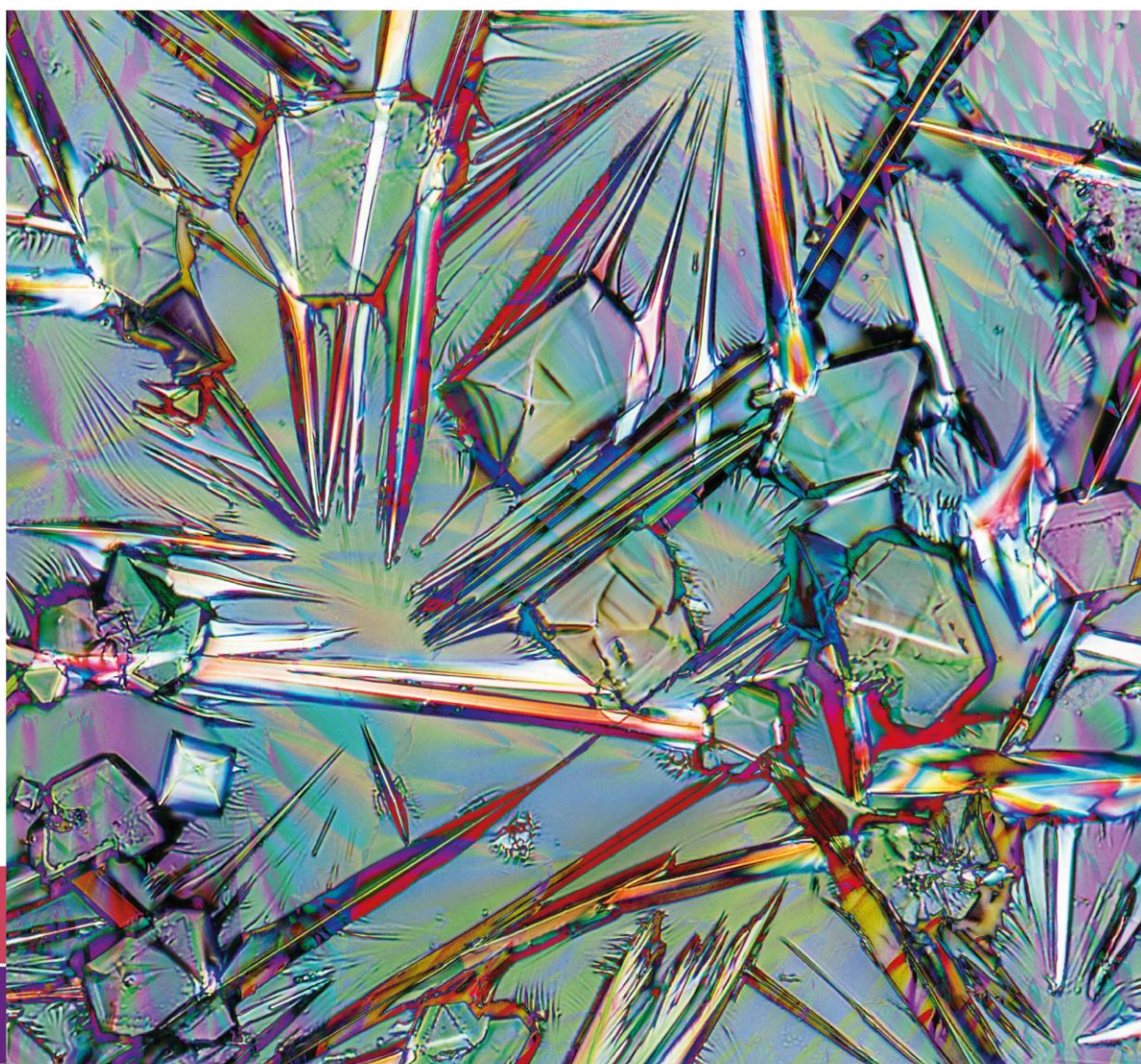




**МАТЕРИАЛЫ**  
**XXXII МЕНДЕЛЕЕВСКОЙ**  
**ШКОЛЫ-КОНФЕРЕНЦИИ**  
**МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**  
2022 ГОД,  
МОСКВА



ИССЛЕДОВАНИЯ / ТЕХНОЛОГИИ

XXXII МЕНДЕЛЕЕВСКАЯ  
ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
11–13 МАЯ 2022  
МОСКВА

Сборник тезисов

УДК 54(082), 66(082)  
ББК 24я43  
Т67

**Учредитель и организатор Менделеевского конкурса с 1990 года  
Некоммерческое партнерство  
«Содействие химическому и экологическому образованию»**

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

доктор химических наук, профессор **Г.В. Лисичкин** - председатель  
доктор технических наук, профессор **М.А. Ваниев**  
доктор химических наук, профессор **С.С. Карлов**  
кандидат химических наук, доцент **Ю.Г. Кириллова**  
доктор физико-математических наук, профессор **Е.А. Пазюк**  
кандидат химических наук, вед. научн. сотр. **Д.А. Пибалк**  
доктор химических наук, профессор **С.М. Пестов**  
кандидат химических наук, научн. сотр. **Л.В. Ромашов**  
доктор технических наук, профессор **А.К. Фролкова**  
доктор химических наук, вед. научн. сотр. **О.А. Шляхтин**

Т67 **XXXII МЕНДЕЛЕЕВСКАЯ ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
11–13 МАЯ 2022 МОСКВА Сборник тезисов.**  
2022 – 8,7 Мб. [Электронное издание]

ISBN 978-5-00204-247-0

В сборнике представлены работы победителей I тура XXXII Менделеевского конкурса студентов по номинациям «Исследования по химии» и «Исследования и разработки по химической технологии»

В I туре конкурса участвовало 150 работ студентов из 38 вузов 27 городов. На основании независимых рецензий жюри определило 96 работ, которые прошли во II тур. Им предстоит защищать свои работы на XXXII школе-конференции молодых учёных в Москве.

Менделеевский конкурс студентов учредило сообщество химиков России в 1990 году. Его цель – выявлять и поддерживать талантливых студентов химических специальностей, поощрять их научно- исследовательскую работу. За более, чем 30 лет Менделеевский конкурс стал известным и престижным академическим соревнованием среди университетской молодёжи России.

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области химии и химической технологии.

**Организаторы**

Некоммерческое партнерство «Содействие химическому и экологическому образованию»  
Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова  
Институт органической химии имени Н.Д. Зелинского РАН

**Партнеры**

- МИРЭА – Российский технологический университет
- Факультет наук о материалах МГУ имени М.В. Ломоносова
- РХТУ имени Д.И. Менделеева
- Российское химическое общество имени Д.И. Менделеева
- Центр «НаукаПресс» (журнал «Химия и жизнь»)

**Спонсоры:**

- «СОЛЬВЕКС»

## ОРГКОМИТЕТ

**Калмыков Степан Николаевич**

**Председатель**

Член-корреспондент РАН, декан химического факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова

**Карлов Сергей Сергеевич**

**Зам. председателя**

Д.х.н., профессор РАН, зам. декана химического факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова

**Дильман Александр Давидович**

**Зам. председателя**

Д.х.н., профессор РАН, зам. директора по научной работе  
ИОХ имени Н.Д. Зелинского РАН

**Лисичкин Георгий Васильевич**

**Зам. председателя**

Д.х.н., профессор Химического факультета МГУ имени  
М.В. Ломоносова

**Ротина Елена Сергеевна**

**Зам. председателя**

Директор НП «Содействие химическому и экологическому  
образованию»

**Волкова Татьяна Борисовна**

**Ответственный секретарь оргкомитета**

К.х.н.

**ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:**

**Ивашко Сергей Валерьевич**

Руководитель пресс-службы химического факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова

**Путятин Андрей Владимирович**

Советник декана химического факультета МГУ имени  
М.В.Ломоносова

**Дзубан Александр Владимирович**

Ответственный за техническое сопровождение онлайн-  
мероприятия.

Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

## ЖЮРИ

<b>Егоров Михаил Петрович</b>	<b>Председатель жюри</b> Академик РАН, академик-секретарь Отделения химии и наук о материалах РАН, директор ИОХ имени Н.Д. Зелинского РАН, президент НП «Содействие химическому и экологическому образованию»
<b>Койфман Оскар Иосифович</b>	<b>Зам. председателя жюри</b> Член-корреспондент РАН, д.х.н., профессор, президент Ивановского государственного химико-технологического университета (ИГХТУ)
<b>Горбунова Юлия Германовна</b>	<b>Зам. председателя жюри</b> Член-корреспондент РАН, зав. лаб. ИОНХ РАН
<b>Карлов Сергей Сергеевич</b>	<b>Зам. председателя жюри</b> Д.х.н, профессор, зам. декана Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
<b>Фролкова Алла Константиновна</b>	<b>Зам. председателя жюри</b> Д.т.н., профессор Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА
<b>Перекалин Дмитрий Сергеевич</b>	<b>Ученый секретарь жюри</b> Д.х.н., зав. лаб. ИНЭОС РАН
<b>Агеева Татьяна Арсеньевна</b>	К.х.н., доцент Ивановского государственного химико-технологического университета
<b>Брылев Олег Александрович</b>	К.х.н., доцент Факультета наук о материалах МГУ имени М.В. Ломоносова
<b>Брук Лев Григорьевич</b>	Д.х.н., профессор ,зав. кафедрой Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА
<b>Бурмистров Владимир Александрович</b>	Д.х.н., профессор Ивановского государственного химико-технологического университета
<b>Ваниев Марат Абдурахманович</b>	Д.т.н., зав кафедрой Волгоградского государственного технического университета
<b>Вашурин Артур Сергеевич</b>	Д.х.н., зав. кафедрой Ивановского государственного химико-технологического университета
<b>Ежова Анна Алексеевна</b>	К.х.н., научный сотрудник Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА
<b>Еремина Елена Алимовна</b>	К.х.н., доцент Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
<b>Иоффе Сема Лейбович</b>	Д.х.н., профессор, ИОХ имени Н.Д. Зелинского РАН
<b>Кириллова Юлия Геннадиевна</b>	К.х.н., доцент Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА

<b>Ковалева Анна Николаевна</b>	К.х.н., доцент Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА
<b>Леменовский Дмитрий Анатольевич</b>	Д.х.н., профессор Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
<b>Лесив Алексей Валерьевич</b> <b>Лукашин Алексей Викторович</b>	Генеральный директор компании «Сольвекс» Член-корреспондент РАН, д.х.н., профессор Факультета наук о материалах МГУ имени М.В. Ломоносова
<b>Маслов Михаил Александрович</b>	Д.х.н., профессор, директор Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА
<b>Михайлов Андрей Андреевич</b>	К.х.н., с.н.сотр. ИБХ РАН
<b>Пазюк Елена Александровна</b>	Д.ф.-м.н., доцент Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
<b>Пебалк Дмитрий Андреевич</b>	К.х.н., директор по инновациям ООО «Элефант»
<b>Пестов Сергей Михайлович</b>	Д.х.н., профессор Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА
<b>Пешнев Борис Владимирович</b>	Д.т.н., профессор Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА
<b>Радио Сергей Викторович</b>	К.х.н., заведующий научно-исследовательской частью Донецкого национального университета
<b>Ромашов Леонид Владимирович</b>	К.х.н., н.с. ИОХ имени Н.Д. Зелинского РАН
<b>Фомичев Валерий Вячеславович</b>	Д.х.н., профессор Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА
<b>Фролов Евгений Игоревич</b>	К.х.н., доцент Самарского государственного технического университета.
<b>Шляхтин Олег Александрович</b>	Д.х.н., профессор Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
<b>Юловская Виктория Дмитриевна</b>	К.х.н., доцент, начальник научно-исследовательской части РТУ МИРЭА

## **Уважаемые участники Всероссийского Менделеевского конкурса студентов-химиков!**

Поздравляем вас с тем, что вам посчастливилось принять участие в этом празднике науки. Менделеевский конкурс проходит уже в 32-й раз, и за эти годы он многократно подтверждал свой статус серьезного научного мероприятия.

Основная цель конкурса - поддержка и развитие научной деятельности студентов, обучающихся по химическим, химико-технологическим и материаловедческим специальностям, а также приобщение студентов-химиков младших курсов к исследовательской работе. И жюри конкурса каждый раз убеждается в серьезности, с которой участники подходят к своей научной работе. Мы надеемся, что победителей конкурса помимо призов и дипломов ждет возможность работать в передовых лабораториях, с представителями которых вы встретитесь в рамках конкурса, возможность перевести свою научную деятельность на качественно новый уровень.

Особое внимание жюри конкурса уделяет работам на стыке наук. Подтверждением тому служит специальный приз имени профессора Генриха Эрлиха за лучшее междисциплинарное исследование.

Менделеевский конкурс - это ещё и возможность познакомиться с ведущими учеными, а также завести новых друзей, многие из которых в будущем станут вашими попутчиками в прекрасном путешествии по необъятной и увлекательной науке - химии. А мы со своей стороны можем вам пожелать новых открытий и ярких озарений.

Председатель жюри  
XXXII Всероссийского  
Менделеевского конкурса  
студентов-химиков

Академик РАН  
Егоров М.П.

Председатель оргкомитета  
XXXII Всероссийского  
Менделеевского конкурса  
студентов-химиков

Член-корреспондент РАН  
Калмыков С.Н.



