

9. Моделирование и виртуальное прототипирование / И. И. Косенко, Олейник Андрей Владимирович, Л. В. Кузнецова, А. В. Николаев, А. В. Олейник. – Москва: Альфа-М, 2016. – 176 с.

10. Моделирование и макетирование в промышленном дизайне: учебное пособие / В.Г. Быстров, Е.А. Быстрова, Ю.Р. Муратов, М. В. Панкина. – Екатеринбург: Уральский государственный архитектурно-художественный университет, 2021. – 252 с.

11. Дорофеюк, Н. В. Макетирование как метод моделирования объектов предметно-пространственной среды при изучении основ архитектурнодизайнерского проектирования / Н. В. Дорофеюк, Ю. О. Костина // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2014. – № №1. – С. 54.

УДК 66.081.3

**О.А. Ананьева, А.Е. Бураков, И.В. Буракова, В.О. Яркин,
Т.С. Кузнецова, А.Г. Ткачѳв**

Тамбовский государственный технический университет
Тамбов, Россия

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ
КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГРАФЕНА,
МОДИФИЦИРОВАННЫЙ БИОПОЛИМЕРАМИ – ЛИГНИН И
ХИТОЗАН**

Аннотация. Разработан синтез нового гибридного наноструктурированного сорбента на основе оксида графена, модифицированного хитозаном и лигнином. Изучена кинетика жидкофазной адсорбции ионов свинца и молекул метиленового синего (МС) на разработанном материале. Установлено, что сорбционная емкость составляет 1849,8 мг/г по МС и 324,6 мг/г по ионам свинца при времени сорбции 15 мин.

**O.A. Ananyeva, A.E. Burakov, I.V. Burakova, V.O. Yarkin,
T.S. Kuznetsova, A.G. Tkachev**

Tambov State Technical University
Tambov, Russia

**FUNCTIONAL NANOSTRUCTURED COMPOSITE BASED
ON GRAPHENE OXIDE, MODIFIED WITH BIOPOLYMERS -
LIGNIN AND CHITOSAN**

***Abstract.** The synthesis of a new hybrid nanostructured sorbent based on graphene oxide modified with chitosan and lignin was developed. The kinetics of liquid-phase adsorption of lead ions and methylene blue molecules on the developed material was studied. It was found that the sorption capacity is 1849.8 mg/g for MB and 324.6 mg/g for lead ions at a sorption time of 15 minutes.*

Мировое научное сообщество возлагает большие надежды на углеродные наноматериалы, ввиду их уникальных структурных, теплофизических и химических свойств. Кроме того, углеродные наноматериалы могут быть получены из природного органического сырья и, следовательно, являются экологически безопасными [1].

Присущие углеродным наноматериалам свойства, такие как размер в наномасштабе, развитая поверхность, реализация макроквантовых и квантовых эффектов, способствуют их высокой реакционной способности, адсорбционной активности и эффективности, в частности, при очистке сточных вод, технической и бытовой водоподготовке, ремедиации техногенно-деградированных водных систем [2].

Среди всех углеродных наноматериалов особенно выделяется графен, либо его окисленная форма – оксид графена, которые обладают уникальными характеристиками, включая значительную реакционную активность, высокую удельную поверхность, отличные механические, электрические и термические свойства [3].

Тем не менее, промышленное применение различных форм графена для удаления токсичных загрязнителей различной химической природы ограничено из-за недостаточной адсорбционной эффективности, относительной сложности и неочевидной экономической целесообразности промышленного производства подобных сорбентов. Чтобы преодолеть это, необходимо повысить адсорбционную способность и активность подобных наноматериалов путем их модифицирования и функционализации биомолекулами, полимерами и неорганическими соединениями [3].

За последнее время существенно возрос интерес к модифицированию графеновых материалов «зелеными» биополимерами, в частности, хитозаном, лигнином.

Лигнин - одна из трех основных биомакромолекул лигноцеллюлозной биомассы, обладает большим количеством кислородсодержащих функциональных групп, таких как фенольные гидроксильные группы, и трехмерной структурой, и является

логичным кандидатом для синтеза и модифицирования адсорбентов [4]. Хитозан представляет собой деацетилированный продукт хитина (второго по распространенности полисахарида в мире после целлюлозы), это общедоступный бюджетный природный продукт [5].

Целью работы является синтез и исследование физико-химических свойств сорбционного материала на основе ОГ, модифицированного хитозаном и лигнином, а также оценка сорбционной способности полученного нанокompозита по отношению к загрязнителям различной химической природы.

Получение нанокompозита заключалось в следующем: в исходную суспензию оксида графена (1 мас.% суспензия производства ООО «НаноТехЦентр», г. Тамбов, Россия) добавили 1 М раствор NaOH для доведения смеси до pH=10. Далее источник лигнина – лигносульфонат (ЛС) порошкообразный (ООО «АКВАХИМ», г. Казань, Россия) растворили в дистиллированной воде, предварительно нагретой до 70 °С, в течение 30 мин. Остывший ЛС добавили в суспензию ОГ и продолжили перемешивание в течение 10 мин. В полученную смесь ОГ/ЛС добавляли сшивающий агент – хитозан (X) C₆H₁₂NO₄ (Fengchen Group Co., Ltd., China), предварительно растворенный в растворе уксусной кислоты (1,5 М CH₃COOH). Для лучшего распределения хитозана в смеси ОГ/ЛС, проводили перемешивание с использованием УЗ в течение 10 мин. Для образования гидрогеля, полученную смесь ОГ/ЛС/X подвергали нагреву в течение 24 ч при 90 °С.

