АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD) по образовательной программе 8D07113 – «Наноматериалы и нанотехнологии в химии»

Таурбеков Азамат Таттибекович

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОБУМАГИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ВОЛЛАСТОНИТА

Общая характеристика работы.

Диссертация посвящена разработке нанобумаги с улучшенными механическими и электрохимическими характеристиками из отходов растительного происхождения (скошенная трава, рисовая шелуха, скорлупа грецкого ореха).

Актуальность темы исследования.

В условиях глобального изменения климата, растущего спроса на возобновляемые источники энергии и стремления снизить негативное воздействие на окружающую среду использование растительных отходов для создания функциональных материалов становится приоритетным направлением научных исследований.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью разработки новых, устойчивых и экологически безопасных материалов, в частности нанобумаги, путем переработки отходов растительного происхождения (скошенная трава, рисовая шелуха, скорлупа грецкого ореха).

Спрос современного рынка на оборудование, предназначенное для хранения и преобразования энергии, велик с жесткими требованиями на компактность и на продолжительность срока службы. Для удовлетворения этой потребности существуют и разрабатываются новые технологии с использованием отходов растительного происхождения и создания на их основе изделий с улучшенными механическими и электрохимическими характеристиками, в частности для создания высокоэффективных электродов суперконденсаторов.

Получена наноструктурированная бумага на основе наноцеллюлозы, активированного угля и углеродных нанотрубок, предназначенная для изготовления без связующего (binder-free) электродов, применяемых в высокоэффективных системах хранения энергии. Представленное исследование в рамках диссертационной работы закладывает фундамент для расширения масштабов применения полученных наноматериалов и дальнейшего развития экологически ориентированных технологий.

Цель работы. Разработка наноструктурированной бумаги из наноцеллюлозы, активированного угля и нанотрубок с контролируемыми электрохимическими характеристиками для применения в системах хранения энергии.

Задачи работы. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– получить целлюлозу из растительных отходов методом химико-термической обработки и определить влияние минеральных наполнителей (волластонита, диатомита, сульфата бария) на механические свойства бумаги и картона;

– получить кристаллическую и фибриллярную наноцеллюлозу методами кислотного гидролиза и TEMPO-окисления и охарактеризовать её структурно-морфологические свойства;

– определить влияние методов активации на морфологические и структурные характеристики активированного угля, полученного из растительных отходов;

– синтезировать наноструктурированную бумагу на основе наноцеллюлозы, активированного угля и углеродных нанотрубок, оптимизировать ее состав для применения в электродах суперконденсаторов и определить ее электрохимические свойства с помощью методов циклической вольтамперометрии (ЦВА) и электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС) для оценки ее эффективности в системах хранения энергии.

Объект исследования – наноструктурированная бумага на основе наноцеллюлозы, активированного угля и углеродных нанотрубок, полученная из переработанных растительных отходов.

Предмет исследования – физико-химические и электрохимические свойства наноструктурированной бумаги.

Методы исследования. Для решения задач, необходимых для достижения поставленной цели, использовались следующие методы исследования: термогравиметрический анализ (ТГА), элементный анализ (ЭДРС), рентгенофазовый анализ (РФА), оптический микроскоп, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), метод определения удельной площади поверхности (БЭТ), просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ), гальваностатический и потенциостатический метод анализа, циклическая вольтамперометрия (ЦВА), ИК спектроскопия, Раман спектроскопия.

Научная новизна исследования. В ходе выполнения исследовательской работы были получены следующие результаты:

- получена целлюлоза из растительных отходов методом химико-термической обработки и установлено влияние минеральных наполнителей (волластонита, диатомита, сульфата бария и технологические добавки) на механические свойства бумаги и картона, изготовленных на основе полученной целлюлозы. Разработаны композиции бумаги и картона со значительно улучшенными характеристиками прочности и гибкости за счет оптимизации соотношения целлюлозы из травы и использования добавок в виде макулатуры и волластонита. Полученная композиция картона обладает высокой прочностью сопротивления к продавливанию до 903 кПа и гибкостью до 91 раз по числу двойных перегибов;