## ПРОГРАММА

<b>11 мая (среда)</b>	
10.00—10.30	<b>Торжественное открытие XXXII Менделеевской школы-конференции</b> Ведущий – <b>О.И. Койфман</b> , член-корреспондент РАН, президент Ивановского государственного химико-технологического университета Приветствия: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>С.Н. Калмыков</b>, председатель оргкомитета Менделеевского конкурса, член-корреспондент РАН, декан Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова</li> <li>• <b>М.П. Егоров</b>, председатель жюри Менделеевского конкурса, академик РАН, академик-секретарь Отделения химии и наук о материалах РАН, директор ИОХ им. Н.Д. Зелинского РАН, президент НП «Содействие химическому и экологическому образованию»</li> <li>• <b>Ю.Г. Горбунова</b>, член-корреспондент РАН, вице-президент РХО имени Д.И.Менделеева</li> <li>• <b>Д.С. Перекалин</b>, д.х.н., зав. лабораторией ИНЭОС РАН, ученый секретарь жюри Менделеевского конкурса</li> </ul>
10.30 – 11.50	Доклады участников (по секциям)
11.50 – 12.00	ПЕРЕРЫВ
12.00 – 13.20	Доклады участников (по секциям)
13.20 – 13.30	ПЕРЕРЫВ
13.30 – 15.00	Доклады участников (по секциям)
15.00 – 16.00	ПЕРЕРЫВ
16.00 – 17.00	Лекция "Останется ли место углеводородам в будущей энергетике?" <b>В.С. Арутюнов</b> , д.х.н. зав лабораторией Федерального исследовательского центра химической физики имени Н.Н. Семенова РАН, профессор Факультета фундаментальной физико-химической инженерии МГУ имени М.В. Ломоносова
18.00	Публикация списка участников, прошедших во второй этап для представления устного доклада <a href="http://www.chem.msu.ru/rus/events/mendeleev-2022/">http://www.chem.msu.ru/rus/events/mendeleev-2022/</a>
<b>12 мая (четверг)</b>	
10.00 – 12.00	Доклады участников (по номинациям)
12.00 – 13.00	Перерыв
13.00 – 15.00	Доклады участников (по номинациям)
15.00 – 15.30	Перерыв
15.30 – 16.30	Жюри отвечает на вопросы участников
<b>13 мая (пятница)</b>	
10.00 – 14.00	Доклады участников (по номинациям)
16.00 – 17.00	<b>Торжественное закрытие. Объявление победителей XXXII Менделеевского конкурса студентов-химиков</b>

Номинация 1 «Исследования по химии»

Секция «Физическая и аналитическая химия»

# ПРОТОЧНЫЙ ЭЛЕКТРОСИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ БОРНАТ-ЗАМЕЩЕННОГО ПОИАНИЛИНА ДЛЯ СЕНСОРОВ НА САХАРА И ГИДРОКСИКИСЛОТЫ

Студентка 1 курса Александрович А.С.

Руководитель к.х.н. Комкова М.А.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет наук о материалах

*alexandrovichas@my.msu.ru*

Рецепторные биомиметики могут быть использованы в качестве трансдьюсеров, сочетающих в себе селективность аффинных взаимодействий с операционной стабильностью. Одним из таких рецепторов может выступать поли(3-аминофенилборная кислота) (ПАФБА). С одной стороны, остаток борной кислоты способен обратимо и селективно связываться с сахарами и гидроксикислотами. С другой стороны, проводящие свойства полимера обеспечивают преобразование химического сигнала в электрохимический, а электроактивность сохраняется даже в физиологических рН. Традиционно для получения проводящих полианилинов применяют метод электрополимеризации, однако такой подход ранее не был реализован для получения свободных наноструктур.

В нашей работе предложен проточный электрохимический синтез наночастиц ПАФБА в ячейке типа wall-jet. В такой конфигурации электросинтезированные наночастицы удаляются из рабочей камеры потоком реакционной смеси. Электрохимический подход позволяет визуализировать электроактивность синтезируемого материала и контролировать условия полимеризации *in situ*, а проточная система обеспечивает воспроизводимый массоперенос.

Электросинтез наноструктур ПАФБА осуществляли в режиме циклической вольтамперометрии в диапазоне потенциалов от -0.2 В до 0.85 В отн. ХСЭ и скорости развертки потенциала 40 мВ/с. Увеличение токов окисления мономера при  $E = 0.8$  В отн. Ag/AgCl свидетельствует о росте проводящей поверхности. Методом ПЭМ установлено, что полимерные частицы имеют размер около 10-20 нм.

Синтезированные наноструктуры были иммобилизованы на поверхности электрода путем адсорбции. Методами циклической и квадратно-волновой вольтамперометрии исследована электроактивность наночастиц. Катодной паре пиков соответствует редокс-переход лейкоэмеральдин-эмеральдин, анодной – переход эмеральдин-пернигранилин. Редокс-потенциал первой пары пиков линейно уменьшается на 30 мВ/рН, а второй – на 90 мВ/рН с увеличением рН. По результатам ЦВА в рН 6 можно сделать вывод о том, что полимер остается проводящим в физиологических средах.

Морфология наноструктур была изучена методом спектроскопии комбинационного рассеяния. Были сняты спектры для наночастиц поли(3-АФБК) в рН 1 и 6. Можно заметить значительное увеличение рефлекса колебания двойных связей C=N и уменьшение рефлекса колебаний связей C-N<sup>+</sup> при увеличении рН; сохранение второго рефлекса при рН 6 подтверждает электроактивность полимера в нейтральной среде.

Исследованы сенсорные характеристики полученных плёнок и адсорбированных наночастиц. Методом спектроскопии электрохимического импеданса установлено, что связывание остатка борной кислоты с полиолами (на примере фруктозы) обеспечивает дополнительное допирование основной цепи полимера, что отражается в уменьшении сопротивления переноса заряда в 3 раза при добавлении 60 мМ фруктозы в анализируемую смесь при рН 7. При этом любые неспецифические взаимодействия приводят к увеличению сопротивления (за счет ограничения диффузии) или неизменности сигнала.

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИАЛИЗНОЙ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЙ ОКСИДА ГРАФЕНА

Студентка 2 курса Бывшева С.М.

Руководитель к.х.н. Михеев И.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет

[byvsheva2702@yandex.ru](mailto:byvsheva2702@yandex.ru)

Углеродные наноматериалы широко используются во многих областях науки и техники, в том числе и в медицинской практике. Оксид графита (ОГ) – известен уже более 150 лет. Водные дисперсии оксида графена (вдОГ), получаемые расслоением ОГ, имеют широкое биомедицинское применение. Ввиду особенностей получения первичный материал ОГ загрязнен окислителями (например, перманганатом калия, серной кислотой и др.). Помимо первичных загрязнителей в ОГ присутствуют побочные – за счет акустической деструкции основные компоненты погружных зондов, используемых для расслоения, попадают в дисперсию. Исследования оптимальных условий очистки ОГ говорят о том, что удаление неорганических примесей из реакционного раствора возможно путем диализа. Цель работы – разработка способов контроля и очистки водных дисперсий оксида графена (вдОГ) для дальнейшего применения высокочистых дисперсий в биолого-медицинских задачах.

В работе предложена автоматизация процесса диализной очистки, позволяющая регулировать подачу реагентов, а также их вывод из сосуда для диализа, что значительно повысило эффективность очистки водных дисперсий оксида графена. Методом ИСП-АЭС установлено, что применение в течение 3 суток в качестве реагентов 0,05 М раствора ЭДТА и 3%-ного раствора пероксида водорода с последующей отмывкой дистиллированной водой позволяет полностью очистить водную дисперсию оксида графена от марганца и алюминия, а также снизить содержание титана и железа до уровня сотен и десятков мкг/л, что позволяет использовать дисперсию для дальнейшего биомедицинского исследования.



Установлено, что регистрация удельной электропроводности является универсальным способом контроля добавления реагентов в сосуд для диализа и степени отмывки от реагентов с помощью деионизованной воды до уровня ~10 мкСм/см.

Рис. Принципиальная схема работы

# ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ БИОСЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ НАНОЗИМОВ БЕРЛИНСКАЯ ЛАЗУРЬ-ГЕКСАЦИАНОФЕРАТ НИКЕЛЯ ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГЛИКЕМИИ

Студент 3 курса Жилкин М.В.

Руководители асп. 1 г/о. Щербачёва Е.В., к.х.н. Дабосс Е.В.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет  
maksim.zhilkin@chemistry.msu.ru*

Тенденции развития клинической диагностики и медицины в современных реалиях связаны с переходом к неинвазивным методам исследований, которые обладают несколькими отличительными преимуществами: не нарушается целостность сосудов и кожных покровов, отсутствует риск инфицирования пациентов, кроме того, существует возможность непрерывного мониторинга различных метаболитов. Для данных целей отлично подходят носимые электрохимические устройства, осуществляющие измерения в экскреторных жидкостях, преимущественно в поте. Однако наиболее распространенные платиновые датчики оказались непригодны для такого использования ввиду инактивации платины сульфидами и другими компонентами пота.

Подобных проблем лишены ферментные биосенсоры первого поколения с трансдьюсером на основе нанозимов берлинской лазури (БЛ). Целью трансдьюсера является преобразование химической информации в полезный электрический сигнал, так в данном случае  $H_2O_2$ , образующийся в ходе ферментативной реакции с аналитом, восстанавливается до ОН<sup>-</sup>. При этом происходит окислительно-восстановительный переход берлинский белый – БЛ, обуславливающий измеряемый сигнал. Наилучших характеристик таких биосенсоров удастся достичь при повышении однородности трансдьюсера, иными словами, использовании подходящих методик синтеза нанозимов [1]. Несмотря на преимущества использования нанозимов, БЛ сольбилизируется гидроксид-ионами, а значит не подходит для длительного мониторинга. Поэтому в данной работе предложен способ стабилизации нанозимов БЛ гексацианоферратом никеля, который химически и механически более стабилен чем берлинская лазурь, но при этом не активен в реакции восстановления пероксида водорода [2].

Путем варьирования условий синтеза были получены стабилизированные нанозимы БЛ различного диаметра (от 40 до 150 нм). Иммунизация нанозимов на поверхности рабочего электрода позволила получить сенсоры на пероксид водорода, характеризующиеся значительно возросшей стабильностью. Так, сенсоры на основе нестабилизированных наночастиц сохраняют только 7,5% от первоначального отклика в течение 25 минут, в то время как на основе стабилизированных 78%. Аналогичное увеличение стабильности, при сохранении чувствительности, наблюдается и для глюкозных биосенсоров. Наилучшие характеристики показали биосенсоры на основе нанозимов диаметром 45 нм. Чувствительность определения концентрации глюкозы составила  $34 \pm 4 \text{ mA} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ , а время работы с потерей не более чем 10% от первоначального токового отклика более 150 минут (40 минут для нестабилизированных). Таким образом, разработанные стабилизированные нанозимы БЛ подходят для решения тех же задач, что и ранее известные, но при этом открывают дополнительные возможности продолжительного мониторинга метаболитов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 19-13-00131.*

## Литература

1. Komkova M.A., Karyakina E.E, Karyakin A.A., JACS. 2018. Vol. 140. 11302.
2. Karpova E.V., Karyakina E.E., Karyakin A.A., RSC adv. 2016. Vol. 6. 103328.

## ИМПУЛЬСНАЯ ХРОНОАМПЕРОМЕТРИЯ ДЛЯ НОСИМЫХ УСТРОЙСТВ МОНИТОРИНГА МЕТАБОЛИТОВ

Студентка 1 курса Касимовская В.С.

Руководитель к.х.н. Комкова М.А.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет наук о материалах*

*valeria.kasimovskaya@gmail.com*

Высококочувствительное и селективное определение содержания метаболитов (глюкозы, лактата) в экскреторных жидкостях представляет собой важную аналитическую задачу, поскольку открывает новые возможности для неинвазивной диагностики гипоксии и диабета без анализа крови. Проточные биосенсоры на основе оксидаз и гексацианоферрата(II) железа(III) (берлинской лазури, БЛ) наиболее часто используются в носимых устройствах, поскольку имеют большой диапазон определяемых концентраций (до 4 порядков), а берлинская лазурь устойчива в среде пота. Однако детекция при низких скоростях потока приводит к понижению точности результатов таких сенсоров вследствие ограниченного массопереноса и возникновения концентрационной поляризации. Традиционно такие сенсоры функционируют при 0 В по трехэлектродной системе с использованием потенциостата или в режиме гальванической ячейки. При этом в качестве отклика сенсора рассматривают изменение стационарного тока, пропорционального концентрации анализируемого вещества.

В настоящей работе предложено использовать биосенсоры на основе берлинской лазури в квазистационарном режиме гальванической ячейки. Это позволит снять диффузионные ограничения, поскольку вещество на поверхности электрода расходуется только в момент замыкания цепи. Используя программируемый амперметр, возможно задавать время замыкания/размыкания цепи, тем самым регулируя соотношение диффузионной и кинетической компонент регистрируемого тока.

Исследованы аналитические характеристики сенсоров в импульсном режиме гальванической ячейки. В соответствии с законом Коттрелла в условиях скачка потенциала (при замыкании цепи) отклик тем выше, чем меньше время регистрации тока от момента замыкания цепи  $t_{\text{счит}}$ . Так, для  $t_{\text{счит}} = 200$  мс коэффициент чувствительности составляет  $6,07 \pm 0,02 \text{ А} \cdot \text{М}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$  при фоновом сигнале  $12,1 \text{ мкА} \cdot \text{см}^{-2}$ , а соотношение «сигнал/фон» -  $0,5 \text{ мкМ}^{-1}$ , что в 1,8 раз больше, чем при  $t_{\text{счит}} = 1400$  мс и почти в 2 раза по сравнению со стационарным режимом.

Регистрируемый фарадеевский ток складывается из тока восстановления  $\text{H}_2\text{O}_2$ , образующегося в ходе ферментативной реакции, и тока восстановления БЛ до берлинского белого (фоновый сигнал). В соответствии с этим, увеличение времени размыкания цепи  $t_{\text{выкл}}$  приводит к более полной разрядке берлинского белого и последующему усилению отклика при замыкании цепи за счет увеличения количества берлинской лазури в чувствительном слое. При этом вышеупомянутый коэффициент чувствительности  $6,07 \pm 0,02 \text{ А} \cdot \text{М}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$  достигается при  $t_{\text{выкл}} = 15$  с. Однако за счет увеличения фонового сигнала максимальное значение соотношения «сигнал/фон» достигается при малых значениях времени размыкания цепи (1-2 с) и составляет  $0,62 \text{ мкМ}^{-1}$ .

Замечено, что величина отклика линейно зависит от  $t_{\text{выкл}}$  в диапазоне 0-25 с при малых значениях концентрации. Тангенс этой зависимости является функцией только концентрации глюкозы, не зависит от флуктуации фоновых сигналов, не изменяется в условиях длительной эксплуатации и многократном использовании биосенсора. Возможность программирования биосенсора позволит в перспективе создать аналог электронного языка, реализуемого с использованием единичного биосенсора.

