

**МОДИФИЦИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ
ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД**

Э.Р. Валинурова, Г.Ф. Шаймухаметова, А.А. Кожанова, Е.О. Фокина

Эльвира Рафиковна Валинурова*, Гульназ Фларитовна Шаймухаметова, Алена Александровна Кожанова
Кафедра аналитической химии, Башкирский государственный университет, ул. Заки Валиди, 32, Уфа,
Российская Федерация, 450076
E-mail: valinurova_elvira@mail.ru*, gulnazf87@mail.ru, alena_kozhanova@mail.ru

Екатерина Олеговна Фокина

Кафедра физической химии, Башкирский государственный университет, ул. Заки Валиди, 32, Уфа,
Российская Федерация, 450076
E-mail: fokina.katya2013@yandex.ru

Исследованы адсорбционные свойства активированного и графитированного углеродных волокон к ионам тяжелых металлов, фенолам и анилинам. Показано, что модифицированные окислением концентрированными азотной и серной кислотами углеродные волокна количественно извлекают ионы тяжелых металлов из воды. Рассчитаны коэффициенты распределения и селективности адсорбции ионов тяжелых металлов на активированном углеродном волокне и его окисленных образцах, представлены ряды селективности адсорбции. Проведена предварительная обработка углеродных волокон органическими реагентами, содержащими гетероатомы-доноры активности и селективности. Предварительное нанесение на поверхность углеродного волокна мочевины сокращает время установления адсорбционного равновесия с 1,5 – 2 ч до 40 мин, и повышает степень извлечения висмута до 64%. Модифицирование углеродного волокна тиомочевинной позволяет количественно (99%) извлекать висмут из воды за 20 мин. Степень извлечения олова модифицированным тиомочевинной волокном возрастает на 14% и достигает 53%. Молибден (VI) и ртуть (II) извлекаются активированным углеродным волокном, модифицированным 15%-ным раствором тиомочевины на 80% и 99%, соответственно. Модифицирование поверхности активированного и графитированного углеродных волокон фуллеренами C₆₀ повышает адсорбционную способность активированного углеродного волокна к ионам кадмия до 69%, а графитированного углеродного волокна – до 64%. Из спрямленных в координатах уравнения Лэнгмюра изотерм адсорбции органических и неорганических адсорбатов рассчитаны емкости монослоя, константы сорбционного равновесия. Статические обменные емкости углеродных адсорбентов по ионам тяжелых металлов изменяются в пределах от 2,8 до 23,0 мг/г, константы адсорбционного равновесия – от 0,1·10³ до 9,0·10³. Показано, что адсорбция фенолов и анилинов зависит от взаимного расположения функциональных групп в молекулах адсорбатов. Константы адсорбционного равновесия пара-замещенных производных фенола и анилина несколько ниже, чем мета- и орто-производных, функциональные группы которых связаны внутримолекулярной водородной связью и не могут в полной мере принимать участие в адсорбции.

Ключевые слова: адсорбция, углеродное волокно, тяжелые металлы, фенолы, анилины

MODIFIED CARBON FIBER. USING THEM TO REMOVE METAL AND ORGANIC IMPURITIES FROM AQUATIC ENVIRONMENTS

E.R. Valinurova, G.F. Shaymukhametova, A.A. Kozhanova, E.O. Fokina

Elvira R. Valinurova*, Gulnaz F. Shaymukhametova, Alena A. Kozhanova

Department of Analytical Chemistry, Bashkir State University, Zaki Validi st., 32, Ufa, 450076, Russia

E-mail: valinurova_elvira@mail.ru*, gulnazf87@mail.ru, alena_kozhanova@mail.ru

Ekaterina O. Fokina

Department of Physical Chemistry, Bashkir State University, Zaki Validi str., 32, Ufa, 450076, Russia

