



МАТЕРИАЛЫ

ХІІ МЕЖДУНАРОДНОЙ
РОССИЙСКО-КАЗАХСТАНСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Алматы, 2026

НАО КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени АЛЬ-ФАРАБИ
ФАКУЛЬТЕТ ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ
КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ, КАТАЛИЗА И НЕФТЕХИМИИ

МАТЕРИАЛЫ XII МЕЖДУНАРОДНОЙ РОССИЙСКО-КАЗАХСТАНСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»,

Алматы, Казахстан, 21–22 мая, 2026 г.

Алматы
«Қазақ университеті»
2026

УДК 66
ББК 35
М34

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель Оргкомитета

Туймебаев Ж.К. – д.фил.н., проф., Председатель Правления- Ректор НАО «КазНУ им. аль-Фараби», Алматы, Казахстан

Заместители председателя Оргкомитета

Дюсебаева М.А. – к.х.н., ассоц. профессор, декан факультета химии и химической технологии КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Аубакиров Е.А. – д.х.н., профессор, зав. кафедрой физической химии, катализа и нефтехимии КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Уваров Н.Ф. – д.х.н., профессор кафедры химии и химической технологии Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, Россия

Члены Оргкомитета

Немудрый А.П. – д.х.н., член-корр. РАН, директор ИХТТМ СО РАН, Новосибирск, Россия **Ибраимов М.К.** – член Правления – проректор по научно-инновационной деятельности НАО «КазНУ им. аль – Фараби», Алматы, Казахстан

Отто А.И. – к.т.н., проректор НГТУ, Новосибирск, Россия

Ляхов Н.З. – академик РАН, советник РАН, ИХТТМ СО РАН, Новосибирск, Россия

Баннов А.Г. – д.х.н., проф., Новосибирск, Россия

Крутский Ю.Л. – д.х.н., проф., Новосибирск, Россия

Загоруйко А.Н. – д.т.н., в.н.с., ФИЦ ИК СО РАН, Новосибирск, Россия

Апарнев А.И. – к.х.н., доц. зав. кафедрой ХХТ НГТУ, Новосибирск, Россия

Qamar Abbas – PhD, асс. проф., Технический университет Грац, Австрия

Оспанова А.К. – д.х.н., проф., КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Тунгатарова С.А. – д.х.н., проф., зав.лаб. ИТКЭ им. Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан

Акбаева Д.Н. – д.х.н., проф., КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Ташмухамбетова Ж.Х. – к.х.н., доц., КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Сасыкова Л.Р. – к.х.н., профессор-исследователь, КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Тоштай К. – PhD, доцент-исследователь, КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Смагулова Н.Т. – к.х.н., асс.проф., КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Супиева Ж.А. - PhD, доцент-исследователь, КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Жаксылыкова Г.Ж. - к.х.н., доцент КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Бәкірова Б.С. – PhD, ст. препод., КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Канапиева Ф.М. – к.х.н., и.о. доцента КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Ажигулова Р.Н. – к.х.н., ст. препод. КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Бекисанова Ж.Б. – PhD, доцент-исследователь КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Савденбекова Б.Е. – снс, PhD, Центр физико-химических методов анализа, Алматы, Казахстан

Амантайулы К. – препод. КазНУ им. аль-Фараби, кафедра физической химии, катализа и нефтехимии, Алматы, Казахстан

Материалы XII международной российско-казахстанской научно-практической конференции «химические технологии функциональных материалов», Алматы, Казахстан, 21 – 22 мая, 2026 г. – Алматы: Қазақ университеті, 2026. – 186 с.

ISBN 978-601-04-7558-8

ISBN 978-601-04-7558-8

© КазНУ имени аль-Фараби, 2026.

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ТВЕРДЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НАБУХАНИЕМ ЭЛАСТОМЕРОВ

Уваров Н.Ф.^{1,2}, Федоров Н.А.¹, Подгорнова О.А.¹

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия
uvarov1956@gmail.com

Твердые полимерные электролиты - перспективный класс материалов, сочетающих пластичность, высокую проводимость и при этом, в отличие от жидких электролитов, обладающих механической устойчивостью. Эти материалы могут быть использованы для создания полимерных электрохимических устройств, обладающих гибкостью. Среди полимерных электролитов можно выделить два типа материалов [1]: (а) растворы солей в полимерной матрице, полученные растворением соли в полимере; (б) ионообменные материалы, в которых ионы одного сорта входят в состав полимерной матрицы и являются неподвижными, а проводимость полимера обеспечивается подвижными противоионами, компенсирующими заряд органической матрицы. Проводимость материалов типа (а) обычно наблюдается лишь в расплавленном полимере и ограничивается низкой растворимостью и слабой диссоциацией солей в органической матрице. В области низких температур происходит либо распад электролита на фазы полимера и соли, либо стеклование полимера, сопровождающееся резким снижением проводимости. Проводимость чистых ионообменных материалов типа (б) также низка вследствие сильного кулоновского взаимодействия между ионными группами полимера и противоионами. Обычно для обеспечения проводимости в состав полимера вводят пластификаторы, - вещества, в которых происходит растворение и диссоциация солей, сопровождающаяся ростом ионной проводимости полимера. Если в качестве добавки использовать жидкие пластификаторы, то процесс введения пластификатора сопровождается набуханием полимера, и в результате можно получить материалы, обладающих различной реологией и механической стабильностью, включая механически стойкие полимеры, наполненные солью или гелевые электролиты с различной степенью агрегативной устойчивости. В настоящее время именно гелевые электролиты в основном используются для создания литий-полимерных аккумуляторов. Недостатком таких электролитов является их относительно низкая механическая устойчивость: по существу, это сильно загущенные жидкие органические электролиты.

Более перспективным классом полимерных твердых электролитов материалов являются сшитые полимеры, способные к набуханию в растворах электролитов без потери механической устойчивости. Примером таких систем являются эластомеры на основе полиуретана, способные к набуханию в полярных растворителях, таких как НМП, ДМФА, ТГФ и ДМСО, содержащих добавки солей. В наших недавних работах [2] было показано, что такие растворители должны обладать оптимальными значениями донорного числа и параметрами растворимости Хансена. При этом полиуретановая матрица не гигроскопична, что важно для применения полимерных электролитов на ее основе в металл-ионных аккумуляторах. Показано, что при увеличении концентрации соли в растворителе, степень набухания монотонно уменьшается, при этом возрастает механическая прочность полимера. Набухание полимера можно объяснить в рамках классической модели Флори-Ренера, в которой основным параметром, определяющим степень набухания, является параметр Флори χ , отражающий термодинамическое сродство полимера к растворителю. В работе прослежены взаимосвязи между параметром χ , параметрами растворимости Хансена, донорным числом. Рассмотрены возможные механизмы взаимодействия между компонентами электролита (функциональными группами полимерной цепи, активными группами молекул растворителя и ионами солей), объясняющие наблюдаемые закономерности. С ростом концентрации соли ионная проводимость проходит через максимум, достигая значений более 10^{-3} См/см. Наличие максимума проводимости объясняется противоположным влиянием двух факторов: ростом концентрации ионов и снижением степени набухания с ростом концентрации соли.

Полученные полимерный электролиты можно использовать в гибких электрохимических устройствах различного типа, таких как суперконденсаторы и литий-ионные аккумуляторы. Работа выполнена в рамках Государственного задания ИХТТМ СО РАН FWUS-2026-0013

Список использованных источников

1. Armand M. The history of polymer electrolytes // Solid State Ionics. 1994. Vol. 69, № 3–4. P. 309–319.
2. Fedorov N.A., Podgornova O.A., Uvarov N.F. Designing New Polyurethane-Based Solid Polymer Electrolytes for Flexible Solid-State Supercapacitors // Journal of Polymer Science. 2026. Vol. 64, № 3. P. 779–786.

СТРУКТУРИРОВАННЫЕ СТЕКЛОВОЛОКНИСТЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИРОДООХРАННЫХ ЗАДАЧ

Загоруйко А.Н.

Институт катализа СО РАН, Новосибирск, Россия

zagor@catalysis.ru

Использование многоуровневого геометрического структурирования каталитических систем открывает путь для создания новых высокоэффективных типов катализаторов с улучшенной наблюдаемой активностью, высокой эффективностью массопереноса и низким перепадом давления. В течение последних 20 лет прорыв в этой области был достигнут за счет применения микроволокнистых, в частности, стекловолоконистых катализаторов (СВК) (рис.1). СВК демонстрируют высокую активность и стойкость к дезактивации в различных каталитических реакциях, таких как глубокое окисление летучих органических соединений, селективное окисление H_2S , окисление SO_2 , селективное гидрирование ацетиленовых углеводородов и др. [1,2].

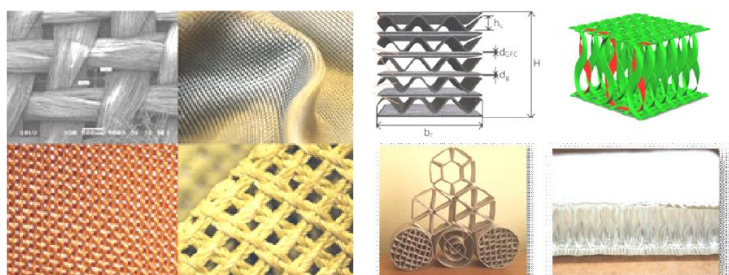


Рис. 1. Различные СВК (слева) и структурированные системы на их основе (справа).

В качестве активных компонентов в таких катализаторах могут использоваться различные благородные металлы (Pt, Pd и др.), а также оксиды переходных металлов (Cu, Fe, V, Ni и пр.).

Различные подходы к синтезу СВК позволяют стабилизировать высокодисперсные моно- или биметаллические частицы как на поверхности микроволокон, так и в их объеме, что влияет на их структуру и электронные свойства: так на поверхности стабилизируются частицы в виде металла, тогда как в объеме - металл-оксидные Pt^0 - PtO_x кластеры (рис.2) [2], что может существенно влиять как на каталитическую активность, так и на термостабильность и устойчивость к дезактивации катализатора.

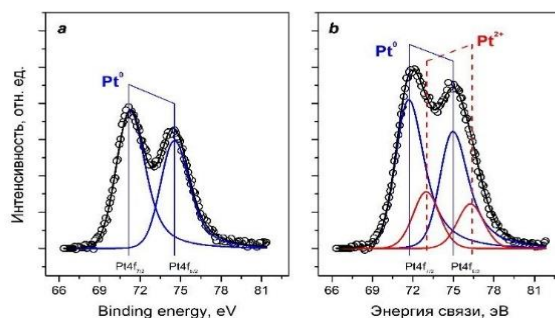


Рис.2. Рентгеновские фотоэлектронные Pt 4f XР-спектры СВ катализаторов, нормированные на интенсивность Si 2р-спектра: а) платина нанесена на внешнюю поверхность микроволокна; б) платина стабилизирована в объеме микроволокна на глубине до 10 нм.

Важным инженерным достоинством СВК является возможность их структурирования в виде картриджей с однородной структурой, интенсивным тепло-и массообменом, низким гидравлическим сопротивлением. Экспериментально показано [1], что по совокупности практически важных характеристик (интенсивность массопереноса, использование потенциала активных компонентов, удельный перепад давления) картриджи на основе СВК представляются одной из наиболее эффективных форм катализаторов среди всех известных типов каталитических структур. При этом полезные характеристики СВК напрямую связаны с их механической гибкостью: под действием движущегося реакционного потока ткань катализатора может подвергаться механическим колебаниям, что приводит к большей турбулизации потока и, как следствие, лучшему массообмену. Такие явления принципиально невозможны в случае традиционных твердых катализаторов. Наиболее перспективными областями применения таких катализаторов являются быстрые реакции в газовой и жидкой фазах, а также реакции, в которых селективность чувствительна к диффузионным ограничениям.



Рис. 3. Реакторы и каталитические устройства различного назначения на основе СВК.

В докладе обсуждаются существующие и перспективные применения каталитических процессов на основе СВК для решения задач охраны окружающей среды, в частности, задач защиты атмосферного воздуха.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН им. Борескова (проект FWUR-2024-0037).

Список использованных источников

1. Загоруйко А.Н., Лопатин С.А. Структурированные каталитические системы на основе стекловолоконистых катализаторов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. 204 с.
2. Бальжинимаев Б.С. Каталитические системы и их применение // *Успехи химии*. 2020. Т. 89, № 11. С. 1184–1203.

НОВЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ И ЗЕЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НЕФТЕДОБЫЧИ

Политов А.А.¹, Телин А.Г.², Мызь С.А.¹

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия,

²Уфимский Научно-Технический Центр, Уфа, Россия

Разработка энергоресурсоэффективных экологически безопасных технологий переработки природного сырья в настоящее время является перспективным направлением развития химико-технологического инжиниринга [1]. Одними из таких технологий является механохимические технологии (МХТ). Предлагаемая технология является безотходной и экологически безопасной. Условно, МХТ можно разделить на технологии, связанные с предварительной механической активацией и МХТ, при которых химические процессы протекают непосредственно в реакторе. Особенно следует выделить МХТ, в которых используются катализаторы – ферменты. Такие технологии можно назвать механокаталитические, или механо-ферментативные. Рассмотрим несколько примеров успешного применения механохимических технологий для производства материалов, которые используются при получении тампонирующих композиций в нефтедобыче.

Были разработаны методы механической активации и механохимическая технология получения тампонирующих композиций на основе песка. В нефтепромышленной практике хорошо известны изолирующие реагенты на основе растворов силиката натрия, которые образуют гели при определенном рН раствора. Производство силикатов из песка процесс дорогостоящий и оказывающий негативное влияние на окружающую среду. В целях удешевления процессов добычи нефти и снижения загрязнений окружающей среды нами использовалась механохимическая технология получения щелочных силикатных растворов, а на их основе – получение гелеобразующих тампонирующих композиций. Ключевой момент – это получение силиката натрия из диоксида кремния в растворе гидроксида натрия. В таблице 1 приведены результаты растворения диоксида кремния до и после механической активации. Концентрации силикатных растворов выше 2-4 % позволяют получить упругие гели. АГО-2 лабораторная планетарная мельница, ЦЭМ 10 полупромышленная вибрационная мельницы непрерывного действия, изготовленные в ИХТТМ СО РАН, Новосибирск, Россия.

Таблица 1. Концентрация раствора Na_2SiO_3 до и после механической активации диоксида кремния

Тип мельницы	Время активации, мин	S уд., м ² /г (доля аморфн. фазы, %)	Условие реакции		Масс. доля, %
			T, °C	Время, ч.	
Речной песок	Исходн.	0,1 (0)	85	6	<1
АГО-2	10	5.3 (60)	70	6	52
ЦЭМ -10	25 кг/час ⁻¹	4.2 (10)	70	3	< 1
			85	6	11

Полученный раствор по определенной технологии закачивается в нефтеносный слой и был успешно использован на Средне-Асомкинском и других нефтяных месторождениях.

Растворы силиката натрия можно получать из рисовой шелухи (РШ), в которой содержание аморфного кремнезема составляет 15-22 %. Кроме этого, в состав РШ входит целлюлоза, так что при растворении активированной РШ наряду с силикатом получается растворимая при низких температурах натронная целлюлоза. Рисовую шелуху можно

заменить на торф, который содержит целлюлозу и гуминовые кислоты. Органо-неорганические гели, полученные на основе речного песка, рисовой шелухи и торфа сочетают в себе упругие свойства неорганических гелей и пластичные свойства органических гелей. Регулируя состав и протокол гелирования, можно получить разнообразные тампонирующие композиции для решения актуальных задач при проведении ремонта нефтяных скважин.

Механокаталитические, или механоферментативные процессы лежат в основе нового метода получения древесной муки (ДМ). Древесная мука является крупнотоннажным продуктом и широко применяется в нефтедобыче для повышения нефтеотдачи пластов и приготовления специальных буровых растворов. В этих применениях используют набухание растительных клеток, которое происходит при сохранении целостности клеточных стенок, имеющих характерный размер 40–70 микрон. При механической обработке в мельницах со стесненным ударом происходит разрыв клеточной стенки, что приводит к снижению набухаемости ДМ. Для минимизации разрыва клеточных стенок при измельчении, растительное сырье пропитывается водным раствором мультиэнзимного комплекса, который ослабляет связь между клетками в растительных тканях, не разрушая клеточную стену. После пропитки измельчение проводится в мельницах свободного удара (например, в струйных мельницах или дезинтеграторах), в которых происходит преимущественно хрупкий разрыв растительных тканей по межклеточным стенкам.

Многие механохимические и механоферментативные процессы эффективно проходят в жидкой среде в гидромеханических или ультразвуковых реакторах. В таких реакторах удобно смешивать полимеры различной топологии, например, гребнеобразные, циклические и линейные полимеры. В топологических полимерах осуществляется молекулярное связывание и, возможно, топологическое перепутывание цепей. Полученные на основе таких растворов гели обладают новыми механическими свойствами, которые отсутствуют у исходных компонентов смеси. Гидромеханическая обработка природных полисахаридов, таких как каррагинан, крахмал, арабиногалактан с гидролазными ферментами позволяет тонко менять целевые свойства и дизайн топологических полимеров.

В качестве примера полученных нами топологических полимерных soft matter можно привести смеси торфа, эфиров целлюлозы и силиката натрия, которые, как показала практика, являются дешевыми и перспективными материалами для нефтедобычи.

Список использованных источников

1. Мешалкин В.П., Политов А.А., Ленченкова Л.Е., Якубов Р.Н., Фахреева А.В., Гусарова Е.И., Телин А.Г. Механохимическая технология переработки природных материалов для тампонирования нефтяных скважин при производстве ремонтно-изоляционных работ // *Теоретические основы химической технологии*. 2024. Т. 58, № 5. С. 547–556.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ: СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ И ЛИТИЙ-ИОННЫЕ БАТАРЕИ

Асқарұлы Қ.^{1,2}, Сайтова Н.^{1,2}, Азат С.², Елеуов М.^{1,2}, Тоштай Қ.³

¹Bes Saiman Group, г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

³Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
k.askaruly@gmail.com

В условиях глобального энергетического перехода, роста потребления энергии и необходимости повышения экологической устойчивости особую актуальность приобретает разработка эффективных, доступных и экологически безопасных материалов для электрохимических систем накопления энергии, таких как суперконденсаторы и литий-ионные батареи [1]. Ключевую роль в повышении их энергетических и мощностных характеристик играют функциональные материалы с управляемой структурой и составом.

В настоящей работе рассматриваются подходы к синтезу и модификации углеродных и кремнийсодержащих материалов, полученных из возобновляемого биосырья, преимущественно рисовой шелухи. Особое внимание уделено разработке высокопористых активированных углей с развитой удельной поверхностью (до ~3000-3400 м²/г) и иерархической микро-мезопористой структурой, обеспечивающей эффективный транспорт ионов и высокую доступность активных центров. Показано, что оптимизация параметров карбонизации и химической активации (КОН) позволяет целенаправленно регулировать текстурные характеристики материала, что непосредственно влияет на емкостные свойства суперконденсаторов [2].

Для суперконденсаторных приложений продемонстрировано, что углеродные материалы на основе рисовой шелухи обладают благоприятным сочетанием высокой удельной емкости, хорошей скоростной способности и приемлемой циклической стабильности. При этом установлено, что баланс между микропористостью и мезопористостью является критическим фактором, определяющим эффективность накопления заряда и устойчивость при длительном циклировании.

В области литий-ионных батарей исследуются анодные материалы на основе диоксида кремния и композитов SiO₂/C, полученных из того же биосырья.

Дополнительно исследована интеграция двумерных материалов типа MXene (например, Ti₃C₂T_x) в углеродные матрицы [3]. Показано, что формирование композитов углерод/MXene позволяет повысить электропроводность, улучшить кинетику переноса заряда и увеличить вклад псевдоемкостных процессов, что особенно важно для высокомоощных суперконденсаторов.

Таким образом, результаты работы демонстрируют, что использование агроотходов в качестве прекурсоров для синтеза функциональных углеродных и кремнийсодержащих материалов является перспективным направлением, позволяющим одновременно решать задачи утилизации биомассы и создания высокоэффективных электрохимических накопителей энергии. Разработанные материалы и подходы обладают потенциалом масштабирования и могут быть использованы при создании энергоэффективных, экономически доступных и экологически устойчивых технологий хранения энергии.

Список использованных источников

1. Ponraj J.S. et al. Recent advances and need of green synthesis in two-dimensional materials for energy conversion and storage applications // *Current Nanoscience*. 2021. Vol. 17, № 4. P. 554–571.

2. Zhang Y. et al. Insights into the KOH activation parameters in the preparation of corncob-based microporous carbon for high-performance supercapacitors // *Diamond and Related Materials*. 2022. Vol. 129. P. 109331.
3. Liu J. et al. Biomass-derived activated carbon/MXene composites as supercapacitor electrodes // *Electrochemistry Communications*. 2026. P. 108166.

КЛЮЧЕВЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН ИЗ МЕТАНА НА КАТАЛИЗАТОРАХ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ РАСТВОРНЫМ ГОРЕНИЕМ

Баннов А.Г., Гудыма Т.С., Курмашов П.Б.

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, Россия,

bannov_a@mail.ru

Переработка углеводородов ряда C_1 - C_4 с получением CO_x -нейтрального водорода представляет значительный интерес с фундаментальной и прикладной точек зрения. Большинство исследователей рассматривают каталитическое разложение метана как сравнительно новый и экономически обоснованный процесс получения водорода и углеродных наноматериалов. Важным этапом в разработке подобных процессов для промышленности является оптимизация синтеза катализатора с целью получения наибольших выходов углеродных нановолокон (УНВ). В данной работе рассматриваются данные получения УНВ на Ni-содержащих катализаторах, полученных методом растворного горения (solution combustion synthesis, SCS). Будут рассмотрены оригинальные результаты по применению регрессионного анализа и планирования эксперимента для повышения выхода твердого углеродного материала.

Было установлено, что большинство Ni-содержащих систем с промотирующей добавкой Al_2O_3 позволяют отказаться от использования предварительного восстановления катализаторов водородом. Все системы, полученные методом растворного горения, обладают такой особенностью. Применение многостадийного планирования эксперимента позволяет повысить выход УНВ до величины более 200 г/Г_{кат.} (сырье – метан). Применение корреляционного анализа связывает данное повышение, главным образом, с размером пор получаемого катализатора, который зависит от коэффициента ϕ (отношение топливо:окислитель). Рассмотрены вопросы применения широкого спектра топлив для SCS. Применение современных подходов (включая ИИ) для оптимизации синтеза углерода и водорода из метана, является ключевым аспектом для масштабирования подобных CO_2 -нейтральных технологий и вопросы оптимизации синтеза обладают очень высокой актуальностью.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (код FSUN-2026-0006).

SYNTHESIS OF NANOCOMPOSITE ELECTRODES FOR ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE

Supiyeva Zh.^{1,2}, Tugelbayeva A.¹, Balgabayeva B.¹, Abbas Q.^{3,4}

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

³Graz University of Technology, Graz, Austria

⁴Poznan University of Technology, Poznan, Poland

supiyeva.zhazira@kaznu.kz

Carbon materials, owing to their high surface area, chemical stability, low cost, and ease of production, are widely used in electrochemical energy storage systems [1, 2]. This research focuses on the synthesis and characterization of multidimensional carbon-based electrodes for hybrid supercapacitors and advanced nanocomposites. Biomass-derived and synthetic carbon precursors, including rice husk, beetroot pulp, and magnesium citrate, were carbonized and activated to produce highly porous carbons with specific surface areas up to 2855 m²/g. Electrochemical studies in NaI/LiTFSI electrolytes demonstrated enhanced hybrid supercapacitor performance compared to commercial carbons due to optimized pore architecture. EQCM and Raman analyses revealed iodide electrooxidation, iodine deposition, polyiodide formation, and structural reorganization within the carbon matrix during charge storage.

Environmentally friendly electrochemically reduced graphene oxide (E-RGO) materials were developed using electrochemical rather than chemical reduction, enabling precise control of surface chemistry without toxic reducing agents. E-RGO exhibited high conductivity, stability, and large surface area, and was incorporated into nickel- and nickel-zinc-based nanocomposites as well as MXene-containing hybrid structures. These materials showed improved electrochemical properties, corrosion resistance, mechanical strength, and thermal stability. Overall, the combination of tailored porous carbons and E-RGO/MXene nanocomposites provides a scalable and sustainable strategy for advanced energy storage systems and multifunctional protective coatings.

Acknowledgement:

Funding from the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR27198045) is acknowledged.

References

1. Supiyeva Z., Pan X., Abbas Q. *Current Opinion in Electrochemistry*. 2023. Vol. 39. P. 101249.
2. Wang G., Zhang L., Zhang J. *Chemical Society Reviews*. 2012. Vol. 41. P. 797–828.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ФАКТОРЫ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПЕРОВСКИТОВ В ОКИСЛИТЕЛЬНОМ ДЕГИДРИРОВАНИИ ЭТАНА

Зильберберг И.Л.

Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения
Российской академии наук
zilberberg@solid.nsc.ru

В докладе будут представлены некоторые результаты исследования механизма окислительного дегидрирования этана (ODHE) в рамках теории функционала плотности в базисе плоских волн. Ключевой проблемой ODHE на поверхности любого перовскита является неизбежность образования достаточно стабильной этокси группы ($-\text{OC}_2\text{H}_5$). Эта группа присутствует, очевидно, на любых оксидных катализаторах ODHE процесса и представляет собой точку бифуркации механизма. Далее этой точки процесс может проходить либо по «неселективному» сценарию полного окисления, например, через образование ацетальдегида, или по «селективному» пути через β -элиминирование этокси группы на соседнем кислородном центре поверхности (с одновременным образованием двойной связи $\text{C}=\text{C}$ и дальнейшей десорбцией этилена). Отрыв β -водорода обычно является эндотермической стадией, проигрывая по энергии «неселективному» сценарию. Основной причиной затруднения в отрыве β -водорода этокси группы кислородным центром оксида является окислительное состояние «2-» данного центра, «закрытая» электронная оболочка которого будет выталкивать электрон β -водорода из-за принципа Паули. Фундаментальной задачей является «конструирование» такого дефекта структуры перовскита, который может обеспечить для β -элиминирования электронное состояние кислорода типа «O-». Только такой кислородный центр даст экзотермическую реакцию отрыва β -водорода и сделает ODHE селективным процессом. Образование центра «O-» может происходить, например, при разрыве мостиковой связи $\text{Fe}-\text{O}-\text{Fe}$ в таком перовските, как феррит стронция с образованием феррильной группы $\text{Fe}(\text{IV})=\text{O}^{2-}$. В наших работах было показано, что феррильная группа в составе цеолита FeZSM-5 может спонтанно переходить в состояние $\text{Fe}(\text{III})\text{---O}^\cdot$ с окисльным кислородом. Это объясняет рекордно высокую активность феррильной группы в отрыве атома водорода метана.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-00735, <https://rscf.ru/project/25-23-00735/>

ДИЗАЙН МУЛЬТИСЛОЙНЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ИМПЛАНТАТОВ: ФОРМИРОВАНИЕ, КОНТРОЛИРУЕМОЕ ВЫСВОБОЖДЕНИЕ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА

Савденбекова Б.Е.^{1,2}, Оспанова А.К.¹

¹Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Центр физико-химических методов исследования и анализа, Алматы, Казахстан

balzhan.savdenbekova@gmail.com

В современной биомедицинской инженерии обеспечение долгосрочной функциональной интеграции имплантатов осложняется высоким риском развития перипротезной инфекции, усугубляемым глобальным ростом антибиотикорезистентности. На фоне увеличения числа операций эндопротезирования разработка эффективных стратегий функционализации поверхности имплантатов приобретает принципиальное значение.

Настоящее исследование посвящено разработке и комплексному физико-химическому и биологическому анализу мультислойных полиэлектrolитных покрытий, формируемых методом послойной электростатической сборки. Данный подход обеспечивает прецизионный контроль архитектуры покрытий на наноуровне за счёт направленного взаимодействия противоположно заряженных макромолекул и позволяет формировать функциональные слои с заданными структурными и диффузионными характеристиками.

В качестве модельной системы использованы полиэлектrolитные комплексы на основе катионного полисахарида хитозана и анионных полимеров (полиакриловая кислота, карбоксиметилцеллюлоза), обеспечивающие формирование стабильных, биосовместимых и функционально активных покрытий. Показано, что варьирование физико-химических параметров среды, в частности pH (5,0–6,0) и ионной силы растворов, приводит к существенным изменениям конформации полимерных цепей и плотности упаковки слоев, что, в свою очередь, определяет морфологию, толщину, шероховатость и сорбционные свойства покрытий. Установлено, что переход от вытянутой к клубковой конфигурации макромолекул сопровождается увеличением удельной поверхности и повышением эффективности иммобилизации биоактивных соединений.

Особое внимание уделено инкорпорации антимикробных агентов (хлоргексидин, триклозан, наночастицы серебра) и исследованию кинетики их высвобождения. Показано, что разработанные системы характеризуются двухстадийным профилем элюции, включающим начальную фазу быстрого высвобождения (до 16 часов), обеспечивающую достижение ингибирующих концентраций для подавления планктонных форм микроорганизмов, и последующую фазу пролонгированной диффузии (до 168 часов), направленную на предотвращение адгезии бактерий и формирования биоплёнок.

Морфология и наноструктура покрытий охарактеризованы методами атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопии, что подтвердило их однородность и воспроизводимость, включая нанесение на субстраты со сложной геометрией (пористые титановые имплантаты, полимерные хирургические нити). Биологические исследования *in vitro* с использованием культуры мононуклеарных клеток человека продемонстрировали отсутствие цитотоксичности и высокую селективность действия покрытий. Установлена выраженная антибактериальная активность в отношении *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus epidermidis* (зоны ингибирования до 26,3 мм) при сохранении жизнеспособности клеток на уровне выше 80 %.

Дополнительные испытания на стабильность и ускоренное старение показали сохранение функциональных характеристик покрытий в течение длительного времени, что свидетельствует об их технологической и клинической перспективности. Таким образом, предложенная стратегия создания мультислойных полиэлектrolитных покрытий представляет собой эффективную платформу для разработки «умных» биоматериалов с программируемым профилем высвобождения и направленным антимикробным действием, способствующих снижению риска имплантат-ассоциированных инфекций.

**СЕКЦИЯ 1. ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ФОРМОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА МОРФОЛОГИЮ МИКРОТРУБЧАТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ



Лаптев Е.^{1,2}, Черендина О.В.², Шубникова Е.В.², Тропин Е.С.², Брагина О.А.², Немудрый А.П.²

¹Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

Научный руководитель: к.х.н., с.н.с., Брагина О.А.

kmree@mail.ru

Каталитические мембранные реакторы (КМР) на основе оксидов со смешанной кислород-электронной проводимостью привлекают значительный интерес в связи с возможностью совмещения процессов высокотемпературного разделения кислорода и каталитической конверсии метана в единой установке. Для увеличения эффективности работы КМР в литературе предложена стратегия формирования ассиметричных кислород-проницаемых мембран: тонкий газоплотный слой осуществляет ионный транспорт O^{2-} , а развитый пористый каркас обеспечивает механическую прочность мембраны [1, 2].

В данной работе был синтезирован перовскитоподобный оксид $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.2}\text{Ba}_{0.2}\text{Fe}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (LSBFCN) твердофазным методом, на основе которого приготовлена суспензия в системе 1-метил-2-пирролидон/полисульфон. Микро трубчатые мембраны сформированы двумя методами: фазовой инверсией (ФИ) - экструзией суспензии в водный коагулянт и методом погружения (МП) - нанесением суспензии на металлический стержень с коагуляцией в воде. В рамках МП проварьирована скорость извлечения носителя из суспензии (30-150 мм/мин), температура спекания установлена равной 1350, 1370 и 1380 °С; для мембран, полученных методом ФИ использована $T=1370$ °С. Морфологию спеченных мембран анализировали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на приборе Hitachi TM-1000.

По данным СЭМ, оба метода формируют ассиметричную структуру стенки, однако с принципиально различным распределением газоплотных слоев (рис. 1). Мембраны, полученные МП имеют газоплотный слой на внутренней поверхности и пористый на внешней; мембраны, полученные методом ФИ - обратную симметрию: два пористых слоя с обеих сторон и тонкий газоплотный слой в центре стенки.

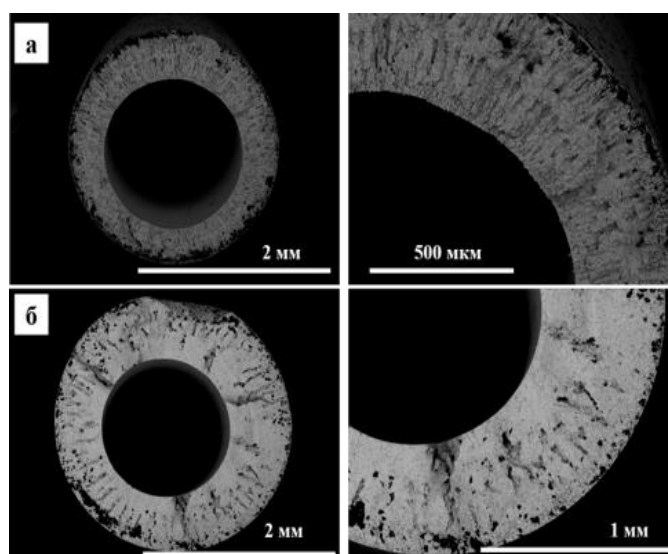


Рис. 1. Микрофотографии МТ мембран (поперечный срез), полученных (а) методом фазовой инверсии (1370), (б) методом погружения (1350)

Скорость вытягивания в МП оказалась ключевым параметром управления микроструктурой мембран: увеличение с 30 до 150 мм/мин увеличивает толщину газоплотного слоя с ~0,07 до ~0,19 мм (Табл. 1).

Таблица 1. Зависимость толщины газоплотного слоя от скорости вытягивания (МП, T=1370 °C)

V, мм/мин	30	50	75	100	125	150
d _{гп} , мм	0.07	0.09	0.12	0.13	0.14	0.19

Усадка по внешнему диаметру мембран составила 31±2% для метода ФИ и 27±3% для МП.

Выявленная зависимость открывает возможность точной настройки транспортных характеристик микротрубчатых мембран, позволяя адаптировать конфигурацию газоплотных и пористых слоев под конкретные газодинамические условия работы КМР.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН молодежной лаборатории «Разработка мембранных материалов и технологий для водородной энергетики» (проект 126011215469-6).

Список использованных источников

1. Wei Y., Yang W., Caro J., Wang H. Dense ceramic oxygen permeable membranes and catalytic membrane reactors // *Chemical Engineering Journal*. 2013. Vol. 220. P. 185–203. doi: 10.1016/j.cej.2013.01.048.
2. Tan X., Shi L., Hao G., Meng B., Liu S. La_{0.7}Sr_{0.3}FeO_{3-α} perovskite hollow fiber membranes for oxygen permeation and methane conversion // *Separation and Purification Technology*. 2012. Vol. 96. P. 89–97. doi: 10.1016/j.seppur.2012.05.012.

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КАПРИЛАТА НИКЕЛЯ В БЕНЗИЛОВОМ СПИРТЕ

Лейрих В.А.^{1,2}, Титков А.И.², Логутенко О.А.²

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, leyrihva@mail.ru

²Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск

Научный руководитель: Титков А. И., к.х.н., с.н.с

С целью разработки простого метода синтеза наночастиц никеля исследовано влияние условий синтеза, таких как температура, время, концентрация прекурсора и гидроксида натрия, на процесс восстановления каприлата никеля в бензиловом спирте. Показано, что в щелочной среде образуются шиповидные сферические частицы никеля размером 143.3 ± 17.4 нм, а в отсутствие NaOH – нанопроволоки металлического никеля. Полученные частицы охарактеризованы методами рентгенофазового анализа, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии.

Наночастицы никеля проявляют уникальные магнитные свойства, поэтому их применяют в медицине для адресной доставки лекарств и гипертермии опухолей, а также в катализе и электронике [1]. Кроме того, низкая стоимость никеля, по сравнению с благородными металлами, делает его перспективным материалом для создания электропроводящих паст, электродов и магнитных жидкостей. Одним из перспективных методов получения металлических наночастиц является восстановление солей металлов в органической среде, включая многоатомные спирты, которые действуют как растворитель, восстановитель и стабилизатор.

В настоящей работе изучен процесс восстановления каприлата никеля бензиловым спиртом и представлены результаты исследования их морфологии и размера.

Показано, что как в отсутствие, так и в присутствии NaOH восстановление каприлата никеля до металла происходит при температуре кипения бензилового спирта, т.е. при 196 °С. В присутствии NaOH (Ni:NaOH 1:1), начиная с температуры 175 °С имеет место образование желеобразного осадка зеленоватого цвета, который затем восстанавливается до металлического никеля при температуре около 196 °С. Данные РФА и ТГА свидетельствуют о том, что образующийся в этих условиях осадок представляет собой α -Ni(OH)₂ (JCPDS № 38-0715). Частицы металлического никеля, полученные как в присутствии, так и в отсутствие NaOH при 196 °С, согласно рентгенографическим данным, хорошо окристаллизованы и обладают ГЦК структурой (JCPDS № 04-0850).

Исследования образцов методом электронной микроскопии показывают, что в отсутствие щёлочи наночастицы никеля образуют одномерные структуры длиной до нескольких десятков микрон, состоящие из поликристаллических сферических наночастиц со средним диаметром 160–200 нм. В присутствии щёлочи получают частицы сферической формы размером 143.3 ± 17.4 нм, поверхность которых покрыта кристаллами металлического никеля шиповидной формы (рис. 1).

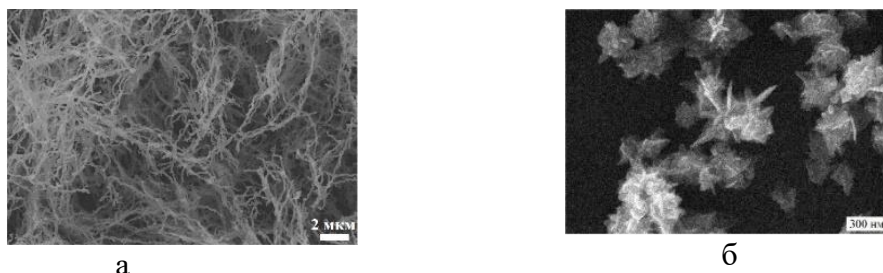


Рис. 1. СЭМ микроснимки частиц, полученных восстановлением каприлата никеля бензиловым спиртом в отсутствие (а) и в присутствии (б) NaOH. Ni:NaOH 1:1, температура 196 °С, Т:Ж 1:100.

Показано, что соотношение Ni:NaOH, равное 1:1, является оптимальным для образования одномерных структур никеля. При уменьшении соотношения Ni:NaOH образуется смесь из коротких проволок и отдельных частиц сферической формы, а при увеличении – крупные бесформенные агрегаты, которые, согласно данным РФА, представляют собой α -Ni(OH)₂ или его смесь с β -Ni(OH)₂.

В отсутствие NaOH при увеличении концентрации каприлата никеля в два раза (Т:Ж 1:50) толщина проволок увеличивается до 600–800 нм, а их длина уменьшается до 15–40 мкм (рис. 2а). Морфологической особенностью полученных в этих условиях структур является их древовидная, разветвленная форма. Согласно данным электронной микроскопии (рис. 2б), образец, полученный при Т:Ж 1:20, демонстрирует плотную структуру из сильно агрегированных частиц разной геометрической формы и размера. Данные РФА указывают на то, что во всех случаях продуктом восстановления является чистый металлический никель.

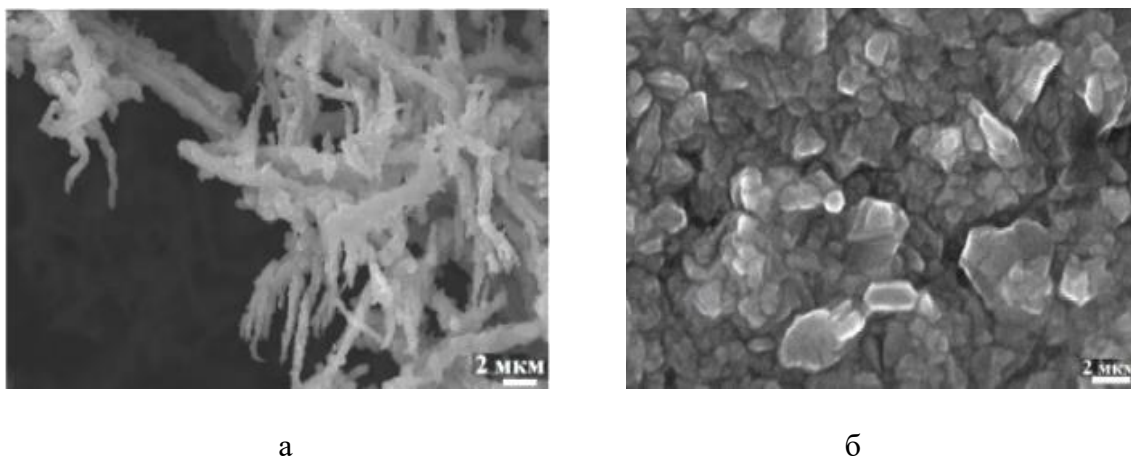


Рис. 2. СЭМ микроснимки частиц, полученных в результате восстановления каприлата никеля бензиловым спиртом. Температура 196 °С, отсутствие щелочи, Т:Ж 1:50 (а) и 1:20 (б).

Таким образом, восстановление каприлата никеля бензиловым спиртом с образованием металлического никеля проходит в течение 3–5 мин при 196 °С с количественным выходом (97–98%). В присутствии NaOH при оптимальных условиях получены шиповидные частицы сферической формы размером 143.3 ± 17.4 нм. В отсутствие NaOH образуются проволоки толщиной 160–200 нм и длиной до нескольких десятков микрон. Синтез наночастиц никеля восстановлением в бензиловом спирте без дополнительного подщелачивания среды исключает образование гидроксида никеля в качестве промежуточного соединения и позволяет избежать загрязнения им конечного продукта. Полученные частицы обладают развитой поверхностью, что делает их перспективными для использования в катализе и медицине.

Список использованных источников

1. Silva F.A. e, Martins Salim V.M., Rodrigues T.S. Controlled Nickel Nanoparticles: A Review on How Parameters of Synthesis Can Modulate Their Features and Properties // *AppliedChem*. 2024. Vol. 4. P. 86–106. URL: <https://doi.org/10.3390/appliedchem4010007>.

BISFULLERENE AS A NEW SINGLET-FISSION PLATFORM FOR PHOTOVOLTAICS: EPR AND DELAYED-FLUORESCENCE SIGNATURES OF A SPIN-CORRELATED TRIPLET PAIR

Podarov R.A.^{1,2}, Kolokolov M.I.^{1,2}, Dementev S.A.^{1,2}, Tretyakov E.V.³, Fedin M.V.^{1,2}, Krumkacheva O.A.^{1,2}

¹ International Tomography Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

² Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Novosibirsk National Research State University”

³ N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Russian Academy of Sciences

r.podarov@yandex.ru

Singlet fission is a process in which two triplet states are generated from a single singlet excitation and is regarded as one of the promising ways to overcome the Shockley–Queisser limit in organic photovoltaics [1, 2]. Covalently linked dimers are of particular interest because the pair geometry and interchromophore coupling are defined by the molecular structure itself. In the present work, a bisfullerene with a fluorinated linker was studied as a new model system in which intramolecular singlet fission may occur. The aim of the work was to determine the nature of the photoinduced spin states in bisfullerene, to measure the intertriplet dipolar interaction, and to trace the evolution of the correlated triplet pair using optical spectroscopy and pulsed EPR methods.

At 30 K in flash-frozen toluene glass, the echo-detected EPR spectrum of bisfullerene differs qualitatively from that of monomeric PCBM. Bisfullerene exhibits an eaeaea polarization pattern, whereas PCBM shows the aaaeee pattern. Such a signal shape is inconsistent with conventional intersystem crossing of a local triplet and indicates the formation of a spin-correlated triplet pair [2, 3]. The intensity of the echo-detected EPR signal of bisfullerene depends linearly on the laser pulse energy in the range 0.25–1.5 mJ while the spectral shape remains unchanged, which rules out a dominant contribution of multiphoton processes. An additional argument for a different nature of the excited state is provided by the change in spin–lattice relaxation kinetics: for PCBM, $T_1 \approx 0.5 \mu\text{s}$ was obtained, whereas for bisfullerene $T_1 \approx 1.0 \mu\text{s}$. In delay-after-flash (DAF) experiments, an additional line appears near 1220 mT in the center of the spectrum, and the system retains a signal up to tenths of a millisecond. Taken together, these data indicate the formation of a long-lived mixed multiexcitonic state ^{1,3,5}(TT), followed by partial loss of coherence and the appearance of a weaker coupled triplet state [3, 5].

To directly determine the intertriplet interaction, the five-pulse RIDME method in the Q-band was used. For the first time for a covalent fullerene pair considered as a singlet-fission candidate, the intertriplet dipolar interaction was measured as $D_{AB} = 26 \text{ MHz}$. Analysis of the RIDME data by Tikhonov regularization yielded an average distance of 14.8 Å between the effective paramagnetic centers. Simulation of the echo-detected EPR spectra in EasySpin within the full nine-dimensional basis of two triplets showed that the observed pattern can only be reproduced when all multiplicities 1, 3, and 5 are taken into account, together with g-factor asymmetry and non-coincident principal axes of the zero-field splitting tensors. Therefore, bisfullerene operates in a regime of strong intermultiplet mixing, in which exchange and dipolar interactions make comparable contributions to the spin dynamics.

Independent confirmation was obtained by delayed-fluorescence measurements. At 77 K, bisfullerene exhibits a long-lived component in the spectral range of its intrinsic emission, with a characteristic lifetime of about 0.5–1.0 ms, whereas no such component is detected for the control sample PCBM. It is particularly important that the delayed signal is observed upon excitation at 532 nm and disappears at 560 nm; therefore, it is associated with a specific photoactive channel in bisfullerene rather than with background emission from the solvent or impurities. Quantum-chemical estimates show that the thermodynamic condition for singlet fission, $E(S_n) \geq 2E(T_1)$, is fulfilled for this system already at the S_2 level, in agreement with the experimental data. Thus, the combined results of echo-detected EPR, RIDME, nutation experiments, delayed fluorescence, and calculations indicate that singlet fission can occur in covalently linked bisfullerene. The obtained spin-pair

parameters show that fullerene dimers can be considered a new platform for the design of photovoltaic molecular systems with correlated triplet states.

References

1. Smith M.B., Michl J. Recent advances in singlet fission // *Annual Review of Physical Chemistry*. 2013. Vol. 64. P. 361–386.
2. Miyata K., Conrad-Burton F.S., Geyer F.L., Zhu X.-Y. Triplet pair states in singlet fission // *Chemical Reviews*. 2019. Vol. 119, № 6. P. 4261–4292.
3. Weiss L.R., Bayliss S.L., Kraffert F. et al. Strongly exchange-coupled triplet pairs in an organic semiconductor // *Nature Physics*. 2017. Vol. 13, № 2. P. 176–181.
4. Wang R., Zhang C., Zhang B. et al. Magnetic dipolar interaction between correlated triplets created by singlet fission in tetracene crystals // *Nature Communications*. 2015. Vol. 6. Art. 8602.
5. Chen M., Krzyaniak M.D., Nelson J.N. et al. Quintet-triplet mixing determines the fate of the multiexciton state produced by singlet fission in a terrylenediimide dimer at room temperature // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2019. Vol. 116, № 17. P. 8178–8183.

TOWARDS QUANTITATIVE AND PHYSIOLOGICALLY RELEVANT DETECTION OF SINGLET OXYGEN IN PHOTODYNAMIC SYSTEMS

Dementev S.A.^{1,2}, Podarov R.A.^{1,2}, Sannikova N.E.^{1,2}, Polienko Y.F.³, Kirilyuk I.A.³,
Krumkacheva O.A.^{1,2}

¹International Tomography Center Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia

²Novosibirsk State University, Russia

³N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, Russia

dementev.epr@gmail.com

Photodynamic therapy (PDT) relies on the generation of reactive oxygen species, with singlet oxygen (¹O₂) playing a central role in cytotoxic activity. [1] Despite the widespread use of spin trapping (ST) combined with EPR spectroscopy for ¹O₂ detection, the quantitative reliability of this approach under physiological conditions remains limited. A key challenge arises from the intrinsic properties of commonly used spin traps, which often induce alkaline shifts in solution. This effect leads to secondary processes such as radical instability, degradation, and photosensitizer aggregation, ultimately compromising the accuracy of ¹O₂ quantification in biologically relevant environments. [2]

In this work, we systematically evaluate both conventional and newly designed spin trapping agents with a focus on their performance in physiological media. The novel compounds incorporate a trimethylammonium substituent at the 4-position of the piperidine ring, enabling improved solubility and controlled protonation behavior. Their acid–base properties were characterized by NMR spectroscopy. In addition, the kinetic parameters of the interaction between the spin traps and singlet oxygen were determined, allowing direct comparison of their reactivity. Rate constants for ¹O₂ trapping were obtained from steady-state photolysis experiments, providing a quantitative measure of trapping efficiency beyond qualitative signal intensity analysis. Using meso-tetrakis(N-methylpyridyl)porphyrin as a model photosensitizer, we conducted steady-state photolysis experiments in 10 mM PBS across a range of pH conditions. The selectivity of ¹O₂ detection was verified through quenching experiments with sodium azide.

Our results demonstrate that the modified spin traps provide enhanced stability while maintaining high reactivity toward ¹O₂ under near-physiological conditions. The combination of favorable pK_a and improved kinetic parameters minimizes artifacts associated with

pH-induced side reactions and enables more reliable quantitative assessment of singlet oxygen generation. The proposed approach addresses a critical limitation in singlet oxygen detection and establishes a framework for standardized and kinetically validated evaluation of photosensitizers in PDT-relevant environments.

References

1. Jiang W. et al. The current status of photodynamic therapy in cancer treatment // *Cancers*. 2023. Vol. 15, № 3. P. 585.
2. Victória H.F.V. et al. Detection of singlet oxygen by EPR: The instability of the nitroxyl radicals // *Free Radical Biology and Medicine*. 2022. Vol. 180. P. 143–152.

УСЛОВИЯ РОСТА МОНОКРИСТАЛЛОВ Li_2WO_4 И ИХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Базанова Е.Д.^{1,2}, Григорьева В.Д.²

¹Новосибирский Государственный Технический Университет, Новосибирск, Россия

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
ekaterina18ed05v123@mail.ru

Сцинтиллятор на основе Li_2WO_4 считается перспективным для регистрации слабовзаимодействующих массивных частиц (WIMP) из-за значительной разницы в массах ядер вольфрама и лития, а также рассматривается как сцинтилляционный материал для регистрации когерентного упругого рассеяния нейтрино на ядрах (CEvNS) [1-2]. Но, согласно литературным данным, Li_2WO_4 обладает структурным переходом из тригональной $\alpha\text{-Li}_2\text{WO}_4$ в ромбическую сингонию $\beta\text{-Li}_2\text{WO}_4$ ниже температуры плавления. Изоструктурный по отношению к $\alpha\text{-Li}_2\text{WO}_4$ молибдат лития Li_2MoO_4 не имеет данных ограничений. Путем встраивания ионов $[\text{MoO}_4]^{2-}$ в кристаллическую решетку Li_2WO_4 , замещая ионы $[\text{WO}_4]^{2-}$, предположительно, будет стабилизироваться структура R-3 и подавляться фазовый переход, а более плотная упаковка кристаллической ячейки повысит интенсивность люминесценции

В работе исследованы оптимальные условия роста для получения монокристаллов Li_2WO_4 и $\text{Li}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$, легированные молибденом ($x = 0,0125, 0,05$), низкоградиентным методом Чохральского (LTG Cz), а также изучено влияние частичного замещения вольфрама молибденом на люминесцентные свойства [3].

Методом LTG Cz получена серия визуально бездефектных монокристаллов Li_2WO_4 и $\text{Li}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$ ($x = 0,0125, 0,05$). Были определены оптимальные параметры роста кристаллов, обеспечивающие нормальный механизм роста и формирование округлого фронта кристаллизации: скорость кристаллизации 0,5 мм/ч; скорость вращения 5 об/мин.

Была исследована рентгеновская дифракция кристаллов. Все дифрактограммы показали хорошее совпадение с эталонной дифрактограммой Li_2WO_4 , отсутствие фазовых переходов и посторонних фаз, а также сохранение тригональной структуры при частичном замещении вольфрама молибденом (рис.1). В структуре выделяются две кристаллографические позиции лития, каждая из которых имеет тетраэдрическое кислородное окружение $[\text{LiO}_4]^{7-}$. Эти тетраэдры, соединяясь вершинами как друг с другом, так и с тетраэдрами $[\text{WO}_4]^{2-}$, формируют трехмерный каркас.

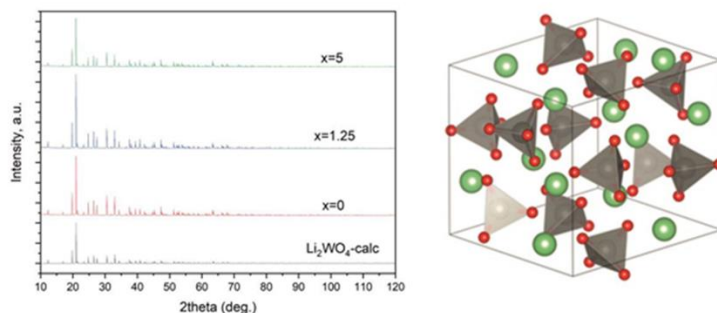


Рис.1. Рентгенофазовый анализ Li_2WO_4 и $\text{Li}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$ ($x = 0,0125, 0,05$)

Исследование спектров фотолюминесценции при комнатной температуре показало, что ионы $[\text{MoO}_4]^{2-}$ успешно встраиваются в кристаллическую решетку Li_2WO_4 , замещая ионы $[\text{WO}_4]^{2-}$. Сдвиг пиков согласуется с уменьшением ширины запрещенной зоны, что указывает на влияние легирования молибденом на электронную структуру (рис.2). Эти пики соответствуют переносу заряда от иона кислорода к иону вольфрама в составе $[\text{WO}_4]^{2-}$ -комплекса.

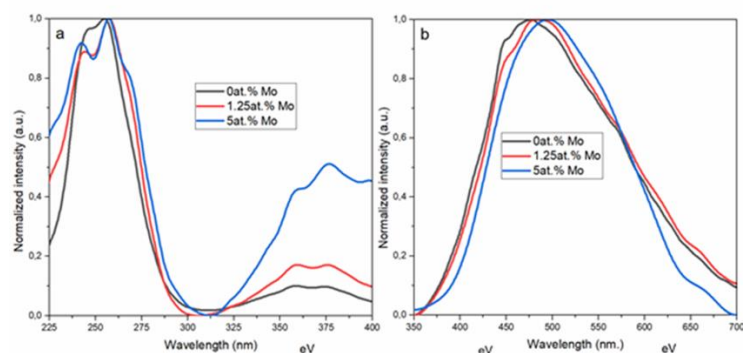


Рис.2. Фотолюминесценция Li_2WO_4 и $\text{Li}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$ ($x = 0,0125, 0,05$):
а) PLE, $\lambda_{\text{ex}} = 500$ нм; б) PL, $\lambda_{\text{ex}} = 260$ нм

Зарегистрирована эмиссия рентгенолюминесценции уже при комнатной температуре, что указывает на то, что Li_2WO_4 представляет интерес в качестве перспективного сцинтилляционного материала для детекторов WIMP и CEvNS (рис.3). Одновременно с увеличением концентрации молибдена наблюдалось заметное смещение максимума излучения в зеленую область спектра, что указывает на изменение природы центров люминесценции или механизмов релаксации.

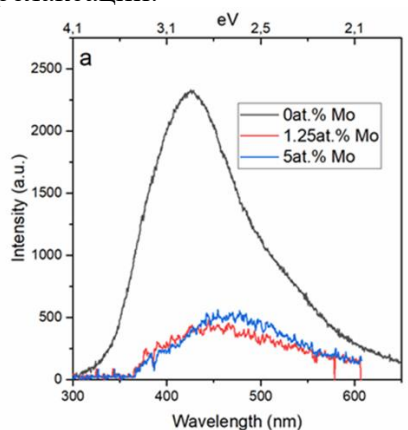


Рис.3. Рентгенолюминесценция Li_2WO_4 и $\text{Li}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$ ($x = 0,0125, 0,05$) при комнатной температуре

Полученные результаты подчеркивают потенциал модификации структурных и оптических свойств Li_2WO_4 путем контролируемого легирования молибденом, открывая новые возможности для разработки материалов с индивидуальными характеристиками.

Работа была поддержана грантом РФФ No. 23-79-00070.

Список использованных источников

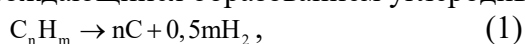
1. Banerjee S., Matsumoto S., Mukaida K., Tsai Y.S. WIMP dark matter in a well-tempered regime – A case study on singlet-doublets fermionic WIMP // *Journal of High Energy Physics*. 2016. Vol. 2016, № 11. P. 70.
2. Patton K.M., Engel J., McLaughlin G.C., Schunck N. Neutrino-nucleus coherent scattering as a probe of neutron density distributions // *Physical Review C*. 2012. Vol. 86, № 2. P. 024612.
3. Shlegel V.N., Borovlev Yu.A., Grigoriev D.N., Grigorieva V.D., Danevich F.A., Ivannikova N.V., Postupaeva A.G., Vasiliev Ya.V. Recent progress in oxide scintillation crystals development by low-thermal gradient Czochralski technique for particle experiments // *Journal of Instrumentation*. 2017. Vol. 12.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВОВ И МЕТОДОВ СИНТЕЗА НИКЕЛЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ РАЗЛОЖЕНИЯ МЕТАНА

Гудыма Т.С., Даниленко М.А., Курмашов П.Б.

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия, gudymatan@mail.ru

Разработка каталитических методов разложения легких углеводородов (C1–C4) является важным направлением в области переработки газового сырья. Особый интерес вызывают безуглеродные (CO₂-free) процессы, такие как каталитический пиролиз метана, сопровождающийся образованием углеродных наноматериалов и водорода (реакция 1)[1].



Эффективность данного процесса в значительной степени определяется свойствами применяемого катализатора, которые, в свою очередь, зависят от метода его синтеза [2-4].

В настоящей работе исследованы высокопроцентные никелевые катализаторы, полученные методом соосаждения и синтезом горения раствора. Кроме того, представлены результаты исследования возможности применения высокоэнтропийных сплавов в каталитическом разложении метана.

Тестирование катализаторов проводили в проточном кварцевом реакторе при температурах 550–750 °С и атмосферном давлении в среде метана. Состав газовой смеси на выходе из реактора контролировали методом газовой хроматографии. Выход твердого углерода оценивали гравиметрически.

Показано, что метод синтеза горением растворов с использованием сахарозы в качестве топлива позволяет получить биметаллические катализаторы с высокой каталитической активностью (выход углерода составлял ~ 25 г/г кат) и временем жизни (более 20 часов).

Синтез катализаторов методом соосаждения является более длительным в сравнении с синтезом горения растворов, однако полученные катализаторы имели более высокую активность и позволяли получать выходы углерода на уровне 30 г/г кат.

Высокоэнтропийные сплавы (более 5 металлов в составе катализатора) также показали свою эффективность в реакциях разложения метана. Однако такие катализаторы требуют более высоких температур проведения процесса.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (код FSUN-2026-0006).

Список использованных источников

1. Zhang W., Poh C.K., He H., Kouk Q.Y., Ding O.L. Catalytic decomposition of methane: Ni-promoted perovskite oxide catalysts for turquoise hydrogen and carbon nanomaterials co-production // *Energy Materials*. 2025. Vol. 5. P. 500023.
2. Курмашов П.Б., Попов М.В., Брестер А.Е., Ухина А.В., Баннов А.Г. Оценка эффективности применения щавелевой кислоты в технологии синтеза катализатора методом горения растворов для получения водорода и углерода из метана // *Доклады Российской академии наук*. 2023. Т. 511. С. 68–76.
3. Курмашов П.Б., Гудыма Т.С., Головахин В., Шишин А.А., Ухина А.В., Максимовский Е.А., Ищенко А.В., Баннов А.Г., Со А.В., Борескова Г.К., Ран С.О. Синтез Ni–Cu/Al₂O₃ катализаторов разложения метана методом горения с использованием топливных добавок // *Катализ в промышленности*. 2025. Т. 25. С. 24–38.
4. Yao D., Yang H., Chen H., Williams P.T. Co-precipitation, impregnation and sol-gel preparation of Ni catalysts for pyrolysis–catalytic steam reforming of waste plastics // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2018. Vol. 239. P. 565–577.

КОМПОЗИТНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ ДИГИДРОФОСФАТА ЦЕЗИЯ И ФТОРКАУЧУКА СКФ-260В ДЛЯ СРЕДНТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Дормидонова Д.О., Багрянцева И.Н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
dormidonova@solid.nsc.ru

Современные энергетические системы все больше ориентируются на низкоуглеродные технологии. Протонные проводники могут использоваться в качестве твердых электролитов в электрохимических устройствах для преобразования энергии, таких как топливные элементы (ТЭ) и электролизеры. Эти устройства играют ключевую роль в развитии экологичного и устойчивого образа жизни, основанного на водороде как экологически чистом энергоносителе [1, 2]. Среди широкого класса твердых протонных проводников особое место занимают кислые соли щелочных металлов и аммония $M_nH_m(XO_4)_p$ ($M=Cs, Rb, K, Na, Li, NH_4$; $A=S, Se, As, P$), в частности дигидрофосфат цезия CsH_2PO_4 . Этот материал привлекает значительное внимание благодаря высоким значениям протонной проводимости ($\sim 3 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}$) при температурах выше области фазового перехода ($\sim 235^\circ\text{C}$) [3]. Его преимуществами являются простота синтеза, а также среднетемпературный рабочий диапазон $230\text{--}250^\circ\text{C}$, который обеспечивает высокую каталитическую активность и устойчивость платиновых катализаторов к отравляющим веществам, особенно к CO , в топливе [4]. Однако практическому применению CsH_2PO_4 препятствует ряд недостатков. Материал обладает гигроскопичностью, а также низкой механической прочностью и хрупкостью, что затрудняет создание прочных мембран [5]. Одним из эффективных путей решения этих проблем является создание композиционных материалов, в которых частицы неорганического проводника диспергированы в полимерной матрице. В данной работе впервые синтезированы композитные полимерные электролиты $(1-x)CsH_2PO_4-xСКФ-260В$, где СКФ-260В – фторкаучук, сополимер винилиденфторида и перфторметилвинилового эфира. Исследован диапазон составов $x = 0,05\text{--}0,20$ масс.% ($8,5\text{--}30,5$ об.%). Методами рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии и ИК-Фурье спектроскопии показано, что СКФ-260В является химически инертной, термически устойчивой и эластичной матрицей для CsH_2PO_4 . Во всех композитах сохраняется моноклинная фаза CsH_2PO_4 ($P2_1/m$) с частичной аморфизацией и диспергированием соли. Наблюдается равномерное распределение частиц соли в полимерной матрице. ИК-спектроскопия указывает на незначительное ослабление водородных связей и взаимодействие протонов с F-содержащими группами полимера. Протонная проводимость композитов исследована методом импедансной спектроскопии в интервале температур $50\text{--}250^\circ\text{C}$ в увлажненной атмосфере ($p_{H_2O} \sim 0,3$ атм.). Температурная зависимость проводимости аналогична исходной соли и характеризуется низкотемпературной и высокотемпературной (суперионной) областями. В суперионной области ($170\text{--}250^\circ\text{C}$) проводимость композитов достигает $10^{-3}\text{--}10^{-2} \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}$. С увеличением массовой доли полимера проводимость снижается вследствие эффекта перколяции «проводник–диэлектрик», однако для составов $x = 0,1\text{--}0,15$ сохраняются высокие значения ($\sim 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}$ при 235°C). В низкотемпературной области (150°C) проводимость возрастает более чем на порядок с ростом x , проходя через диффузный максимум при $x = 0,15$ ($f_v \sim 23,7$ об.%), что обусловлено диспергированием и частичной аморфизацией соли. Длительные изотермические испытания ($T = 240^\circ\text{C}$, $p_{H_2O} \sim 0,3$ атм) подтвердили стабильность проводимости и фазового состава композитов. Измерения микротвердости по Виккерсу показали, что с увеличением содержания полимера микротвердость снижается, и увеличиваются способности образцов к упругой деформации. Высокое содержание фтора в полимере также обеспечивает улучшение гидрофобных свойств мембран и повышение устойчивости к гидролизу. Впервые проведены испытания топливного элемента с мембраной $0,93CsH_2PO_4\text{--}0,07СКФ-260В$ (толщина 100 мкм) и симметричными композитными электродами, состоящими из Pt/C (40 масс. % Pt) и мелкодисперсного CsH_2PO_4 ,

полученного обработкой в бисерной мельнице. При температуре 238 °С получена ЭДС 0,95 В, что близко к теоретическому значению (1–1,15 В). Максимальная плотность тока составила 279 мА·см⁻², пиковая плотность мощности – 50 мВт·см⁻². В потенциостатическом режиме (U = 500 мВ, t = 1200 с) зафиксирован стабильный ток разряда 74 мА, что подтверждает сохранение функциональных характеристик электродных материалов и электролита в течение времени испытаний.

Таким образом, композитные полимерные электролиты (1-x)CsH₂PO₄-xСКФ-260В сочетают высокую протонную проводимость, механическую гибкость и химическую стабильность. Оптимальные составы x = 0,05–0,15 являются перспективными для использования в качестве мембранных материалов в среднетемпературных (200–300 °С) водородных топливных элементах.

