

массы. Лучшие результаты получены для образца с концентрацией наполнителя 10 мас. %. Согласно данным табл. 1 и 2 температура 50%-ной потери массы для образца с содержанием наполнителя 10 мас. % на 57,6 °С выше, чем для исходного эпоксидного полимера. Потеря массы при температуре 1000 °С для этого же образца на 21,6 % ниже по сравнению с исходным полимером. Борная кислота при нагреве разлагается с выделением воды. Реакция разложения борной кислоты происходит в две стадии, которые начинаются при температурах 110 и 150 °С и заканчивается при 400 °С. Реакция разложения борной кислоты является эндотермической, что приводит к охлаждению полимерной матрицы.

**Таблица 1.** Остаточная масса образцов при различных температурах, %

T, °C \ C, мас. %	100	200	300	400	500	600	1000
0	99,6	99,3	97,3	25,0	15,4	12,3	4,8
1,0	99,3	98,8	96,5	27,4	13,9	11,8	9,1
2,5	99,4	98,8	96,7	39,5	21,1	17,9	15,2
5,0	98,9	97,9	95,9	48,9	28,2	23,6	20,4
10,0	98,4	96,3	94,3	63,4	36,5	30,1	26,4

**Таблица 2.** Значения температуры при фиксированных потерях массы, °С

Δm, % \ C, мас. %	5	10	20	30	50
0	319,0	335,1	347,0	354,1	367,7
1,0	312,1	332,0	348,5	357,8	372,8
2,5	315,6	338,1	355,9	347,9	387,7
5,0	309,7	338,7	359,6	371,8	397,9
10,0	286,3	334,8	369,2	389,5	425,3

Таким образом, исследование термической деструкции эпоксидных полимеров, модифицированных высокодисперсными порошками борной кислоты, показало, что влияние борной кислоты на показатели термической деструкции зависит от концентрации наполнителя. При нагревании эпоксидных композиций до 1000 °С наблюдалось увеличение выхода остатка по окончании деструкции, а также повышение температур, при которой происходит фиксированная потеря массы образцов. Это свидетельствует о положительном влиянии наполнителя на течение процесса термической деструкции и эффективности введения борной кислоты в качестве добавки в эпоксидную смолу для снижения горючести.

#### Список литературы:

1. Ли Х., Невилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам. – М.: Энергия, 1973. – 415 с.
2. Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М.: Химия, 1982. – 232 с.
3. Брык М.Т. Деструкция наполненных полимеров. М.: Химия, 1989. – 192 с.
4. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов. – М.: Химия, 1980. – 274 с.
5. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. – М.: Мир, 1965. – 216 с.

#### Получение образцов материалов методом электроискрового диспергирования и исследование их свойств

*Немцова О.А., Лемачко А.Н., Мартемьянов Д.В., Мухортова Ю.Р. Журавков С.П.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

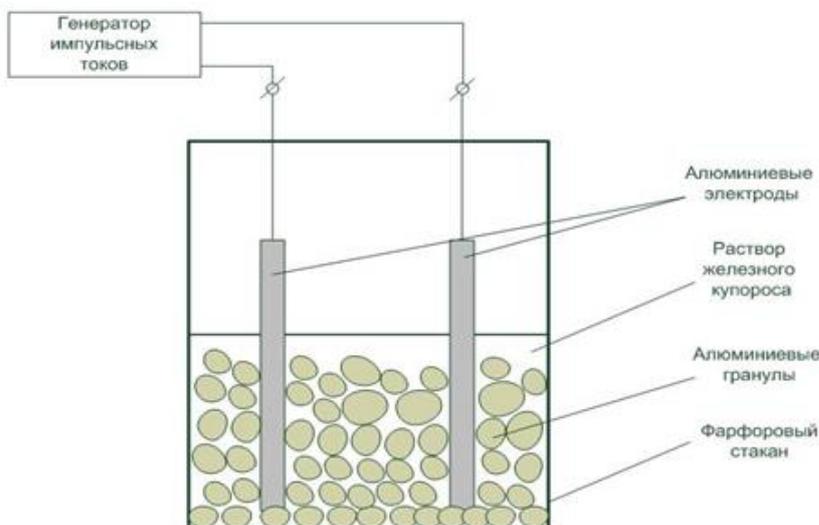
Одной из важных проблем, стоящих сегодня перед обществом, является обеспечение населения чистой питьевой водой [1, 2]. Среди различных методов водоочистки, в последнее время всё большее распространение получает использование новых видов наноструктурных сорбционных материалов [3-5]. Среди различных видов загрязнений гидросферы, особую роль