E-mail: fokina.katya2013@yandex.ru

The adsorption properties of activated and graphitized carbon fibers to heavy metal ions, phenols and anilines have been studied. It is shown that carbon fibers, modified by oxidation with concentrated nitric and sulfuric acids, quantitatively extract ions of heavy metals from water. The distribution and selectivity coefficients of adsorption of heavy metal ions on an activated carbon fiber and its oxidized samples are calculated, and selectivity series of adsorption are presented. Preliminary treatment of carbon fibers with organic reagents containing heteroatoms-donors of activity and selectivity was carried out. Preliminary application of urea to the surface of the carbon fiber, reduces the time of establishment of adsorption equilibrium from 1.5 - 2 h to 40 min, and increases the recovery of bismuth to 64%. Modification of the carbon fiber with thiourea allows quantitatively (99%) to recover bismuth from water in 20 min. The degree of extraction of tin by modified thiourea fiber increases by 14% and reaches 53%. Molybdenum (VI) and mercury (II) are recovered by activated carbon fiber modified with a 15% solution of thiourea by 80% and 99%, respectively. Modification of the surface of activated and graphitized carbon fibers with C₆₀ fullerenes increases the adsorption capacity of the activated carbon fiber to cadmium ions to 69%, and of graphitized carbon fiber to 64%. From the Langmuir equation rectified in the coordinates of the adsorption isotherms of organic and inorganic adsorbates, the monolayer capacitances and the sorption equilibrium constants are calculated. Static exchange capacities of carbon adsorbents for ions of heavy metals vary in the range from 2.8 to 23.0 mg/g. The adsorption equilibrium constants range from $0.1 \cdot 10^3$ to $9.0 \cdot 10^3$. It is shown that the adsorption of phenols and anilines depends on the mutual arrangement of the functional groups in the adsorbate molecules. The adsorption equilibrium constants of para-substituted derivatives of phenol and aniline are somewhat lower than those of meta- and ortho-derivatives, the functional groups of which are bound by intramolecular hydrogen bonds and can't participate fully in adsorption.

Key words: adsorption, carbon fiber, heavy metals, phenols, anilines

Для цитирования:

Валинурова Э.Р., Шаймухаметова Г.Ф., Кожанова А.А., Фокина Е.О. Модифицированные углеродные волокна. Использование их для извлечения металлов и органических примесей из водных сред. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61. Вып. 11. С. 103–108

For citation:

Valinurova E.R., Shaymukhametova G.F., Kozhanova A.A., Fokina E.O. Modified carbon fiber. using them to remove metal and organic impurities from aquatic environments. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2018. V. 61. N 11. P. 103–108

ВВЕДЕНИЕ

Углеродные волокнистые материалы, обладающие высокой пористостью и удельной поверхностью, широко применяются для извлечения из водных сред как органических, так и неорганических токсикантов [1-6]. Для усиления селективности адсорбции их можно подвергать направленной

модификации. Химическое модифицирование преимущественно основано на окислении поверхности различными окислителями. Это способствует появлению новых функциональных групп, обеспечивающих ионообменные свойства углеродных адсорбентов [7-9]. Метод импрегнирования углеволоконистых материалов различными органическими реагентами – более удобный и про-

стой способ получения новых адсорбентов [10-14], поскольку спектр применяемых веществ с различными функционально-аналитическими группами в качестве модификаторов достаточно широк, а высокая пористость и проницаемость волокнистых углеродных материалов как исходной матрицы обеспечивает хорошее закрепление модификаторов на ее поверхности.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве адсорбентов использовали активированное (АУВ), графитированное углеродное гидратцеллюлозное волокно (ГУВ), окисленные концентрированными азотной и серной кислотами активированное углеродное волокно (ОАУВ), углеродные волокна, пропитанные растворами мочевины, тиомочевины (5, 10, 15% масс.) и фуллеренов (0,02% масс. в толуоле). Для сравнения был взят березовый активированный уголь БАУ-А. Сорбционную способность адсорбатов изучали в статическом режиме при комнатной температуре из модельных водных растворов.