– получена фибриллярная наноцеллюлоза, синтезированная методами кислотного гидролиза и TEMPO-окисления. Установлено, что метод TEMPO-окисления снижает устойчивость к агрегации и уменьшает диаметр волокон до 20–40 нм;

– установлено влияние метода активации на пористую структуру и спектроскопические характеристики активированного угля. Химическая активация с KOH приводит к микропористой структуре с высоким отношением интенсивностей пиков G/2D (0,52–0,55), в то время как физическая активация CO_2 способствует формированию мезопористой структуры и малослойной графеновой структуры с более низким отношением G/2D (0,45-0,49);

– синтезирована наноструктурированная бумага на основе наноцеллюлозы, активированного угля и углеродных нанотрубок, оптимизирован ее состав для применения в электродах суперконденсаторов и определены ее электрохимические свойства с помощью методов циклической вольтамперометрии (ЦВА) и электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС) для оценки ее эффективности в системах хранения энергии. Разработанные электроды для суперконденсаторов имеют удельную емкость до 145 Ф/г и плотность энергии до 9,9 кВт/ч.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Бумага и картон на основе целлюлозы из скошенной травы, макулатуры и волластонита при оптимальном соотношении компонентов 40:40:20 с добавлением 2 % канифольного клея, полиакриламида и сульфата алюминия обладают повышенной прочностью (903 кПа) и гибкостью (91 двойной перегиб);
2. Фибриллярная наноцеллюлоза, полученные методами кислотного гидролиза имеет диаметр волокон от 10 до 69 нм и дзета-потенциал 28,80±0,10 мВ, а полученная методом TEMPO-окислением – 20-40 нм, дзета-потенциал – 20,50±0,36 мВ.
3. Физическая активация CO_2 способствует формированию мезопористой структуры и малослойной графеновой структуры с соотношением G/2D 0,45 (для карбонизованной рисовой шелухи) и 0,49 (карбонизованной скорлупы грецкого ореха).
4. Наноструктурированная бумага на основе наноцеллюлозы, активированного угля и углеродных нанотрубок, использованная в качестве электродов суперконденсаторов обладает высокой удельной емкостью 145 Ф/г и улучшенными электрохимическими характеристиками 9,9 кВт/ч.

Теоретическая значимость.

Теоретическая значимость работы заключается в расширении знаний о переработке растительных отходов в функциональные материалы с высокой добавленной стоимостью. Полученные результаты углубляют понимание процессов получения целлюлозы, наноцеллюлозы и активированного угля из отходов растительного сырья, а также влияния их морфологических и структурных характеристик на физико-химические, механические и электрохимические свойства композитных материалов.

Практическая значимость.

Практическая значимость заключается в получения экологически безопасных и экономически эффективных материалов для использования в бумажно-картонной продукции и системах накопления энергии. Реализация данной работы способствует развитию "зеленых" технологий, снижению нагрузки на окружающую среду и повышению эффективности использования возобновляемых ресурсов.

Результаты, полученные в диссертационном исследовании, могут быть использованы в учебном процессе при чтении лекций и проведении элективных курсов по образовательной программе наноматериалы и нанотехнологии.

Связь с научно-исследовательскими работами и государственными программами.

Работа выполнялась в рамках проектов грантового финансирования:

• AP09057909 «Разработка методов получения композитных электродов на основе углеродных наноматериалов без добавления полимерных связующих для применения в электрохимических источниках хранения энергии» (2021–2023 гг.).

• AP14871062 «Разработка энергоемких композитов на основе наноцеллюлозы и функционализированных УНТ для улучшенных систем хранения энергии» (2022–2024 гг.).

• AP13068375 «Получение целлюлозных материалов на основе отходов растительного сырья и минеральных добавок» (2022–2024 гг.).

Личный вклад автора заключается в постановке и проведении экспериментов, обобщении и интерпретации полученных результатов, написании статей и отчетов. Цель и задачи, планирование экспериментов, обсуждение результатов и основные положения к защите были обсуждены с обоими научными консультантами.

Публикации

По теме диссертации опубликованы 12 научных печатных работ, в том числе, 5 статьи в научных изданиях, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК, 4 статей в научных изданиях, входящих в международные информационные ресурсы Web of Science и Scopus и 3 патента на полезную модель.