Работа выполнена в рамках госзадания ИХТТМ СО РАН (проект № 126021217269–9).

Список использованных источников

1. O'Hayre R., Cha S.W., Colella W., Prinz F.B. *Fuel Cell Fundamentals*. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016. 608 p.
2. Colombari P. Proton conductors and their applications: A tentative historical overview of the early researches // *Solid State Ionics*. 2019. Vol. 334. P. 125–144.
3. Baranov A.I., Shuvalov L.A., Yakushkin E.D. Some peculiarities of ferroelectric ordering in CsH₂PO₄ crystals // *Ferroelectrics*. 1983. Vol. 47, № 1. P. 25–31.
4. Haile S.M. et al. Solid acid proton conductors: From laboratory curiosities to fuel cell electrolytes // *Faraday Discussions*. 2007. Vol. 134. P. 17–39.
5. Haile S.M. et al. Solid acids as fuel cell electrolytes // *Nature*. 2001. Vol. 410, № 6831. P. 910–913.

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КАТАЛИЗАТОРОВ МЕТОДОМ ГОРЕНИЯ РАСТВОРОВ

Курмашов П.Б., Баннов А.Г.

Новосибирский государственный технический университет,

Новосибирск, Россия

kurmaschov@gmail.com

В настоящее время активно развивается технология приготовления катализатора методом горения растворов [1,2]. Сущность метода заключается в протекании окислительно-восстановительной реакции, в результате которой кристаллогидраты активных металлов восстанавливаются до их оксидной фазы под действием высокой адиабатической температуры (T_{ad}), образуемой в результате сгорания топлива – рис. 1.

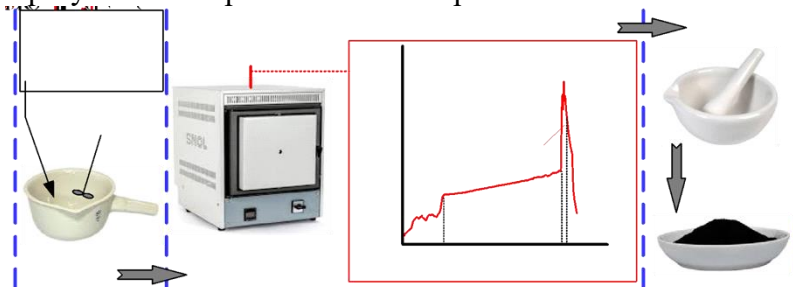
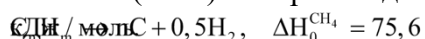


Рис. 1. Технологическая схема технологии синтеза катализатора методом горения растворов (solution combustion synthesis)

В качестве топлива можно использовать различные органические соединения такие как уротропин, глицин, мочевины, лимонная кислота и т.д.

Метод горения растворов отличается низкими трудозатратами и высокой экономической эффективностью, синтез может быть реализован в одну стадию, например в муфельной печи.

Кроме того, каталитический пиролиз углеводородных газов ряда C_1-C_4 на вышеупомянутых катализаторах позволит улучшить экологическую ситуацию, за счет освоения рациональной и экономически эффективной технологии переработки попутных нефтяных газов (ПНГ) в широком диапазоне температур и давлений по следующей реакции



Эффективное использование технологии позволит снизить затраты на добычу нефти за счет получения дополнительных вторичных продуктов реакции, таких как водород и наноструктурированный углерод.

В данной работе методом горения растворов были синтезированы катализаторы системы Fe/Al_2O_3 и $Fe-Co/Al_2O_3$, которые в дальнейшем были исследованы на каталитическом оборудовании в реакции разложения метана в широком диапазоне температур ($550-750^\circ C$) и давлений (1-5 атм.).

Экспериментально установлено, что топливо (химическая структура), а также масса топлива (масса, в пересчете на коэффициент избытка топлива (ϕ)) влияет на эффективность и производительность каталитической реакции.

Таким образом, полученные результаты позволили подобрать оптимальные параметры и режимы приготовления катализатора, которые обеспечивают наибольшую каталитическую активность катализатора в реакции разложения углеводородных газов ряда C_1-C_4 .

Благодарность

Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ (проект FSUN-2026-0006).

Список использованных источников

1. Курмашов П.Б., Шишин А.А., Головахин В., Даниленко М.А., Шпакова С.А., Белов Н.А., Гудыма Т.С., Баннов А.Г., Волков Д.А., Росицкая Т.В., Король А.Н., Нургалиев Р.Г., Славкина О.В. Fe–Co/Al₂O₃ catalyst synthesized by solution combustion technique using glycine // *Нефтяное хозяйство*. 2025. № 12. С. 140–143.
2. Shpakova S.A., Kurmashov P.B., Golovakhin V., Ukhina A.V., Maksimovskiy E.A., Ishchenko A.V., Bannov A.G. Solution combustion synthesis of Ni/Al₂O₃ catalysts using tartaric acid as fuel: The way to optimize the yield of carbon nanofibers and turquoise hydrogen from methane and associated petroleum gas // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2025. Vol. 103. P. 356–368.

NEW MECHANOCHEMICAL TECHNOLOGIES FOR EXTRACTING CARRAGEENAN FROM ALGAE AND CREATION OF NEW HYBRID ORGANIC-INORGANIC MATERIALS BASED ON IT

Myz S.¹, Liang Q.², Yu H.³, Politov A.¹, Gao H.²

¹Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia,
²Sida Powder Technology Co., Yulin, Guangxi, China ³Dalian Jiaotong University, Dalian, Liaoning, China

Carrageenan is the general name for galactosulfates extracted from red seaweed. They differ significantly in their polysaccharide composition from all other plants and typically contain sulfated galactans as the main structural material of cell walls and the intercellular matrix. Some of these polysaccharides, known as agars or carrageenans, have valuable gelling and stabilizing properties and are produced from algae on an industrial scale and are of great practical importance. Depending on the number of sulfate groups, there are kappa, lambda and iota carrageenans, the structures are shown in Fig. 1. In industry and materials science, highly refined carrageenan, or RC, and low-purity carrageenan, or semi-refined carrageenan (SRC), are used. Most RC is used in the food industry, as well as in pharmaceuticals, cosmetics, and medical implants manufacturing. SRC can be used as a material in such applications where controlled composition is not required and where its use is not related to human health. For example, SRC can be used in the oil industry to redirect water flows and oil wells repairs. Due to its sulfo group, carrageenan helps change the rock's wettability from hydrophobic to hydrophilic, facilitating the separation of the oil film from the surface of the reservoir grains. Using carrageenan screens at groundwater depth can help flood control. Carrageenan also finds important applications in agriculture, for example, for encapsulating fertilizers. Coating fertilizers with a polymer film containing carrageenan ensures their controlled release into the soil, ensuring uniform fertilizer delivery to plants. These fertilizers, called Control Released Fertilizers (CRF), help grow green crops and prevent environmental pollution from mineral salts. Carrageenan is also used as a fire suppressant. Polymer cocoons made from carrageenan can be used as incubators for growing soil bacteria.

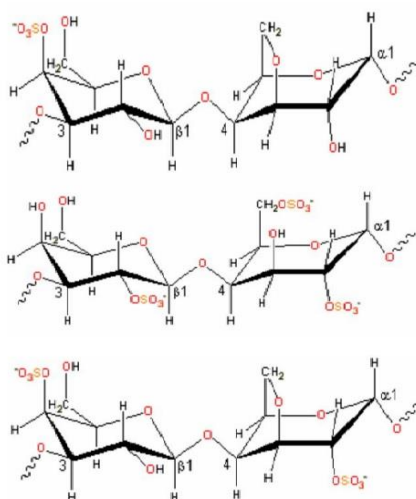


Fig. 1. Structures of kappa, lambda, and iota carrageenans

The development of low-cost and simple technologies for isolating carrageenan from algae is contributing to wider application. One such technology is mechanochemical technology, which produces a product with the desired rheological and mechanical properties. This reduces the time to obtain the product and the concentration of reagents used. Table 1 compares the standard chemical method for producing SRC with our proposed mechanochemical method.

Table 1. Chemical and mechanochemical isolation of carrageenan

Semi Refined Carrageenan (SRC)	Mechanochemical Carrageenan (MC)
a. Washing and chopping (seaweeds)	a. Washing and chopping (seaweeds)
	Mechanical treatment (extrude)
b. Alkali Treatment (stirred reactor) 105 °C, KOH (8%), 2 hours	b. Alkali Treatment (hydro pulses reactor) 90 °C, KOH (3%), 0.5 hours
c. Neutralization	c. Neutralization
d. Washing	
e. Bleaching	
f. Drying and Milling	f. Drying and Milling

Two mechanisms for mechanochemical process intensification are proposed. The first is hydrothermal. Our research has shown that at a hydropulse reactor (HPR) rotor speed of 3000 min⁻¹, temperature and hydrostatic pressure can reach 115–135°C and 170–313 kPa, respectively. The second mechanism for localized temperature and pressure increase is associated with the formation and collapse of cavitation bubbles that arise from the stretching and compression of the suspension dispersion medium during HPR processing. Shear stresses that arise between the rotor and stator in HPR also ensure dispersion of the suspension. Thus, acceleration of carrageenan isolation from seaweeds using mechanochemical technology is associated with mechanical rupture of the thallome cell wall and its dispersion, while intense shear deformations in the reaction medium lead to the facilitation of diffusion barriers in the cyclization reaction and the formation of 3,6-anhydro-D-galactose rings. The kinetic stages of the processes are accelerated by increasing the local temperature.

Due to the processes described above, combined treatment of carrageenan in HPR with submicron and nanosized particles or with a sodium silicate solution allows to produce homogeneous organic-inorganic gels in which the organic and inorganic components are linked by chemical or intermolecular bonds. Inorganic additives allow for controlled change of the mechanical and rheological properties of both mixed gels and the “soft matter” obtained from them over a wide range of values. The presented mechanochemical method for isolating carrageenan was performed on a pilot line with a capacity of approximately 0.1 m³ per hour. Our experience processing other natural polysaccharides suggests that this technology can be scaled up to an industrial line with a capacity of 3-5 m³ per hour [1].

References

1. Politov A.A., Myz S.A., Aksenov V.V. Intensification of starch grain destruction, gelatinisation and hydrolysis in water–starch suspension during mechanical processing // *Chemistry for Sustainable Development*. 2024. № 32. P. 619–626.

ПОЛУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ НИТРАТОВ ВИСМУТА СОСТАВОВ

$\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2(\text{NO}_3)_2$

Коледова Е.С., Юхин Ю.М.

Институт химии твердого тела и механохимии

Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 630090, Новосибирск, ул.

Кутателадзе, 18

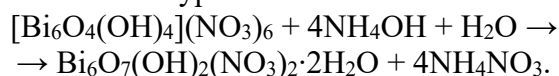
naydenko@solid.nsc.ru

Соединения висмута в настоящее время широко используются в технике и медицине. Так, висмут азотнокислый основной (висмута субнитрат, основной нитрат висмута) относится к вяжущим, обволакивающим и антацидным средствам, используется в качестве фармацевтической субстанции для приготовления лекарственных препаратов Викалин, Викаир, Анузопрокт и Нео-Анузол. Нитраты висмута часто используются в качестве прекурсоров при получении других соединений висмута и находят широкое применение при получении функциональных материалов [1]. Среди основных нитратов висмута наиболее широкое применение в технике и медицине в настоящее время находит соединение состава $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, которое кристаллизуется в виде удлинненно-призматических хорошо ограниченных кристаллов длиной от 5 до 50 мкм и в поперечном сечении от 1x1 до 5x5 мкм, содержит 17,72% нитрат-ионов, его растворимость в воде составляет 600–900 мкг/мл, удельная поверхность 3,2 м²/г, а насыпная плотность 1,33 г/см³.

В настоящей работе с целью получения мелкокристаллического основного нитрата висмута с меньшим содержанием нитрат-ионов и нерастворимого в воде исследован процесс осаждения висмута в результате добавления азотнокислого раствора висмута в водный раствор аммиака в области pH 10–11, а также термические превращения полученного соединения.

Процессы получения образцов основных нитратов висмута осуществляли следующим образом. В стакан помещали 180 мл дистиллированной воды и 45 мл раствора NH_4OH с концентрацией 12,8 моль/л. К полученной смеси по каплям приливали 36,4 мл азотнокислого раствора, содержащего 455 г/л висмута и азотной кислоты 1,08 моль/л, полученного в результате растворения висмута нитрата основного состава $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ в азотной кислоте с концентрацией 6,5 моль/л. Время синтеза составляло 0,5 (образцы 1, 2, 4) или 24 (образец 3) ч, температура процесса 22 ± 2 (образцы 1, 4) или 55 ± 2 °C (образцы 2, 3). pH контролировали добавлением водного раствора аммиака для поддержания значений в диапазоне 10–11. Образец 4 получен в результате обработки образца 1 дистиллированной водой при температуре 90°C. Полученные продукты промывали дистиллированной водой при 60 ± 5 °C и сушили на воздухе. Образцы 5 и 6 получены путем прокаливания образца 1 в муфельной печи в течение 4 ч при температурах 300°C и 450°C соответственно.

Результаты проведенных физико-химических исследований полученных образцов 1–3 показали, что данные продукты рентгеноаморфны и соответствуют основному нитрату висмута состава $\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Потеря массы на первой ступени разложения составляет 2,3% и соответствует потере двух молекул воды (теор. 2,31%). По данным химического анализа содержание ионов висмута в образце 1 составляет 79,42%, нитрат-ионов – 7,64%, а их мольное соотношение составляет при этом 3,08 : 1, что согласуется с теоретическим значением 3 : 1. Поскольку висмут в азотнокислых растворах с содержанием 20 г/л и выше находится в виде полиядерного катиона $[\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4]^{6+}$, то реакция получения данного продукта может быть описана уравнением:



Растворимость полученного образца 1 состава $\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в воде составляет 1,4 мкг/мл, удельная поверхность 7,8 м²/г, а насыпная плотность 0,87 г/см³.

Дифрактограмма образца 4 соответствует дифрактограмме основного нитрата висмута состава $\text{Bi}_6(\text{NO}_3)_2\text{O}_7(\text{OH})_2$, приведенного в работах [2, 3]. Данные химического анализа

показали, что содержание ионов висмута в образце 4 составляет 78,97%, нитрат-ионов – 7,73%, при этом мольное соотношение указанных ионов составляет 3,02:1. Из результатов ДТА следует, что образец 4 содержит только небольшое количество адсорбционной воды. Растворимость данного соединения в воде составляет 0,46 мкг/мл, удельная поверхность 9,0 м²/г, а насыпная плотность 0,35 г/см³. Данные гранулометрического анализа согласуются с данными электронной микроскопии, результатами по насыпной плотности и удельной поверхности продуктов. Медианный размер частиц (D₅₀) для образца 1 составляет 80,4 мкм, для образца 4 – 6,2 мкм, при этом D₁₀ и D₉₀ равны 4,9 и 252,8 мкм для образца 1 и 3,2 и 43,9 мкм для образца 4.

Дифрактограмма образца 5, полученного путем прокаливания образца 1 при температуре 300°C, сохраняет основные рефлексы соединения состава Bi₆O₇(OH)₂(NO₃)₂. Химический анализ образца 5 подтверждает, что мольное соотношение ионов висмута и нитрат-ионов соответствует теоретическому значению 3 : 1. Из данных ДТА следует, что продукт содержит только небольшое количество адсорбционной воды.

Дифрактограмма образца 6 свидетельствует о том, что он является смесью двух компонентов, которые соответствуют составам Bi₅O₇NO₃ [4] и Bi₂O₃ (PDF 41-1449). По данным химического анализа содержание ионов висмута в образце 6 составляет 86,35%, нитрат-ионов – 3,32%, а их мольное соотношение составляет 7,71 : 1, что также свидетельствует о смеси фаз в составе данного образца.

Таким образом, исследован процесс осаждения основного нитрата висмута в результате добавления азотнокислого раствора висмута к водному раствору аммиака. Установлено, что при pH раствора 10-11 и температуре процесса 22±2°C образуется основной нитрат висмута состава Bi₆O₇(OH)₂(NO₃)₂·2H₂O. Показано, что основной нитрат висмута состава Bi₆O₇(OH)₂(NO₃)₂ может быть получен в результате обработки основного нитрата висмута состава Bi₆O₇(OH)₂(NO₃)₂·2H₂O водой при 80–95°C.

В результате термического разложения основного нитрата висмута состава Bi₆O₇(OH)₂(NO₃)₂·2H₂O при 300°C на дифрактограмме продукта сохраняются основные рефлексы соединения состава Bi₆O₇(OH)₂(NO₃)₂, а при 450°C имеет место образование соединения состава Bi₅O₇NO₃ с примесью Bi₂O₃.

По данным гранулометрического анализа и электронной микроскопии полученные образцы основных нитратов висмута являются мелкокристаллическими, что позволяет предполагать их высокую реакционную способность при использовании в качестве прекурсоров для получения висмутсодержащих оксидных материалов.

Список использованных источников

1. Юхин Ю.М., Коледова Е.С., Логутенко О.А. *Висмут и его соединения в медицине*. М.: РАН, 2022. 234 с.
2. Egorysheva A.V., Gaitko O.M., Golodukhina S.V., Khoroshilov A.V., Fatyushina E.V., Dudkina T.D. Microwave-assisted hydrothermal synthesis of Bi₆(NO₃)₂O₇(OH)₂ and its photocatalytic properties // *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2019. Vol. 64, № 1. P. 13–17.
3. Nishio Y., Amezawa K., Horibe M. et al. The synthesis of new bismuth basic nitrate complex oxides by the soft processing – BiO(NO₃)–KOH–H₂O system – // *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*. 2002. Vol. 9. P. 593–599.
4. Kodama H. Synthesis of a new compound, Bi₅O₇NO₃, by thermal decomposition // *Journal of Solid State Chemistry*. 1994. Vol. 112, № 1. P. 27–30.

ПОЛУЧЕНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА МЕТОДОМ СОСАЖДЕНИЯ

Колыванов А.С., Гудыма Т.С., Баннов А.Г.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск,
kolyvanov-03@mail.ru

Научный руководитель: Баннов А.Г., д.х.н, к.т.н., профессор

Разработка эффективных методов конверсии метана и других углеводородных газов представляет высокий интерес для химической технологии в контексте развития водородной энергетики и рационального использования природных ресурсов. Особую значимость приобретают процессы, позволяющие получать водород без образования парникового газа - оксида углерода (CO_x -free), что исключает необходимость его последующего удаления и упрощает технологическую схему [1].

Наиболее перспективными для такого процесса являются металлические катализаторы, среди которых предпочтение отдается системам на основе железа, благодаря их доступности и высокой каталитической активности.

В данной работе исследуются катализаторы состава Fe-Co/ Al_2O_3 , синтезированные методом соосаждения. Кристаллогидраты нитратов металлов растворялись в дистиллированной воде. В качестве соосадителя использовали гидроксид натрия [2]. Осаждение проводилось при различных значениях pH (7–10) и постоянной температуре 60 °С. Далее полученные образцы прокаливались при 450 °С в течение 7 часов. Главное преимущество этого метода заключается в возможности точного контроля состава и структуры катализатора, что обеспечивает формирование высокооднородных наночастиц с развитой поверхностью и, как следствие, повышенную стабильность и производительность по сравнению с катализаторами, полученными методом пропитки [3]. Тестирование катализаторов проводилось в кварцевом реакторе при атмосферном давлении и температуре 750 °С (углеводородный газ – метан) в течение 6 часов [4].

Наибольший выход углерода и водорода показал катализатор FC_{Ag}n₉, синтезированный при pH = 9. Выходы углерода и водорода составили 3,8 г/Г_{кат} и 0,8 моль/Г_{кат}, соответственно. Проведены физико-химические испытания полученных катализаторов, такие как: фотоседиментационный анализ, рентгенофазовый анализ, энергодисперсионная спектроскопия.

В дальнейшем планируется провести синтез катализатор с использованием других соосадителей, таких как Na_2CO_3 и NH_4OH , для выявления условий, позволяющих получить наиболее активный катализатор.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (код FSUN-2026-0006).

Список использованных источников

1. Пермяков Е.А., Коган В.М. Каталитическая конверсия изоэлектронных молекул CO и N_2 в присутствии водорода // *Успехи химии*. 2023. Т. 92, № 10. С. 5094. doi: 10.59761/RCR5094.
2. Курмашов П.Б., Гудыма Т.С., Головахин В., Ухина А.В., Максимовский Е.А., Ищенко А.В., Баннов А.Г. Синтез металлических катализаторов Ni–Cu/ Al_2O_3 методом «горения растворов» с использованием сахарозы в качестве восстановителя // *Химия твёрдого топлива*. 2025. № 2. С. 64–73.
3. Mirzaei A.A., Habibpour R., Kashi E. Preparation and optimization of mixed iron–cobalt oxide catalysts for conversion of synthesis gas to light olefin // *Applied Catalysis A: General*. 2005. Vol. 296. P. 222–231. doi: 10.1016/j.apcata.2005.08.033.
4. Лapidус А.Л., Цапкина М.В., Крылова А.Ю., Тонконогов Б.П. Биметаллические кобальтовые катализаторы синтеза углеводородов из CO и H_2 // *Успехи химии*. 2005. Т. 74, № 6. С. 634–645.

ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ CH₄ и NO₂ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ И ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Лозбень А.Д.¹, Кох К.А.², Баннов А.Г.¹

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, arina_lozben@mail.ru.

²Институт геологии и минералогии имени В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: Баннов А. Г., д.х.н., доцент

Углеродные наноматериалы (УНМ) вызывают значительный научный интерес благодаря разнообразию форм, структур, а также уникальным химическим и физическим свойствам. Отдельное направление их применения связано с газовой сенсорикой. На основе углеродных нанотрубок (УНТ) и углеродных нановолокон (УНВ) разрабатываются хеморезистивные газовые датчики, обладающие высокой чувствительностью к газам различной природы, в частности, к NO₂. Также добавление к УНМ других наноматериалов (например, дихалькогенидов переходных металлов (ДПМ) или оксидов металлов) [1-2] позволяет создавать селективные сенсоры с пределом обнаружения до единиц частей на миллиард (ppb).

В данной работе для создания чувствительного слоя газовых сенсоров использовались углеродные наноматериалы – многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ_№1, МУНТ_№2) и углеродные нановолокна (НВУ_№1, НВУ_№2), полученные методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) на железо-кобальтовом и никель-медном катализаторах соответственно. Для изготовления сенсоров, работающих на основе композитных материалов, использовались дихалькогениды вольфрама (WS₂, WTe₂, WSe₂) и молибдена (MoTe₂, MoS₂, MoSe₂), а также углеродные нановолокна (УНВ). Нанесение материалов производилось путем аэрографического напыления суспензии на текстолитовую подложку с медными контактами. Для изготовления суспензии были взяты навески материалов (30 мг – для сенсоров на основе УНМ; 15 мг – для сенсоров на основе композитов) с последующим их диспергированием в этаноле (10 мл) в течение 60 мин. Подобным образом были изготовлены сенсоры из чистых углеродных наноматериалов и их композитов (ДПМ:УНМ = 1:1).

Испытание сенсоров проводилось на установке динамического типа с двухточечным методом измерения сопротивления. Тестирование проводилось на следующие типы газов: NO₂, NH₃, CH₄. Полученные данные были обработаны и использованы для построения зависимости изменения относительного отклика (ΔRR_0) от времени (рис. 1).

Относительный отклик ($\Delta R/R_0$) находили по формуле:

$$\Delta RR_0 = \frac{R - R_0}{R_0} \cdot 100\%,$$

где R₀ – начальное электрическое сопротивление при воздействии газа-носителя (воздуха), Ом; R – электрическое сопротивление сенсора при воздействии анализируемого газа, Ом.

Сенсоры, изготовленные из чистых дихалькогенидов переходных металлов, не проявили положительного отклика ни к одному из исследованных газов. Среди датчиков на основе углеродных наноматериалов наибольшую чувствительность к NO₂ продемонстрировал сенсор на основе НВУ_№2, поэтому он был выбран в качестве базового для получения композитов. Введение дихалькогенидов в состав НВУ_№2 позволило достичь величины относительного отклика $\Delta RR_0 = 33\%$ при концентрации NO₂ 2 ppm, что превосходит показатели чистого НВУ_№2. Кроме того, композитные сенсоры обнаружили положительный отклик на метан, в то время как на чистых углеродных наноматериалах этот эффект отсутствовал. На основании полученных данных сделан вывод о наличии синергетического взаимодействия между дихалькогенидами и НВУ, которое усиливает хеморезистивные свойства газовых сенсоров при детектировании NO₂ и CH₄.

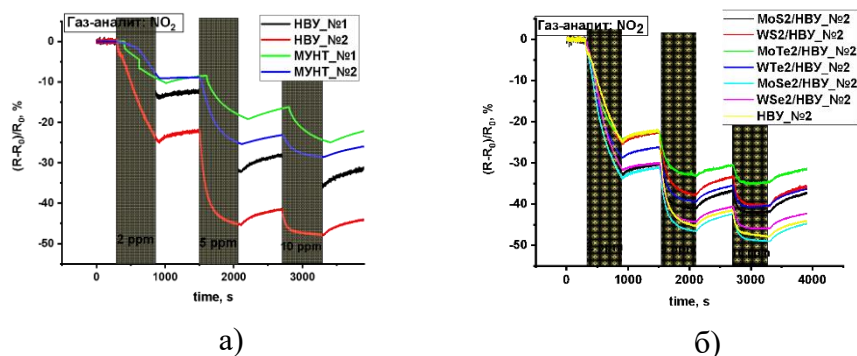


Рис. 1. Относительная чувствительность сенсоров при концентрации $\text{NO}_2 = 2 \dots 10$ ppm (25°C): а) на базе УНМ; б) на базе ДПМ и HBY_No2 .

Работа была выполнена в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования (FSUN-2026-0006).

Список использованных источников

1. Recum P., Hirsch T. Graphene-based chemiresistive gas sensors // *Nanoscale Advances*. 2024. Vol. 6, iss. 1. P. 11–31.
2. Sakhivel R., Geetha A., Ba A. et al. Design of MoS_2 /graphene heterostructure thin film sensors for high performance NO_2 gas sensor applications // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2070.

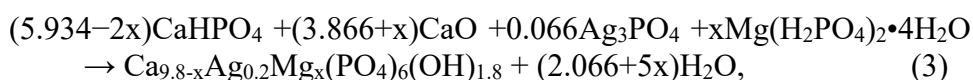
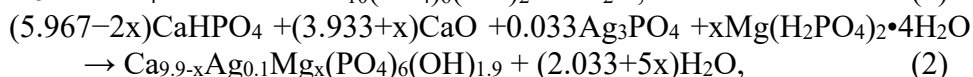
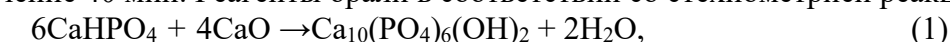
ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ГИДРОКСИАПАТИТА С ДВОЙНЫМ КАТИОННЫМ ЗАМЕЩЕНИЕМ НА ИОНЫ СЕРЕБРА И МАГНИЯ

Макарова С.В., Бородулина И.А.

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск
makarova@solid.nsc.ru

Гидроксиапатит (ГА) – структурный аналог минерального компонента костной ткани – остается одним из наиболее востребованных материалов в регенеративной медицине. Однако его применение в качестве антибактериального имплантата ограничено из-за отсутствия собственной биоцидной активности. Введение ионов серебра решает эту задачу, но часто сопровождается снижением термической устойчивости материала: уже при умеренных температурах отжига возможно разложение апатита с образованием фаз β -трикальцийфосфата (β -ТКФ) и Ag_3PO_4 . С другой стороны, замещение на магний, характерный микроэлемент костной ткани, способно упорядочивать кристаллическую решетку [1]. Особый интерес представляет механохимический синтез – метод, позволяющий избежать жидкофазных превращений и достичь стехиометрии реагентов. В настоящей работе изучено влияние одновременного замещения катионов кальция на ионы серебра и магния в структуре ГА – AgMg -ГА, синтезированного механохимическим методом, на его фазовую стабильность при отжиге.

AgMg -ГА был получен механохимическим методом в планетарной шаровой мельнице АГО-2 в течение 40 мин. Реагенты брали в соответствии со стехиометрией реакций (1) – (3).



где $x(\text{Mg}) = 1.0, 1.5, 2.0$ и 2.5

По данным РФА (Рис. 1) установлено, что по реакции 2 однофазный AgMg -ГА возможно получить до $x(\text{Mg}) = 1.5$, увеличение концентрации магния приводит к затруднению образования фазы апатита и в продуктах реакции сохраняется исходный монетит. По реакции 3 возможно получение однофазного продукта до $x(\text{Mg}) = 2.0$. Доля аморфной фазы с ростом концентрации магния растет (Рис. 1), а ОКР падает (Табл. 1). Параметры элементарной ячейки AgMg -ГА уменьшаются с ростом концентрации катионов-заместителей (Табл. 1). Данный эффект обусловлен замещением ионов кальция меньшими по размеру ионами магния ($R_{\text{Ca}^{2+}} = 1.00 \text{ \AA}$, $R_{\text{Mg}^{2+}} = 0.72 \text{ \AA}$). Влияние радиуса ионов серебра не проявляется на фоне преобладающего эффекта магния ($R_{\text{Ag}^+} = 1.22 \text{ \AA}$).

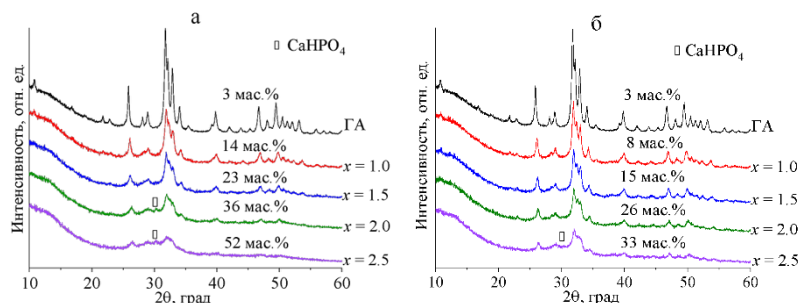


Рис. 1. Дифрактограммы синтезированных образцов AgMg -ГА по реакции 2(а) и реакции 3 (б) в зависимости от $x(\text{Mg})$. Над дифрактограммами указана доля аморфной фазы.

Для исследования термической стабильности AgMg -ГА образцы были отожжены при температурах 400 – 1000 °С в течение 2 ч. Незамещенный ГА остался однофазным при всех температурах.

Таблица 1. Параметры элементарной ячейки синтезированных образцов AgMg-ГА

x(Mg)	Реакция 2			Реакция 3		
	a, Å	c, Å	ОКР, нм	a, Å	c, Å	ОКР, нм
1.0	9.416(3)	6.842(2)	18.1(5)	9.411(2)	6.833(2)	21.4(6)
1.5	9.415(6)	6.831(4)	15.8(6)	9.404(4)	6.812(2)	19.8(6)
2.0	9.429(9)	6.820(6)	13.3(9)	9.397(5)	6.788(4)	17.4(8)
2.5	9.45(2)	6.81(2)	10(2)	9.392(8)	6.772(6)	15.7(9)
ГА	9.433(1)	6.889(1)	28.8(4)			

При температуре 400 °С произошла полная конверсия исходных реагентов в структуру ГА и образцы AgMg-ГА при всех концентрациях магния однофазны (Табл. 2). Повышение температуры отжига до 600 °С также не привело к разложению фазы AgMg-ГА. Отжиг при 700 °С привел к разложению фазы AgMg-ГА с образованием β-ТКФ. С повышением концентрации магния образуется дополнительная фаза – Mg₃Ca₃(PO₄)₄ (Табл. 2). После 800 °С и при x(Mg) ≥ 2.0 фаза ГА полностью исчезает и помимо фосфатных фаз образуется фаза MgO.

Таблица 2. Фазовый состав (мас.%) образцов после отжига

x(Mg)	Температура, °С				
	400	600	700	800	1000
Реакция 1					
0	100 – ГА	100 – ГА	100 – ГА	100 – ГА	100 – ГА
Реакция 2					
1.0	100 – ГА	100 – ГА	86.1 – ГА 13.9 – В	47.7 – ГА 52.3 – В	44.2 – ГА 53.5 – В 2.3 – MgO
1.5	100 – ГА	100 – ГА	81.2 – ГА 18.2 – В	18.8 – ГА 76.4 – В 4.8 – MgO	15.6 – ГА 80.9 – В 3.5 – MgO
2.0	100 – ГА	100 – ГА	58.1 – ГА 28.1 – В 13.8 – М	94.8 – В 5.2 – MgO	95.6 – В 4.4 – MgO
2.5	100 – ГА	100 – ГА	46.5 – ГА 29.8 – В 23.7 – М	82.0 – В 12.4 – М 5.6 – MgO	82.1 – В 13.3 – М 4.6 – MgO
Реакция 3					
1.0	100 – ГА	100 – ГА	72.3 – ГА 27.7 – В	43.8 – ГА 56.2 – В	41.0 – ГА 56.7 – В 2.3 – MgO
1.5	100 – ГА	100 – ГА	59.3 – ГА 32.3 – В 8.4 – М	14.0 – ГА 84.2 – В 1.8 – MgO	9.8 – ГА 86.6 – В 3.6 – MgO
2.0	100 – ГА	100 – ГА	46.6 – ГА 38.7 – В 14.7 – М	97.9 – В 2.1 – MgO	96.0 – В 4.0 – MgO
2.5	100 – ГА	100 – ГА	36.1 – ГА 40.6 – В 23.3 – М	85.1 – В 14.9 – М	81.2 – В 15.1 – М 3.7 – MgO

* В – β-ТКФ; М – Mg₃Ca₃(PO₄)₄

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-73-00238, <https://rscf.ru/project/25-73-00238/>.

Список использованных источников

1. Šupová M. Substituted hydroxyapatites for biomedical applications: A review // *Ceramics International*. 2015. Vol. 41, № 8. P. 9203–9231.

**ВЗАИМОСВЯЗЬ «СОСТАВ – СТРУКТУРА – СВОЙСТВА» В ОКСИДАХ
La_{0.4}Sr_{0.6}Fe_{1-x}Al_xO_{3-δ}, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КАТАЛИТИЧЕСКИХ МЕМБРАННЫХ
РЕАКТОРАХ**

Мамонова В.Е.^{1,2}, Арапова М.В.¹, Брагина О.А.¹, Немудрый А.П.¹

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, 630090,
г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18;

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, г.
Новосибирск, ул. Пирогова, 1; v.mamonova1@g.nsu.ru

Каталитические мембранные реакторы (КМР) являются перспективной технологией для процессов парциального окисления метана. В качестве материалов мембран представляют интерес перовскитоподобные оксиды, обладающие кислородной и электронной проводимостью. В частности, широко исследуются мембранные материалы на основе допированного различными катионами феррита лантана-стронция с целью создания соединений, сочетающих высокую проницаемость и стабильность при различных парциальных давлениях кислорода. Одной из стратегий модификации свойств является допирование изовалентными катионами с постоянной степенью окисления, позволяющее достичь высокой термомеханической стабильности при сохранении достаточных транспортных характеристик [1, 2].

Целью данной работы являлось установление влияния введения катиона алюминия на структуру и транспортные характеристики перовскитоподобного оксида La_{0.4}Sr_{0.6}FeO_{3-δ}. Основное внимание в работе направлено на анализ соответствия исследуемых оксидов требованиям, предъявляемым к материалам каталитических мембранных реакторов.

Серия сложных оксидов La_{0.4}Sr_{0.6}Fe_{1-x}Al_xO_{3-δ} (x = 0, 0.05, 0.10, 0.20) была синтезирована твердофазным методом. Структура образцов исследована методом РФА. Рефлексы образцов при низких концентрациях допанта (x = 0, 0.05) соответствуют ромбоэдрической симметрии, при средних и высоких (x = 0.10, 0.20) – кубической. Методом просвечивающей электронной микроскопии показано, что образец La_{0.4}Sr_{0.6}Fe_{0.9}Al_{0.1}O_{3-δ} состоит из разупорядоченных доменов с симметрией ниже кубической. Наблюдаемая на рентгенограмме псевдокубическая картина при этом является следствием хаотической ориентации доменов. Абсолютная нестехиометрия образцов установлена методом йодометрического титрования. Показано, что увеличение концентрации алюминия приводит к росту абсолютной нестехиометрии оксидов на воздухе при комнатной температуре, что может быть связано с проявлением смешанного механизма компенсации зарядов. Зависимость проводимости оксидов от температуры исследована методом Ван-дер-Пау. Установлено, что увеличение концентрации допанта ведет к снижению общей проводимости и увеличению соответствующей энергии активации. В области рабочих температур каталитических мембранных реакторов (650 – 850 °С) проводимость согласуется с типичными значениями для перовскитоподобных ферритов, применяемых в КМР [1]. Методом квазиравновесного выделения кислорода [3] получены равновесные зависимости «3-δ – T – pO₂» и соответствующие термодинамические параметры выделения кислорода из оксидов. Показано уменьшение кислородной ёмкости оксидов в изотермических условиях при увеличении концентрации допанта. Наблюдаемый эффект может свидетельствовать об уменьшении количества кислорода, участвующего в процессах КМР, и об увеличении стабильности мембранного материала за счет уменьшения коэффициентов термического расширения. Этот вывод согласуется с данными *in situ* высокотемпературного РФА. Для образца La_{0.4}Sr_{0.6}Fe_{0.9}Al_{0.1}O_{3-δ} показана согласованность КТР на воздухе и в вакууме, что может свидетельствовать о высокой стабильности в градиенте парциального давления кислорода. Скорость поверхностной реакции обмена кислородом для образцов с x = 0.05, 0.10, 0.20 исследована методом статического кислородного обмена ³⁶O₂ в области температур ниже 700 °С при pO₂ ~ 10⁻⁴ атм. Показано, что константа скорости реакции возрастает при сохранении энергии активации, что говорит об увеличении количества элементарных актов обмена на поверхности в единицу времени и наиболее вероятно связано

с увеличением количества вакансий и координационно-ненасыщенных атомов железа, являющихся центрами адсорбции молекул кислорода. Совокупность полученных данных позволяет сделать вывод о соответствии исследуемых оксидов требованиям, предъявляемым к материалам каталитических мембранных реакторов.

Список использованных источников

1. Mixed conductivity and Mössbauer spectra of $(\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})_{1-x}\text{Fe}_{1-y}\text{Al}_y\text{O}_{3-\delta}$ ($x=0-0.05$, $y=0-0.30$) / V. V. Kharton, J. C. Waerenborgh, A. P. Viskup [et al.] // *Journal of Solid State Chemistry*. – 2006. – Vol. 179. – № 4. – P. 1273-1284. – DOI 10.1016/j.jssc.2006.01.037.
2. Oxygen nonstoichiometry and mixed conductivity of $\text{SrFe}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_{3-\delta}$ ($\text{M}=\text{Al}, \text{Ga}$): Effects of B-site doping / M. V. Patrakeev, V. V. Kharton, Yu. A. Bakhteeva [et al.] // *Solid State Sciences*. – 2006. – Vol. 8. – № 5. – P. 476-487. – DOI 10.1016/j.solidstatesciences.2006.01.006.
3. Oxygen release technique as a method for the determination of “ δ - $p\text{O}_2$ -T” diagrams for MIEC oxides / I. Starkov, S. Bychkov, A. Matvienko, A. Nemudry // *Phys. Chem. Chem. Phys.* – 2014. – Vol. 16. – № 12. – P. 5527-5535. – DOI 10.1039/C3CP52143E.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН молодежной лаборатории «Разработка мембранных материалов и технологий для водородной энергетики» (проект 126011215469-6)

ВЫБОР ВИДА АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЗАГОТОВОК МАГНИТОВ ПРИ ИХ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ

Мустафина К.А., Новгородцева О.Н.

Новосибирский государственный технический университет

Научный руководитель: Новгородцева О.Н.

kseiniyamum@yandex.ru

Материал магнитов представляет собой спеченный сплав системы неодим-железо-бор (Nd-Fe-B) с химической формулой основной магнитной фазы $Nd_2Fe_{14}B$. Состав сплава, в общем виде включает (% мас.): Nd (31), Dy (1.5-4), B (1), Co (1), Cu (0.1), Al (0.4), Ga (0.2), Fe – остальное. Важной особенностью является то, что неодим часто присутствует в смеси с празеодимом (Pr) [1].

Микроструктура материала является многофазной и неоднородной. Для достижения высоких магнитных свойств используется технология «двойного сплава», включающая базовый сплав (близкий к $Nd_2Fe_{14}B$) и легкоплавкую добавку, обогащенную неодимом [2]. В качестве жидкофазной составляющей выступает тройная эвтектика – обогащенная неодимом фаза (когда речь идет о магнитах системы Nd-Fe-B). В работе показано, что наблюдаются два пика скорости усадки. Первый пик (при 700°C) обусловлен расплавлением обогащенной неодимом фазы ($T_{пл}=655^\circ\text{C}$). В этой области температур происходят процессы перегруппировки, а также диффузионные процессы растворения–пересадки, ответственные за высокую скорость усадки. Второй пик (в диапазоне $950\text{--}1000^\circ\text{C}$) объясняют сильным ростом зерна основной магнитной фазы. Для магнитных материалов системы Nd-Fe-B суммарная усадка при спекании может достигать от 10 до 16,5%, что при жидкофазном механизме в структуре материала формирует закрытую пористость. В микроструктуре наблюдаются обогащенные неодимом пленки по границам зерен основной фазы, поры, включения оксидов, а также возможны межкристаллитные микротрещины [3].

Низкая коррозионная стойкость спеченного материала Nd-Fe-B определяется совокупностью факторов, связанных с его химическим составом и микроструктурой.

В работе рассмотрены противокоррозионные свойства защитных покрытий поверхности спеченного материала на основе сплава неодим-железо-бор (NdFeB), используемых в качестве консервационных при транспортировании.

Проведены экспериментальные исследования сравнительной коррозионной стойкости поставленных заготовок Магнитов со следующими видами обработки поверхности:

- с цинк-фосфатным покрытием (Хим.Фос);
- с оксидным покрытием (пассивирование, оксидная пленка получены при воздействии нагретым воздухом (Гор.Пас), режимы не указаны);
- без обработки поверхности заготовок после операции шлифования.
- в вакуумной упаковке без разгерметизации;
- в вакуумной упаковке с разгерметизацией.

Испытания коррозионной стойкости заготовок магнитов проводили по стандартным методам ускоренных коррозионных испытаний [14] в нейтральном соляном тумане и при циклическом воздействии влаги и температуры.

Полученные результаты испытаний показали отсутствие значительных преимуществ в отношении противокоррозионных свойств цинк-фосфатного и оксидного покрытий, перед оксидными пленками, образующимися на поверхности магнитного материала естественным путем. Экспериментально показано, что применение вакуумной упаковки заготовок или пластикового пакета (без герметизации) дает положительные результаты: испытания в таких упаковках дали полное отсутствие коррозионных поражений заготовок Магнитов, находящихся в таких упаковках.

Работа выполнена в соответствии с тематическим планом НГТУ ТП-ХХТ-1_26.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 52956–2008. Материалы магнитотвёрдые спечённые на основе сплава неодим–железо–бор. Классификация. Основные параметры. М.: Стандартиформ, 2008. 12 с.
2. Материал для редкоземельных постоянных магнитов: пат. 2174261 Рос. Федерация. № 2000115446/07 / Лилеев А.С., Менушенков В.П., Савченко А.Г.; заявл. 15.06.2000; опубл. 27.09.2001. Бюл. № 27. 5 с.
3. Слинкин И.В., Чикова О.А. Магнитная структура и наномеханические свойства спечённых постоянных магнитов Nd–Dy–Fe–B марки USC-20L // *Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия*. 2020. № 5. С. 43–52.
4. ГОСТ 9.308–85. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний. М.: Издательство стандартов, 1990. 21 с.

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ *IN SITU* СИНТЕЗ TiC В Mo-МАТРИЦЕ

Ридель Н.С.¹, Ковалева С.А.², Девяткина Е.Т.¹, Восмериков С.В.¹,
Веремей И.С.^{2,3}, Григорьева Т.Ф.¹

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

³Университет Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Беларусь

ridelns@solid.nsc.ru

Композиционные материалы на основе молибдена представляют значительный интерес для высокотемпературной техники, авиа- и ракетостроения, а также ядерной энергетики благодаря высокой жаропрочности в интервале 1200–1800°C, устойчивости в неокислительных средах и сопротивлению радиационному повреждению. Вместе с тем их эксплуатационные возможности ограничены склонностью к разупрочнению при длительном нагружении, низкой износостойкостью и структурной нестабильностью при облучении, сопровождающейся распуханием и охрупчиванием. Одним из эффективных подходов к улучшению свойств является создание композиционных материалов с дисперсными частицами оксидов или карбидов, в том числе наноструктурированных. Среди карбидных упрочнителей карбид титана (TiC) представляет особый интерес, благодаря высокой твердости, температурной стабильности, теплопроводности и относительно высокой радиационной устойчивости. Перспективным подходом к получению композитов является механохимический *in situ* синтез карбидной фазы непосредственно в металлической матрице. Такой подход может решить ряд задач с синтезом карбида и обеспечить равномерное распределение высокодисперсных упрочняющих частиц и чистую межфазную границу, независимо от различий плотностей реагирующих компонентов. Целью работы было исследовать влияние Mo на структурно-фазовые превращения при механохимическом *in situ* синтезе TiC в системе Mo–Ti–C.

Механохимический синтез (МХС) проводили в планетарной шаровой мельнице АГО-2 в атмосфере Ar (скорость ~1000 об/мин, время обработки от 40 с до 8 мин). Структурно-фазовый состав анализировали методом рентгеновской дифракции (CuK α - излучение) с полнопрофильным уточнением по методу Ритвельда с использованием программного пакета DIFFRAC^{plus}: TOPAS. Микроструктурные характеристики оценивали по методологии double-Voigt. Фактор заселенности (g) кристаллографических позиций углерода в TiC уточнен в результате оптимизации структурной модели карбида с пространственной группой Fm-3m (225) в упорядоченном состоянии с фиксированными координатами атомов и заселённостью позиции титана 4a (0; 0; 0) $g=1$ с уточнением заселенности атомами углерода позиции 4b (0.5; 0.5; 0.5). Состав карбида определяли из параметра решетки и правила Вегарда, где $a_{\text{MoC}} = 0.427$ нм, $a_{\text{TiC}} = 0.4327$ Å:

$$a_{(\text{Ti}_{1-x}\text{Mo}_x)\text{C}} = (1 - x) \cdot a_{\text{TiC}} + x \cdot a_{\text{MoC}}$$

Адиабатическую температуру рассчитывали из энтальпийного баланса. Микроструктуру и морфологию изучали на растровом электронном микроскопе в режиме обратно рассеянных электронов (EVO MA-15, Mira 3) с микрорентгеноспектральным анализатором (MPCSA).

При МХС происходит интенсивное диспергирование исходных компонентов, при этом фрагментация титана происходит более интенсивно, чем молибдена. Уточнение фактора занятости (g) углеродных позиций в TiC после 4–5 мин синтеза при размерах его кристаллитов 7–9 нм показало низкие значения $g \sim 0.15\text{--}0.12$, что указывает на большое количество углеродных вакансий и значительную разупорядоченность в структуре и на то, что на ранних стадиях, возможно, формируются сильно дефектные структуры карбида. К 8 мин МА количество карбида увеличивается до 50 мас.%. Фактор занятости углеродных позиций в TiC после 5 мин МА линейно повышается до 0.74, также растет параметр решетки карбида. Средняя скорость заселения углеродных позиций, рассчитанная линейной аппроксимацией в этом интервале, составляет $v_g = 0.194$ ед/мин.

Теоретическая плотность, рассчитанная по параметру решётки-формируемого карбида в диапазоне 4–8 мин снижается от 5.01 до 4.66 г/см³. Таким образом, после 8 мин МА формируется дефектный, ненасыщенный углеродом карбид титана с экстремально малым размером зерна. Рентгенографически определяемая плотность карбида повышается до 6.223–7.491 г/см³, а параметр решетки снижается до 0.4302 и далее до 0.4295 нм после 20 мин механической активации (МА). Эти изменения могут соответствовать образованию смешанного карбида (Ti,Mo)C и сдвигу его состава в сторону повышенного содержания молибдена (от примерно Ti_{0.7}Mo_{0.3}C к Ti_{0.3}Mo_{0.7}C).

Электронная микроскопия исследованных образцов свидетельствует, что в интервале 40 с – 4 мин смесь порошков эволюционирует от композиционного агломерата с размерами частиц молибдена 1–6 мкм до плотного гетерофазного агрегата с размерами 10–20 мкм, состоящего из существенно более мелких частиц с размерами 0.5–1.0 мкм. После 8 мин МА происходит их диспергирование до 2–6 мкм, а после 20 мин МА размер частиц составляет 200–500 нм. Полученные данные распределения элементов указывают на гомогенное распределение молибдена и титана (рис. 1), что также подтверждает формирование смешанного карбида уже после 8 мин МА.

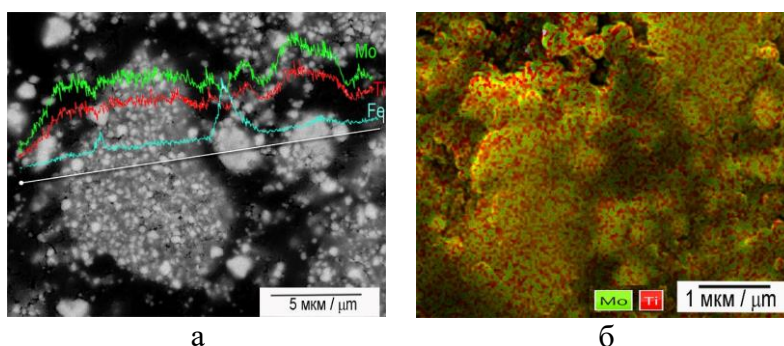


Рис. 1. Линейное распределение элементов (MPCSA) (а) и наложение карт распределения в характеристических излучениях Mo и Ti (б) *in situ* композитов в смеси 50 мас.% Mo + (Ti + C) после 8 мин МА

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект №126021217265-1)

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ Mo-TiC_p В ХОДЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

Ридель Н.С.¹, Ковалева С.А.², Девяткина Е.Т.¹, Восмериков С.В.¹, Видюк Т.М.^{1,3},
Веремей И.С.^{2,4}, Григорьева Т.Ф.¹

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

³Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
Новосибирск, Россия

⁴Университет Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Беларусь

ridelns@solid.nsc.ru

Современная ядерная энергетика предъявляет повышенные требования к материалам, эксплуатируемым в условиях высоких температур и интенсивного нейтронного облучения, включая устойчивость к высокотемпературной и радиационной ползучести, а также к радиационно-индуцированному охрупчиванию. Молибден и его сплавы обладают высокой температурой плавления и повышенной радиационной стабильностью, но склонны к потере прочности при длительных высокотемпературных нагрузках, к недостаточной абразивной износостойкости и к структурной нестабильности под воздействием интенсивного нейтронного облучения. Решение этой проблемы заключается в создании металломатричных композитов (ММК), в которых при высоком содержании упрочняющей добавки появляется возможность обеспечить развитую межфазную поверхность контакта. В таких композитах механические свойства определяются не только характеристиками упрочняющей фазы, но и особенностями интерфейса металл/карбид, включая прочность межфазного сцепления и термодинамическую стабильность границы раздела. Среди упрочняющих компонентов особый интерес представляет карбид титана (TiC), отличающийся высокой температурой плавления, твердостью, удовлетворительной смачиваемостью молибденом, достаточной теплопроводностью, коррозионной стойкостью и устойчивостью к радиационно-индуцированным дефектам.

Механическая активация (МА) и механическое сплавление пластичных металлических порошков с твердыми и хрупкими карбидами в высокоэнергетических мельницах позволяют обеспечить интенсивное диспергирование компонентов и формирование развитой межфазной поверхности контакта, способствующей интенсификации межфазных взаимодействий и образованию композиционных частиц. Мо характеризуется выраженной технологической пластичностью (ковкостью), при относительно низких температурах (~150–200°C) он становится хрупким и может разрушаться, поэтому поведение системы Mo-TiC в этих условиях ближе к типу «хрупкий—хрупкий». Целью работы было выявить закономерность формирования структуры порошков системы Mo-TiC_p при механической активации, влияние длительности механической активации на дисперсность и характер распределения карбидной фазы.

В работе использовали порошки Мо марки чистый (ООО «ГК СММ», Россия) с размером частиц <5 мкм и TiC_p, полученного методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (Донецкий завод химреактивов, ТУ 48-42-6-84). Из порошков готовили смесь состава 50 мас.% Мо – TiC.

Механохимический синтез (МХС) проводили в планетарной шаровой мельнице АГО-2 в атмосфере Ar (время обработки от 40 с до 12 мин). Структурно-фазовый состав анализировали методом рентгеновской дифракции (CuK_α - излучение) с полнопрофильным уточнением по методу Ритвельда с использованием программного пакета DIFFRAC^{plus}: TOPAS. Микроструктурные характеристики оценивали по методологии double-Voigt. Фактор заселенности кристаллографических позиций углерода в TiC уточнен в результате оптимизации структурной модели карбида. Микроструктуру и морфологию изучали на растровом электронном микроскопе в режиме обратно рассеянных электронов (BSE) с микрорентгеноспектральным анализатором (MPCA). Шлифы для микроструктурных

исследований готовили путем заливки порошков в эпоксидную смолу холодного отверждения с последующим механическим шлифованием и полированием. На начальной стадии обработки, до 4 мин МА, происходит интенсивное диспергирование и фрагментирование компонентов.

К 4 мин МА размер кристаллитов карбида уменьшается до ~19 нм, а Мо до ~23–25 нм. Исходные размеры кристаллитов (L) компонентов смеси превышали 160 нм. При увеличении МА до 12 мин скорость фрагментации существенно снижается. Размеры кристаллитов TiC уменьшаются до ~13–15 нм. Для Мо после 8 мин характерны значения ~13–14 нм, а после 12 мин МА ~7–12 нм. Фрагментация Мо реализуется преимущественно по механизму пластической деформации, тогда как разрушение TiC носит хрупкий характер. Более интенсивное наноструктурирование металлической фазы обусловлено ее способностью к накоплению пластической деформации. Наблюдаемое уменьшение параметра решетки TiC и снижение фактора заселенности подрешетки углерода после 8–12 мин МА свидетельствуют об обеднении карбида углеродом и о переходе к нестехиометрическому TiC_x . Таким образом, в смеси 50 мас.% Мо–TiC_p рентгеноструктурные признаки начала механического сплавления и формирования механокомпозитов проявляются через 8–12 мин МА (L_{Mo} снижается от 14 до ~7 нм).

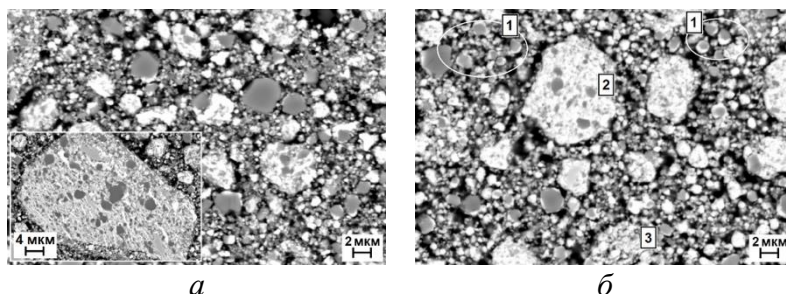


Рис. 1. Микрофотографии СЭМ (BSE) частиц в смеси 50 мас.% Мо–TiC после 4 (а) и 12 мин (б) МА: 1 — плакирование карбида молибденом, 2 — композиционная частица (включение TiC), 3 — агломерат.

Методами электронной микроскопии исследована эволюция структуры порошков. В смеси с 50 мас.% Мо после 4 мин МА размер отдельных частиц Мо составляет ~0.3–2 мкм, а TiC 1–5 мкм. При этом наблюдается частичное плакирование частиц карбида молибденом толщиной до ~0.3 мкм. Композиционные частицы и агломераты размером 2–15 мкм характеризуются «зернистой» морфологией поверхности и гетерофазной структурой, подтвержденной данными BSE. Их формирование обусловлено пластической деформацией частиц молибдена. При МА до 12 мин возрастает доля плакированных частиц TiC размером 1–4 мкм и композиционных частиц с высоким содержанием карбида и равномерным его распределением. Размер включений карбида достигает 0.3–2 мкм.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект №126021217265-1)

ЭЛЕКТРОЛИТ НА ОСНОВЕ СОЛИ ХЛОРИД N-МЕТИЛ-N-Н-ПРОПИЛ-ПИПЕРИДИНИЯ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Рубилкин П.А.^{1,2}, Улихин А.С.¹

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Научный руководитель: Улихин.А.С.

p.rubilkin@g.nsu.ru

Алюминиевые вторичные источники тока рассматриваются в качестве перспективных устройств для стационарных систем накопления энергии. Они обладают повышенной ёмкостью благодаря участию 3 электронов в окислительно-восстановительной реакции $Al \rightarrow Al^{3+}$ [1]. В настоящее время в мире ведутся поиски эффективных электролитов для алюминиевых аккумуляторов с алюминий-содержащими ионами.

При нормальных условиях алюминий покрыт плотной оксидной плёнкой. Поэтому, для эффективной работы аккумулятора, электролит должен обладать достаточной кислотностью, чтобы растворить оксидную плёнку, но при этом не вызывать коррозию алюминиевого электрода. Перспективными являются системы на основе расплавов ионных жидкостей. Ионные жидкости (ИЖ) — это расплавленные соли с температурой плавления ниже 100 °С. Как правило, ионная жидкость состоит из крупного асимметричного органического катиона и неорганического или органического аниона. Такие электролиты нелетучие, обладают высокой термической и электрохимической стабильностью. В жидком состоянии такие смеси обладают высокой ионной проводимостью [2]. Наиболее распространённым электролитом для алюминиевых систем являются смеси хлорида алюминия ($AlCl_3$) с солями имидазола. Однако такие соли обладают высокой стоимостью, что ограничивает их практическое применение.

В настоящей работе был получен электролит на основе соли хлорид N-метил-N-н-пропил-пиперидиния ($[N_{13}pip]Cl$) и $AlCl_3$. Соединения были получены путём смешения исходных сухих компонентов в инертной среде и последующем перемешивании в течение 3 часов при $T = 100^\circ C$.

Транспортные свойства системы $(1-x)[N_{13}pip]Cl - xAlCl_3$ (x - мольная доля $AlCl_3$; $x = 0.56, 0.58, 0.60$) были исследованы в широком диапазоне температур. Показано, что значения проводимости для составов достигают значения $\sim 10^{-3}$ См/см при $T = 100^\circ C$.

Исследование электрохимической стабильности проводилось с помощью метода линейной вольтамперометрии на ячейке монетного типа CR2032 следующего строения: Нерж. сталь/электролит/Al. В качестве электролита был выбран состав $0.42[N_{13}pip]Cl - 0.58AlCl_3$. Установлено, что потенциал разложения составляет не менее 2.5В отн. алюминия.

Для исследования обратимости алюминиевого электрода в контакте с полученным электролитом были проведены гальваностатические испытания для составов с $x = 0.56, 0.58, 0.60$ в симметричной электрохимической ячейке Al/электролит/Al. Результаты представлены на рисунке 1.

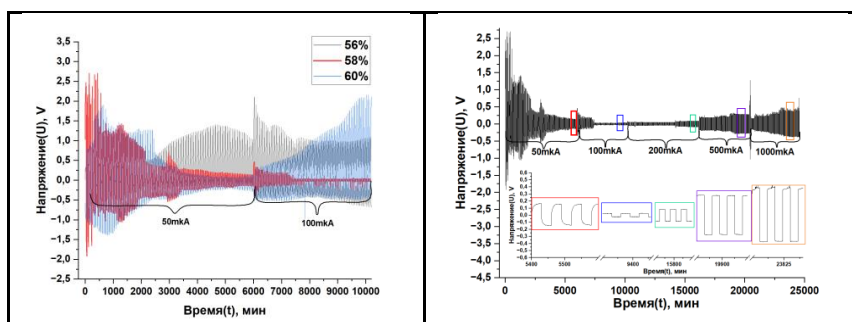


Рис. 1. Гальваностатические испытания для электролитов для составов с $x = 0.56, 0.58, 0.60$ при силах тока 50 мкА и 100 мкА (слева). Гальваностатические испытания для электролита с $x = 0.58$ при силах тока 50 мкА, 100 мкА, 200 мкА, 500 мкА и 1000 мкА (справа).

Для электролита с $x = 0.56$ перенапряжение при силе тока (I) равной 100мкА достигает значений $\sim 2\text{ В}$, что говорит о высоком сопротивлении на границе электрод-электролит. Из этого следует, что при данных концентрациях AlCl_3 электролит не обладает достаточной кислотностью для удаления оксидной плёнки с поверхности алюминиевого электрода. Для системы с $x = 0.60$ наблюдаются интенсивно протекающие коррозионные процессы, которые приводят полному растворению металлического алюминия. Наилучшие результаты наблюдаются для электролита с $x = 0.58$. После длительного циклирования электрохимическая ячейка остаётся в рабочем состоянии, а при $I = 200\text{мкА}$ перенапряжение составляет 0.16 В , что говорит об успешном удалении оксидной плёнки с поверхности алюминиевого электрода.

Результаты гальваностатических исследований показали, что ионный транспорт осуществляется за счёт ионов алюминия. Для электролита с $x = 0.58$ алюминиевый электрод является обратимым в контакте с полученным электролитом, причём его характеристики улучшаются при циклировании. Таким образом электролит является перспективным для использования в алюминиевых аккумуляторах.

Список использованных источников

1. Pantoja W., Perez-Taborda J.A., Avila A. Tug-of-war in the selection of materials for battery technologies // *Batteries*. 2022. Vol. 8, № 9. P. 105.
2. Geng L. et al. Eutectic electrolytes in advanced metal-ion batteries // *ACS Energy Letters*

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ СПЛАВА TiNi С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ В РАСТВОРАХ РИНГЕРА И ХЭНКСА

Чуракова А.А.^{1,2}

¹ Институт физики молекул и кристаллов – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук

² Уфимский университет науки и технологий
churakovaa_a@mail.ru

Сплавы с эффектом памяти формы (ЭПФ), в частности никелид титана - TiNi, широко применяются в качестве функциональных материалов в различных отраслях, включая медицину, промышленность и аэрокосмическую технику. Однако, несмотря на их активное использование, данные о коррозионном и электрохимическом поведении сплавов TiNi в структурно-чувствительных состояниях остаются ограниченными. Особый интерес представляет исследование механического поведения в коррозионных средах, а также анализ коррозионной усталости сплавов TiNi с различной микроструктурой, в том числе в биологических средах, имитирующих условия эксплуатации имплантатов. В данном исследовании использовался сплав состава Ti_{49,0}Ni_{51,0} (ат. %) в трёх структурных состояниях: крупнозернистое (КЗ) – после закалки, ультрамелкозернистое состояние 1 (УМЗ-1) – после равноканального углового прессования (РКУП), ультрамелкозернистое состояние 2 (УМЗ-2) – после старения с последующим РКУП (формирование наноразмерных выделений вторичных фаз). Электрохимические измерения проводили с использованием универсального потенциостата-гальваностата Р-2Х «Элинс». Потенциодинамические поляризационные кривые регистрировали в режиме линейной развёртки потенциала от -500 до +600 мВ относительно потенциала открытой цепи (предварительно стабилизированного в течение 30 мин) со скоростью 100 мВ/с. В качестве рабочих растворов выступали: 0,9% раствор NaCl (контрольный), раствор Рингера, раствор Хэнкса (содержит фосфаты, ионы Ca²⁺, Mg²⁺). Для оценки качественного элементного состава продуктов коррозии на поверхности образцов использовали рентгеновский фотоэлектронный спектрометр JPS-9010MX (Jeol Ltd., Japan) с монохроматическим источником Mg K α ($h\nu = 1253,6$ эВ). Чтобы исключить влияние адсорбированных загрязнений, образцы подвергали ионному травлению в шлюзовой камере прибора без доступа воздуха. Травление проводили ионами аргона при ускоряющем напряжении 600 В, токе эмиссии 12,3 мА в течение 20 с. Скорость травления составляла 40 нм/мин, суммарная глубина удалённого слоя — около 10 нм. Идентификацию химических состояний элементов выполняли с использованием справочника Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy, поставляемого с прибором.

Установлено, что с измельчением зерна наблюдается снижение плотности тока коррозии i_{corr} . Наименьшие значения i_{corr} зафиксированы для УМЗ-1 в растворах Рингера и Хэнкса, что указывает на более низкую скорость коррозии. Это объясняется формированием более плотной и однородной пассивной плёнки на ультрамелкозернистой структуре за счёт повышенной диффузионной активности по границам зёрен, что ускоряет образование защитного оксида TiO₂. Потенциал коррозии (E_{corr}) для крупнозернистого состояния оказался выше (более положительным), чем для ультрамелкозернистых образцов. Значения E_{corr} всех исследованных состояний лежат в области, характерной для локализованной коррозии (питтинг), что было подтверждено последующим микроскопическим анализом поверхности (наличие точечных язв). Таким образом, формирование ультрамелкозернистой структуры снижает скорость коррозии сплава TiNi в биорелевантных растворах. Однако предварительное старение, приводящее к выделению наноразмерных частиц, повышает скорость коррозии по сравнению с состоянием без старения. Вероятно, это связано с образованием гальванических микропар между матрицей и выделениями, а также с нарушением целостности пассивной плёнки.