Навески углеродных адсорбентов по 0,1 г, доведенные до постоянной массы, вносили в растворы нитратов металлов с концентрацией 0,005-0,05 мг/мл и перемешивали в течение установленного времени и рН. Фильтраты и исходные растворы анализировали методом ААС.

Для изучения адсорбции фенолов и анилинов навески адсорбентов 0,02 г, доведенные до постоянной массы, вносили в водные растворы адсорбатов концентрацией 0,02-0,8 мг/мл, перемешивали не более 30 мин. Анализ растворов до и после адсорбции проводили методом ВЭЖХ на хроматографе Hewlett Packard с колонкой Hypersil ODS (200 мм × 2,1 мм, 5 мкм); подвижная фаза – ацетонитрил-вода 80:20 об.%; диодно-матричный детектор HP 1090, диапазон длин волн 230-276 нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные изотермы адсорбции металлов имеют Лэнгмюровский вид. В качестве примера на рис. 1 приведены изотермы адсорбции ионов кадмия и их спрямление.

Из спрямленных изотерм были рассчитаны параметры адсорбции – емкость моно слоя (a_m , мг/г), константа адсорбционного равновесия (K). Статические обменные емкости углеродных адсорбентов по ионам тяжелых металлов изменяются в пределах от 2,8 до 23,0 мг/г, константы адсорбционного равновесия – от $0,1 \cdot 10^3$ до $9,0 \cdot 10^3$.

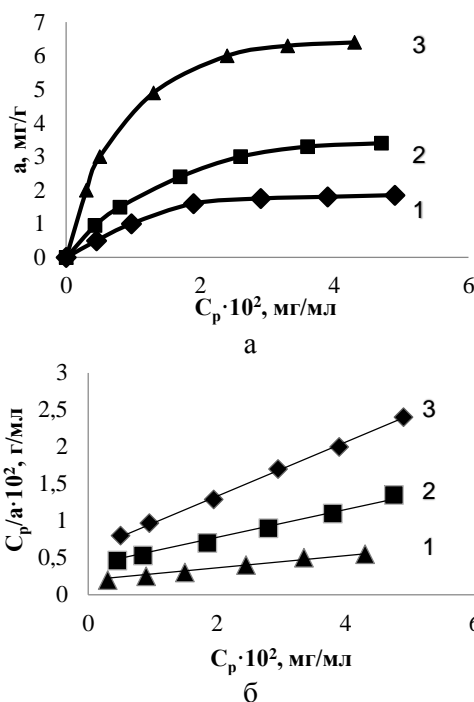


Рисунок. Изотермы адсорбции (а): 1 – АУВ, 2 – ОАУВ (H₂SO₄), 3 – ОАУВ (HNO₃) и спрямленные изотермы адсорбции (б): 1 – АУВ, 2 – ОАУВ (H₂SO₄), 3 – ОАУВ (HNO₃) ионов Cd²⁺ на углеродных волокнах

Figure. Adsorption isotherms (a): 1 – AUUV, 2 – OAUUV (H₂SO₄), 3 – OAUUV (HNO₃) and rectified adsorption isotherms (b): 1 – AUUV, 2 – OAUUV (H₂SO₄), 3 – OAUUV (HNO₃) of Cd²⁺ ions on carbon fibers

Таблица 1

Параметры уравнения Лэнгмюра для адсорбции ионов металлов на углеродных волокнистых материалах и БАУ-А

Table 1. Parameters of the Langmuir equation for adsorption of metal ions on carbon fiber materials and BAU-A