играют тяжёлые металлы [6, 7]. Присутствующие в воде ионы тяжёлых металлов имеют высокую токсичность и при попадании в клетки живых организмов они способны к биоаккумуляции, с дальнейшей биомагнификацией. Поэтому очистка водных сред от соединений тяжёлых металлов является чрезвычайно важным процессом, а создание новых видов наноструктурных сорбентов, для удаления тяжёлых металлов из воды, имеет актуальное значение.

Существуют различные методы получения образцов наноструктурных материалов, такие как: золь-гель процесс, электроискровое диспергирование, электровзрыв [8]. Далее, полученные наноструктурные материалы можно использовать в создании сорбционных материалов. Подробнее рассмотрим метод электроискрового диспергирования, при получении наноструктурных материалов, с целью дальнейшего их использования в сорбционных процессах. Подтверждение того, что образцы материалов, полученные данным методом, находятся именно в наноструктурном состоянии, отражено в следующих работах [9-10].

Целью данной работы явилось исследование физико-химических и сорбционных свойств образцов наноструктурных материалов на основе алюминия и железа, полученных методом электроискрового диспергирования для очистки водных растворов от ионов цинка ( $Zn^{2+}$ ) и меди ( $Cu^{2+}$ ).

На рисунке 1 представлена схема экспериментальной установки для получения исследуемых образцов, состоящей из фарфорового стакана ( $V = 1 \text{ дм}^3$ ), в который помещались алюминиевые электроды, металлическая загрузка, рабочая жидкость. Под действием импульсов электрической энергии между гранулами Al, находящимися в межэлектродном промежутке, возникает множество микроударов, вызывающих эрозию гранул. Напряжение подаваемое на электроды было в диапазоне  $U = 500 \text{ В}$ , с частотой  $f = 400 \text{ Гц}$ . В качестве электродов использовались стержни из алюминиевой проволоки диаметром 0,4 см. Расстояние между электродами составляло 10 см. Металлическая загрузка представляла алюминиевые гранулы диаметром 0,3 – 0,5 см, массой 100 г. Рабочей жидкостью, при получении образца №1, являлась дистиллированная вода. В экспериментах по получению образцов №2, №3, №4, в качестве рабочей жидкости использовали водные растворы, содержащие 1 г, 2 г и 3 г железосодержащего реагента соответственно. Объём используемой рабочей жидкости  $500 \text{ см}^3$ . В качестве железосодержащего реагента использовали сульфат железа ( $FeSO_4$ ). Время обработки рабочего раствора импульсными электрическими разрядами составляло 5 минут. Образцы получены в виде коллоидного раствора,



далее производилось отстаивание и выпаривание рабочей жидкости (воды), до получения порошкообразной массы.

Рисунок 1. Схема получения исследуемых образцов методом электроискрового диспергирования

Для оценки структурных характеристик полученных образцов наноструктурных материалов использовали

метод тепловой десорбции азота. По данным измерения оценивали величину площади удельной поверхности ( $S_{уд}$ ) и значения удельного объема пор ( $P$ ) образцов с использованием анализатора «СОРБОМЕТР М».