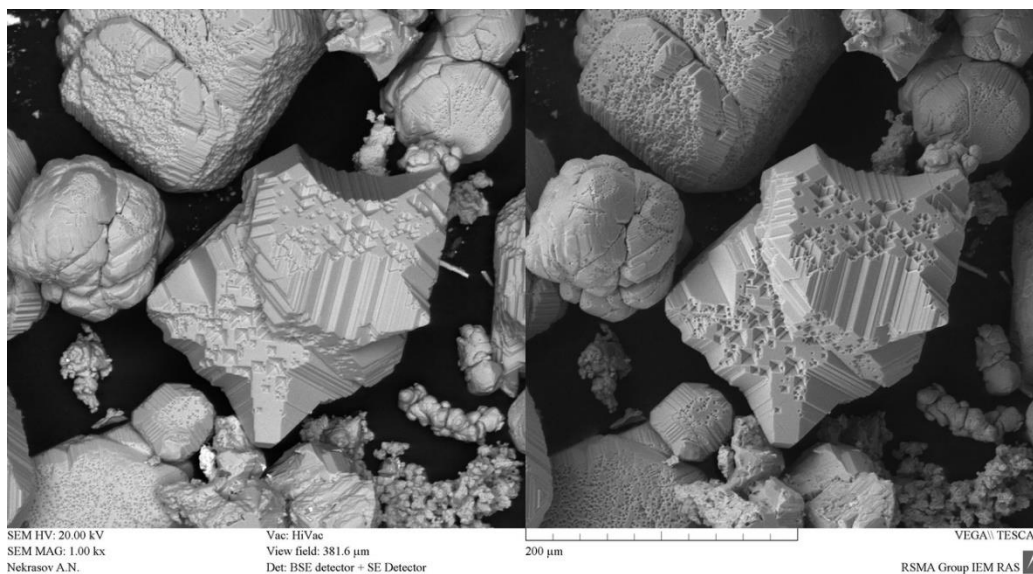
## РОСТ КРИСТАЛЛОВ И ИЗУЧЕНИЕ ПРЕДЕЛА ВХОЖДЕНИЯ ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЕНТЛАНДИТЫ

Студентка 3 курса Ларчева Е.И.  
Руководитель профессор Чареев Д.А.  
Государственный университет «Дубна»  
larchevaekaterina@mail.ru

Пентландиты ((Ni,Fe)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>, (Ni,Fe,Co)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>) являются типичными концентраторами металлов платиновой группы (ЭПГ), так как в их состав входит целый ряд редких и рассеянных элементов, которые не образуют самостоятельных минералов и могут быть получены лишь при переработке сульфидных руд. Состав этих минералов связан с условиями их образования, поэтому это может быть в дальнейшем использовано для определения физико-химических параметров рудообразования и пределов вхождения ЭПГ.

Смешанные сульфиды железа, легированные Pt и Pd, синтезированы методом газового транспорта при температуре ~550°. В качестве реагента использовался AlCl<sub>3</sub> + KBr.

Химический состав полученных кристаллов был определен на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ). Концентрации примесных компонентов и их распределение в образцах были определены комбинацией методов масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой с лазерной абляцией проб и рентгеноспектральным микроанализом.



Электронная фотография синтезированных кристаллов пентландитов.  
СЭМ TESCAN Vega II XMU, ИЭМ РАН

С помощью метода газового транспорта возможен перенос ЭПГ и образование кристаллов пентландитов. По полученным данным были изучены пределы вхождения Pt и Pd в кристаллы сульфидов. Показано, что максимальное вхождение Pd составляет 0,004 мас. % и Pt 1,05 мас. % при температуре ~550°. Также возможно содержание Rh в структуре пентландитов в количестве 0,2 мас. %.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ведущих научных школ РФ (НШ-2394.2022.1.5) и РФФИ (Грант 20-35-70049 Стабильность).*

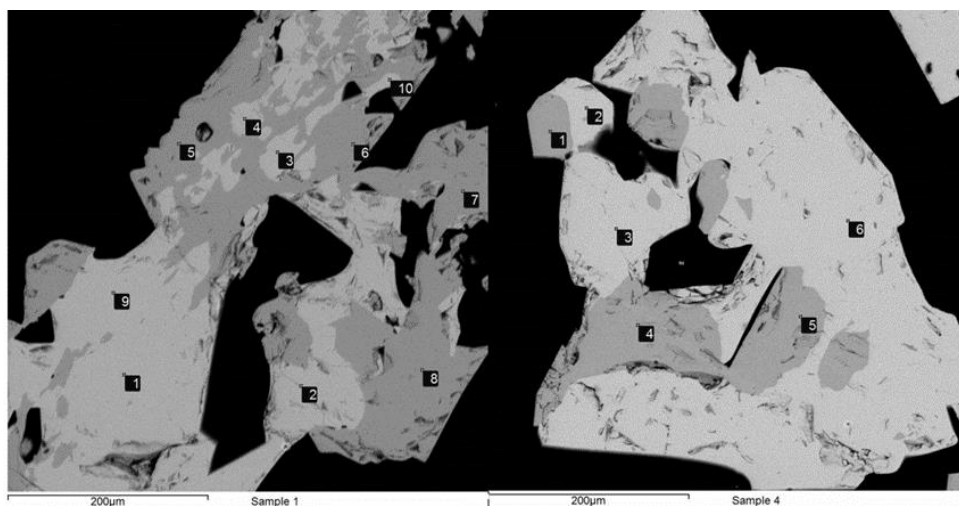
## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА В СИСТЕМЕ Cu-Zn-Sn-S

Студентка 2 курса Малюшина П.Ю.  
Руководитель аспирант Згурский Н.А.  
Государственный университет «Дубна»  
*polyamalyushina@yandex.ru*

Кестерит ( $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ ) и сфалерит ( $\text{ZnS}$ ) являются одними из наиболее распространённых минералов-носителей со схожим набором примесных элементов. Изоморфизм твёрдых растворов системы кестерит-сфалерит представляет научный интерес, так как в природных объектах может служить индикатором физико-химических условий образования руд и минералов. Экспериментальное изучение равновесий расширяет возможности использования сфалерита в качестве геотермометра, геобарометра и индикатора активности серы.

Было проведено три серии экспериментов при температурах 455, 589 и 770°C. Равновесные ассоциации в системе Cu-Zn-Sn-S+Fe были получены раствор-расплавным методом в стационарном градиенте температур. Препараты для синтеза ассоциаций были получены методом сухого синтеза в вакуумированных кварцевых ампулах. Полученные образцы были анализированы методом рентгеноспектрального микроанализа на полированных эпоксидных шашках.

Проведена перекристаллизация фаз системы Cu-Zn-Sn-S + Fe в галогенидных расплавах и получены ассоциации кестерита и сфалерита (рисунок). Рассчитаны константы распределения Fe при 589°C ( $K_D = 0,2531 \pm 0,0068$ ), при 770°C ( $K_D = 0,2722 \pm 0,0225$ ). При 455°C не получена нужная ассоциация из-за неправильно подобранных составов шихты и множества фаз, существующих при низких температурах.



Электронная фотография участка образца 2619 (слева) и 2620 (справа) в режиме отраженных электронов. Электронный микроскоп TESCAN Vega II XMU, ИЭМ РАН.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ведущих научных школ РФ (НШ-2394.2022.1.5).*



# СИНТЕЗ КОМПОЗИТА MIL-100(Fe)/ДИАТОМИТ С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ В АДСОРБЦИИ И ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОМ РАЗЛОЖЕНИИ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Студентка 3 курса Мацкан П.А

Руководитель к.х.н. Мамонтов Г. В.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет  
ptackan2002@gmail.com*

В настоящее время одной из глобальных проблем является загрязнение окружающей среды [1]. Наиболее эффективными в решении проблем очистки воды и воздуха от загрязнителей различной природы являются сорбционные и каталитические процессы, поэтому разработка высокоэффективных сорбентов и катализаторов актуальная задача.

Работа заключается в разработке нового метода синтеза композитов с иерархической пористой структурой на основе металлоорганического каркасного полимера MIL-100(Fe) и широкопористого природного материала диатомита, заключающегося в самосборке MIL-100(Fe) внутри пор диатомита. Такая структура должна обеспечить более эффективное функционирование материала за счёт минимизации диффузионных ограничений, характерных для классических узкопористых сорбентов и катализаторов [2].

В результате варьирования условий синтеза была получена серия композитов MIL-100(Fe)/диатомит. Установлено, что композиты могут быть получены за счет формирования MIL-100(Fe) на поверхности диатомита путем сочетания примесных ионов диатомита и тримезиновой кислоты. Добавление нитрата железа в качестве прекурсора способствует формированию композитов с большим содержанием MIL-100(Fe) и более высокими значениями  $S_{уд}$  и  $V_{пор}$ .

Полученные композиты были исследованы в качестве сорбентов паров толуола. Сорбционная емкость композитов составила 160 и 254 мг/г, что оказалось выше, чем для некоторых микропористых сорбентов.

Фотокаталитическая активность MIL-100(Fe) и композитов исследована в реакции фотоокисления фенола. Кинетические кривые реакции окисления фенола в избытке перекиси могут быть спрямлены в координатах реакции первого порядка. Константа скорости реакции в присутствии MIL-100(Fe) оказалась равна  $0,035 \text{ мин}^{-1}$ , а в присутствии композита MIL-100(Fe)/диатомит оказалась равна  $0,020 \text{ мин}^{-1}$ . Диатомит не проявил каталитической активности в реакции окисления фенола.

Таким образом, варьирование условий синтеза позволяет получать композиты с различными физико-химическими свойствами. Полученные композиты могут быть использованы в качестве сорбентов и катализаторов для сорбционной очистки воздуха и воды от летучих органических соединений.

## Литература

1. Zhu L., J. Hazard. Mater. 2020. Vol. 389. 122102.
2. Cai G., Chem. Rev. 2021, Vol. 121. 12278.

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА СОРБЦИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

**Студентка 4 курса Машукова Ю.А.**  
Руководитель профессор Черемисина О.В.  
*Санкт-Петербургский горный университет*  
*mya55@mail.ru*

Работа посвящена описанию термодинамической модели, позволяющей с достаточной достоверностью определять термодинамические параметры процессов сорбции и твердофазной экстракции редкоземельных элементов из сложносолевых растворов.

Предложена модель термодинамического описания ионообменных равновесий с использованием линеаризованного закона действующих масс.

Получены линейные формы изотерм сорбции и термодинамические характеристики процесса сорбционного извлечения редкоземельных элементов, представленные в виде анионных комплексов с трилоном Б на Cybber EV009 и сульфатных комплексов на АН-31 (табл. 1).

Таблица 1 – Термодинамические характеристики процесса сорбции РЗЭ на анионитах

Анионит	РЗЭ	$\Gamma_{\infty}$ , моль/кг	К	$-\Delta G_{298}^0$ , Дж/моль
EV009	Ce	2,00±0,10	9,00±0,50	5,54±0,27
АН-31	Pr	0,6707±0,0335	1,84±0,09	1507,16±73,36
	Nd	0,6760±0,0338	1,66±0,08	1259,15±62,96
	Sm	0,7096±0,0355	2,32±0,12	2082,96±104,15

Установлено, что модель линеаризованного закона действующих масс может быть использована для описания равновесий процесса твердофазной экстракции полимерами, импрегнированными (SIR) и иммобилизованными (ERE) ДЭГФК. Получены линейные формы изотерм экстракции редкоземельных элементов полимерными материалами, рассчитаны значения термодинамических параметров (табл. 2).

Таблица 2 – Значения термодинамических параметров процесса твердофазной экстракции

РЗЭ	ТВЭКС	$\Gamma_{\infty}$ , моль/кг	К	$-\Delta_r G_{298}^0$ , кДж/моль
Eu	SIR	0,0191±0,0009	18,67±0,93	7,25±0,36
	ERE	0,0195±0,0010	28,86±1,44	8,33±0,42
Ho	SIR	0,0604±0,0030	104,41±5,07	11,52±0,58
	ERE	0,0720±0,0036	60,93±3,05	10,18±0,51
Yb	SIR	0,1107±0,0055	1968,64±98,43	18,79±0,94
	ERE	0,1132±0,0057	1129,07±56,45	17,42±0,87

Таким образом, установлено, что модель линеаризованного закона действующих масс позволяет с достаточной достоверностью проводить термодинамическое описание процессов сорбции и твердофазной экстракции редкоземельных элементов из сложносолевых растворов.

# ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСПАРЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ НОРМАЛЬНЫХ АЛИФАТИЧЕСКИХ СПИРТОВ И БЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ

Студент 3 курса Нотфуллин А.А.

Руководитель ассистент Болматенков Д.Н.

Казанский федеральный университет, Химический институт им. А.М. Бутлерова.  
notfullinair@gmail.com

Сложные эфиры бензойной кислоты широко используются в разных сферах человеческой деятельности. В том числе важные области применения имеют линейные алкилбензоаты. Однако на данный момент имеется мало информации о термодинамике испарения этого класса соединений, что характерно для большинства малолетучих веществ. Между тем, термодинамические характеристики испарения необходимы для оптимизации процессов очистки и контроля за распределением веществ в атмосфере.

В нашей работе была собрана и критически проанализирована вся доступная информация о термодинамике испарения короткоцепочечных *n*-алкилбензоатов. Также с помощью недавно разработанного метода измерения давления пара над жидкостью, основанного на технике сверхбыстрой сканирующей калориметрии (FSC) [1], были получены значения давлений паров более длинных представителей гомологического ряда.

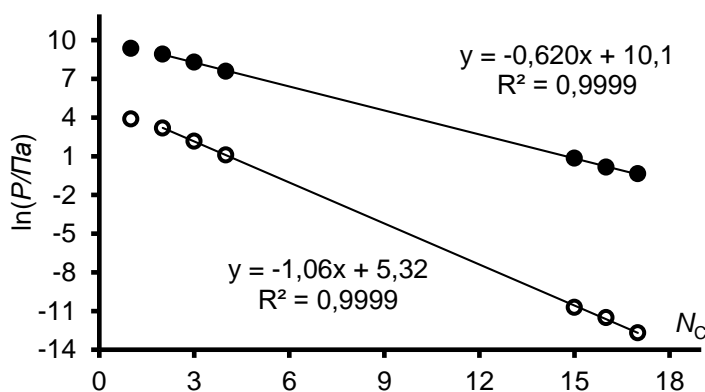


Рис. Зависимость логарифма давления пара при 298,15 К (пустые кружки) и 400 К (закрашенные кружки) от длины цепи  $N_c$ .

Установлены следующие зависимости энтальпии испарения и логарифма давления пара при 298,15 К от длины алкильной цепи заместителя, соответствующего *n*-алкилбензоата ( $N_c$ ):

$$\Delta_{\text{ж}}^{\text{г}}H(298,15\text{K}) / \text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1} = 42,21 + 4,24\cdot N_c, N_c > 1$$
$$\ln(P^{\circ} / \text{Па}) = 5,35 - 1,06\cdot N_c, N_c > 1$$

На основе полученных зависимостей и разработанных ранее методов расчета разности теплоёмкостей жидкой и идеальной газовой фаз [2] была создана схема для предсказания энтальпий испарения и давления пара C1-C20 гомологов, показывающая точность, сопоставимую с экспериментом.