Ион металла	БАУ-А		АУВ		ОАУВ _{серн}		ОАУВ _{азотн}	
	a_m , мг/г	$K \cdot 10^3$	a_m , мг/г	$K \cdot 10^3$	a_m , мг/г	$K \cdot 10^3$	a_m , мг/г	$K \cdot 10^3$
Cr ³⁺ (Cr ₂ O ₇ ²⁻)	13,0	0,1	16,0	0,2	16,7	0,4	20,4	0,9
Fe ²⁺ (Fe ³⁺)	-	-	-	-	9,8	0,1	10,2	7,0
Pb ²⁺	-	-	-	-	5,2	0,6	23,0	9,0
Cd ²⁺	-	-	2,8	0,1	8,4	0,3	18,0	3,0
Cu ²⁺	3,3	0,1	10,2	0,1	12,2	0,2	16,6	2,0
Ni ²⁺	3,5	0,1	7,1	0,1	8,6	0,2	13,2	2,0
Co ²⁺	-	0,1	4,0	0,1	5,6	0,2	10,3	0,6
Zn ²⁺	-	-	-	-	5,6	0,4	12,0	0,4

Для характеристики селективности ионно-го обмена ионов тяжелых металлов на модифицированных углеродных волокнах рассчитали коэффициенты распределения (K_P) и коэффициенты селективности (K_C) (табл. 2).

Установлено, что ионы тяжелых металлов с высоким значением ионного радиуса проявляют высокую селективность к активированному углеродному волокну, окисленному азотной кислотой.

Таблица 2

Коэффициенты селективности ОАУВ (HNO₃) к ионам тяжелых металлов ($C_0=0,01$ мг/мл, $V_{p-pa}=100$ мл, $m_{сорб}=0,1$ г, $T=293$ К)

Table 2. Selectivity coefficients of OAUV (HNO₃) to heavy metal ions ($C_0=0.01$ mg/ml, $V_{sol}=100$ ml, $m_{sorb}=0.1$ g, $T=293$ K)

Бинарная смесь	Ион металла	K_P	K_C
Pb ²⁺ : Cd ²⁺	Pb ²⁺	16,3	14,8
	Cd ²⁺	1,1	
Pb ²⁺ : Cu ²⁺	Pb ²⁺	18,1	16,5
	Cu ²⁺	1,1	
Pb ²⁺ : Ni ²⁺	Pb ²⁺	21,5	19,5
	Ni ²⁺	1,1	
Pb ²⁺ : Co ²⁺	Pb ²⁺	25,0	19,2
	Co ²⁺	1,3	
Pb ²⁺ : Zn ²⁺	Pb ²⁺	29,0	20,7
	Zn ²⁺	1,4	
Cd ²⁺ : Cu ²⁺	Cd ²⁺	0,8	8,0
	Cu ²⁺	0,1	
Cd ²⁺ : Ni ²⁺	Ni ²⁺	1,2	9,5
	Cu ²⁺	0,6	
Cd ²⁺ : Co ²⁺	Cd ²⁺	1,2	12,0
	Co ²⁺	0,1	
Cd ²⁺ : Zn ²⁺	Cd ²⁺	2,4	12,0
	Zn ²⁺	0,2	
Cu ²⁺ : Ni ²⁺	Cu ²⁺	1,3	2,0
	Ni ²⁺	0,8	
Cu ²⁺ : Co ²⁺	Cu ²⁺	1,9	3,2
	Co ²⁺	0,6	
Cu ²⁺ : Zn ²⁺	Cu ²⁺	5,3	4,4
	Zn ²⁺	1,2	
Ni ²⁺ : Co ²⁺	Ni ²⁺	1,1	1,2
	Co ²⁺	0,9	
Ni ²⁺ : Zn ²⁺	Ni ²⁺	1,2	2,0
	Zn ²⁺	0,6	
Co ²⁺ : Zn ²⁺	Co ²⁺	0,3	1,1
	Zn ²⁺	0,2	

Коэффициенты селективности ионов металлов к адсорбенту уменьшаются в следующем ряду:

Pb²⁺ > Cd²⁺ > Cu²⁺ > Ni²⁺ > Co²⁺ > Zn²⁺.
(0,126 нм) (0,099) (0,080) (0,074) (0,078) (0,083)

Ряд селективности ионов тяжелых металлов к исходному активированному углеродному волокну: Cr₂O₇²⁻ > Cu²⁺ > Ni²⁺ > Co²⁺ > Cd²⁺; ряд селективности ионов тяжелых металлов к углеродному волокну, окисленному концентрированной серной кислотой: Cr₂O₇²⁻ > Cu²⁺ > Fe³⁺ > Ni²⁺ > Cd²⁺ > Zn²⁺ > Co²⁺ > Pb²⁺. Установлено, что адсорбция ионов тяжелых металлов на углеродных волокнах проходит по смешанно-диффузионному механизму и не зависит от температуры [1].