Завершающим этапом синтеза являлась загрузка гидрогеля ОГ/ЛС/X в лиофильную сушилку (Scientz-10n, China) для замораживания образца до -30 °С и последующей лиофилизации в течение 48 ч, что способствует образованию пористого каркаса вследствие сублимации растворителя. Для выявления лучшего соотношения ОГ, ЛС и X были выбраны следующие пропорции смеси: 100:1:1, 20:1:1, 10:1:1, 5:1:1, 2:1:1, 1:1:1.

Структура и морфология полученного материала были исследованы с помощью сканирующей (СЭМ) и просвечивающей (ПЭМ) электронной микроскопии (рис. 1).

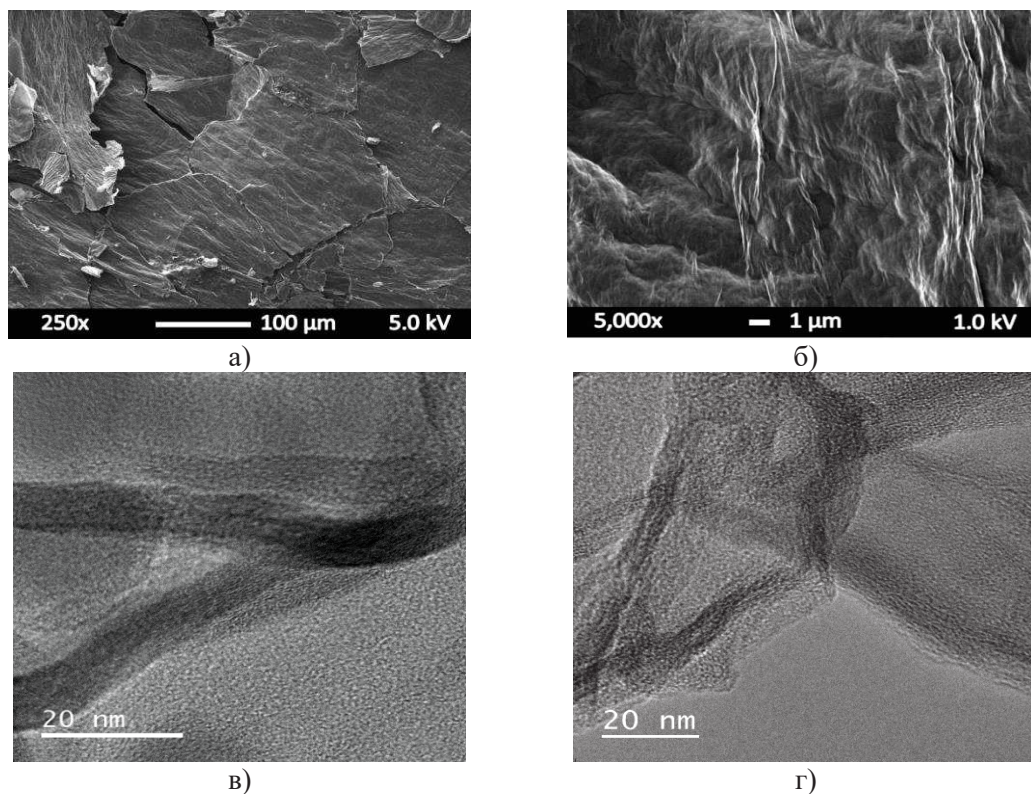


Рис. 1 - СЭМ (а, б) и ПЭМ (в, г) изображения нанокompозита ОГ/ЛС/Х (20:1:1)

Согласно полученным СЭМ и ПЭМ изображениям (рис. 1), микроструктура нанокompозитов представляет собой плотные слои материала, равномерно покрытые графеновыми листами. Отмечается, что на микроуровне не выявлено дефектов графеновой структуры.

Для определения сорбционной способности нанокompозитов по отношению к ионам Pb^{2+} и молекулам метиленового синего (МС) были проведены кинетические эксперименты в ограниченном объеме. Условия проведения эксперимента: 0,01 г сорбента, 30 мл раствора с $C_0=100$ мг/л для Pb^{2+} и $C_0=1500$ мг/л для МС при $pH=6$, время сорбции – 10 мин. Оптическую плотность растворов синтетического красителя определяли на спектрофотометре ПЭ-5400В (ООО «Экрес-Инжиниринг», Санкт-Петербург, Россия) при длине волны $\lambda=815$ нм. Равновесную концентрацию ионов тяжелых металлов в водных растворах измеряли с помощью энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии (спектрометр ARLQuant ThermoScientific, ThermoScientific, США).