## Литература

1. Buzyurov A.V. et al., *Thermochim. Acta*. 2021. Vol. 706. 179067.
2. Bolmatenkov D.N. et al., *Fluid Phase Equilib.* 2021. Vol. 554. 113303.

## КИНЕТИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОРБЦИИ СЕРОВОДОРОДА ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Студент 3 курса Осипов А.С.

Руководитель профессор Черемисина О.В.  
Санкт-Петербургский горный университет  
artem6353@mail.ru

В работе изучены термодинамические характеристики процесса сорбции сероводорода на необогащенной железомарганцевой руде Улу-Телякского месторождения (Башкирия), на оксиде марганца(IV) и на смеси оксидов марганца(IV) и железа(III). Кинетические характеристики сорбции  $H_2S$  на железомарганцевой руде и оксиде марганца(IV) изучали с целью выявления каталитических свойств оксида железа(III), входящего в состав руды.

Результатом эксперимента стали зависимости изменения концентрации сероводорода от времени сорбции на железомарганцевых материалах, а также обнаружение двух стадий процесса: физической адсорбции и химической реакции. Дальнейшая обработка кинетических кривых позволила определить энергию активации сорбции на руде (3,9 КДж/моль) и отдельно на оксиде марганца(IV) (18,6 КДж/моль), что доказывает каталитическое действие оксида железа, входящего в состав руды, а также позволяет считать химическую реакцию лимитирующей стадией процесса сорбции на железомарганцевой руде.

Для расчёта термодинамических характеристик процесса сорбции проводили эксперименты на руде, оксиде марганца и смеси оксидов марганца и железа. Выявлено протекание двухстадийного процесса на руде (химической реакции и физической адсорбции) и одностадийного – на оксидах (только химической реакции), что подтверждается появлением на поверхности материалов аморфной серы, а также отсутствием выделения сероводорода при повышении температуры (в отличие от того же процесса на руде, где происходит десорбция физически адсорбированного сероводорода).

Сорбционный процесс был описан четырьмя моделями: Ленгмюра, Фрейндлиха, Тёмкина и Дубинина-Радушкевича. Наиболее точные и достоверные значения констант равновесия и изменения энергии Гиббса процесса сорбции, согласующиеся с реальными результатами эксперимента, описываются моделью Ленгмюра:

- на руде  $K = (1,72 \pm 0,09) \cdot 10^8$ ,  $\Delta G^0_{253} = -39,88 \pm 1,99$  кДж/моль;
- на  $MnO_2 + Fe_2O_3$   $K = (2,20 \pm 0,11) \cdot 10^8$ ,  $\Delta G^0_{253} = -40,41 \pm 2,02$  кДж/моль;
- на  $MnO_2$   $K = (2,48 \pm 0,12) \cdot 10^8$ ,  $\Delta G^0_{253} = -40,66 \pm 2,03$  кДж/моль.

Высокие значения констант равновесия процессов поглощения сероводорода свидетельствуют о смещении равновесия в сторону продуктов реакции.

Марганцевая руда отличается более высоким значением предельной ёмкости  $6,58 \pm 0,33$  моль/кг по сравнению с оксидами –  $3,47 \pm 0,17$  моль/кг для  $MnO_2 + Fe_2O_3$  и  $5,00 \pm 0,25$  моль/кг для  $MnO_2$ , что объясняется присутствием в ней кристаллических и аморфных фаз силикатов и гидратированного оксида кремния. Примесные фазы в составе руды, индифферентные к окислению сероводорода до элементной серы, обеспечивают сорбционный эффект.

## ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВЫХ ОТНОШЕНИЙ В СИСТЕМЕ Ru-As-Te ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ 350°C, 450°C И 550°C

Студент 4 курса Попов Е.А.

Руководитель аспирант Згурский Н.А.  
Государственный университет «Дубна»  
cool.egor0422@gmail.com

Информация о фазовых отношениях необходима для понимания процессов возникновения и накопления минералов в природе, что применимо для изучения месторождений полезных ископаемых. Кроме того, изучение фазовых отношений всегда связано с поиском новых фаз, которые могут быть потенциальными минералами и, кроме того, обладать интересными физическими свойствами. Целью настоящей работы является получение новых данных о существующих фазовых отношениях в системе Ru – As – Te в температурном интервале 350-550°C при давлении собственного пара (вблизи атмосферного) и построение изотермических сечений фазовой диаграммы при температуре 350 °C, 450 °C и 550°C на их основе.

Синтез фазовых ассоциаций системы Ru-As-Te проводили методом «сухого» синтеза простых веществ в вакуумированных ( $\sim 10^{-4}$  Б) кварцевых ампулах при температурах 350°C, 450°C, 550°C. Готовые ампулы помещали в печи горизонтального отжига и выдерживали 30-60 дней в зависимости от состава шихты и температуры синтеза. Далее полученные образцы исследовали методами рентгеновской дифрактометрии (Bruker D8 ADVANCE) и рентгеноспектрального микроанализа (электронный микроскоп TESCAN Vega II XMU).

Таким образом, при температуре 350°C были определены следующие бинарные фазовые равновесия RuAsTe-Ru, RuAsTe-Te, RuAsTe-RuTe<sub>2</sub>, RuTe<sub>2</sub>-Ru, RuTe<sub>2</sub>-Te, RuTe<sub>2</sub>-RuAsTe, RuAs<sub>2</sub>-Te, RuAs<sub>2</sub>-As<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, RuAs<sub>2</sub>-As и следующие устойчивые фазы: RuTe<sub>2</sub>, RuAs, RuAs<sub>2</sub>, As<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> и RuAsTe. Вероятно, что фаза RuAsTe является фазой переменного состава.

При температуре 450°C были определены следующие бинарные фазовые равновесия RuAsTe-Te(L), RuAsTe-RuTe<sub>2</sub>, RuAsTe-Ru, RuTe<sub>2</sub>-Ru, RuTe<sub>2</sub>-Te, RuTe<sub>2</sub>-RuAsTe, RuAs<sub>2</sub>-Te, RuAs<sub>2</sub>-As<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, RuAs<sub>2</sub>-As и следующие устойчивые фазы: RuTe<sub>2</sub>, RuAs, RuAs<sub>2</sub>, RuAsTe и расплав Te (До 50 % ат. As). Вероятно, что фаза RuAsTe является фазой переменного состава.

При температуре 550 °C устойчивы пять фаз: RuTe<sub>2</sub>, RuAs, RuAs<sub>2</sub>, и RuAsTe и расплав Te (До 60 % ат. As). Вероятно, что фаза RuAsTe является фазой переменного состава. Синтезированные фазы образуют следующие бинарные фазовые равновесия RuAsTe-Te(L), RuAsTe-Ru.

При температурах 350°C, 450°C, 550°C фазовые отношения на данный момент не установлены ввиду недостаточного количества экспериментальных данных.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ведущих научных школ РФ (НШ-2394.2022.1.5).*

# СТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ТЕТРАПИРРОЛЬНЫХ МАКРОЦИКЛОВ

Студент 3 курса Рыжов И.В.

Руководитель доцент Жабанов Ю.А.

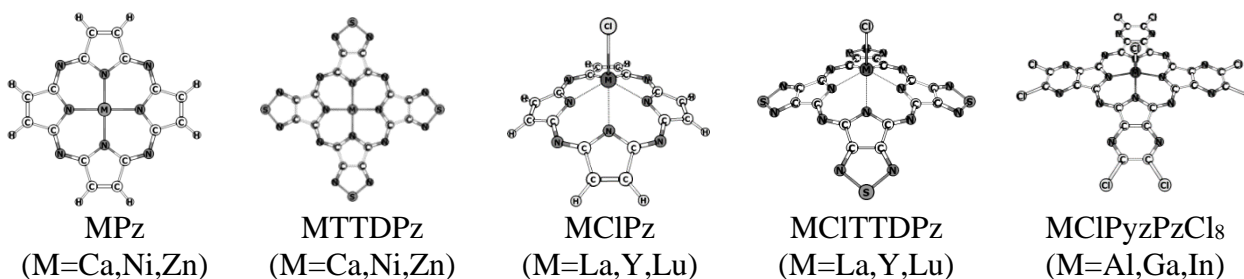
Ивановский государственный химико-технологический университет

ryzhoff.ihor@yandex.ru

Тетрапиррольные макроциклы находят применение в катализе, органической электронике, оптических устройствах и в биомедицине. Тем не менее, несмотря на почти столетнюю историю исследований тетрапиррольных макроциклов, данных об их строении и свойствах опубликовано немного, что обуславливает необходимость продолжения исследований в этом направлении.

Исследование строения проводилось в рамках квантово-химической теории функционала электронной плотности (DFT) при помощи различных функционалов и базисов. Для исследуемых соединений проведена оптимизация геометрии с последующими расчетами энергетических характеристик, таких как электронные спектры поглощения, колебательные спектры и анализ распределения электронной плотности с применением модели NBO.

Молекулярные структуры исследованных металлокомплексов представлены на рисунке



Во всех рассматриваемых металлокомплексах наблюдается зависимость размеров координационной полости от ионного радиуса металла, тогда как периферийная часть макроцикла не претерпевает значительных изменений. Это позволяет сделать вывод о том, что координационная полость может подстраиваться под размер центрального атома таким образом, что это приводит к искажению лиганда без изменения структуры периферии макроцикла.

Установлено также, что электронное строение изученных макроциклов является схожим, что подтверждает характер электронных спектров поглощения и анализ состава возбужденных состояний, отвечающих характерным для данных классов соединений полосам поглощения.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (гранты 19-73-00256, и 21-73-10126).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОФИЛЬНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ АНАЛИЗА

Студент 4 курса Сидоров Е.А.

Руководитель старший преподаватель Мухина И.В.

*Государственный университет «Дубна»*

*zhenya.sidorov1@gmail.com*

На сегодняшний день биоанализ является одной из самых перспективных областей применения квантовых точек (КТ). Уникальные свойства КТ делают их идеальными флуорофорами для сверхчувствительной многоцветной детекции в медицинской диагностике, требующей регистрации сразу нескольких аналитических параметров одновременно [1-3].

Для оценки качества синтезированных КТ и их характеристики используют различные физико-химические методы анализа, такие как фотолюминесценция, рентгеновская дифракция, просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия, а также метод динамического рассеяния света. В последнее время для исследования свойств КТ все чаще применяют метод капиллярного электрофореза и жидкостную хроматографию. Капиллярный зонный электрофорез, позволяет анализировать КТ, покрытые органическими стабилизаторами; эксклюзионная хроматография позволяет оценить размер наночастиц и их однородность. Для применения КТ в биоанализе также важно определить их коллоидную устойчивость.

Целью данной работы является определение  $\zeta$ -потенциала, размеров КТ методом ДРС и исследование квантовых точек в условиях эксклюзионной хроматографии и капиллярного зонного электрофореза.

Определены значения  $\zeta$ -потенциала для квантовых точек состава CdTe-TGA, CdTe-cys и CdTeSe/CdS/CdZnS/ZnS-PTVP в зависимости от pH раствора. Для хранения и анализа КТ рекомендуется использовать буферные растворы с высоким значением pH.

Изучена возможность исследования квантовых точек методом капиллярного зонного электрофореза и эксклюзионной хроматографии. Экспериментально подобраны условия проведения анализа.

Результаты исследований показали, что при анализе КТ методом капиллярного зонного электрофореза pH буферного раствора оказывает влияние на степень ионизации КТ и стенок капилляра, следовательно, pH влияет на электрофоретическую подвижность КТ. Наиболее эффективной системой является боратный буферный раствор с pH = 9.2.

Методом эксклюзионной хроматографии анализ проводили в изократическом режиме с использованием в качестве подвижной фазы фосфатного буферного раствора (pH = 7.4) с добавлением ПАВ, что позволило снизить электростатическое взаимодействие аналитов с НФ.

### Литература

1. Pathak S., Choi S., J. Am. Chem. Soc., 2001. Vol. 123. P. 4103-4104.
2. Wang Y., Li J., J. Am. Chem. Soc., 2002. Vol. 124. №10. P. 2293–2298.
3. Gladyshev P.P., Tumanov Yu.V., Ibragimova S.A. et al, Russian Chemical Bulletin, 2018. Vol. 67. №. 4. P. 600-613.

## СИНТЕЗ ОБЪЕМНЫХ КРИСТАЛЛОВ ГИБРИДНОГО ПЕРОВСКИТА $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ МЕТОДОМ ПониЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Студентка 4 курса Смирнова А.В., студентка 6 курса Дюсембекова С.Б.

Руководитель старший преподаватель Кинев В.А.

Государственный университет «Дубна»

*mosya-sm@yandex.ru*

Органо-неорганические гибридные перовскиты с общей формулой  $\text{ABX}_3$  ( $\text{A}=\text{CH}_3\text{NH}_3^+$ ,  $\text{HC}(\text{NH}_2)_2^+$ ;  $\text{B}=\text{Pb}$ ,  $\text{Sn}$ ;  $\text{X}=\text{I}$ ,  $\text{Br}$ ,  $\text{Cl}$ ) представляют новый класс светочувствительных материалов широко для солнечных батарей [1].

Flash-испарение позволяет осаждать кристаллические пленки стехиометрического состава с высокой точностью. Этот метод, основан на том, что осаждение пленки осуществляется в процессе непрерывного вакуумного испарения небольших порций многокомпонентного соединения [2, 3].

Для формирования пленки методом Flash-испарения необходимо синтезировать объемные кристаллы перовскита. Синтез монокристаллов перовскитного состава размером  $2 \times 2 \times 4$  мм проводился методом понижения температуры [4].

Для идентификации кристаллической структуры полученных кристаллов был проведен рентгеноструктурный анализ, подтверждающий образование перовскитной структуры.

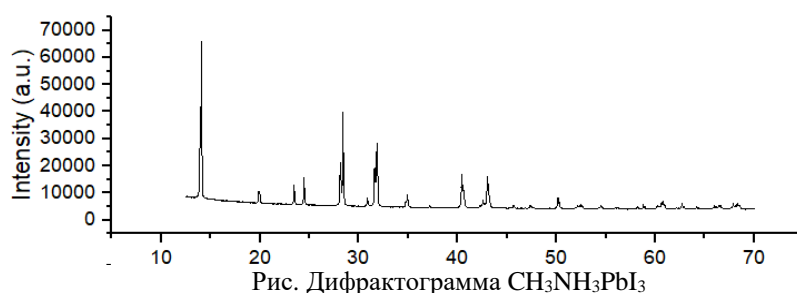


Рис. Дифрактограмма  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$

### Литература

1. Gladyshev P.P., Banavoth M., Swetha T., Bingwa N., Martynov Ya.B., Zelenyak T.Yu., Kinev V.A., Nazmitdinov R.G. Nova Science Publishers, Renewable Energy: Research, Development and Policies, Perovskite Solar Cells: Properties, Application and Efficiency. 2019. P. 1-76.
2. Longo G., Gil-Escrig L., Degen M.J., Sessolo M., Bolink H.J. Chemical Communications. 2015. Vol. 34. № 51. P. 7376-7378.
3. Papikyan A.K., Gevorgyan V.A., Mangasaryan N.R., Gladyshev P.P. Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 945. №1. P. 012013.
4. Dang Y., Liu Y., Sun Y., Yuan D., Liu X., Lu W., Tao X. Cryst. Eng. Comm. 2015. Vol.3. № 17. P. 665-670.