Предварительное нанесение на поверхность углеродного волокна мочевины сокращает время установления адсорбционного равновесия с 1,5-2 ч до 40 мин, и повышает степень извлечения висмута до 64%. Модифицирование углеродного волокна тиомочевинной позволяет количественно (99%) извлекать висмут из воды за 20 мин. Степень извлечения олова модифицированным тиомочевинной, волокном возрастает на 14% и достигает 53%. Молибден (VI) и ртуть (II) извлекаются активированным углеродным волокном, модифицированным 15%-ным раствором тиомочевины на 80% и 99%, соответственно. Показано, что 100-кратный избыток щелочных и щелочноземельных металлов не мешает эффективному извлечению металлов из воды. То есть введение на поверхность углеродных волокон гетероатомов-доноров электронной плотности способствует усилению электростатических взаимодействий ионов металлов с модифицированной поверхностью адсорбентов.

Введение в качестве модификаторов в углеродную матрицу фуллеренов посредством импрегнирования также позволяет повысить адсорбционную активность углеродных материалов к металлам [15-19]. Было установлено, что степень извлечения ионов кадмия модифицированными фуллереном C₆₀ активированным и графитированным углеродными волокнами при комнатной температуре и pH=6 составляет 69% и 64%, соответственно, в то время как активированное углеродное волокно извлекает только на 35%, а графитированное волокно не проявляет адсорбционной активности. Улучшение адсорбционных свойств модифицированных углеродных волокон, по сравнению с исходными, обусловлено увеличением количества адсорбционных центров и удельной поверхности адсорбентов.

Таблица 3

Параметры адсорбции фенолов и анилинов на активированном углеродном волокне
Table 3. The parameters of adsorption of phenols and anilines on activated carbon fiber

Адсорбат	a_m , ммоль/г	K	r^2
Фенол	$4,3 \pm 0,2$	3909	0,98
<i>o</i> -Нитрофенол	$6,5 \pm 0,3$	25687	0,99
<i>o</i> -Хлорфенол	$6,5 \pm 0,3$	18026	0,99
<i>o</i> -Метилфенол	$3,9 \pm 0,2$	11464	0,99
<i>n</i> -Нитрофенол	$6,7 \pm 0,3$	19486	0,99
<i>n</i> -Хлорфенол	$6,3 \pm 0,3$	6761	0,99
2,4-Динитрофенол	$11,4 \pm 0,6$	5572	0,98
2,4-Дихлорфенол	$7,2 \pm 0,4$	28233	0,99
2,6-Диметилфенол	$7,6 \pm 0,4$	12871	0,98
3,5-Диметилфенол	$3,6 \pm 0,2$	5929	0,96
<i>o</i> -Нитроанилин	$5,9 \pm 0,3$	80500	0,99
<i>m</i> -Нитроанилин	$6,3 \pm 0,3$	51242	0,99
<i>n</i> -Нитроанилин	$6,8 \pm 0,3$	28256	0,98
<i>o</i> -Хлоранилин	$5,8 \pm 0,3$	42212	0,97
<i>m</i> -Хлоранилин	$7,6 \pm 0,4$	6223	0,99
<i>n</i> -Хлоранилин	$7,5 \pm 0,4$	41641	0,99
2,4-Динитроанилин	$7,9 \pm 0,4$	5118	0,99

Изучение физико-химических закономерностей адсорбции фенолов и анилинов из воды на активированном углеродном волокне показало, что на адсорбцию существенно влияет строение органических молекул адсорбатов, взаимное расположение функциональных групп, способных к физическому взаимодействию с адсорбционными

центрами адсорбента. Установлено, что активированное углеродное волокно обладает высокой адсорбционной активностью к изученным адсорбатам (табл. 3).