Статьи, опубликованные в изданиях, входящих в международную научную базу данных Web of Science и Scopus:

1 **Taurbekov A.** et al. Investigations of Activated Carbon from Different Natural Sources for Preparation of Binder-Free Few-Walled CNTs/Activated Carbon Electrodes (2023), Journal of Composites Science, 7 (11), art. no. 452 (https://doi.org/10.3390/jcs7110452, Scopus – CiteScore – 4.5, процентиль 74%, Q2).

2 **Taurbekov A.** et al. Biomass Derived High Porous Carbon via CO_2 Activation for Supercapacitor Electrodes (2023), Journal of Composites Science, 7 (10), art. no. 444 (https://doi.org/10.3390/jcs7100444, Scopus – CiteScore – 4.5, процентиль 74%, Q2).

3 **Taurbekov A.** et al. Valorization of Grass Clipping Waste: A Sustainable Approach to Cellulose Extraction and Paper Manufacturing (2024), Applied Sciences

(Switzerland), 14 (15), art. no. 6680 (https://doi.org/10.3390/app14156680, Scopus – CiteScore – 5.3, процентиль 79%, Q1).

4 **Taurbekov A.** et al. Nanocellulose and carbon nanotube composites: a universal solution for environmental and energy challenges (2024), Journal of Environmental Chemical Engineering, P. 113262 (https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113262, Scopus – CiteScore –11.4, процентиль 85%, Q1).

5 статей в научных изданиях, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК:

1 Атаманова Т.С., Елеуов М., **Таурбеков А.,** Атаманов М.К. Разработка гибких электродов без применения полимерных связующих на основе активированных углей и углеродных нанотрубок // Горение и плазмохимия. – 20. – (2022). – 239-246.

2 Приходько Н.Г., Елеуов М.А., Аскарулы К., Толынбеков А.Б., **Таурбеков А.Т.,** Әбдісаттар Ә.Ә., Атаманов М.К. Исследование исходной растительной биомассы для объемного получения графеноподобных структур // Горение и плазмохимия. – 20. – (2022). – 221-231.

3 **Таурбеков А.Т.,** Қайдар Б.Б., Черноглазова Т.В., Мансуров З.А. Получение целлюлозных волокон из опавших листьев карагача // Горение и плазмохимия. – 18. – (2020). – 141-148.

4 Приходько Н.Г., Елеуов М.А., Әбдісаттар Ә.Ә., Аскарулы К., Толынбеков А.Б., **Таурбеков А.Т.** Исследование свойств углеродных материалов, полученных из растительной биомассы методом гидротермальной карбонизации, как исходных прекурсоров для получения графеноподобных структур //Горение и плазмохимия. – 22. – (2023). – 13-26.

5 Балтабай А.С., **Таурбеков А.Т.,** Имаш А.А., Кайдар Б.Б., Смагулова Г.Т., Ко W.B., Мансуров З.А.. Экстракция целлюлозы из отходов рисовой шелухи // Горение и плазмохимия. – 2023. – Т. 21. №. 3. – С. 181-189

Получены патенты на полезную модель:

1 Патент № 6900 РК. Способ изготовления картона / **Таурбеков А.Т.,** Мансуров З.А., Черноглазова Т.В. – Опубл. 25.02.2022. бюл. № 8.

2 Патент № 8721 РК. Способ получения нанофибриллярной целлюлозы / Атаманов М.К., **Таурбеков А.Т.,** Кайдар Б.Б., Атаманова Т.С., // – Опубл. 15.12.2023.

3 Патент № 9573 РК. Способ получения целлюлозных волокон из растительного сырья / Смагулова Г.Т., **Таурбеков А.Т.,** Балтабай А.С., Имаш А.А., Кайдар Б.Б., Кенешбекова А.М., Мансуров З.А. // – Опубл. 20.09.2024.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается согласованностью данных, полученных с применением комплекса современных физико-химических методов исследования. Научно-исследовательские работы проводились в лаборатории Некоммерческого Акционерного Общества «Казахский национальный университет им. аль-Фараби», РГП «Институт проблем горения» и Институт Жана Ламура (Эпиналь, Франция).