# ЭФФЕКТИВНОСТЬ УСИЛЕНИЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ АНИЗОТРОПНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ С НЕСКОЛЬКИМИ ПЛАЗМОННЫМИ МОДАМИ ПРИ ДВУХФОТОННОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Студентка 3 курса Шокова М.А.

Руководитель к.ф.-м.н. Боченков В.Е.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет

shokova-masha@mail.ru

Известно, что при взаимодействии наночастиц благородных металлов со светом видимого диапазона возможно возбуждение локализованного поверхностно-плазмонного резонанса (ППР), приводящее к появлению областей с повышенной интенсивностью электромагнитного поля. В свою очередь, это может значительно повлиять на процессы возбуждения и релаксации молекул флуорофоров, находящихся вблизи наночастиц [1]. В зависимости от степени спектрального перекрытия между полосой ППР и полосой поглощения либо испускания флуорофора можно достичь увеличения констант скоростей возбуждения или испускания.

В последнее время активно изучаются металлические наноструктуры с несколькими плазмонными модами для одновременного перекрытия с полосами поглощения и испускания белка [2]. При однофотонном возбуждении указанные вклады в усиление сигнала примерно одинаковы. С практической точки зрения интерес вызывает возможность двухфотонного возбуждения флуоресценции светом ближнего ИК-диапазона.

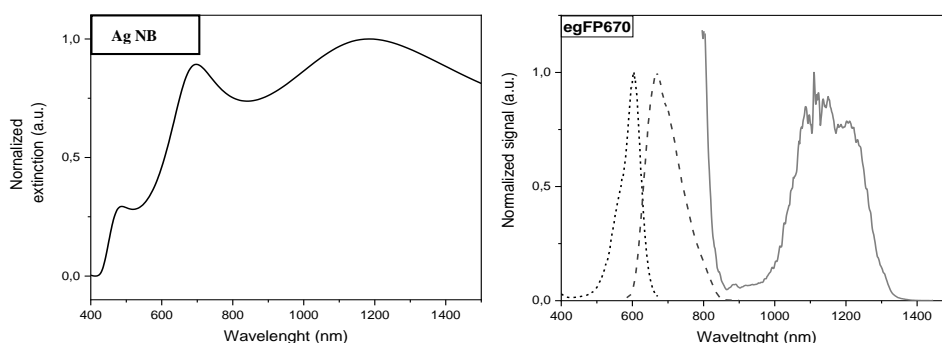


Рис. А Рассчитанный спектр экстинкции нанобрусков Ag с соотношением длины и ширины 1:1.55; Б Спектры поглощения при одно-(черный) и двухфотонном возбуждении (синий) и спектр испускания (красный) белка eqFP670

В данной работе с помощью численного моделирования методом конечных разностей во временной области (FDTD) было изучено усиление флуоресценции красного флуоресцентного белка eqFP670 вблизи наночастицы серебра с формой нанобруса и соотношением длины к толщине 1:1.55. Данная частица имеет две плазмонные моды, близкие по энергии к полосам двухфотонного поглощения (1180 нм) и испускания (670 нм) хромофора eqFP670 (см. рис.).

Показано, что при двухфотонном возбуждении коэффициент усиления достигает  $10^3$ , при этом основной вклад вносит локальное усиление электромагнитного поля на длине волны двухфотонного поглощения флуорофора.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-23-00454.*

#### Литература

1. Олейников В.А., Соловьева Д.О., Зайцев С.Ю. Усп. биол. химии. 2020, т. 60. с. 411-444.
2. Vochenkov V., Lobanova E., Shakhov A. et al. Nanomaterials. 2020, №10. P. 2563-2574.

Номинация 1 «Исследования по химии»

Секция «Неорганическая химия и  
материаловедение»

## ПОЛУЧЕНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НИТРИДА УГЛЕРОДА С ГЕПТАЗИНОВОЙ СТРУКТУРОЙ

Студент 3 курса Артамонов К.А.

Руководители аспирант 4 года обучения Козлов Д.А., доцент к.х.н. Гаршев А.В.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет наук о материалах,  
kartamluck@mail.ru*

В настоящее время ведутся исследования перспективного фотокатализатора - графитоподобного нитрида углерода (g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>). Однако этот материал имеет ряд недостатков, таких как высокая скорость рекомбинации фотогенерированных зарядов, низкая подвижность электронов и дырок и малая площадь поверхности [1]. Для улучшения свойств g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> проводится допирование ионами щелочных металлов, в результате которого было обнаружено формирование фаз со структурами полигептазинимида (ПГИ) и политриазинимида (ПТИ). Материалы со структурой ПГИ в ряде случаев демонстрируют рекордную для материалов подобного рода фотокаталитическую активность [2].

Таким образом, целью нашей работы стало получение фотокаталитически активных материалов на основе графитоподобного нитрида углерода, синтезированного в расплаве хлоридов щелочных металлов.

В ходе работы методом поликонденсации меламина в расплаве хлоридов калия и лития были получены образцы с различным соотношением фаз с гептазиновой и триазиновой структурой. Продемонстрировано, что в результате отжига смеси, содержащей значительную долю меламина, могут быть получены только двухфазные материалы. Уменьшение же доли меламина в реакционной смеси приводит к получению либо однофазных образцов ПТИ, либо образцов, содержащих малую долю ПГИ.

Так как получение однофазного полигептазинимида в условиях одностадийного процесса оказалось невозможным, была предложена методика синтеза, заключающаяся в предварительном получении прекурсора с гептазиновой структурой – g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. С использованием двухстадийного синтеза нами были получены однофазные образцы ПГИ калия и лития. В результате выполнения работы получен фотокатализатор с кристаллической структурой полигептазинимида и обладающий высокой фотокаталитической активностью.

### Литература

1. Xiaolu Liu et al. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2021. Vol. 51. P. 751-790.
2. Dontsova D. et al. Chem. Mater. 2015. Vol. 27, № 15. P. 5170–5179.

## СИНТЕЗ ЗОЛЕЙ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ТЕТРАПИРРОЛЬНЫМИ МАКРОЦИКЛАМИ

Студентка 2 курса Бешкарёва Т.С.

Руководитель к.х.н. Козлова Т.О.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет наук о материалах*

*beshkareva.tanya@gmail.com*

В современной медицине в качестве контрастных агентов применяются хелатные комплексы гадолиния, обладающие потенциальной токсичностью. Поэтому актуальной задачей является разработка нетоксичных соединений, востребованных в этой области. Оксид гадолиния менее токсичен и обладает большим значением продольной релаксации, чем его хелатные комплексы. Встроенный в структуру диоксида церия гадолиний проявляет минимальные токсичные свойства. Такие соединения привлекательны тем, что они пригодны не только для диагностики, но и для терапии, ввиду особых свойств нанокристаллического диоксида церия, в первую очередь, антиоксидантной активности. Перспективными стабилизаторами для биомедицинских применений могут служить тетрапиррольные соединения, в частности, фталоцианины, используемые в качестве платформ для доставки лекарственных средств.

Целью нашей работы стала разработка способа получения агрегативно устойчивых золей диоксида церия, допированного гадолинием, стабилизированного фталоцианинами. В качестве основных методов синтеза использовали методы осаждения раствором аммиака, полиольного синтеза и гидротермальной обработки (190°C, 6-24 ч). В качестве исходных солей использовали  $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$ ,  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{GdCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Мольное содержание гадолиния в исходных растворах составляло от 0 до 20%.

Исследования уровня дегидрогеназной активности, митохондриального потенциала клеток показывают, что золи, полученные полиольным методом не оказывают значительного цитотоксического воздействия. Методом активированной хемилюминесценции было показано, что золи, полученные методом осаждения, обладают антиоксидантной активностью. Была оценена степень сорбции фталоцианина цинка на поверхности наночастиц ~97%. Было выявлено, что агрегативная устойчивость золей  $\text{CeO}_2$ , полученных гидротермальным методом, определяется мольным соотношением диоксида церия и фталоцианина цинка.

В результате работы были освоены методы получения золей нанокристаллического диоксида церия и твердых растворов на его основе. Эксперименты по анализу антиоксидантной и биологической активности золей твердых растворов на основе  $\text{CeO}_2$  показали перспективность данного направления и необходимость проведения дальнейших исследований в этой области.

## ИОДИДНЫЕ И ПОЛИИОДИДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ Sb(III) С ГИДРОКСИПИПЕРИДИНАМИ

Студент 2 курса Васильев А.А.

Руководители к.х.н. Шестимерова Т.А.; студент Быков А.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет

ArsAV2003@yandex.ru

Иодантимонаты(III) аммонийных катионов являются одной из возможных альтернатив соединениям Pb(II) в перовскитной фотовольтаике. Помимо светопоглощающих и полупроводниковых свойств, они могут проявлять нелинейно-оптическую активность или люминесцентные свойства [1]. Использование аминспиртов в синтезе галогенметаллатов, позволяет задействовать в формировании системы слабых взаимодействий две функциональные группы, не увеличивая заряд катиона. В данной работе в качестве катионов были выбраны 3- и 4-гидроксипиперидины (3- и 4-НОРip).

Установлено, что для гидроксипиперидинов характерно образование полииодидов и полииодантимонатов(III) в результате кристаллизации из водных растворов HI. При варьировании условий синтеза и соотношения компонентов было получено семь ранее неизвестных соединений: (3-НОРipH)I<sub>5</sub>; (3-НОРipH)I<sub>3</sub>; (4-НОРipH)I<sub>3</sub>; (4-НОРipH)<sub>2</sub>(I<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(I<sub>2</sub>); (3-НОРipH)<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>I<sub>9</sub>(I<sub>2</sub>); (4-НОРipH)<sub>4</sub>(H<sub>3</sub>O){SbI<sub>5</sub>}<sub>2</sub>(I<sub>3</sub>); [(4-НОРipH)<sub>2</sub>{SbI<sub>5</sub>}][(4-НОРipH)<sub>3</sub>H<sub>3</sub>O][SbI<sub>5</sub>(I<sub>3</sub>)](I<sub>3</sub>).

В структурах двух полииодидов 4-НОРip можно выделить полииодидные цепи и цепи катионов, связанных N-H...O контактами. В полииодидах 3-НОРip аналогичных катионных цепей не образуется из-за отличия в расположении функциональных групп катиона. В полииодоантимонатах (III) анионы состоят из сочлененных различными способами октаэдров SbI<sub>6</sub>, а полииодидные фрагменты в большинстве соединений представляют собой независимые анионы I<sub>3</sub><sup>-</sup>. Исключениями являются соединения [(4-НОРipH)<sub>2</sub>{SbI<sub>5</sub>}][(4-НОРipH)<sub>3</sub>H<sub>3</sub>O][SbI<sub>5</sub>(I<sub>3</sub>)](I<sub>3</sub>), где в дискретном анионе [SbI<sub>5</sub>(I<sub>3</sub>)<sup>3-</sup>] фрагмент I<sub>3</sub> заменяет атом иода в вершине искаженного октаэдра SbI<sub>6</sub>, а также (3-НОРipH)<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>I<sub>9</sub>(I<sub>2</sub>), в котором дискретные анионы [Sb<sub>2</sub>I<sub>9</sub>] связаны галогенной связью с мостиковыми молекулами I<sub>2</sub>, образуя бесконечные псевдоцепи.

Синтез иодантимонатов(III) проводился кристаллизацией из растворов HI, при этом варьировались соотношение SbI<sub>3</sub> к x-НОРip (x=3,4) и концентрация кислоты. Были получены соединения состава (x-НОРipH)<sub>4</sub>Sb<sub>4</sub>I<sub>16</sub>·2H<sub>2</sub>O с одинаковыми анионными подструктурами из дискретных [Sb<sub>4</sub>I<sub>16</sub><sup>4-</sup>], с различным взаимным расположением анионов и разными системами водородных связей.

Все полученные соединения охарактеризованы структурно, исследована их термическая устойчивость, получены спектры диффузного отражения, строение полииодидных фрагментов подтверждено данными КР-спектроскопии.

### Литература

1. Dennington A.J., Weller M.T., *Dalt. Trans.*, 2018. Vol. 47. N 10. P.3469-3484.

## ВВЕДЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСОВ ТЕРБИЯ

Студент 1 курса Гладких А.Ю.

Руководители д.х.н. Уточникова В.В., магистрант 1 г/о Козлов М.И.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет наук о материалах*

*yugladkikh1246@gmail.com*

Органические светоизлучающие диоды на основе координационных соединений (КС) лантанидов демонстрируют непревзойденную чистоту цвета OLED из-за чрезвычайно узких эмиссионных полос, характерных для ионов лантанидов. Однако в данный момент эффективность и яркость OLED на основе КС лантанидов существенно уступает аналогам на основе КС иридия и материалам TADF. В нашей научной группе было выявлено, что определяющим фактором, ограничивающим максимальные характеристики в OLED, являются большие времена жизни возбуждённого состояния ионов лантанидов в КС.

В ряде работ было продемонстрировано, что введение наночастиц золота (GNP) в дырочно-инжектирующий слой PEDOT:PSS позволяет увеличить эффективность OLED в результате возникновения следующих эффектов: возникновения поверхностного плазмонного резонанса, увеличения эффективности выхода света из устройства и улучшения инжекции носителей заряда. Целью нашей работы стало изучение влияния плазмонного резонанса на время жизни возбуждённого состояния и электролюминесцентные свойства КС тербия. Объектами исследования стали комплексы тербия Tb(czb)<sub>3</sub> и Tb(czb)<sub>3</sub>TDZP, где в качестве анионного лиганда был выбран ароматический карбоксилат (czb<sup>-</sup>), обладающий высокой дырочной подвижностью, а в качестве нейтрального лиганда – TDZP, комплексы тербия с которыми показали рекордную яркость в OLED.

