

УДК 546.562; 546.722; 546.742; 546.732; 546.47; 546.26; 544.723.212

А. Д. Милютина*, В. А. Колесников, А. В. Колесников

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия
125047, Москва, Миусская пл., д. 9.* e-mail: alenchik-1991@mail.ru**СОРБЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+}**

Статья посвящена адсорбционному процессу извлечения ионов меди (II), цинка (II), никеля (II), кобальта (II) и железа (II) на углеродных наноматериалах (УНМ). Выявлено, что результат адсорбции зависит от сорбента и его поверхностных свойств. При сравнении величин сорбции ионов тяжелых металлов, получены ряды адсорбционной активности (по возрастанию) для каждого углеродного наноматериала.

Ключевые слова: адсорбция, цветные металлы, углеродные наноматериалы, углеродные нанотрубки.

Углеродные наноматериалы обладают большим потенциалом для адсорбционного удаления цветных и редкоземельных металлов из технологических растворов, органических красителей и ПАВ. Большое количество исследований проводят по межфазным свойствам УНМ, физическим и химическим механизмам, влияющим на подвижность, токсичность и сорбционные свойства материалов [1, 2].

Учитывая уникальные свойства УНМ и их перспективы применения в данной работе проводится экспериментальный материал по исследованию адсорбции ионов цветных металлов из их водных растворов. Характеристики образцов представлены в таблице 1.

Сорбционные опыты проводили путем добавления углеродных наноматериалов в раствор электролита, содержащего ионы тяжелых металлов с концентрацией 1 - 250 мг/л. Процесс проводится при постоянном перемешивании и фиксированном значении pH.

По истечению времени эксперимента суспензия электролита с УНМ тщательно фильтровалась. Из фильтрата бралась проба для определения остаточной концентрации ионов тяжелых металлов.

Величина сорбции углеродных наноматериалов Γ , (мг/г):

$$\Gamma = \frac{(C_{\text{исх}} - C_{\text{кон}}) \cdot V_{\text{эл}}}{m}$$

где $C_{\text{исх}}$ и $C_{\text{кон}}$ – начальная и конечная концентрация ионов тяжелых металлов, мг/л; $V_{\text{эл}}$ –

объем электролита, л, и m – масса УНМ, г, измеряется атомно-абсорбционным спектрометром КВАНТ-АФА по ГОСТ 51309-99.

Исследования выполнялись с использованием аналитического оборудования центра коллективного пользования РХТУ им. Д.И.Менделеева.

Экспериментальные данные по адсорбции ионов меди(II), никеля(II), цинка(II), кобальта (II) и железа (II) представлены в таблице 2. Эксперименты проводились в определенных условиях: pH=4,0±0,2 ед. pH, $\phi = 30$ мин, $t=20^\circ\text{C}$, концентрация УНМ 0,1 г/40 мл электролита.

Анализ показывает, что с увеличением концентрации электролита в диапазоне 1 – 200 мг/л наблюдается увеличение величины адсорбции. При концентрации выше 200 мг/л значения адсорбции в расчете на мг/г адсорбента достигают своего максимума и не изменяются.

Как видно из данных таблицы 2, природа адсорбента влияет на адсорбционную способность по-разному. Выбор адсорбента для ионов меди(II) и кобальта(II) практически не влияет на величину адсорбции, в отличие от ионов железа (II), никеля(II) и цинка (II). Величина адсорбции ионов железа и никеля достигает своего максимума на углеродных наночешуйках – 43 мг/г и 41 мг/г, соответственно. Для ионов цинка предельное значение адсорбции (71 мг/г) достигается при использовании адсорбента УНТ.

Таблица 1. Основные характеристики образцов

Характеристика	Образцы УНМ	
	УНТ	УНЧ
Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	250 - 1500	>1800
Удельное сопротивление, $\text{Ом}\cdot\text{см}$	0,04-0,06	0,04-0,06
Насыпной вес, $\text{г}/\text{см}^3$	0,12-0,2	0,12-0,2
Химический состав	C > 90%, O 1-6%, Cl < 1%, Co < 5%, Mo < 1%	C > 95%, O 1-5%, Cl < 0,5%
Зольность	менее 0,5%	менее 0,5%

Таблица 2. Зависимость адсорбции ионов металлов (II) на углеродных нанотрубках (УНТ)

C _{исх.} , мг/л	Г, мг/г									
	Cu ²⁺		Ni ²⁺		Zn ²⁺		Co ²⁺		Fe ²⁺	
	УНТ	УНЧ	УНТ	УНЧ	УНТ	УНЧ	УНТ	УНЧ	УНТ	УНЧ
1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,05	0,1	0,2	0,7
10	0,8	1,1	4,1	4,3	3,3	3,3	0,9	1,0	2	8
100	3,4	8,0	13	22	7,0	4,6	5,5	3,6	5	14
150	7,4	9,8	17	35	23	7,0	26	14	13	27
200	15	10	27	40	69	11	39	20	14	33
250	18	11	29	41	71	23	43	43	15	43

При сравнении адсорбции пяти ионов Cu²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺, Co²⁺, Fe²⁺ ряд адсорбционной активности выглядит так (по возрастанию):

для УНЧ: Cu < Zn < Ni < Fe ≈ Co

для УНТ: Fe < Cu < Ni < Co < Zn

Проведены исследования по адсорбционному извлечению редкоземельных элементов La(III) и Nd(III) на углеродных наночешуйках. Установлено, что стационарные значения величин адсорбции достигаются за 30-60 минут в зависимости от концентрации адсорбата. Адсорбционная емкость возрастает с увеличением pH в интервале 2-10. В

области pH > 7,0 наблюдается образование дисперсной фазы La(OH)₃.

Более полно результаты представлены в работе [2].

Таким образом, выявленные закономерности и результаты дают представление о кинетических особенностях адсорбционного извлечения ионов тяжелых металлов на поверхности углеродных наноматериалов (УНТ и УНЧ).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-29-00194) Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева.

Милюткина Алёна Дмитриевна, аспирант кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва

Колесников Владимир Александрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии неорганических веществ и электрохимических процессов РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва

Колесников Артём Владимирович к.х.н., с.н.с технопарка «Экохимбизнес» РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва.

Литература

1. С.С. Гражулене, А.Н. Редькин, Г.Ф. Телегин, А.В. Баженов и др. Сорбционные свойства углеродных нанотрубок в зависимости от температуры и последующей обработки // Журнал аналитической химии. – 2010. – Т. 65. № 7. – С. 699-706.
2. Alaa M. Younis, Artem V. Kolesnikov. Efficient removal of La(III) and Nd(III) from aqueous solutions using carbon nanoparticles // American Journal of Analytical Chemistry. – 2014. – Vol. 5. № 17. – P. 1273 – 1284.

Miluytina Alyona Dmitrievna, Kolesnikov Vladimir Alexandrovich, Kolesnikov Artem Vladimirovich*

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

* e-mail: alenchik-1991@mail.ru

SORPTION CHARACTERISTICS OF CARBON NANOMATERIALS IN RELATION TO IONS OF Cu²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺, Co²⁺, Fe²⁺

Abstract

The article is devoted to the adsorption process of extraction of ions of copper(II), zinc(II), nickel (II), cobalt (II) and iron(II) on carbon nanomaterials(CNM). It is revealed that the result of adsorption depends on the adsorbent and its surface properties. When the values of sorption of heavy metal ions was compared, the series of adsorption activity (in ascending order) for each carbon nanomaterial was received.

Key words: adsorption, non-ferrous metals, carbon nanomaterials, carbon nanotubes.