Из трёх исследованных сред наиболее высокая коррозионная стойкость (минимальная i_{corr}) наблюдалась в растворах Хэнкса и Рингера, что, вероятно, обусловлено

ингибирующим действием фосфатов (в растворе Хэнкса) и меньшей агрессивностью хлоридов в присутствии ионов $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$. После электрохимических испытаний на поверхности крупнозернистого образца, выдержанного в растворе Рингера, методом РФЭС обнаружены следующие элементы и химические соединения: кальций (Ca), входящий в состав CaCO_3 , вероятно, осаждённый из раствора, углерод (C), кислород (O), титан (Ti), никель (Ni). Программное обеспечение спектрометра не позволило однозначно разделить вклады различных соединений титана в многокомпонентном спектре. Поэтому была проведена ручная идентификация по справочнику. Энергия связи линии Ti $2p^{3/2}$ составила 458,3 эВ, что соответствует диоксиду титана в модификации рутил (справочное значение 458,5 эВ). Других соединений титана не обнаружено. Натрий на поверхности отсутствовал, как в крупнозернистом, так и в ультрамелкозернистых состояниях. Интенсивность всех пиков (особенно Ca, C и O) для растворов Рингера и Хэнкса была выше, чем для 0,9% NaCl, что свидетельствует о большем количестве адсорбированных или осаждённых продуктов коррозии на поверхности. По элементному составу поверхности УМЗ-1 и УМЗ-2 принципиально не отличались от крупнозернистого состояния. Отсутствие ионов натрия в РФЭС-спектрах указывает на то, что катионы Na^+ практически не входят в состав пассивной плёнки или продуктов коррозии. Таким образом, можно сделать следующие выводы: ультрамелкозернистая структура сплава $\text{Ti}_{49,0}\text{Ni}_{51,0}$, полученная РКУП, повышает коррозионную стойкость) в растворах Рингера и Хэнкса по сравнению с крупнозернистым состоянием; предварительное старение перед РКУП ухудшает коррозионную стойкость из-за выделения частиц, создающих гальванические элементы; потенциал коррозии крупнозернистого состояния выше, чем у УМЗ, однако кинетика коррозии (плотность тока) ниже для УМЗ, что, вероятнее объясняется быстрой пассивацией. Все исследованные образцы склонны к питтинговой коррозии в хлоридсодержащих растворах, что подтверждено микроскопией и значениями E_{corr} . На поверхности после испытаний в растворе Рингера наблюдаются продукты коррозии, содержащие CaCO_3 , а пассивная плёнка представлена TiO_2 (рутил).

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ
(ТРЕТ-БУТИЛИМИДО)ТРИС(ДИМЕТИЛАМИНО) ТАНТАЛА ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЁВ МЕТОДОМ ALD**

Шатамаева П.П.^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

²Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

Научный руководитель: к.х.н., Савков Б.Ю.

pshatamayeva@mail.ru

Развитие процессов атомно-слоевого осаждения (ALD) требует прекурсоров с высокой летучестью, термической стабильностью и реакционной способностью. Для микроэлектронного применения, необходима высокая чистота прекурсоров (5-6N), поскольку примеси могут негативно влиять на свойства осаждаемых плёнок. Перспективным прекурсором для осаждения оксидных и нитридных слоёв является (*трет-бутилимидо*)трис(диметиламино)тантал (t-BuN)Ta(NMe₂)₃. Известно, что он сублимируется при 43 °С и плавится при 70–71 °С (визуальный метод), однако методики синтеза его высокочистых образцов и полные данные о термических свойствах в литературе представлены отрывочно и требуют уточнения.

Данная работа нацелена на изучение разных способов синтеза (t-BuN)Ta(NMe₂)₃ и исследование его термических свойств.

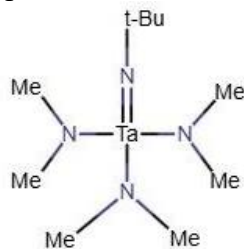
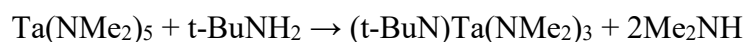


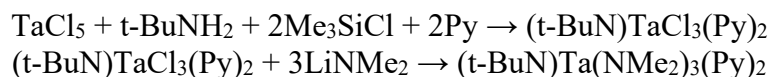
Рис. 1. Молекулярная структура (t-BuN)Ta(NMe₂)₃

Синтез (t-BuN)Ta(NMe₂)₃ осуществляли тремя способами. Все операции проводили в инертной атмосфере (Ar). Первый метод – прямой аминолиз коммерческого Ta(NMe₂)₅ трет-бутиламиноом [1]:



Установлено, при реакции с эквимолярным количеством амина в гексане образуется смесь целевого продукта и исходного реагента в соотношении 59:41. Их разделение затруднено ввиду близости характеристик летучести и растворимости компонентов. Использование избытка амина (~2.4 экв.) приводит к образованию сложной смеси продуктов, из которой выделить индивидуальный комплекс не удалось.

Поэтому протестирована двухстадийная методика, эффективная для получения этилированных аналогов [2, 3]. В толуоле получали промежуточный комплекс (t-BuN)TaCl₃(Py)₂, который затем вводили в реакцию с LiNMe₂ в гексане:



Первую стадию проводили в течение 24 ч, выход 33%. Состав продукта подтверждено методом ¹H ЯМР-спектроскопии, чистота составила 4N8 (по 62 примесным элементам, данные ИСП-АЭС и ИСП-МС). Вторую проводили в течение нескольких суток. Образовавшийся

аддукт (t-BuN)Ta(NMe₂)₃(Py)₂ сублимировали (60 °С, 5·10⁻² Торр, охлаждение ~0 °С). Выход целевого (t-BuN)Ta(NMe₂)₃ составил 38%.

Установлено, что при использовании избытка амида лития образуется гетерометаллический литий-танталовый комплекс (μ-t-BuN)Ta(NMe₂)₃(μ-NMe₂)Li(Py)₂. При проведении реакции в гексане соединение присутствует в виде примеси, тогда как замена гексана на диэтиловый эфир делает его основным продуктом реакции (выход 60%). Анализ строения аддукта (рис. 2) позволил прояснить участие катионов лития в отщеплении пиридиновых лигандов, а также причину образования примеси Ta(NMe₂)₅ в целевом продукте. В частности, Li⁺ координирует как amino-, так и имино-группу (*d*(Li-N) = 2.13-2.15 Å), ослабляя соответствующие связи с танталом. Так, длина связи Ta-N с мостиковой NMe₂-группой увеличена больше, чем на 0.1 Å (2.18 Å против 2.03-2.08 Å для немостиковых лигандов). Для tBuN-группы увеличение меньше, на 0.05 Å: 1.82 Å против 1.77 Å в целевом комплексе. Таким образом, наиболее выгодным путем распада такого аддукта является отщепление (NMe₂)Li(Py)₂, но диссоциация имидного производного также возможна. Отсутствие подобных превращений для NEt₂-аналогов [2,3], по-видимому, обусловлено стерическим фактором.

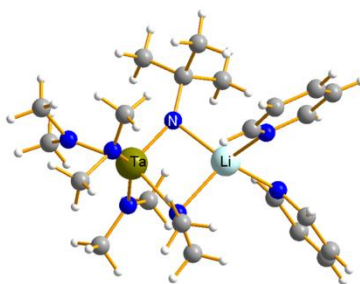
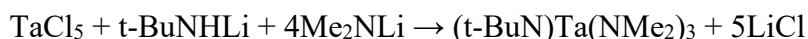


Рис. 2. Структура (μ-t-BuN)Ta(NMe₂)₃(μ-NMe₂)Li(Py)₂ по данным PCA

В качестве альтернативы адаптирован одностадийный синтез из TaCl₅, t-BuNHLi и Me₂NLi по методике [1]:



Реагенты смешивали всухую, затем при охлаждении добавляли гексан. Смесь перемешивали несколько суток, раствор становился красновато-коричневым. После фильтрования, упаривания и кристаллизации при охлаждении из минимального количества гексана получены гексагональные кристаллические «пластинки», которые возгоняли. По данным ¹H ЯМР-спектроскопии, продукт содержит 7% примеси TaCl(NMe₂)₄. Выход составил 33%, проводятся работы оптимизации методики для получения чистого продукта.

Термические свойства чистого (t-BuN)Ta(NMe₂)₃ изучены методом ДСК, впервые определены параметры плавления: 66.7±1.9°С, ΔH = 26.1±0.8 кДж/моль, ΔS = 76.9±2.0 Дж/(моль·К). Важно, что тепловой эффект плавления сохраняется при термоциклировании (9-10°С/мин) до температуры 200°С, что подтверждает термостабильность комплекса.

Список использованных источников

1. Nugent W.A. Synthesis of Some d⁰ Organoimido Complexes of the Early Transition Metals // Inorganic Chemistry. – 1983. – Vol. 22. – No. 6. – P. 965–969.
2. Baunemann A., Winter M., Csapek K., Gemel C., Fischer R.A. Mixed Amido/Imido/Guanidinato Complexes of Tantalum: Effects of Ligand Substitution on Thermal Properties // European Journal of Inorganic Chemistry. – 2006. – Vol. 23. – P. 4665–4672.
3. Chiu H.-T., Chuang S.-H., Tsai C.-E., Lee G.-H., Peng S.-M. Syntheses and Characterization of Organoimido Complexes of Tantalum; Potential Single-Source Precursors to Tantalum Nitride // Polyhedron. – 1998. – Vol. 17. – No. 13–14. – P. 2187–2190.

ТРАНСПОРТНЫЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАСТИЧЕСКИХ СОЛЕЙ МОРФОЛИНИЯ, ДОПИРОВАННЫХ ТЕТРАФТОРОБОРАТОМ ЛИТИЯ

Стебницкий И.А.¹, Матейшина Ю.Г.²

¹Новосибирский национальный исследовательский государственный университет; ²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН
i.stebnitskii@g.nsu.ru

Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) – одна из важнейших технологий, используемых обществом. Один из подходов, способствующих улучшению характеристик и безопасности ЛИА – переход к твёрдым электролитам взамен традиционно используемых жидких. В отличие от жидких, твёрдые обладают значительно меньшей летучестью и, как следствие, негорючестью, а также тормозят прорастванивание литиевых дендритов, неизбежно происходящее в ходе эксплуатации. Тем не менее, возникает другая проблема – установление стабильного контакта электролит|электрод. Одно из решений – использование электролитов на основе пластических кристаллов.

Среди пластических материалов особое положение занимают органические ионные пластические кристаллы (ОИПК). ОИПК характеризуются вращательным разупорядочением ионов, что приводит к пластичности и повышенной диффузии собственных и допированных ионов (Li^+/Na^+), что позволяет использовать их в аккумуляторах. Примером пластического электролита, демонстрирующим проводимость $\sim 10^{-4}$ См/см при комнатной температуре, выступает бис(фторсульфонил)имид тетраметиламмония $[(\text{CH}_3)_4\text{N}][\text{FSI}]$, допированный 15 мол. % бис(фторсульфонил)имида лития LiFSI [1].

В последнее время исследователи чаще обращают на электролиты, функционализированные простоефирными группами. В частности, среди ОИПК появилось новое семейство на основе солей оксазолидиния, содержащих атом кислорода в цикле катиона. В чистом состоянии производные оксазолидиния отличаются более высокой проводимостью при комнатной температуре по сравнению с нефункционализированными соединениями, а также потенциально могут способствовать диссоциации значительных количеств литиевых солей за счёт наличия основания Льюиса в составе, тем самым увеличивая количества целевых носителей заряда – ионов Li^+ . Так, тетрафтороборат N-метил-N-этилоксазолидиния, допированный 20 мол. % LiBF_4 , демонстрирует достаточно высокую проводимость $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ См/см при 30 °C [2]. Тем не менее, соли оксазолидиния достаточно дорогие, что не позволяет использовать их в коммерческих целях.

Морфолин – широко распространённый аналог оксазолидина, производимый в промышленных масштабах. Однако сообщений как о пластических солях морфолиния, так и о композитах на их основе с литиевыми солями практически отсутствуют.

В данной работе сообщается о синтезе 4 солей морфолиния – тетрафтороборатов N-алкил-N-метилморфолиния. Синтезированные соединения демонстрируют пластическое поведение и высокую ионную проводимость в твёрдом состоянии, достигающую $\sim 10^{-3} - 10^{-4}$ См/см выше 100 °C. Образцы, допированные тетрафтороборатом лития, характеризуются умеренной проводимостью $\sim 10^{-5}$ См/см при 30 °C.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 25-23-00263.

Список использованных источников

1. Salado M. et al. Ammonium-based plastic crystals as solid-state electrolytes for lithium and sodium batteries // *JACS Au*. 2025. Vol. 5, № 4. P. 1663–1676.
2. Sourjah A. et al. Investigation of the benefits of the oxazolidinium cation for plastic crystal and ionic liquid electrolytes // *Frontiers in Batteries and Electrochemistry*. 2024. Vol. 3. P. 1330604.

СИНТЕЗ НОВЫХ СУЛЬФОАМИДОВ НА ОСНОВЕ (1S)-КАМФОР-10-СУЛЬФОКИСЛОТЫ

Самсонова В.В.¹, Соколова А.С.²

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Новосибирский институт органической химии им. Ворожцова г.Новосибирск,
samsonovaval3ria@yandex.ru

Ранее в лаборатории физиологически активных веществ Новосибирского института органической химии, было выявлено, что производные (1S)-камфор-10-сульфокислоты показали активность в отношении вируса Эбола, причём восстановление карбонильной группы до спирта значительно повышало эффективность, тогда как оксимы были неактивны [1,2].

Цель работы – синтез новых сульфонамидов на основе (1S)-камфор-10-сульфокислоты, содержащих различные гетероциклические заместители, а также их спиртов и оксимов. Для достижения цели были поставлены задачи: (1) синтез кетонов (сульфонамидов) на основе (1S)-камфор-10-сульфокислоты и вторичных аминов (пиперидина, 4-метилпиперидина, 4-метилпиперазина, 4-этилпиперазина, морфолина); (2) восстановление карбонильной группы кетонов до спиртов; (3) получение оксимов.

Исходный (1S)-(+)-камфор-10-сульфонилхлорид получали при взаимодействии (1S)-(+)-камфор-10-сульфокислоты и SOCl_2 при длительном кипячении в течении 7 часов. Полученный (1S)-(+)-камфор-10-сульфонилхлорид взаимодействовал с вторичными аминами (пиперидин, 4-метилпиперидин, 4-метилпиперазин, 4-этилпиперазин, морфолин) в CH_2Cl_2 в присутствии EtN_3 (триэтиламина) при 25 °С в течение 12 ч получены кетоны с выходами 55–71%.

Восстановлением (1S,4R)-7,7-диметил-1-((морфолиносульфонил)метил)бицикло[2.2.1]гептан-2-она NaBH_4 в этаноле при –15 °С получены вторичный спирт (1S,4R)-7,7-диметил-1-((морфолиносульфонил)метил)бицикло[2.2.1]гептан-2-ол с выходом 80%.

Взаимодействие (1S,4R)-7,7-диметил-1-(((4-метилпиперидин-1-ил)сульфонил)метил)бицикло[2.2.1]гептан-2-она, (1S,4R)-7,7-диметил-1-(((4-метилпиперазин-1-ил)сульфонил)метил)бицикло[2.2.1]гептан-2-она, (1S,4R)-7,7-диметил-1-(((4-этилпиперазин-1-ил)сульфонил)метил) бицикло[2.2.1]гептан-2-она с гидроксиламином ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$, NaOAc , $\text{EtOH}-\text{H}_2\text{O}$, кипячение, 12 ч) получены оксимы с выходами 27–29%. Таким образом, в ходе выполнения работы синтезированы новые сульфонамиды на основе (1S)-камфор-10-сульфокислоты.

Список использованных источников

1. Sokolova A.S., Baranova D.V., Yarovaya O.I. et al. Synthesis of (1S)-(+)-camphor-10-sulfonamides and evaluation of their anti-filovirus activity // *Russian Chemical Bulletin*. 2023. Vol. 72, № 10. P. 2537–2544.
2. Sokolova A.S., Yarovaya O.I., Zybkina A.V. et al. Design, synthesis, and antiviral activity of (–)-borneol derivatives containing nitrogen heterocycle against Ebola virus // *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2020. Vol. 207. Article № 112726.

СЕКЦИЯ 2.
ОБЩИЕ ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

STUDY AND OPTIMIZATION OF THE XYLENE ISOMERIZATION PROCESS TO INCREASE THE PARAXYLENE YIELD

Abukhan K.E., Zhaksylykova G.Zh.

Al-Farabi Kazakh National University

mazeppa08@gmail.com

Paraxylene is an important chemical product used in the production of polyester fibers, resins, solvents, and plastics. In industry, it is mainly obtained from a xylene mixture containing ortho-, meta-, and a small amount of paraxylene (1–5%), which comes from the D-610 unit or a side stream of the C-605 distillation column. The main objective is to increase the yield of paraxylene through the isomerization of ortho- and meta-xylenes.

The efficiency of the xylene isomerization process aimed at increasing paraxylene yield can be significantly improved through the targeted selection and modification of catalysts, as well as optimization of technological parameters (temperature, pressure, feed composition, and contact time), which ensures more selective conversion of ortho- and meta-xylenes into paraxylene, reduces the formation of by-products, and increases the economic and energy efficiency of the process.

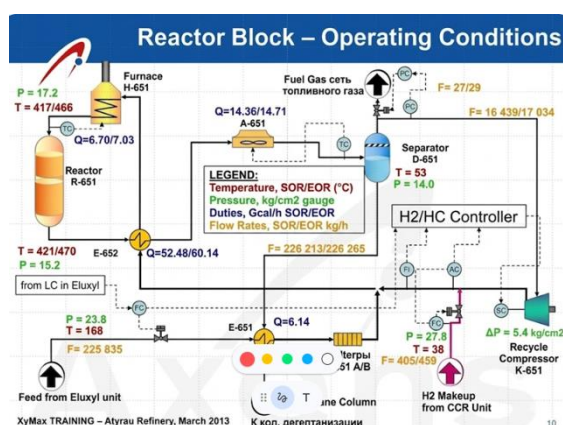


Fig. 1 Technological scheme

Increasing the efficiency of the isomerization process of a xylene mixture in order to increase the yield of paraxylene - the most valuable isomer

Study of the regularities of the xylene isomerization process

Analysis of transformation mechanisms of ortho-, meta-, and paraxylene, as well as factors affecting equilibrium and reaction rate

Reduction of by-product formation

Minimization of cracking processes and formation of heavy aromatic compounds.

The catalytic reforming unit provides us with feedstock which containing reformate.

Catalytic reforming produces BTX (benzene, toluene and xylenes). Main product is – xylenes
 In xylenes data analysis for paraxylol is <1%. For meta-xylol = 60%. For orto-xylol = 28%. Our taks is increasing the percentage of para in twenty times, by decreasing meta and orto xylols
 These chemical processes is passing in reactor – isomerization.

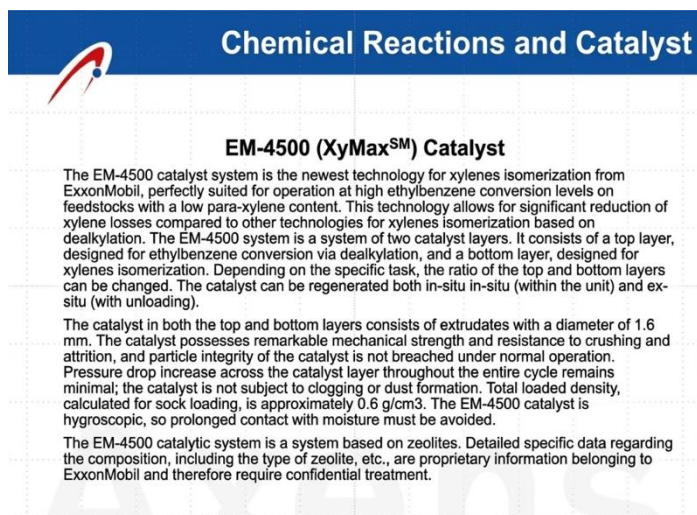


Fig. 2 Chemical reactions

The purpose of xylene isomerization is to reduce xylene competitors (in this case ortho and meta xylenes) by increasing paraxylene as a main product for further transportation.

All source data is taken from resources intended only for Atyrau oil refinery employees and it is confidential. The information is taken from laboratory studies conducted by AXENS – French company, which helps to make a good chemical processes for a lot of chemical companies.

Catalysts in oil refining are necessary to accelerate chemical reactions, increase the depth of oil processing up to 85–87%, and obtain high-quality light petroleum products (gasoline, diesel) from heavy feedstock. They reduce process operating temperatures, saving energy, and allow selective production of desired components, increasing octane number and purifying fuel from sulfur.

References

1. Al Shammari A., Akhtar N.M., Odedairo T., Tukur N.M., Al Khattaf S. Kinetic studies of xylene transformation reactions over ZSM-5 zeolite // *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2014. Vol. 39, № 5. P. 3423–3440. <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1063-1>
2. Liu Y., Zhou X., Pang X., Jin Y., Meng X., Zheng X., Gao X., Xiao F.S. Improved para-xylene selectivity in meta-xylene isomerization over ZSM-5 crystals with relatively long b-axis length // *ChemCatChem*. 2013. Vol. 5, № 6. P. 1517–1523. <https://doi.org/10.1002/cctc.201200691>
3. Wang S.F., Fan M.H., He Y.T., Li Q.X. Catalytic conversion of biomass-derived polyols into para-xylene over SiO₂-modified zeolites // *Chinese Journal of Chemical Physics*. 2019. Vol. 32, № 4. P. 513–520. <https://doi.org/10.1063/1674-0068/cjcp1901016>

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ 1-(3,3-ДИЭТОКСИПРОПИЛ)МОЧЕВИН
С С-НУКЛЕОФИЛАМИ В ПРИСУТСТВИИ ТРИФТОРУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ.
СИНТЕЗ ТЕТРАГИДРОПИРИМИДИН-2(1H)-ОНОВ**

Алайдар А.М.¹, Смолобочкин А.В.², Аппазов Н.О.³, Газизов А.С.²,
Бурилов А.Р.², Пудовик М.А.²

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Республика Казахстан,
050038 Алматы, пр. аль-Фараби, 71

²Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный
центр РАН, РФ, 420088 Казань, ул. акад. Арбузова, 8

³Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Республика Казахстан,
120014 Кызылорда, ул. Айтеке би, 29А
ali.alaidar@mail.ru

Производные циклической мочевины – тетрагидропиримидин-2(1H)-оны – известны своей фармакологической активностью [1]. Согласно литературным данным, представители этого класса гетероциклических соединений являются ингибиторами дигидрооротазы, протеазы ВИЧ и топоизомеразы I. Более того, производные тетрагидропиримидин-2(1H)-она входят в состав лекарств, таких как Лопинавир, используемого для лечения ВИЧ-инфекции [2]. Весьма примечательно, что тетрагидропиримидиноны проявляют высокую противораковую активность [3].

Нами предложен метод синтеза новых производных тетрагидропиримидин-2(1H)-она на основе реакции 1-(3,3-диэтоксипропил)мочевин с ароматическими и гетероциклическими нуклеофилами в присутствии трифторуксусной кислоты (Схема 1). К преимуществам предложенного метода можно отнести высокий выход целевых соединений, мягкие условия реакции и отсутствие необходимости использования дорогостоящих реактивов и катализаторов.

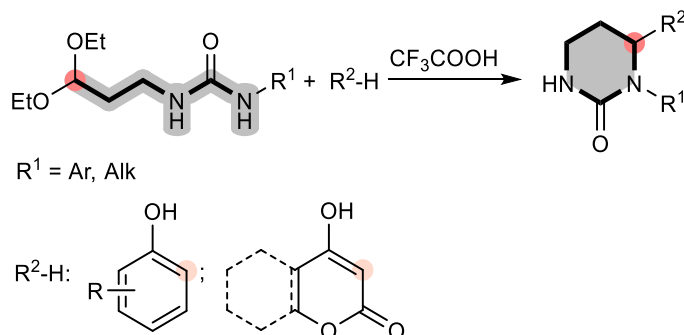


Схема 1. Синтез тетрагидропиримидин-2(1H)-онов

Список использованных источников

1. Смолобочкин, А.В. Успехи в синтезе гетероциклов содержащих эндоциклический мочевиновый фрагмент / А.В. Смолобочкин, А.С. Газизов, А.Р. Бурилов, М.А. Пудовик, О.Г. Синяшин // Успехи химии. - 2021. - V.90, № 3. - P.395–417.
2. Shuter, J. Lopinavir/Ritonavir in the treatment of HIV-1 infection: A Review / J. Shuter // Therapeutics and clinical risk management. - 2008. - V. Volume 4. - P.1023–1033.
3. Subramanian, S. Identification of N-arylsulfonylpyrimidones as anticancer agents / S. Subramanian, P.R. Boggu, J. Yun, S.-H. Jung // Archives of Pharmacal Research. - 2018. - V.41, № 3. - P.251–258.

GREEN SYNTHESIS AND ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF Ag/Ag₂S/Eu(OH)₃/DIATOMITE HYBRID NANOCOMPOSITE REDUCED WITH GRAPES EXTRACT

Rafique A., Bekissanova Zh.B.

Al-Farabi University, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Almaty, Kazakhstan
rafiqueawais027@gmail.com

Natural diatomite serves as a support in hybrid nanomaterials due to its porous frustule framework, surface silanol groups, and chemical stability, which enable the immobilisation of metal nanoparticles[1]. Green synthesis of silver nanoparticles using various plants is eco-friendly and have been widely used as a potential agent. Ag₂S/Ag hybrid composites show potential with semiconductor, plasmonic, and antimicrobial qualities [2, 3]. Natural mineral carriers prevent agglomeration of hybrid nanoparticles Ag and Ag₂S and are used as stabilisation agents[4]. The study aims to synthesise Eu³⁺ doped Ag₂S/Ag composite based on natural diatomite with chitosan and grapes leaves extract solution as a green reducing agent and to investigate the structural, morphological, and antibacterial characteristics. Diatomite was washed with water and 2-propanol, covered with 0.10% chitosan, and loaded with 10mM AgNO₃ solution. The solution of grape leaf extract was used as a botanical reducing agent to immobilise Ag⁰ nanoparticles on the diatomite matrix. The Ag-diatomite precipitation was washed and redispersed in water, adjusted to pH 9.0-9.5 due to controlled sulfidation by adding thiourea. During the growth of Ag₂S, Eu(NO₃)₃ solution was added.

The synthesised composite Ag/Ag₂S/Eu(OH)₃ was studied by UV-Vis spectroscopy, X-ray diffraction, Fourier-transform infrared spectroscopy, scanning electron microscopy, energy-dispersive X-ray spectroscopy, and Raman spectroscopy. Determination of the presence of AgNPs by UV-Vis spectrums was based on a plasmonic band at 400, 450 nm. The sulfidation was followed by the observation of broadened absorption, and Eu³⁺-doped Ag₂S/Ag exhibited a near-infrared absorption at 804 nm and 264 nm, respectively. Antibacterial activity was studied against Gram-positive and Gram-negative bacteria. The composites demonstrated minimum inhibitory concentrations (MIC) of 1.25 mg/mL, 2.5 mg/mL and 0.156 mg/mL of *Klebsiella pneumonia* ATCC 10031, *Escherichia coli* ATCC 8738 and sensitive *Staphylococcus aureus* ATCC 6538-P, respectively, and resistant *Staphylococcus aureus* ATCC BAA 39(MRSA) strains and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 tested exhibited no activity. The findings indicate that it is possible to obtain a recoverable, greener diatomite-dependent hybrid nanocomposite that could be utilized in antibacterial use.

Keywords: Diatomite, Green synthesis, Ag₂S/Ag, Eu³⁺-doping, Hybrid nanocomposite, grape leaf extract, antibacterial activity.

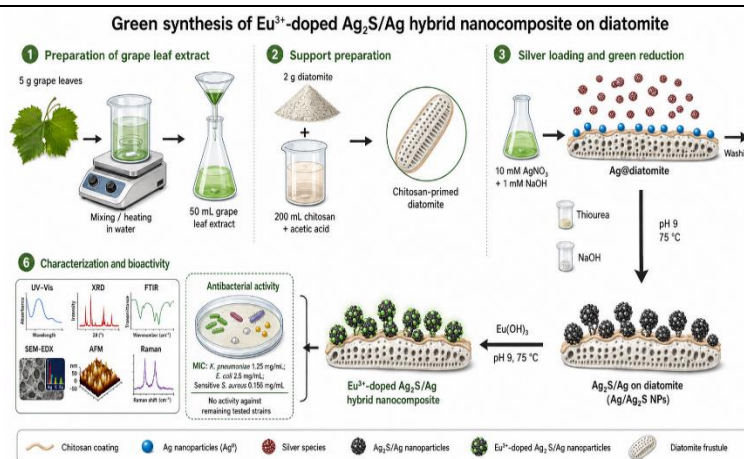


Fig. 1. Graphical Abstract of the Ag/Ag₂S/Ag-Eu(OH)₃ synthesis, characterization and application

Table 1. Antibacterial activity of Ag/Ag₂S/ -Eu(OH)₃/diatomite composite bacterial strain Klebsiella pneumoniae, Escherichia coli and Sensitive Staphylococcus aureus

S.No	Bacterial Strain	Bacteria Type	MIC Concentration(mg/mL)
1	Klebsiella pneumoniae	Gram-positive	1.25
2	Escherichia coli	Gram-positive	2.5
3	Sensitive Staphylococcus aureus	Gram-negative	0.156

References

1. Aggrey P. et al. On the diatomite-based nanostructure-preserving material synthesis for energy applications // *RSC Advances*. 2021. Vol. 11, № 51. P. 31884–31922.
2. Shahzadi S. et al. A review on green synthesis of silver nanoparticles (SNPs) using plant extracts: a multifaceted approach in photocatalysis, environmental remediation, and biomedicine // *RSC Advances*. 2025. Vol. 15, № 5. P. 3858–3903.
3. Sadovnikov S., Gusev A. Recent progress in nanostructured silver sulfide: from synthesis and nonstoichiometry to properties // *Journal of Materials Chemistry A*. 2017. Vol. 5, № 34. P. 17676–17704.
4. Bala Subramaniyan S. et al. Evaluation of the toxicities of silver and silver sulfide nanoparticles against Gram-positive and Gram-negative bacteria // *IET Nanobiotechnology*. 2019. Vol. 13, № 3. P. 326–331.

CO₂ HYDROGENATION TO SYNTHETIC FUEL COMPONENTS OVER Ni-Co/CeO₂ CATALYST

Biyekeyev B.¹, Tungatarova S.A.^{2,3}, Zhumabek M.³, Li H.Q.²

¹Kazakh-British Technical University, Tole bi str., 59, Almaty 050000, Kazakhstan

²al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi ave., 71, Almaty 050040, Kazakhstan

³D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Kunaev str., 142, Almaty 50010, Kazakhstan

Scientific supervisor: Tungatarova S.A., Dr.Chem.Sci.
biekeevbakbergen7@gmail.com

In the field of carbon utilization, one of the most actively researched areas is the conversion of greenhouse gases such as CO₂ and methane into valuable products like hydrogen and carbon monoxide. Building on our previous expertise in syngas production via dry reforming of methane (DRM), we employed solution combustion synthesis (SCS) to design efficient bimetallic catalysts. Based on this foundation, we shifted our focus to direct CO₂ methanation via the Sabatier reaction, drawing on mechanistic insights from DRM – particularly the role of CO as a key intermediate. It is worth noting that catalytic CO₂ consumption is projected to exceed 332 million tonnes per year by 2030.

Nickel-based catalysts are the most extensively studied non-noble metal systems for CO₂ hydrogenation, owing to their good activity, low cost, and broad availability. Nevertheless, monometallic Ni catalysts suffer from drawbacks such as sintering at high temperatures, carbon deposition, and loss of activity under reaction conditions [1]. The incorporation of cobalt as a promoter can enhance catalytic performance through multiple effects: facilitating reducibility, altering surface chemistry, and improving resistance to deactivation. The Ni–Co combination generates a bimetallic synergy that often yields better performance than that of either individual metal. The choice of support material is equally critical for catalyst performance. Cerium dioxide has proven to be an excellent support for CO₂ hydrogenation catalysts due to its high oxygen storage capacity, ability to create oxygen vacancies, and favorable metal-support interactions, which facilitate CO₂ activation and enhance catalyst stability [2].

To evaluate catalytic performance, a series of Ni–Co/CeO₂ catalysts was prepared. In the main series, the nickel content was varied from 5 to 50 wt.% while keeping CeO₂ constant at 50 wt.% (based on metal oxide weight) in order to isolate the effect of nickel loading [3]. Additionally, several catalysts were synthesized with a fixed cobalt loading of 5 wt.%, with nickel and CeO₂ contents varying accordingly, to assess the influence of cobalt under constant promoter concentration.

The solution combustion synthesis (SCS) method was chosen for catalyst preparation due to its main advantages: straightforwardness, fast reaction time, low operating temperature, and high energy efficiency. All chemicals were of high purity, acquired from Sigma-Aldrich and used without additional purification. Nickel(II) nitrate hexahydrate (Ni(NO₃)₂·6H₂O), cobalt(II) nitrate hexahydrate (Co(NO₃)₂·6H₂O), and cerium(III) nitrate hexahydrate (Ce(NO₃)₃·6H₂O) served as metal precursors, while urea (CH₄N₂O) was employed as the fuel. In a standard synthesis, the required quantities of metal precursors and urea were dissolved in a small amount of distilled water under magnetic stirring until a transparent solution formed. This solution was then transferred into a muffle furnace preheated to 500 °C, where the combustion reaction occurred within 7–10 seconds.

Catalytic tests were performed in an automated fixed-bed flow reactor at atmospheric pressure using a feed gas mixture with a molar ratio of H₂:CO₂:Ar = 76:19:5. Online analysis of reactants and products was employed. Prior to each run, the catalyst was reduced in situ with a stream of 11% H₂ / 89% Ar (100 ml/min) at 400 °C for 1 hour. The temperature was varied from 200 °C to 400 °C (with a return to the initial temperature) at a constant gas hourly space velocity of 24 000 h⁻¹.

X-ray diffraction analysis of the fresh catalysts revealed the presence of CeO₂, NiO, and CoO. Increasing Ni content led to more intense NiO reflections. Mixed spinel-type phases such as Co₂NiO₄ were observed in the fresh catalysts, indicating strong Ni–Co interaction [4]. After catalytic testing,

metallic Ni⁰ appeared, confirming in-situ reduction, while CeO₂ remained stable. In samples with high Ni loading, sintering of nickel particles was detected.

At the optimal temperature of 300 °C and space velocity of 24 000 h⁻¹, the (55% Ni + 5% Co + 40% CeO₂ + urea) catalyst delivered 90.3% CO₂ conversion and 96.2% CH₄ selectivity, being the most active among the tested samples.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan for supporting this research through (Grant No. AP27508537).

References

1. Italiano C., Pino L., Maccarrone D., Vita A. Enhanced low-temperature activity of CO₂ methanation: Effect of metal oxide support on the performance of Ni-based catalysts // *Applied Catalysis A: General*. 2025. Vol. 685. Article 120529.
2. Jehng J.M., Chen W.-Z., Wachs I.E. Enhancing low-temperature CO₂ methanation via Ni–O–Ce interactions: A multi-spectroscopic study // *SSRN Electronic Journal*. 2025. Article 5236073.
3. Jiang Y., Huang T., Dong L., Qin Z., Ji H. Ni/bentonite catalysts prepared by solution combustion method for CO₂ methanation // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2018. Vol. 26, iss. 11. P. 2361–2367.
4. Vita A., Italiano C., Pino L., Frontera P., Ferraro M., Antonucci V. Activity and stability of powder and monolith-coated Ni/GDC catalysts for CO₂ methanation // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2018. Vol. 226. P. 384–395.

CARBON DIOXIDE HYDROGENATION OVER A Ni-Co/ZrO₂ CATALYST FOR THE PRODUCTION OF SYNTHETIC FUEL COMPONENTS

Ilyassova O.S.^{1,2}, Baizhumanova T.S.^{1,2}, Kaumenova G.N.², Ayiheng A.¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Ave. Almaty 050040, Kazakhstan

²D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Konaev st., 142, Almaty 050010, Kazakhstan
aerxinnn1@gmail.com

In the field of carbon utilization, the catalytic hydrogenation of CO₂ to methane (Sabatier reaction) has emerged as a direct route to convert greenhouse gas into synthetic natural gas. With global fossil CO₂ emissions reaching a record 38.1 billion tons in 2025, the need for such technologies is urgent. Using solution combustion synthesis (SCS), we developed bimetallic catalysts for this reaction. Catalytic CO₂ consumption is projected to exceed 332 million tonnes per year by 2030, turning a harmful emission into a valuable energy carrier.

Ni-based catalysts remain highly attractive for CO_x methanation to synthetic natural gas (SNG) due to their low cost and high methane selectivity. Among various promoters, cobalt has emerged as particularly promising, as it enhances the dispersion of metallic Ni and improves both catalyst stability and resistance to deactivation [1]. Zirconium species also play a beneficial role by promoting the formation of oxygen vacancies during reduction, which in turn facilitates CO adsorption and dissociation [2]. To evaluate catalytic performance, a Ni–Co–Zr composite was prepared, with Ni content varying from 10 to 50 wt.% while keeping Zr constant at 50 wt.% (based on metal oxide weight).

The solution combustion synthesis (SCS) method was selected for catalyst preparation owing to its key benefits: simplicity, rapidity, low operating temperature, and high energy efficiency. All chemical reagents were of high-purity grade, purchased from Sigma-Aldrich and used without further purification. Nickel(II) nitrate hexahydrate (Ni(NO₃)₂·6H₂O), cobalt(II) nitrate hexahydrate (Co(NO₃)₂·6H₂O), and zirconium(IV) nitrate pentahydrate (Zr(NO₃)₄·5H₂O) served as metal precursors, while urea (CH₄N₂O) was used as the fuel. In a typical synthesis, the required amounts of metal precursors and urea were dissolved in a minimal volume of distilled water under magnetic stirring until a clear solution was obtained. The resulting solution was then placed into a muffle furnace preheated to 500 °C.

The catalytic performance of the synthesized materials was assessed in an automated fixed-bed flow reactor operating at atmospheric pressure. A feed gas mixture with a molar ratio of H₂:CO₂:Ar = 76:19:5 was used, and the system was equipped for online analysis of reactants and products. Before each catalytic run, the catalyst was reduced in situ using a stream of 11% H₂ in Ar (100 ml/min) at 400 °C for 1 hour. The tests were performed over a temperature range of 200–400 °C and at gas hourly space velocities between 12,000 and 48,000 h⁻¹.

X-ray diffraction patterns confirmed the presence of metallic Ni, NiO, CoO, and monoclinic ZrO₂. Scanning electron microscopy showed that without cobalt, large agglomerates formed, hindering access to active sites [3]. Increasing the cobalt content led to finer particle dispersion; however, cobalt-rich clusters appeared, accompanied by a decrease in overall porosity.

Under the optimal conditions (300 °C, space velocity of 24,000 h⁻¹), the process using the active catalyst composition (45% Ni + 5% Co + 50% Zr + urea) achieved a CO₂ conversion of 93% and a CH₄ selectivity of 95.5%.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan for supporting this research through (Grant No. AP27508537).

References

1. Cui Y., He S., Yang J., Gao R., Hu K., Chen X., Xu L., Deng C., Lin C., Peng S., Zhang C. Research progress of non-noble metal catalysts for carbon dioxide methanation // *Molecules*. 2024. Vol. 29, iss. 2. P. 374.

2. Zhao K., Wang W., Li Z. Highly efficient Ni/ZrO₂ catalysts prepared via combustion method for CO₂ methanation // *Journal of CO₂ Utilization*. 2016. Vol. 16. P. 236–244.
3. Tan T.H., Xie B., Ng Y.H., Abdullah S.F.B., Tang H.Y.M., Bedford N., Taylor R.A., Aguey-Zinsou K.-F., Amal R., Scott J. Unlocking the potential of the formate pathway in the photo-assisted Sabatier reaction // *Nature Catalysis*. 2020. Vol. 3. P. 1034–1043

IMPROVEMENT OF PETROLEUM TAR PROPERTIES USING GOSSYPOL RESIN, RECYCLED POLYPROPYLENE AND RADICAL INITIATORS

Batyrbay S.¹, Beisenbayev O.¹, Sidikov A.², Nazarbek D.¹

¹Department of «Technology of inorganic and petrochemical industries», South Kazakhstan University named after M. Auesov,

²Department of «General chemistry, chemistry of oil and gas», Branch of the Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkin in Tashkent, Republic of Uzbekistan
symbat_batyrbay@mail.ru

Abstract

This study presents the development of bitumen-containing compositions based on petroleum tar modified with gossypol resin and recycled polypropylene. The structural, morphological, and chemical characteristics of the modified compositions were analyzed using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM), and X-ray fluorescence (XRF). FTIR spectra were used to identify functional groups and assess chemical interactions between petroleum tar, gossypol resin, and polypropylene. SEM imaging provided information on the distribution of polymer and resin phases within the bitumen matrix, while XRF determined the elemental composition relevant to thermal stability. Modification of petroleum tar was applied instead of oxidation to preserve the hydrocarbon backbone while enhancing mechanical and rheological properties. The resulting bitumen-containing compositions are suitable for formulation as bitumen emulsions, which can be applied in road construction, waterproofing, and other construction materials. The study provides a framework for using hybrid polymer–resin systems to improve bitumen properties while incorporating recycled and bio-based components.

Key words: XRF analysis, gossypol resin, bitumen composition.

Introduction

Bitumen is a complex viscoelastic material derived from petroleum processing and is widely used in road construction, roofing, and waterproofing applications. Despite its extensive use, conventional bitumen exhibits significant limitations, including susceptibility to rutting at high service temperatures, thermal cracking at low temperatures, and progressive hardening due to oxidative aging. These performance deficiencies reduce pavement durability and increase maintenance costs, motivating continuous research into bitumen modification techniques [1–3].

Among various modification approaches, polymer modification has been recognized as one of the most effective methods to improve the rheological and mechanical performance of bituminous binders. Polymers alter the internal structure of bitumen by enhancing elasticity, stiffness, and resistance to permanent deformation, thereby extending the operational temperature range of the binder [4].

In recent years, sustainability considerations have become a key driver in materials research. The growing accumulation of plastic waste and the depletion of petroleum resources have prompted the investigation of recycled polymers and bio-based modifiers as environmentally friendly alternatives to virgin synthetic additives in bitumen systems [5,6].

Materials and Research Methods

The base binder used was petroleum tar derived from residual oil refining. The modification process involved:

Modifiers: A combined 5 wt.% of gossypol resin and SPP/RPP.

Initiators: Benzoyl peroxide and potassium persulfate were added at 0.5–1 wt.%.

Procedure: Petroleum tar obtained from a commercial supplier was used as the base bituminous material. Gossypol resin, a bio-based phenolic compound derived from cottonseed processing, was selected as a natural modifying agent. Recycled polypropylene sourced from post-consumer plastic waste was employed as a secondary polymer modifier. All materials were used as received, as their commercial specifications met the requirements of the experimental program. Prior to blending, the basic compositional characteristics of the petroleum tar and modifiers were examined to ensure consistency between different batches.

Preparation of Modified Bitumen Compositions

Modified bitumen compositions were produced using a thermomechanical blending approach. Petroleum tar was heated to a temperature range of 180–200 °C in a thermostatically controlled reactor equipped with a mechanical stirrer to maintain uniform thermal conditions. Once the target temperature was reached, gossypol resin was added in predetermined proportions and allowed to melt and disperse within the tar matrix under continuous stirring for 45 minutes. Recycled polypropylene was subsequently introduced gradually to avoid agglomeration and ensure uniform distribution. The mixture was further stirred for 60 minutes to achieve a homogeneous composition. After blending, the modified material was cooled slowly to room temperature in order to minimize phase separation and internal stress development.

Results and Discussion

X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis and Discussion

X-ray fluorescence (XRF) analysis was performed to characterize the elemental composition of the modified bituminous materials and to evaluate potential changes related to the modification process. Both samples contained elements typical of petroleum bitumen, including sulfur (S), calcium (Ca), iron (Fe), silicon (Si), and aluminum (Al), as well as trace levels of transition metals (V, Ni, Cr, Mn, Cu, Zn), indicating that the primary bituminous matrix remained largely preserved after modification. Sulfur increased from 0.26 wt.% in Sample 1 to 0.82 wt.% in Sample 2, which may indicate enhanced oxidative-radical interactions and incorporation of sulfur-containing species, consistent with FTIR results. Potassium rose from 0.58 wt.% to 1.58 wt.%, suggesting the involvement of potassium persulfate in stabilizing polar oxygen- and sulfur-bearing groups. Calcium and silicon may contribute to structural stabilization and colloidal stability, while iron and other transition metals could catalyze radical reactions and support polymer network formation. Minor elements such as Pb, Zn, and Cu reflect the mineral content of the original bitumen and are unlikely to affect the overall performance of the modified material.

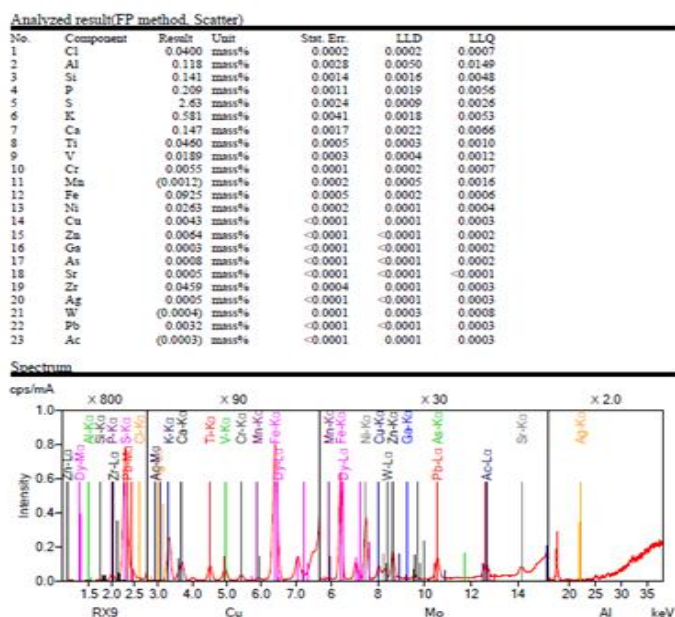


Fig. 1 XRF results for modified tar with gossypol resin and secondary polypropylene in the presence of $C_{14}H_{10}O_4$ (Sample 1).

Conclusion

Potassium persulfate and benzoyl peroxide were employed as radical initiators for the modification of petroleum tar in the presence of gossypol resin and recycled polypropylene. FTIR spectroscopy [7] indicated that potassium persulfate predominantly promotes radical-oxidative crosslinking accompanied by the formation of C–O–C linkages, whereas benzoyl peroxide mainly facilitates C–C grafting reactions without substantial oxidative degradation of the bituminous matrix.

XRF analysis revealed sulfur contents of 0.26 wt.% (Sample 1) and 0.82 wt.% (Sample 2), as well as potassium contents of 0.58 wt.% and 1.58 wt.%, confirming the involvement of the initiators in the structural organization of the modified systems. SEM [7] observations demonstrated a homogeneous dispersion of polymer and resin phases within the tar matrix. Samples modified with potassium persulfate exhibited a compact and predominantly hydrophobic structure, while benzoyl peroxide-modified materials showed increased oxygen content (≈ 13.7 wt.%) and enhanced polarity, which may be advantageous for emulsion formation. Overall, potassium persulfate favors the development of structurally stable and water-resistant bituminous materials, whereas benzoyl peroxide enhances grafting efficiency, polarity, and interfacial activity. Future work will focus on optimizing formulation parameters and reaction conditions, as well as evaluating the long-term performance of the modified systems for practical bituminous applications.

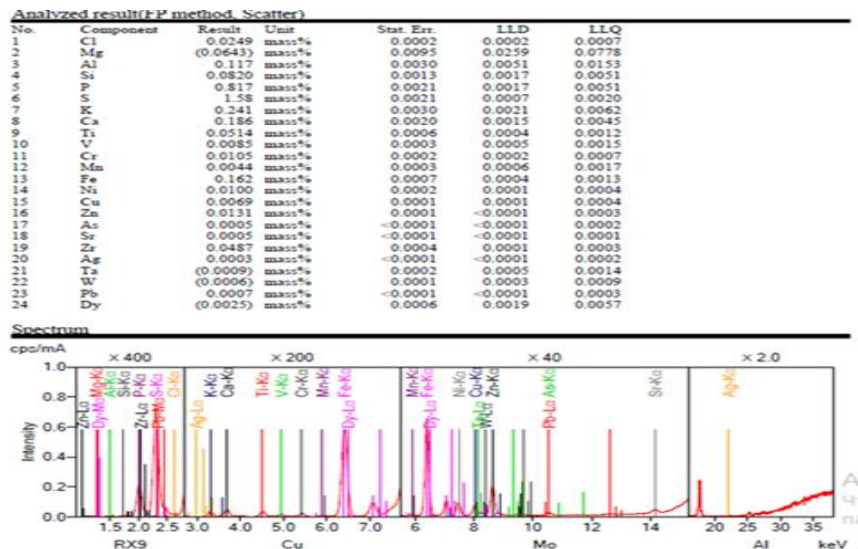


Fig. 2 XRF results for modified tar with gossypol resin and secondary polypropylene in the presence of $K_2S_2O_8$ (Sample 2).

References

1. Yao H., You Z., Li L. et al. Rheological properties of asphalt binders modified with polymers // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2016. Vol. 28, No. 4. Article 04015179. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001813
2. Polacco G., Filippi S., Merusi F., Stastna J. A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: asphalt/polymer interactions and principles of compatibility // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2015. Vol. 224. P. 72–112. DOI: 10.1016/j.cis.2015.07.010
3. Airey G.D. Rheological evaluation of polymer modified bitumen // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 149. P. 282–295. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.06.006
4. Kalantar Z.N., Karim M.R., Mahrez A. A review of using waste materials in asphalt modification // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 253. P. 119–203. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119203
5. Singh D., Ashish P.K., Ransinchung G.D.R.N. Sustainable modification of asphalt binders using recycled plastics // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 335. P. 130–141. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.130141
6. Liu X., Zhang Y., Sun L. Hybrid modification of asphalt using recycled polymers and bio-based additives // *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 412. P. 137–150. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137150
7. Batyrbay S.A., Beisenbayev O.K., Sidikov A.S. Bitumen composites from petroleum tar modified with secondary polymer and gossypol resin // *Neft and Gas*. 2023. No. 6. P. 317–323. URL: http://en.neft-gas.kz/f/nig6_1_obshch-317-323.pdf.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В ПЛАСТОВОЙ ВОДЕ, ОБОСНОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Досатов Т.И., Аубакиров Е.А.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби
tilegen.0296@mail.ru

Актуальность. В настоящем исследовании были изучены эффективность пленкообразующих ингибиторов коррозии (ИК) на пластовой воде нефтяной промышленности. В особенности товарной формы ингибитора коррозии марки EASY-CI на основе имидазолинов, производства ТОО "Epsilon Group"(Эпсилон Групп)". По сколько ингибиторы коррозии на данный момент являются одним из самых бюджетных и эффективных методов защиты от коррозии на промышленностях [1,2].

Материалы и методы. Сталь 20 по ГОСТ 1050-2013, размерами прямоугольный пластины 76.2x12.7x1.7. Естественная необработанная химическими реагентами пластовая с месторождении Арыстановское. Магнитные мешалки с регулировкой температуры, микродозаторы.

Испытание проводилось согласно гравиметрическому методу- измерение потери масс образцов свидетелей коррозии (ОСК) в испытуемой среде, без и с использованием ИК.

Результаты анализировались с помощью Рамановской спектроскопией, с электронной микроскопией, материалы для анализа результатов были предоставлены университетом КазНУ имени Аль-Фараби.

Ход испытаний и анализ результатов. В период проведения лабораторных исследований ингибиторов коррозии на пластовой, были взяты 4 цилиндрические ячейки с пластовой водой и свидетелями образцов коррозии. На I цилиндр ингибитор не дозировался (холостая проба), на II, III и IV цилиндрические ячейки были добавлены товарные ингибиторы коррозии (ТИК-1, ТИК-2) и ИК марки EASY-CI-01(табл. 1). Площадь поверхности ОСК, S, м²: 0,00224. Время испытаний: 24 часа. Дозировка реагента 25 г/т, согласно техническому регламенту месторождения.

Таблица-1. Результаты гравиметрического метода определения скорости коррозии

Номер ячейки	Серия, купонов	Масса до исп., г	масса после исп., г	Скорость коррозии, V _k	ИК
I	97	10,1806	10,1314	1,025187	Холостая проба
	86	10,3139	10,2654	1,010601	
II	74	10,3565	10,347	0,197953	ТИК-1
	76	10,2373	10,2271	0,212539	
III	99	10,1561	10,1477	0,175032	ТИК-2
	22	10,3183	10,3098	0,177116	
IV	02	10,2294	10,2255	0,081265	EASY-CI-01
	20	10,2439	10,2398	0,085432	

Как видно из результатов на таблице наибольшую эффективность показывает ингибиторы коррозии марки EASY-CI-01, скорость коррозии 0,08 мм/год.

Снимки электронной микроскопией. Оптическая микроскопия поверхности образцов стали 20, подвергнутых гравиметрическим испытаниям в водной среде, позволила выявить характер и степень коррозионного разрушения при использовании различных ингибиторов, как показана на рис. 1. Где наиболее гладкой поверхностью оказался, поверхность ОСК 02, без коррозионных язв и без продуктов коррозии буро-коричневого цвета, куда дозировался ингибитор коррозии марки EASY-CI-01.

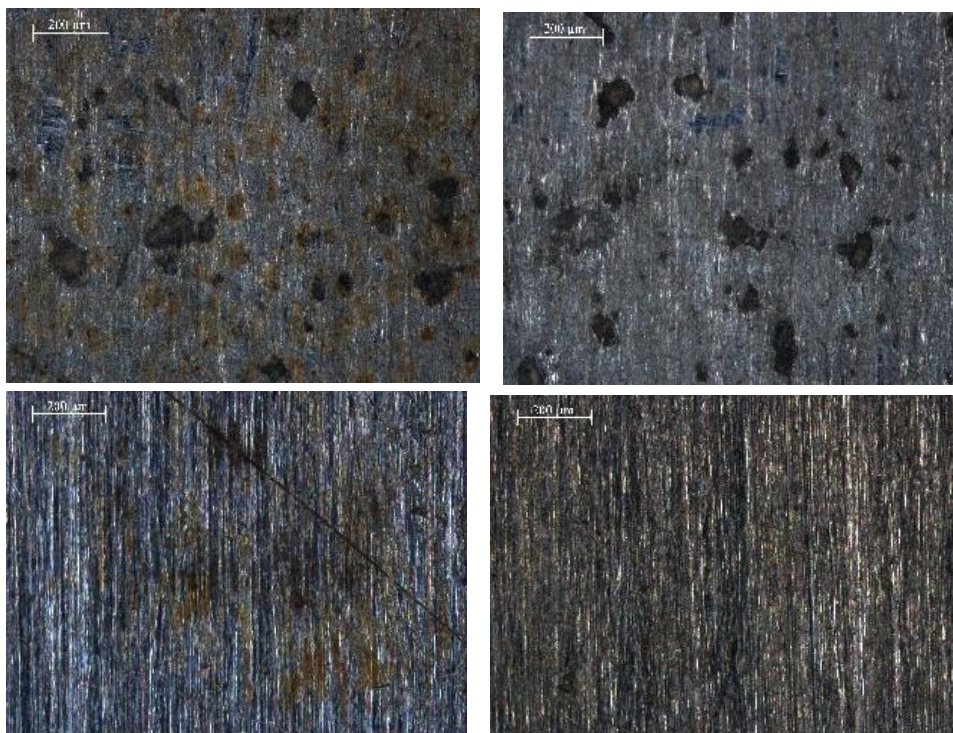


Рис. 1. Поверхность образцов свидетелей коррозии, при снимке электронной микроскопией 200 микрон, номер образцов 97, 74, 22, 02

Рамановская спектроскопия. Были сделаны снимки четырех образцов с пяти различных участков, после проведения испытаний рис. 2.

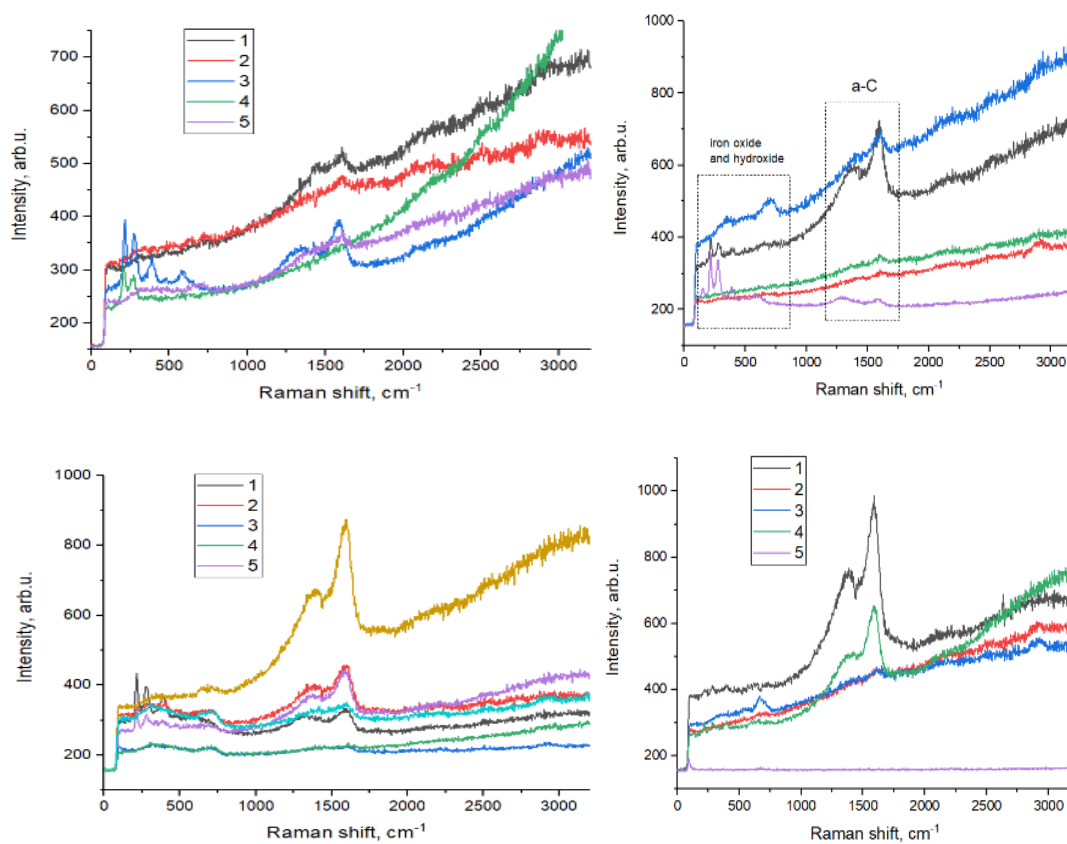


Рис. 2. Снимок образцов с Рамановской спектроскопии

Согласно пику, в районе $300\text{-}500\text{ см}^{-1}$ на поверхности образцов 97,74,22 образовались продукты коррозии в виде оксидов и гидроксидов железа. На снимке образца 02 не наблюдается выраженных пиков до 600 см^{-1} что показывает отсутствие очагов коррозии. Пики в районе $1400\text{-}1700\text{ см}^{-1}$ соответствуют аморфному углероду, предположительно спектр органического пленкообразующего ингибитора [3].

Заключение. Основываясь на результаты проведенных гравиметрических испытаний, электронную микроскопию и Рамановской спектроскопии можно сделать вывод что ингибитор коррозии марки EASY-CI-01 эффективно защищает металлическую поверхность в водной среде, покрывая поверхность металла полностью однородной пленкой, в отличие от двух других ИК товарной формы, которые показывают эффективность при гравиметрических испытаниях, но не покрывают полностью однородной пленкой согласно результатам Рамановской спектроскопии.

References

1. Dwivedi D., Lepkov K., Becker T. Carbon steel corrosion: a review of key surface properties and characterization methods // *RSC Advances*. 2017. Vol. 7, No. 70. P. 4580–4610. DOI: 10.1039/C6RA25094G.
2. Zgueni H., El Attar A., El Mesky M., Moussaife A., Matine A., Znini M., About S., El Houssine, Zeroual M.A., Chebabe D. Synthesis and multiscale evaluation of 3,3-bis(4-benzyloxyphenyl)benzofuranone as a corrosion inhibitor for carbon steel in 1 M HCl: experimental characterization and computational modeling using DFT, MD, and MC simulations // *Next Materials*. 2026. Vol. 11. Article 101867. DOI: 10.1016/j.nxmte.2026.101867.
3. Guo Y. Effect of corrosion products on the inhibitory performance of imidazolium ionic liquid toward carbon steel in CO₂-saturated NaCl brine // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022. Vol. 651. Article 129135. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2022.129135.

POLY(VINYL ALCOHOL)-STABILIZED COPPER NANOPARTICLES AS CATALYSTS FOR THE OXIDATION OF 1-PROPANOL: SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION

Maksotova K.S., Akbayeva D.N.

al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

maksotovak@yandex.kz

The catalytic oxidation of alcohols remains a key transformation in organic chemistry and continues to draw significant interest [1]. The carbonyl compounds formed, including aldehydes, serve as important intermediates for subsequent reactions in fine chemical synthesis. In recent years, environmentally benign oxidants such as air, oxygen and hydrogen peroxide have attracted significant attention. Copper-based nanocatalysts are considered promising alternatives to noble metals because of their low cost and ability to activate oxygen molecules [2].

The aim of this study is to synthesize copper nanoparticles (CuNPs) stabilized by poly(vinyl alcohol) (PVA), deposit them onto a silica support (SiO_2), and evaluate their catalytic activity in the oxidation of 1-propanol to propionaldehyde.

The PVA–Cu(II) complex was prepared in aqueous solution with an equimolar ratio (Fig.1), confirmed by conductometric titration. UV–Vis spectroscopy indicated coordination interactions between hydroxyl groups of PVA and copper ions, while FTIR analysis supported the formation of the complex. Reduction with sodium borohydride resulted in the formation of CuNPs stabilized by PVA.

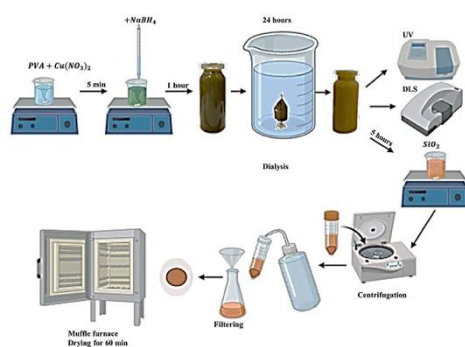


Fig. 1. Preparation of CuNPs stabilized by PVA and supported on SiO_2

Dynamic light scattering revealed that the particle size ranged from 10 to 25 nm (Fig.2), with smaller particles dominating under optimal conditions. The synthesized nanoparticles were immobilized on SiO_2 using an impregnation method followed by thermal treatment.

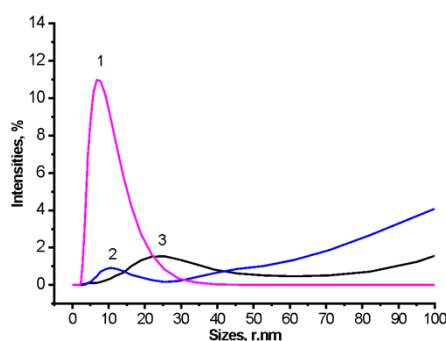


Fig. 2. The average hydrodynamic sizes of PVA-CuNPs

SEM and XRD analyses (Fig.3) confirmed the successful deposition of nanoparticles on the silica surface and revealed the presence of metallic copper and Cu_2O phases. The catalytic activity was tested in a three-phase system (gas–liquid–solid) using a batch reactor at ambient conditions [3-5].

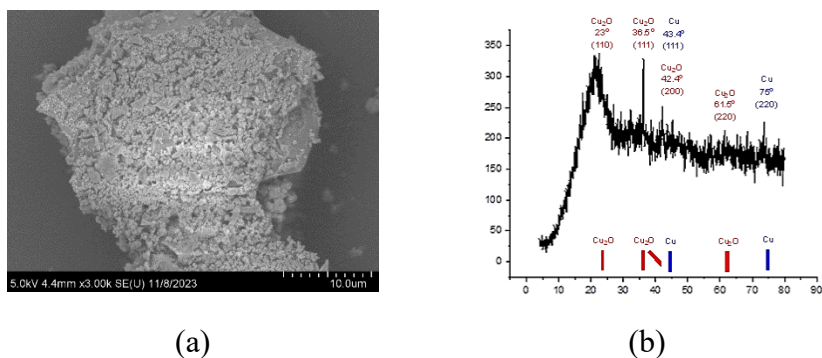


Fig. 3. Morphology and structure of CuNPs supported on SiO₂: (a) SEM micrograph; (b) XRD pattern.

The conversion of 1-propanol increased with catalyst loading, reaching up to 87.8 % (Fig.4). The reaction proceeds via adsorption and dissociation of oxygen on the copper surface, followed by oxidation of 1-propanol to propionaldehyde.

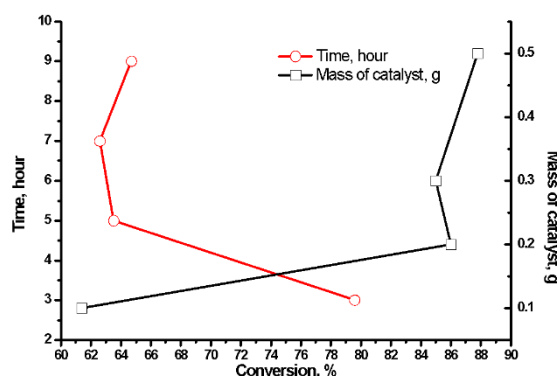


Fig. 4. Time- and mass-dependent conversion of 1-propanol

In conclusion, PVA-stabilized CuNPs supported on SiO₂ exhibit high catalytic efficiency under mild conditions and can be considered as promising catalysts for green oxidation processes.