Комплексы Tb(czb)<sub>3</sub> и Tb(czb)<sub>3</sub>TDZP были синтезированы по обменной методике. Состав полученных КС подтверждали по совокупности данных методов РФА, ЯМР-спектроскопии, ТГА и ИК-спектроскопии. Изучение фотолюминесцентных свойств показало, что оба полученных комплекса обладают эффективной фотолюминесценцией, характерной иону тербия. Квантовый выход фотолюминесценции комплекса Tb(czb)<sub>3</sub> составил 37%, а время жизни – 0,73 мс, в то время как для Tb(czb)<sub>3</sub>TDZP – 16% и 0,49 мс соответственно.

Наночастицы золота были синтезированы по методу Френса. Для них был снят спектр поглощения, максимум которого составляет 524 нм, что удовлетворяет для использования их в OLED на основе комплексов тербия (максимум люминесценции 545 нм). Также наночастицы были охарактеризованы методами динамического рассеяния света (ДРС) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Они обладают однородной сферической формой, а средний размер наночастиц по результатам ПЭМ составляет 13,5±2 нм.

Полученные КС тербия были протестированы в качестве эмиссионного слоя (EML) в OLED. Максимальная яркость OLED на основе комплекса Tb(czb)<sub>3</sub> достигла 140 кд/м<sup>2</sup> при 16 В, а для Tb(czb)<sub>3</sub>TDZP – 420 кд/м<sup>2</sup> при 18 В. Введение наночастиц золота в слой PEDOT:PSS позволяет увеличить максимальную яркость светодиода на основе Tb(czb)<sub>3</sub> до 220 кд/м<sup>2</sup>, а на основе Tb(czb)<sub>3</sub>TDZP – до 480 кд/м<sup>2</sup>. Комплекс Tb(czb)<sub>3</sub>TDZP с наночастицами золота в смеси с PEDOT:PSS продемонстрировал рекордную яркость для OLED на основе комплексов тербия, эмиссионный слой которого нанесён из раствора.

# СИНТЕЗ, СТРУКТУРА, ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА И ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ КОМПЛЕКСОВ ИТТЕРБИЯ(III) С АРОМАТИЧЕСКИМИ ДИИМИНАМИ

Студент 3 курса Жернаков М.А.

Руководитель к.х.н., доцент Штырлин В.Г.

Химический институт им. А.М. Бутлерова КФУ, г. Казань  
mrlambo52@gmail.com

Иттербий, как один из редкоземельных металлов, проявляет люминесцентные свойства, но в отличие от типичных эмиттеров, таких как европий и тербий, его переход  ${}^2F_{7/2} \rightarrow {}^2F_{5/2}$  лежит в ближней инфракрасной области спектра. Эта особенность позволяет создавать уникальные соединения с широким спектром применения, например, для биовизуализации, органических светодиодов (OLED) и люминесцентной термометрии. Известно, что собственная эмиссия ионов лантанидов довольно слаба из-за запрещенного характера  $f \rightarrow f$  переходов, поэтому для повышения эффективности эмиссии используются различные органические лиганды с сопряженной ароматической системой ("антенны"). Хорошими примерами таких "антенн" являются N-донорные лиганды, такие как 1,10-фенантролин и его производные, диазатрифенилен, дипиридо-[3,2-a:2'c,3'c-c]-фенанзин и производные терпиридина [1].

В рамках данной работы с целью поиска более совершенных систем с хорошими фотофизическими и термическими параметрами были синтезированы и охарактеризованы три комплекса, общий состав которых  $[Yb(L)_2Cl_3]$ , где L = дипиридо-[3,2-f:2',3'-h]-хиноксалин (DPQ), 2-метилдипиридо-[3,2-f:2',3'-h]-хиноксалин (MeDPQ) и 1,10-фенантролин (Phen), демонстрирующие  $f-f$  эмиссию  $Yb^{3+}$  в ближней ИК-области спектра при возбуждении соответствующих лигандов в УФ-области спектра. Следует отметить, что подобные соединения с терпиридином обладают более высокими фотофизическими показателями (время жизни люминесценции, квантовые выходы), но требуют инертных условий синтеза и хранения, а также использования безводного хлорида металла в качестве прекурсора [2].

Комплексы  $[Yb(DPQ)_2Cl_3]$  (**1**),  $[Yb(MeDPQ)_2Cl_3]$  (**2**) и  $[Yb(Phen)_2Cl_3]$  (**3**) были получены реакцией замещения воды из кристаллогидрата хлорида иттербия  $YbCl_3 \cdot 6H_2O$  соответствующим лигандом с хорошим выходом (>80%). Соединения **1-3** устойчивы на воздухе и не реагируют с влагой воздуха, что нетипично для хлоридсодержащих координационных соединений лантанидов с органическими азотсодержащими лигандами. Синтезированные соединения имеют большие перспективы практического применения.

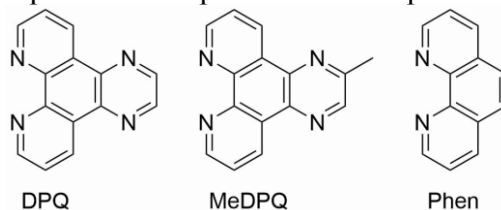


Рис. Органические лиганды, использованные в работе.

## Литература

1. Van der Tol E.B., W.van Ramesdonk E.B., Reinhoudt D.N., Chem. Eur. J., 1998. Vol. 4. N 11. P. 2315.
2. Sedykh A.E., Kurth D.G, Müller-Buschbaum K., Eur. J. Inorg. Chem, 2019 Vol. 42, P. 4564.



## КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЦИНКА С ТИОСЕМИКАРБАЗИДОМ: СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ЦИТОТОКСИЧНОСТЬ.

Студент 3 курса Каберник Н. С

Руководитель доцент Рукк Н.С

Институт Тонких Химических Технологий им. М.В. Ломоносова МИРЭА – РТУ

*kabernik.nikita@yandex.ru*

По данным Всемирной организации здравоохранения смертность от злокачественных новообразований составляет около 13% от общей смертности [1]. Поэтому поиск, дизайн, разработка и исследование новых противоопухолевых препаратов на основе комплексных соединений переходных металлов, как возможной альтернативы уже применяемым в медицинской практике соединениям платины, имеющим ряд побочных эффектов, весьма актуальны [2,3]. Целью настоящей работы являются синтез и изучение комплексов тиосемикарбазида с солями цинка, а также изучение цитотоксического действия полученных комплексов.

Комплексные соединения  $[Zn(Tcs)_2Cl]Cl \cdot H_2O$  (1),  $[Zn(Tcs)_2Br]Br \cdot H_2O$  (2),  $[Zn(Tcs)_2I]I$  (3),  $[Zn(Tsc)_2](NO_3)_2$  (4),  $[Zn_2(Tsc)_4(H_2O)](ClO_4)_4$  (5) были синтезированы из соответствующих солей цинка(II) и тиосемикарбазида. Полученные соединения были охарактеризованы методами химического и элементного анализов, РФА, РСА, ИК- и ESI-спектроскопии. В комплексном катионе (1-3) атом цинка находится в центре несколько искаженной тетрагональной пирамиды, образованной двумя атомами азота и двумя атомами серы молекул тиосемикарбазида, находящихся в *транс*-положении, и аксиальным атомом галогена. Координационным полиэдром для (4) выступает искаженный тетраэдр, образованный двумя атомами азота и двумя атомами серы молекул тиосемикарбазида. В соединении (5) имеется два типа катионов: тетраэдрический  $[Zn(Tsc)_2]^{2+}$  и тригонально-бипирамидальный  $[Zn(Tsc)_2(H_2O)]^{2+}$ , в котором атомы серы двух молекул лиганда и атом кислорода координированной молекулы воды расположены в экваториальной плоскости тригональной бипирамиды.

Цитотоксическую активность полученных соединений изучали методом МТТ [4] на постнатальных стволовых клетках пульпы зуба человека (DPSC) и клеточной линии MCF-7 (аденокарциномы молочной железы)

Все образцы оказывают дозозависимое действие как на стволовые клетки, так и раковые (MCF-7). При этом комплексы (1-4) при концентрации  $5 \cdot 10^{-4}$  моль/л имеют схожую цитотоксичность для обоих типов клеток, в то время как (5) более токсичен для стволовых и практически не токсичен для опухолевых клеток. При концентрации  $5 \cdot 10^{-4}$  моль/л синергетический эффект проявляется для галогенидных комплексов цинка (1)-(3) для опухолевых клеток, тогда как для того же типа клеток практически не проявляется для (4) и фактически отсутствует для (5). Для стволовых клеток при концентрации  $1 \cdot 10^{-4}$  и  $5 \cdot 10^{-4}$  моль/л синергетический эффект наблюдается для комплексов (4) и (5).

### Литература

1. Ferlay J., Soerjomataram I., Dikshit R. et al., Int J Cancer, 2015. Vol.136. N5. E359-E386.
2. Ndagi U., Mhlongo N., Soliman M.E., Drug Design Development and Therapy, 2017. Vol. 11. P. 599-616.
3. Boer D.R., Canals A., Coll M., J Chem Soc, Dalton Trans, 2009. Vol. 38. P. 399-414.
4. Deo K.M., Pages B.J., Ang D.L. et al., Int J Mol Sci, 2016. Vol. 17. N 11, P. 1818.

# ЛАКТАТЫ 3d МЕТАЛЛОВ КАК ПРЕКУРСОРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЁНОК ZnO ПО МЕТОДУ МОСДС: ИЗУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ С ДИЭТИЛЕНТРИАМИНОМ

Студент 3 курса Карпов И.А.

Руководитель к.х.н., с.н.с., Цымбаренко Д.М.  
МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах,  
ivan.kar2@yandex.ru

Оксид цинка обладает фотокаталитическими свойствами и представляет интерес в силу своей дешевизны, распространённости и относительной экологической безопасности. В то же время для ZnO характерна низкая эффективность использования солнечного света и заметная фотокоррозия, так что фотокаталитические свойства покрытия необходимо улучшать. Одним из наиболее простых способов настройки свойств покрытия является допирование ZnO катионами 3d-металлов.

Для получения плёнок ZnO удобно использовать метод химического осаждения из растворов металл-органических прекурсоров (МОСДС). Метод отличается простотой исполнения, скоростью, а также дешевизной установки и реагентов. В качестве прекурсоров для МОСДС широко используют карбоксилаты металлов, однако возможность применения s-лактатов до сих пор не изучалась. В состав растворов-прекурсоров обычно включают дополнительные лиганды, например диэтиленetriамин. Необходимо изучить взаимодействие между дополнительным лигандом и s-лактатами, чтобы контролировать процесс нанесения покрытия.

Целью данного исследования стала разработка растворов-прекурсоров на основе s-лактатов 3d металлов, а также изучение комплексообразования между s-лактатами и диэтиленetriамином.

Для этого проведён синтез s-лактатов цинка, марганца и кобальта, их состав подтверждался совокупностью методов ТГА и РФА. Отработана методика приготовления устойчивых растворов-прекурсоров на основе лактатов металлов, изопропилового спирта и диэтиленetriаминa (deta). В случае одновременного присутствия цинка и марганца раствор нестабилен и претерпевает переход окраски, вероятно, вследствие образования смешанно-ионного комплекса.

Осаждение тонких плёнок проводили путём обмакивания монокристаллической подложки в раствор-прекурсор с последующим медленным вытягиванием, сушкой и отжигом на воздухе при температурах 200 и 530°C соответственно. Фазовый состав полученных плёнок контролировали методом рентгеновской дифракции (симметричное  $\theta$ - $\theta$  сканирование и  $2\theta$  сканирование при скользящем падении первичного пучка). Используемая методика позволяет получать поликристаллические покрытия толщиной 70 нм. Проводится работа по выявлению и сопоставлению фотокаталитических свойств полученных материалов.

В ходе изучения взаимодействия s-лактатов с диэтиленetriамином впервые были получены два ранее неизвестных комплекса состава  $Zn_2(deta)_4(lact)_4(H_2O)_2$  и  $Mn_2(deta)_4(lact)_4$ . Выдвинуто предположение о том, что в используемом нами растворе-прекурсоре происходит перекоординация атомов металлов с образованием изоструктурных комплексных катионов  $[M(deta)_2]^{2+}$  (M=Mn,Zn).

Также в рамках настоящей работы нами был случайно получен ранее неизвестный координационный полимер состава  $[Zn(lact)_2(Hlact)(H_2O)]^{\circ}$ . Это второй из известных ныне координационных полимеров, являющихся прямыми производными s-лактата цинка. Особый интерес представляет простота и скорость синтеза, нехарактерная для координационных полимеров.

## ФУНКЦИОналиЗИРОВАННЫЕ ПОРФИРИНЫ ДЛЯ НОВЫХ ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Студент 3 курса Коробков С.М.

Руководитель к.х.н. Бирин К.П.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет

skor42@inbox.ru

Создание каталитически активных гибридных материалов – комплексная и объёмная задача на стыке наук. Наноструктурированный оксигидроксид алюминия (НОА), модифицированный слоем SiO<sub>2</sub> (НОАМ) может быть использован в качестве подложки гибридного материала. НОА – высокопористый материал с брутто-формулой Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>×nH<sub>2</sub>O, n~3.6 [1]. Стабильность порфириновых молекул в совокупности с фотоактивностью ряда тетрапирольных молекул делают синтез функционализированных порфиринов актуальным направлением химии макроциклов. Тем не менее, к настоящему моменту существует лишь один пример иммобилизации тетрапиррольной молекулы на поверхность НОАМ [2].

В данной работе продемонстрирован подход к синтезу новых несимметричных порфиринов с использованием конденсации Радзишевского (Ni-2) и последующего C-C-кросс сочетания (Ni-4) (СХЕМА). Порфирин Ni-6 содержит якорную группу для последующей иммобилизации на поверхность НОАМ, а также модельный полиароматический фрагмент, связанный с порфирином имидазольным мостиком.

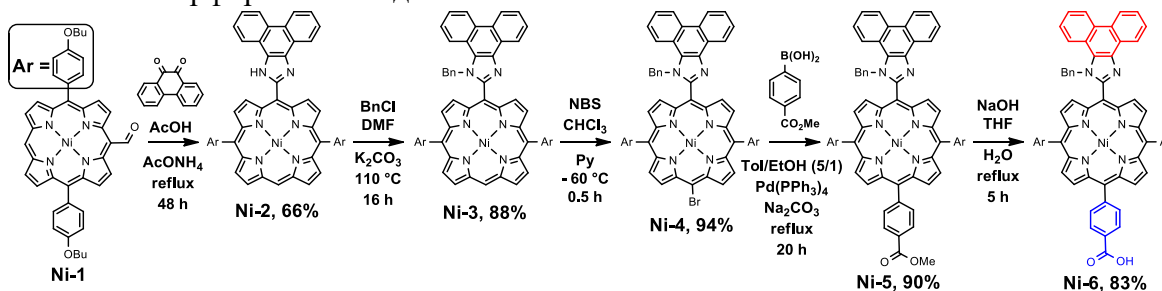


СХЕМА. НАПРАВЛЕННЫЙ СИНТЕЗ ПОРФИРИНА.

