа воздуха при температуре 800<sup>0</sup>С в течение 20–30 минут (скорость нагрева составляла около 20<sup>0</sup>С в минуту). После карбонизации для удаления остатков раствора КОН полученный карбонизат промывали дистиллированной водой несколько раз, пока рН не достигал 6,5–8, и сушили в течение трех часов. После сушки полученный карбонизат измельчали, затем просеивали до фракции 0,16 мм.

Кроме того, для сравнительного анализа структуры полученного углеродного материала была проведена карбонизация скорлупы ореха анакарда в аналогичных условиях, но без активации.

Химический состав (массовая доля содержащихся веществ, %) активированного углеродного сорбента определен в ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья имени Н. М. Федоровского (ВИМС)», г. Москва. Методы проводимых анализов: ионометрический, атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой (АЭ), газометрический, ИК спектроскопия (табл. 2). Водородный потенциал рН=10 определен по методике ГОСТ 17818.6-90 в испытательном центре АО «НИИГрафит».

Таблица 2

Химический состав активированного углеродного сорбента  
из скорлупы ореха анакарда

№	Показатели химического состава исследуемого сорбента	Массовая доля, %		
		По результатам анализа	Исходные данные материала (скорлупа ореха анакарда) в литературных источниках	
1	Углерод общий, С <sub>общ</sub>	82,0	56,4	45,7
2	Железо	0,05	-	-
3	Сера общая, S <sub>общ</sub>	0,07	<0,10	-
4	Хлор, Cl	0,035	0,01	-
5	Фтор, F	<0,01	-	-

**Экспериментальная часть.** Массовая доля углерода (82%) в исследуемом сорбенте превышает значения, представленные в литературных источниках. Массовая доля железа, серы, хлора и фтора, напротив, менее 1 % (данные из литературного источника), а массовая доля железа (0,05 %) соответствует требованиям и нормам ГОСТ 4453-74.

Эффективность полученного сорбента из ореха анакарда была исследована на производственных сточных водах из приемной камеры очистных сооружений завода «Ростсельмаш». Время сорбции: 20, 40, 60, 90, 120 минут при дозе сорбента 0,5 мг/л.

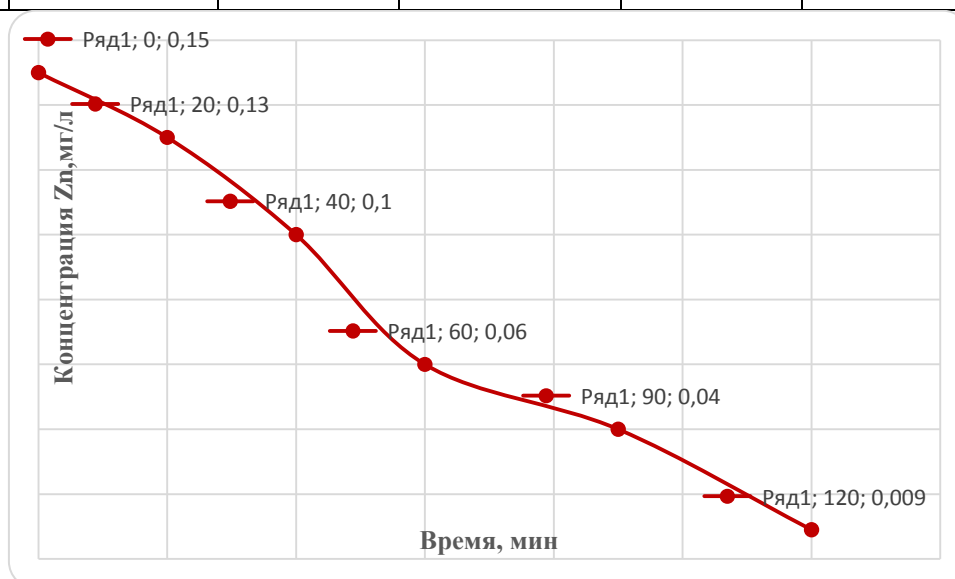
Перемешивание осуществлялось лабораторным флокулятором (ПЭ 8800) с установленной скоростью 45 об./мин. и временем перемешивания 20 минут. Анализы по результатам эксперимента проведены в аккредитованной лаборатории очистных сооружений завода «Ростсельмаш» г. Ростова-на-Дону (табл. 2).