References

1. Kopylovich M.N., Ribeiro A.P.C., Alegria E.C.B.A., Martins N.M.R., Martins L.M.D.R.S., Pombeiro A.J.L. Catalytic oxidation of alcohols: Recent advances // *Advances in Organometallic Chemistry*. 2015. Vol. 63(3). P. 1–157. <https://doi.org/10.1016/bs.adomc.2015.02.004>
2. Ojha N.K., Zyryanov G.V., Majee A., Charushin V.N., Chupakhin O.N., Santra S. Copper nanoparticles as inexpensive and efficient catalyst: A valuable contribution in organic synthesis // *Coordination Chemistry Reviews*. 2017. Vol. 353. P. 1–57. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.10.004>
3. Sawant S.S., Bhagwat A.D., Mahajan C.M. Novel facile technique for synthesis of stable cuprous oxide (Cu₂O) nanoparticles — an ageing effect // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2016. Vol. 8(1). Article 01036. [https://doi.org/10.21272/jnep.8\(1\).01036](https://doi.org/10.21272/jnep.8(1).01036)
4. Biçer M., Şişman İ. Controlled synthesis of copper nano/microstructures using ascorbic acid in aqueous CTAB solution // *Powder Technology*. 2010. Vol. 198(2). P. 279–284. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2009.11.022>
5. Ngoc D.T.B., Duy D.B., Tuan L.N.A., Thach B.D., Tho T.P., Phu D.V. Effect of copper ions concentration on the particle size of alginate-stabilized Cu₂O–Cu nanocolloids and its antibacterial activity against rice bacterial leaf blight (*Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*) // *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 2021. Vol. 12(1). Article 013001. <https://doi.org/10.1088/2043-6262/abebd6>

POLYELECTROLYTE MULTILAYER COATINGS FOR ANTIBACTERIAL SURGICAL SUTURES WITH CONTROLLED RELEASE PROPERTIES

Rakhmatullayeva D.T., Ospanova A.K.

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

e-mail: rakhmatullayeva.d@gmail.com

Bacterial infections associated with surgical sutures represent a significant challenge in modern medicine, as they can lead to inflammatory processes, delayed wound healing, and the development of postoperative complications. One of the promising approaches to solving this problem is the development of antibacterial coatings on the surface of suture materials.

In this study, polyelectrolyte multilayer coatings were developed using the Layer-by-Layer (LbL) self-assembly technique. Chitosan (CS) and sodium carboxymethylcellulose (CMC-Na), which possess good biocompatibility and the ability to form stable multilayer structures, were used as polymer components. The antibacterial agent triclosan (TCS) was incorporated into the coating structure to provide a prolonged antimicrobial effect. The coatings were applied to surgical sutures made of polyethylene terephthalate (PET) and polyamide (PA). The coating procedure involved the sequential immersion of samples into solutions of oppositely charged polyelectrolytes, where each deposition cycle contributed to the formation of a single layer. The formation process of the multilayer coating is shown in Fig. 1.

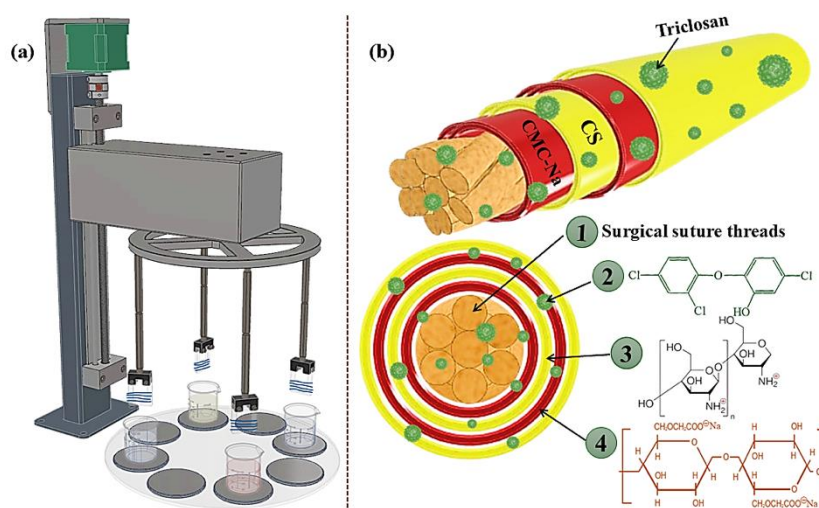


Fig. 1. Schematic illustration of polyelectrolyte multilayer coating formation using the Layer-by-Layer (LbL) technique: (a) coating process using a dip-coating system; (b) coating structure consisting of alternating CMC-Na/CS layers with incorporated antimicrobial agent.

Structural analysis confirmed the formation of uniform and stable coatings on the surface of the sutures. Morphological studies revealed the presence of a well-defined multilayer structure. Mechanical testing demonstrated that the coating process does not significantly affect the tensile properties of the sutures ($p > 0.05$). The increase in suture diameter remained within acceptable standards.

The study of triclosan release kinetics revealed a pronounced dependence on the type of polymer substrate. For polyamide sutures, a biphasic release mechanism was observed, including an initial burst release phase associated with the desorption of molecules from the surface, followed by a slower diffusion-controlled release from the inner layers of the coating. In contrast, polyethylene terephthalate sutures exhibited a predominantly diffusion-controlled release behavior, resulting in a more uniform and sustained release of the active substance. Antibacterial tests demonstrated high efficiency of the coatings against Gram-positive bacteria, which is associated with the structural features of their cell walls and their higher sensitivity to antimicrobial agents. Moderate antibacterial

activity was observed against Gram-negative microorganisms due to the presence of an outer membrane that limits the penetration of active substances.

Cytotoxicity studies using L929 fibroblast cells showed a high level of cell viability exceeding 70%, which meets the biocompatibility requirements for medical materials. This indicates the absence of significant cytotoxic effects and confirms the safety of the developed coatings for contact with biological tissues (Fig. 2).

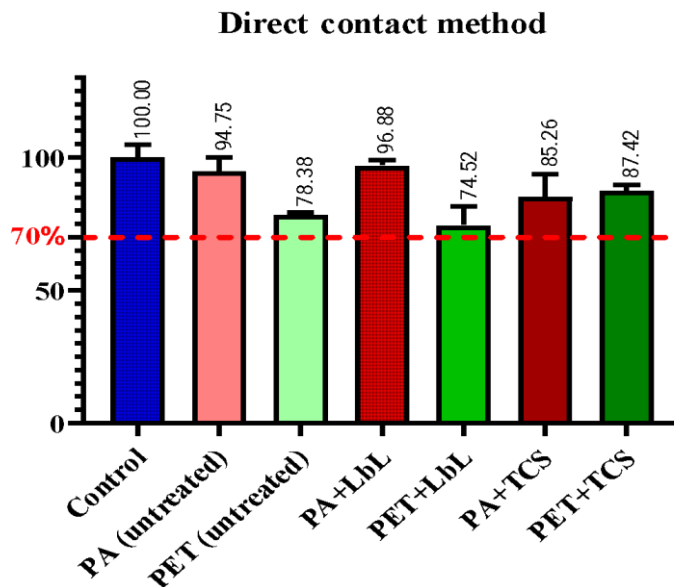


Fig. 2. Cell viability of L929 fibroblasts after exposure to polyamide and polyethylene terephthalate surgical sutures with and without triclosan-based multilayer coatings (Alamar Blue assay, direct contact method). The red dashed line indicates the 70% cytotoxicity threshold according to ISO 10993-5.

Thus, the developed polyelectrolyte multilayer coatings incorporating triclosan demonstrate promising potential for application in medical practice. The obtained results can be used for the development of new types of antibacterial surgical sutures with controlled drug release.

PRODUCTION OF LIGHT MOTOR FUELS FROM WASTE AUTOMOBILE TYRES AND USED MOTOR OILS VIA CATALYTIC HYDROCRACKING

Talap R.K., Amantauly K., Aubakirov Y.A.

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ryz0508.2026@gmail.com

Waste automobile tyres and used motor oils (UMO) are among the most persistent and hazardous forms of technogenic waste. Their uncontrolled disposal leads to soil contamination, groundwater pollution, and atmospheric emissions of toxic compounds. At the same time, both materials contain substantial amounts of high-molecular-weight hydrocarbons that can be valorised through thermochemical conversion. The aim of the present study was to investigate the production of light motor fuel fractions via catalytic hydrocracking of a mixture of waste automobile tyres and used motor oils in the presence of a Ni-Mo/zeolite catalyst under hydrogen pressure.

The hydrocracking process is governed by a bifunctional catalytic mechanism. The acidic sites of the zeolite support promote cracking and isomerisation of heavy hydrocarbon molecules, while the Ni-Mo metallic components facilitate hydrogenation reactions, suppressing coke formation and stabilising the intermediate products. The hydrogen atmosphere further prevents the accumulation of unsaturated compounds and enhances the overall selectivity towards light liquid fractions. [1]

The Ni-Mo/zeolite catalyst was prepared by sequential impregnation of the zeolite support with solutions of nickel and molybdenum salts and activated directly in the reaction medium at 400 °C. Experiments were conducted in a batch autoclave reactor. The feedstock consisted of a mixture of waste automobile tyres (20 wt.%) and used motor oils (80 wt.%), with a total sample mass of 50 g. The catalyst was introduced in an amount of 5 wt.% relative to the feedstock mass. The process was carried out at a temperature of 420 °C under an initial hydrogen pressure of 1 MPa for 30 minutes. The liquid products were subsequently separated by fractional distillation into a gasoline fraction (30–180 °C), a kerosene fraction (180–230 °C), and a diesel fraction (230–320 °C).

Material balance analysis showed that the total yield of liquid products was 43.69%, comprising 16.96% of the gasoline fraction (30–180 °C) and 26.73% of the kerosene fraction (180–230 °C). The diesel fraction (230–320 °C) was not detected, indicating that the process proceeds predominantly via deep cracking pathways, selectively forming lighter hydrocarbon products. The yield of gaseous products was 11.5%, while the solid residue accounted for 40.01% and losses for 4.8%. The predominance of the kerosene fraction over the gasoline fraction suggests that under the applied conditions — 420 °C and a tyre-to-oil ratio of 20:80 — the cracking intensity is sufficient to break down the polymeric tyre components into the middle-distillate range without further conversion to lighter gases. [2]

The composition of the obtained liquid distillates was examined by FTIR spectroscopy. Strong absorption bands in the 2800–3000 cm⁻¹ region, corresponding to C–H stretching vibrations of aliphatic groups, were recorded in all fractions. Characteristic peaks at 1460 and 1380 cm⁻¹ confirm the presence of methyl and methylene fragments. The practical absence of absorption in the 1700 cm⁻¹ region indicates the effective removal of carbonyl and oxidised components during the hydrocracking process, confirming the predominantly aliphatic and saturated nature of the fuel products obtained.

Chromatographic analysis (Fig. 2) showed that the basis of both fractions consists of saturated structures: isoparaffins — 26–27%, n-paraffins — 22–26%. The high content of isoalkanes has a positive effect on the octane number and low-temperature properties of the fuel. The proportion of aromatic compounds is stable in both fractions (16–17%); olefins (~12%) and naphthenes (10–11%) are also present, with the latter showing a slight increase in the second fraction. The total content of heteroatomic impurities (sulfur, nitrogen, halogens) does not exceed 2–3%, which confirms the effective hydrotreatment of the feedstock over the Ni-Mo/zeolite catalyst.

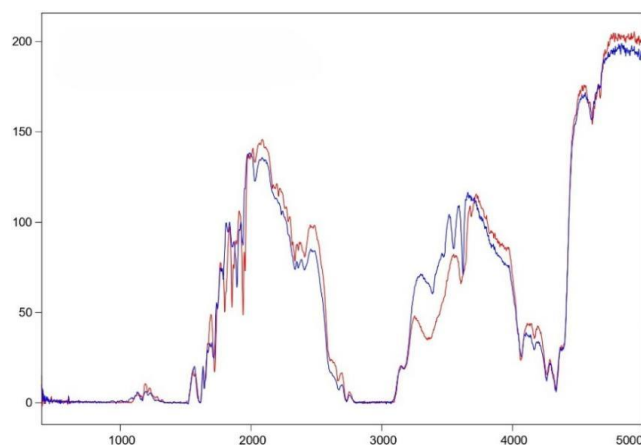


Figure 1. IR Fourier spectra of the obtained fractions: 1- fraction (30-180 °C), 2- fraction (180-230 °C).

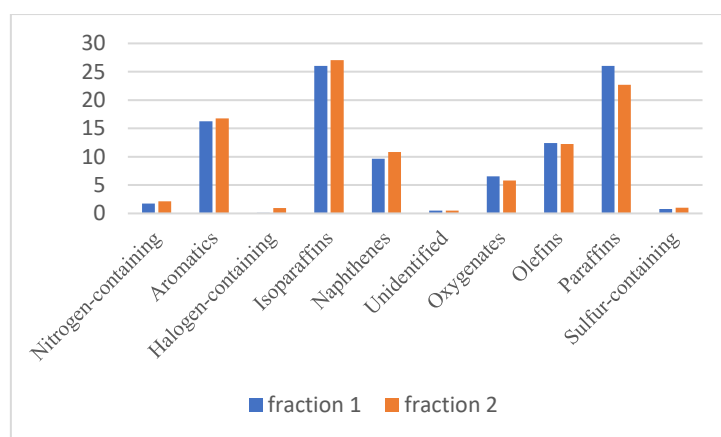


Figure 2. Results of the chromatographic analysis of the group composition of the obtained fuel distillates.

The results demonstrate that catalytic hydrocracking of a waste tyre and used motor oil mixture over a Ni-Mo/zeolite catalyst at 420 °C and 1 MPa hydrogen pressure yields light motor fuel distillates predominantly in the gasoline and kerosene boiling ranges, with a total liquid product yield of 43.69%. The proposed approach constitutes a technically viable and environmentally sound route for the co-processing of two hazardous waste streams into secondary energy resources. Further optimisation of the feedstock composition, temperature, and reaction time is required to reduce the solid residue yield and increase overall liquid fuel productivity. [3]

The research work was carried out within the framework of Project BR28713351, “Development of a Highly Efficient Catalytic Technology for the Integrated Processing of Carbon-Containing Waste into Energy Resources and Value-Added Products,” funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

References

- Williams P.T. Pyrolysis of waste tyres: A review // *Waste Management*. 2013. Vol. 33, No. 8. P. 1714–1728.
- Hourieh Y. Fuel obtained from used lubricating motor oils by utilizing mild catalytic hydro-cracking process // *Chemistry Research Journal*. 2020. Vol. 5, No. 3. P. 155–164.
- Khawatimy F.A., Priastomo Y., Febriyanti E., Riyantoko H., Trisunaryanti W. Study of waste lubricant hydrocracking into fuel fraction over the combination of Y-zeolite and ZnO catalyst // *Procedia Environmental Sciences*. 2014. Vol. 20. P. 225–234.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОПЕРЕРАБОТКИ КОКСОХИМИЧЕСКОЙ СМОЛЫ

Айдарова Л.Д., Смагулова Н.Т.

Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби

laura.aidarova12@gmail.com

Аналогичным образом, тяжёлые остаточные продукты переработки смол, благодаря своему составу, включающему высокомолекулярные углеводороды и смолисто-асфальтеновые компоненты, представляет собой перспективное сырьё для получения синтетического пека. В ходе реакций термоконденсации и/или окисления происходит уплотнение молекулярной структуры, повышение степени ароматичности и формирование твёрдого углеродистого материала с контролируемыми физико-химическими свойствами. В частности, существует возможность регулирования таких параметров, как температура размягчения, содержание летучих веществ и степень ароматичности, что обеспечивает оптимальное применение полученного пека в качестве связующего компонента при производстве углеродных и графитовых материалов [1].

Была проведена оценка физико-химических параметров коксохимической смолы с целью их применения в качестве сырья для синтеза пека и кокса. Согласно данным исследования антраценовая фракция коксохимической смолы характеризуется следующими показателями: массовая доля веществ нерастворимых в толуоле составило 1,31%, массовая доля веществ нерастворимых в хинолине 0,2%, а зольность 0,21%.

В условиях растущего мирового спроса на энергию и роста цен на нефть, гидрооблагораживание – экологически чистая угольная технология, позволяющая получать жидкие углеводороды из угля и замещать импорт нефти – становится все более актуальным на международном уровне [2,3]. Процесс гидрогенизации проводился в условиях лабораторной установки высокого давления с пустотелым реактором объемом 0,25 дм³ и с мешательным устройством. Рабочее давление водорода 5,0 МПа, температура 350-450°C, время реакции 15 мин. По результатам данных полученных после гидропереработки, были выявлены оптимальные параметры процесса: при 400°C с использованием наногетерогенного катализатора, выход гидрогенизата увеличился до 65,2 масс. %.

Фракционирование нефтепродуктов проводилось на автоматизированной установке АРН-ЛАБ-03 в соответствии с ГОСТ 2177-99.

Фильтрация проводилась на вакуумной фильтровальной установке ПВФ-35(47) согласно ГОСТ 10577-78.

Так же были определены элементные составы каменноугольной смолы до и после гидрообработки. Элементный состав образцов пека анализировали по результатам рентгенофлуоресцентного метода анализа на анализаторе Shimadzu EDX-8000. До гидрогенизации каменноугольная смола характеризуется высоким содержанием углерода, пониженным содержанием водорода и наличием гетероатомов (O, N, S), что обусловлено преобладанием ароматических и поликонденсированных структур. После гидрогенизации наблюдается увеличение содержания водорода при одновременном снижении доли углерода и гетероатомов. Указанные изменения связаны с гидрированием ароматических систем и удалением гетероатомов в виде летучих соединений. В результате происходит снижение степени ароматичности и увеличение доли насыщенных компонентов [4].

В результате проведенных исследований подтверждена высокая эффективность и перспективность антраценовой фракции каменноугольной смолы как сырья для получения синтетических пеков. Было продемонстрировано, что гидрогенизационная обработка позволяет целенаправленно модифицировать состав и структуру исходных веществ. Это приводит к уменьшению содержания гетероатомов, обогащению насыщенными соединениями и формированию более упорядоченной углеродной матрицы. Исследование также выявило оптимальные режимы гидропереработки, обеспечивающие максимальный

выход дистиллятных фракций. Возможность регулирования параметров гидропереработки для получения продуктов с требуемыми физико-химическими характеристиками

Список использованных источников

1. Speight J.G. *The chemistry and technology of petroleum*. – 5th ed. – Boca Raton: CRC Press, 2014. – 1024 p. – <https://doi.org/10.1201/b16559>
2. C.Berruenco, P.Álvarez, N.Díez, M. Grand, R.Menéndez, C.Blanco, R.Santamaria, M.Millan. Characterisation and feasibility as carbon fibre precursors of isotropic pitches derived from anthracene oil // *Fuel*. No.101. 2012, pp.9-15, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.10.005>
3. Y.Qu, J.Liu, X.Zhou, L.Liu, R.Ma, Y.Su, Ch.Ma, P.Sun. Analysis of Composition and Structure Characteristics of Heavy Hydrogenated Coal Tar and Its Subcomponents from Xinjiang, China // *ACS Omega* – 2025. – Vol.10, Issues 36, P.40913–40921, <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c01796>
4. Qiao X., Wang X., Tan C., Ma L., Zhang B., Cao J., Wang H. Precious metals catalyze the saturated hydrogenation of polycyclic aromatic hydrocarbons in coal tar // *Catalysts*. – 2025. – Vol. 15, № 4. – Art. 397. – <https://doi.org/10.3390/catal15040397>

ПОЛУЧЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ ПУТЕМ ГИДРОКРЕКИНГА ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ВОДОРОДА

Алибеков Б.Е., Аубакиров Е.А.

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан
berkut.alibekov.2003@gmail.com

Отработанные моторные масла (ОММ) - это одновременно экологическая нагрузка и недооценённый источник углеводородного сырья. В процессе эксплуатации масло накапливает продукты окисления, деградировавшие углеводороды и различные примеси, что делает его непригодным для повторного использования по назначению, но не лишает энергетической ценности. В рамках данной работы исследовался процесс каталитического гидрокрекинга ОММ с использованием катализатора Ni-Mo/цеолит под давлением водорода - с целью получить пригодные топливные дистилляты и оценить их выход и состав.

Гидрокрекинг работает по бифункциональному принципу. Кислотные центры цеолита способствуют крекингу и изомеризации тяжёлых молекул, а Ni-Mo компоненты обеспечивают гидрирование - это важно, поскольку именно оно сдерживает образование кокса и не даёт накапливаться ненасыщенным соединениям. [1]

Катализатор готовили методом последовательной пропитки: раствор солей никеля и молибдена наносили на цеолитный носитель. Активацию проводили прямо в автоклаве при 400°C - без отдельной стадии прокалики, что упрощает подготовку и позволяет формировать активные центры непосредственно в реакционной среде. Сам процесс вели при 420°C и давлении водорода 1 МПа в течение 30 минут; катализатора вводили в количестве 5% от массы сырья.

Материальный баланс показал хороший результат: суммарный выход жидких дистиллятов составил 82,55%, газа образовалось 7%, твёрдого остатка - 5,75%. Такое соотношение говорит о том, что катализатор работает избирательно - крекинг тяжёлых фракций идёт активно, а потери на кокс минимальны.

ИК-спектроскопия (рис. 1) подтвердила углеводородную природу продуктов. Во всех трёх фракциях отчётливо видны полосы валентных колебаний C-H в области 2800–3000 см⁻¹; пики при 1460 и 1380 см⁻¹ указывают на метильные и метиленовые группы. Интенсивность пиков закономерно растёт от лёгкой фракции к тяжёлой - углеводородные цепи становятся длиннее. Показательно, что в области 1700 см⁻¹ сигнал практически отсутствует: окисленные компоненты исходного масла в ходе реакции были эффективно удалены. [2]

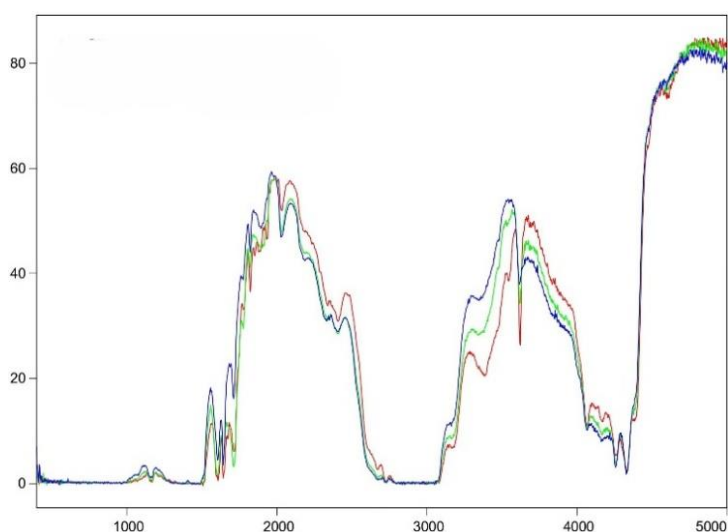


Рисунок 1. ИК фурье-спектры полученных фракций: 1- фракция (30-180 °С), 2- фракция (180-260 °С), 3- фракция (260-350 °С).

Хроматографический анализ (рис. 2) показал, что во всех фракциях преобладают насыщенные структуры: изопарафины - 26-27%, н-парафины – 22-26%. Высокое содержание изоалканов - свидетельствует о высоком качестве: такие соединения повышают октановое число и улучшают поведение топлива при низких температурах. Ароматика держится стабильно на уровне 18-19% во всех пробах, олефины составляют 11-15%, нафтены несколько возрастают в тяжёлой фракции. Суммарное содержание серы, азота и галогенов не превышает 1-2% - это свидетельствует о том, что катализатор обеспечил эффективную гидроочистку сырья.

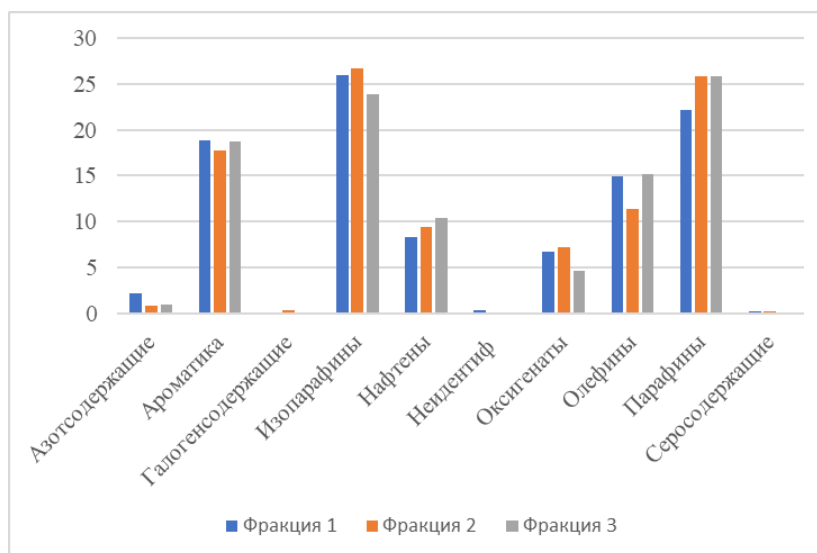


Рисунок 2. Результаты анализа хроматографии группового состава полученных топливных дистиллятов

Таким образом, катализатор Ni-Mo/цеолит обеспечивает высокий выход светлых фракций при минимальном коксообразовании. При температуре 420°C и давлении 1 МПа удаётся достичь устойчивого баланса между глубиной конверсии сырья и селективностью по целевым продуктам. Полученные результаты подтверждают перспективность гидрокрекинга ОММ как способа получения вторичного топлива. [1, 2]

Исследования выполнены в рамках проекта BR28713351 «Разработка высокоэффективной каталитической технологии для комплексной переработки углеродсодержащих отходов в энергоресурсы и востребованные продукты», финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Список использованных источников

- Hourieh Y. Fuel obtained from used lubricating motor oils by utilizing mild catalytic hydro-cracking process // *Chemistry Research Journal*. 2020. Vol. 5, No. 3. P. 155–164.
- Khowatimy F.A., Priastomo Y., Febriyanti E., Riyantoko H., Trisunaryanti W. Study of waste lubricant hydrocracking into fuel fraction over the combination of Y-zeolite and ZnO catalyst // *Procedia Environmental Sciences*. 2014. Vol. 20. P. 225–234.

KINETIC STABILITY OF HYDROCARBON/WATER EMULSIONS STABILIZED BY CETYLPYRIDINIUM CHLORIDE

Zhalishov K., Ospanova Zh.B., Adilbekova A.O.

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

zhalishov@gmail.com

The stabilization of lyophobic dispersion systems is a fundamental challenge in colloidal chemistry. Emulsions are inherently unstable due to high interfacial free energy, leading to coalescence [1, 2]. This study investigates the use of Cetylpyridinium Chloride (CPC) to create an electrostatic and adsorption barrier at the hydrocarbon-water interface [3] for emulsion stabilization.

By adsorbing at the liquid-liquid boundary, CPC serves as a potent cationic agent that significantly reduces interfacial tension. Unlike anionic stabilizers, the pyridinium head group of CPC imparts a strong positive surface charge to the dispersed droplets, fostering long-range electrostatic repulsion that inhibits the initial stages of flocculation [3]. Furthermore, recent studies have demonstrated that CPC provides secondary benefits, such as antimicrobial and anticorrosive properties, which are essential for maintaining the integrity of metal infrastructures in industrial emulsion transport systems [1].

A critical factor in the stabilization efficiency is the nature of the organic phase. This research compares n-hexane, a simple non-polar hydrocarbon, with commercial diesel fuel a complex mixture of aromatics and paraffins. This comparison allows for an investigation into how the Hydrophilic-Lipophilic Balance (HLB) of the oil phase influences the packing density and structural-mechanical strength of the surfactant film [2]. By establishing a quantitative relationship between CPC loading and phase separation time, this study provides a predictive framework for managing emulsion stability in petrochemical processing and oily wastewater treatment.

This research provided a comprehensive quantitative assessment of the kinetic stability of multiphase hydrocarbon emulsions, specifically focusing on the performance of CPC as a cationic stabilizer. By systematically analyzing both n-hexane and diesel fuel systems, several critical conclusions regarding the interfacial mechanics of lyophobic dispersions can be drawn.

Firstly, the experimental data for the n-hexane system establishes a direct and highly predictable relationship between surfactant concentration and emulsion longevity. The observed linear correlation ($R = 0.995$) between CPC loading and the "Full Break" time indicates that in simple hydrocarbon systems, the stability is governed almost exclusively by the density of the electrostatic and mechanical barrier formed at the interface. This confirms that even at lower concentrations, the formation of a cationic adsorption layer effectively counters the high interfacial free energy that naturally drives coalescence in hexane-water mixtures [2].

Secondly, the comparative analysis revealed that the diesel fuel system operates under a more complex stabilization mechanism. Unlike the linear response of hexane, diesel emulsions exhibited significantly prolonged induction periods and superior initial resistance to separation. This deviation suggests a synergistic interaction between the added CPC molecules and the native polar components such as resins and naphthenic acids naturally present in commercial diesel fuel. These components likely reinforce the structural-mechanical strength of the CPC adsorption film, creating a more resilient "armor" around the dispersed droplets that is resistant to rupture even under prolonged static conditions [1, 3].

Furthermore, the application of the Stability Index (H, % the percentage of separated phase) proved to be an effective metric for quantifying the gradual loss of stability. The results demonstrated that increasing the CPC concentration from 0.5 ml to 2.5 ml does not merely delay separation but fundamentally alters the kinetic profile of the emulsion, shifting the "First Break" point significantly further in the temporal scale. This shift is critical for industrial applications where maintaining a stable dispersion for a specific window of time is more valuable than permanent stability.

In summary, this study confirms that CPC is a highly efficient agent for the controlled stabilization of hydrocarbon emulsions. The findings highlight that while electrostatic repulsion is the primary driver of stability in pure systems, the chemical complexity of the organic phase plays a

decisive role in enhancing the interfacial barrier. These insights provide a robust technical foundation for optimizing surfactant dosages in petrochemical processing, oily wastewater treatment, and the development of stable fuel-water emulsions, where both economic efficiency and environmental safety are paramount [2, 3].

References

1. Cai Zh. et al. Antibacterial and anticorrosion effects of cetylpyridinium chloride against *Desulfovibrio desulfuricans* biofilm and X80 steel corrosion // *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 414. P. 134932. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.134932
2. Garmsiri H. et al. Stability of the emulsion during the injection of anionic and cationic surfactants in the presence of salts // *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. P. 11337. DOI: 10.1038/s41598-023-38428-8
3. Wang Q. et al. Study on the relationships between the oil HLB value and emulsion stabilization // *RSC Advances*. 2023. Vol. 13. P. 24692–24698. DOI: 10.1039/D3RA04592G

ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИН НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО ИЗОПРЕНОВОГО КАУЧУКА

Дауылбек А.А., Рахматуллина А.П.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
aidadauylbek@gmail.com

Натуральный каучук (НК) является важным сырьем для шинной промышленности и производства резиновых изделий благодаря его уникальным свойствам: высокой когезионной прочности и условной прочности при растяжении. Эти характеристики делают НК неотъемлемым компонентом в процессе изготовления изделий [1]. Синтетический цис-1,4-изопреновый каучук (СКИ) имеет схожую структуру с НК, однако по таким свойствам, как адгезионно-когезионные свойства, эластичность, прочность при разрыве, сопротивление раздиру и некоторым другим СКИ уступает НК [2]. В работе [3] проведена оценка эффективности применения ФЛК в качестве модификатора синтетического полиизопрена в виде его полимеризата (раствора каучука в изопентане). Объектом исследования являлся полимеризат изопренового каучука (его раствор в изопентане), предоставленный ПАО «Нижнекамскнефтехим». Для модификации СКИ-3 использован фосфолипидный концентрат (побочный продукт масложирового комбината). В исследованиях были использованы стандартные методы определения физико-механических свойств. Модификацию полиизопрена фосфолипидным концентратом проводили на стадии дегазации его полимеризата. Для этого первоначально при комнатной температуре в полимеризат при перемешивании вводили расчетные количества ФЛК (от 3 до 7 мас.ч. на 100 мас.ч. в пересчете на «сухой» каучук). Дегазацию модифицированного полимеризата осуществляли при температуре 100°C дистиллированной водой по методике [4]. Дегазацию исходного полимеризата СКИ-3 (контроль) проводили аналогично. Метод термогравиметрии (ТГА) использовался для оценки термической стабильности вулканизатов модифицированных каучуков. Все образцы характеризуются многостадийным разложением. Первая стадия (до 300 °C) связана с испарением влаги и низкомолекулярных компонентов; потеря массы на этом этапе незначительна. Основная стадия разложения, соответствующей деструкции углеводородной цепи, протекает в интервале 300–500 °C. Термогравиметрический анализ показал, что введение ФЛК в СКИ-3 сохраняет термическую стабильность вулканизатов, достаточную для практического использования. Исследования показали, что для значительного улучшения характеристик резины на основе синтетического изопренового каучука оптимальной дозировкой модификатора является 5 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука.

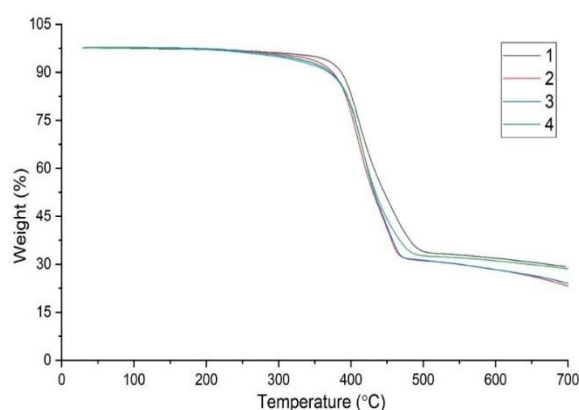


Рисунок 1. Термогравиметрические кривые вулканизатов: 1 – контроль (без модификатора), 2 – 3 мас.ч. модификатора, 3 – 5 мас.ч. модификатора, 4 – 7 мас.ч. модификатора.

Список использованных источников

1. Clamroth R., Kempermann T. Comparison of methods for the determination of tear strength // *Polymer Testing*. 1986. No. 6. P. 3–35. DOI: 10.1016/0142-9418(86)90031-0.
2. Phinyocheep P. Chemical modification of natural rubber (NR) for improved performance // *Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber*. Woodhead Publishing, 2014. P. 68–118. DOI: 10.1533/9780857096913.1.68
3. Шевченко В.М., Шаркаева Е.В., Тетерятников Р.В. и др. Модификация синтетического полиизопрена фосфолипидным концентратом // *Каучук и резина*. 2021. Т. 80, № 6. С. 292–296. DOI: 10.47664/0022-9466-2021-80-6-292-296
4. Григорьев Е.И., Черезова Е.Н., Егорова С.Р. Практикум по общей химической технологии полимеров. Часть 1: Учебное пособие. Казань, 2011. 136 с.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО СОРБЕНТА Fe_3O_4 /ГУМИНОВАЯ КИСЛОТА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ИОНОВ $Fe(II)$ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Джаткамбаева У.Н., Шакиева Т.В., Сасыкова Л.Р., Конысбаев А.Т.

Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби,
Республика Казахстан, 050040, г. Алматы, проспект аль-Фараби, 71,
ulzhan.dzhatkambaeva@mail.ru

За последние десятилетия антропогенная нагрузка на окружающую среду существенно возросла, что обуславливает необходимость разработки эффективных методов очистки водных объектов. Одним из перспективных направлений является применение сорбционных технологий, отличающихся высокой эффективностью и технологичностью.

Магнетит (Fe_3O_4) представляет значительный интерес в качестве основы для создания сорбционных материалов благодаря высокой сорбционной емкости, химической устойчивости и возможности быстрого извлечения из раствора под действием внешнего магнитного поля. Это позволяет рассматривать его как перспективный компонент функциональных сорбентов для водоочистки и медицины. Несмотря на значительное количество исследований, посвященных биомедицинскому применению магнетита, число работ по его использованию в очистке воды остается ограниченным [1–2].

Гуминовые кислоты (ГК), являясь природными высокомолекулярными соединениями, содержат функциональные группы (карбоксыльные, фенольные), способные к комплексообразованию с ионами металлов, что способствует повышению эффективности сорбционных процессов.

Процесс синтеза композитных сорбентов методом химического осаждения является простым и технологичным, что позволяет производить такие материалы в нужных объемах для применения в экологической практике.

Эффективность сорбентов на основе магнитных оксидов железа определяется их размером и структурой, от которых зависят адсорбционные свойства материалов [3]. Это обуславливает необходимость разработки методов синтеза и модификации нано- и наноструктурированных магнитных материалов с повышенной сорбционной емкостью. Использование нано- и микрочастиц вызывает повышенный интерес благодаря их специфическим физико-химическим свойствам, существенно отличающимся от характеристик макроскопических материалов.

Целью настоящей работы является синтез магнитного сорбента на основе магнетита, стабилизированного гуминовой кислотой, и исследование его сорбционных свойств при удалении ионов железа (II) из водных растворов.

Синтез композитного сорбента осуществляли методом химического соосаждения солей Fe^{2+} и Fe^{3+} в щелочной среде в присутствии гуминовой кислоты. В результате формируются наноструктурированные частицы магнетита, стабилизированные органической матрицей ГК, что предотвращает их агрегацию и способствует увеличению удельной поверхности сорбента. Формирование композита и взаимодействие магнетита с гуминовой кислотой подтверждены результатами ИК-Фурье-спектроскопии и рентгенофазового анализа. Концентрацию ионов железа до и после сорбции определяли спектрофотометрическими и титриметрическими методами. Сорбционные свойства изучали в статических условиях: навески сорбента вводили в модельные растворы заданной концентрации с последующим перемешиванием. Отбор проб осуществляли через заданные промежутки времени, а разделение фаз проводили с использованием неодимового магнита.

ИК-спектры исходной гуминовой кислоты и магнетита, модифицированного гуминовой кислотой (рис.1), демонстрируют существенные изменения спектральных характеристик, свидетельствующие о взаимодействии компонентов. В области $3200 - 3500 \text{ см}^{-1}$ наблюдаются изменения формы и интенсивности широкой полосы валентных колебаний гидроксильных групп ($-OH$), что указывает на их участие во взаимодействии с поверхностью магнетита. В областях $1600 - 1400 \text{ см}^{-1}$ зафиксированы смещения и перераспределение

интенсивностей полос карбоксильных групп (COO^-), что свидетельствует о координации функциональных групп гуминовой кислоты с ионами железа. В диапазоне $900\text{--}600\text{см}^{-1}$ обычно проявляются характерные для магнетита полосы поглощения, соответствующие деформационным колебаниям связей в Fe-O-N и валентным колебаниям связи Fe-O . В спектре композита наблюдается выраженная полоса в области $570\text{--}600\text{ см}^{-1}$, соответствующая колебаниям связи Fe-O , характерной для магнетита. Совокупность указанных изменений подтверждает наличие взаимодействия между гуминовой кислотой и магнетитом и указывает на формирование композитного материала, в котором гуминовая кислота закреплена на поверхности магнитной фазы за счет комплексообразования и поверхностных взаимодействий.

Установлено, что оптимальные условия сорбции ионов Fe(II) достигаются при соотношении $\text{ГК:Fe}_3\text{O}_4 = 1:2$ и при комнатной температуре. Показано, что процесс сорбции протекает интенсивно в первые 30 минут, при этом степень извлечения превышает 70% и существенно не изменяется при увеличении времени контакта до 6 часов.

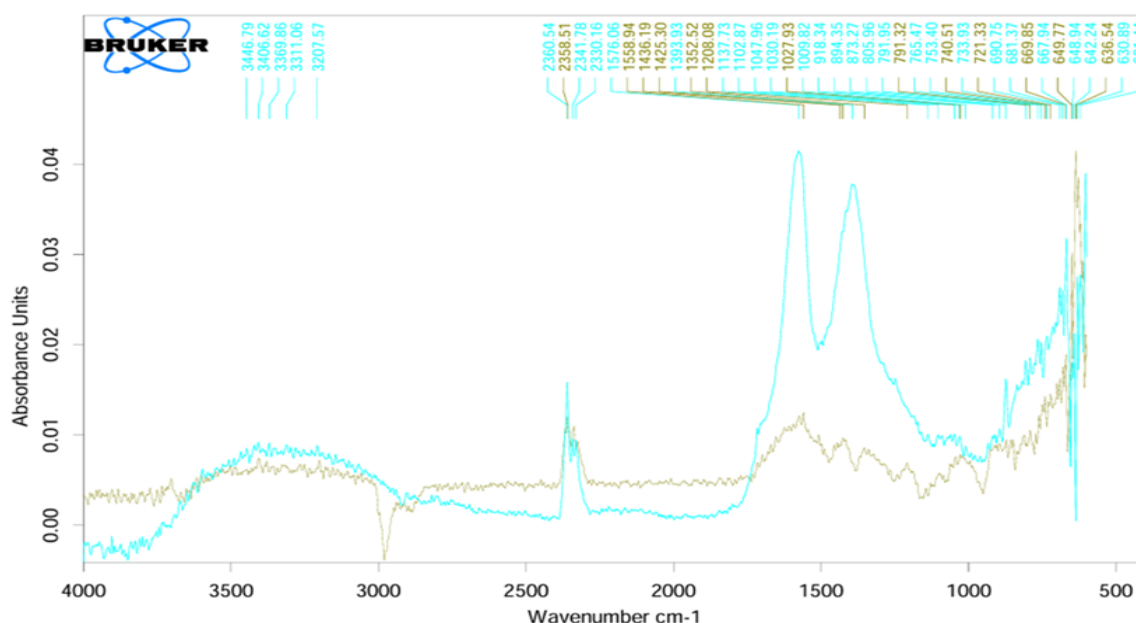


Рис.1. ИК-спектры гуминовой кислоты (голубая линия) и модифицированного магнетита (коричневая линия).

Высокая эффективность сорбции, вероятно, обусловлена совокупностью механизмов, включающих комплексообразование ионов Fe^{2+} с функциональными группами гуминовой кислоты, а также электростатическое взаимодействие между поверхностью сорбента и ионами в растворе. Это подтверждается данными ИК-спектроскопии (рис.2), свидетельствующими об участии функциональных групп ГК в процессе сорбции.

По данным ИК-спектроскопии выявлены изменения спектральных характеристик сорбента после взаимодействия с ионами Fe^{2+} (рис. 1). Наблюдается смещение и изменение интенсивности полос карбоксильных групп COO^- в областях ~ 1600 и $\sim 1400\text{ см}^{-1}$, а также изменения валентных колебаний гидроксильных групп ($-\text{OH}$). Отмечено усиление полосы в области $\sim 570\text{ см}^{-1}$, соответствующей колебаниям связи Fe-O , характерной для магнетита. Полученные данные указывают на возможное комплексообразование ионов Fe^{2+} с функциональными группами гуминовой кислоты.

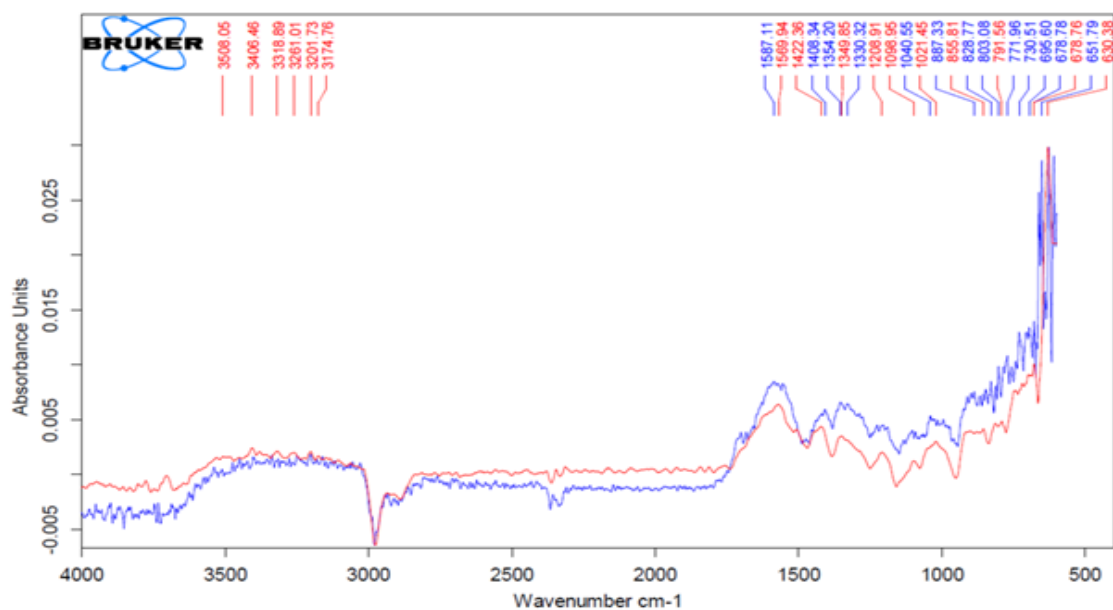


Рис. 2. ИК-спектры гуминовой кислоты: до сорбции красная линия), после сорбции (синяя линия)

Список использованных источников

1. Ходосова Н.А., Томина Е.В., Бельчинская Л.И., Жабин А.В., Волков А.С., Куркин Н.А. Физико-химические характеристики нанокompозитного сорбента нонтронит/ CoFe_2O_4 // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2021. Т. 21, № 4. С. 520–528.
2. Ткаченко И.А., Панасенко А.Е., Одинокова М.М., Марченко Ю.В. Композиционные магнитоактивные сорбенты $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-SiO}_2$ // *Журнал неорганической химии*. 2020. Т. 65, № 8, с. 1035–1043.
3. Бондаренко Л.С., Магомедов И.С., Терехова В.А., Джардималиева Г.И., Учанов П.В., Милановский Е.Ю., Васильева Г.К., Кыдралиева К.А. Нанокompозиты на основе магнетита и активированного угля: синтез, сорбционные свойства, биодоступность // *Журнал прикладной химии*. 2020. Т. 93, вып. 8. с.

АКТИВНОСТЬ Pd- и Ru-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ В ДЕГИДРИРОВАНИИ n-БУТАНА: ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТА И НОСИТЕЛЯ

Каримова Д.Б.¹, Восмеригов А.В.², Восмеригова Л.Н.², Восмеригов А.А.²

¹Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, Россия

Научный руководитель: профессор Конуспаев С.Р.

dana.tleugabylova@mail.ru

Дегидрирование n-бутана—это основной процесс получения бутена, востребованного в производстве синтетических каучуков и пластиков. В условиях растущего спроса на эти мономеры особую актуальность приобретает разработка высокоэффективных и стабильных катализаторов, способных обеспечить высокую конверсию и селективность при умеренных энергетических затратах. Традиционные алюмохромовые системы широко используются в промышленности, однако имеют существенные ограничения: они токсичны, быстро дезактивируются вследствие отложения кокса на их поверхности и требуют энергоёмкой регенерации. В связи с этим всё большее внимание в настоящее время уделяется катализаторам на основе благородных металлов, в частности Pt, Pd, Rh и Ru, которые демонстрируют высокую активность в реакциях дегидрирования и повышенную устойчивость к зауглероженности.

Целью настоящей работы явилось сравнение каталитических свойств палладиевых и рутениевых нанесенных катализаторов, а также изучение влияния содержания металла и природы носителя.

Превращение n-бутана изучали на проточной стендовой установке с неподвижным слоем катализатора при температуре 400-600 °С, атмосферном давлении и скорости подачи исходного сырья 250 ч⁻¹. В качестве катализаторов использовались системы: 1 и 3% Pd/Al₂O₃, 1 и 3% Pd/ SiO₂, 1 и 3% Ru/Al₂O₃, 1 и 3% Ru/ SiO₂. Анализ продуктов реакции проводили через каждые 30 минут методом газовой хроматографии на хроматографе «Кристалл 5000.2». Среди 8 исследованных образцов близкие значения конверсии 45 и 44% и селективности образования низших олефинов 69,0 и 68,2% при 600 °С демонстрируют катализаторы 1% Pd/Al₂O₃ и 1% Ru/Al₂O₃, соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики нанесенных палладиевых и рутениевых катализаторов

Катализатор	M, %	S _{уд} , м ² /Г	X, %	Y, %	S, %
1% Pd/γ-Al ₂ O ₃	1,2	232	45	31,0	69,0
1% Ru/γ-Al ₂ O ₃	1,0	223	44	30,1	68,2
3% Pd/γ-Al ₂ O ₃	3,2	221	36	23,9	67,0
3% Ru/γ-Al ₂ O ₃	2,8	218	39	20,5	52,7
1% Pd/SiO ₂	0,9	355	23	16,3	70,2
1% Ru/SiO ₂	1,2	363	16	11,7	71,7
3% Pd/SiO ₂	2,6	322	23	15,5	67,8
3% Ru/SiO ₂	3,2	374	27	18,8	70,0

Примечание. M – концентрация металла в катализаторе по данным химического анализа, S_{уд} – удельная поверхность, X – конверсия, Y – выход низших олефинов, S – селективность образования низших олефинов.

Согласно [1], при содержании Pd 0,8–1,2 % в цеолите ZSM-5 наблюдается максимальная селективность образования низших олефинов, а увеличение концентрации до 1,5 % приводит к снижению селективности до 65 % из-за агрегации частиц металла. Это согласуется с результатами наших исследований для катализатора Pd/Al₂O₃. В то же время, на катализаторах, содержащих 3% модифицирующей добавки, наблюдается снижение конверсии на 5-18%, выхода легких олефинов на 6-10%. Однако селективность их образования изменяется незначительно, исключение составляет образец 3% Ru/γ-Al₂O₃, на котором селективность уменьшается на 15,5%. Предполагается, что вследствие увеличения содержания Pd и Ru в катализаторах происходит агрегация их частиц и металлсодержащие центры проявляют более высокую активность в реакциях крекинга. Установлено, что носитель Al₂O₃ образует более прочные связи с металлами, чем SiO₂. В работе [2] показано, что на кислотных центрах носителя Al₂O₃ ускоряется процесс десорбции олефинов, предотвращая их дальнейшее взаимодействие, приводящее к образованию продуктов уплотнения. Аналогичный эффект наблюдается в наших исследованиях, где катализаторы на основе γ-Al₂O₃ демонстрируют более высокие показатели, чем образцы на основе SiO₂, который не содержит кислотные центры.

Все образцы были исследованы методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и низкотемпературной адсорбции азота (метод БЭТ). Показано, что частицы металла распределяются на поверхности носителя равномерно, что свидетельствует о качественном способе получения катализаторов. Удельная поверхность для катализаторов на основе Al₂O₃ варьируется от 218 до 232 м²/г, а для образцов на основе SiO₂ от 322 до 374 м²/г (таблица 1). Более высокое значение удельной поверхности катализатора не является основанием его повышенной активности в процессе дегидрирования н-бутана.

Таким образом, увеличение концентрации металла в катализаторе до 3% приводит к снижению конверсии н-бутана из-за агрегации металлических частиц и интенсификации протекания побочных реакций. Катализаторы на основе Al₂O₃ демонстрируют более высокую активность по сравнению с образцами на основе SiO₂, благодаря наличию кислотных центров, ускоряющих десорбцию промежуточных продуктов реакции. Катализаторы 1% Pd/Al₂O₃ и 1% Ru/Al₂O₃ могут быть использованы в процессе получения низших олефинов из низкомолекулярных парафинов.

Список использованных источников

1. Liang Q., Zhang Y., Babucci M. et al. Dehydrogenation of propane and n-butane catalyzed by isolated PtZn₄ sites supported on self-pillared zeolite pentasil nanosheets // *ACS Catalysis*. 2022. Vol. 12, № 18. P. 11177–11189.
2. Saxena R., De M. Enhanced performance of supported Pd-Pt bimetallic catalysts prepared by modified electroless deposition for butane dehydrogenation // *Applied Catalysis A: General*. 2021. Vol. 610. Art. 117933.

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕМОСТАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ОСНОВАНИИ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИ СОЧЕТАНИИ КАОЛИНА С ПЕРСПЕКТИВНЫМИ КОАГУЛЯНТАМИ

Махпирова Р.Н., Оспанова А.К.

Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
Научный руководитель: д.х.н., профессор Оспанова А.К.
makhpirova_ramina@mail.ru

Проблема эффективного контроля кровотечения остается одной из ключевых в современной медицине, особенно при оказании неотложной помощи и травматических повреждениях. Традиционные методы остановки кровотечения, такие как тампонада или механическая компрессия, не всегда обеспечивают быстрые и безопасные результаты, в то время как существующие кровоостанавливающие материалы могут иметь ряд недостатков, включая термическое повреждение тканей или трудности с извлечением из раны. Помимо кровоостанавливающих свойств, такие материалы должны обладать дополнительными функциями в зависимости от типа раны, будь то внешняя или внутренняя. В случае кровотечения и повреждения тканей или органов кровоостанавливающие материалы должны быстро достигать места кровотечения, сохранять морфологию раны, способствовать заживлению и безопасному биологическому разложению.

В этой важной области в данном исследовании предлагаются условия для производства отечественных биосовместимых гемостатических материалов на основе полимерных матриц из поливинилового спирта (ПВС) методом замораживания-оттаивания. Метод замораживания-оттаивания - это метод получения физически сшитых и пористых гидрогелей без использования токсичных сшивающих реагентов. Процесс формирования гидрогеля осуществлялся путем многократного замораживания при низких температурах и последующего оттаивания при комнатной температуре. Повторение этих циклов (от 5 до 10 раз) постепенно увеличивает степень физического сшивания полимерной матрицы за счет образования кристаллитов ПВС и усиления межмолекулярных взаимодействий между компонентами.

Целью данного исследования является разработка условий для получения биогибридных гидрогелей на основе поливинилового спирта с использованием комбинации гемостатических агентов, включая каолин, хитозан, альгинат натрия и хлорид кальция. Выбор компонентов для получения гидрогелей был основан на их взаимодополняющих механизмах гемостаза и биосовместимости. Каолин действует как прокоагулянт, активируя внутренний путь свертывания. Хитозан обладает дополнительными гемостатическими и антимикробными свойствами благодаря своей поликатионной природе, в то время как альгинат натрия в присутствии ионов кальция образует стабильную ионную сеть "egg-box", способствуя структурной целостности и контролируемому высвобождению ионов Ca^{2+} . Сочетание этих компонентов в гидрогелях на основе ПВС обеспечивает синергетический эффект, улучшая общие кровоостанавливающие свойства материала.

Был проведен ряд исследований для оценки физико-химических и структурных характеристик полученных гидрогелей. Морфология и пористость образцов были исследованы с помощью сканирующей электронной и оптической микроскопии, что позволило выявить формирование развитой пористой структуры. Химические взаимодействия компонентов и наличие функциональных групп были подтверждены с помощью ИК-спектроскопии. Термическая стабильность композитов была оценена с помощью ТГА-анализа. Кроме того, были проведены биологические исследования *in vitro* и *in vivo*. Исследования гемостатической активности показали способность композитов эффективно сокращать время кровотечения и кровопотерю по сравнению с контрольными образцами. Тесты на цитотоксичность подтвердили их хорошую гемосовместимость и отсутствие значительных токсических эффектов.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанные биогбридные гидрогели обладают сочетанием структурных, физико-химических и биологических свойств, необходимых для эффективного контроля кровотечения, и представляют собой перспективные материалы в качестве отечественных гемостатических средств.

СЕЛЕКТИВНОЕ ГИДРИРОВАНИЕ CO₂ В ВЫСШИЕ СПИРТЫ НА КАТАЛИЗАТОРАХ Cu–Fe–Me/TiO₂

Мустақым Б.Е.^{1,2*}, Байжуманова Т.С.^{1,2}, Тунгатарова С.А.^{1,2}

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²АО “Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского”

Алматы, Казахстан

bmustakhimb@mail.ru

Селективное гидрирование диоксида углерода в высшие спирты рассматривается как перспективное направление утилизации CO₂ и получения ценных кислородсодержащих продуктов с высокой добавленной стоимостью. В условиях роста антропогенных выбросов углекислого газа и необходимости перехода к углеродно-нейтральным технологиям особое значение приобретает разработка эффективных каталитических систем, обеспечивающих высокую селективность по C₂₊ спиртам. Основная сложность процесса заключается в конкуренции параллельных реакций (образование CO, метанола и метана), а также в необходимости эффективного протекания стадий активации CO₂ и C–C сопряжения, что определяется балансом фаз Fe₃O₄/Fe₅C₂ и ролью меди в стабилизации CO-интермедиатов [1, 2].

Настоящая работа посвящена синтезу и исследованию каталитических систем на основе Cu–Fe–Me/TiO₂ (где Me = Cr, Zr, Co), предназначенных для селективного гидрирования CO₂ в высшие спирты. Выбор Cu–Fe систем обусловлен их способностью обеспечивать синергетическое взаимодействие между центрами активации CO₂ и стадиями роста углеродной цепи, что ранее показано для модифицированных CuFe-катализаторов [1, 3].

Катализаторы были получены методом горения в растворе (SCS), а также SCS с предварительной пропиткой носителя, что позволяет обеспечить равномерное распределение активной фазы и формирование развитой пористой структуры. Соотношение металлов в активной фазе варьировалось с целью изучения влияния промотора на каталитические свойства, что является ключевым фактором регулирования селективности в подобных системах [2, 4].

Физико-химические характеристики катализаторов исследованы методами рентгенофазового анализа (РФА/XRD), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ/SEM), температурно-программируемого восстановления водородом (H₂-ТПВ/H₂-TPR) и температурно-программируемой десорбции (ТПД/TPD). Установлено формирование дисперсных фаз Cu–Fe и их взаимодействие с TiO₂, а также существенное влияние природы носителя и промотора на восстановимость и кислотно-основные свойства поверхности, что согласуется с ранее показанным влиянием носителя в CuFe-системах [5].

Показано, что введение Me-регуляторов позволяет управлять селективностью за счёт изменения путей превращения интермедиатов и условий C–C сопряжения.

Аналогичные эффекты промотирования, связанные с регулированием электронных свойств и адсорбционных характеристик поверхности, наблюдались для модифицированных FeCu-катализаторов [4].

Катализаторы Cu–Fe–Me/TiO₂ демонстрируют потенциал для эффективной конверсии CO₂ в C₂₊ спирты и требуют дальнейшей оптимизации состава и стабильности.

Список использованных источников

1. Fan Q., Zhang X., Liu G. и др. Regulating the location of metal promoters in CuFe-based catalysts for CO₂ hydrogenation // *Journal of Energy Chemistry*. 2025. Т. 107. С. 31–43.
2. Yao R., Liu G., Song M. и др. Unraveling the role of zinc in CuFe-based catalysts for CO₂ hydrogenation to higher alcohols // *Journal of CO₂ Utilization*. 2025. Т. 102. Ст. 103237.
3. Zhang Q., Liu G., Hong X. и др. Hydrogenation of CO₂ to higher alcohols on Cr-modified CuFe catalyst // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2023. Т. 337. Ст. 123013.
4. Yao R., Liu G., Song M. и др. Synergistic Na–S modified Fe–Cu catalysts for efficient CO₂ hydrogenation to higher alcohols // *Chemical Engineering Journal*. 2025. Т. 512. Ст. 162498.
5. Liu Y., Wang X., Zhang H. и др. Influence of supports in CuFe-based catalysts for hydrogenation of CO₂ to ethanol // *Fuel*. 2025. Т. 395. Ст. 135192.

РЕАКЦИИ 2-АРИЛ-1-(ВИНИЛСУЛЬФОНИЛ)ПИРРОЛИДИНОВ С АМИНАМИ. СИНТЕЗ АНАЛОГОВ ТАУРИНА

Накыпова С.М.¹, Смолобочкин А.В.², Акылбеков Н.И.³, Газизов А.С.², Бурилов А.Р.²,
Пудовик М.А.²

¹ Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Республика Казахстан, 050038
Алматы, пр. аль-Фараби, 71.

² Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный
центр РАН, Российская Федерация, 420088 Казань, ул. Академика Арбузова, 8.

³ Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Республика Казахстан, 120014 Кызылорда,
ул. Айтеке би, 29А.
nakypova.saltanat@mail.ru

Таурин и его производные представляют значительный интерес для современной медицинской химии благодаря широкому спектру биологической активности, включая антиоксидантное, противовоспалительное, нейропротекторное и противоопухолевое действие [1]. В последние годы особое внимание уделяется созданию так называемых «гибридных соединений» - молекул, объединяющих в одной структуре несколько фармакофорных фрагментов. Такой подход позволяет не только усилить фармакологический эффект, но и снизить токсичность, повысить биодоступность и селективность действия потенциальных лекарственных препаратов.

Одним из перспективных направлений является синтез гибридных производных таурина, содержащих пирролидиновый цикл. Пирролидиновые фрагменты входят в состав многих известных противоопухолевых препаратов, применяемых в клинической практике, таких как Дактиномицин, Пакритиниб, Типирацил и Алпелисиб. Наличие 2-замещенного пирролидина в структуре соединения способствует повышению биологической активности и расширяет возможности дальнейшей молекулярной модификации [2,3].

Нами разработан метод синтеза новых производных таурина на основе реакции аза-Михаэля 2-арил-1-(винилсульфонил)пирролидинов с различными аминами, аминокислотами и оптически чистыми аминами [4]. Реакция аза-Михаэля является удобным и эффективным методом нуклеофильного присоединения по активированной двойной связи, позволяющим проводить синтез в мягких условиях, с высокой селективностью и хорошими выходами целевых продуктов.

Для получения целевых соединений в качестве исходных субстратов использовали 2-арил-1-(винилсульфонил)пирролидины (рис. 1). В качестве N-нуклеофилов применяли как простые амины, так и аминокислоты, включая L-аланин, L-валин, L-тирозин, L-цистеин, а также оптически чистые амины [5]. Введение аминокислотных фрагментов позволяет повысить растворимость соединений в воде, улучшить биодоступность и усилить потенциальную биологическую активность, что особенно важно при разработке противоопухолевых агентов.

Таким образом, предложенная стратегия синтеза позволяет получать новые функционализированные производные таурина с высоким потенциалом биологической активности. Сочетание в одной молекуле тауринового, пирролидинового и аминокислотного фрагментов делает данные соединения перспективными объектами для дальнейших фармакологических исследований. Полученные результаты подтверждают актуальность выбранного направления и открывают возможности для создания новых эффективных противоопухолевых препаратов нового поколения.

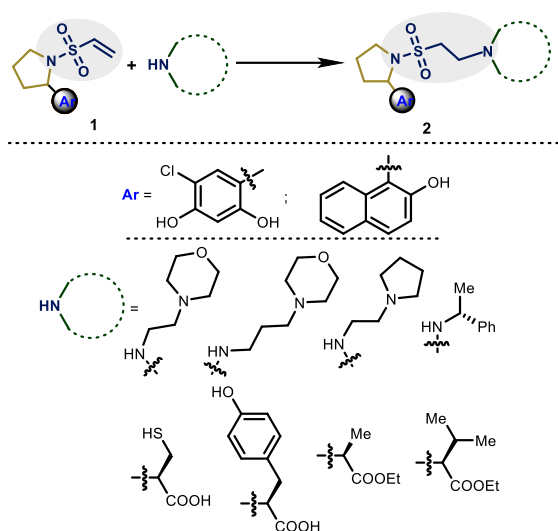


Рис. 1. Синтез новых производных таурина

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (AP23487716).

Список использованных источников

1. Sharma S., Sahoo B.M., Banik B.K. Biological effects and mechanisms of taurine in various therapeutics // *Current Drug Discovery Technologies*. 2023. V. 20, № 6.
2. Nakypova S., Smolobochkin A., Rizbayeva T., Akylbekov N., Burilov A., Pudovik M., Smolobochkin A., Sinyashin O. Taurine-based hybrid drugs as potential anticancer therapeutic agents: in vitro, in vivo evaluations // *Pharmaceuticals*. 2025. V. 18, № 7. P. 1056.
3. Smolobochkin A.V., Muravyeva E.A., Vagapova L.I., Knyazeva I.R., Voronina J.K., Burilov A.R., Pudovik M.A., Gildebrant A.V., Sazykin I.S., Sazykina M.A., Gazizov A.S. Synthesis and evaluation of water-soluble 2-aryl-1-sulfonylpyrrolidine derivatives as bacterial biofilm formation inhibitors // *Chemistry & Biodiversity*. 2019. V. 16, № 1. e1800490.
4. Nakypova S.M., Smolobochkin A.V., Gazizov A.S., Rizbayeva T.S., Akylbekov N.I., Burilov A.R., Pudovik M.A., Smolobochkin A.V., Sinyashin O.I. Reactions of 2-aryl-1-(vinylsulfonyl)pyrrolidines with diamines // *Russian Chemical Bulletin*. 2025. V. 74. P. 3606–3610.
5. Nakypova S.M., Smolobochkin A.V., Gazizov A.S., Rizbayeva T.S., Akylbekov N.I., Burilov A.R., Pudovik M.A., Smolobochkin A.V., Sinyashin O.I. Synthesis of new taurine derivatives by reaction of 2-aryl-1-(vinylsulfonyl)pyrrolidines with optically pure amines // *Russian Journal of General Chemistry*. 2025. V. 95. P. 1765–1770.

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ ПРОДУКЦИИ

Оразова З.Б., Савденбекова Б.Е.

Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби
orazova.zarina@mail.ru

В последние годы особое внимание уделяется разработке экологически безопасных упаковочных материалов, способных не только выполнять защитную функцию, но и активно влиять на процессы сохранения качества пищевой продукции. Актуальность данного направления обусловлена необходимостью снижения зависимости от импортных упаковочных решений, а также минимизации потерь при хранении и транспортировке скоропортящихся продуктов. Биополимерные покрытия на основе природных соединений представляют собой перспективный подход к созданию функциональной «активной» упаковки, обладающей барьерными, антибактериальными и фотозащитными свойствами.

Целью настоящей работы является разработка и исследование биосовместимых покрытий на основе природных полимеров для повышения эффективности упаковочных материалов и продления срока хранения пищевых продуктов.

В качестве основного метода формирования покрытий используется технология послойной сборки (Layer-by-Layer, LbL), основанная на последовательной адсорбции полиэлектролитов противоположного заряда. Данный метод позволяет формировать многослойные структуры с регулируемой толщиной и контролируемыми свойствами. Нанесение покрытий осуществляется с применением автоматизированной ротационной установки (rotary dip-coater), обеспечивающей воспроизводимость технологических параметров и равномерность формирования слоев на поверхности подложки. В качестве основы используется эластичный полимерный материал (стретч-пленка), широко применяемый в упаковочной промышленности.

В работе предусматривается исследование влияния физико-химических параметров, таких как pH среды и концентрация растворов, на процессы формирования покрытий и их конечные свойства. Особое внимание уделяется оптимизации технологических условий, включая скорость погружения, время выдержки и режимы сушки, что позволяет обеспечить стабильность структуры и однородность покрытий.

В ходе исследования будут получены многослойные покрытия с заданными характеристиками, структура которых будет подтверждена методами инфракрасной спектроскопии. Морфология и равномерность покрытия будут дополнительно изучены с использованием методов микроскопии. Оптические свойства покрытий будут исследованы с целью оценки их способности блокировать ультрафиолетовое излучение и предотвращать фотодegradацию пищевых компонентов.

Особое внимание будет уделено барьерным свойствам покрытий, включая проницаемость для водяного пара и газопроницаемость (O_2 и CO_2), что является ключевым фактором при разработке упаковочных материалов. Также будет проведена оценка механических характеристик покрытий и их устойчивости к внешним воздействиям.

Микробиологические исследования позволят установить уровень антибактериальной активности покрытий и их влияние на процессы порчи пищевых продуктов. Ожидается, что разработанные покрытия обеспечат снижение микробной нагрузки, уменьшение потерь массы и замедление процессов старения продукции.

Таким образом, результаты работы позволят обосновать эффективность применения биополимерных покрытий в технологии активной упаковки и подтвердить перспективность их использования для продления срока хранения пищевых продуктов.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МАГНИТНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ГИДРИРОВАНИЯ CO₂

Қонысбаев А.Т., Сасыкова Л.Р., Джатқамбаева У.Н., Шакиева Т.В., Жакирова Н.К.
Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби
aza.konysbaev@gmail.com

Одной из актуальных задач современной химической технологии является разработка каталитических материалов для утилизации CO₂ с получением ценных углеродсодержащих продуктов. Перспективными системами для этих процессов являются магнитные композиты на основе соединений железа, поскольку они сочетают каталитическую активность, устойчивость и возможность магнитного отделения после реакции [1–4].

Целью работы являлись синтез и исследование свойств магнитных композитов на основе железа для гидрирования CO₂.

В качестве носителей использовали углеродные нанотрубки (УНТ) и активированный уголь на основе кокосовой скорлупы (Ск), способствующие стабилизации магнитных наночастиц и снижению их агрегации. Были получены магнитные композиты, модифицированные калиевым промотором: а) Fe₃O₄–К/УНТ; б) Fe₃O₄–К/Ск.

Синтез образцов проводили методом химического соосаждения солей железа при соотношении Fe³⁺: Fe²⁺ = 2:1. Осаждение осуществляли 25%-ным раствором NH₄OH. Магнитную фракцию отделяли Nd-магнитом, промывали водой и этанолом, сушили при 90–100 °С и прокаливали при 673 К. Часть образцов получали с применением вихревого электромагнитного гомогенизатора (ВЭГ) в течение 3–5 мин.

Основными методами исследования являлись рентгенофазовый анализ (XRD), сканирующая электронная микроскопия (SEM) и магнитные измерения; инфракрасную Фурье-спектроскопию (FTIR), Раман-спектроскопию и термогравиметрический анализ (TGA) использовали для дополнительного подтверждения состава и термической устойчивости материалов. По данным XRD подтверждено формирование магнитных шпинельной фазы Fe₃O₄. Для Fe₃O₄-содержащих композитов наблюдались характерные рефлексы шпинельной структуры, соответствующие плоскостям (311), (400), (422), (511) и (440). Широкий фон на дифрактограммах связан с присутствием углеродного носителя. Применение ВЭГ-режима, по-видимому, способствовало улучшению диспергирования частиц и снижению агрегации. Характерные XRD-дифрактограммы полученных магнитных композитов представлены на рис. 1.

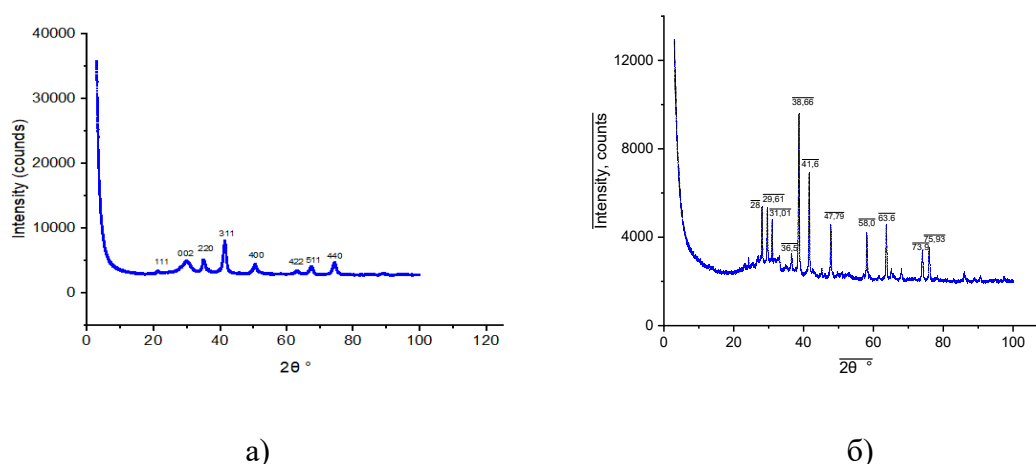


Рис. 1. XRD-дифрактограммы магнитных композитов: а) Fe₃O₄–К/УНТ; б) Fe₃O₄–К/Ск

Морфология композитов, полученных без ВЭГ-обработки и в ВЭГ-режиме, представлена на рис. 2. По данным SEM установлено, что образцы, полученные без ВЭГ-

обработки, характеризуются более выраженной агрегацией частиц (рис.2). При использовании ВЭГ-режима наблюдается более равномерное распределение магнитных наночастиц по поверхности углеродного носителя. Для образца $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-K/УНТ}$ (рис. 2в) характерен меньший размер частиц (17–23 нм) и чётко выраженная сетчатая структура переплетённых углеродных нанотрубок, на поверхности которых равномерно распределены наночастицы Fe_3O_4 . Это может свидетельствовать о формировании высокодисперсной системы с хорошей степенью распределения активной фазы.

В отличие от этого, для образца $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-K/Ск}$, полученного в вихревом электромагнитном режиме (рис. 2г), наблюдаются частицы более крупного размера (35–80 нм), однако их распределение по поверхности углеродного носителя остаётся достаточно равномерным, а структура в целом — однородной.

Таким образом, можно предположить, что использование УНТ способствует формированию более мелкодисперсной структуры, тогда как углеродный носитель на основе скорлупы обеспечивает формирование более крупных частиц при сохранении их равномерного распределения.

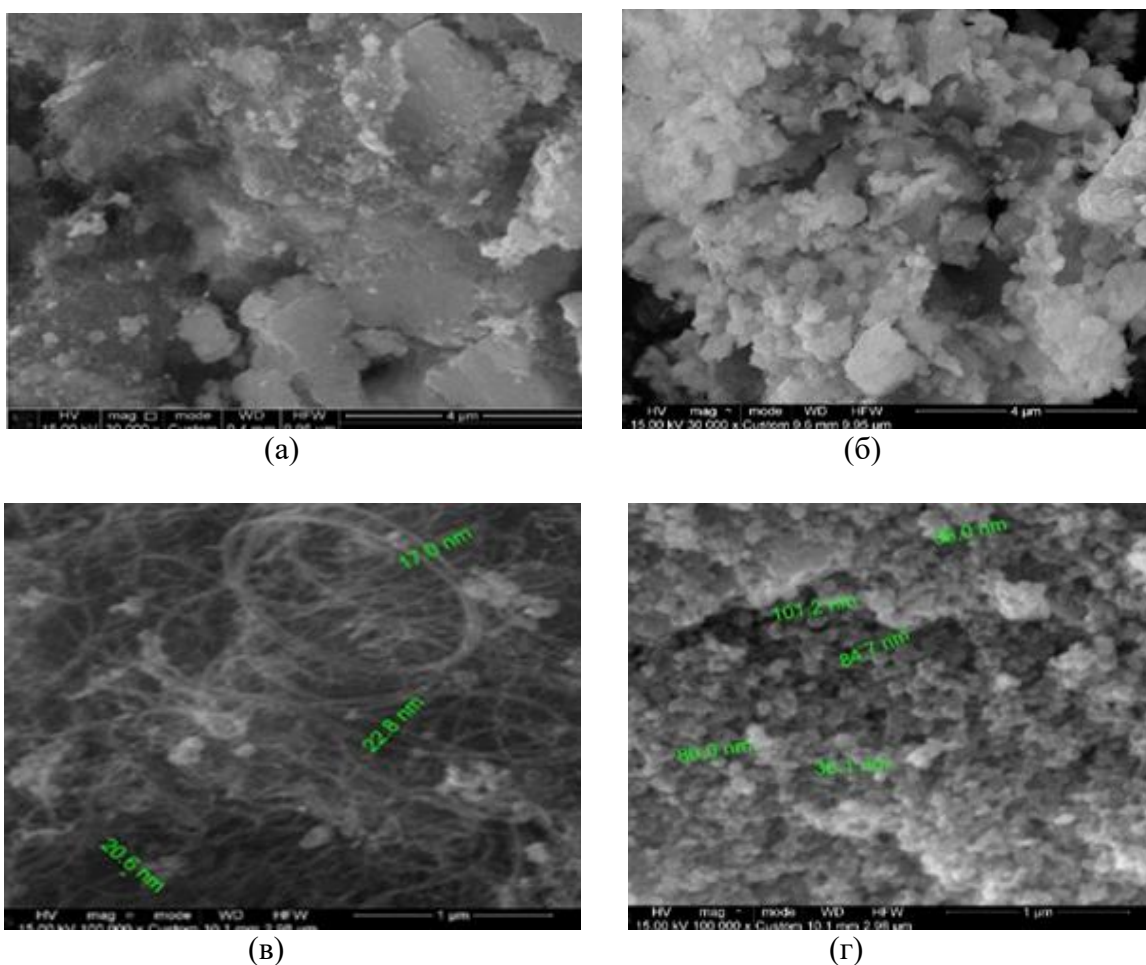


Рис. 2. SEM-изображения магнитных композитов: а) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-K/УНТ}$ без ВЭГ; б) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-K/Ск}$ без ВЭГ; в) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-K/УНТ}$ в ВЭГ-режиме; г) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-K/Ск}$ в ВЭГ-режиме.

Магнитные измерения показали, что синтезированные материалы обладают выраженными магнитными свойствами. Наибольшее значение намагниченности насыщения (M_s) зафиксировано для образца $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-K/УНТ}$, полученного в ВЭГ-режиме, и составляет 58,6 emu/g . Для $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-K/УНТ}$, синтезированного без ВЭГ-обработки, значение M_s несколько ниже – 54,2 emu/g . Образцы $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-K/Ск}$ характеризуются более низкими значениями

намагниченности насыщения: 46,6 emu/g для материала, полученного без ВЭГ, и 48,3 emu/g – при использовании вихревого электромагнитного режима. Таким образом, применение ВЭГ-обработки приводит к увеличению намагниченности насыщения для обоих типов носителей, при этом наибольшие значения Ms наблюдаются для композитов на основе УНТ.

Каталитические испытания проводили в проточном реакторе с газохроматографическим анализом продуктов. Установлено, что железосодержащие магнитные композиты проявляют активность в гидрировании CO₂ с образованием CO и CH₄. Среди исследованных условий наиболее высокое содержание CH₄ было получено для Fe₃O₄/УНТ при H₂/CO₂ = 1:5 и 600 °С. Газовая смесь после реакции содержала 45,86% CO, 20,47% CO₂ и 22,99% CH₄.

Таким образом, синтезированы магнитные композиты на основе железа и углеродных носителей, модифицированные калиевым промотором. Полученные материалы характеризуются формированием шпинельных магнитных фаз, развитой дисперсной структурой, термической устойчивостью и способностью к магнитному разделению. Каталитические испытания подтвердили образование CO и CH₄ в процессе гидрирования CO₂, что показывает перспективность данных композитов для экологических и каталитических применений.

Список использованных источников

1. Wang S., Wu T., Lin J., Ji Y., Yan S., Pei Y., Xie S., Zong B., Qiao M. Iron–potassium on single-walled carbon nanotubes as efficient catalyst for CO₂ hydrogenation to heavy olefins // *ACS Catalysis*. 2020. Vol. 107, No. 11. P. 6389–6401. DOI: 10.1021/acscatal.0c00810.
2. Kangvansura P., Chew L., Saengsui W., Santawaja P., Poo-Arporn Y., Muhler M., Schulz H., Worayingyong A. Product distribution of CO₂ hydrogenation by K- and Mn-promoted Fe catalysts supported on N-functionalized carbon nanotubes // *Catalysis Today*. 2016. Vol. 275. P. 59–65. DOI: 10.1016/j.cattod.2016.02.045.
3. Zhu J., Mu M., Liu Y., Zhang M., Zhang G., Cheng Z., Yin B.H., Yip A.C.K., Song C., Guo X. Unveiling the promoting effect of potassium on the structural evolution of iron catalysts during CO₂ hydrogenation // *Chemical Engineering Science*. 2023. Vol. 282. Article 119228. DOI: 10.1016/j.ces.2023.119228.
4. Dossanova B.T., Sassykova L.R., Shakiyeva T.V., Ilmuratova M.S. et al. Catalysts based on nanoscale iron and cobalt immobilized on polymers for catalytic oxidation of aromatic hydrocarbons: synthesis, physico-chemical studies, and tests of catalytic activity // *Processes*. 2024. Vol. 12. P. 29. DOI: 10.3390/pr12010029.

МОДИФИКАЦИЯ БИТУМА И АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НАНОПОРОШКАМИ КОКСА

Тажкеев Ж.Д., Онгарбаев Е.К.

Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби
zhalgas20042@gmail.com

В условиях резко континентального климата эксплуатационные характеристики дорожного покрытия в Казахстане заметно снижаются в результате высоких перепадов температур, повышенной или пониженной влажности, и интенсивных транспортных нагрузок. В частности, при высоких температурах наблюдается размягчение битума и образование колеи, тогда как при низких температурах увеличивается хрупкость материала и вероятность растрескивания[1].

Перспективным решением данной проблемы является модификация битума, вяжущего материала асфальтобетонной смеси, нанопорошками на основе углерода. Наночастицы благодаря своему малому размеру и высокой удельной поверхности способны существенно изменять структуру и свойства битумного, вяжущего даже при низких концентрациях. В последние годы особое внимание уделяется каменноугольному и нефтяному нанококсу, вследствие дешевизны, простоты производства и химической устойчивости[2].

Нанопорошок каменноугольного и нефтяного кокса были получены методом химического газофазного осаждения (CVD—chemical vapor deposition). Температуру образцов повышали от комнатной до заданных значений со скоростью 10 °С/мин. В течение всего процесса в реакционную зону подавался поток инертного газа с расходом 1 л/мин. После достижения температур 1000 °С, 1100 °С и 1200 °С образцы выдерживали при каждой из них в течение 30 минут. Затем осуществлялось охлаждение до комнатной температуры с той же скоростью 10 °С/мин.

Автомобильные дороги Казахстана относятся к IV и V дорожно-климатическим зонам. Поэтому был избран БНД-100/130 (битум нефтяной дорожный) для модификации, как наиболее подходящий для обеих климатических зон. Данная марка битума обладает следующими свойствами: плотность при 20 °С, кг/м³ – 1025, температура размягчения – 44,5°С, глубина проникновения игла при 25°С, 0,1 мм – 106 соответственно.

Модификация проводилась навески битума, весом в 150 граммов. при постоянной температуре 160 и постоянных 750 оборотов в минуту, в течение 1 часа. В навеску битума добавляли 1% нанопорошка. Затем изучались физико-химические характеристики модифицированного битум такими методами, как глубина проникания иглы; температура размягчения по кольцу и шару. Были получены улучшенные данные битума, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Данные модификации битума нанопорошками кокса

Марка битума	КиШ, °С	Пенетрация при 25°С, мм
БНД 100/130	44,5	106
БНД 100/130 Асфальтобетон 1+1% к/у кокс	52	60
БНД 100/130 Асфальтобетон 1+1% нефт. кокс	49	70
БНД 100/130 Асфальтобетон 1+0,7% к/у кокс	48,5	72
БНД 100/130 Асфальтобетон 1+0,7% нефт. кокс	50	73
БНД 100/130 Асфальтобетон 1+0,5% к/у кокс	48	71,5
БНД 100/130 Асфальтобетон 1+0,5% нефт. кокс	47	74
БНД 100/130 Асфальтобетон 1+0,3% к/у кокс	47	87
БНД 100/130 Асфальтобетон 1+0,3% нефт. кокс	46	74
БНД 100/130 Асфальтобетон 1+0,1% к/у кокс	45	77
БНД 100/130 Асфальтобетон 1+0,1% нефт. кокс	47,5	76

Экспериментальные результаты показали, что введение нанокочка приводит к заметному изменению свойств исходного битума. В частности, температура размягчения увеличивается с 45 °С до 48–52 °С в зависимости от типа используемого кокса, что свидетельствует о повышении устойчивости материала к воздействию высоких температур. Одновременно наблюдаются изменения значений пенетрации, что указывает на изменение структуры и вязкости битума. Это объясняется тем, что наночастицы обладают высокой удельной поверхностью и на микроскопическом уровне происходит взаимодействие с асфальтенами. Это приводит к образованию более упорядоченной системы. Это проявляется в уменьшении значения пенетрации, что свидетельствует о повышении жёсткости и вязкости материала. Кроме того, наличие наночастиц способствует более равномерному распределению напряжений в объёме битума и уменьшает вероятность локальных деформаций, что также влияет на его механические характеристики.

Реологические свойства битума исследовали методом динамического сдвигового реометра (DSR) в режиме температурного сканирования с определением комплексного модуля сдвига $|G^*|$ и фазового угла δ , характеризующих жёсткость и вязкоупругие свойства материала. Результаты показали, что модификация нанокочком приводит к увеличению $|G^*|$ и снижению δ , что свидетельствует о повышении жёсткости, упругости и устойчивости битума к деформациям при эксплуатации. Причиной таких изменений является формирование более плотной и структурированной внутренней системы. Наночастицы кокса, обладая высокой удельной поверхностью, взаимодействуют с асфальтенами и смолами, создавая дополнительные межмолекулярные связи и ограничивая их подвижность. Это приводит к усилению каркасной структуры битума, равномерному распределению напряжений и снижению вероятности локальных разрушений.

Таким образом, модификация нанокочком улучшает реологические свойства битума за счёт повышения его жёсткости, вязкости и упругости, что обеспечивает большую устойчивость к колееобразованию, уменьшение пластических деформаций и увеличение срока службы асфальтобетонных покрытий. Модификация битума наночастицами кокса может стать эффективным и экономически оправданным направлением повышения качества дорожных материалов, особенно в условиях резко континентального климата, обеспечивая более надёжную и долговечную эксплуатацию автомобильных дорог.

Список использованных источников

1. Asmatulayev V.A. Petroleum and bitumen containing and industrial anthropogenic materials for construction of long-lasting roads // *Neft i gaz*. 2020. Т. 5, № 119. С. 121–133.
2. Кенжегалиева А.Р., Жамболова А.Б., Онгарбаев Е.К. Модификация битумов и асфальтобетонов углеродными наноматериалами: краткий обзор // *Горение и плазмохимия*. Institute of Combustion Problems, 2024. Т. 22, № 2. С. 109–122.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / ПОСТЕРЫ

СЕКЦИЯ 1.

ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

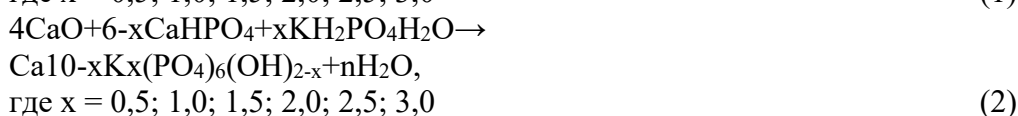
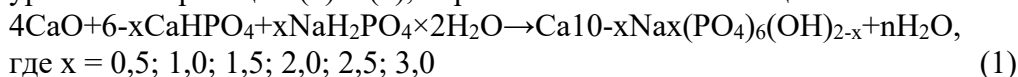
МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГИДРОКСИАПАТИТА С ЗАМЕЩЕНИЕМ НА ОДНОВАЛЕНТНЫЕ КАТИОНЫ

Булина Н.В., Еремина Н.В., Винокурова О.Б., Макарова С.В., Просанов И.Ю.

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск
eremina@solid.nsc.ru

Гидроксиапатит (ГА), разновидность фосфата кальция, является основной минеральной компонентой костной и зубной тканей человека и животных. Примесные ионы, содержащиеся в биогенном ГА, существенно изменяют его свойства. Так, ионы Na^+ усиливают способность материала к биоминерализации, увеличивают пролиферацию костных клеток и остеокондукцию [1]. Наличие ионов K^+ повышает термическую стабильность ГА и положительно сказывается на адсорбции белков [2]. В современной литературе отсутствует единое мнение о химическом составе Na- и K-замещенного ГА (Na-ГА и K-ГА, соответственно), что может быть связано с особенностями способов его синтеза и склонности к различного рода замещениям. Целью данной работы был синтез Na-ГА и K-ГА механохимическим способом в высокоэнергетичной планетарной шаровой мельнице АГО-2, позволяющей получать замещенные формы ГА путем механической обработки исходной смеси реагентов.

Проведен синтез образцов Na-ГА и K-ГА с разной степенью замещения катионов кальция на катионы натрия и калия. Исходные реагенты в соотношении, соответствующем уравнениям реакций (1) и (2), обрабатывались в мельнице в течение 40 мин.



На дифрактограммах образцов обеих серий при малых значениях x наблюдаются рефлексы только фазы ГА (рис. 1). При $x = 2,5$ зафиксированы дополнительные рефлексы от примесных фаз CaHPO_4 , CaNaPO_4 и $\text{CaK}_3\text{H}(\text{PO}_4)_2$, следовательно $x = 2$ является пределом замещения для механохимического способа синтеза Na-ГА и K-ГА, что превышает значение, указанное в литературе [2].

Параметры элементарной ячейки фазы ГА в обеих сериях образцов увеличиваются с увеличением концентрации заместителя (рис. 2). Наблюдаемая динамика согласуется с изменением ионных радиусов рассматриваемых замещений: в кристаллической решетке ГА катионы

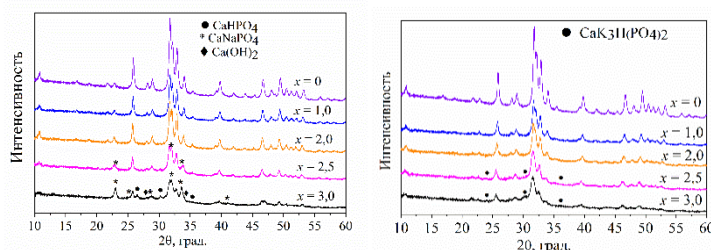


Рис. 1. Дифрактограммы синтезированных образцов серий $x\text{Na}$ (а) и $x\text{K}$ (б)

Ca^{2+} с радиусом $1,06 \text{ \AA}$ ($\text{KЧ}=7$) и $1,18 \text{ \AA}$ ($\text{KЧ}=9$) замещаются на катионы Na^+ с радиусом $1,12 \text{ \AA}$ ($\text{KЧ}=7$) и $1,24 \text{ \AA}$ ($\text{KЧ}=9$) или K^+ с радиусом $1,46 \text{ \AA}$ ($\text{KЧ}=7$) и $1,55 \text{ \AA}$ ($\text{KЧ}=9$). Катионы калия значительно больше катионов натрия, что отражается на большем увеличении объема ячейки ГА (рис. 2, в). Исходя из того, что в образцах серии $x\text{Na}$ объем возрастает до $x = 2,0$, а в серии $x\text{K}$ до $x = 1,5$, можно полагать, что данные значения являются пределом замещения для механохимического способа синтеза.

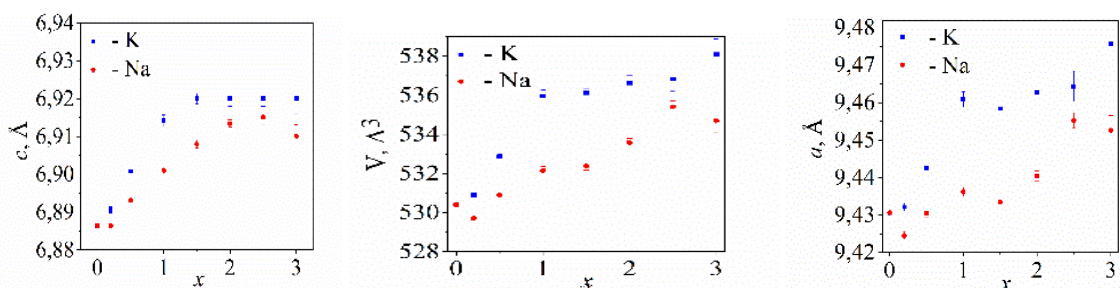


Рис. 2. Изменение параметров a (а) и c (б), объема (v) элементарной ячейки фазы ГА в синтезированных образцах серий $x\text{Na}$ и $x\text{K}$.

В ИК-спектрах синтезированных образцов с увеличением концентрации натрия и калия полосы поглощения колебаний фосфатной группы ГА уширяются (рис. 3). Минимумы данных полос сохраняют свое положение. Интенсивность полос поглощения гидроксильной группы уменьшается с увеличением x в соответствии с предложенными уравнениями реакции (1) и (2). Присутствие слабо выраженных полос поглощения карбонатной группы ($1416, 1456, 874 \text{ см}^{-1}$) в ИК-спектре незамещенного ГА свидетельствует о наличии незначительного количества данного иона в структуре ГА, что является следствием осуществления реакции синтеза в воздушной среде. В замещенных образцах данные полосы присутствуют до $x = 1,5$. При больших значениях полосы карбонат-иона на 1416 и 1456 см^{-1} не фиксируются, а полоса на 874 см^{-1} становится существенно шире, что указывает на наличие аниона HPO_4^{2-} [3]. Очевидно, гидрофосфат-ион компенсирует избыток отрицательного заряда, наблюдаемый при замещении Ca^{2+} на катион Na^+ или K^+ , что позволяет сохранить однофазность материала при $x = 2,0$. При больших значениях x структура апатита сохраняется аналогичной, но имеются примесные фазы (рис. 2). Исходя из данных наблюдений можно предположить, что при механохимическом способе синтеза Na-ГА и K-ГА до $x = 1,5$ включительно формируется апатит состава $\text{Ca}_{10-x}\text{M}_x(\text{PO}_4)_6-y(\text{CO}_3)_y(\text{OH})_{2-x}$, а при $x = 2$ состав меняется на $\text{Ca}_8\text{M}_2(\text{HPO}_4)_{0,5}(\text{PO}_4)_5\text{O}$ и сохраняется при дальнейшем увеличении x .

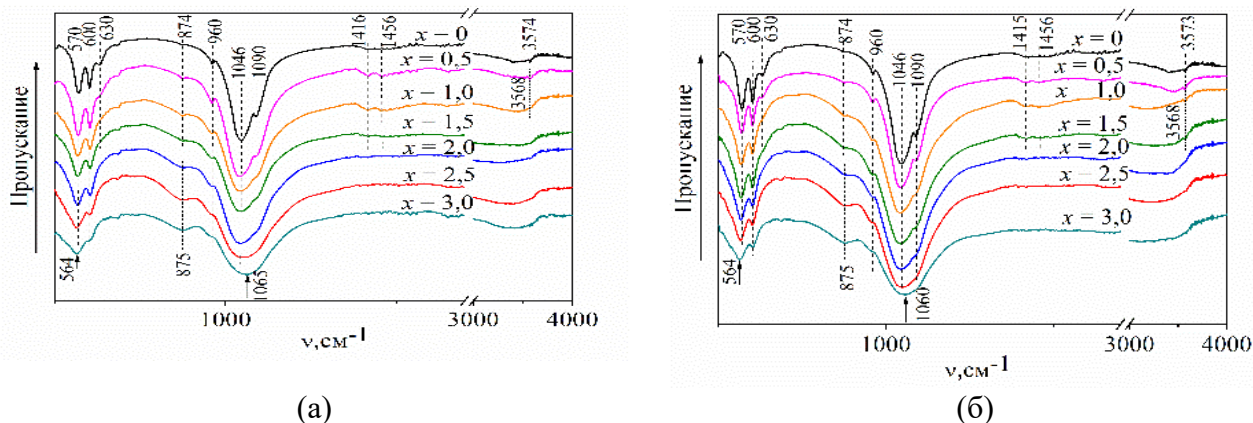


Рис. 3. ИК-спектры образцов серии $x\text{Na}$ (а) и $x\text{K}$ (б).

В результате проведенных исследований установлено, что механохимический способ синтеза может использоваться для быстрого синтеза ГА с замещением катионов кальция на катионы натрия или калия.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект № 126021217266-8).

Список использованных источников

1. Sang Cho J., Um S.H., Su Yoo D., Chung Y.C., Hye Chung S., Lee J.C., Rhee S.H. Enhanced osteoconductivity of sodium-substituted hydroxyapatite by system instability // *Journal of Biomedical Materials Research. Part B*. 2014. V. 102. P. 1046–1062. DOI: 10.1002/jbm.b.33087.
2. Kannan S., Ventura J.M.G., Ferreira J.M.F. Synthesis and thermal stability of potassium-substituted hydroxyapatites and hydroxyapatite/tricalciumphosphate mixtures // *Ceramics International*. 2007. V. 33. P. 1489–1494. DOI: 10.1016/j.ceramint.2006.05.016.
3. Makarova S.V., Borodulina I.A., Eremina N.V., Prosanov I.Y., Bulina N.V. Effect of the nature of initial reagent on the mechanochemical synthesis of silver-substituted hydroxyapatite // *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2025. V. 70, No. 2. P. 130–138. DOI: 10.1134/S0036023624602721.

COMPOSITES OF POLYLACTIC ACID WITH ARABINOGALACTAN: SYNTHESIS AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES

Shakhtshneider T.P.¹, Mikhailenko M.A.¹, Myz S.A.¹, Antonov I.M.¹,
Kuznetsova S.A.², Lomovskiy I.O.¹

¹Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, 630090, Russia

²Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS Federal Research Center
“Krasnoyarsk Scientific Center of the SB RAS”, Krasnoyarsk, 660036, Russia

Poly(lactic acid) (PLA) is a biodegradable polymer that can be produced from renewable resources. Its biocompatibility and bioresorbability had made it a suitable choice for applications in tissue engineering, drug delivery, implants, blood vessels, etc. Preparation of PLA composites is one of the effective methods to improve the properties of PLA. Arabinogalactan (AG) is a biodegradable, water-soluble natural polysaccharide from the hemicellulose group, isolated from larch wood. Arabinogalactan has low toxicity and possesses a complex of unique properties, including immunomodulatory, prebiotic, hepatoprotective, anti-cancer activity. The molecular structures of arabinogalactan and poly(lactic acid) are presented in Fig. 1. The preparation of joint derivatives of poly(lactic acid) and arabinogalactan is of interest for the production of new materials with useful functional properties.

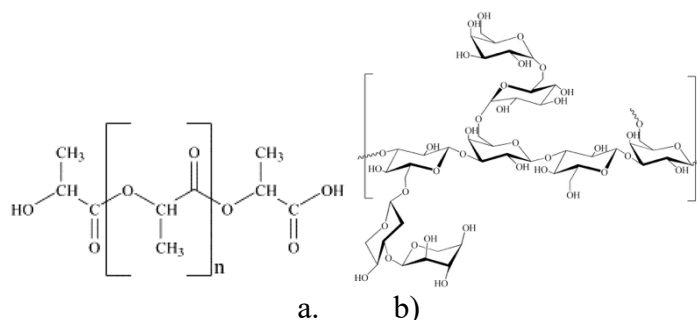


Fig. 1. Molecular structures of poly(lactic acid) (a) and arabinogalactan (b)

In this work, the synthesis of adducts of poly(lactic acid) (D-isomer, PDLA) with arabinogalactan was performed using mechanical activation method and electron beam irradiation. The PDLA–AG mixtures with the ratio of 1:1.5 (w/w) were ball milled in a SPEX-8000 mixer mill (CertiPrep Inc., USA). After ball milling, the mixtures were heated up to $195 \pm 5^\circ\text{C}$ in a heating cabinet. Then, the samples were subjected to electron beam processing using a pulsed electron accelerator ILU-6 (INP SB RAS, Russia). Under soft regime, the dose of ionizing radiation was taken in several portions changing the number of passes under the outlet port of the accelerator. Under the hard regime, the dose of 50 kGy (J/g) was dialed immediately.

Upon dissolution of ball-milled mixtures (Fig. 2), only about 70-80% of AG theoretical content passed into solution presenting the water-soluble portion of the product. At the same time, after electron beam irradiation of the ball-milled mixtures of PDLA with AG, 40% of AG dissolves regardless of the processing mode. It can be assumed that both during ball milling and, to a greater extent, under irradiation, PDLA binds to AG, thus converting AG into an insoluble state.

Fig. 3 shows molecular weight distribution (MWD) of AG initial and after ball milling alone and in the mixture with PDLA after processing. After ball milling of 1:1.5 (w/w) PDLA–AG mixture, high-molecular components were not observed in the water-soluble part of the product. All curves for the mixtures after heating and electron beam irradiation contain a peak belonging to a high-molecular component.

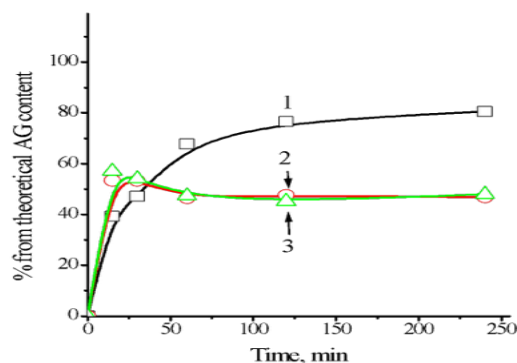


Fig. 2. Dissolution curves of 1:1.5 (w/w) PDLA-AG mixtures ball-milled for 15 min (1) and subjected to electron beam irradiation using hard (2) and soft (3) regimes

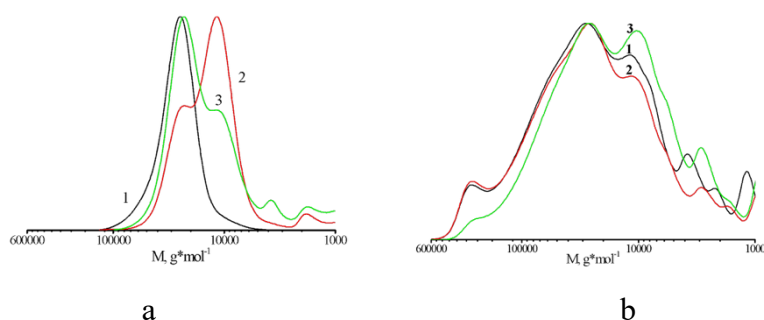


Fig. 3. (a) MWD of AG: initial (1), after ball milling for 15 min (2), and ball-milled with PDLA in 1:1.5 (w/w) ratio (3); (b) MWD of the water-soluble part of 1:1.5 (w/w) PDLA-AG mixtures after ball milling and heating up to 195 °C (1), followed by electron beam irradiation in the soft (2) and hard (3) regimes

Thermal analysis studies showed that after electron beam irradiation the mixture is resistant to crystallization upon heating (Fig. 4).

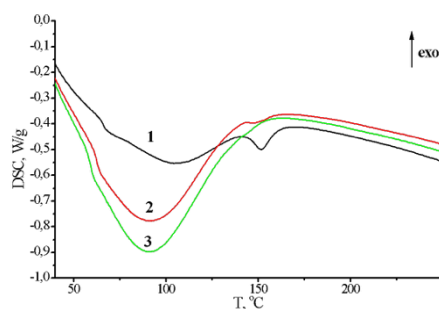


Fig. 4. DSC curves of 1:1.5 (w/w) PDLA-AG mixtures after ball milling (1), after ball milling followed by electron beam irradiation in the hard (2) and soft (3) regimes recorded upon heating

Thus, it was shown that ball milling and heating with subsequent electron beam irradiation of the mixtures of PDLA with arabinogalactan led to formation of a new PDLA-AG composite material which is characterized by the presence of high molecular weight components and does not undergo crystallization upon heating. This composite material may be promising, for example, for use as a master-batch for extrusion produced products with increased resistance to crystallization.

This research was funded by budget projects No. 126021217275-0 and No. 126021217271-2 for the ISSCM SB RAS and No. FWES-2026-0010 for the ICCT SB RAS.

НОВЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ 3-О-ФОРМИАТА АЛЛОБЕТУЛИНА ИЗ БЕРЕСТЫ БЕРЁЗЫ И ИЗУЧЕНИЕ ЕГО ПРОКОАГУЛЯНТНОЙ АКТИВНОСТИ В СРАВНЕНИИ С БЕТУЛИНОМ

Кузнецова С.А.¹, Скурыдина Е.С.¹, Дрозд Н.Н.², Шахтшнейдер Т.П.³, Кузнецов Б.Н.¹

¹Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук ФИЦ КНЦ СО РАН (ИХХТ СО РАН), Красноярск, Россия;

²Федеральное государственное бюджетное учреждение “Национальный медицинский исследовательский центр гематологии” Министерства здравоохранения РФ, Москва, Россия

³Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

Бетулин обладает гастро- и гепатопротекторными, противовоспалительными, антибактериальными, противоопухолевыми и другими фармакологическими свойствами. Наряду с бетулином, проявляющим широкий спектр биологической активности, все большее распространение получают его полусинтетические производные. Основные модификации бетулина, которые синтезированы в настоящее время и тестируются на биологическую активность, являются производными, полученными путем превращения –ОН-групп при 3 и 28 атомах углерода.

В данной работе предложен новый одностадийный способ синтеза 3-О-формиата аллобетулина из бересты берёзы *Betula Pendula* Roth., основанный на совмещении экстракции бетулина из бересты, его изомеризации в аллобетулин в присутствии катализатора ортофосфорной кислоты и этерификации аллобетулина муравьиной кислотой (рис. 1).

Установлено влияние продолжительности процесса обработки бересты муравьиной кислотой и содержания H_3PO_4 на выход 3-О-формиата аллобетулина (рис. 2).

Состав полученных образцов перекристаллизованного 3-О-формиата аллобетулина определен методом элементного анализа, а его строение подтверждено методами ИК- и ЯМР-спектроскопии.

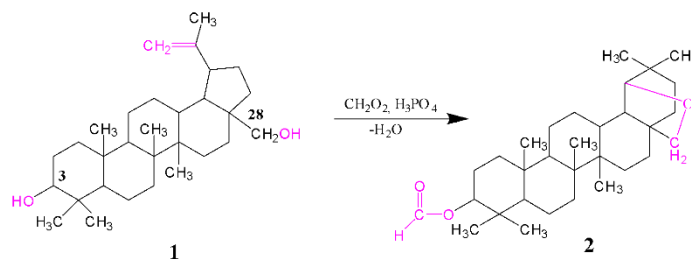


Рис. 1. Схема получения 3-О-формиата аллобетулина из бересты берёзы

Наибольший выход неочищенного 3-О-формиата аллобетулина (37 % от массы а.с.б.) достигается при продолжительности процесса 12 часов в присутствии 10 % H_3PO_4 , а также при продолжительности 16 часов в присутствии 8 % H_3PO_4 . Выход перекристаллизованного из этанола 3-О-формиата аллобетулина составляет около 30 % от массы а.с.б.

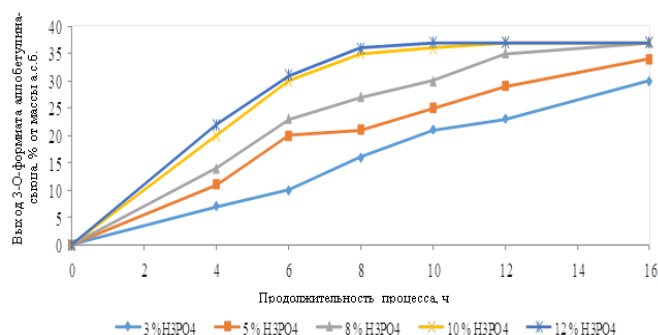


Рис. 2. Влияние продолжительности обработки бересты кипящей муравьиной кислотой и содержания катализатора H_3PO_4 на выход 3-О-формиата аллобетулина-сырца

После перекристаллизации 3-О-формиата аллобетулина-сырца из этанола получены белые кристаллы с температурой плавления $310\text{ }^\circ\text{C}$. Максимальный выход перекристаллизованного 3-О-формиата аллобетулина составлял 30% от массы абс. сух. бересты.

В ФГБУ НМИЦ гематологии Минздрава России выполнена оценка *in vitro* гемосовместимости образцов 3-О-формиата аллобетулина и бетулина.

Проведено изучение влияния образцов бетулина и формиата аллобетулина на время свертывания цельной крови человека в тесте времени рекальцификации крови и влияние образцов на гемолиз эритроцитов. Бетулин, используемый для проведения исследований, получали по разработанной нами методике [1].

Показано, что инкубация взвеси эритроцитов с бетулином или с 3-О-формиатом аллобетулина в концентрациях 0.01; 0.1 и 1 мг/мл не приводила к значимому изменению оптической плотности по сравнению с контролем. Степень гемолиза при инкубации взвеси эритроцитов с бетулином и 3-О-формиата аллобетулина в указанных концентрациях не превышала 0.26 (0.07; 0.62) % и 0.47 (0; 1.36) % соответственно.

Низкая степень гемолиза соединений предполагает, что мембранам эритроцитов наносятся незначительные повреждения, что улучшает совместимость с компонентами крови. Бетулин и 3-О-формиат аллобетулина могут считаться безопасными для применения в качестве будущих компонентов биоматериалов.

В экспериментах *in vitro*, проведенных с использованием донорской крови человека, показано, что 3-О-формиат аллобетулина и бетулин проявляют выраженные прокоагулянтные свойства и не оказывают значимого влияния на мембрану эритроцитов. 3-О-формиат аллобетулина и бетулин могут быть использованы для создания биоматериалов с прокоагулянтными свойствами.

Химические исследования выполнены в рамках государственного задания ИХХТ СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН (проект FWES-2026-0010) и ИХТТМ СО РАН (проект 126021217275-0). В работе использовано оборудование Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН. Биологические исследования выполнены в рамках договора № 1/С-2022 от 19.12.2022 о сотрудничестве в сфере научно-исследовательской деятельности между ФГБУ НМИЦ гематологии Минздрава России (Москва) и ИХХТ СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН (Красноярск).

Список использованных источников

1. Kuznetsova S.A., Skvortsova G.P., Maliar I.N., Skurydina E.S., Veselova O.F. Extraction of betulin from birch bark and study of its physico-chemical and pharmacological properties // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2014. Т. 40. С. 742–747.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ $\text{Li}_{7-3x}\text{Al}_x\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ – ДОБАВКИ ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Макаров В.М.¹, Стебницкий И.А.^{1,2}, Матейшина Ю.Г.^{1,2}

¹Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

v.makarov3@g.nsu.ru

За последние 30 лет самыми распространёнными химическими источниками тока стали литий-ионные аккумуляторы. Существенную роль в их распространении сыграли следующие преимущества: высокие значения удельной ёмкости, хорошая циклируемость, низкий саморазряд и т.д. Традиционные электролиты в литий-ионных аккумуляторах – это растворы солей лития в различных растворителях. Однако такие электролиты имеют ряд недостатков: узкий интервал рабочих температур, вероятность самовоспламенения и деградации из-за роста дендритов лития. Одним из способов решения данных проблем является переход к полностью твердотельным электрохимическим устройствам. Электролитом в них могут служить разные материалы: неорганические соли лития, суперионная керамика и т.д. При этом каждый тип материалов имеет свои особенности, затрудняющие его массовое использование. Так, неорганические соли характеризуются относительно низкой проводимостью в рабочем интервале температур, а суперионная керамика, хоть и обладает высокой ионной проводимостью, её низкая пластичность и высокая хрупкость делают получение тонкослойных структур затруднительными. Решением этих проблем может служить переход к композиционным электролитным материалам типа «ионная соль – гетерогенная инертная добавка», где в качестве добавки традиционно используются высокодисперсные оксиды металлов (MgO , Al_2O_3 и др.) и наноалмазы [1]. Одним из ключевых свойств гетерогенных добавок является высокие значения удельной поверхности. Известны примеры использования проводящих гетерогенных добавок [2], однако их использование слабо отражено в литературе.

Хорошо зарекомендовавшим себя примером суперионной керамики может служить соединение $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ с гранатоподобной структурой. Проводимость его кубической фазы составляет порядка 10^{-4} См/см при 25 °С. Однако при его синтезе возникает ряд трудностей, связанных с появлением тетрагональной фазы с низкой проводимостью ($1,6 \cdot 10^{-6}$ См/см при 27 °С) [3]. Условия получения кубической высокопроводящей модификации окончательно не установлены. В литературе описано, что стабилизации кубической фазы способствует повышение температуры синтеза и/или допирование смешанного оксида по различным подрешёткам. Например, введение 0,25 моль Al^{3+} в подрешётку лития ($\text{Li}_{6,25}\text{Al}_{0,25}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$) при режиме термообработки 900 °С в течение 12 ч и 1100 °С в течение 12 ч приводит к стабилизации кубической фазы с проводимостью $4,5 \cdot 10^{-4}$ См/см при комнатной температуре [4]. Однако высокая температура синтеза и длительная выдержка приводит к уменьшению дисперсности продукта, что затрудняет его использование в качестве добавки для композиционных электролитов. Потенциально использование методов Печини и самовоспламеняющегося высокотемпературного синтеза позволяет проводить синтез при более низких температурах с меньшим временем и интенсивностью термообработки.

Целью настоящей работы была разработка метода получения высокодисперсной суперионной керамики состава $\text{Li}_{7-3x}\text{Al}_x\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ ($x = 0.20 - 0.28$) и исследование физико-химических свойств композиционных твёрдых электролитов на основе солей лития и $\text{Li}_{7-3x}\text{Al}_x\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$.

Список использованных источников

1. Уваров Н.Ф. Композиционные твердые электролиты. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 258 с.
2. Ahmad H. et al. Optimization of ionic conductivity of $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ garnet-based solid electrolyte for lithium batteries by LiClO_4 filler incorporation // Materials Chemistry and Physics. – 2025. – Т. 337. – С. 130596.

3. Awaka J. Synthesis and Structure Analysis of Tetragonal $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ with the Garnet-Related Type Structure / J. Awaka, N. Kijima, H. Hayakawa, J. Akimoto // *Journal of Solid State Chemistry*. – 2009. – V. 182. – I. 8. – P. 2046–2052.
4. Matsuda Y. Sintering Behavior and Electrochemical Properties of Garnet-like Lithium Conductor $\text{Li}_{6.25}\text{M}_{0.25}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ (M: Al^{3+} and Ga^{3+}) / Y. Matsuda, A. Sakaida, K. Sugimoto, D. Mori, Y. Takeda, O. Yamamoto, N. Imanishi // *Solid State Ionics*. – 2017. – V. 311. – P. 69–74.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ИОННЫХ СОЛЕЙ

Стебницкий И.А., Матейшина Ю.Г.

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН;

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
YuliaM@solid.nsc.ru

Органические ионные пластические кристаллы (ОИПК) являются перспективным новым классом твёрдых электролитов. К их ключевым особенностям можно отнести сочетание пластичности, высокой термической и электрохимической стабильности. Отдельные представители ОИПК демонстрируют рекордные значения ионной проводимости в твердой фазе – до 10^{-3} См/см [1-2]. Однако на практике столь высокие показатели часто достигаются лишь при повышенных температурах, что ограничивает применение пластических кристаллов в устройствах.

Одним из хорошо зарекомендовавших себя методов улучшения транспортных свойств ионных соединений является гетерогенное допирование наноразмерными инертными частицами, такими как оксиды металлов (MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 и др.) или ультрадисперсными наноалмазами ($C_{-НА}$). В приповерхностном слое соли в результате разупорядочения образуется дополнительное количество дефектов, что приводит к росту проводимости. Например, проводимость композитов на основе тетрафторбората тетрабутиламмония $Bu_4NBF_4 - A$ ($A = MgO, Al_2O_3, SiO_2, CHA$) по сравнению с чистой солью возрастает на 1,5 – 3 порядка [3]. Лучший результат был достигнут при использовании наноалмазов ($1,2 \times 10^{-3}$ См/см при $150^\circ C$).

Несмотря на очевидные преимущества гетерогенного допирования, применительно к ОИПК оно почти не изучалось. В данной работе впервые систематически анализируется влияние наноалмазов на термические, структурные и транспортные свойства широкого ряда пластических кристаллов, включая тетрафторбораты тетраалкиламмония (R_4NBF_4 , $R = CH_3, C_2H_5, n-C_3H_7, n-C_4H_9$) и N-метил-N-алкилморфолия.

Экспериментально установлено, что введение наноалмазов приводит к двум эффектам: при низких концентрациях $C_{НА}$ - стабилизации высокотемпературных фаз солей; а при высоких концентрациях $C_{НА}$ - к их аморфизации. Во всех исследуемых композитах проводимость оказалась на 1 - 3 порядка выше, чем у исходных ОИПК.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 25-23-00263.

Список использованных источников

1. Zhu H. et al. Organic ionic plastic crystals as solid-state electrolytes // *Trends in Chemistry*. 2019. Т. 1, № 1. С. 126–140.
2. Pringle J.M. et al. Recent progress in the development and use of organic ionic plastic crystal electrolytes // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2013. V. 15. С. 1339–1351.
3. Mateyshina Yu. et al. Composite solid electrolytes $(n-C_4H_9)_4NBF_4$ -nanodiamonds // *Solid State Ionics*. 2024. Vol. 404. Art. 116419.

ТВЁРДЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Фёдоров Н.А., Подгорнова О.А., Уваров Н.Ф.

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

fedorovna@solid.nsc.ru

Суперконденсаторы (электрохимические конденсаторы) рассматриваются как перспективные устройства накопления энергии благодаря высокой удельной мощности, быстрым процессам заряда/разряда, безопасности и длительному сроку службы [1]. В зависимости от механизма накопления энергии они подразделяются на конденсаторы с двойным электрическим слоем, фарадеевские псевдоконденсаторы и гибридные системы [2]. В EDLC энергия аккумулируется за счёт электростатической адсорбции ионов на поверхности электродов; в качестве электродных материалов, как правило, используют углеродные материалы (графен, активированный уголь и др.),

На рабочие характеристики суперконденсаторов существенное влияние оказывает не только материал электродов, но и электролит. В большинстве устройств используются жидкие электролиты с высокой ионной проводимостью, однако риск утечки и связанные с этим ограничения по безопасности и надёжности сужают область их применения. Переход к твёрдым полимерным электролитам (ТПЭ) позволяет во многом решить данную проблему. Твердотельные суперконденсаторы с ТПЭ отличаются простотой изготовления, отсутствием утечки электролита, длительным сроком хранения и повышенной безопасностью. ТПЭ,

Полимерные твердые электролиты получали из полиуретанового эластомера ПФЛ 100, полимеризованного с помощью аминного отвердителя МОСА, Набуханием растворами соли лития LiBF₄ в N-метилпирролидоне. Набухание проводили в герметичном сосуде в течение 48 ч [3].

Для электрохимических испытаний электроды на основе АС готовили смешением 80 мас.% активного материала, 10 мас.% углерода Super P и 10 мас.% PVDF, растворённого в NMP. Полученную суспензию наносили методом ракевного покрытия на алюминиевую фольгу и сушили при 90 °С. Масса активного материала АС составляла 3-4 мг см⁻², диаметр электродов – 16 мм. Суперконденсаторные ячейки собирали с использованием симметричных электродов в конфигурации АС//ПУ-ПФЛ100//АС (Рис. 1).

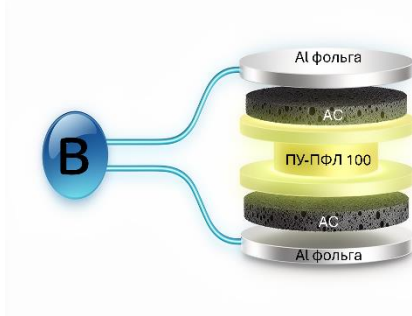


Рисунок 1 – Схема симметричной суперконденсаторной ячейки АС//ПУ-ПФЛ100// АС.

Все электрохимические измерения проводили с использованием потенциостата-гальваностата PS-50 (SmartStat, Черноголовка, Россия). Электрохимические свойства суперконденсаторных ячеек с PU-PFL100 в качестве электролита изучали методами циклической вольтамперометрии (ЦВА) и гальваностатического заряд-разрядного тестирования (ГЗТ) при комнатной температуре. Измерения методом ЦВА выполняли в диапазоне напряжений от -2 до 2 В для АС и от -4,5 до 4,5 В для АС при скоростях сканирования 10-50 мВ с⁻¹. Гальваностатические заряд-разрядные испытания проводили при токах 50, 100 и 150 мА г⁻¹. Для оценки влияния природы электродных материалов на электрохимические свойства твердотельных суперконденсаторов были собраны симметричные ячейки с электродами из АС и ТПЭ PU-PFL100, выполняющим одновременно

функции электролита и сепаратора (Рис. 1). На рисунке 2а представлены циклические вольтамперные кривые ячейки АС//PU PFL100//АС, полученные в двухэлектродной конфигурации при скоростях сканирования 10, 20 и 50 мВ с⁻¹. Вольтамперные зависимости имеют близкую к прямоугольной, симметричную форму в диапазоне потенциалов от -2 до 2 В. Форма ЦВА кривых соответствует механизму накопления заряда, характерному для суперконденсаторов с двойным электрическим слоем.

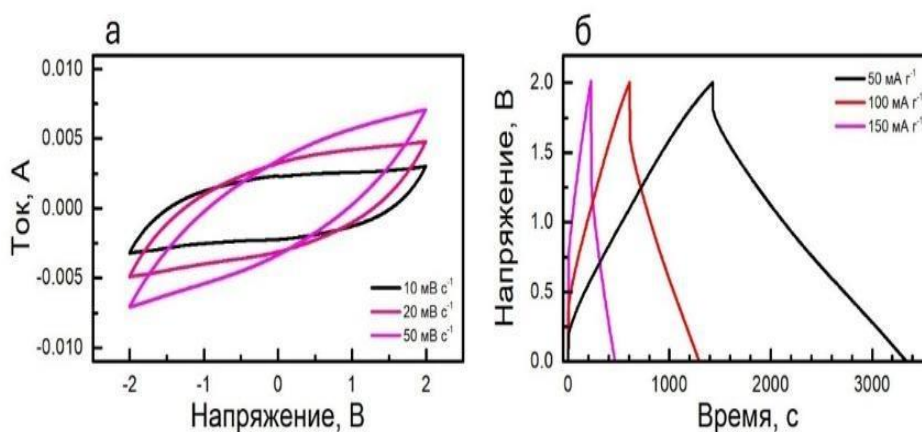


Рисунок 2 – Электрохимические характеристики АС//PU-PFL100//АС в двухэлектродной конфигурации: (а) кривые циклической вольтамперометрии при различных скоростях сканирования, (б) профили гальваностатического заряда/разряда при различных токах

Удельная ёмкость ячейки АС//PU-PFL100//АС составляет примерно 36,8, 21,0 и 9,8 Ф г⁻¹ при скоростях сканирования 10, 20 и 50 мВ с⁻¹ соответственно. Профили ГЗТ, полученные в двухэлектродной конфигурации при токах 50, 100 и 150 мА г⁻¹ (Рис. 2б), демонстрируют линейное поведение, что также указывает на механизм накопления заряда через двойной электрический слой.

Список использованных источников

1. Yaseen M., Khattak M.A.K., Humayun M., Usman M., Shah S.S., Bibi S., Hasnain B.S.U., Ahmad S.M., Khan A., Shah N., Tahir A.A., Ullah H. A review of supercapacitors: materials design, modification, and applications // *Energies*. 2021. Vol. 14. Art. 7779. DOI: 10.3390/en14227779.
2. Jalal N.I., Ibrahim R.I., Oudah M.K. A review on supercapacitors: types and components // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1973. Art. 012015. DOI: 10.1088/1742-6596/1973/1/012015.
3. Fedorov N., Ulihin A., Uvarov N. Synthesis and properties of polymer electrolytes based on polyurethane elastomer and lithium salts // *Chimica Techno Acta*. 2023. Vol. 10. Art. 202310311. DOI: 10.15826/chimtech.2023.10.3.11.

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ К-ВІ-ЗАМЕЩЕННОГО ГИДРОКСИАПАТИТА

Шимкив К.А.^{1,2}, Еремина Н.В.², Булина Н.В.²

¹Новосибирский государственный университет

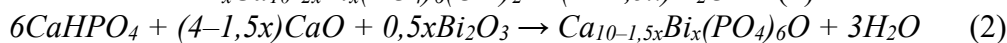
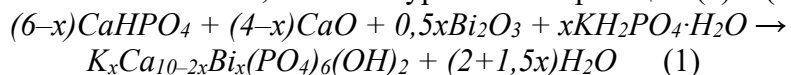
²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск

k.shimkiv@g.nsu.ru

Биогенный апатит, представленный в первую очередь гидроксиапатитом, является ключевым компонентом костных структур, что делает материалы на его основе перспективными в медицине. Возможность их применения возникает благодаря модификациям стандартной структуры, способным улучшать биологическую совместимость и физико-химические свойства материала [1]. Относительно эластичная структура гидроксиапатита ($P6_3/m$; $a = 9,434 \text{ \AA}$; $c = 6,879 \text{ \AA}$) склонна к широкому спектру гетеровалентных замещений в двух неэквивалентных позициях как катионной, так и анионной подрешеток.

Данная работа посвящена исследованию возможности синтеза методом механохимической активации К-Ві-замещенного гидроксиапатита (К-Ві-НА) и Ві-оксиапатита (Ві-ОА). Согласно литературе, K^+ приводит к повышению термоустойчивости материала, а Vi^{3+} – к возникновению в нем антибактериальной активности [2]. Равная степень замещения обоих вводимых катионов в серии К-Ві-НА призвана предотвратить наличие избыточного или недостаточного заряда в структуре гидроксиапатита.

Механохимический синтез незамещенного гидроксиапатита, К-Ві-НА со степенями $x = 1, 2$ и Ві-ОА с $x = 1, 2, 3, 4$ осуществлялся в планетарной шаровой мельнице АГО-2 в течение 40 мин. В качестве реагентов применялись $CaHPO_4$, отожженный при $900^\circ C$ CaO , Vi_2O_3 и $KH_2PO_4 \cdot H_2O$, взятые в соотношениях, согласно уравнениям реакций (1) – (2):



Образцы были исследованы методами рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии. Полученные дифрактограммы (рис. 1) монофазны и соответствуют кальциевому гидроксиапатиту (PDF 74-565).

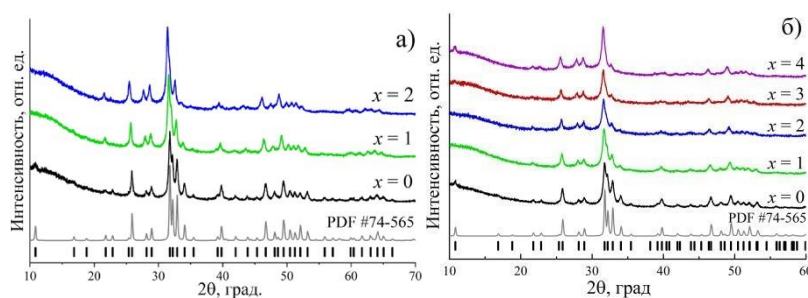


Рис. 1. Дифрактограммы образцов серий (а) К-Ві-НА и (б) Ві-ОА

Происходит рост параметров и объема элементарной ячейки при увеличении степени замещения (рис. 2а-в) в обеих сериях, а также в серии К-Ві-НА по сравнению с Ві-ОА, что связано с динамикой значений ионных радиусов катионов: $Ca^{2+} < Vi^{3+} \ll K^+$ с учетом характерных для структуры гидроксиапатита координационных чисел [3]. Это согласуется со смещением рефлексов дифрактограмм в область меньших углов с увеличением x (рис. 1). Область когерентного рассеяния (ОКР) замещенных образцов (рис. 2г) уменьшается относительно стандартного гидроксиапатита, т. к. введение в структуру крупных ионов приводит к ее разупорядочению, при этом увеличение x не имеет значительного влияния на величину ОКР. Меньшее значение ОКР серии Ві-ОА в сравнении с К-Ві-НА связано с образованием в первой структуре вакансий катиона кальция, необходимых для компенсации избыточного заряда Vi^{3+} [1].

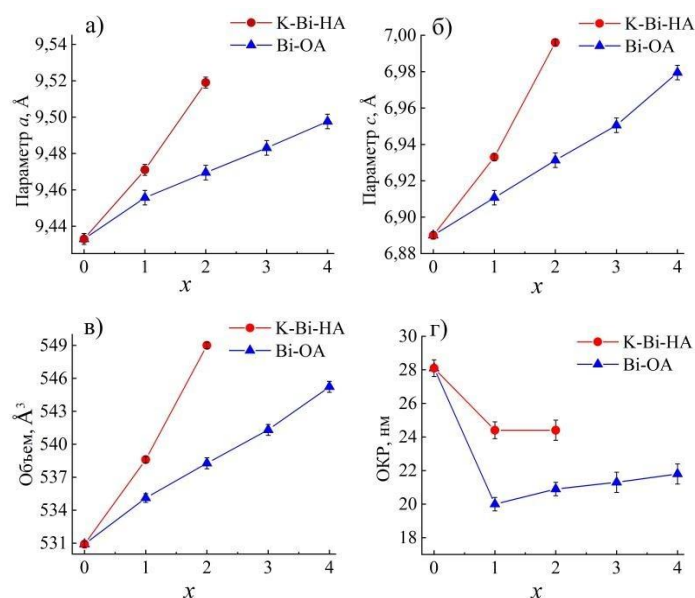


Рис. 2. Зависимость (а) – (б) параметров и (в) объема элементарной ячейки и (г) ОКР от степени замещения x

ИК-спектры образцов (рис. 3) содержат характерные для гидроксиапатита полосы поглощения фосфатных групп при ~ 570 , 602 , 960 , ~ 1047 и ~ 1089 cm^{-1} , а также ОН-группы: ~ 630 и 3572 cm^{-1} и низкоинтенсивные отклики карбонатной группы: ~ 1420 и 1470 cm^{-1} и воды ~ 1635 cm^{-1} , где концентрация последних двух оказывается незначительной. Отсутствие пиков ОН⁻ на спектрах образцов Bi-OA (рис. 2б) подтверждает образование оксиапатита, а для K-Bi-HA (рис. 2а) указывает на миграцию катионов-заместителей в ячейке и затруднение ими колебаний гидроксил-иона, расположенного на оси c .

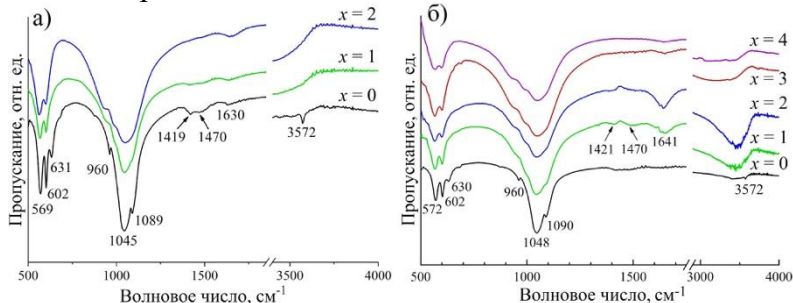


Рис. 3. ИК-спектры образцов серий (а) K-Bi-HA и (б) Bi-OA

Предполагается, что достижение больших степеней замещения в структуре K-Bi-гидроксиапатита невозможно из-за стерических затруднений, вызванных величиной катиона калия [4], и возможно для Bi-OA, т. к. зависимость параметров ячейки от x сохраняет линейный характер в рассмотренном диапазоне.

Список использованных источников

1. Supova M. Substituted hydroxyapatites for biomedical applications: A review // *Ceramics International*. – 2015. – V. 41. – P. 9203–9231.
2. Tite T. et al. Cationic Substitutions in Hydroxyapatite: Current Status of the Derived Biofunctional Effects and Their In Vitro Interrogation Methods // *Materials*. – 2018. – V. 11. – №. 11. P. 2081.
3. Shannon R.D. // *Acta Crystallogr.: Found. Crystallogr.* – 1976. – V. 32. – №. 5. P. 751–767.
4. Wong S. L., Drouet C., Deymier A. Carbonate environment changes with Na or K substitution in biomimetic apatites // *Materialia*. – 2023. – V. 29. – P. 101795.