Сорбция ионов  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  проводилась в статическом режиме, с использованием магнитной мешалки, при скорости вращения до 200 об/мин. Для проведения эксперимента брали навеску исследуемого образца массой ( $m$ ) 0,2 г, помещали её в стеклянный стакан ( $100 \text{ см}^3$ ), заливали  $20 \text{ см}^3$  раствора ( $V$ ) с начальной концентрацией ( $C_0$ )  $Cu^{2+} = 10 \text{ мг/дм}^3$  и ( $C_0$ )  $Zn^{2+} = 5 \text{ мг/дм}^3$ . Модельные растворы готовили на дистиллированной воде с использованием ГСО состава растворов ионов цинка и меди. Процесс осадительной сорбции для исследуемого образца проводили при времени контакта 60 минут. После проведения процесса сорбции, раствор отделяли

от сорбента центрифугированием при 10000 об/мин. и определяли равновесные концентрации адсорбатов ( $C_p$ ). Концентрации ионов  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ , определяли методом инверсионной вольтамперометрии [11].

В таблице 1 представлены некоторые физико-химические параметры исследуемых образцов материалов: удельная поверхность и удельный объем пор.

Таблица 1. Физико-химические характеристики наноструктурных материалов

Образец	$S_{уд}, м^2/г$	$P, см^3/г$
№ 1	47,1	0,02
№ 2	109,4	0,047
№ 3	148,8	0,064
№ 4	155,4	0,067

Как видно из таблицы 1, с увеличением железосодержащего компонента в образце исследуемого материала, наблюдается увеличение удельной поверхности и удельного объема пор.

Сорбционные характеристики исследуемых образцов материалов, при очистке модельных растворов от ионов  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ , в процессах статической сорбции, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Адсорбционные характеристики исследуемых образцов материалов

Образец	Элемент	Концентрация элемента в растворе до сорбции, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрация элемента в растворе после сорбции, мг/дм <sup>3</sup>	Степень сорбции, %
№ 1	$Zn^{2+}$	5	1,8	64
	$Cu^{2+}$	10	7,7	23
№ 2	$Zn^{2+}$	5	3	39,2
	$Cu^{2+}$	10	7,2	27,5
№ 3	$Zn^{2+}$	5	2,8	43,6
	$Cu^{2+}$	10	6,7	33
№ 4	$Zn^{2+}$	5	3,4	32
	$Cu^{2+}$	10	2,9	71,2

Из приведенных в таблице 2 экспериментальных результатов видно, что при проведении сорбции ионов меди из растворов, степень очистки воды возрастает с увеличением железосодержащего компонента в образце. Сорбционная эффективность при извлечении ионов цинка из раствора, показывает обратную зависимость. Образец № 1, содержащий соединения алюминия, без добавок соединений железа, показывает лучшую сорбционную способность. При добавлении же железосодержащего компонента в образцы (№ 2, № 3, № 4), наблюдается снижение сорбционной эффективности тестируемых материалов применительно к извлечению ионов цинка из раствора.

#### Выводы

1. Получены образцы материалов, обладающие сорбционной способностью по отношению к ионам  $Zn^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ .
2. Обнаружено, что присутствие в рабочей жидкости солей железа, позволяет увеличить величину удельной поверхности образцов, при этом сорбционная эффективность по отношению к ионам  $Cu^{2+}$  возрастает, а по отношению к ионам  $Zn^{2+}$  ухудшается.

#### Список литературы:

1. Фрог Б. Н., Левченко А. П. Водоподготовка. – М.: МГУ, 1996. – 680 с.
2. Черняев А. М., Дальков М. П., Розенберг Г. С. и др. Вода России. Речные бассейны. – Екатеринбург: «АКВА-ПРЕСС», 2000. – 536 с.
3. Мартемьянов Д. В., Короткова Е. И., Галанов А. И. Сорбционные материалы нового поколения для очистки водных сред от микробиологических загрязнений // Вестник Карагандинского университета. 2012. № 3. – С. 61-65.