В работе изучены особенности мезо-бромирования имидазолилпорфиринов Ni-1 – Ni-3, и найден оптимальный путь синтеза производного Ni-4 – удобного субстрата реакции кросс-сочетания. Обнаружен таутомерный обмен протона между гетероциклическими атомами азота в изученных молекулах, что является причиной уширения сигналов в спектрах ЯМР. Обнаружено неожиданное уширение сигналов протонов мезо-арильных заместителей в <sup>1</sup>H ЯМР Ni-4 – Ni-6, природа которого была изучена методом низкотемпературного ЯМР. Внутримолекулярные стерические взаимодействия приводят к возможности реализации набора динамических процессов, что усложняет вид спектра при комнатной температуре. Понижение температуры до 223K позволило наблюдать все ожидаемые сигналы, однако при этом наблюдалась полная магнитная неэквивалентность протонов мезо-заместителей.

Соединение Ni-6 было иммобилизовано на поверхность НОАМ путём обработки образца НОАМ раствором порфирина в дихлорметане. Доля порфирина в гибридном материале составила ~14% по массе. Гибридный материал охарактеризован методом спектроскопии диффузного рассеяния и РФЭС. Разработанный подход является основой для получения новых гибридных материалов для катализа.

### Литература

1. Khodan A. J. Nanoparticle Res. 2018. Vol. 20. P. 194.
2. Martynov A.G. Prot. Met. Phys. Chem. Surfaces 2018. Vol. 54. P. 185-191.

# СИНТЕЗ ВАНДАТА (V) ЖЕЛЕЗА $Fe_{0.8}M_{0.2}VO_4$ ( $M = Sc, Al, Ga$ ) И ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК МЕТОДОМ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Студент 4 курса Ли Кэшу

Руководители к.х.н. доц. Соболев А.В., к.х.н. Глазкова Я.С.

Университет МГУ-ППИ, Шэньчжэнь, Китай  
751392775@qq.com

Соединения переходных металлов, в которых сосуществуют электрическое и магнитное упорядочения, называют мультиферроиками. Благодаря высокой чувствительности к изменениям магнитных и электрических полей, материалы на основе мультиферроиков перспективны для практического применения. Однако механизмы появления и взаимосвязи поляризации и магнетизма до сих пор остаются малоизученными. Поэтому актуальной задачей является привлечение новых локальных методов диагностики для исследования подобных структур.

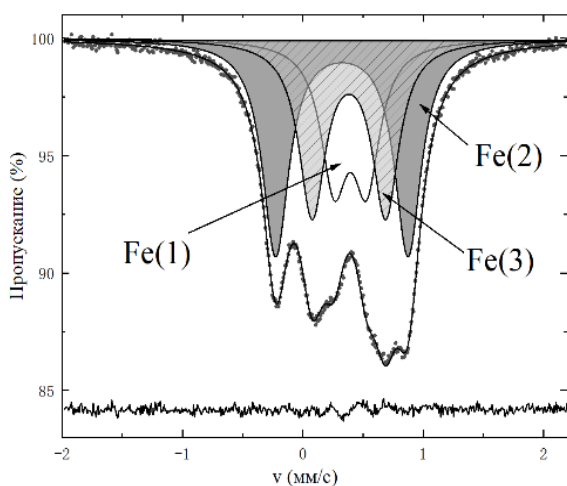


Рис. Мессбауэровский спектр ядер  $^{57}Fe$  в  $Fe_{0.8}Sc_{0.2}VO_4$  при 300 К.

легирующего катиона ( $Sc^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ga^{3+}$ ).

Мессбауэровские спектры  $Fe_{0.8}M_{0.2}VO_4$  состоят из трех квадрупольных дублетов (рис.). Показано, что дублет Fe (2) относится к катионам  $^{57}Fe^{3+}$  в тригональной бипирамиде  $FeO_5$ , а Fe(1) и Fe(3) – это катионы железа (+3) в октаэдрах с различным искажением. Соотнесение компонент Fe(i) со структурой подтверждено полуэмпирическими расчётами градиента электрического поля (ГЭП) на ядрах  $^{57}Fe$ . Установлено нестатистическое распределение легирующих катионов в  $Fe_{0.8}M_{0.2}VO_4$ .

## Литература

1. Daoud-Aladine A., Kundys B., Martinz C. et al, Phys. Rev. B 2009. Vol. 80. 220402.

# ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И СЛОИСТЫХ ГИДРОКСИДОВ ГАДОЛИНИЯ И ТЕРБИЯ

Студентка 4 курса Ли Цзяли

Руководитель Япрынцева А.Д.

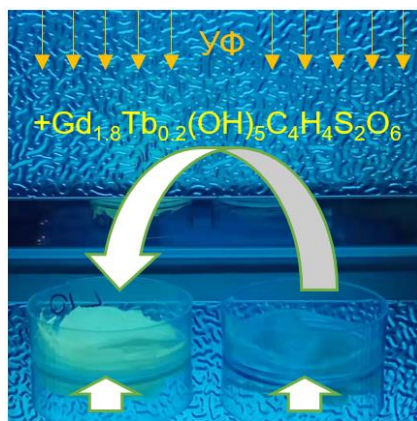
Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне, Китай

ИОНХ им. Н.С. Курнакова РАН, Москва

lijl2@smbu.edu.cn

Целлюлоза является одним из самых распространённых природных полимеров, что позволяет отнести её к возобновляемым, биосовместимым, биоразлагаемым и нетоксичным полимерным материалам. Для получения функциональных материалов на основе целлюлозы её химически модифицируют, а также синтезируют в форме наночастиц, что, в том числе, позволяет создавать её композиты с другими материалами. К перспективным композитным материалам целлюлозы относятся композиты с соединениями РЗЭ, которые могут использоваться в области биомедицины для доставки лекарств, материалов для биовизуализации, радиотерапии. Перспективными материалами для улучшения термической стабильности и механической прочности целлюлозы являются слоистые двойные гидроксиды, которые, к тому же, обладают ионообменными свойствами и могут существенно улучшать сорбционные свойства целлюлозы. Аналогом слоистых двойных гидроксидов являются слоистые гидроксиды РЗЭ, композиты которых с целлюлозой пока неизвестны.

Целью данной работы стала разработка метода получения композитных плёнок целлюлозы, содержащих частицы слоистых гидроксидов РЗЭ. Для достижения указанной цели работы был успешно



решен ряд задач, включая синтез гидроксонитрата гадолия, допированного тербием; интеркаляция 4-сульфобензоат-аниона в слоистый гидроксонитрат гадолия-тербия; синтез пленок нанокристаллической целлюлозы в т.ч. в присутствии слоистого гидроксида гадолия-тербия; анализ состава, структуры и свойств полученных материалов методами рентгенофазового анализа, термического анализа, растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа, динамического и электрофоретического рассеяния света ИК- и люминесцентной спектроскопии.

В результате работы впервые получен композитный материал на основе целлюлозы и слоистых гидроксидов РЗЭ. Путем проведения анионообменных реакций между  $(\text{Gd}_{0.9}\text{Tb}_{0.1})_2(\text{OH})_5\text{NO}_3 \cdot 1.9\text{H}_2\text{O}$  и водным раствором 4-сульфобензоата калия впервые получен слоистый гидроксид гадолия-тербия, интеркалированный 4-сульфобензоат-анионом. Впервые показано, что 4-сульфобензоат-анион сенсibilизирует люминесценцию катионов  $\text{Tb}^{3+}$  в составе слоистого гидроксида гадолия-тербия. Установлено, что слоистый гидроксид гадолия-тербия, интеркалированный 4-сульфобензоат-анионом, сохраняет свои люминесцентные свойства в составе пленки нанокристаллической целлюлозы.

Плётки нанокристаллической целлюлозы под УФ-излучением (258 нм) без (справа) и модифицированные (слева) частицами слоистого гидроксида гадолия-тербия, интеркалированного 4-сульфобензоат-анионом.

## СЕЛЕКТИВНЫЙ ПЕРЕНОС ОДНОВАЛЕНТНЫХ АНИОНОВ ГИБРИДНЫМИ МЕМБРАНАМИ С ЧАСТИЦАМИ ФОСФАТА ЦЕРИЯ

Студент 2 курса Манин А.Д.

Руководитель член-корр. РАН Ярославцев А.Б.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
manin1609@mail.ru*

В последние десятилетия интенсивно развивают и внедряют мембранные процессы, важным аспектом в которых обозначен поиск способов увеличения селективного переноса определённых ионов [1,2]. Одной из проблем является слишком высокая избирательность ионообменных мембран по отношению к многовалентным ионам. Решением данного вопроса может быть полная или частичная модификация существующих мембран неорганическими или органическими функциональными материалами, имеющими высокую ионообменную ёмкость [3]. В качестве неорганических модификаторов могут выступать малорастворимые фосфаты, например, церия или циркония, обладающие всеми необходимыми физико-химическими свойствами [3,4].

В нашей работе исследовано влияние наночастиц фосфата церия на транспортные свойства коммерческой анионообменной мембраны и изучено изменение селективности гибридных мембран в диапазоне концентраций. Синтез наноразмерного аморфного фосфата церия в системе пор и каналов анионообменной мембраны повысило её селективность по отношению к хлорид-анионам в паре сульфат-хлорид. Обнаружен необычный эффект повышения  $Cl^-/SO_4^{2-}$ -селективности, которая достигает максимума при высоких концентрациях электролита, что объяснено изменением механизма разделения одно- и двухзарядных ионов с изменением концентрации. Также для всех полученных гибридных мембран были измерены физико-химические и электротранспортные свойства, такие как влагосодержание, ионообменная ёмкость, содержание неорганического допанта, ионная проводимость и мембранный потенциал.

Морфология некоторых образцов композиционных мембран была исследована с помощью сканирующей электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом. Для оценки применимости полученных композитов в процессе электродиализа, было проведено обессоливание модельных растворов с участием полученных гибридных мембран.

*Работа выполнена в ходе проекта №22-00-015 в рамках Программы «Научный фонд»  
Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».*

### Литература

1. Havelka J. et al., Water Sci. Technol. 2019. Vol. 79. N 8.
2. Koseoglu-Imer D.Y., Karagunduz A., Environ. Technol. Rev. 2018. Vol. 7. P. 199-219
3. Golubenko D.V. et al., J. Memb. Sci. 2018. Vol. 563. P. 777–784.
4. Shekunova T.O. et al., J. Non. Cryst. Solids, 2016. Vol. 447. P. 183–189.

# СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ИОННОЙ ЖИДКОСТИ СОСТАВА ТЕТРАХЛОРОМАНГАТ (II) 2-(МЕТИЛАММОНИЯ)ЭТАНОЛ

Студентка 2 курса Михеева С.Р.

Руководитель к.х.н., доцент Захаров М.А.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет

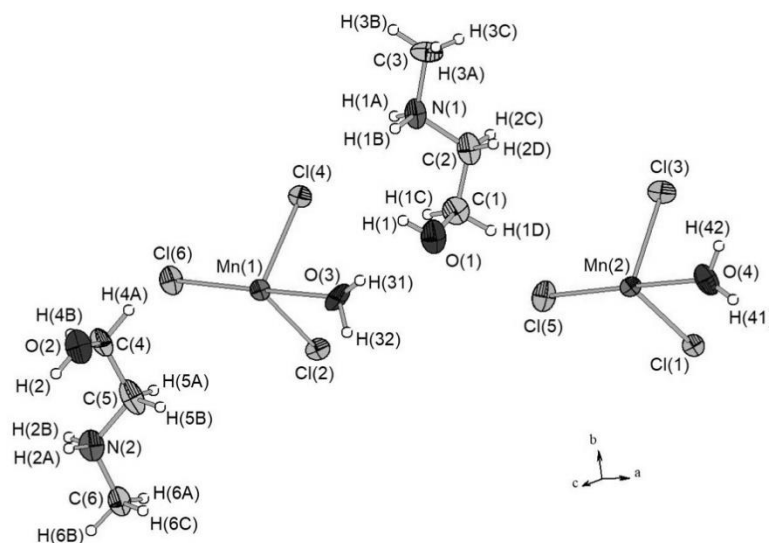
sofiya.mikheeva.02@mail.ru

Ионные жидкости (ИЖ) – термически стабильные соединения, широко применяемые в качестве катализаторов, растворителей в химическом синтезе, хроматографии. Особый интерес представляют металлсодержащие ионные жидкости, обладающие рядом специфических свойств, которые позволяют использовать эти соединения в качестве электролитов в гед/ох проточных аккумуляторах [1].

Целью работы является синтез ионной жидкости, содержащей атом марганца (II) в анионе с гидроксилзамещенным катионом, и исследование её структуры и свойств с помощью рентгеноструктурного анализа, рентгенофазового анализа и дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК).

Синтез металлсодержащей ионной жидкости проводился в сухом боксе из безводного хлорида марганца и хлорида 2-(метиламмония)этанола, взятых в мольном соотношении 1:2.

С помощью РСА были получены данные кристаллической ячейки и структура независимой части ячейки:



Таким образом было синтезировано новое соединение трихлороаквамanganат 2-(метиламмония)этанола  $[\text{CH}_3\text{-NH}_2^+\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}]\text{MnCl}_3(\text{H}_2\text{O})$ . Вещество представляет собой бесцветные призматические кристаллы, устойчивые на воздухе. Оно также является ионной жидкостью: температура плавления, полученная с помощью метода ДСК, равна 28,7 °С. Следующим шагом в работе с полученным соединением является электрохимическое исследование на предмет окислительно-восстановительных переходов.

## Литература

1. Асланов Л.А., Захаров М.А., Абрамычева Н.Л., Ионные жидкости в ряду растворителей. 2005, 272 с.



# ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ГИБРИДНЫХ ЙОДОПЛОМБАТОВ ЙОДИДОМ 1,4-БУТАНДИАММОНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ СТАБИЛЬНОСТИ

Студентка 2 курса Москаленко А.К.