В результате проведенных экспериментальных исследований по определению наилучшего соотношения исходных компонентов ОГ/ЛС/Х получены данные, приведенные на рис. 2.

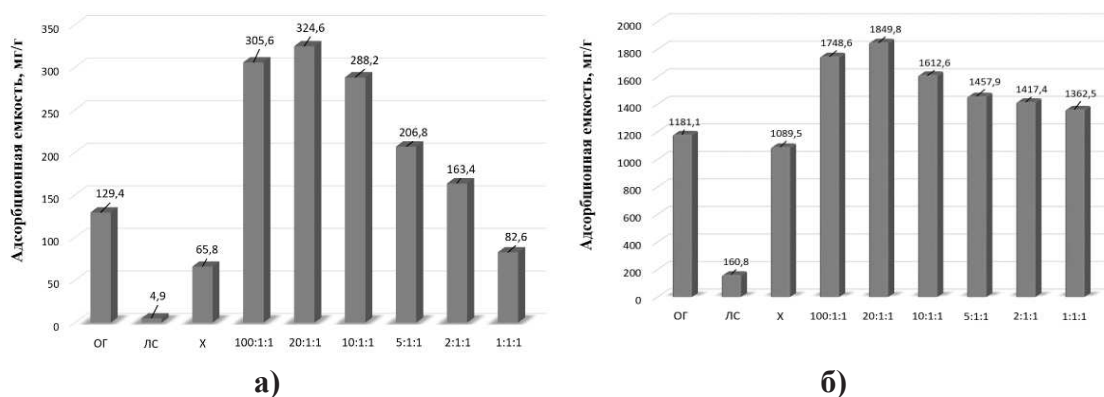


Рис. 2 - Сорбционная способность различных партий нанокompозита ОГ/ЛС/Х по ионам свинца (а) и по молекулам красителя МС (б)

Согласно рис. 2 установлено, что максимальную сорбционную емкость как по МС – 1849,8 мг/г, так и по ионам Pb²⁺ – 324,6 мг/г демонстрируют нанокompозиты с массовым соотношением «оксид графена : лигносульфонат : хитозан» равным 20:1:1. Увеличение относительного содержания в композите смеси лигносульфоната и хитозана способствует уменьшению показателей адсорбции обоих поллютантов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-20074, <https://rscf.ru/project/22-13-20074>

Список использованных источников

1. Mauter M.S., Elimelech M. Environmental applications of carbon-based nanomaterials. *Environmental Science and Technology*, 2008, vol. 42, no. 16, pp. 5843-5859.
2. Yang J., Hou B., Wang J., Tian B., Bi J., Wang N., Li X., Huang X. Nanomaterials for the removal of heavy metals from wastewater. *Nanomaterials*, 2019, vol. 9, no. 3, pp. 424.
3. Dreyer D.R., Park S., Bielawski C.W., Ruoff R.S. The chemistry of graphene oxide. *Chemical Society Reviews*, 2010, vol. 39, no. 1, pp. 228-240.
4. Qian H., Wang J., Yan L. Synthesis of lignin-poly(N-methylaniline)-reduced graphene oxide hydrogel for organic dye and lead ions removal. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 2020, vol. 5, no. 3, pp. 204-210.
5. Van Hoa N., Minh N.C., Cuong H.N., Dat P.A., Nam P.V., Viet P.H.T., Phuong P.T.D., Trung T.S. Highly porous hydroxyapatite/graphene

oxide/chitosan beads as an efficient adsorbent for dyes and heavy metal ions removal. *Molecules*, 2021, vol. 26, no, 20, pp. 6127.

УДК 666.7

З.А. Бабаханова¹, Х.Н. Акбарходжаева², Ш. Содикова¹

¹Ташкентский химико-технологический институт

²Ташкентский медицинский педиатрический институт
Ташкент, Узбекистан

СИНТЕЗ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Аннотация. Изучена возможность получения технической керамики корундового состава с использованием кремний-органических связок. Введение силикона способствует образованию шпинели и силлиманита при более низких температурах и спеканию керамических образцов при 1500 °С.

Z.A. Babakhanova¹, Kh.N. Akbarkhodjaeva², Sh. Sodiqova¹

¹Tashkent Institute of Chemical Technology

²Tashkent Medical Pediatric Institute
Tashkent, Uzbekistan

SYNTHESIS OF CORUNDUM CERAMICS USING THERMOSETTING POLYMER COMPOUNDS

Abstract. The possibility of producing technical ceramics of corundum composition using silicon-organic binders has been studied. The introduction of silicone promotes the formation of spinel and sillimanite at lower temperatures and sintering of ceramic samples at 1500 °C.

Керамические материалы технического назначения демонстрируют широкий спектр свойств, которые обеспечивают их использование во многих отраслях промышленности. Использование технической керамики в быту включает в себя изготовление огнеупорной и термостойкой посуды, керамических поверхностей плит, линз, бытовой электроники, микроволновых преобразователей; в автомобилестроении они используются при изготовлении каталитических нейтрализаторов, керамических фильтров, датчиков подушек безопасности, керамических роторов, клапанов, свечей