4. Мартемьянов Д. В., Галанов А. И., Юрмазова Т. А., Короткова Е. И., Плотников Е. В. Сорбция ионов  $As^{3+}$ ,  $As^{5+}$  из водных растворов на вермикулитобетоне и газобетоне модифицированных оксигидроксидом железа // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2014. Том 57. Вып. 11. – С. 30-33.
5. Мартемьянов Д. В., Галанов А. И., Юрмазова Т. А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов  $As^{3+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Ni^{2+}$  из водных сред // Фундаментальные исследования № 8 (часть 3), 2013 год. С. 666-670.
6. Фекленко А. Ю. Тяжёлые металлы и их опасность // Экологический Вестник России. 2010. - № 5. - С. 26.
7. Байдина Н. Л. Инактивация тяжелых металлов гумусом и цеолитами в техногеннозагрязненной почве // Почвоведение. – 1994. – №9. – С. 121 – 125.
8. Журавков С. П., Плотников Е. В., Мартемьянов Д. В., Яворовский Н. А., Xasse U., Zander S. Изучение свойств наноразмерных частиц серебра, полученных электроимпульсным методом // Известия вузов. Физика, 2013. - Т. 56. - № 7/2. с. 141-145.
9. Plotnikov Evgenii, Zhuravkov Sergey, Gapeyev Andrew, Plotnikov Vladimir, Martemiyarov Dmitry Investigation of Genotoxicity of Gold Nanoparticles Prepared by the Electric Spark Dispersion Method // Advanced material research. Volume 1040 P. 65-70. ISSN print 1022-6680, ISSN cd 1022-6680, ISSN web 1662-8985.
10. Zhuravkov Sergey, Plotnikov Evgeny, Martemiyarov Dmitry, Yavorovsky Nikolay, Hasse Ulrich, Zander Stefan Properties of Silver Nanoparticles Prepared by the Electric Spark Dispersion Method // Advanced material research. Vol. 872 (2014), P. 74-78. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.872.74.
11. Скачков В. Б., Ластенко Н. С., Иванов Ю. А., Хустенко Л. А., Назаров Б. Ф., Заичко А. В., Иванова Е. Е., Носова Г. Н., Толмачёва Т. П. Измерение массовой концентрации химических веществ методом инверсионной вольтамперометрии: Сборник методических указаний. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – С. 271.

#### Состав и свойства электровзрывных нанопорошков меди после длительного хранения

*Амелькович Ю.А., Назаренко О.Б., Сечин А.И., Фрянова К.О.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия*

Нанопорошки (НП) меди благодаря своим уникальным свойствам являются перспективными материалами для их применения в качестве катализаторов [1], для получения высокотемпературной сверхпроводящей керамики [2] и электропроводящих клеев [3], в медицине [4]. Одним из методов получения НП меди является электрический взрыв проводников (ЭВП), в процессе которого под действием импульсного электрического тока большой плотности происходит диспергирование материала проводника и формирование нанодисперсных порошков. Чтобы избежать разогрева и спекания НП металлов после их получения в среде инертных газов проводится операция пассивирования медленным контролируемым напуском воздуха в разрядную камеру. При этом на частицах формируется защитная оксидная оболочка. Пассивированные НП металлов относительно устойчивы к окислению при хранении [5].

Нанодисперсные металлы в производственном цикле подвергаются действию таких факторов как тепло, влага и др. Происходящие при этом физико-химические превращения могут привести к изменению функциональных свойств наноматериалов, а также стать причиной пожара или взрыва. Поэтому проблеме обеспечения безопасности нанодисперсных металлов необходимо уделять внимание. В данной работе исследован фазовый состав, морфология и термическая устойчивость НП меди после длительного хранения. НП меди были получены в ООО «Передовые порошковые технологии» методом электрического взрыва медных проводников в среде аргона и углекислого газа и хранились 10 лет. Изучение свойств проводилось методами рентгенофазового (дифрактометр Shimadzu XRD-7000) и термического (термоанализатор ТГА/ДСК/ДТА SDT Q600) анализа, просвечивающей электронной микроскопии (JEM-2100F), ИК-спектроскопии (ИК-Фурье спектрометр Nicolet 5700).

Согласно данным рентгенофазового анализа (РФА) в составе исследуемых порошков присутствуют кристаллические фазы металлической меди и оксиды меди  $Cu_2O$  и  $CuO$ . В то же время известно, что для свежеполученных электровзрывных медных НП характерно наличие аморфных оксидных соединений в поверхностном слое [6]. В образце НП меди, полученном в