СТРУЙНАЯ 3Д-ПЕЧАТЬ ЭЛЕКТРОЛИТА GDC: УПРАВЛЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ ЧЕРЕЗ СОСТАВ ЧЕРНИЛ И ТЕМПЕРАТУРУ СПЕКАНИЯ

Фроленкова А.Д., Титков А.И.

Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения
Российской академии наук, Новосибирск
frolenkova@solid.nsc.ru

Снижение рабочей температуры твёрдооксидных топливных элементов (ТОТЭ) до 500–700 °С требует создания тонкоплёночных электролитов, обладающих высокой ионной проводимостью и газоплотностью. Оксид церия, допированный оксидом гадолиния $\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_2$ (GDC) является перспективным материалом для замены YSZ при переходе в среднетемпературную область благодаря повышенной кислород-ионной проводимости и химической совместимости с катодными материалами. Аддитивные технологии, в частности струйная 3Д-печать, открывают возможность послойного формирования электролитов с контролируемой микроструктурой и толщиной. Однако снижение толщины слоя при сохранении плотности электролита требует точного контроля условий формирования и пост-обработки. В настоящей работе метод струйной 3Д-печати использован как инструмент послойного формирования электролита, позволяющий управлять характеристиками слоя через варьирование состава печатных чернил и температуры спекания. Цель данной работы — установление влияния массовой доли GDC в печатных чернилах и температуры спекания на реологические, морфологические и прочностные характеристики напечатанных электролитов. Порошок GDC синтезирован методом обратного соосаждения карбонатов с последующей термической обработкой при 800°C. На его основе были разработаны новые композиции чернил для печати с варьированием массовой доли твёрдой фазы: 40, 50 и 60 %, а также была исследована зависимость динамической вязкости от скорости сдвига. Установлено, что при увеличении массовой доли порошка в пасте вязкость возрастает нелинейно, что объясняется усилением межчастичных взаимодействий, препятствующих сдвигу слоев чернил относительно друг друга. Печать образцов проводили на лабораторном 3D-принтере, изготовленном по индивидуальному заказу. Принтер сочетает в себе возможность использования различных систем дозирования низковязких и высоковязких композиций для 3D-печати различных материалов [1]. Были напечатаны и отожжены трехмерные образцы электролитов GDC толщиной 1 см с варьированием температуры спекания: 1000°C, 1200°C, 1400°C. СЭМ изображения срезов электролитов GDC, а также результаты измерения микротвёрдости по Виккерсу для всех образцов представлены на Рис. 1.

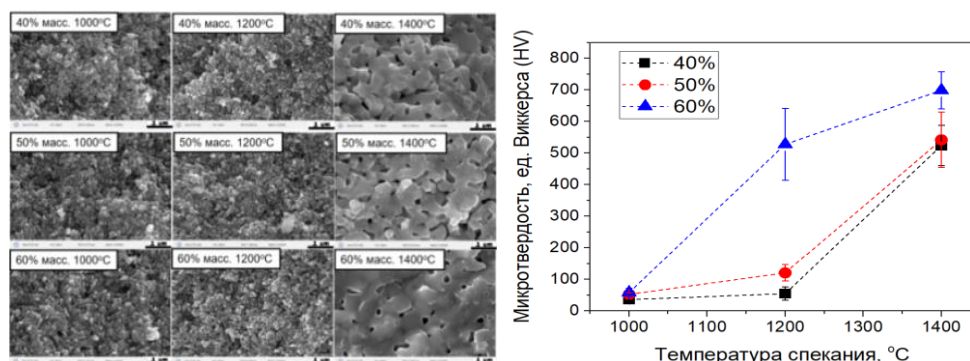


Рисунок 1. слева- СЭМ изображения сколов электролитов GDC, справа- микротвёрдости по Виккерсу электролитов GDC

Установленные реологические особенности чернил напрямую определяют микроструктуру и свойства спеченных электролитов. Так, увеличение содержания порошка в чернилах при фиксированной температуре спекания 1400°C приводит к последовательному росту относительной плотности электролитов, что является следствием улучшенной упаковки частиц в напечатанной зеленой заготовке после удаления летучих компонентов, а также к увеличению площади контактов между ними, что ускоряет процессы объемной и граничной диффузии на стадии спекания. Для всех трёх составов наблюдается рост микротвёрдости с повышением температуры спекания, что связано с уплотнением материала и сокращением остаточной пористости. При фиксированной температуре образцы с 60% масс. GDC демонстрируют более высокие значения микротвёрдости по сравнению с менее наполненными, что указывает на лучшую исходную упаковку частиц и, как следствие, более эффективное спекание. Различие между составами наиболее выражено в области высоких температур, тогда как при более низких оно сглаживается из-за доминирующего вклада общей пористости. Таким образом, установлено, что варьирование массовой доли твёрдой фазы в чернилах, а также температуры спекания являются эффективным инструментом управления плотностью упаковки частиц, микроструктурой и микротвёрдостью GDC. С использованием чернил с массовой долей GDC 60% была напечатана тонкая плёнка электролита толщиной около 20 мкм на пористом аноде NiO/GDC (Рис. 2) с последующим спеканием при 1400 °С. Анализ СЭМ-изображения скола полуячейки подтвердил формирование плотного электролитного слоя с чёткой межфазной границей (Рис. 2). Полная проводимость электролита (σ_{tot}), измеренная методом импедансной спектроскопии, составила 3.16×10^{-4} См/см при 500 °С и 4.5×10^{-4} См/см при 600 °С, что свидетельствует о высоком ионном транспорте через газоплотный слой GDC.

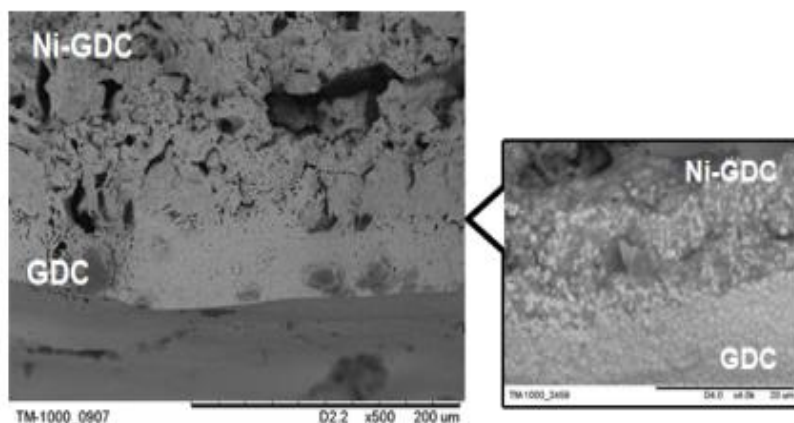


Рис.2. СЭМ изображение скола полуячейки NiO/GDC|GDC

Таким образом, предложенный подход позволил получить в едином цикле газоплотный слой электролита GDC на аноде NiO/GDC с удовлетворительными электрохимическими характеристиками, демонстрируя потенциал струйной 3Д-печати для производства среднетемпературных ТОТЭ.

Благодарность: Работа выполнена в рамках государственного задания Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН (проект № FWUS-2026-0014).

Список использованных источников

1. Asmedianova A., Malbakhova I., Logutenko O., Vorobyev A., Borisenko T., Bagishev A., Titkov A. A novel approach to tailoring the microstructure and electrophysical properties of Ni/GDC-based anodes by combining 3D-inkjet printing and layer-by-layer laser treatment // *Ceramics International*. 2024. Vol. 50, Issue 8. P. 13508–13516. ISSN 0272-8842.

ЗАОЧНОЕ УЧАСТИЕ
СЕКЦИЯ 1.
ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

СТЕРЕОСПЕЦИФИЧНЫЙ СИНТЕЗ N-(2-ОКСО-2-(((2S)-1,7,7-ТРИМЕТИЛБИЦИКЛО[2.2.1]ГЕПТАН-2-ИЛ)АМИНО)ЭТИЛ)-4-(ТРИФТОРМЕТИЛ)БЕНЗАМИДА

Комарова Д.О.¹, Соколова А.С.²

¹Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, г.

Новосибирск, Россия

daria.komarova05@mail.ru

Поиск новых противовирусных соединений, активных в отношении ортопоксвирусов, остается актуальной задачей. Перспективным направлением является модификация доступных природных терпеноидов, в частности камфоры. Ранее научной группой НИОХ СО РАН было показано, что амиды и гидразиды, полученные из (+)-камфоры, обладают высокой противовирусной активностью. Установлено, что ключевыми структурными элементами, определяющими активность, являются камфорный каркас (гидрофобный якорь), ароматический фрагмент с электроноакцепторным заместителем в пара-положении и амидная группа-линкер [1].

В рамках данной работы был осуществлен стереоспецифичный синтез и структурная характеристика нового амида - N-(2-оксо-2-(((2S)-1,7,7-триметилбицикло[2.2.1]гептан-2-ил)амино)этил)-4-(трифторметил)бензамида, представляющего собой целевой представитель указанного класса соединений для последующего скрининга биологической активности.

Синтез включал три последовательные стадии. На первой стадии проводили реакцию получения оксима (+)-камфоры с использованием гидроксилamina солянокислого и ацетата натрия в водно-ацетоновой среде (60-70°C). Полученный оксим камфоры после перекристаллизации из смеси этанол-вода был выделен с выходом 75%.

Ключевой второй стадией являлось восстановительное аминирование оксима камфоры. Реакцию проводили при низкой температуре (-25°C) с использованием NiCl₂·6H₂O/NaBH₄ в метаноле. Этот метод позволил провести восстановление оксима с высокой стереоселективностью. Образовавшийся амин был выделен экстракцией, а последующая очистка методом колоночной хроматографии на силикагеле позволила разделить смесь стереоизомеров. В результате анализа ¹H ЯМР-спектров фракций был идентифицирован термодинамически более стабильный экзо-изомер 1,7,7-триметилбицикло[2.2.1]гептан-2-амина (рис. 1), который и был использован на следующей стадии.

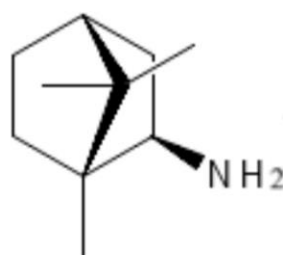


Рис. 1. Структура синтезированного экзо-изомера амина

На третьей стадии проводили реакцию амидирования. Карбоксильную группу 2-((4-(трифторметил)бензоил)амино)уксусной кислоты активировали с помощью конденсационного реагента HBTU (О-бензотриазол-1-ил-N,N,N',N'-тетраметилмочевина гексафторфосфат) в присутствии основания DIPEA (N,N-Диизопропилэтиламин) в среде безводного ДМФА. После завершения реакции (24 ч, перемешивание) целевой продукт был выделен экстракцией этилацетатом и очищен колоночной хроматографией (элюент: гексан/этилацетат с добавлением метанола). Выход конечного соединения составил 90% от теоретического. Структура полученного бензамида была подтверждена методом ¹H ЯМР-

спектроскопии, а его индивидуальность - определением температуры плавления ($T_{пл} = 167,0-171,1^{\circ}\text{C}$).

Таким образом, в ходе работы был успешно реализован трехстадийный стереоспецифичный синтез целевого амидного производного на основе доступного природного (+)-камфоры. Полученное соединение охарактеризовано комплексом физико-химических методов анализа и может быть рекомендовано для дальнейших исследований на противовирусную активность.

Список использованных источников

1. Sokolova A.S. et al. Design, synthesis, and biological evaluation of (+)-camphor- and (-)-fenchone-based derivatives as potent orthopoxvirus inhibitors // *ChemMedChem*. 2022. Vol. 17, № 12. P. e202100771.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ТЕПЛОВОЙ ИЗОМЕРИЗАЦИИ И СТРУКТУРНОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{ONO}]\text{Br}_2$ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ

Зайцева Е.В., Калинина П.П., Захаров Б.А.

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
e.zaitseva5@g.nsu.ru

Значительный интерес для исследования представляют кристаллические вещества, в которых под влиянием внешних воздействий могут происходить химические реакции или фазовые переходы. В таких соединениях в зависимости от воздействия может меняться химический состав и структура, а следовательно, и физико-химические свойства. Для молекулярных кристаллов такого рода превращения происходят с высокой скоростью отклика и с небольшими энергетическими потерями. Свойства таких кристаллов открывают широкие перспективы для их применения в высокочувствительных сенсорных устройствах и современной оптоэлектронике [1,2].

Комплексы $\text{Co}(\text{III})$ с различными анионами: $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{NO}_2]\text{XY}$ ($\text{X}, \text{Y} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}, \text{NO}_3$) являются одними из наиболее изученных объектов в области твердофазной связевой изомеризации. В этих соединениях при воздействии света в синей или ультрафиолетовой области идет реакция нитро-нитрито изомеризации $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{NO}_2]\text{XY} \rightarrow [\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{ONO}]\text{XY}$, во время которой происходит макроскопический механический отклик кристалла [1,2]. Для практического использования соединений кобальта в различных устройствах необходимо знать не только структуру и свойства, но и области их термодинамической и кинетической стабильности [3,4].

В данной работе были исследованы области устойчивости фаз в структурах $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{NO}_2]\text{Br}_2$ и $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{ONO}]\text{Br}_2$ в широком диапазоне температур с помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Ранее проводились исследования кристаллической структуры $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{ONO}]\text{Br}_2$ при охлаждении до -173°C методом рентгеноструктурного анализа, был обнаружен структурный фазовый переход в интервале температур от -123°C до -98°C .

Метод ДСК показал отсутствие тепловых эффектов для обеих форм в температурном интервале от -123°C до -98°C , что согласуется с незначительными перестройками структуры при упорядочении ONO -группы. Найдена температура начала плавления для соединения $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{NO}_2]\text{Br}_2$, равная 182°C . Впервые была обнаружена фаза неизвестного состава, появляющаяся после кристаллизации вещества из расплава. Кинетика обратной изомеризации изучалась с помощью метода ИК-спектроскопии.

Список использованных источников

1. Болдырева Е.В., Подберезская Н.В., Вировец А.В., Бурлева Л.П., Дулепов В.Е. Рентгенографическое исследование продуктов твердофазной связевой нитро-нитрито-изомеризации $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{NO}_2]\text{XY} \rightarrow [\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{ONO}]\text{XY}$ ($\text{XY} = 2\text{Cl}^-, 2\text{Br}^-, 2\text{I}^-, \text{Cl}^-(\text{NO}_3)^-, 2(\text{NO}_3)^-$) // *Журнал структурной химии*. 1993. Т. 34. С. 128–138.
2. Boldyreva E.V., Virovets A.V. X-ray diffraction study of solid-state photoisomerization products $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{NO}_2]\text{XY}$ ($\text{X}, \text{Y} = \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{I}^-, \text{NO}_3^-$) // *Journal of Structural Chemistry*. 1994. Т. 34, № 4. P. 128–140.
3. Naumov P., Chizhik S., Panda M.K., Nath N.K., Boldyreva E. Mechanically responsive molecular crystals // *Chemical Reviews*. 2015. Vol. 115, № 22. P. 12440–12490.
4. Naumov P. et al. Dynamic single crystals: kinematic analysis of photoinduced crystal jumping (the photosalient effect) // *Angewandte Chemie*. 2013. Т. 125, № 38. С. 10174–10179.

СИНТЕЗ АММОНИЙНОЙ ФОРМЫ ТАРТРАТА ВИСМУТА

Александрова Т.А.^{1,2}, Тимакова Е.В.^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск
alexandrova999@mail.ru

Тартраты висмута, как и другие соединения висмута с природными карбоновыми кислотами, используются в качестве фармацевтических субстанций [1] и в качестве исходных веществ твердофазного синтеза функциональных оксидных материалов [2]. Являясь полифункциональным лигандом, анион винной кислоты образует широкий спектр соединений с висмутом: аморфный коллоидный тартрат висмута [1], а также кристаллические соединения, имеющих структуру координационных полимеров: $[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)(\text{NO}_3)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ [2], $[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [3] и $\text{NH}_4[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2(\text{H}_2\text{O})] \cdot \text{H}_2\text{O}$ [4]. Нами показана возможность синтеза тартратов висмута, содержащих катионы натрия и калия из $[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Представляет также интерес синтез аммонийных форм тартратов висмута, поскольку информация о них ограничивается только данными РСА для $\text{NH}_4[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2(\text{H}_2\text{O})] \cdot \text{H}_2\text{O}$.

$[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ также использовали в качестве предшественника для синтеза аммоний содержащих тартратов висмута. Предварительный синтез $[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ осуществляли добавлением промышленного азотнокислого раствора висмута (420 г/л Bi) в водный раствор L(+)- $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ при $n(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6)/n(\text{Bi}^{3+}) = 2,2$. Показано, что полная растворимость $[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в растворе гидроксида аммония достигается при $n(\text{NH}_4^+)/n(\text{Bi}^{3+}) = 3$, полученные таким образом аммиачные растворы использовались для дальнейшего синтеза.

Синтез образцов осуществляли двумя способами. В первом способе (образец 1) аммиачный раствор упаривали под ИК-лампой досуха, полученный осадок промывали изопропиловым спиртом. Во втором способе (образец 2) в аммиачный раствор добавляли изопропиловый спирт в половине объема от исходного раствора. Выпавший мелкокристаллический белый осадок отфильтровывали и сушили на воздухе при комнатной температуре.

Синтезированные образцы охарактеризованы методами химического и рентгенофазового анализа, ИК и КР-спектроскопии. По данным РФА (рис.1), на дифрактограммах полученных образцов (рис.1, кривая 1 и 2) отсутствуют рефлексы исходного $[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рис.1, кривая 3); образец 1 содержит примесь $\text{NH}_4\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6$, образец 2 является монофазным, и имеет следующий элементный состав (%): Bi – 53,0 (53,5), C – 12,45 (12,27), N – 3,43 (3,58), H – 1,90 (2,05), что соответствует $\text{NH}_4\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_6)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Наличие воды подтверждено гравиметрическим методом.

Обращает на себя внимание совпадение расчетных дифрактограмм $[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рис. 1, кривая 3) и $\text{NH}_4[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2(\text{H}_2\text{O})] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (рис. 1, кривая 4), что свидетельствует о недостоверности структурных данных последнего.

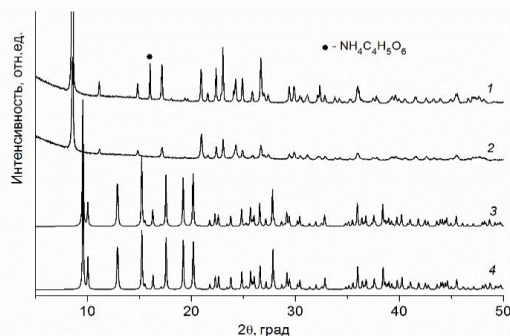


Рис.1. Экспериментальные (1, 2) и расчетные (3, 4) дифрактограммы образцов 1 (1) и 2 (2), $[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6)(\text{H}_2\text{O})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3) [3] и $\text{NH}_4[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2(\text{H}_2\text{O})] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (4) [4]

Анализ ИК- и КР-спектров образца 2 (рис. 2) подтверждает предложенный состав. В области $1740\text{--}1650\text{ см}^{-1}$ не наблюдается полоса валентных колебаний карбонильной $\nu(\text{C}=\text{O})$ группы исходной кислоты, что свидетельствует о депротонировании лиганда по двум карбоксильным группам. Это также подтверждает наличие сильных полос $\nu_{\text{as}}(\text{COO}^-)$ и $\nu_{\text{s}}(\text{COO}^-)$ в области $1610\text{--}1550\text{ см}^{-1}$ и $1450\text{--}1400\text{ см}^{-1}$ соответственно. В спектре соединения при 1420 см^{-1} наблюдается полоса, характерная для деформационных колебаний NH_4^+ . В ИК-спектре исходной кислоты наблюдаются две достаточно сильные полосы валентных колебаний $\nu(\text{C}-\text{O})$ спиртовых групп при 1134 и 1088 см^{-1} . В ИК-спектре $[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6)(\text{H}_2\text{O})]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ наблюдаются две полосы, сдвинутые в область меньших волновых чисел. Это свидетельствует о наличии спиртовых протонов и их координацию с атомом висмута, что согласуется с его структурой [3]. В ИК-спектре $\text{NH}_4\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_6)_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ наблюдается одна полоса с двумя максимумами при 1096 и 1084 см^{-1} , что позволяет предположить депротонирование лиганда также и по спиртовым группам.

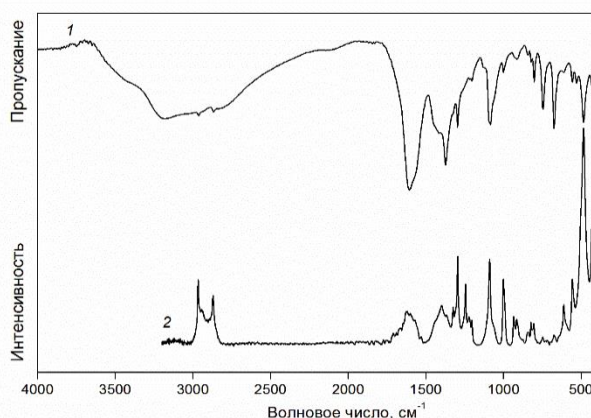


Рис. 2. ИК- (1) и КР-спектры (2) $\text{NH}_4\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_6)_2\cdot \text{H}_2\text{O}$

Работа выполнена в соответствии с тематическим планом ИХТТМ СО РАН 121032500064-8.

Список использованных источников

1. Патент КНР № 102276445А. Colloidal bismuth tartrate compound, medicaments thereof, preparation method thereof and application thereof / Yuy Syuemin, Fen Khuey, Yuy Yan, Chzhao Syuesyan, Khan Tsin. 14.12.2011.
2. Ahadiat G., Tabatabaee M., Gholivand K., Zare K., Dusek M., Kucerakova M. A two-dimensional bismuth coordination polymer with tartaric acid: synthesis, characterization and thermal decomposition to Bi_2O_3 nanoparticles // *Main Group Chemistry*. 2017. Vol. 16, № 1. P. 7–16. DOI: 10.3233/MGC-160216.
3. Herrmann W., Kiprof P., Scherer W., Pajdla L. Metal complexes in biology and medicine, IV. Synthesis and structure of bis(2-aminoethanethiolato)bismuth(III) nitrate monohydrate // *Chemische Berichte*. 1992. Vol. 125, № 12. P. 2657–2660.
4. Sagatys D.S. et al. Group 15 metal complexes with carboxylic acids. Preparation and crystal structure of polymeric ammonium aquabis[(+)-tartrato(2-)]bismuthate(III) hydrate // *Australian Journal of Chemistry*. 1992. T. 45, № 6. P. 1027–1034.

СИНТЕЗ $K_2MnFe(CN)_6$ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Ваняркина В.О., Уваров Н.Ф.

Новосибирский государственный технический университет
vanyarkina1966@bk.ru

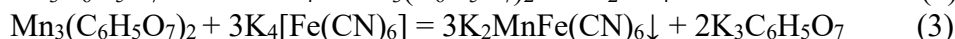
Модификация берлинской лазури $Fe_{1+x}[Fe(CN)_6]$ различными катионами позволяет получить ряд новых соединений, называемых аналогами берлинской лазури [1] с общей формулой $A_xM1[M2(CN)_6]_y$ ($x \leq 2$), где А - щелочной катион, М1 и М2 - переходные металлы. Благодаря наличию катионов переходных металлов с переменной степенью окисления, в этих материалах могут происходить электрохимические процессы. Кроме того, эти соединения обладают жесткой трёхмерной каркасной структурой с открытыми каналами, обеспечивающими диффузию и высокую скорость ионного переноса и повышенную электрохимическую активность [2-3]. В связи с этим, аналоги берлинской лазури привлекают интерес учёных своей экономичностью, простотой синтеза, хорошими электрохимическими свойствами и рассматриваются в качестве перспективных материалов для металл-ионных аккумуляторов.

Недостатком соединений со структурой берлинской лазури является то, что при синтезе в обычных условиях образуются очень мелкие частицы, содержащие анионные вакансии, поглощающие молекулы воды. В связи с этим, для практического использования материала необходимо проводить длительный процесс дегидратации, который может привести к деградации материала. Ранее в работах [4-5] были приведены данные по синтезу аналога берлинской лазури $K_2MnFe(CN)_6$. В данной работе был проведен процесс синтеза $K_2MnFe(CN)_6$ с целью получения относительно крупных кристаллитов этого соединения.

В первом эксперименте реакцию проводили путём медленного прикапывания 1М раствора $K_4[Fe(CN)_6]$ к 1М раствору $MnSO_4$ при постоянном перемешивании на магнитной мешалке. Ожидалось протекание реакции



Второй эксперимент проводили в условиях, указанных в работе [5]. В систему был добавлен цитрат калия, а процесс осаждения проводили при температуре $60^\circ C$. Ожидалось, что пройдут реакции



Действительно, в обоих случаях наблюдалось выпадение бело-голубого осадка, что указывает на протекание по указанным химическим реакциям. Спустя 12 часов образец промывали, сушили и исследовали с помощью рентгенофазового анализа. Согласно результатам РФА (рис. 1, кривые 1 и 2, соответственно), основные рефлексы на дифрактограммах относятся к фазе $K_2MnFe(CN)_6$, при этом присутствуют рефлексы, не относящиеся к $K_2MnFe(CN)_6$. Существенное уширение рефлексов и относительно низкая их интенсивность указывает на то, что полученный материал характеризуется малыми размерами зерен и высокой дефектностью.

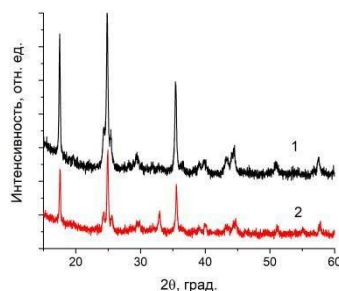
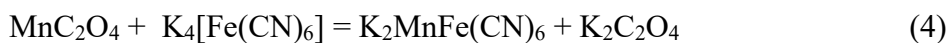


Рис. 1. Дифрактограмма продукта реакции $K_2MnFe(CN)_6$, полученного при первом (1) и втором (2) экспериментах.

Так как положительный результат не был получен, нами был проведён третий эксперимент. Условия синтеза приведены в работе [4]. В качестве исходной системы для синтеза использовали суспензию из твердого порошка оксалата марганца и раствора $K_4[Fe(CN)_6]$. При этом протекала гетерогенная реакция, в результате которой на поверхности твердого оксалата марганца осаждалось целевое соединение $K_2MnFe(CN)_6$



Полученную суспензию перемешивали в течение 24 часов, затем образец промывали, сушили и исследовали с помощью рентгенофазового анализа. По результатам РФА (рис. 2.1) видно значительное увеличение интенсивности рефлексов, относящихся к соединению $K_2MnFe(CN)_6$, однако видны также и пики MnC_2O_4 , означающие неполноту протекания реакции.

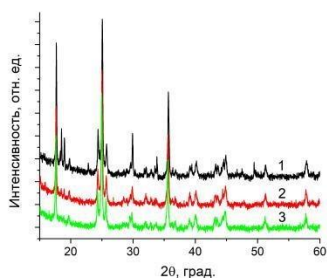


Рис. 2. Дифрактограмма продуктов реакции $K_2MnFe(CN)_6$, полученных в третьем эксперименте на первой (1), второй (2) и третьей (3) стадиях.

Было принято решение довести реакцию до конца с помощью растирания полученного порошка $K_2MnFe(CN)_6$ в концентрированном растворе $K_4[Fe(CN)_6]$. После 30 минутного перемешивания результаты РФА (рис. 2.2) показали уменьшение количества примесей, поэтому была проведена третья стадия эксперимента - повторение растирания. РФА (рис. 2.3) показывает незначительное изменение количества MnC_2O_4 , т.е. дальнейшее отмывание осадка не имеет смысла.

Таким образом, нами показано, что при добавлении раствора цитрата марганца к раствору жёлтой кровяной соли, образуется соединение $K_2MnFe(CN)_6$ с малым размером зерен, что не согласуется с результатами работы [5]. При реакции $K_4[Fe(CN)_6]$ с твердым оксалатом марганца образуются более крупные кристаллы $K_2MnFe(CN)_6$, однако реакция протекает не до конца. Методика, разработанная в работе [4] требует доработки.

Список использованных источников

1. Wang B., Han Y., Wang X., Bahlawane N., Pan H., Yan M., Jiang Y. Prussian Blue analogs for rechargeable batteries // *iScience*. 2018. Vol. 3. P. 110–133.
2. Smith J.A., Zhang L., Brown M. High-capacity cathode materials for sodium-ion batteries // *Journal of Power Sources*. 2023.
3. Le Pham P.N., Wernert R., Cahu M., Sougrati M.T., Aquilanti G., Johansson P., Monconduit L., Stievano L. Prussian Blue analogues for potassium-ion batteries: insights into the electrochemical mechanisms // *Journal of Materials Chemistry A*. 2023.
4. Mei Y., Nason C.A.F., Xu Y. Prussian Blue analogues for non-aqueous sodium-ion and potassium-ion batteries: the landscape from lab-scale optimizations toward practical applications // *Small*. 2026.
5. Ge J., Fan L., Rao A.M., Zhou J., Lu B. Surface-substituted Prussian Blue analogue cathode for sustainable potassium-ion batteries // *Nature Sustainability*. 2022.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОКСИДОВ СО СТРУКТУРОЙ ПЕРОВСКИТА НА ОСНОВЕ $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_{3-\delta}$ В КАЧЕСТВЕ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Власов С.А.^{1,2}, Гонгола М.И.¹, Попов М.П.^{1,2}, Немудрый А.П.¹

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, 630090,
г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090,
г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1
s.vlasov1@g.nsu.ru

Оксиды со структурой перовскита являются популярными материалами для катодных слоев твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) за счет того, что такие оксиды обладают смешанной кислород – электронной проводимостью. Среди них, кобальтит лантана – стронция $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ (LSC) обладает рекордным значением электропроводности (~1500 См/см) и высоким значением ионной проводимости (~0.2 См/см) при рабочих температурах, что делает его одним из самых перспективных катодных материалов для ТОТЭ [1]. Однако LSC имеет слишком высокий коэффициент химического расширения (КХР), по сравнению с материалами наиболее популярных электролитов. Вследствие этого катодные слои на основе LSC становятся практически невозможно припечь, а если это удастся, то они легко скалываются с поверхности ТОТЭ, что приводит к быстрому выводу из строя топливного элемента. В литературе известна стратегия понижения КХР нестехиометрических оксидов – допирование высокозарядными катионами [2].

В данной работе в качестве высокозарядного катиона выбрали катион ниобия (V). Ряд оксидов $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_{3-\delta}$ получали твердофазным методом и характеризовали методами квазиравновесного выделения кислорода (КРВК) [3], релаксацией парциального давления кислорода (РПДК) [4] и ван дер Пау. С помощью метода КРВК было показано отсутствие возможных фазовых переходов в диапазоне парциальных давлений кислорода ~ 0.2 – 10⁻⁵ и температурном диапазоне 600 - 850°C, способных резко изменять свойства/структуру исследуемых оксидов. Методом РПДК были получены энергии активации для процессов кислородного обмена в смешанном режиме, а изучение электропроводности методом ван дер Пау показало, что с увеличением концентрации ниобия в структуре удельная проводимость падает, но ее значения по-прежнему остаются рекордными для оксидов со структурой перовскита. Для изучения возможности применения оксидов ряда $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_{3-\delta}$ (x = 5 и 10 мол.%) в качестве катодных материалов ТОТЭ изготовили микротрубчатые ТОТЭ методом дип-коатинга и провели исследование вольт-амперных характеристик двухконтактной схемой подключения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-30051-П, <https://rscf.ru/project/21-79-30051/>

Список использованных источников

1. Кондышева Е., Francis S.M., Irvine J.T.S. Crystal structure, oxygen nonstoichiometry, and conductivity of mixed ionic–electronic conducting perovskite composites with CeO_2 // *Journal of The Electrochemical Society*. 2010. Т. 157, № 1. С. B159–B165.
2. Belenkaya I.V., Matvienko A.A., Nemudry A.P. Phase transitions and microstructure of ferroelastic MIEC oxide $\text{SrCo}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{2.5}$ doped with highly charged Nb/Ta(V) cations // *Journal of Materials Chemistry A*. 2015. Т. 3, № 46. С. 23240–23251.
3. Starkov I. et al. Oxygen release technique as a method for the determination of “ δ -pO₂-T” diagrams for MIEC oxides // *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2014. Т. 16, № 12. С. 5527–5535.
4. Bychkov S. et al. Novel oxygen partial pressure relaxation technique for study of oxygen exchange in nonstoichiometric oxides: the model of relaxation kinetics // *Solid State Ionics*. 2018. Т. 320. С. 297–304.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ АКТИВНОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО NiFeCoSn СПЛАВА В ПРОЦЕССЕ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН

Гладышев И.И.^{1,2}, Шивцов Д.М.², Шубин Ю.В.³, Бауман Ю.И.², Мишаков И.В.²

¹Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

²Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН, Новосибирск

³Институт неорганической химии им. Николаева СО РАН, Новосибирск
ilya.gladyshev.2018@list.ru

В настоящее время углеродные нановолокна (УНВ) относятся к одному из востребованных наноматериалов. Для получения УНВ, как правило, используют каталитический пиролиз углеводородов как наиболее эффективный метод. Ключевую роль в данном случае играет катализатор, состав которого определяет производительность процесса, а также структурные свойства образующегося углеродного продукта [1]. Для повышения активности и стабильности катализаторов вводят различные металлы-промоторы. Например, авторы работы [2] показали, что допирование никелевого катализатора оловом значительно ускоряет процесс осаждения углерода и предотвращает дезактивацию. В последние годы в области катализа всё больше внимания уделяется многокомпонентным сплавам (в том числе высокоэнтропийным) на основе переходных металлов, поскольку их сочетание позволяет управлять свойствами получаемой системы за счет комбинации нескольких элементов [3].

В настоящей работе представлены результаты исследования каталитической активности многокомпонентных сплавов NiFeCoSn. Образцы были приготовлены с использованием планетарной мельницы «Активатор-2S» методом механохимического сплавления при варьируемых параметрах (диаметр мелющих тел (d_{MT}), ускорение и время сплавления).

Сплавы были охарактеризованы с помощью методов рентгенофазового анализа (РФА) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Исследование каталитических свойств проводили в реакции пиролиза C_2-C_4/H_2 смеси при температурах 650–750 °С в течение 60 минут. Полученный углеродный наноматериал исследовали методом низкотемпературной адсорбции азота, СЭМ и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ).

Согласно данным РФА, уже через 5 минут механохимического сплавления формируется однофазный твёрдый раствор со структурой ГЦК на основе решетки никеля.

По результатам каталитических экспериментов выявлено, что введение Sn в количестве 0.5 ат. % в состав эквимолярного сплава NiFeCo повышает активность катализатора более чем в 8,5 раз, с 8 до 70 г/Г_{кат} (рис. 1). В докладе будет подробно обсуждено влияние состава многокомпонентного сплава на выход углеродного материала в процессе пиролиза C_2-C_4/H_2 смеси.

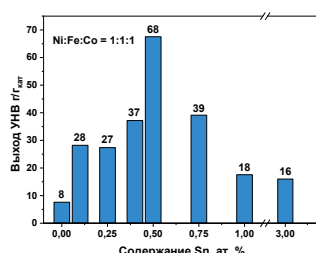


Рис. 1. Влияние концентрации олова на активность NiFeCo сплавов в процессе пиролиза C_2-C_4/H_2 смеси при 650 °С. Время реакции – 60 минут

Исследование влияния температуры пиролиза на активность сплава Ni_{89.5}Fe₅Co₅Sn_{0.5} (условия МХС: $d_{MT} = 3$ мм, ускорение 80g, 5 мин) показало, что повышение температуры с 650 до 700 °С увеличивает выход УНВ с 230 до 251 г/Г_{кат}.

По данным ПЭМ, углеродный материал состоит из протяженных нитевидных структур (рис. 2). Показано, что диаметр нитей зависит от размера частиц, катализирующих их рост, и варьируется в пределах от 40 до 130 нм.

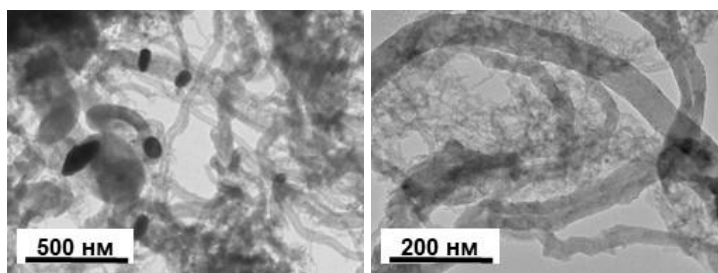


Рис. 2. Снимки ПЭМ углеродного материала, полученного в процессе пиролиза C_2-C_4/H_2 смеси при $650\text{ }^\circ\text{C}$ на сплаве $Ni_{33.1(6)}Fe_{33.1(6)}Co_{33.1(6)}Sn_{0.5}$

В докладе также будет подробно обсуждено влияние температуры на структурные свойства и текстурные характеристики образующегося углеродного материала. Будет показано, что путем подбора температуры пиролиза C_2-C_4/H_2 можно регулировать текстурные свойства получаемого углеродного наноматериала в зависимости от его дальнейшего применения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0034).

Список использованных источников

1. Ghaemi F., Ali M., Yunus R., Othman R.N. Synthesis of carbon nanomaterials using catalytic chemical vapor deposition technique // *Micro and Nano Technologies*. 2019. P. 1–27.
2. Shubin Y.V., Maksimova T.A., Popov A.A., Varygin A.D., Fedorenko A.D., Gerasimov E.Y., Mishakov I.V., Vedyagin A.A. Boosting effect of single-atom Sn on catalytic activity of Ni towards synthesis of carbon nanofibers from ethylene // *Applied Catalysis A: General*. 2024. V. 670. Art. 119546.
3. Yu L., Zeng K., Lin X., Liu H., Shi W., Qiu H., Yuan Y., Yao Y. High-entropy alloy catalysts: from bulk to nano toward highly efficient carbon and nitrogen catalysis // *Applied Physics Express*. 2024. V. 17. Art. 026001.

СИНТЕЗ ПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕМПЛАТНЫМ МЕТОДОМ ИЗ МЕЛАМИН-ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ И МОЧЕВИН- ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ

Чернуха Н.С., Уваров Н.Ф.

Новосибирский государственный технический университет

nice.chernukha@inbox.ru

Пористые углеродные материалы, синтезированные темплатным методом, характеризуются уникальным комплексом свойств: высокими значениями удельной поверхности и контролируемым объёмом пор. Возможность регулирования размера и геометрии пор путём подбора темплатного агента в сочетании с химической и механической стабильностью обуславливает широкий спектр их применения — в катализе, электрохимических системах, процессах разделения и адсорбции [1].

Синтез таких материалов может осуществляться как с применением мицеллярных, так и твёрдых темплатов, которые удаляются после завершения процесса. Введение различных добавок позволяет целенаправленно регулировать технологические и эксплуатационные свойства композитов, однако ключевую роль играет природа исходной синтетической смолы. Тип смолы также определяет технологию и параметры формования конечных изделий. На сегодняшний день наиболее востребованы карбамидные, алкидные, эпоксидные, полиамидные и фенол-альдегидные смолы. В зависимости от типа катализатора фенолформальдегидные смолы подразделяются на термопластичные (новолачные) и терморективные (резольные). Для резольных смол характерно повышенное содержание свободного фенола, что приводит к снижению температуры плавления, обеспечивает растворимость в спиртах, кетонах, сложных эфирах и водных щелочных растворах, а также способность к набуханию в воде [2].

В представленной работе пористый углеродный материал получен с использованием твёрдого темплатного агента. В качестве прекурсора углеродного материала была использована резольная фенолоформальдегидная смола, модифицированная меламином или мочевиной, взятых в мольном соотношении 3:1 к фенолу. Темплатом служил цитрат магния, который в процессе пиролиза разлагался до нанокристаллического оксида магния. Реакцию проводили в щелочной среде при значении pH 8–9, которое поддерживали с помощью раствора КОН. Пиролиз полимеризованной смолы осуществляли в инертной атмосфере азота при температурах 900 и 950 °С, после чего темплат удаляли из углеродной матрицы обработкой соляной кислотой.

Поверхностные характеристики полученных углеродных материалов оценивали с помощью 5-ти точечного метода адсорбции/десорбции азота при 77К с помощью анализатора поверхности «Термосорб ТРД1200». Порошок перед испытаниями дополнительно прогревался до 120 °С в течении 30 минут чтобы убрать остатки адсорбированного водяного пара и других загрязняющих веществ из пор углеродного материала, результаты анализа поверхности представлены в табл. 1.

Таблица 1. Площадь поверхности полученных углеродных материалов

№	Темплат	W _{темпл.} , мас. %	Добавка	Отношение C ₆ H ₅ OH:CH ₂ O:добавка	S _{уд.} , м ² /г	С, Ф/г	T, °С
M ₁	Mg ₃ Cit ₂	70	C ₃ H ₆ N ₆	9:21:3	486	-	950
M ₂	Mg ₃ Cit ₂	70	C ₃ H ₆ N ₆	9:10:3	768	-	950
M ₃	Mg ₃ Cit ₂	70	C ₃ H ₆ N ₆	9:21:3	970	33	950
M ₄	Mg ₃ Cit ₂	70	C ₃ H ₆ N ₆	13,5:22,5:9	614	60	950
M ₅	Mg ₃ Cit ₂	70	C ₃ H ₆ N ₆	9:10:3	726	71	950
M ₆	Mg ₃ Cit ₂	70	C ₃ H ₆ N ₆	9:21:3	628	73	950
M ₇	Mg ₃ Cit ₂	70	(NH ₂) ₂ CO	9:17:3	783	41	950

M ₈	Mg ₃ Cit ₂	70	C ₃ H ₆ N ₆	9:21:3	730	58	900
M ₉	Mg ₃ Cit ₂	70	(NH ₂) ₂ CO	9:17:3	590	59	900

Для анализа удельной емкости полученного углеродного порошка, материал наносился на углеродную бумагу суспензией следующего состава AC:Super:СМС, в соотношении 80:10:10, где AC (активированный углерод), Super P (углеродная сажа), СМС (карбоксиметилцеллюлоза). Измерения емкости проводили на симметричных ячейках с двумя одинаковыми электродами методом циклической вольтамперометрии (ЦВА) с помощью потенциостата Elins P-30SM при различных скоростях сканирования потенциала v в диапазоне напряжений от -1 до 1 В. Результаты измерений представлены на рис. 1.

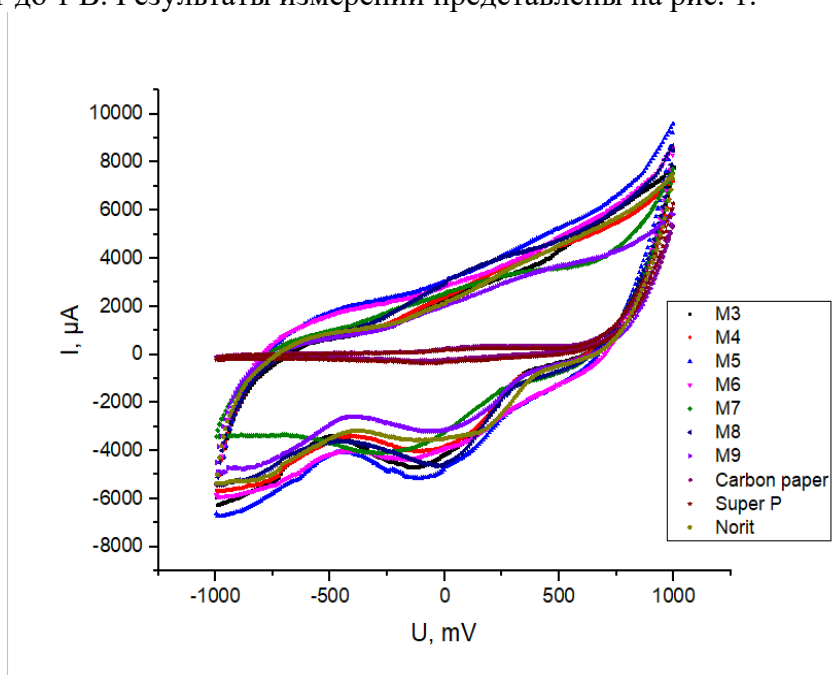


Рис. 1. Вольтамперметрические кривые образцов при скорости развертки напряжения 10 мВ/с

Прежде всего, было показано, что чистые углеродная проводящая добавка Super P и углеродная бумага (Carbon Paper) вносят лишь незначительный вклад в емкость и их вкладом в общую емкость можно пренебречь. На кривых ЦВА для всех образцов присутствуют пики. Указывающие на вклад эффекта псевдоемкости, по-видимому, за счет протекания поверхностных электрохимических редокс реакций. Наибольшие значения ёмкости, измеренной при скорости $v = 10$ мВ/с демонстрируют образцы M₅ (77,81 Ф/г, чистая ёмкость 71,25 Ф/г) и M₆ (79,53 Ф/г, 72,97 Ф/г), полученные пиролизом прекурсора при температуре 950 °С с использованием меламина в соотношениях фенол: формальдегид:меламин = 9:10:3 и 9:21:3 соответственно.

Список использованных источников

1. Wannas L., An V., Joris W.T., Pascal V.D.V., Jeriffa D.C. Soft templated mesoporous carbons: Tuning the porosity for the adsorption of large organic pollutants // Carbon. – 2017. – Vol. 116. – P. 528–546.
2. Inagaki M., Toyoda M., Soneda Y., Tsujimura S., Morishita T. Templated mesoporous carbons: synthesis and applications // Carbon. – 2016. – V. 107. – P. 448-473.

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД СОРБЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Турло Е.М., Брестер А.А., Островский Ю.В.

Новосибирский государственный технический университет

turlo@corp.nstu.ru

В ряде республик Соединенной Азии планируется добыча лития из гидроминеральных источников. На данный момент наиболее перспективным методом добычи лития является – сорбционное извлечение лития из гидроминерального сырья (ГМС) неорганическими сорбентами. На основании проведенных исследований по выявлению закономерностей распространения лития, а также анализа геолого-тектонических, гидродинамических и гидрогеохимических условий в пределах артезианских бассейнов выявлены области с относительно высокими концентрациями лития. Особенностью ГМС является значительное содержание хлорида кальция и магния мешающие протеканию сорбционного процесса. Наиболее перспективными месторождениями литийсодержащих артезианских вод Узбекистана относятся:

- по Ферганскому артезианскому бассейну 4 месторождения;
- по артезианским бассейнам плато Устюрт 7 месторождений,
- по Сурхандарьинскому артезианскому бассейну 4 месторождения;
- по БКАБ 26 месторождений [1].

Поскольку всё перечисленное ГМС обладает сравнительно невысоким содержанием лития (до 50 мг/л) отсюда и повышенные требования к синтезируемым сорбентам: достаточная сорбционная ёмкость при низком исходном содержании лития, механическая прочность, высокая пористость, высокая удельная поверхность сорбента и, кроме этого, выдвигаются достаточно высокие требования к используемому оборудованию. Предполагается из артезианских минерализованных вод извлекать только дорогостоящий литий, не усложняя технологическую схему параллельным извлечением других менее значимых продуктов.

В процессе работы над сорбентом удалось получить образцы неорганического сорбента (двойного активированного гидроксида алюминия, лития), обладающего следующими текстурными характеристиками.

Уравнение синтеза сорбента из активированного гидроксида алюминия:

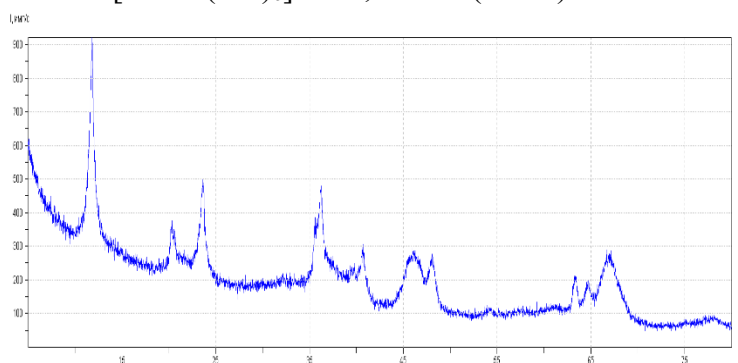
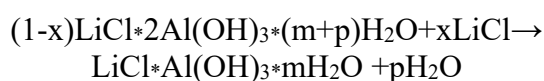
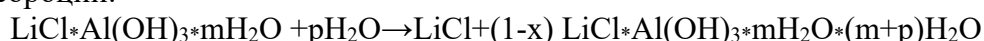


Рисунок 1 – Дифрактограмма СГЛА

Механизм сорбции лития:



Механизм десорбции:



Характеристики образцов после первого цикла десорбции исследовали с помощью низкотемпературной адсорбции азота при 77 К на адсорбционной установке Quantachrome NOVA 1000e. Удельную по методу поверхность (АБЭТ) рассчитывали по БЭТ. До сорбции 186,9 м²/г. После десорбции удельная поверхность образца сорбента составила 144 м²/г, объём пор 0,3831 см³/г, а средний размер пор 10,64 нм. (до сорбции 0,5207 см³/г и 2,78 нм соответственно).

При многократных циклах сорбции-десорбции (интерколяции-деинтерколяции LiCl) размеры каналов увеличиваются, что в конечном итоге, сопровождается улучшением кинетических характеристик сорбентов [2].

Продолжение работы над текстурными характеристиками сорбента позволяет надеяться на получение ещё более улучшенных текстурных характеристик неорганического сорбента.

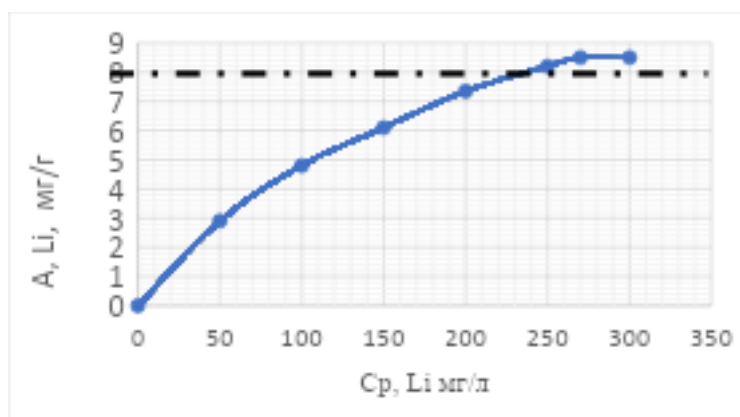


Рисунок 2 – Изотерма адсорбции лития на поверхности СГИА (модельный раствор г/л: LiCl-2.8, минерализация 480)

Подобраны условия для синтеза сорбента на основе смешанного гидроксида лития алюминия, обладающего статической ёмкостью – 8,94 мг/г. Методом РФА подтвержден его фазовый состав, и предположена формула соединения $[\text{LiAl}_2(\text{OH})_6 \text{Cl}] \cdot 1,5 \text{H}_2\text{O}$.

Список использованных источников

1. Муллахужаева М.М., Островский Ю.В., Турло Е.М. Изучение возможности извлечения лития из артезианских вод Узбекистана сорбционным методом // *Химические технологии функциональных материалов: материалы XI Международной Российско-Казахстанской научно-практической конференции*, Новосибирск, 15–17 мая 2025 года. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2025. С. 31–32.
2. Исупов В.П., Коцупало Н.П. Двойные основные соединения алюминия и лития, их синтез и перспективы использования в технике // *VII Всесоюзная конференция по химии и технологии редких щелочных металлов*. Апатиты, 1988.

СИНТЕЗ ГИДРОКСОСТАНАТА СТРОНЦИЯ, ДОПИРОВАННОГО ЦЕРИЕМ

Раков П.А., Апарнев А.И., Логинов А.В.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
prakov7@gmail.com

Гидроксостаннаты представляют собой класс неорганических соединений, относящихся к двойным гидроксидам олова (IV) и двухвалентных металлов с общей формулой $M\text{Sn}(\text{OH})_6$, где М – катион двухвалентного металла, в качестве которых могут выступать как щелочноземельные элементы (Mg, Ca, Sr, Ba), так и переходные металлы (Cu, Zn, Cd, Mn, Fe, Co, Ni и др.). Кристаллическая структура этих соединений имеет перовскитоподобный тип, что обуславливает их специфические физико-химические свойства и широкие возможности практического применения.

Материалы на основе $\text{SrSn}(\text{OH})_6$ находят применение в разработке газочувствительных сенсоров [1–2], в качестве анодных материалов литий-ионных аккумуляторов, электродов суперконденсаторов и компонентов автономных источников энергии [3–4], а также в каталитических и фотокаталитических процессах [5].

В данном исследовании гидроксостаннат стронция $\text{SrSn}(\text{OH})_6$, допированный церием, был синтезирован гидротермальным методом следующим образом: сначала $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (4 ммоль) растворили в 50 мл 1 М HCl. Затем при интенсивном перемешивании в течении часа к раствору добавили $\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (4 ммоль) и $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (5 мол.%). Полученную смесь обрабатывали в ультразвуковой печи в течение 30 с и для достижения pH 10–10,5 добавляли 1М раствор NaOH. Далее полученную суспензию перенесли в автоклав из нержавеющей стали с тефлоновым вкладышем и нагревали при 160 °С в течение 4 ч. После охлаждения до комнатной температуры осадок отфильтровывали с помощью вакуумного насоса, промывали попеременно дистиллированной водой и абсолютным этанолом и высушивали в муфельной печи SNOL 6.7/1300 при температуре 105 °С в течение 4 ч.

По данным рентгенофазового анализа на дифрактограмме образца, высушенного при 110 °С на воздухе, регистрируются рефлексы, характерные для гексагидроксостанната стронция $\text{SrSn}(\text{OH})_6$ PDF4 файл № 9-0086, который имеет кристаллическую структуру с тетрагональной элементарной ячейкой. При этом введение ионов Ce^{3+} в решетку $\text{SrSn}(\text{OH})_6$ приводит к изменению интенсивности пиков и их смещению в сторону меньших углов ($2\theta = 18,84^\circ, 20,32^\circ, 21,58^\circ, 28,28^\circ, 28,97^\circ, 33,05^\circ, 35,67^\circ, 38,24^\circ, 41,29^\circ, 45,17^\circ, 50,79^\circ, \text{ и } 52,68^\circ$). Кроме того, отсутствие дополнительных пиков в спектрах предполагает, что в процессе синтеза не происходит роста какой-либо дополнительной фазы.

На основе полученного гидроксостанната стронция, допированного Ce^{3+} , был приготовлен композит с модифицированным нановолокнистым углеродом.

Удельную электрическую ёмкость композиционного материала определяли методом циклической вольтамперометрии.

Композиционный материал « $\text{SrSn}(\text{OH})_6\text{-Ce/C}$ » продемонстрировал свое потенциальное применение в качестве электродного материала в суперконденсаторах – удельная ёмкость составила 135 Ф/г по сравнению с 15 Ф/г для композита на основе однофазного $\text{SrSn}(\text{OH})_6$.

Таким образом, уникальное сочетание структурных и физико-химических свойств исследованных гидроксостаннатов вызывает большой интерес, что открывает перспективы для создания новых функциональных материалов с превосходящими характеристиками. Работа выполнена в рамках Тематического плана НИР НГТУ (проект ТП-ХХТ-1_26).

Список использованных источников

1. Yuan F., Ma S., Wen Y., Liu W., Pei S., Wang S., Zhang Q. The impact of Zn vacancy on gas sensitivity of $\text{ZnSn}(\text{OH})_6$ // *Applied Surface Science*. 2022. Vol. 614. Art. 156058. DOI: 10.1016/j.apsusc.2022.156058.

2. Loginov A.V., Aparnev A.I., Bannov A.G. Synthesis of copper-doped nanocrystalline tin stannate by thermal decomposition of a precursor // *Chimica Techno Acta*. 2024. Vol. 11, № 4. Art. 202411405. DOI: 10.15826/chimtech.2024.11.4.05.
3. Mandal M., Chattopadhyay K., Chakraborty M., Shin W., Bera K.K., Chatterjee S., Hossain A., Majumdar D., Gayen A., Nah C., Bhattacharya S.K. Room-temperature synthesis of perovskite hydroxide $\text{MnSn}(\text{OH})_6$: a negative electrode for supercapacitor // *Electronic Materials Letters*. 2022. Vol. 18. P. 559–567. DOI: 10.1007/s13391-022-00366-4.
4. Hu X., Tang Y., Xiao T., Jiang J., Jia Z., Li D., Li B., Luo L. Rapid synthesis of single-crystalline $\text{SrSn}(\text{OH})_6$ nanowires and the performance of SrSnO_3 nanorods used as anode materials for Li-ion battery // *Journal of Physical Chemistry C*. 2010. Vol. 114, № 2. P. 947–952. DOI: 10.1021/jp909903k.
5. Yanpei L., Jing C., Jiawen L., Yu S., Xiaofang L., Danzhen L. Hydroxide $\text{SrSn}(\text{OH})_6$: a new photocatalyst for degradation of benzene and rhodamine B // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2016. Vol. 182. P. 533–540. DOI: 10.1016/j.apcatb.2015.09.051.

СИНТЕЗ Sr₂Bi₂O₅ ИЗ ОКСАЛАТНЫХ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ

Тимакова Т.Е.^{1,2}, Тимакова Е.В.^{2,3}

¹Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск

³Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Научный руководитель: Тимакова Е.В., к. х. н., доцент

timakova@g.nsu.ru

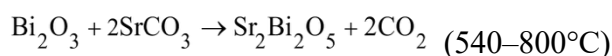
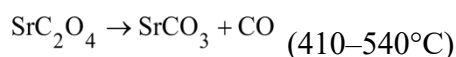
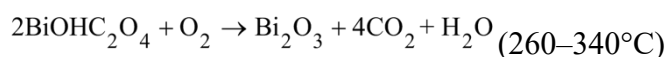
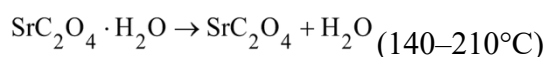
Sr₂Bi₂O₅ является представителем Sr–Bi–O систем, проявляющим фотокаталитические свойства [1]. Известны твердофазные синтезы Sr₂Bi₂O₅ из соответствующих оксидов, также его получают методом Печини и золь-гель методом на основе азотнокислых солей [2]. Синтез Sr₂Bi₂O₅ из оксалатных предшественников в литературе не описан. Преимуществом оксалатных предшественников является легкость их получения, возможность варьирования морфологии условиями синтеза, а также выделение в процессе термолиза в газообразную фазу только воды и окислов углерода.

Показано, что для синтеза оксидных материалов целесообразно использовать оксалат стронция состава SrC₂O₄·H₂O, синтез которого осуществляли добавлением азотнокислого раствора стронция к водному раствору (NH₄)₂C₂O₄·2H₂O при n(C₂O₄²⁻):n(Sr²⁺)=1,5 и t=70°C. Основной оксалат висмута BiOHC₂O₄ получали при обработке твердого основного нитрата состава [Bi₆O₄(OH)₄](NO₃)₆·H₂O раствором щавелевой кислоты при n(C₂O₄²⁻):n(Bi³⁺)=1,1 и t=70°C.

На основе полученных оксалатов висмута и стронция приготовлена смесь I при n(Bi³⁺):n(Sr²⁺)=1:1, также данную смесь дополнительно перетирали в спирте (смесь II).

Согласно данным рентгенофазового анализа монофазный Sr₂Bi₂O₅ получен поэтапным отжигом смеси I при 750°C и 800°C с выдержкой при каждой температуре в течение 6 ч в атмосфере воздуха, а также одноступенчатым отжигом смеси II при 850°C с выдержкой в течение 6 ч (рис. 1).

Основываясь на данных термического анализа смеси BiOHC₂O₄ и SrC₂O₄·H₂O (рис. 2), процесс твердофазного синтеза Sr₂Bi₂O₅ из соответствующих оксалатов можно представить последовательностью следующих стадий:



Состав выделяющихся газообразных продуктов при разложении оксалатов подтвержден данными масс-спектрометрии.

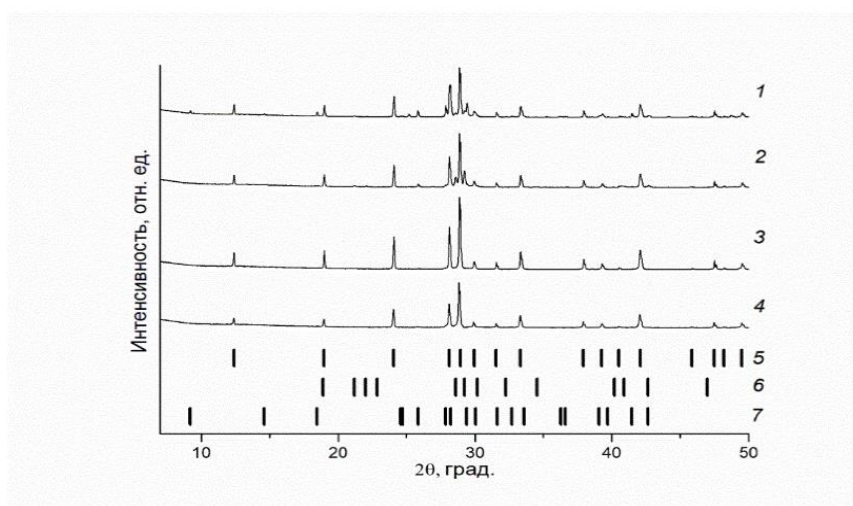


Рис. 1. Дифрактограммы продуктов отжига в течение 6 ч смеси I при 750°C (1), 800°C (2), 750°C и 800°C (3), смеси II при 850°C (4) и штрих-спектры Sr₂Bi₂O₅ (5), Sr₅Bi₆O₁₄ (6), SrBi₂O₄ (7)

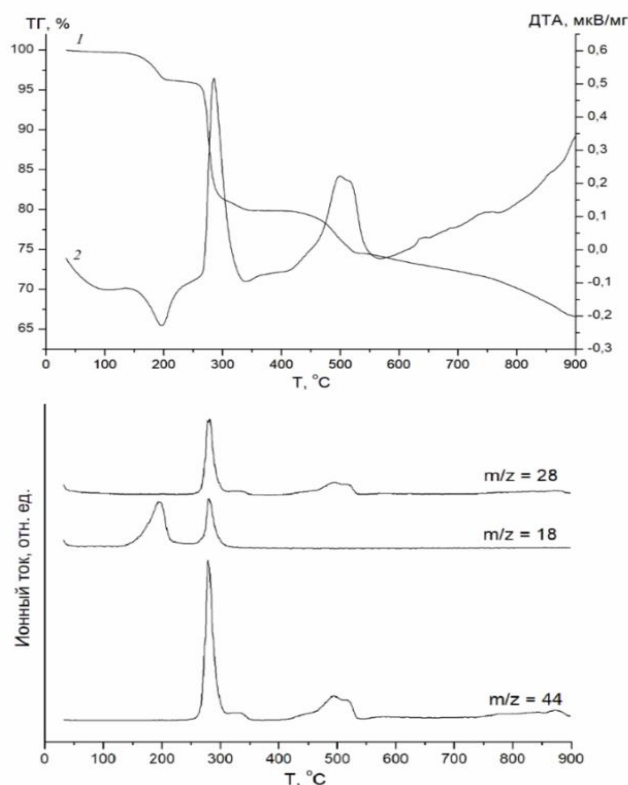


Рис. 2. Кривые ТГ (1), ДТА (2) смеси I в атмосфере Ar/O₂

Для образцов смеси I дисперсионным анализом установлено, что размер частиц D_{50} равен 3,27 мкм, средний размер частиц, рассчитанный геометрическим методом, – 3,23 мкм. Отжиг данной смеси приводит к укрупнению размеров частиц: D_{50} – 5,79 мкм, расчет – 5,69 мкм. Дополнительная обработка спиртом оксалатов висмута и стронция (смесь II) приводит к уменьшению размера частиц D_{50} до 1,84 мкм, рассчитанный средний размер частиц – 2,01 мкм. Отжиг данной смеси, аналогично предыдущему, приводит к спеканию частиц: D_{50} – 6,81 мкм, расчет – 6,23 мкм. Данные дисперсионного анализа и СЭМ согласуются (рис. 3)

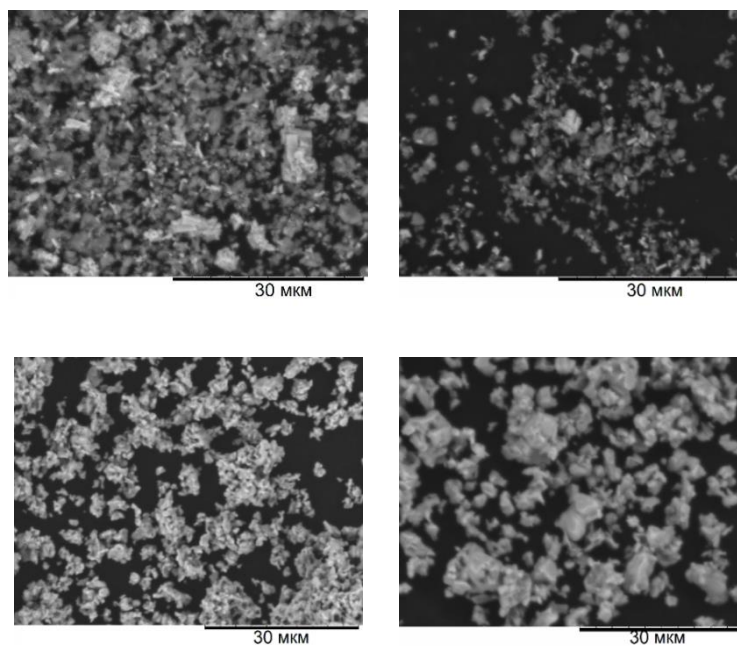


Рис. 3. Изображения СЭМ смеси I (а), смеси II (б), а также продуктов их термолиза $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ (в, г) соответственно

Работа выполнена в соответствии с тематическим планом ИХТТМ СО РАН 121032500064-8.