Константы адсорбционного равновесия *para*-замещенных производных фенола и анилина несколько ниже, чем *meta*- и *ortho*-производных, функциональные группы которых связаны внутримолекулярной водородной связью и не могут в полной мере принимать участие в адсорбции [20-22].

ВЫВОДЫ

Окисление серной и азотной кислотами АУВ существенно повышает эффективность и селективность извлечения ионов тяжелых металлов из их смесей, а также из минерализованных солями щелочных и щелочноземельных металлов водных сред.

Модифицирование поверхности АУВ и ГУВ органическими модификаторами способствует повышению адсорбционной активности адсорбентов.

Извлечение фенолов и анилинов из воды с помощью АУВ происходит количественно, зависит от взаимного расположения функциональных групп.

Статья издана при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-03-20012.

ЛИТЕРАТУРА

- Валинурова Э.Р., Гимаева А.Р., Кудашева Ф.Х., Игдавлетова Д.К. Сорбция ионов тяжелых металлов из воды активированными углеродными адсорбентами. *Сорбцион. и хроматограф. проц.* 2011. Т. 11. № 3. С. 350-356.
- Валинурова Э.Р., Кудашева Ф.Х., Григорьева А.В., Камалтдинов И.М., Мавлетов М.В., Ковалева Л.А., Ахатов И.Ш. Исследование процесса комплексообразования хрома с модифицированными углеродными волокнами. *Физикохим. пов-ти и защ. мат-лов.* 2015. Т. 51. № 5. С. 483-486. DOI: 10.7868/S0044185615050277.
- Варшавский В.Я. Углеродные волокна. М.: Варшавский. 2007. 500 с.
- Беляева О.В., Голубева Н.С., Великанова Е.С., Гора Н.В. Использование новых углеродных адсорбентов для очистки воды от фенола. *Техн. и технол. пещ. произв-в.* 2012. № 1. С. 1-4.
- Краснова Т.А., Аникина А.В., Беляева О.В. Очистка сточных вод от анилина с использованием углеродных адсорбентов. *Ползунов. вестн.* 2011. № 4-2. С. 152-154.
- Котел Л.Ю., Брчка А.В., Чернявская Т.В. Адсорбция фенола модифицированными многослойными углеродными нанотрубками. *Вестн. Харьков. национал. ун-та.* 2011. № 976. Химия. Вып. 20 (43). С. 192-199.

REFERENCES

- Valinurova E.R., Gimaeva A.R., Kudashева F.Kh., Ig-davletova D.K. Sorption of ions of heavy metals from water by activated carbon adsorbents. *Sorb. Khromatograf. Processy.* 2011. V. 11. N 3. P. 350-356 (in Russian).
- Valinurova E.R., Kudashева F.Kh., Grigorieva A.V., Kamaltdinov I.M., Mavletov M.V., Kovaleva L.A., Akhatov I.Sh. Investigation of the process of chromium complexation with modified carbon fibers. *Fizikokhim. Poverkh. Zashch. Mater.* 2015. V. 51. N 5. P. 483-486 (in Russian) DOI: 10.7868 / S0044185615050277
- Varshavsky V.Ya. Carbon fibers. M.: Varshavsky. 2007. 500 p. (in Russian).
- Belyaeva O.V., Golubeva N.S., Velikanova E.S., Gora N.V. Use of new carbon adsorbents for purification of water from phenol. *Tekh. Tekhnol. Pishchev. Proizv.* 2012. N 1. P. 1-4 (in Russian).
- Krasnova T.A., Anikina A.V., Belyaeva O.V. Wastewater treatment from aniline using carbon adsorbents. *Polzunov. vestn.* 2011. N 4-2. P. 152-154 (in Russian).
- Kotel L.Yu., Brichka A.V., Chernyavskaya T.V. Adsorption of phenol by modified multilayer carbon nanotubes. *Vestn. Kharkov Natsional. Un-ta.* 2011. V. 42. N 20. P. 192-199 (in Russian).
- Zemskova L.A. Modified carbon fibers: sorbents, electrode materials, catalysts. *Vestn. LVO RAN.* 2009. N 2. P. 39-52 (in Russian).