Согласно экспериментальным данным (табл. 3) была построена кривая зависимости адсорбции цинка от времени сорбции (рис. 4).

Таблица 3

Результаты применения активированного углеродного сорбента из скорлупы ореха анакарда для удаления цинка ( $Zn^{2+}$ ) в производственных сточных водах

Время сорбции, мин.	Исходные сточные воды, мг/л		Очищенные сточные воды, мг/л		Эффективность очистки, % $Zn^{2+}$
	pH	$Zn^{2+}$	pH	$Zn^{2+}$	
20	8-9	0,15	9	0,13	13,33
40				0,10	33,33
60				0,06	60
90				0,04	73,33
120				0,009	94

Рис. 4. Адсорбция цинка ( $Zn^{2+}$ ) в зависимости от времени

**Выводы.** Анализируя экспериментальные данные (табл. 3), можно отметить, что эффективность удаления цинка больше 90 % достигается после 120 мин. контакта очищаемой воды с сорбентом, при этом концентрация цинка (0,009 мг/л) соответствует предельно допустимым концентрациям (ПДК).

В ходе проведенных исследований выбран наиболее эффективный метод получения углеродного сорбента из скорлупы ореха анакарда и показана возможность его применения в качестве сорбента для удаления из производственных сточных вод цинка на примере очистки сточных вод завода «Ростсельмаш».

**Библиографический список**

1. TAGUTCHOU Jean-Philippe, NAQUIN Pascale; Caractérisation et traitement thermochimique des coques d'anacarde en vue de leur valorisation énergétique dans les procédés de transformation artisanale de noix de cajou; Colloque Eau, Déchets et Développement Durable, 21 – 24 mars 2012, Agadir, Maroc. pp. 28-35
2. SORO Doudjo; Thèse: «Couplage de procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pomme de cajou : performances et impacts sur la qualité des produits» MONTPELLIER SUPAGRO; Page 1 ; 2012.
3. Informations: Chambre de Commerce et d'Industrie de Côte d'Ivoire // [www.cci.ci](http://www.cci.ci) URL: [www.cci.ci/3.0/component/content/article/133-telechargements/683-fiches-sectorielles](http://www.cci.ci/3.0/component/content/article/133-telechargements/683-fiches-sectorielles) (date of access: 08.01.2015)
4. Передерий, Ю. И. Адсорбенты на основе углеродсодержащих материалов / Ю. И. Передерий, И. Н. Кураков, М. В. Маликов : монография. — Москва : Metallurgizdat, 2014. — 312 с.
5. Адсорбционная способность опои «Талпус-РО» и «Талпус-КК» / Л. Е. Пустовая [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета. — 2012. — Т. 12, №2-1 (63). — С.151–152.
6. Кинле, Х. Активные угли и их промышленное применение / Х. Кинле, Э. Бадер ; пер. с нем. — Ленинград : Химия, 1984. — 216 с.
7. Ик спектроскопия активированных углей на основе сополимеров Фурфурола / К. К. Кишибаев [и др.] // Вестник КазНТУ. — 2014. — №4. — С. 344–348.
8. Павленко, В. В. Синтез и использование многофункциональных углеродных наноструктурированных материалов на основе растительной клетчатки : дис. ... канд. техн. наук / В. В. Павленко. — Алматы, 2014. — 129 с.
9. Математическое описание сорбции на модифицированной рисовой соломе / А. С. Халил [и др.] : [Электронный ресурс] / Инженерный вестник Дона. — Режим доступа: [http://www.ivdon.ru/uploads/arile/pdf/IVD\\_16\\_Halil\\_N.pdf\\_8115529461.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/arile/pdf/IVD_16_Halil_N.pdf_8115529461.pdf) (дата обращения: 06.08.18).
10. Setianto, W.B., Yoshikawa, S., Smith, Jr.R.L., Inomata, H., Florusse, L.J., Peters, C.J., “Pressure profile separation of phenol c liquid compounds from cashew (*Anacardium occidentale*) shell with supercritical carbon dioxide and aspects of its phase equilibria”, *Journal of Supercritical Fluids*, 2009;Vol.48: pp. 203–210
11. Smith, Jr. R.L., Malaluan, R.M., Setianto, W.B., Inomata, H., Arai, K.. Separation of cashew (*Anacardium Occidentale* L.) nut shell liquid with supercritical carbon dioxide. *Bioresour Technol.* 2003 May;88(1): pp. 1-7.