Список использованных источников

1. Shtarev D.S. et al. Solid-state synthesis, characterization, UV-induced coloration and photocatalytic activity: the $\text{Sr}_6\text{Bi}_2\text{O}_{11}$, $\text{Sr}_3\text{Bi}_2\text{O}_6$ and $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ bismuthates // *Catalysis Today*. 2020. Т. 340. С. 70–85.
2. Leitner J. et al. Heat capacity, enthalpy and entropy of SrBi_2O_4 and $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ // *Thermochimica Acta*. 2012. Т. 531. С. 60–65.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ АНТРАЦИТА ГОРЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УГОЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Лобанцов С.А., Крутский Ю.Л., Гудыма Т.С.
Новосибирский государственный технический университет,
63073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
krutskii@yandex.ru

Горловский бассейн содержит многочисленные пласты высококачественных углей марки антрацит. Мощность угольных пластов изменяется от 2-3 м до 15-20 м и более. Добыча антрацита в Новосибирской области за 2025г составила 16,6 млн. тонн. предприятиями группы компаний «Сибирский Антрацит» - 15,5 млн. тонн и ООО «Разрез Богатырь» - 1,1 млн тонн.

Подготовка антрацита для производства угольных изделий включает несколько ключевых технологических этапов: дробление, обогащение, термообработку (прокалку) и, в некоторых случаях, активацию. Эти процессы направлены на улучшение физико-химических свойств материала, повышение его прочности, электропроводности и других характеристик, необходимых для конкретных технологических переделов.

Для получения активных углей или пористых углеродных материалов антрацит может подвергаться дополнительной обработке различными методами. Возможен предварительный пиролиз антрацита в токе азота при температурах 850–900 °С с последующей активацией диоксидом углерода. При химической активации осуществляется обработка антрацита кислотами (HClO₄ или HNO₃) с последующей активацией. Также возможна обработка гидроксидами металлов. Измельчённый до определённой фракции антрацит смешивают с гидроксидами лития, натрия или калия, затем активируют в проточном реакторе в атмосфере аргона.

Антрациты широко используются в производстве электродной продукции и подовой массы, углеграфитовых блоков, футеровки доменных и угольных электродов сталеплавильных печей, карбидов кальция, кремния, титана, термоантрацита, термографита и т. д. [1].

Технология термообработки антрацита:

Прокалка (термообработка) направлена на уменьшение количества летучих веществ (в том числе и S-содержащие соединения), увеличение плотности, увеличение электропроводности, механической прочности и упорядочивание углеродной структуры [2]. Термообработка осуществляется: во вращающихся трубчатых печах при температуре 1250–1350 °С (газовая кальцинация) [3], в электропечах при температуре 1600-2000 °С (электрокальцинация). Предприятие в регионе ООО «ЭЛ 6» (ранее Новосибирский электродный завод) использует вращающиеся прокалочные печи УВК-60×3,5, а для производства электрокальцинированного термоантрацита электрокальцинатор ИЭТ-10.

Во время прокаливания антрацита по мере повышения температуры происходит упорядочивание его структуры (вплоть до кристаллической решетки графита) и, как следствие, изменяются физико-химические свойства. При температурах 700–750 °С летучие продукты выделяются в результате прямой дистилляции с частичным пиролизом. Пористость увеличивается примерно до 1200 °С. Образующийся пиролитический углерод отлагается плотным слоем в порах и на поверхности прокаливаемого материала, увеличивая плотность материала. Одновременно с пиролизом происходит конденсация и полимеризация углеводородов с обогащением их углеродом, что и обуславливает усадку. Этот процесс завершается образованием плоских углеродистых сеток (плоских углеродистых гексагональных решеток). Но на этом этапе еще не происходит образование трехмерной упорядоченной структуры.

В процессе прокаливания выделяются четыре температурных интервала:

1. 500–700 °С – очень высокое электрическое сопротивление;
2. 700–1200 °С – резкое падение сопротивления;
3. 1200–1650 °С – изменение отсутствует;

4. > 1650 °С –падение сопротивления (начало процесса графитации).

Характер изменения физико-химических свойств углеродистых материалов в процессе их прокаливания в основном определяется характером и ходом дегазации и первичной усадки материалов. Резкое повышение электропроводности, истинного удельного веса и механической прочности материалов по ходу их дегазации является естественным результатом весьма интенсивного пиролиза слагающих материал углеводородов с отложением пирогенетического графита и обусловленного этим пиролизом процесса структурного уплотнения материала.

Таким образом, сущность основных процессов, происходящих в углеродных материалах при их прокаливании, сводится к их дегазации, протекающей в основной своей части путем пиролиза углеводородов и обуславливающей удаление наименее карбонизированных летучих ингредиентов материала с отложением пирогенетического графита и структурное уплотнение материала.

Для повышения качества антрацита, используемого для производства угольных изделий, могут быть применены различные методы и подходы, в первую очередь, улучшения качества сырья и процесса прокаливания. Улучшение качества сырья может быть достигнуто путем внедрения инновационных способов обогащения антрацита с предварительной селективной выемкой сырья при добыче полезных ископаемых. В результате, которого можно получить антрацит с требуемой влажностью, зольностью, содержанием серы и другими параметрами.

В процессе прокаливания материал претерпевает сложные физико-химические превращения, сущность которых состоит в развитии и формировании кристаллической решетки графита, что приводит к повышению его плотности и удельной электропроводности. На практике данные показатели используются для оценки качества прокаленного материала. Во многом эффективность процесса прокаливания зависит от температуры процесса. Электрокальцинированный антрацит является более качественным нежели чем газокальцинированный, так как в электрокальцинаторах достигаются более высокие температуры.

При повышении качества термоантрацита, применяемого как в черной, так и в цветной металлургии может быть повышена мощность и производительность электропечей и электролизеров, прибыль предприятий, а также могут снизиться затраты на приобретения дорогого и дефицитного графита.

Список использованных источников

1. Селезнев А.Н. *Углеродистое сырьё для электродной промышленности*. М.: Профиздат, 2000. 256 с.
2. Бажин В.Ю., Шариков Ф.Ю., Фещенко Р.Ю., Судницын Е.О. Воздействие на структуру и свойства углей при экстремальной термообработке // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. № 7. С. 13–16.
3. Пат. 2115634 Российская Федерация, МПК С10L 9/08, С10В 49/04. Способ получения антрацита во вращающейся трубной печи / Хан А.В., Дьяконова Л.А., Чернобровин В.П., Ларина И.И., Мартынов В.И., Зайко В.П., Карноухов В.Н.; заявитель и патентообладатель АООТ «Челябинский электрометаллургический комбинат». № 95117483/04; заявл. 09.10.1995; опубл. 27.09.1998.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ АКТИВНОГО СКАНИРОВАНИЯ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И РАЗМЕР ПРОДУКТА ЛАЗЕРНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОКСАЛАТА ЦЕРИЯ

Миллер Я.А.^{1,2}, Багишев А.С.², Титков А.И.²

¹ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет, ул. Проспект Карла Маркса, 20,
Новосибирск, ya.44iller@yandex.ru

Диоксид церия благодаря высокой термической стабильности, кислородной проводимости и каталитической активности широко применяется в качестве носителя для катализаторов окисления и материала электролита твердооксидных топливных элементов. Получение CeO_2 с заданной дисперсностью и низким содержанием примесей является актуальной задачей, и одним из перспективных подходов к её решению служит лазерный термолиз тонких слоёв прекурсоров [1]. В работе изучалось влияние параметров лазерного сканирования (мощность, диаметр пятна, частота следования импульсов) на фазовый состав и размер кристаллитов оксида церия при термолизе оксалата церия.

Плётки прекурсора формировали из суспензии оксалата церия, полученного осаждением из раствора нитрата церия щавелевой кислотой, с последующим измельчением в бисерной мельнице DISPERMAT (шары 0,6–0,8 мм). Суспензию наносили на стальные подложки; после сушки масса слоя составляла около 76 мг. Лазерную обработку проводили при варьировании мощности 4,5–27 Вт, раstra 0,1–0,01 мм, частоты модуляции 10–100 кГц, длины микрошага 30, 60, 90 и 120 у.е. при постоянной частоте выдачи 10 кГц, что соответствует линейной скорости сканирования 0,694; 1,388; 2,083 и 2,777 м/с. Фазовый состав исследовали методом рентгенофазового анализа на дифрактометре D8 Advance Bruker (Cu K α -излучение, диапазон $2\theta = 8\text{--}100^\circ$).

Установлено, что при лазерной обработке всех образцов формируется кубическая фаза CeO_2 со структурой флюорита (пр. гр. Fm $\bar{3}m$, PDF 34-0394). Из всех варьируемых параметров лазерного воздействия наиболее существенное влияние на фазовый состав и дисперсность продукта оказывает скорость активного сканирования. С её увеличением наблюдается уширение дифракционных пиков и снижение их интенсивности, что указывает на уменьшение размера областей когерентного рассеяния (ОКР). По формуле Шеррера ($K = 0,9$) для рефлекса (111) при $2\theta \approx 28,5^\circ$ размеры кристаллитов составили 24 нм при скорости 0,694 м/с (30 у.е.), 19 нм при 1,388 м/с (60 у.е.), 13 нм при 2,083 м/с (90 у.е.) и 5 нм при 2,777 м/с (120 у.е.). Во всех образцах кристаллические примеси (в том числе оксалат церия) не обнаружены; однако на дифрактограммах зарегистрировано широкое аморфное гало. Данное гало обусловлено присутствием рентгеноаморфной фазы, образующейся при неполном термическом разложении оксалатного прекурсора и формировании пористой структуры («пены»). С повышением скорости сканирования время термического воздействия сокращается, что приводит к постепенному ослаблению гало, т.е. к уменьшению доли аморфной составляющей. Параллельно наблюдается уменьшение размеров кристаллитов оксида церия: от 24 нм при низких скоростях до 5 нм при максимальной скорости. Таким образом, низкоскоростной режим способствует образованию значительного количества аморфной фазы (интенсивное гало) и относительно крупных кристаллитов, тогда как высокоскоростной – формированию нанокристаллического CeO_2 с пониженным содержанием аморфной фазы.

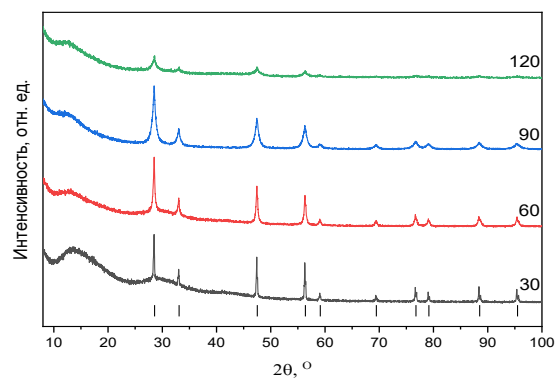


Рис. 1. Дифрактограммы образцов, полученных при различных скоростях активного сканирования. Штриховыми линиями отмечены положения рефлексов CeO_2 (PDF 34-0394).

Список использованных источников

1. Кузьмин М.В., Титов С.А. Лазерный синтез нанооксидов металлов из тонких слоёв прекурсоров // *Журнал технической физики*. 2025. Т. 95, № 4. С. 112–118.
2. Tarasov A.B., Popov V.K., Krasnov A.A. Laser-induced synthesis of nanostructured CeO_2 from cerium oxalate layers // *Applied Surface Science*. 2018. Vol. 456. P. 123–130.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ОТМЫВКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКСЕНА Ti_3C_2 , СИНТЕЗИРОВАННОГО МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ТРАВЛЕНИЯ

Коряковцева А.А.¹, Уваров Н.Ф.^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск

koryakovceva.a@mail.ru

Максены получают путём селективного извлечения атомов А из слоистых прекурсоров - МАХ-фаз состава $M_{n+1}AX_n$, которые состоят из слоёв карбидов или нитридов переходных металлов ($M_{n+1}X_n$), чередующихся со слоями атомов А [1]. Связи М–А более химически активны, чем более прочные связи М–Х, что делает возможным селективное выщелачивание элемента А из структуры с сохранение слоев $M_{n+1}X_n$. В настоящей работе проведен синтез максена Ti_3C_2 из МАХ-фазы Ti_3AlC_2 выщелачиванием алюминия смесью водных растворов NH_4F и HCl . Было замечено, что свойства получаемого максена сильно зависят от методов его очистки от побочных продуктов реакции. В данной работе исследовано влияние методов очистки на свойства получаемого максена.

В химический стакан объемом 100 мл при постоянном перемешивании на магнитной мешалке (300 об/мин) добавляли 0.9 г фторида аммония (NH_4F) к 18-20 мл соляной кислоты (HCl). Экзотермическая реакция сопровождалась незначительным повышением температуры. Перемешивание продолжали в течение 10 минут до полного растворения NH_4F и получения прозрачного раствора.

При интенсивном перемешивании порциями в течение 10 минут добавляли 1.0 г порошка Ti_3AlC_2 . Температуру реакционной смеси поддерживали на уровне 40-50°C. Реакцию проводили в течение 24 часов при непрерывном перемешивании. В процессе травления наблюдалось выделение водорода и изменение цвета суспензии с серого на черный.



Осадок разделяли на две равные части для сравнительного исследования методов промывки:

Метод 1 (промывка раствором HCl): Осадок многократно (5-7 раз) промывали 1М раствором HCl с последующей промывкой дистиллированной водой до достижения рН 5.5-6.0. После каждой промывки проводили центрифугирование при 3500 об/мин в течение 15 минут.

Метод 2 (промывка раствором HF): Осадок промывали 1М раствором HF (2-3 раза) с последующей промывкой дистиллированной водой до рН 5.5-6.0. Центрифугирование проводили в аналогичных условиях.

После окончательной промывки осадки сушили на магнитной мешалке при температуре 120 °С в течение 2 часов.

Рентгеновские дифрактограммы были получены с помощью порошкового дифрактометра (Bruker D8 Advance) с использованием $CuK\alpha$ -излучения ($\lambda \sim 1,54 \text{ \AA}$) в диапазоне углов $2\theta = 3-60^\circ$.

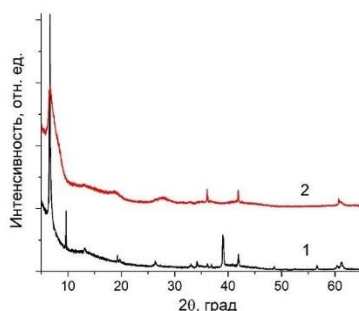


Рис. 1. Дифрактограммы MXene, отмытого растворами HF (1) и HCl (2)

Оказалось, что положение пика и его ширина зависят от метода отмывки продукта выщелачивания. Сдвиг пика (002) и изменение межслоевого расстояния d_{002} объясняется несколькими возможными факторами:

1. При промывке раствором HCl происходит частичное замещение относительно малых фторидных групп F в межплоскостном пространстве максена на терминаций на более объемные OH-группы и молекулы воды;
2. Поверхностные OH- и O-группы усиливают гидрофильность поверхности, способствуя внедрению большего количества молекул воды в межслоевое пространство;
3. Интеркаляция ионов аммония, присутствующих в системе из исходной смеси дополнительно увеличивает значение d_{002} [3].

При отмывке образца раствором HF происходит уменьшение размера кристаллитов максена, что указывает на существенную деградацию структуры. Это может быть связано с более агрессивным воздействием HF и приводит к появлению вакансий углерода и титана в карбидных слоях.

Исследование показало, что синтез Ti_3C_2 методом селективного травления в системе NH_4F/HCl является эффективной и безопасной альтернативой использованию концентрированной HF. Расширение межслоевого пространства в образцах после обработки раствором HCl обусловлено замещением поверхностных F-групп на объемные -OH/-O группы и усилением гидратации. Механизм различий связан с тем, что HCl модифицирует поверхность без разрушения карбидных слоев, а HF инициирует дополнительное травление, формирующее структурные дефекты.

Список использованных источников

1. Naguib M., Kurtoglu M., Presser V., Lu J., Niu J., Heon M., Hultman L., Gogotsi Y., Barsoum M.W. Two-dimensional nanocrystals produced by exfoliation of Ti_3AlC_2 // *Advanced Materials*. 2011. Vol. 23, № 37. P. 4248–4253. DOI: 10.1002/adma.201102306.
2. Anasori B., Lukatskaya M.R., Gogotsi Y. 2D metal carbides and nitrides (MXenes) for energy storage // *Nature Reviews Materials*. 2017. Vol. 2. Art. 16098. DOI: 10.1038/natrevmats.2016.98.
3. Zhang T., Shevchuk K., Wang R.J., Kim H., Hourani J., Gogotsi Y. Delamination of chlorine-terminated MXene produced using molten salt etching // *Chemistry of Materials*. 2024. Vol. 36. P. 1998–2006. DOI: 10.1021/acs.chemmater.3c02872.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ДИОКСИДА ТИТАНА ИЗ ЛЕЙКОКСЕНОВОГО КОНЦЕНТРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОСУЛЬФАТА КАЛИЯ (KHSO₄) КАК ЭКОЛОГИЧНАЯ АЛЬТЕРНАТИВА

Мирная В.А.¹, Соколов В.В.², Наумов Н.Г.², Крутский Ю.Л.¹, Гудыма Т.С.¹

¹ Новосибирский государственный технический университет

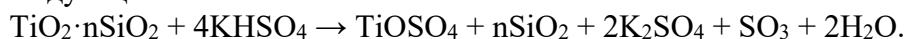
² Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН

Новосибирск, Россия

viktoriya.m1004@gmail.com

Лейкоксовые руды Ярегского месторождения (Республика Коми) содержат до 10-12 % TiO₂ и являются одним из крупнейших источников титана в России [1]. Флотационный лейкоксеновый концентрат содержит 45-50 % TiO₂ и 40-45 % SiO₂ [1]. Основная проблема переработки такого сырья состоит в тонком проращении минералов TiO₂ с кварцем, что существенно затрудняет применение традиционных методов обогащения [1]. Существующие сернокислотная и хлоридная технологии характеризуются высокой коррозионной активностью, образованием больших объемов кислых отходов и выбросами хлора [1, 2].

В качестве альтернативного реагента предложено использование гидросульфата калия (KHSO₄), который при нагревании выше 300 °С способен сульфатизировать устойчивые оксиды [3]. Шихту из лейкоксенового концентрата и KHSO₄ в массовом соотношении 1:5 нагревали в кварцевой ампуле при 670-690 °С в течение 0,5–1 ч. Процесс извлечения титана можно описать следующей схемой:



После охлаждения спек измельчали и выщелачивали холодной водой (Т ≈ 20 °С) порциями до нейтральной среды. Нерастворимый остаток, обогащенный SiO₂, отделяли фильтрованием. Кислый раствор, содержащий TiOSO₄, обрабатывали раствором аммиака сначала до pH 4-6, затем до щелочной среды. Полученные осадки прокаливали при 700–800 °С.

По данным рентгенофазового анализа (дифрактометр Shimadzu XRD-7000, CuKα), нерастворимые остатки после выщелачивания представлены преимущественно кварцем с примесями рутила (до 15 %) и анатаза (~1 %), что подтверждает эффективное отделение основной массы TiO₂ от лейкоксенового концентрата.

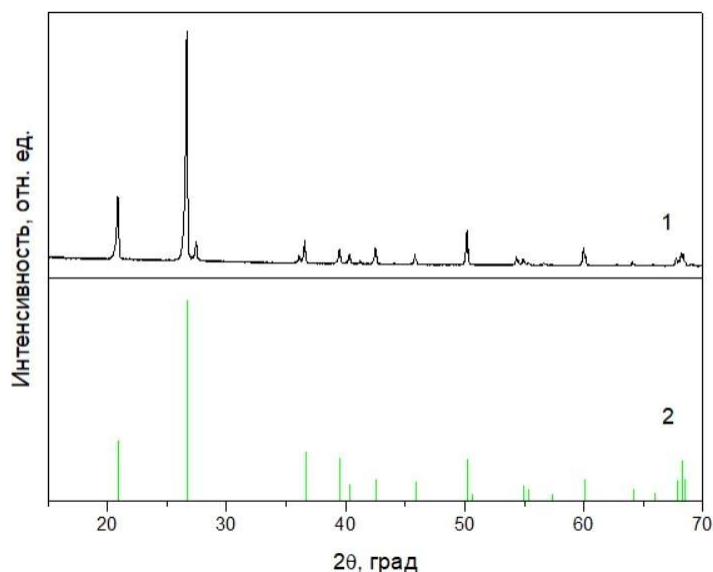


Рис. 1. Фазовый состав нерастворимого остатка после отделения диоксида титана (1): кварц SiO₂ (92 %) с небольшими примесями рутила TiO₂ (8 %) и штрих-диаграмма кварца SiO₂ по данным SpringerMaterials (2)

Предложенный метод потенциально обладает рядом экологических и технологических преимуществ по сравнению с традиционными подходами: использование твердого реагента вместо концентрированной серной кислоты, отсутствие прямого применения хлора и, как следствие, выбросов хлорсодержащих газов, а также снижение коррозионной нагрузки на оборудование. Таким образом, спекание лейкоксенового концентрата с KHSO_4 с последующим водным выщелачиванием и аммиачным осаждением позволяет эффективно извлекать TiO_2 из труднообогатимого сырья и может рассматриваться как перспективная альтернатива существующим технологиям переработки лейкоксеновых руд Ярегского месторождения.

Список использованных источников

1. Анисонян К.Г. *Физико-химические основы магнетизирующего обжига лейкоксеновых руд и концентратов*: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2014. 143 с.
2. Смороков А.А., Кантаев А.С. Извлечение титана из лейкоксенового концентрата с использованием фторида аммония // *Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине (ФТПНПМ-2019)*: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 30 сент. – 4 окт. 2019 г. Томск: Нац. исслед. Томский политехнический университет, 2019. С. 68.
3. Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л. *Химические свойства неорганических веществ*: учеб. пособие для вузов / под ред. Р.А. Лидина. 3-е изд., испр. М.: Химия, 2000. 480 с.

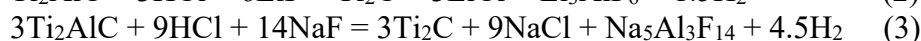
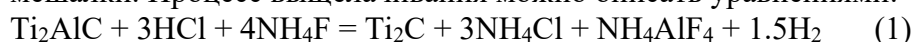
СИНТЕЗ МАКСЕНА Ti_2C ОБРАБОТКОЙ РАЗЛИЧНЫМИ РЕАГЕНТАМИ

Игнатюк Ю.Д., Уваров Н.Ф.

Новосибирский государственный технический университет

ignatyuk.yd@gmail.com

Максены (MXenes), - семейство двумерных карбидов, карбонитридов и нитридов с общей формулой $M_{n+1}X_nT$, где M - переходный металл, X - углерод или азот, n - обычно целое число между 1 и 5, а T — это поверхностные группы, (такие как гидроксил, кислород или фтор) [1]. За счет высокой проводимости, многослойной структуры и поверхностных групп O/OH- в составе максены имеют множество уникальных свойств, полезных для энергетики, наноэлектроники и других областей. Основным способом получения является выщелачивание элемента A из MAX -фазы, однако, в качестве выщелачивающих агентов можно брать не только HF , но и смеси растворов HCl и различных фторидов [2]. Использование смеси HCl с фторидными солями предпочтительнее концентрированного HF , поскольку в этом случае фтороводород образуется *in-situ* в низких концентрациях, что существенно повышает безопасность процесса и упрощает работу с реагентами. Кроме того, катионы солей (Li^+ , NH_4^+) интеркалируются в межслоевое пространство, способствуя деламинации и позволяя контролировать поверхностную функционализацию максена, что напрямую влияет на его электрохимические свойства. Данный подход также обеспечивает лучшую воспроизводимость и масштабируемость синтеза по сравнению с использованием чистого HF [3]. В данной работе был проведен синтез максена Ti_2C . В качестве исходного соединения был взят порошок MAX -фазы Ti_2AlC , предварительно измельченный в ступке. В эксперименте для выщелачивания алюминия использовали три различных прекурсора: смеси из 1M раствора HCl с добавлением NH_4F , NaF и LiF . Реакции проводились в одинаковых условиях при комнатной температуре при постоянном перемешивании с использованием магнитной мешалки. Процесс выщелачивания можно описать уравнениями:



Протекание реакций сопровождалось выделением водорода и уменьшением частиц порошка исходной твердой MAX -фазы. После окончания реакции осадок отделялся от раствора центрифугированием с добавлением HCl , затем промывался дистиллированной водой с повторным центрифугированием до полного удаления кислоты и установления $pH_{p-ра} = 6-7$. Как видно из рис. 1, после отмытки образцов, синтезированных из разных прекурсоров, можно наблюдать смещение пиков максена Ti_2C и присутствие разного количества примесей.

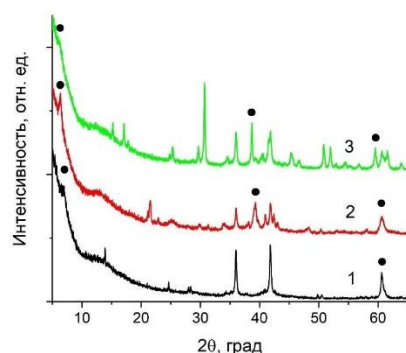


Рис. 1. Диффрактограммы максена Ti_2C после отмытки, черными точками отмечены пики максена. Черная кривая представляет собой синтез с использованием NH_4F , красная с LiF , зеленая с NaF .

При использовании NH_4F максен содержит наименьшее количество примесей, это связано с тем, что ионы NH_4^+ вымываются из межслоевого пространства легче всего, но образец содержит примесь TiC . В случае LiF в образце остается примесь Li_3AlF_6 , которая прочно удерживается в межслоевом пространстве и требуется более интенсивная промывка для полного удаления; однако именно Li^+ наиболее эффективно способствует интеркаляции и расслоению слоёв. При применении NaF образовались труднорастворимые натрий-алюминиевые фторидные комплексы (криолитоподобные фазы), кроме того, ионы Na^+ слабее интеркалируются по сравнению с Li^+ , что может снижать эффективность деляминации. Также можно заметить сдвиги рефлексов максена, что произошло за счет отличия в ионном радиусе катионов и разной степени выщелачивания алюминия. Таким образом, при использовании смеси из раствора HCl и NH_4F в качестве прекурсора для синтеза максена Ti_2C можно получить продукт с минимальным присутствием примесей.

Список использованных источников

1. Gogotsi Y., Anasori B. The rise of MXenes // *ACS Nano*. 2019. Vol. 13, № 8. С. 8491–8494.
2. Mahmud S.T. et al. Multilayer MXene heterostructures and nanohybrids for multifunctional applications: a review // *ACS Materials Letters*. 2022. Т. 4, № 6. С. 1174–1206.
3. Liu F., Zhou A., Chen J., Jia J., Zhou W., Wang L., Hu Q. Preparation of Ti_3C_2 and Ti_2C MXenes by fluoride salts etching and methane adsorptive properties // *Applied Surface Science*. 2017. Vol. 416, № 15. P. 781–789.

СИНТЕЗ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВОЙНОГО МОЛИБДАТА НАТРИЯ И ДИСПРОЗИЯ

Черникова М.С.¹, Семерикова А.Н.², Мацкевич Н.И.^{1,2}

¹ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

² Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск

Научный руководитель: д.х.н. Мацкевич Ната Ивановна

mshirobokova21@gmail.com

Соединение двойного молибдата натрия и диспрозия состава $\text{Na}_5\text{Dy}(\text{MoO}_4)_4$ при возбуждении в ультрафиолетовой области спектра демонстрирует интенсивную желтую фотолюминесценцию, что позволяет рассматривать его как многообещающий компонент для изготовления белых светодиодов [1]. Кроме того, аналогичные соединения могут быть использованы для создания термолюминисцентных дозиметров гамма-излучения, широкозонных полупроводников для оптоэлектроники, а так же в качестве высокочастотных диэлектриков.

В настоящей работе двойной молибдат натрия и диспрозия был получен методом твердофазного синтеза. В качестве прекурсоров использовались химически чистые Na_2CO_3 , Dy_2O_3 и MoO_3 взятые в стехиометрических соотношениях. Сухие порошки помещались в корундовый стакан вместе с корундовыми шарами и подвергались механическому перетиранию в планетарной мельнице Fritsch Pulverisette 6 при скорости вращения 120 об/мин без добавления растворителя. Полученную смесь спрессовывали в таблетки диаметром 13 мм с использованием гидравлического пресса ПГР-400. Далее таблетки отжигали на воздухе в печи при температуре 873 К в течение 15 ч.

Идентификацию соединения проводили с помощью многофункционального рентгеновского дифрактометра Tongda TD-3700 в диапазоне углов $2\theta = 5-70^\circ$ ($\text{CuK}\alpha$ - излучение). Энтальпия растворения полученного молибдата была измерена методом калориметрии в растворе в 1 М HCl при температуре 298.15 К.

Список использованных источников

1. Dutta S. et al. Synthesis and characterization of yellow light emitting $\text{Na}_5\text{Dy}(\text{MoO}_4)_4$ double molybdate phosphor // *Physics Express*. 2013. Vol. 3. P. 24.

КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ГИДРИРОВАНИЕ П-НИТРОФЕНОЛА В ВОДЕ В МЯГКИХ УСЛОВИЯХ: ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ КАТАЛИЗАТОРА И СОСТАВА РЕАКЦИОННОЙ СРЕДЫ

Грибанова Н.А.^{1,2}, Комова О.В.¹, Озерова А.М.¹, Муха С.А.¹, Симагина В.И.¹,
Нецкина О.В.¹

¹Институт катализа СО РАН

²Новосибирский государственный технический университет

ggrnxdd@mail.ru

Из-за востребованности п-нитрофенола (ПНФ) для производства компонентов лекарственных препаратов, агрохимикатов и красящих веществ, а также его хорошей растворимости в воде и химической устойчивости к деградации существует проблема загрязнения окружающей среды отходами этого соединения. Каталитическое гидрирование ПНФ (2 класс опасности) до менее токсичного п-аминофенола (ПАФ, 4 класс опасности) является одним из широко обсуждаемых решений [1].

В данной работе изучено каталитическое гидрирование ПНФ до ПАФ в воде с использованием борсодержащих гидридов – боргидрида натрия (БГН, NaBH_4) и амминборана (АБ, NH_3BH_3) – как восстановителей [2]. Отличительной особенностью процесса является возможность достижения 100 % конверсии ПНФ с использованием воды в качестве растворителя в мягких условиях: на воздухе и без дополнительного нагрева. В качестве катализаторов были изучены наноструктурированные металлические порошки: Ru, Ni, а также Ni-Ru сплавы с 2 и 7 ат.% Ru.

Катализаторы Ni, Ru и Ni-Ru были приготовлены методом восстановительного термолитза (H_2 , 400 °С) соответствующих гидроксидных предшественников. Для Ni катализатора также использовали альтернативный метод гальванического замещения (ГЗ), основанный на взаимодействии промышленного порошка Al с NiCl_2 . Фазовый состав катализаторов подтверждён рентгенофазовым анализом (РФА). Для сплавов методами РФА и сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (СЭМ-ЭДС) доказано формирование однофазной кубической структуры с равномерным распределением Ru в Ni (см. рис. 1). Благодаря магнитным свойствам катализаторы легко отделяются от реакционной среды с помощью внешнего магнита, что выгодно отличает их от других разрабатываемых систем. Активность катализаторов была изучена методом УФ спектроскопии.

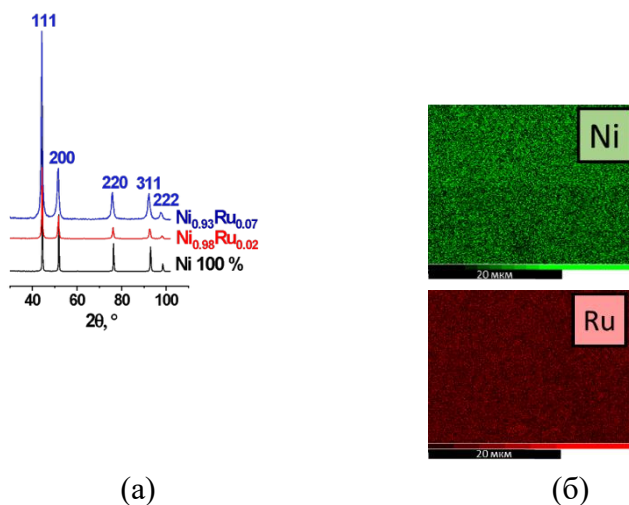


Рис. 1. (а) Данные РФА для синтезированных катализаторов;
(б) СЭМ-ЭДС для $\text{Ni}_{0.93}\text{Ru}_{0.07}$.

Боргидрид натрия является одним из широко используемых восстановителей в силу относительно высоких объемов промышленного производства и низкой стоимости. Однако твердый БГН начинает заметно разлагаться на влажном воздухе, а его водные растворы подвергается медленному гидролизу даже в отсутствие катализатора, что снижает удобство использования этого гидрида. Для решения этой проблемы в работе исследована возможность применения для каталитического гидрирования ПНФ стабильных щелочных растворов БГН, способных к длительному хранению без потери емкости по водороду.

При изучении активности катализаторов было показано, что превращение ПНФ в ПАФ сопровождается выделением водорода в ходе сопутствующего процесса каталитического гидролиза БГН. Найдены оптимальные условия реакции и установлена прямая взаимосвязь между выделением водорода и скоростью гидрирования ПНФ. Каталитическая активность ожидаемо увеличивается в ряду $Ni \ll Ni_{0.98}Ru_{0.02} < Ni_{0.93}Ru_{0.07} \ll Ru$. Введение в реакционную среду щелочи (NaOH) снижает активность катализатора, но при мольном отношении $BGN/ПНФ \geq 150$ возможно достижение 100 % конверсии ПНФ с высокой селективностью. Показано, что селективность процесса в присутствии щелочи зависит от стабильности потока выделяющегося водорода. Найдены условия, обеспечивающие длительное равномерное выделение H_2 , необходимое для предотвращения окисления ПАФ.

Другим подходом к решению проблемы неконтролируемого разложения БГН при контакте с H_2O является его замена на более устойчивый к гидролизу и стабильный при хранении амминборан. Эксперименты показывают, что помимо удобства использования, данный восстановитель позволяет значительно повысить скорость гидрирования ПНФ в присутствии Ni-Ru катализатора (см. рис. 2 а).

Также, начатые исследования демонстрируют перспективность синтеза магнитоотделяемого Ni катализатора методом ГЗ. Показано, что его активность сопоставима с активностью $Ni_{0.93}Ru_{0.07}$ катализатора (см. рис. 2 б). Дальнейшая работа направлена на модификацию поверхности никеля рутением, что, как ожидается, позволит увеличить активность.



Рис. 2. (а) Влияние природы гидрида и (б) состава и способа приготовления катализатора на скорость гидрирования ПНФ (на рисунке отношение гидрида к ПНФ указаны в молях).

Таким образом, эффективность каталитического гидрирования ПНФ в ПАФ зависит от природы и способа приготовления никельсодержащих катализаторов, щелочности реакционной среды, природы борсодержащего гидрида, используемого в качестве восстановителя, а также скорости выделения водорода в результате параллельно протекающего процесса каталитического гидролиза БГН или АБ.

Список использованных источников

1. Badamasi H., Naeem Z. et al. A review of recent advances in green and sustainable technologies for removing 4-nitrophenol from water and wastewater // *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 2025. Vol. 43. P. 25.
2. Grzeschik R., Schäfer D. et al. On the overlooked critical role of the pH value on the kinetics of the 4-nitrophenol $NaBH_4$ reduction catalyzed by noble-metal nanoparticles (Pt, Pd, and Au) // *The Journal of Physical Chemistry*. 2020. Vol. 124. P. 2939–2944.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / ПОСТЕРЫ

СЕКЦИЯ 2.

ОБЩИЕ ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Өтемұрат А.А., Савденбекова Б.Е.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
aidanaotemurattos@mail.ru

Проблема загрязнения водных ресурсов нефтепродуктами актуальна для современной промышленности. В процессе добычи, транспортировки и переработки нефти часто происходят разливы, приводящие к загрязнению водоемов. Эффективная и недорогая очистка воды является важной задачей, стоящей перед учеными. Гидрофильная природа многих пористых материалов ограничивает их использование для селективного поглощения нефти. Поэтому крайне важно разработать гидрофобные (водоотталкивающие) материалы для повышения эффективности разделения нефти и воды [1,2]. Диатомит - пористый, природный, экологически чистый минерал, который можно модифицировать, чтобы сделать его гидрофобным. Стеариновая кислота - это органическая кислота с длинной углеводородной цепью, которая химически адсорбируется на поверхности диатомита, образуя гидрофобный слой. Цель данной работы – модифицировать меламинаовую губку композитом на основе минерала диатомита, смолы для придания ей гидрофобных свойств и исследовать ее пригодность для использования в разделии нефти и воды.

Для получения дисперсии суспензию подвергли ультразвуковой обработке в 20 мл изопропанола (40 кГц) в течение 30 минут. В течение этого времени поверхность диатомит очищали. Исследования с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) показали, на рис. 1, что на поверхности частиц диатомита, обработанных изопропанолом, наблюдались морфологические изменения. В ИК-спектре после обработки изопропанолом в области $1450-1380\text{ см}^{-1}$ появились дополнительные полосы, соответствующие деформационным колебаниям групп CH_3 , что подтверждает наличие органических фрагментов на поверхности диатомита и очистку поверхности.

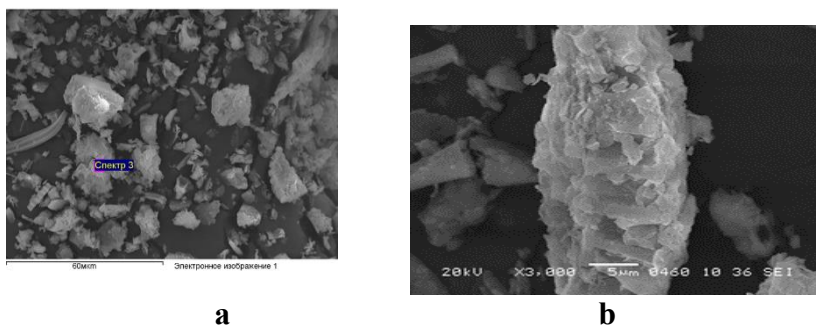


Рис. 1. а) SEM-изображение диатомита, б) SEM-изображение диатомита после диспергирования в изопропанол

2. Синтез диатомита@SA

0,75 г стеариновой кислоты растворили в 20 мл изопропилового спирта (75°C) и смешали с диатомитом в течение 3 часов. Продукт центрифугировали (4000 об/мин), промыли и высушили при 80°C в течение 12 часов. Появление полос при $2916, 2848\text{ см}^{-1}$ (C–H) и уменьшение интенсивности -OH ($3415-3440\text{ см}^{-1}$) в ИК-спектре подтвердили химическую адсорбцию стеариновой кислоты на поверхности. Смесь 0,42 г диатомита@SA, 0,30 г смолы, ацетона (2 мл) и изопропилового спирта (6 мл) диспергировали ультразвуком (10 мин). Губку импергировали в суспензию на 30 минут, а затем сушили при 80°C в течение 5 часов.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Гидрофобность модифицированной губки

Капля воды, нанесенная на поверхность модифицированной губки, не впиталась и скатилась (угол смачивания более 90°) Немодифицированная губка полностью впитала воду.

В чашку Петри налили 15 мл воды и 3 капли нефти. При погружении модифицированной губки в смесь она впитала только масло, а не воду.

Таблица 1. Впитывающая способность модифицированной губки

Показательные значения	Масса, грамм
Начальная масса губки	0,240 г
Масса модифицированной губки	0,450 г
Прирост массы	0,210 г

Сорбционную емкость рассчитывали по формуле $Q = (m_1 - m_0)/m_0$. Масса сухой губки составляла 0,240 г, после модификации – 0,450 г. Сорбционная емкость по нефти составила 0,875 г/г. На рис. 2. (b) водопоглощение не наблюдалось.

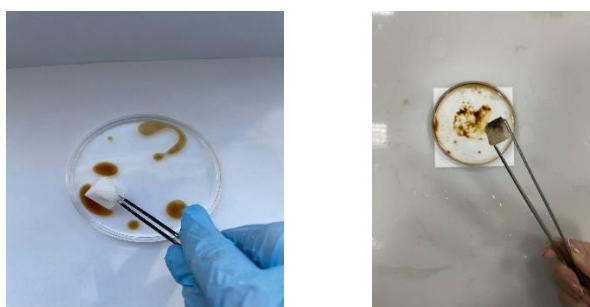


Рис. 2. (a) –немодифицированная губка, (b)- модифицированная губка

Заключение

Предложенный метод позволяет сделать поверхность меламиновой губки гидрофобной и наделять её способностью избирательно поглощать масло. Полученный материал может быть эффективно использован для очистки воды, загрязненной нефтепродуктами.

Список использованных источников

1. Ван Дж., Чжэн Ю., Ван А. Получение и механизм гидрофобно модифицированных диатомитовых покрытий для разделения нефти и воды // *Separation and Purification Technology*. 2022. Т. 288. Art. 120586.
2. Озен И., Шимшек С., Озджан Г. Управление смачиваемостью поверхности и маслопоглощающей способностью диатомита в зависимости от условий обработки и окружающей среды // *Applied Surface Science*. 2015. Т. 332. С. 22–31.

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 2,2-ПРОПАРГИЛОКСИБЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ НА СЕМЕНА ОДНОДОЛЬНЫХ И ДВУДОЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ

Дуйсенали А.М.^{1,2*}, Елибаева Н.С.^{2,3}, Бурашева Г.Ш.^{2,3}, Умбетова А.К.^{2,3},
Литвиненко Ю.А.^{2,3}, Асылханов Ж.С.^{2,3}, Сасыкова Л.Р.^{2,3}

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Научно-исследовательский институт новых химических технологий и материалов, Алматы, Казахстан

³Казахский национальный университет имени аль-Фараби, факультет химии и химической технологии
duisenali-a@mail.ru

Кислородсодержащие гетероциклические соединения широко исследуются в современной органической и фармацевтической химии благодаря их синтетической гибкости и биологической активности, что делает их важной основой для создания лекарственных препаратов, агрохимических агентов и функциональных материалов [1]. В последние годы опубликованы специализированные обзоры, посвященные кислородсодержащим гетероциклам, в которых рассмотрены достижения в области инновационных методов их синтеза и биологического применения [2].

2,2-Диметилтетрагидропиран-4-он представляет собой шестичленный насыщенный гетероциклический соединение. В его структуре при одном атоме углерода расположены две метильные группы (2,2-диметил), а в положении 4 — карбонильная группа. Благодаря этим особенностям данная молекула структурно близка к γ -кетоксидам и играет важную роль как промежуточный продукт при синтезе γ -лактонов и γ -лактамов [3].

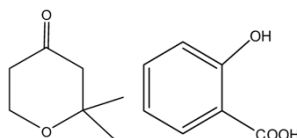


Рис.1. Структурные формулы 2,2-диметилтетрагидропиран-4-она и салициловой кислоты.

Пропаргильная группа широко используется в органическом синтезе и является эффективным реагентом для получения сложных гетероциклических соединений. Введение данной группы рассматривается как важный инструмент современных исследований, позволяющий расширять структуру гетероциклов; в последние годы опубликованы обзоры, посвященные синтезу и применению пропаргильных производных [3]. Кроме того, салициловая кислота является важным фитогормоном в физиологии растений, регулирующим рост и реакции на стрессовые условия, в частности развитие и рост корневой системы [4].

На основе этих исследований очевидно, что разработка новых методов синтеза кислородсодержащих гетероциклов и изучение их влияния на растения являются актуальными задачами современной науки и прикладной химии. Это демонстрирует интеграцию современных методов химического синтеза и биологических исследований [5].

Экспериментальная химическая часть

Ход реакций и чистота полученных продуктов контролировались методом тонкослойной хроматографии (ТСХ). Для этого использовались пластины Sorbifil (Sorbpolymer, Краснодар, Россия), покрытые силикагелем СТХ-1А с индикатором UV-254, размер частиц 5–17 мкм. В качестве элюента применялась смесь бензола и этанола в соотношении 1:3. Растворители для перекристаллизации и синтеза были приобретены у компании Merck KGaA с чистотой $\geq 99\%$. Инфракрасные (ИК) спектры соединений регистрировались на спектрометре Bruker Avance III 400 МГц в таблетках KBr. Синтез 2,2-

пропаргилоксибензойной кислоты был осуществлён с выходом 72% согласно литературным данным.

В данном исследовании с целью определения влияния 2,2-пропаргилоксибензойной кислоты на семена проводилось замачивание семян однодольных и двудольных растений в растворах различной концентрации в течение 12 часов. В качестве однодольного растения был выбран *Triticum aestivum* (пшеница), а в качестве двудольного — *Pisum sativum* (горох). Для исследования были приготовлены пять концентраций раствора: 0,1%; 0,01%; 0,001%; 0,0001%; 0,00001%. В каждом эксперименте использовалось по 25 семян, при этом каждая концентрация исследовалась в трёх повторностях.

Семена *Triticum aestivum*, замоченные в растворах различной концентрации, представлены на рисунке; количество семян в каждом сосуде одинаковое, а концентрация раствора указана в нижней части. Данное изображение отражает начальный этап эксперимента — процесс замачивания семян в течение 12 часов.



Рис. 2. Внешний вид семян пшеницы и гороха после выдерживания в растворе 2,2-пропаргилоксибензойной кислоты.

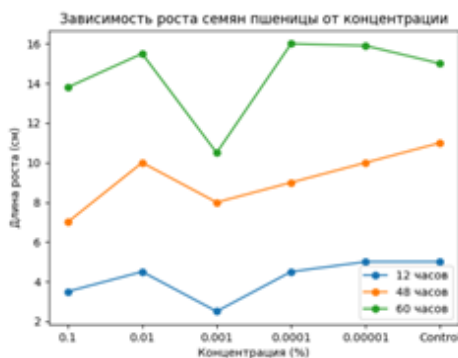


Рис. 3. Результаты воздействия 2,2-пропаргилоксибензойной кислоты на семена пшеницы и гороха после обработки раствором.

Показано влияние различных концентраций 2,2-пропаргилоксибензойной кислоты на длину роста семян пшеницы (через 12, 48 и 60 часов). Как видно из результатов, действие соединения носит концентрационно-зависимый характер. При низких концентрациях (0,0001–0,00001%) наблюдается увеличение длины роста по сравнению с контролем, что свидетельствует о стимулирующем эффекте на процесс роста. Особенно после 60 часов были зарегистрированы максимальные значения длины роста именно при этих концентрациях.

В то же время при относительно высокой концентрации (0,001%) наблюдается снижение показателей роста, что указывает на ингибирующее действие. При концентрации 0,01% рост вновь увеличивается и демонстрирует положительный эффект на определённом уровне, однако при концентрации 0,1% рост характеризуется нестабильностью.

Таким образом, установлено, что исследуемое соединение при низких концентрациях оказывает стимулирующее влияние на рост, тогда как при некоторых промежуточных концентрациях проявляет ингибирующий эффект.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (проект № AP23485116).

Список использованных источников

1. Ghosh T., Santra S., Zyryanov G. V., Ranu B. C. Recent Developments on the Synthesis of Oxygen- and Sulfur-containing Heterocycles and Their Derivatives under Visible Light-Induced Reactions. *Curr. Top. Med. Chem.* 2025, 25, 124-140. DOI:10.2174/0115680266313243240624071549.
2. Venkatachalam H., Anil Kumar N.V. The Oxygen-Containing Fused Heterocyclic Compounds. *IntechOpen*. 2019, DOI:10.5772/intechopen.88026.
3. Курц Д. Химия гетероциклов. — М.: Мир, 2010. — 560 б.
4. Gomonov K.A., Pilipenko I.A. Formation of Five- and Six-Membered Oxygen-Containing Heterocycles on the Basis of 1-Halo-1-Nitroalkenes. *Chem. Heterocycl. Compd.* 2023, 59, (1/2):1-104. DOI:10.1007/s10593-023-03155-5.
5. L. Aixia, S. Xue, Lijing L. Action of Salicylic Acid on Plant Growth 2022, 27, 13:878076. doi: 10.3389/fpls.2022.878076.
6. Aitzhamal Mussina, Gaukhar Baitasheva, Zaida Rakhimova, Baktigul Raimbekova*, Bibigul E. Gubasheva*, Galiya Medeuova*, Zhanna Baymurzina, Dariga Tynyshbek. Evaluation of tree species, *Aësculus hippocastanum* as a phytoremediator in conditions of artificial soil contamination. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 2025. Vol. 23 No. 3 pp. 707-720.

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ ПИРОЛИЗ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нефедова В.Л., Ташмухамбетова Ж.Х.

Казахский национальный университет имени Аль-Фараби
nefiodovavalentina0@mail.ru

В работе представлен анализ обзорных статей по переработке бытовых пластиковых отходов на основе таких наиболее распространенных полимеров как полиэтилен (PE), полипропилен (PP), полистирол (PSt), полиэтилентерефталат (PET), методами каталитического пиролиза. Данный метод применяют, с одной стороны – для снижения экологического загрязнения, наносимого пластиковыми отходами, с другой – для полноты переработки углеродсодержащего сырья в востребованные продукты потребления. Процесс позволяет получать из пластика жидкие топлива, газы и лёгкие углеводороды, уменьшая выбросы парниковых газов, которые образуются при обычном пиролизе. Рассмотрены вопросы влияния различных катализаторов, включая синтетические цеолиты и природные алюмосиликаты (HY, HZSM-5, бентонит, монтмориллонит), а также отход алюминиевого производства в виде красного шлама, модифицированные различными металлами (Ni, Co, Fe, Cu и др.) а также протонированные цеолиты из угольной золы (H-XA), которые повышают качество продуктов и снижают энергозатраты процесса.

Пиролиз с использованием катализаторов позволяет повысить выход ценных продуктов, снизить температуру процесса и сделать его более энергоэффективным.

Целью данной работы был анализ существующих технологий и катализаторов для каталитической переработки отходов пластиков на основе PE, PP, PSt, PET пиролизом и определение наиболее оптимальных условий их осуществления.

Как показали результаты анализа существующей литературы наиболее эффективным способом переработки отходов на основе PSt, PET является высокотемпературный пиролиз ($T > 600 - 700$ °C). Отходы на основе PE и PP высокого, среднего и низкого давления перерабатывают, в основном, методом каталитического пиролиза.

Основной целью пиролиза является получение из пластика: пиролитического масла – жидкого продукта, который может служить топливом или сырьём для химической промышленности; газа пиролиза – лёгких фракций, используемых для производства энергии; твёрдого остатка (кокса).

При каталитическом пиролизе полиолефинов (PE, PP, PSt, PET) на Me/Ni/HZSM-5 (где Me – Ce, Mg, La, Ca) при $T=700$ °C наблюдается более высокий выход водорода и легких газов по сравнению с другими металлическими катализаторами [1].

Исследован каталитический пиролиз полиэтилена низкого давления (LDPE) под воздействием микроволнового излучения на катализаторах HZSM-5, Ga/ZSM-5, Ga/Ni/ZSM-5, Ga/Co/ZSM-5 и Ga/Cu/ZSM-5). Металлы по разному влияли на выход и распределение продуктов. Ga/ZSM-5 дал максимальный выход жидкого масла – 41%. Ga/Ni/ZSM-5 дал длинноцепочечные олефины – 27%. Ga/Co/ZSM-5 привел к образованию тяжелого пиролизного масла с 25% длинноцепочечных парафинов, что делает его непригодным. Катализатор Ga/Cu/ZSM-5 дал богатое ароматическими углеводородами пиролизное масло с содержанием производных бензола 90%. Он генерировал наибольшее количество водорода и синтез-газа, а также максимальное количество кокса. Fe обладает более низкой активностью, чем Ni и Co, но его вводят в состав комплексных катализаторов переработки полимерных отходов из-за низкой стоимости [2].

Современные работы показывают, что использование в качестве носителя – природных алюмосиликатов, красного шлама или композитных катализаторов на их основе увеличивает выход жидкого топлива на ~15–25 % и снижает образование смол и полимерного кокса.

В работе [3], описан каталитический пиролиз реальной смеси постпотребительских пластиковых отходов с использованием цеолитов HY и HZSM-5, пропитанных Ni или Co (1 и 5 мас.%). Процесс проводили в интервале температур ~400–600 °C в отсутствие кислорода.

Были получены более легкие топливные фракции углеводородов и более высокий выход легкого и тяжелого масел пиролиза.

В обзоре, посвящённом переработке пластиковых отходов для получения альтернативного экологически чистого топлива для двигателей внутреннего сгорания, отмечается, что в каталитическом пиролизе используют различные катализаторы, включающие цеолиты и наноразмерные каталитические материалы [4]. Процесс проводится при высокой температуре ~ 300–400 °С. В ходе процесса образуются такие продукты как пиролитическое масло (топливо), газ, твёрдый остаток (кокс).

Переработка одноразовых пластиков из полиэтилена низкого давления (LDPE) методом каталитического пиролиза показала, что использование в качестве катализатора протонированного цеолита из угольной золы Н-ХА позволяет значительно улучшить пиролиз по сравнению с традиционным катализатором HZSM-5. На Н-ХА наблюдается снижение температуры деградации пластика на 97 °С, тогда как на HZSM-5 – на 110 °С; снижена энергия активации и образуются более лёгкие углеводороды состава C₃–C₉. Методами ТГА и ДТГА установлен температурный интервал деградации LDPE ~ 300-450 °С [5].

Таким образом, на основании проведенного литературного поиска было установлено, что каталитический пиролиз пластиковых отходов является перспективным методом их устойчивой переработки с получением ценных продуктов (жидких, твердых и газообразных). Применение эффективных катализаторов (металлизированные цеолиты, материалы на основе угольной золы) позволяет снижать энергозатраты, увеличивать выход топливных материалов, легких углеводородов, уменьшать образование кокса и контролировать, в целом, состав продуктов.

Исследования выполнены в рамках проекта BR28713351 «Разработка высокоэффективной каталитической технологии для комплексной переработки углеродсодержащих отходов в энергоресурсы и востребованные продукты», финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Список использованных источников

1. Al-Asadi M., Miskolczi N. High-temperature pyrolysis of municipal plastic waste using Me/Ni/ZSM-5 catalysts: the effect of metal/nickel ratio // *Energies*. 2020. Vol. 13, № 5. Art. 1284. DOI: 10.3390/en13051284.
2. Producing aromatic-rich oil through microwave-assisted catalytic pyrolysis of low-density polyethylene over Ni/Co/Cu-doped Ga/ZSM-5 catalysts // *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2025. Vol. 19, № 1. P. 34–54. DOI: 10.1002/bbb.2690.
3. Paucar-Sanches M.F., Calero M., Blázquez G., Solis R.R., Muñoz-Batista M.J., Martin-Lara M.A. Catalysts // *Catalysts*. 2024. Vol. 14, № 3. P. 168. DOI: 10.3390/catal14030168.
4. Sudalaimuthu P., Sathyamurthy R., Elsheikh A.H., Gani A., Jameel A. Plastic waste as an alternative sustainable fuel in internal combustion (IC) engines: a comprehensive review // *Results in Engineering*. 2025. Vol. 26. Art. 104644. P. 1–25. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.104644.
5. Nazarloo N.H., Zabihi O., Shirvanimoghaddam K., Ahmadi M., Naebe M. Transformation of single-use plastics into lighter hydrocarbons via an economical coal fly ash-based zeolite catalyst // *ChemCatChem*. 2024. Vol. 16. P. 1–16. DOI: 10.1002/cctc.202300909.

РАЗРАБОТКА УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КРОВООСТАНАВЛИВАЮЩИХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПВС И ГЕМОСТАТИЧЕСКИХ ДОБАВОК

Нурмахамбетова А.Н., Оспанова А.К.

Казахский Национальный университет имени аль-Фараби
nurzhanqiziasel@gmail.com

Проблема быстрой остановки кровотечений и профилактики инфицирования ран остаётся одной из ключевых задач современной биомедицины, поскольку массивная кровопотеря и бактериальная контаминация существенно повышают риск осложнений и замедляют регенерацию тканей. В связи с этим особый интерес представляет создание многофункциональных раневых материалов, сочетающих гемостатические, сорбционные и антибактериальные свойства.

В работе разработана композиционная гидрогелевая система на основе поливинилового спирта (ПВС), каолина, хитозана, альгината натрия и кальциевой соли. Научная новизна разработанного материала заключается в сочетании синтетического полимера, природного минерального наполнителя и биополимерных компонентов в единой пространственно-сшитой матрице. ПВС формирует механически прочную гидрофильную основу, способную к интенсивному набуханию. Хитозан обеспечивает антибактериальную активность и дополнительную структурную стабилизацию системы. Альгинат натрия в присутствии ионов кальция образует ионно-сшитую сетку, повышающую целостность и устойчивость материала во влажной среде. Каолин, равномерно распределённый в полимерной матрице, способствует активации факторов свертывания крови и ускорению гемостаза.

Гидрогель получали методом циклического замораживания-оттаивания, обеспечивающим физическое сшивание ПВС без применения токсичных химических агентов. Раствор ПВС (2,5%) смешивали с каолином, раствором хитозана (0,01 М) и альгината натрия (1%), после чего вводили раствор CaCl_2 (0,25%). Полученную композицию подвергали циклам замораживания ($-15\text{ }^\circ\text{C}$, 18 ч) и оттаивания ($25\text{ }^\circ\text{C}$, 6 ч) с повторением 5-10 раз до формирования устойчивой трёхмерной структуры.

Комплексная оценка свойств включала исследование морфологии, степени набухания, гель-фракции и антибактериальной активности. По данным сканирующей электронной микроскопии установлено формирование развитой пористой архитектуры, обеспечивающей эффективную адсорбцию жидкости и контакт с раневой поверхностью. Исследования набухания и гель-фракции подтвердили высокую водопоглощающую способность и стабильность пространственно-сшитой структуры.

Антибактериальные испытания показали выраженную активность материала в отношении грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов. Диаметр зоны ингибирования составил 12,0 мм для *Escherichia coli*, 20,0 мм для *Klebsiella pneumoniae* и 24,7 мм для *Staphylococcus epidermidis*, что свидетельствует о синергическом эффекте хитозана и минерального наполнителя.

Таким образом, разработанный гидрогель представляет собой перспективный высокофункциональный биоматериал нового поколения, сочетающий гемостатические, сорбционные и антибактериальные свойства, и может рассматриваться как основа для создания современных раневых покрытий, перевязочных средств и локальных медицинских систем для экстренной и плановой хирургии.

СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КАОЛИНА И АЛЬГИНАТА НАТРИЯ

Берікболқызы К., Савденбекова Б.Е.

Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан
kamilaberikbol@gmail.com

(Ключевые слова: каолин, альгинат натрия, хитозан, хлоргексидин, лиофилизация, гибридный композит) Актуальность представленной работы продиктована поиском путей рационального использования природной минерально-сырьевой базы Казахстана, в частности месторождений каолина. Модификация природных силикатов позволяет придать им высокую сорбционную активность и биосовместимость, что критически важно для создания импортозамещающих материалов медицинского назначения. Основная задача исследования заключается в синтезе стабильного органоминерального композита, обладающего развитой системой пор и антисептическими свойствами. Методика синтеза базировалась на использовании золь-гель технологии с последующим криогенным структурированием. На подготовительном этапе навеска каолина подвергалась кислотной активации 0,1 М раствором HCl. Для придания материалу антибактериальных свойств проводилась модификация хлоргексидином. Полимерная фаза формировалась путем смешивания растворов альгината натрия и хитозана (0,01 М) в объемном соотношении 1:4, что способствовало образованию устойчивого полиэлектролитного комплекса. Для деструкции макроагрегатов и обеспечения гомогенности вязкой системы применялась ультразвуковая обработка. Процесс формирования пористого каркаса (аэрогеля) включал глубокую заморозку прекурсора при температуре -15°C в течение 72 часов с финальной стадией лиофильной сушки. Такой подход позволил получить легкий материал с равномерно распределенными функциональными компонентами. Также, в цели верификации структуры и свойств полученного композита запланирован комплекс физико-химических методов анализа. ИК-спектроскопия (FTIR) призвана подтвердить образование химических связей между силикатными слоями и полимерными цепями. Морфология сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и адсорбции азота (метод БЭТ). Биологическая эффективность материала будет оцениваться по отношению к тест-штаммам *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* и *Escherichia coli* методом диффузии в агар. Ожидается, что результаты подтвердят высокий потенциал использования гибридного композита в качестве эффективного раневого покрытия.

ПРОИЗВОДСТВО ЛЁГКОГО МОТОРНОГО ТОПЛИВА ИЗ ОТХОДОВ ПЛАСТМАСС МЕТОДОМ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ГИДРОКРЕКИНГА

Ракымжан М., Джалмурзаева Ж., Амантайулы К., Аубакиров Е.А.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
rakymzanmakpal925@gmail.com jalmurzayevazhuldyz@gmail.com

Отходы пластмасс и отработанные моторные масла (ОММ) - два вида отходов, которые объединяет одно неочевидное свойство: оба содержат достаточно углеводов, чтобы из них можно было получить топливо. При этом их совместная утилизация остаётся мало изученной. В данной работе мы исследовали, насколько эффективно смесь пластиковых отходов и ОММ поддаётся переработке методом каталитического гидрокрекинга с катализатором Ni-W/Цеолит и какие топливные фракции при этом удаётся выделить.

Процесс строится на бифункциональном механизме: кислотные центры цеолита разрушают и изомеризуют длинные углеводородные цепи, а Ni-W компоненты отвечают за гидрирование - без него система быстро уходит в кокс. Вольфрам даёт более высокую гидрирующую активность и лучше держит стабильность при высоких температурах. [1]

Катализатор готовили методом последовательной пропитки - раствор солей никеля и вольфрама наносили на цеолитный носитель. Активацию проводили прямо в реакционной среде при 400°C, что позволяет обойтись без отдельной стадии прокалики. Опыты ставили в автоклаве периодического действия. В качестве сырья использовались смеси отходов пластмасс и отработанных масел в варьируемых соотношениях (20:80, 30:70, 60:40) общей массой 50 гр, катализатора брали 5% от массы сырья. После реакции продукты разгоняли на бензиновую (30–180°C) и керосиновую (180–230°C) фракции.

По материальному балансу суммарный выход жидких продуктов составил 33,5%: бензиновая фракция - 19,4%, керосиновая - 14,1%. Дизельная фракция не образовалась совсем - это говорит о том, что крекинг шёл достаточно глубоко, разрывая цепи до лёгких углеводородов, но не дальше. Газа вышло 6%, твёрдого остатка - 55,5%, потери - 5%. Высокий выход остатка - главный недостаток данного режима; он прямо указывает на то, что температуру и время реакции нужно подбирать тщательнее. [2]

ИК фурье-спектроскопия подтвердила, что полученные дистилляты действительно имеют углеводородную природу. В спектрах обеих фракций хорошо видны полосы C–H в области 2800–3000 см⁻¹ и деформационные колебания при 1460 и 1380 см⁻¹ - характерные признаки алифатических структур. При этом в области 1700 см⁻¹ поглощение практически отсутствует, то есть карбонильные и окисленные компоненты исходного сырья в ходе реакции были убраны.

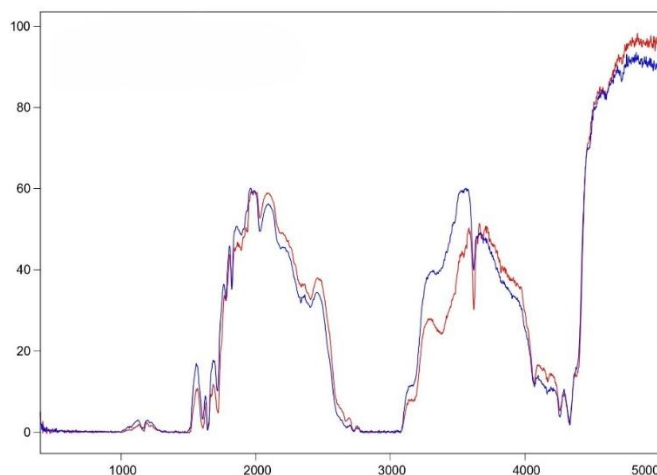


Рисунок 1. ИК фурье-спектры полученных фракций: 1- фракция (30-180 °С), 2- фракция (180-230 °С).

Проведённое исследование показало, что каталитический гидрокрекинг смеси отходов пластмасс и ОММ в присутствии катализатора Ni-W/Цеолит позволяет получать лёгкие топливные дистилляты преимущественно бензинового и керосинового диапазонов кипения. Полученные результаты открывают перспективу совместной утилизации полимерных и масляных отходов с получением вторичных энергетических ресурсов и требуют дальнейшей оптимизации условий процесса для повышения выхода жидких продуктов [3].

Исследования выполнены в рамках проекта BR28713351 «Разработка высокоэффективной каталитической технологии для комплексной переработки углеродсодержащих отходов в энергоресурсы и востребованные продукты», финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Список использованных источников

1. Trisunaryanti W., Triyono, Armunanto R., Falah I.I. Preparation, characterization and activity of Ni-W/natural zeolite catalyst for hydrocracking of waste lubricant // *Indonesian Journal of Chemistry*. 2011. Vol. 11, № 1. P. 72–78.
2. Akhmetova F.Zh., Aubakirov E.A., Tasmukhambetova Zh.Kh. IR spectroscopic analysis of hydrocracking products of waste motor oils over zeolite-based catalysts // *Petroleum Chemistry*. 2019. Vol. 59, № 5. P. 501–507.
3. Culp K. *Sustainable Aviation Fuel Production from Plastic Waste on Bifunctional Catalysts*: honors research project. Akron: University of Akron, 2025. 24 p.

СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ КАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ ОКСИДА ВАНАДИЯ В ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ ВОДЫ

Жалбаторова С.А., Жакирова Н.К., Сасыкова Л.Р., Куралова А.Г.

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан
nurbubizh@bk.ru

В настоящее время загрязнение окружающей среды промышленными сточными водами является актуальной экологической проблемой, поскольку в химической технологии вода широко используется в качестве теплоносителя, источника сырья и универсального растворителя. В нефтехимической промышленности, сточные воды в производстве мелкодисперсных и эмульгированных нефтепродуктов, а на предприятиях органического синтеза содержат множество токсичных загрязняющих веществ, которые трудно удалить.

Среди них синтетические красители, в частности метиленовый синий, который очень устойчив в воде и оказывает токсическое воздействие на живые организмы. Традиционные физические и химические методы очистки не могут полностью разложить эти соединения. Поэтому фотокатализ является многообещающей альтернативой.

Фотокатализ — это ускорение химических реакций под совместным действием света и катализатора, который активируется при облучении, образуя реакционноспособные пары электрон-дырка. Процесс позволяет разлагать органические загрязнения до воды и углекислого газа, применяется для очистки воздуха и воды, в органическом синтезе и производстве водорода.

Механизм действия заключается в том, что фотокатализатор поглощает квант света (ультрафиолетового или видимого), возбуждается и создает пары электрон-дырка, которые генерируют свободные радикалы, разрушающие загрязнители [1].

Главный недостаток фотокатализа на основе чистого TiO_2 заключается в том, что он активен только в коротковолновом УФ-излучении, то есть на длинах волн ниже 380 нм. Это составляет всего 4% от солнечного света. Для решения этой проблемы мы усовершенствовали процесс, добавив оксид ванадия к TiO_2 . Ванадий сужает ширину запрещенной зоны TiO_2 , в результате чего катализатор активен даже в видимом диапазоне света, что значительно повышает эффективность фотокаталитической очистки.

Целью исследования является синтез катализаторов TiO_2+V с содержанием ванадия 1%, 3% и 5% и изучение их активности в фотокаталитической деградации метиленового синего. Для достижения этой цели были поставлены задачи: – синтез катализаторов методом водной абсорбции, – физико-химическая характеристика синтезированных катализаторов с использованием методов рентгеновской дифракции (XRD), ИК-спектроскопии (IR), рамановской спектроскопии (Raman), BET и сканирующей электронной микроскопии (SEM), а – изучение деградации метиленового синего с помощью УФ-видимой спектроскопии и – определение оптимальной концентрации ванадия.

Катализаторы были синтезированы методом водной пропитки. Расчитаны точные количества образцов: 4,5005 г TiO_2 и 0,14 г VOSO_4 для TiO_2+V 1%; 4,4658 г TiO_2 и 0,42 г VOSO_4 для TiO_2+V 3%; 4,4514 г TiO_2 и 0,6987 г VOSO_4 для TiO_2+V 5%.

Синтез состоит из стадий:- приготовление раствора путем растворения соли VOSO_4 в воде, - равномерная абсорбция приготовленного раствора в порошок TiO_2 , - формование массы в виде «дождевого червя» с помощью шприца, - сушка при 100 °С в течение 2-3 часов и заключительный этап - это прокаливание в муфельной печи при температуре 400-500°С в течение 4-5 часов. В ходе прокаливания VOSO_4 окисляется, и ванадий внедряется в кристаллическую решетку TiO_2 .

В ходе лабораторных работ приготовлены реагенты из точно взвешанного количества VOSO_4 на весах, осадок, образовавшийся с помощью шприца, и образцы катализатора после сушки и прокаливания загружены в УФ-реактор. Исходный синий раствор метиленового синего через 90 минут практически ставший бесцветным будут проанализированы. Изменения цвета наглядно демонстрируют эффективность катализатора.

Эксперимент проводился в фотокаталитическом устройстве, оснащённом ксеноновой лампой модели УМ-Х300DUV. На рис. 1 показан принцип работы устройства. Блок питания подает на ксеноновую лампу ток 15 ампер при напряжении 14,5 вольт. Лампа усиливает УФ-излучение в диапазоне от 200 до 2500 нм и направляет его в реакторный сосуд внутри черного ящика. Сосуд содержит катализатор TiO_2+V и раствор метиленового синего, который непрерывно перемешивается магнитной мешалкой. Сначала мы выдерживали его в темноте в течение 30 минут для адсорбции, а затем включали УФ-излучение. Образцы при $t=0$ и $t=90$ минутах измеряли на UV-VIS спектрофотометре при длине волны 664 нм [2].

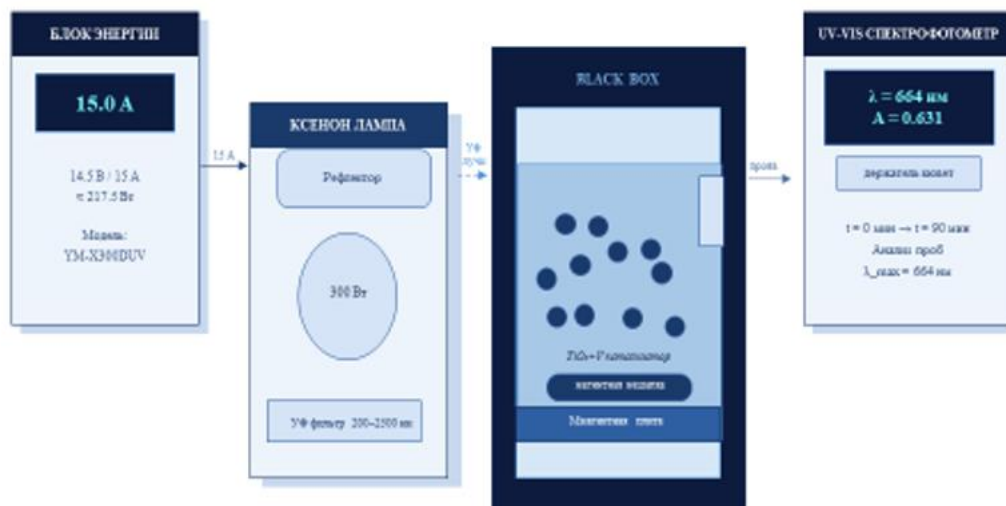


Рис.1. Схема фотокаталитического аппарата.

Результаты рентгенофазового анализа показали, что пики всех образцов полностью совпадают с эталонным анатазом — это означает, что синтез был проведен правильно и фотокаталитически активная фаза анатаза TiO_2 сохранилась. Фаза рутила и посторонний V_2O_5 обнаружены не были. Важным результатом является сдвиг на графике на 0,06 градуса. Основной пик образца TiO_2+V 3% сместился с 25,39 градуса до 25,33 градуса, что указывает на то, что ионы V^{5+} проникли в позиции Ti^{4+} и слегка расширили кристаллическую решетку. Размер кристаллитов, рассчитанный по формуле Шеррера, во всех образцах варьировался от 22,8 до 24,1 нм.

Результаты UV-VIS спектроскопии были сняты при $t=0$ минут т.е. до УФ-облучения, а на длине волны 664 нм через 90 минут указывают пик поглощения метиленового синего. Высокое значение поглощения $A=0,631$ нм в образце TiO_2+V 3% указывает на начальную концентрацию. Результат после 90 минут УФ-облучения показывает, что пик образца TiO_2+V 3% практически полностью исчез — это указывает на полное разложение красителя. Пик образца TiO_2+V 1% также снизился до очень низкого уровня. Слабо виден только пик образца TiO_2+V 5%. По результатам фотокаталитической активности можно предположить что при TiO_2+V 3% — 100% разложение, т.е. метиленовый синий полностью разложен. TiO_2+V 1% — 95,7% разложение, что также является очень высоким результатом. TiO_2+V 5% — 74,2% разложение, что ниже, чем у двух предыдущих образцов. Контрольный образец чистого TiO_2 — показал результат, близкий к нулю.

Из полученных результатов вырисовывается важная закономерность: оптимальная концентрация ванадия составляет 3%. При 5% V избыток ванадия покрывает поверхность TiO_2 и блокирует активные центры, что приводит к снижению фотоактивности. Это подтверждает наличие оптимальной концентрации для катализа.

Подробно анализируя механизмы удаления красителя в образце TiO_2+V 1% наблюдалась 90% адсорбция и только 10% фотодеградация — этот образец имеет большую площадь поверхности благодаря низкому содержанию ванадия и, следовательно, высокую

адсорбционную способность. В образце TiO_2+V 3% наблюдается обратная ситуация — адсорбция близка к нулю, и происходит 100% чистая фотодеградация. Это оптимальная концентрация: ванадий образует активные центры, но не покрывает поверхность. В образце TiO_2+V 5% наблюдается смешанный механизм — 48% адсорбции и 39% фотодеградации. Избыток ванадия снижает фотоактивность. В чистом контрольном образце TiO_2 наблюдалась 100% адсорбция — это объясняется возникновением фотолиза во время переноса.

Для характеристики всех физико-химических свойств катализаторов были использованы методы: рентгенодифракционный анализ (XRD) позволил идентифицировать кристаллические фазы и рассчитать размер кристаллитов по формуле Шеррера. ИК-спектроскопия (IR spectroscopy) подтвердила наличие функциональных групп и связи Ti-O-V. Рамановская спектроскопия (Raman spectroscopy) изучила фазовый состав TiO_2 и пики V_2O_5 . Метод BET (BET) определил удельную площадь поверхности и пористость катализатора. Сканирующая электронная микроскопия (SEM) изучила морфологию и размер частиц катализатора. УФ-видимая спектроскопия (UV-VIS spectroscopy) отслеживала кинетику разложения метиленового синего при длине волны 664 нм.

В результате проведенного исследования были сделаны выводы: катализаторы TiO_2+V 1%, 3% и 5% были успешно синтезированы методом водной абсорбции; рентгенодифракционный анализ подтвердил, что фаза анатаза сохранилась во всех образцах, а ванадий был включен в кристаллическую решетку. Размер кристаллитов варьировался от 22,8 до 24,1 нм.; TiO_2+V 3% полностью разложил метиленовый синий под УФ-светом за 90 минут — 100% разложение; чистый TiO_2 не проявил фотокаталитической активности — это доказывает решающую роль ванадия в фотокатализе.

Список использованных источников

1. Kudo A., Kato H., Tsuji I. Strategies for the development of visible-light-driven photocatalysts for water splitting // *Chemistry Letters*. 2004. Vol. 33, № 12. P. 1534.
2. Kostov M.K., Santiso E.E., George A.M., Gubbins K.E., Nardelli M.B. Dissociation of water on defective carbon substrates // *Physical Review Letters*. 2005. URL: <https://journals.aps.org/prl/>

ҚЫЗЫЛ ШЛАМ ЖӘНЕ ТАБИҒИ ЦЕОЛИТ ҚАТЫСЫНДА ПАЙДАЛАНЫЛҒАН МОТОР МАЙЛАРЫН ГИДРОКРЕКИНГТЕУ

Абильдин Т.С.^{1,2}, Василина Г.Қ.^{1,2}, Досумова Б.Т.², Наренова С.М.^{1,2},
Нұрлан Ә.^{1,2}, Тасемен Е.^{1,2}

¹Өл-Фараби атындағы ҚазҰУ жанындағы

²Жаңа химиялық технологиялар және материалдар ҒЗИ
abildin54@mail.ru

Пайдаланылған мотор майлары және қызыл шлам Павлодар алюминий зауытының боксит рудасын өндеудің қосалқы өнімдері қоршаған ортаны ластайтын көптонналы қауіпті қалдықтар [1, 2].

Пайдаланылған мотор майларын өндеудің экологиялық және экономикалық ең тиімді әдісі – оларды бензинге, дизель отынына және басқа да өнімдерге каталитикалық йналдыру (гидрокрекингтеу процесі) [1-4].

Пайдаланылған мотор майларын сутек қысымында гидрокрекингтеу арқылы мотор отындарын және басқа да органикалық қосылыстарды алуға арналған катализаторларды әзірлеу және синтездеу бойынша зерттеулер жүргізілді. Катализаторлық компоненттер ретінде алюмосиликатты құрылымы бар табиғи цеолиті және темір, алюминий, кремний мен титан оксидтеріне бай Павлодар алюминий зауытының қызыл шламы пайдаланылды.

Шикізат материалдары алдын ала ұсақталып, фракцияланып (100-200 мкм), 100 °С температурада кептіріліп, химиялық элементтік құрамы анықталды. Цеолит NH_4Cl ерітіндісімен үш сатылы ионалмасу өндеуден өткізіліп, 100-500 °С аралығында термоөндеуге ұшыратылды, нәтижесінде Н-форма клиноптилолиті алынып, жоғары қышқылдық қасиетке және тұрақты құрылымға ие материал түзілді. Осы негізде сорбциялық қасиеті жоғары цеолитқұрамды катализаторлары алынды. Катализаторлардың белсенділігін және термиялық тұрақтылығын арттыру мақсатында цеолитті молибден (Mo) элементімен түрлендіру жүргізілді. Синтездеу әдісі ретінде $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ерітіндісімен сіңіру (импрегнация) әдісі қолданылып, кейін 100 °С-та кептіріліп, 450-500 °С температурада 4 сағат бойы ауа ағынында күйдірілді. Нәтижесінде түрлендірілген белсенді каталитикалық жүйелер дайындалды. Заманауи физика-химиялық талдау әдістерін (ИҚ-спектроскопия, электрондық микроскопия, рентгеноспектрлік, рентгенофазалық талдау және б.д.) қолдану арқылы металлургиялық өндірістердің кен өндеу қалдықтары мен табиғи цеолиттер негізіндегі түрлендірілген катализаторлардың беттік және құрылымдық қасиеттері зерттелді. Табиғи цеолиті алюмосиликатты құрылымға ие, оның негізгі элементтік компоненттері Si және Al болып табылады, бұл оның цеолиттік табиғатын дәлелдейді. Na, K, Ca және Mg катиондарының болуы ионалмасу процестеріне қатысатын типтік алмасу орталықтарының бар екенін көрсетті. Fe элементі табиғи қосынды түрінде кездеседі. Рентгенофазалық талдау нәтижелері бойынша цеолиттің негізгі фазасы клиноптилолит болып табылды (моноклиндік жүйе, C2/m), ал қосымша фазалар ретінде SiO_2 және лаumontит тіркелді. Орташа кристаллит өлшемі 230-250 Å шамасында, бұл цеолиттің жоғары кристаллдылығын және алюмосиликатты қаңқасының тұрақтылығын дәлелдейді. Электрондық микроскопия зерттеулері цеолит бөлшектерінің агрегаттық құрылымға және дамыған кеуекті бетке ие екенін көрсетті, бұл адсорбциялық және каталитикалық белсенділікті арттырады.

Металлургиялық өндірістің қалдығы ретінде Павлодар алюминий зауытынан алынған қызыл шлам пайдаланылды. Элементтік талдау нәтижесінде оның құрамында Fe – 34,15 %, Al – 12,32 %, Si – 8,80 %, Ti – 3,03 % екені анықталды. Рентгенофазалық талдау қызыл шламның негізгі фазалары ретінде гематит (Fe_2O_3) және анатаз (TiO_2) бар екенін көрсетті, бұл оның каталитикалық белсенді орталықтарды қалыптастыруға қабілеттілігін дәлелдейді.

Синтезделген катализаторлардың РФА нәтижелері клиноптилолит құрылымының сақталғанын және қосымша фазалар ретінде Fe_2O_3 және MoO_3 бар екенін көрсетті. ИҚ-спектроскопия мәліметтері бойынша 1040 cm^{-1} маңындағы Si–O–Al байланыстарының тербеліс жиілігінің төмендеуі өтпелі металдардың цеолит құрылымына енуін дәлелдеді. 480–

560 см⁻¹ диапазонында жаңа Me–O (Mo–O, Fe–O) байланыстарына тән жұтылу жолақтары тіркелді, бұл катализатордың белсенді орталықтарының түзілгенін көрсетті. СЭМ суреттері катализатор бетінің жоғары кеуектілігін, бөлшектердің өлшемі 50-200 нм және белсенді фазалардың (MoO₃, Fe₂O₃) 20-40 нм аралығында біркелкі таралғанын дәлелдеді.

Жүргізілген физика-химиялық талдаулардың нәтижелері түрлендірілген катализаторлардың жоғары құрылымдық тұрақтылығын, термиялық беріктігін және дамыған кеуекті бетінің бар екенін көрсетті. Алумосиликатты қаңқаның бұзылмауы және металдардың біркелкі таралуы катализаторлардың жоғары каталитикалық әлеуетке ие екенін дәлелдейді.

Гидрокрекингтеу процесі изобарлы-изотермиялық режимде (P_{H₂}= 0,5 МПа/бастапқы, T = 410 °C, қарқынды араластыру) жоғары қысымдық қондырғыда сутек қысымында іске асырылды. Дайындалған 2,0% Мо/цеолит катализаторы сұйық өнімдер шығымына (СӨШ) жоғары активтілік көрсеткендігі анықталды және де қызыл шламды ПММ гидрокрекингтеу процестерінде катализатор ретінде қолдануға болатындығы көрсетілді (ΣСӨШ 83-85 мас.%). Алынған бензин дистиллятының сапалық және сандық құрамдары ИҚ-спектроскопиясымен және газды хроматография әдісімен 180°C дейінгі температура аралығында қайнайтын фракцияларда көп мөлшерде изопарафинді, нафтенді және парафинді, ароматты көмірсутектердің болуы анықталды.

Осылайша, металлургиялық өндіріс қалдығы - қызыл шлам мен табиғи Шанканай цеолиті (клиноптилолит) және оның негізінде алынған түрлендірілген катализаторлар пайдаланылған мотор майларын гидрокрекингтеу процестерінде қолдануға және ресурсты үнемдейтін технологияларды жүзеге асыруға перспективті болып табылады.

Әдебиет тізімі:

1. Abildin T.S., Vassilina G.K., Dossumova B.T. Hydrocracking of Used Motor Oils // Silk Road Chemistry: Modern Chemical Technologies and Science: Collection of abstracts of the 1st International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 100th anniversary of Academician Ye.A. Buketov. - 2025, September, 25-27. - P. 15-16. ISBN 978-601-362-389-4
2. Nasir R., Sayem A. Refining And Recycling of Waste Engine Oils For Cleaner Environment. <https://www.researchgate.net/publication/383774246>
3. Cabrera-Escobar, C. et al. A Review on Global Recovery Policy of Used Lubricating Oils and Their Effects on the Environment and Circular Economy // Environments. – 2025. – Vol. 12. – P. 135. <https://doi.org/10.3390/environments12050135>
4. Nissar A., Hanief M. & Mir F.Q. Critical retrospection and evaluation of waste engine oil recycling methods // Int J Energ Water Res. – 2023. – Vol.7. – P. 453-464. <https://doi.org/10.1007/s42108-023-00240-5>

ЗАОЧНОЕ УЧАСТИЕ

СЕКЦИЯ 2.

ОБЩИЕ ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ТҮТҚЫР МҰНАЙДЫ КАТАЛИЗАТОР ҚАТЫСЫНДА УЛЬТРАДЫБЫСТЫҚ ӨНДЕУ

Айтбекова Д.Е., Бәкір М.Ә., Хамзенова А.Ж.

Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті,

Ғылыми жетекші: Байкенов М.И.

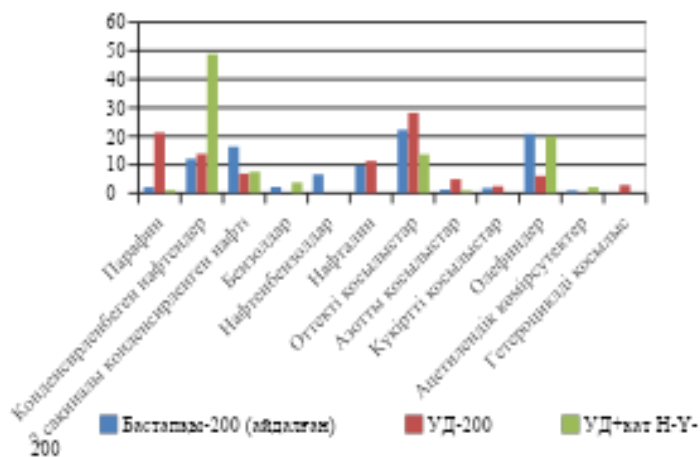
markhabbat.bkr@mail.ru

Жоғары тұтқыр мұнайларды өңдеу жеңіл мұнай қорларының азаюына байланысты өзекті бағыт болып табылады [1]. Мұндай мұнайлар шайырлар, асфальтендер және гетероатомды қосылыстардың жоғары мөлшеріне байланысты жоғары тұтқырлықпен және өндеудің күрделілігімен сипатталады [2], бұл олардың тасымалдануын, технологиялық қайта өңделуін қиындатып, қосымша энергия шығынын талап етеді.

Ультрадыбыстық өңдеу кавитациялық әсер нәтижесінде ауыр молекулалардың деструкциясын туындатып, олардың жеңіл көмірсутектерге айналуына ықпал етеді [3]. Бұл мұнайдың тұтқырлығын төмендетіп, жеңіл фракциялар үлесінің артуына әкеледі [4]. Катализатор қатысында бұл процесс күшейіп, шайырлар мен асфальтендердің ыдырауы жеделдейді және көмірсутектердің қайта құрылу реакциялары қарқынды жүреді [5]. Осыған байланысты ультрадыбыстық және катализатор қатысында өңдеу жоғары тұтқыр мұнайды тиімді түрлендірудің перспективалы әдісі болып табылады.

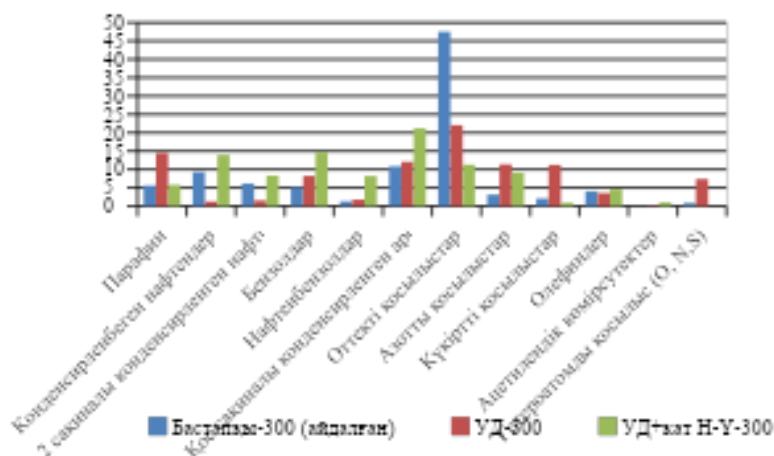
Жоғары тұтқыр мұнайдың құрамын өзгерту мақсатында Катализатор қатысында ультрадыбыстық өңдеу технологиялық тұрғыдан тиімді болып табылады. Себебі үрдіс нәтижесінде мұнайдың ағу қабілеті жақсарып, реологиялық қасиеттері оңтайлана түседі. Осындай өзгерістер өндірістік өңдеу және тасымалдау үдерістерін жеңілдетіп, жалпы энергия шығынын азайтуға мүмкіндік береді.

Ақтөбе мұнайының бастапқы, 22 кГц жиілікте, 10 мин ұзақтықта ультрадыбыстық өңделген (УД) және осындай жағдайда Н-Ү цеолит катализаторы қатысында УД+Н-Ү өңделген үлгілерінен 200 °С дейінгі және 200-300 °С аралығындағы фракциялар алынып, олардың топтық құрамы хромато-масс-спектрометрия әдісімен анықталды. Жеңіл көмірсутектер үлесінің артуы және ауыр компоненттердің төмендеуі байқалады (сурет 1).



Сурет 1. Ақтөбе мұнайының <200 °С фракциясының топтық құрамының салыстырмалы диаграммасы.

Ультрадыбыстық өңдеу нәтижесінде гетероатомды және ауыр қосылыстар үлесінің төмендеуі 2-суреттен байқаймыз.



Сурет 2. Ақтөбе мұнайының 200-300 °С аралығындағы фракциясының топтық құрамының салыстырмалы диаграммасы.

Нәтижелер көрсеткендей, ультрадыбыстық өңдеу кезінде жеңіл көмірсутектердің (парафиндер, нафтендер) үлесі артып, ауыр және гетероатомды қосылыстардың мөлшері төмендейді. УД+катализатор жағдайында бұл өзгерістер айқынырақ байқалады: жеңіл фракциялар үлесі өсіп, ароматты, күкіртті, азотты және гетероциклді қосылыстар едәуір азаяды.

Әдебиеттер тізімі

1. Dengaev A.V. et al. Chemical viscosity reduction of heavy oil by multi-frequency ultrasonic waves with the main harmonics of 20–60 kHz // *Fluids*. 2023. Vol. 8. P. 136.
2. Yedrissov A.T. et al. TGA-based thermokinetics of high-viscosity oil decomposition in the presence of nanocatalysts, catalytic additives, and polymers // *Petroleum Chemistry*. 2021. T. 61, № 4. С. 431–437.
3. Azeez A.W., Hussein H.Q. Effects of ultrasonic treatment and hydrogen donor addition on the viscosity of Iraqi heavy crude oil // *Baghdad Science Journal*. 2025. T. 22, № 3. С. 746–755.
4. Liu J. et al. Mechanism of ultrasonic physical–chemical viscosity reduction for different heavy oils // *ACS Omega*. 2021. T. 6, № 3. С. 2276–2283.
5. Montes D., Cortés F.B., Franco C.A. Reducción de la viscosidad de crudos pesados mediante cavitación por ultrasonido asistida por nanopartículas de SiO₂ funcionalizadas con nanocristales de NiO // *DYNA*. 2018. T. 85, № 207. С. 153–160.

МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ЦЕЛЛЮЛОЗА НЕГІЗІНДЕГІ ЖАЛҒАНҒАН СОПОЛИМЕРЛІК ГИДРОГЕЛЬДЕРДІҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ СИПАТТАМАСЫ

Габдуллина М., Рахметкалиева Қ., Далбанбай А., Накан Ұ.

Химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасы, Satbayev University, 050013,

Алматы, Қазақстан

ulantaynakan@gmail.com

Гидрогелдер – үшөлшемді полимерлік тор құрылымына ие, өз массасынан бірнеше есе артық суды сіңіріп, оны ұзақ уақыт бойы ұстап тұра алатын жоғары функционалды материалдар. Олардың ерекше физика-химиялық қасиеттері, атап айтқанда жоғары су сіңіру қабілеті, биосәйкестігі, уыттылығының төмендігі және сыртқы факторларға (температура, рН т.б) жауап беру қабілеті гидрогелдерді ауыл шаруашылығында, медицинада және экологияда кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, гидрогелдер топырақтағы ылғалды сақтау, тыңайтқыштарды баяу және реттелген түрде жеткізу, дәрілік заттарды мақсатты тасымалдау, сондай-ақ су құрамындағы зиянды заттарды, соның ішінде ауыр металл иондары мен органикалық бояғыштарды жою үшін тиімді материалдар ретінде қарастырылады. Соңғы жылдары гидрогелдердің функционалды қасиеттерін жетілдіру мақсатында олардың құрылымын модификациялау және жаңа композициялық жүйелер алу бағытында көптеген зерттеулер жүргізілуде. Әсіресе, сыртқы әсерлерге сезімтал гидрогелдер түрлі орта жағдайларына бейімделу қабілетінің арқасында ерекше ғылыми және практикалық қызығушылық тудырып отыр [1, 2]. Осы қасиеттеріне байланысты гидрогелдер қазіргі заманғы ғылыми зерттеулер мен технологияларда аса перспективалы материалдар қатарына жатады.

Осы зерттеу жұмысы қазіргі таңда өзекті болып табылатын маңызды ғылыми мәселелерді шешуге бағытталған. Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты – модификацияланған целлюлоза негізіндегі карбаматцеллюлоза қатысында 2-акриламидо-2-метилпропансульфон қышқылы (АМПС) және акрил қышқылы (АК) мономерлері негізінде сополимерлер синтездеу, сондай-ақ алынған материалдардың физика-химиялық қасиеттерін кешенді түрде зерттеу болып табылады. Микрокристалды целлюлоза карбамидпен химиялық модификациялау арқылы карбаматцеллюлоза алынды. Алынған карбаматцеллюлоза негізінде біртекті тұрақты суспензия дайындалды. Модификацияланған целлюлоза негізінде АМПС және акрил қышқылы (АК) мономерлерінің қатысуымен жалғанған сополимерлік гидрогельдер синтезделді. Алынған гидрогельдердің қасиеттерін салыстырмалы бағалау мақсатында полиакрил қышқылы үлгісі де дайындалды. Синтезделген сополимерлік материалдардың құрылымы, құрамы және қасиеттері заманауи физика-химиялық талдау әдістері арқылы зерттелді. Инфрақызыл спектроскопия (ИК) нәтижелері полимер құрылымында гидроксил, амин және карбонил топтарының бар екенін көрсетті. Бұл компоненттер арасындағы өзара әрекеттесудің жүзеге асқанын және жалғанған сополимердің сәтті синтезделгенін дәлелдейді.

Зерттелетін үлгілердің беттік морфологиясын бағалау мақсатында сканерлеуші электрондық микроскопия (СЭМ) әдісі қолданылды. СЭМ нәтижелері синтезделген гидрогелдердің кеуекті және біркелкі таралған торлы құрылымға ие екенін көрсетті. Мұндай құрылым гидрогельдердің меншікті бетінің ұлғаюына ықпал етіп, ерітіндіні жоғары мөлшерде сіңіру қабілетін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, кеуекті құрылым су молекулаларының полимер торына оңай диффузиялануына жағдай жасайды. Алынған үлгілердің термиялық қасиеттері термогравиметриялық талдау (ТГА) әдістері арқылы кешенді түрде зерттелді. ТГА нәтижелері гидрогельдердің көпсатылы термиялық ыдырау процесіне ұшырайтынын және олардың белгілі бір температура диапазонында тұрақты екенін көрсетті. Бұл нәтижелер алынған материалдардың жеткілікті деңгейде термиялық тұрақтылыққа ие екенін дәлелдейді.

Гидрогелдердің судағы ісіну кинетикасы гравиметриялық әдіспен анықталды. Зерттеу нәтижелері гидрогельдердің қысқа уақыт ішінде айтарлықтай мөлшерде су сіңіріп, тепе-теңдік ісіну күйіне жететінін көрсетті. Ісіну дәрежесінің жоғары болуы полимер құрылымындағы

гидрофильді функционалды топтардың болуымен түсіндіріледі. АМПС–АҚ негізіндегі гидрогельдің басқа үлгілермен салыстырғанда жоғары ісіну дәрежесіне ие екені анықталды. Сонымен қатар, модификацияланған целлюлоза енгізілген гидрогельдердің құрылымдық тұтастығы сақталып, олардың механикалық беріктігінің жоғары екені байқалды. Жалпы алғанда, құрамында карбамат тобы бар гидрогельдердің жоғары ісіну қабілетіне және қанағаттанарлық механикалық тұрақтылыққа ие екені анықталды. Карбамат топтарының болуы полимер тізбектері арасында қосымша сутектік байланыстар түзіп, құрылымның беріктігін арттыруға ықпал етеді. Сонымен қатар, бұл функционалды топтар ауыр металл иондарымен кешен түзу арқылы адсорбциялық қасиеттерді жақсартады.

Осыған байланысты алынған сополимерлік материалды су құрамындағы ауыр металл иондарын тиімді жоюға арналған перспективалы сорбент ретінде қарастыруға болады. Мұндай материалдар экологиялық қауіпсіз, қайта қолдануға болатын және су тазарту технологияларында кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Wu C., Li J., Zhang Y., Li X., Wang S., Li D. Cellulose dissolution, modification, and the derived hydrogel: a review // *ChemSusChem*. 2023. Vol. 16, № 21. Art. e202300518. DOI: 10.1002/cssc.202300518.
2. Bao Y., He J., Song K., Guo J., Zhou X., Liu S. Functionalization and antibacterial applications of cellulose-based composite hydrogels // *Polymers*. 2022. Vol. 14, № 4. Art. 769. DOI: 10.3390/polym14040769.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ МЕЗОПОРИСТЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗИМНИХ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

Қазыбекқызы Н., Хожабай Н.Г., Ықсан А.Н., Василина Г.К., Абдильдина К.М.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби
nazerke1104@mail.ru

Проблема обеспечения регионов с холодным климатом качественным зимним дизельным топливом остается актуальной для нефтеперерабатывающей отрасли Республики Казахстан. Основным препятствием является кристаллизация длинноцепочечных n-алканов, содержащихся в прямогонных фракциях. В данной работе предложен подход использования бифункциональных каталитических систем, обеспечивающих селективную изомеризацию парафинов в присутствии мезопористого алюмосиликатного носителя.

Синтез носителя MAS осуществлялся темплатным методом с использованием гексадециламина. Полученный мезоструктурированный материал смешивался с термически активированным бентонитом Таганского месторождения. Нанесение активных компонентов (Ni и Mo) производилось из водных растворов их солей (нитрата никеля и молибдата аммония) с последующей сушкой при 120°C и прокаливанием при 500°C.

Для оценки удельной поверхности использован метод низкотемпературной адсорбции азота (БЭТ). Кислотные свойства поверхности оценивались методом термопрограммированной десорбции аммиака (ТПД-NH₃). По данным адсорбционных исследований, синтезированные образцы обладают развитой мезопористой структурой. Удельная поверхность чистого MAS достигает 510 м²/г, а композитного носителя MAS-бентонит – 375 м²/г. Наличие мезопор диаметром 3.5-4.0 нм критически важно для предотвращения стерических затруднений при диффузии крупных молекул углеводородов.

Каталитическая активность тестировалась на проточной лабораторной установке. Исходным сырьем служила фракция 180–350°C с содержанием n-парафинов 18.15%. Результаты испытаний при давлении 2.0 МПа и объемной скорости 1.0 ч⁻¹ представлены в табл. 1.

Таблица 2. Влияние температуры процесса на свойства продуктов
(катализатор Ni-Mo/MAS- бентонит)

Температура, °С	Выход дизтоплива, %	Т. заст., °С	Т. филтр., °С
Исходное сырье	100	-12	-10
280	98.5	-21	-18
300	97.9	-29	-26
320	97.4	-36	-33
340	92.1	-42	-38

Максимальная селективность по изо-парафинам наблюдается в диапазоне 300-320°C. При повышении температуры до 340°C усиливаются процессы гидрокрекинга, что ведет к снижению выхода целевой фракции до 92.1% и увеличению выхода легких газов.

В ходе работы научно обоснован выбор композитного мезопористого носителя для создания эффективных катализаторов депарафинизации. Показано, что введение 5% Ni и 1% Mo обеспечивает необходимый баланс между гидрирующей и изомеризирующей функциями. Разработанный метод позволяет получать дизельное топливо марки «Зимнее» с температурой застывания -36°C, что полностью соответствует климатическим требованиям северных регионов.

СМЕСИ ТЯЖЕЛОЙ ФРАКЦИИ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ И ГОРЮЧЕГО СЛАНЦА КИНЕТИКА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГИДРОМЕТАЛИЗАЦИИ

Есенбаева К.К., Тусипхан А., Жарас А.С.
НАО «КарНИУ им академика Е.А.Букетова»
kyzgaldak87@mail.ru almas_kz_22@mail.ru

В работе исследованы процессы гидродеметаллизации смеси тяжёлой фракции низкотемпературной каменноугольной смолы (ТФУС) и горючего сланца (ГС). Установлены кинетические закономерности термической деструкции, определены энергетические параметры процесса с использованием методов Озавы–Флина–Уолла, Фридмана и Šesták–Berggren. Показано влияние содержания сланца на глубину превращения органической массы и распределение редких и рассеянных микроэлементов. Установлено, что добавка 13% ГС обеспечивает более мягкие условия протекания процесса, снижает энергию активации и способствует эффективной деметаллизации с концентрированием микроэлементов в твёрдом остатке [1].

Твёрдое и тяжёлое углеводородное сырьё, включая уголь, горючие сланцы, тяжёлые нефтяные остатки и каменноугольные смолы, рассматривается как перспективный нетрадиционный источник редких и рассеянных элементов (Ge, Ga, V, Ni, Sc, Y и др.). Концентрации ряда микроэлементов в таких системах сопоставимы, а в отдельных случаях превышают их содержание в традиционных рудных источниках.

Особый интерес представляет переработка каменноугольных смол и горючих сланцев, что обусловлено их способностью аккумулировать значительные количества микроэлементов, а также наличием донорно-водородных и каталитических свойств. Органическая и минеральная части сланцев могут выступать как источники водорода и природные катализаторы, способствуя протеканию гидрогенизационных процессов.

Гидродеметаллизация является важным этапом переработки тяжёлого углеводородного сырья, обеспечивающим удаление металлов, повышение качества жидких продуктов и концентрирование ценных элементов в твёрдой фазе. Однако механизмы перераспределения микроэлементов в системах «тяжёлая смола – горючий сланец» остаются недостаточно изученными, что определяет актуальность настоящего исследования [2].

Целью работы является исследование кинетики и механизма гидродеметаллизации смеси тяжёлой фракции каменноугольной смолы и горючего сланца, а также установление закономерностей концентрирования редких и рассеянных элементов в твёрдом остатке.

В качестве объектов исследования использовали тяжёлую фракцию угольной смолы с температурой кипения выше 300°C и горючий сланец. Были приготовлены смеси с различным содержанием сланца (5, 10, 13 и 16 мас.%).

Исследование проводилось с применением комплекса физико-химических методов анализа: термогравиметрического анализа (TGA/DSC), ИК-Фурье спектроскопии, газовой хроматографии–масс-спектрометрии, атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES), а также спектрофотометрии для определения содержания германия.

Кинетические параметры процесса определяли с использованием изоконверсионных методов Озавы–Флина–Уолла и Фридмана, а также модельного подхода Šesták–Berggren.

Гидродеметаллизацию проводили при температуре 380–420°C, давлении водорода 3–5 МПа и продолжительности процесса 15–75 минут [3].

Термогравиметрический анализ показал, что разложение исследуемых смесей начинается при температуре около 100°C, основная стадия деструкции протекает в интервале 300–400°C, а завершение процесса наблюдается при температуре около 600°C. Максимальная скорость разложения для смеси ТФУС+13% ГС достигается при ~323°C, тогда как для смеси с 5% сланца — при ~350°C. Общая потеря массы составляет 78.21% и 77.07% соответственно, что свидетельствует о более высокой реакционной способности системы с повышенным содержанием сланца.

Результаты ИК-спектроскопии показали наличие полос, соответствующих CO₂ и алифатическим CH₂-группам. Увеличение интенсивности полос CO₂ с ростом температуры указывает на активное протекание процессов деструкции и декарбоксилирования, а также на высокую степень гидрирования органической массы.

Кинетический анализ показал, что энергия активации процесса для смеси с 13% ГС составляет 83–84 кДж/моль, тогда как для смеси с 5% ГС — 84–86 кДж/моль. Максимальные значения энергии активации достигают ~87 и ~94 кДж/моль соответственно. Более низкие значения энергии активации в системе с 13% сланца свидетельствуют об облегчении протекания реакций деструкции.

Моделирование по уравнению Šesták–Berggren позволило получить кинетические зависимости вида $f(\alpha)=\alpha^{0.23}(1-\alpha)^{0.55}$ для смеси с 13% ГС и $f(\alpha)=\alpha^{0.41}(1-\alpha)^{0.76}$ для смеси с 5% ГС. Полученные зависимости указывают на замедляющийся характер реакции и подтверждают её многостадийный механизм.

Установлено, что горючий сланец выполняет двойную функцию: является донором водорода и проявляет каталитическую активность, способствуя разрушению высокомолекулярных соединений. Добавка 13% сланца приводит к ускорению деструкции, снижению энергетических затрат и улучшению условий гидродеметаллизации.

Анализ продуктов процесса показал, что редкие и рассеянные элементы преимущественно концентрируются в твёрдом остатке, тогда как жидкие продукты подвергаются эффективной очистке от металлов. Это создаёт предпосылки для последующего извлечения ценных компонентов и комплексной переработки сырья [4].

Показано, что смеси тяжёлой фракции каменноугольной смолы и горючего сланца являются перспективным сырьём для процессов гидродеметаллизации и извлечения редких элементов. Установлено, что увеличение содержания сланца оказывает существенное влияние на кинетику процесса, снижая энергию активации и повышая скорость разложения.

Оптимальным является содержание 13% горючего сланца, при котором обеспечиваются более мягкие условия протекания процесса и максимальная степень конверсии органической массы. Процесс носит многостадийный характер и адекватно описывается изоконверсионными методами и моделью Šesták–Berggren.

Горючий сланец выступает как природный донор водорода и катализатор, что позволяет повысить эффективность гидродеметаллизации. В результате процесса достигается концентрирование редких и рассеянных элементов в твёрдом остатке и улучшение качества жидких продуктов [5].

Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологий комплексной переработки углеродсодержащего сырья, направленных на извлечение редких и рассеянных элементов, а также для оптимизации процессов гидрогенизации и деметаллизации тяжёлых углеводородных систем.

Список использованных источников

1. Baikenov M., Izbastanova D., Sarsenbekova A., Balpanova N., Tusipkhan A., Khalikova Z., Rakhimzhanova N., Kochegina E., Tulebaeva B., Taurbaeva G. Determination of the kinetic parameters of thermal degradation and hydrodemetallization of a mixture of the heavy fraction of low-temperature coal tar and coal shale // *Energies*. 2024. Vol. 17, № 7. DOI: 10.3390/en17071766.
2. Baikenov M.I., Izbastanova D.S., Su X., Tusipkhan A., Akanova Z.B., Balpanova N.Z., ... Li W. Optimal conditions for demetallization of the heavy fraction of low-temperature coal tar of Shubarkol Komir JSC in the presence of “coal shale” catalytic additive // *Eurasian Journal of Chemistry*. 2024. Т. 29, № 3 (115). С. 30–41. DOI: 10.31489/2959-0663/3-24-11.
3. Байкенов М.И., Избастенова Д.С., Халикова З.С., Рахимжанова Н.Ж., Кочегина Е.В., Байкенова Г.Г., Түсіпхан А. *Комплексная переработка угольного сланца Шубаркольского месторождения*. Караганда: Изд-во Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, 2024. 94 с. ISBN 978-601-362-251-4.

4. Baikenov M., Izbastanova D., Zhang Y., Su X., Balpanova N., Tusipkhan A., Akanova Z., Moldabayev A., Tulebaeva B., Taurbaeva G. The catalytic hydrogenation of phenanthrene: the impact of chrysotile and coal shale catalysts // *Fuels*. 2025. Vol. 6, № 2. Art. 47. DOI: 10.3390/fuels6020047.
5. Baikenov M., Izbastanova D., Su X., Sarsenbekova A., Khalitova A., Tusipkhan A., Moldabayev A., Tulebaeva B., Baikenova G., Satybaldin A. Use of oil shale as a catalyst and hydrogen donor in the processing of heavy hydrocarbons: accumulation of rare trace elements and production of light fractions // *ChemEngineering*. 2025. Vol. 9, № 5. P. 108. DOI: 10.3390/chemengineering9050108.

ГЕЛЕВЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ ПВДФ И ПВП, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ КАОЛИНОМ В ДВОЙНОЙ И ТРОЙНОЙ МАТРИЦЕ

Сулейменова Г.А., Усипбекова Е.Ж.

Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Республики Казахстан
gulnur-suleimen@mail.ru

С быстрым развитием технологий литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) вопросы безопасности, такие как утечка и воспламеняемость традиционных жидких электролитов, по-прежнему актуальны. В этой работе были получены и систематически исследованы модифицированные каолином гелевые полимерные электролитические (ГПЭ) мембраны на основе матриц ПВДФ (ПК) и ПВДФ/ПВП (ППК). Было оценено влияние содержания местного каолина на морфологию мембран, поглощение электролита, способность к набуханию, термостабильность, механическую прочность, ионную проводимость и электрохимические характеристики. Для оценки поведения при переносе ионов и стабильности межфазной границы были использованы спектроскопия электрохимического импеданса, испытания на нанесение литиевого покрытия/снятие изоляции, а также измерения на полуэлементах Li-LFP. Целью данного исследования является выяснение взаимосвязи структуры и свойств, определяющих каолинсодержащие мембраны ГПЭ, и выявление композиций, демонстрирующих благоприятный баланс между переносом ионов и электрохимической стабильностью в пределах исследованного диапазона.

Измерения поглощения электролита и набухания показали, что добавление каолина повышает смачиваемость мембраны и удержание электролита до оптимального содержания 0,5 мас. %, в то время как более высокие нагрузки приводят к снижению эффективности. Термогравиметрический анализ подтвердил, что все мембраны сохраняют термическую стабильность примерно до 300 °С, что является преимуществом с точки зрения безопасности. Измерения ионной проводимости показали, что мембраны, содержащие 0,5 мас. % каолина (ПК2 и ППК2), обладают самой высокой проводимостью при комнатной температуре в своих соответствующих системах, при этом ГПЭ на основе ПВДФ/ПВП демонстрирует более высокую проводимость, что может быть объяснено улучшенной подвижностью полимерных цепей, обеспечиваемой ПВП, в сочетании с микроструктурной модификацией, вызванной каолином. При комнатной температуре были достигнуты значения ионной проводимости $1,54 \times 10^{-5}$ См/см и $1,14 \times 10^{-4}$ См/см для систем ПВДФ/каолин и ПВДФ/ПВП/каолин, соответственно. Испытания на механическое растяжение дополнительно выявили роль полимерной композиции и содержания наполнителя в определении прочности мембраны. Мембрана ПК2 продемонстрировала высокое относительное удлинение при умеренной прочности на растяжение, что свидетельствует о хорошей гибкости, в то время как мембрана ППК2 продемонстрировала более высокую прочность на растяжение, но меньшее относительное удлинение, что отражает более жесткую механическую реакцию. Спектроскопия электрохимического импеданса и испытания на гальваностатическое литиевое покрытие/снятие изоляции показали улучшенную стабильность поверхности раздела фаз мембран, содержащих каолин, по сравнению с аналогами, не содержащими каолин, в исследованных условиях. В тестах на полуэлементах Li-LFP ГПЭ на основе ПК2 продемонстрировал стабильные циклические характеристики с разрядной емкостью $113,58 \text{ mA} \cdot \text{ч} \cdot \text{г}^{-1}$ в течение 50 циклов при температуре 0,1 °С, в то время как ГПЭ на основе ППК2 продемонстрировал быстрое снижение емкости, несмотря на более высокую ионную проводимость. Эти результаты подчеркивают, что долговременные электрохимические характеристики определяются не только ионной проводимостью, но и балансом между кристаллическостью, механической целостностью и стабильностью поверхности раздела фаз.

Таким образом, разработка и применение ГПЭ, содержащих ПВДФ, ПВП и каолин, представляют собой перспективное направление для повышения безопасности и эффективности литий-ионных аккумуляторов. Кроме того, это исследование является важным шагом на пути к разработке разделительных материалов, которые могут быть интегрированы в коммерческие литий-ионные аккумуляторы и работать при высоких температурах.

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ

Pro Lab Support

Аналитическое оборудование
для лабораторий

Компания ProLabSupport основана командой профессионалов, с различным пользовательским опытом работы в лабораториях

О компании

Компания занимается комплексным оснащением лабораторий, сервисным и методическим сопровождением пользователей аналитического оборудования.

Задача компании:

Понимать возможности и потребности наших пользователей и предоставлять им технологические решения лучшие, чем у конкурентов

Миссия компании:

Качество решений, доверие клиентов, культура компании

Сферы применения решений ProLabSupport

Решения компании применяются в научно-исследовательских, производственных и аналитических лабораториях различных отраслей, включая нефтегазовую и химическую промышленность, металлургию, фармацевтику, медицину, экологический мониторинг, атомную энергетику, аграрный сектор, пищевую промышленность, судебную экспертизу и научные исследования.

КОНТАКТЫ



www.prolabsupport.kz, отдел продаж
аналитического оборудования
sales@prolabsupport.kz



позвоните нам: +7 7172 73 49 30 ,+7 701 129 2199



Республика Казахстан, город Астана,
район Есиль, Проспект Мангилик Ел,
здание 55/22 Блок 4.3, Fintech Lab



СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	3
Уваров Н.Ф., Федоров Н.А., Подгорнова О.А. Твердые полимерные электролиты, полученные набуханием эластомеров	4
Загоруйко А.Н. Структурированные стекловолоконистые катализаторы для решения природоохранных задач	6
Политов А.А., Телин А.Г., Мызь С.А. Новые экологически безопасные и зеленые технологии получения гибридных органико-неорганических материалов для нефтедобычи	8
Асқарұлы Қ., Сайтова Н., Азат С., Елеуов М., Тоштай Қ. Функциональные материалы для электрохимических накопителей энергии: суперконденсаторы и литий-ионные батареи	10
Баннов А.Г., Гудыма Т.С., Курмашов П.Б. Ключевые пути повышения выхода углеродных нановолокон из метана на катализаторах, синтезированных раствором горением	12
Supriyeva Zh., Tugelbayeva A., Valgabayeva B., Abbas Q. Synthesis of nanocomposite electrodes for electrochemical energy storage	13
Зильберберг И.Л. Электронные факторы каталитической активности перовскитов в окислительном дегидрировании этана	14
Савденбекова Б.Е., Оспанова А.К. Дизайн мультислойных полиэлектролитных покрытий для имплантатов: формирование, контролируемое высвобождение и антибактериальные свойства	15

СЕКЦИЯ 1.

ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лаптев Е., Черендина О.В., Шубникова Е.В., Тропин Е.С., Брагина О.А., Немудрый А.П. Влияние метода формования и технологических параметров на морфологию микротрубчатых мембран на основе $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.2}\text{Ba}_{0.2}\text{Fe}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$	17
Лейрих В.А., Титков А.И., Логутенко О.А. Особенности восстановления каприлата никеля в бензиловом спирте	19
Podarov R.A., Kolokolov M.I., Dementev S.A., Tretyakov E.V., Fedin M.V., Krumkacheva O.A. Bisfullerene as a new singlet-fission platform for photovoltaics: EPR and delayed-fluorescence signatures of a spin-correlated triplet pair	21
Dementev S.A., Podarov R.A., Sannikova N.E., Polienko Y.F., Kirilyuk I.A., Krumkacheva O.A. Towards quantitative and physiologically relevant detection of singlet oxygen in photodynamic systems	23
Базанова Е.Д., Григорьева В.Д. Условия роста монокристаллов Li_2WO_4 и их люминесцентные характеристики	24
Гудыма Т.С., Даниленко М.А., Курмашов П.Б. Совершенствование составов и методов синтеза никелевых катализаторов разложения метана	26
Дормидонова Д.О., Багрянцева И.Н. Композитные электролиты на основе дигидрофосфата цезия и фторкаучука СКФ-260В для среднетемпературных топливных элементов	27
Курмашов П.Б., Баннов А.Г. Разработка и реализация технологии приготовления катализаторов методом горения растворов	29
Myz S., Liang Ch., Yu H., Politov A., Gao H. New mechanochemical technologies for extracting carrageenan from algae and creation of new hybrid organic-inorganic materials based on it	31

Коледова Е.С., Юхин Ю.М. Получение основных нитратов висмута составов $Vi_6O_7(OH)_2(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ и $Vi_6O_7(OH)_2(NO_3)_2$	33
Колыванов А.С., Гудыма Т.С., Баннов А.Г. Получение катализаторов на основе железа методом соосаждения	35
Лозбень А.Д., Кох К.А., Баннов А.Г. Газовые сенсоры CH_4 и NO_2 на основе углеродных наноматериалов и дихалькогенидов переходных металлов	36
Макарова С.В., Бородулина И.А. Термическая стабильность гидроксипатита с двойным катионным замещением на ионы серебра и магния	38
Мамонова В.Е., Арапова М.В., Брагина О.А., Немудрый А.П. Взаимосвязь «состав – структура – свойства» в оксидах $La_{0.4}Sr_{0.6}Fe_{1-x}Al_xO_{3-\delta}$, применяемых в каталитических мембранных реакторах	41
Мустафина К.А., Новгородцева О.Н. Выбор вида антикоррозионной защиты заготовок магнитов при их транспортировании	43
Ридель Н.С., Ковалева С.А., Девяткина Е.Т., Восмериков С.В., Веремей И.С., Григорьева Т.Ф. Механохимический <i>in situ</i> синтез TiC в Mo-матрице	45
Ридель Н.С., Ковалева С.А., Девяткина Е.Т., Восмериков С.В., Видюк Т.М., Веремей И.С., Григорьева Т.Ф. Эволюция структуры порошков системы Mo-TiCr в ходе механохимической активации	47
Рубилкин П.А., Улихин А.С. Электролит на основе соли хлорид N-метил-N-н-пропил-пиперидиния для алюминиевых источников тока	49
Чуракова А.А. Электрохимическая коррозионная стойкость сплава TiNi с эффектом памяти формы в растворах Рингера и Хэнкса	51
Шатамаева П.П. Синтез и исследование (трет-бутилимидо)трис(диметиламино) тантала для осаждения функциональных слоёв методом ALD	53
Стебницкий И.А., Матейшина Ю.Г. Транспортные и термические свойства пластических солей морфолина, допированных тетрафтороборатом лития	55
Самсонова В.В., Соколова А.С. Синтез новых сульфонамидов на основе (1s)-камфор-10-сульфоислоты	56

СЕКЦИЯ 2.

ОБЩИЕ ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Abukhan K.E., Zhaksylykova G.Zh. Study and optimization of the xylene isomerization process to increase the paraxylene yield	58
Алайдар А.М., Смолобочкин А.В., Аппазов Н.О., Газизов А.С., Бурилов А.Р., Пудовик М.А. Взаимодействие 1-(3,3-диэтоксипропил)мочевин с C-нуклеофилами в присутствии трифторуксусной кислоты. Синтез тетрагидропиримидин-2(1H)-онов	60
Rafique A., Bekissanova Zh.B. Green synthesis and antibacterial activity of Ag/Ag ₂ S/Eu(OH) ₃ /diatomite hybrid nanocomposite reduced with grapes extract	61
Biyekyev B., Tungatarova S.A., Zhumabek M., Li H.Q. CO ₂ hydrogenation to synthetic fuel components over Ni-Co/CeO ₂ catalyst	63
Pyassova O.S., Baizhumanova T.S., Kaumenova G.N., Ayiheng A. Carbon dioxide hydrogenation over a Ni-Co/ZrO ₂ catalyst for the production of synthetic fuel components	65
Batyrbay S., Beisenbayev O., Sidikov A., Nazarbek D. Improvement of petroleum tar properties using gossypol resin, recycled polypropylene and radical initiators	67
Досатов Т.И., Аубакиров Е.А. Исследование эффективности ингибитора коррозии для защиты стальных трубопроводов в пластовой воде, обоснование практического применения	70
Maksotova K.S., Akbayeva D.N. Poly(vinyl alcohol)-stabilized copper nanoparticles as catalysts for the oxidation of 1-propanol: synthesis and characterization	73
Rakhmatullayeva D.T., Ospanova A.K. Polyelectrolyte multilayer coatings for antibacterial surgical sutures with controlled release properties	75

Talap R.K., Amantaulы K., Aubakirov Y.A. Production of light motor fuels from waste automobile tyres and used motor oils via catalytic hydrocracking	77
Айдарова Л.Д., Смагулова Н.Т. Исследование процессов гидропереработки коксохимической смолы	79
Алибеков Б.Е., Аубакиров Е.А. Получение топливных дистиллятов путем гидрокрекинга отработанных моторных масел под давлением водорода	81
Zhalishov K., Osanova Zh.B., Adilbekova A.O. Kinetic stability of hydrocarbon/water emulsions stabilized by cetylpyridinium chloride	83
Дауылбек А.А., Рахматуллина А.П. Термические свойства резин на основе модифицированного синтетического изопренового каучука	85
Джаткамбаева У.Н., Шакиева Т.В., Сасыкова Л.Р., Конысбаев А.Т. Синтез и исследование магнитного сорбента Fe ₃ O ₄ /гуминовая кислота для удаления ионов Fe(II) из сточных вод	87
Каримова Д.Б., Восмериков А.В., Восмерикова Л.Н., Восмериков А.А. Активность Pd- и Ru-содержащих катализаторов в дегидрировании н-бутана: функциональная роль металлического компонента и носителя	90
Махпирова Р.Н., Оспанова А.К. Условия получения гемостатических средств на основании синергетического эффекта при сочетании каолина с перспективными коагулянтами	92
Мустақым Б.Е., Байжуманова Т.С., Тунгатарова С.А. Селективное гидрирование CO ₂ в высшие спирты на катализаторах Cu–Fe–Me/TiO ₂	94
Накыпова С.М., Смолобочкин А.В., Акылбеков Н.И., Газизов А.С., Бурилов А.Р., Пудовик М.А. Реакции 2-арил-1-(винилсульфонил)пирролидинов с аминами. Синтез аналогов таурина	95
Оразова З.Б., Савденбекова Б.Е. Получение многофункциональных биосовместимых покрытий для продления сроков хранения продукции	97
Қонысбаев А.Т., Сасыкова Л.Р., Джаткамбаева У.Н., Шакиева Т.В., Жакирова Н.К. Синтез и исследование железосодержащих магнитных композитов для гидрирования CO ₂	98
Тажкеев Ж.Д., Онгарбаев Е.К. Модификация битума и асфальтобетонных смесей нанопорошками кокса	101

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / ПОСТЕРЫ

СЕКЦИЯ 1. ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Булина Н.В., Еремина Н.В., Винокурова О.Б., Макарова С.В., Просанов И.Ю. Механохимический синтез гидроксипатита с замещением на одновалентные катионы	104
Shakhtshneider T.P., Mikhailenko M.A., Myz S.A., Antonov I.M., Kuznetsova S.A., Lomovskiy I.O. Composites of polylactic acid with arabinogalactan: synthesis and physicochemical properties	107
Кузнецова С.А., Скурыдина Е.С., Дрозд Н.Н., Шахтшнейдер Т.П., Кузнецов Б.Н. Новый способ получения 3-о-формиата аллобетулина из бересты берёзы и изучение его прокоагулянтной активности в сравнении с бетулином	109
Макаров В.М., Стебницкий И.А., Матейшина Ю.Г. Синтез и исследование свойств Li _{7-3x} Al _x La ₃ Zr ₂ O ₁₂ – добавки для композиционных электролитов	111
Стебницкий И.А., Матейшина Ю.Г. Исследование физико-химических характеристик композиционных электролитов на основе органических ионных солей	113
Фёдоров Н.А., Подгорнова О.А., Уваров Н.Ф. Твёрдые полимерные электролиты для суперконденсаторов на основе углеродных электродов	114

Шимкив К.А., Еремина Н.В., Булина Н.В. Механохимический синтез K-Bi-замещенного гидроксипатита	116
Фроленкова А.Д., Титков А.И. Струйная 3Д-печать электролита GDC: управление микроструктурой и свойствами через состав чернил и температуру спекания	118

ЗАОЧНОЕ УЧАСТИЕ

СЕКЦИЯ 1. ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Комарова Д.О., Соколова А.С. Стереоспецифичный синтез N-(2-оксо-2-(((2S)-1,7,7-триметилбицикло[2.2.1]гептан-2-ил)амино)этил)-4-(трифторметил)бензамида	121
Зайцева Е.В., Калинина П.П., Захаров Б.А. Исследование кинетики тепловой изомеризации и структурного фазового перехода в $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{ONO}]\text{Br}_2$ методом дифференциальной сканирующей калориметрии	123
Александрова Т.А., Тимакова Е.В. Синтез аммонийной формы тартрата висмута	124
Ваняркина В.О., Уваров Н.Ф. Синтез $\text{K}_2\text{MnFe}(\text{CN})_6$ различными методами	126
Власов С.А., Гонгола М.И., Попов М.П., Немудрый А.П. Исследование возможности применения оксидов со структурой перовскита на основе $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_{3-\delta}$ в качестве катодных материалов твердооксидных топливных элементов	128
Гладышев И.И., Шивцов Д.М., Шубин Ю.В., Бауман Ю.И., Мишаков И.В. Получение и изучение активности многокомпонентного NiFeCoSn сплава в процессе синтеза углеродных нановолокон	129
Чернуха Н.С., Уваров Н.Ф. Синтез пористых углеродных материалов темплатным методом из меламин-фенолформальдегидных и мочевино-фенолформальдегидных смол	131
Турло Е.М., Брестер А.А., Островский Ю.В. Изучение возможности извлечения лития из артезианских вод сорбционным методом	133
Раков П.А., Апарнев А.И., Логинов А.В. Синтез гидроксостанната стронция, допированного церием	135
Тимакова Т.Е., Тимакова Е.В. Синтез $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ из оксалатных предшественников	137
Лобанцов С.А., Крутский Ю.Л., Гудыма Т.С. Совершенствование технологии подготовки антрацита горловского угольного бассейна для производства угольных изделий	140
Миллер Я.А., Багишев А.С., Титков А.И. Влияние скорости активного сканирования на фазовый состав и размер продукта лазерного разложения оксалата церия	142
Коряковцева А.А., Уваров Н.Ф. Влияние методов отмывки на характеристики максена Ti_3C_2 , синтезированного методом селективного травления	144
Мирная В.А., Соколов В.В., Наумов Н.Г., Крутский Ю.Л., Гудыма Т.С. Извлечение диоксида титана из лейкоксенового концентрата с использованием гидросульфата калия (KHSO_4) как экологичная альтернатива	146
Игнатюк Ю.Д., Уваров Н.Ф. Синтез максена Ti_2C обработкой различными реагентами	148
Черникова М.С., Семерикова А.Н., Мацкевич Н.И. Синтез и термодинамические свойства двойного молибдата натрия и диспрозия	150
Грибанова Н.А., Комова О.В., Озерова А.М., Муха С.А., Симагина В.И., Нецкина О.В. Каталитическое гидрирование п-нитрофенола в воде в мягких условиях: влияние природы катализатора и состава реакционной среды	151

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / ПОСТЕРЫ

СЕКЦИЯ 2. ОБЩИЕ ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Өтемұрат А.А., Савденбекова Б.Е.** Разработка и исследование модифицированных сорбентов для очистки воды от нефтепродуктов 154
- Дуйсенали А.М., Елибаева Н.С., Бурашева Г.Ш., Умбетова А.К., Литвиненко Ю.А., Асылханов Ж.С., Сасыкова Л.Р.** Оценка биологического воздействия 2,2-пропаргилоксибензойной кислоты на семена однодольных и двудольных растений 156
- Нефедова В.Л., Ташмухамбетова Ж.Х.** Каталитический пиролиз пластиковых отходов: обзор современных исследований 159
- Нурмахамбетова А.Н., Оспанова А.К.** Разработка условий получения кровоостанавливающих гидрогелей на основе ПВС и гемостатических добавок 161
- Берікболқызы К., Савденбекова Б.Е.** Синтез и физико-химические свойства композиционного материала на основе каолина и альгината натрия 162
- Рақымжан М., Джалмурзаева Ж., Амантайұлы К., Аубакиров Е.А.** Производство лёгкого моторного топлива из отходов пластмасс методом каталитического гидрокрекинга 163
- Жалбаторова С.А., Жакирова Н.К., Сасыкова Л.Р., Куралова А.Г.** Синтез и применение катализатора на основе оксида ванадия в фотокаталитической очистке воды 165
- Абильдин Т.С., Василина Г.К., Досумова Б.Т., Наренова С.М., Нұрлан Ә., Тасемен Е.** Қызыл шлам және табиғи цеолит қатысында пайдаланылған мотор майларын гидрокрекингтеу 168

ЗАОЧНОЕ УЧАСТИЕ

СЕКЦИЯ 2. ОБЩИЕ ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Айтбекова Д.Е., Бәкір М.Ә., Хамзенова А.Ж.** Тұтқыр мұнайды катализатор қатысында ультрадыбыстық өңдеу 171
- Габдуллина М., Рахметкалиева Қ., Далбанбай А., Накан Ұ.** Модификацияланған целлюлоза негізіндегі жалғанған сополимерлік гидрогельдердің синтезі және сипаттамасы 173
- Қазыбекқызы Н., Хожабай Н.Г., Ықсан А.Н., Василина Г.К., Абдильдина К.М.** Разработка и исследование бифункциональных катализаторов на основе мезопористых алюмосиликатов для получения зимних дизельных топлив 175
- Есенбаева К.К., Тусипхан А., Жарас А.С.** Смеси тяжелой фракции каменноугольной смолы и горючего сланца кинетика и закономерности гидрометализации 176
- Сулейменова Г.А., Усипбекова Е.Ж.** Гелевые полимерные электролиты на основе ПВДФ и ПВП, модифицированные каолином в двойной и тройной матрице 179

Научное издание

Материалы
XII МЕЖДУНАРОДНОЙ РОССИЙСКО-КАЗАХСТАНСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»,
Алматы, Казахстан, 21–22 мая, 2026 г.

Составители:

Сасыкова Л.Р., Супиева Ж.А., Тоштай К.

Издается в авторской редакции

ИБ 18108

Подписано в печать 16.06.2026. Объем 11,625 п.л. Заказ № 3599.

Издательский дом «Қазақ университеті»
Казахского национального университета им. аль-Фараби.
050040, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, 71. КазНУ.

Отпечатано в типографии издательского дома «Қазақ университеті»