7. **Земскова Л.А.** Модифицированные углеродные волокна: сорбенты, электродные материалы, катализаторы. *Вестн. ДВО РАН*. 2009. № 2. С. 39-52.
8. **Солдатов А.И.** Изучение возможности целевого формирования центров основного характера на углеродной поверхности. *Вестн. ЮУрГУ*. 2008. № 7. С. 105-110.
9. **Тарковская И.А.** Окисленный уголь. Киев: Наукова думка. 1981. 200 с.
10. **Мясоедова Г.В., Саввин С.Б.** Хелатообразующие сорбенты. М.: Наука. 1984. 171 с.
11. **Земскова Л.А., Войт А.В., Шевелева И.В., Миронова Л.Н.** Сорбционные свойства хитозан-углеродных волокнистых материалов. *Журн. физ. химии*. 2007. Т. 81. № 10. С. 1856-1859.
12. **Земскова Л.А., Авраменко В.А., Черных В.В.** Извлечение ионов кадмия (II) серосодержащим углеродным сорбентом. *Журн. прикл. химии*. 2004. Т. 77. № 7. С. 1116-1119.
13. **Басаргин Н.Н., Розовский Ю.Г., Жарова В.М.** Органические реагенты и хелатные сорбенты в анализе минеральных объектов. М.: Наука. 1980. 254 с.
14. **Ревина А.А., Суворова О.В.** Влияние модифицирования поверхности углеродных материалов на адсорбцию наночастиц металлов. Актуальные проблемы адсорбции: (к 115-летию акад. М.М. Дубинина): III Всерос. конф. с междунар. уч. 17-21 октября 2016 г. Москва-Клязьма.
15. **Самонин В.В., Никонова В.Ю., Подвизников М.Л.** Сорбционные свойства модифицированных фуллеренами активных углей по отношению к катионам меди, серебра и свинца в водных растворах. *Журн. физ. химии*. 2008. Т. 82. № 8. С. 1542-1546.
16. **Самонин В.В., Никонова В.Ю., Подвизников М.Л.** Селективность модифицированных фуллеренами активных углей по отношению к смесям катионов цветных металлов в водных растворах. *Журн. физ. химии*. 2008. Т. 82. № 8. С. 1547-1551.
17. **Подвизников М.Л., Самонин В.В., Никонова В.Ю.** Влияние модифицирования поверхности адсорбентов фуллеренами на их сорбционные свойства. *Хим. пром-т сегодня*. 2008. № 11. С. 35-41.
18. **Алексеева О.В., Багровская Н.А., Носков А.В., Кузнецов В.В.** Структурные и адсорбционные свойства полистирола, модифицированного фуллереном. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2012. Т. 55. Вып. 10. С. 108-111.
19. **Багровская Н.А., Алексеева О.В.** Сорбционные свойства целлюлозы, модифицированной фуллеренами. *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2009. Вып. 2 (28). С. 52-59.
20. **Фазылова Г.Ф., Валинурова Э.Р., Хамитов Э.М., Кудашева Ф.Х.** Сорбция производных анилина на углеродной ткани. *Журн. физ. химии*. 2015. Т. 89. № 6. С. 1020-1024. DOI: 10.7868/S0044453715060096.
21. **Фазылова Г.Ф., Валинурова Э.Р., Хатмуллина Р.М., Кудашева Ф.Х.** Сорбционные параметры производных фенолов на различных углеродных материалах. *Сорбцион. и хроматограф. проц.* 2013. № 5. С. 728-735.
22. **Валинурова Э.Р., Фазылова Г.Ф., Хатмуллина Р.М., Кудашева Ф.Х.** Сорбция анилинов из воды углеродными материалами. *Вестн. Башкир. ун-та*. 2010. Т. 15. № 3. С. 604-606.
8. **Soldatov A.I.** Study of the possibility of target formation of centers of a basic character on the carbon surface. *Vestn. SUSU*. 2008. N 7. P. 105-110 (in Russian).
9. **Tarkovskaya I.A.** Oxidized coal. Kiev: Naukova Dumka. 1981. 200 p. (in Russian).
10. **Myasoedova G.V., Savvin S.B.** Chelating-forming sorbents. M.: Nauka. 1984. 171 p. (in Russian).
11. **Zemskova L.A., Voit A.V., Sheveleva I.V., Mironova L.N.** Sorption properties of chitosan-carbon fibrous materials. *Zhurn. Fizich. Khim.* 2007. V. 81. N 10. P. 1856-1859 (in Russian).
12. **Zemskova L.A., Avramenko V.A., Chernykh V.V.** Extraction of cadmium (II) ions with a sulfur-containing carbon sorbent. *Zhurn. Prikl. Khim.* 2004. V. 77. N 7. P. 1116-1119 (in Russian).
13. **Basargin N.N., Rozovsky Yu.G., Zharova V.M.** Organic reagents and chelating sorbents in the analysis of mineral objects. M.: Nauka. 1980. 254 p. (in Russian).
14. **Revina A.A., Suvorova O.V.** Influence of modifying the surface of carbon materials on adsorption of metal nanoparticles // Actual problems of adsorption: (to the 115 th anniversary of Academician M.M. Dubinin): III All-Russian Conference with International Participation, October 17-21, 2016, Moscow-Klyazma. (in Russian).
15. **Samonin V.V., Nikonova V.Yu., Podvayznikov M.L.** Sorption properties of active carbons modified with fullerenes in relation to cations of copper, silver and lead in aqueous solutions. *Zhurn. Fizich. Khim.* 2008. V. 82. N 8. P. 1542-1546 (in Russian).
16. **Samonin V.V., Nikonova V.Yu., Podvayznikov M.L.** The selectivity of active carbon modified with fullerenes relative to mixtures of cations of non-ferrous metals in aqueous solutions. *Zhurn. Fizich. Khim.* 2008. V. 82. N 8. P. 1547-1551 (in Russian).
17. **Podvayznikov M.L., Samonin V.V., Nikonova V.Yu.** Influence of surface adsorbents surface modification on their sorption properties. *Khim..Promysh. Segodnya*. 2008. N 11. P. 35-41 (in Russian).
18. **Alekseeva O.V., Bagrovskaya N.A., Noskov A.V., Kuznetsov V.V.** Structural and adsorption properties of polystyrene modified with fullerene. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2012. V. 55. N 10. P. 108-111 (in Russian).
19. **Bagrovskaya N.A., Alekseeva O.V.** Sorption properties of cellulose modified with fullerenes. *Zhid. Krist. Prakt. Ispolz.* 2009. V. 28. N 2. P. 52 - 59 (in Russian).
20. **Fazylova G.F., Valinurova E.R., Khamitov E.M., Kudasheva F.Kh.** Sorption of aniline derivatives on carbon fabric. *Zhurn. Fizich. Khim.* 2015. V. 89. N 6. P. 1020-1024 (in Russian). DOI: 10.7868/S0044453715060096.
21. **Fazylova G.F., Valinurova E.R., Khatmullina R.M., Kudasheva F.Kh.** Sorption parameters of phenol derivatives on various carbon materials. *Sorp. Khromat.Prots.* 2013. N 5. P. 728-735 (in Russian).
22. **Valinurova E.R., Fazylova G.F., Khatmullina R.M., Kudasheva F.Kh.** Sorption of anilines from water by carbon materials. *Vestn. Bashkir. Un-ta*. 2010. V. 15. N 3. P. 604-606 (in Russian).

Поступила в редакцию 15.06.2018

Принята к опубликованию 08.10.2018

Received 15.06.2018

Accepted 08.10.2018