Руководитель м.н.с, к.х.н. Удалова Н.Н.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет наук о материалах  
moskalenkoak@my.msu.ru*

Рекордный КПД перовскитных солнечных элементов (ПСЭ) на основе гибридных галогенопловбатов АВХЗ в качестве светопоглощающих материалов в настоящее время превышает 25%, что обуславливает перспективность коммерциализации данных устройств. Однако низкая стабильность гибридных перовскитов к различным условиям эксплуатации (нагрев, солнечное излучение и др.) является основным препятствием на пути промышленного использования этих материалов в фотоэлектрических устройствах. Одним из наиболее перспективных подходов к решению данной проблемы являются объемная и поверхностная модификация гибридных перовскитов солями диаммонийных органических катионов, способствующих пассивации дефектов поверхности и межзеренных границ.

Тем не менее, в настоящий момент в литературе представлено недостаточно информации о методиках химической модификации гибридных перовскитов солями диаммонийных катионов и исследованиях эффективности и стабильности таких материалов, в том числе в составе ПСЭ.

В нашей работе была поставлена цель изучить влияние способа введения и количества добавки иодида 1,4-бутандиаммония (BDAI2) к перовскитам  $\text{MAPbI}_3$ ,  $\text{MA}_0.25\text{FA}_0.75\text{PbI}_3$  и  $\text{FA}_0.85\text{Cs}_0.15\text{PbI}_3$  (MA = метиламмоний, FA = формамидиний) на их свойства и стабильность. Было обнаружено, что добавление BDAI2 не приводит к кристаллизации примесных слоистых фаз и позволяет увеличить стабильность перовскитов разного состава к длительному облучению видимым светом и нагреванию до 100°C. Однако при этом происходит уменьшение среднего размера зерен, времени жизни носителей зарядов, а также снижение КПД ПСЭ на основе модифицированных перовскитов. Варьирование способов введения модификатора, таких как пассивация готовых пленок сверху раствором BDAI2 в изопропанолe и одновременное добавление избытка BDAI2 и  $\text{PbI}_2$  в раствор перовскита, приводит к многократному увеличению интенсивности стационарной фотолюминесценции.

Тем не менее, снижение среднего времени жизни носителей зарядов в материале продолжает наблюдаться при введении BDAI2 разными способами. Для верификации полученных результатов в текущей работе планируется провести дополнительную сборку ПСЭ с различным способом модификации иодидом 1,4-бутандиаммония и проанализировать стабильность устройств при непрерывном облучении солнечным светом.



# ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ ГЕКСАФЕРРИТА СТРОНЦИЯ, ЗАМЕЩЁННОГО МАРГАНЦЕМ И КОЛЛОИДНЫЕ РАСТВОРЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Студент 2 курса Муравьев Д.В.

Научные руководители Слепцова А.Е., Трусов Л.А.  
МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет наук о материалах  
denis2mur@gmail.com

Магнитотвёрдые материалы используются для производства постоянных магнитов, магнитных лент для записи информации, высокочастотных устройств. Поэтому улучшение их свойств является актуальной задачей современной науки. В последнее время наиболее популярными магнитными материалами становятся оксидные материалы благодаря низкой себестоимости, химической и термической стабильности.

Среди магнитотвёрдых материалов можно выделить гексаферриты М-типа состава  $MeFe_{12}O_{19}$  ( $Me - Sr, Ba, Pb$ ). Их коэрцитивная сила может достигать 6 кЭ. Известно, что частичное замещение железа в структуре гексаферрита на ионы других металлов позволяет варьировать магнитные свойства материала [1]. Интересным является замещение атомов железа на марганец, так как его ионный радиус наиболее близок к железу, а также он может существовать в структуре гексаферрита в различных степенях окисления, и, контролируя соотношение  $Mn^{2+}/Mn^{3+}$ , можно варьировать магнитные свойства материала [2].

В нашей работе были получены наночастицы гексаферрита стронция, легированного марганцем. Для достижения наноразмеров частиц было решено использовать стеклокерамический метод синтеза. Была получена стеклокерамика номинального состава  $SrFe_{12-x}Mn_xO_{19} \cdot 12Sr_2B_2O_5$  ( $x = 2, 4$ ). Отжиг производился в интервале 700 – 900°C.

В предыдущих исследованиях было показано, что в образцах стеклокерамики кристаллизуется несколько магнитных фаз: магнитотвёрдая, представляющая собой гексаферрит стронция, и магнитомягкая, являющаяся ферритом марганца. Наличие магнитомягкой фазы связано с переходом марганца в степень окисления +2 при высоких температурах. Был предложен способ уменьшить содержание  $Mn^{2+}$ , дестабилизирующего гексаферрит, путём перемалывания стекла перед отжигом в шаровой мельнице для увеличения степени диффузии кислорода.

Наибольшая коэрцитивная сила частиц составила 6,8 кЭ при степени замещения  $x = 2$  и 7,8 кЭ при  $x = 4$ . Намагниченность насыщения лежит в пределах от 24,1 до 46,1 эме/г для  $x = 2$  и от 14,1 до 32,5 эме/г для  $x = 4$ , что существенно ниже, чем для чистого гексаферрита. Размеры частиц лежат в диапазоне от 14,7 до 300 нм. Было показано, что данный метод синтеза перспективен для получения коллоидных растворов на основе полученных частиц. Коллоиды были исследованы методом динамического светорассеяния, были измерены их дзета-потенциалы. Результаты размеров частиц, определённых по ДЛС, хорошо коррелируют с результатами уточнения РФА, это означает отсутствие агрегатов в растворах. Дзета-потенциал растворов составляет от 41,2 до 46,4 мВ, что позволяет говорить об их стабильности.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 20-73-10129.*

## Литература

1. Kojima H., *Ferromagnetic Materials*. 1982. Vol. 3. P. 305–391.
2. Okube M., Yoshizaki J., Toyoda T. and Sasaki S., *Journal of Applied Crystallography*. 2016. Vol. 49. N. 5. P. 1433–1442.

## СИНТЕЗ И КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРОВСКИТОВ $\text{La}_{0.9}\text{M}_{0.1}\text{MnO}_{3\pm y}$ (M -ЩЕЛОЧНОЙ МЕТАЛЛ)

Студентка 4 курса Пермякова А.Е.  
Руководитель к.х.н Русских О.В.  
*Уральский федеральный университет*  
*nastia2605permiakova@yandex.ru*

Материалы на основе манганита лантана со структурой типа перовскита находят применение в различных областях техники, например, являются компонентами твердооксидных топливных элементов, терموкаталитических устройств для защиты атмосферы. Манганиты лантана, допированные ионами щелочных металлов, представляют интерес в качестве каталитических материалов для окисления углеродсодержащих веществ. Благодаря их высокой каталитической активности становится возможным значительно снизить содержание металлов платиновой группы в реальном каталитическом устройстве, что в свою очередь существенно снижает его стоимость.

Сложные оксиды со структурой перовскита  $\text{La}_{0.9}\text{M}_{0.1}\text{MnO}_{3\pm y}$  (M = щелочной металл) синтезированы методом пиролиза (горения) полимерно-солевых композиций. Готовили композиции, содержащие нитраты соответствующих металлов и органический компонент, в стехиометрическом соотношении. Была отработана методика получения сложно-оксидного слоя на носителе, в качестве которого был использован высокопористый ячеистый материал – пеноникель (диаметр пор 2–3 мм). На носителе был предварительно получен оксидный подслой при выдержке на воздухе (550 °С, 1 час). Промежуточный слой оксида никеля NiO защищает носитель от деградации и обеспечивает дополнительную адгезию сложного оксида с его поверхностью.

Определен фазовый состав полученных образцов, их морфология, удельная поверхность, включая образцы, полученные на носителе. Исследована каталитическая активность в реакции окисления сажи кислородом воздуха в открытом реакторе в изотермических условиях. Измерения проводили в температурной интервале 200 - 450 °С (шаг 50 °С). Была отработана методика окисления сажи на нанесенном катализаторе.

Методом рентгенофазового анализа было показано, что при допировании щелочными металлами образуются твердые растворы на основе манганита лантана со структурой типа перовскита, в том числе и при получении оксидного слоя на пеноникелевом носителе. Объем элементарной ячейки уменьшался при допировании литием и натрием, в остальных случаях было зафиксировано его повышение, что согласуется со значениями ионных радиусов лантана и щелочных металлов. Удельная поверхность полученных материалов составила 10-16 м<sup>2</sup>/г.

Введение ионов щелочного металла существенно повышает каталитическую активность манганита лантана. По зависимости энергии активации процесса окисления сажи от ионного радиуса было показано, что окисление сажи протекает преимущественно по механизму образования промежуточных неустойчивых карбонатоподобных комплексов, при этом максимум каталитической активности наблюдали для металла с наиболее низкой устойчивостью карбонатов.

## МЕТОДЫ СИНТЕЗА СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ В СИСТЕМЕ $\text{La}_2\text{O}_3\text{-CoO-Sb}_2\text{O}_5$ С РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Студентка 2 курса Разворотнева Л.С.

Руководитель Голодухина С.В.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,*

*ИОНХ им. Н.С. Курнакова РАН*

*ladanichegoneznau@mail.ru*

В последнее время сложные оксиды d- и f-элементов со структурами перовскита, и шпинели вызывают интерес в качестве гетерогенных катализаторов окисления CO. Недавно было показано, что соединения, относящиеся к структурному типу розиаита также являются эффективными катализаторами в данной реакции. Однако каталитические свойства антимоанатов кобальта с различными структурами ранее изучены не были. Целью работы является разработка единого метода синтеза сложных антимоанатов в системе  $\text{La}_2\text{O}_3 - \text{CoO}_x - \text{Sb}_2\text{O}_x$  с различной кристаллической структурой и исследование их каталитических свойств в реакции окисления CO.

Ранее для системы  $\text{La}_2\text{O}_3\text{-CoO-Sb}_2\text{O}_5$  были описаны три сложных оксида, относящиеся к различным структурным типам: розиаит  $\text{LaCo}_{1/3}\text{Sb}_{5/3}\text{O}_6$ , перовскит  $\text{La}_3\text{Co}_2\text{SbO}_9$  и пироклор  $\text{La}_3\text{Co}_2\text{Sb}_3\text{O}_{14}$ . Для этих веществ были предложены методы синтеза, включающие твердофазный и цитратный методы. На примере образца  $\text{LaCo}_{1/3}\text{Sb}_{5/3}\text{O}_6$  мы рассмотрели возможность получить однофазные образцы описанными ранее методами. Однако мы показали, что твердофазный синтез не позволяет получить однофазные образцы  $\text{LaCo}_{1/3}\text{Sb}_{5/3}\text{O}_6$ . При использовании цитратного метода нам удалось получить однофазный образец, однако, использование этого метода может приводить к загрязнению поверхности образцов продуктами сгорания органических прекурсоров, что существенно снижает каталитическую активность материала. В связи с этим мы использовали для синтеза соединений в системе  $\text{La}_2\text{O}_3 - \text{CoO}_x - \text{Sb}_2\text{O}_x$  разработанный нами метод соосаждения с гидротермальной обработкой и последующим отжигом. Использование данного метода позволило понизить температуру начала образования фазы  $\text{LaCo}_{1/3}\text{Sb}_{5/3}\text{O}_6$  до  $650^\circ\text{C}$  и получить однофазный образец. Он также позволил синтезировать перечисленные выше тройные оксиды, а также двойные соединения  $\text{LaCoO}_3$  и  $\text{CoSb}_2\text{O}_6$  в идентичных условиях, при конечной температуре синтеза  $1050^\circ\text{C}$ .

При проведении каталитических испытаний нами было установлено, что в тройной системе  $\text{La}_2\text{O}_3\text{-CoO-Sb}_2\text{O}_5$  сложные оксиды со структурами розиаита  $\text{LaCo}_{1/3}\text{Sb}_{5/3}\text{O}_6$  и пироклора  $\text{La}_3\text{Co}_2\text{Sb}_3\text{O}_{14}$  обладали значительно более высокой активностью. Стоит отметить, что каталитическая активность антимоаната  $\text{CoSb}_2\text{O}_6$  оказалась значительно ниже, по сравнению с другими изученными нами соединениями. Этот результат указывает на сильное влияние кристаллической структуры антимоанатов на каталитическую активность, а не только их химического состава.

## ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ $Y_{1-x}Bi_xFeO_3$ ( $0 \leq x \leq 0.15$ )

Студентка 3 курса Соколова А.Н.

Руководитель доцент Проскурина О.В.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
sok5552@mail.ru*

Наноразмерный ортоферрит иттрия нашел применение в катализе, газочувствительных датчиках и ферромагнитных материалах. Как правило, в этих работах использовался орторомбический  $YFeO_3$ , обладающий значительной фотокаталитической активностью [1]. Свойства метастабильной гексагональной модификации феррита иттрия и твердых растворов на ее основе изучены значительно меньше. Одним из наиболее популярных ферритов является также  $BiFeO_3$ , однако исследования твердых растворов  $Y_{1-x}Bi_xFeO_3$  также связаны только с их орторомбической модификацией [2].

Существует множество способов получения наночастиц на основе сложных оксидов и, в частности, ортоферрита иттрия: гидротермальный, микроволновой синтез, соосаждение с последующей термообработкой и ряд других методов быстрого и низкотемпературного синтеза с получением наночастиц [3].

В нашей работе синтез твердых растворов ферритов иттрия и висмута  $Y_{1-x}Bi_xFeO_3$  ( $0 \leq x \leq 0.15$ ) проводился методом обратного осаждения из растворов нитратов иттрия, висмута и железа с помощью 4М раствора NaOH при интенсивном перемешивании и кратковременном воздействии ультразвука. Соосажденные гидроксиды промывались дистиллированной водой до pH=7 и высушивались при температуре 80°C в течение 10 ч, после чего подвергались термообработке при различных температурах в течение 1 минуты в режиме «отжиг-закалка».

Анализ дифрактограмм полученных образцов показал, что при 800 °C из рентгеноаморфных продуктов термического разложения гидроксидов начинается кристаллизация гексагональной формы  $Y_{1-x}Bi_xFeO_3$ . Образцы с  $x \geq 0.1$  содержали примесь феррограната  $Y_3Fe_5O_{12}$ , однако параметры элементарной ячейки для всех исследованных образцов продемонстрировали близкую к линейной зависимость от  $x$ . Это указывает на образование непрерывного ряда твердых растворов с гексагональной структурой во всем исследованном диапазоне значений  $x$ .

Фотокаталитическая активность синтезированных образцов изучена при окислении метилового фиолетового в присутствии перекиси водорода под действием видимого света. Наиболее высокой она оказалась у незамещенного феррита иттрия, однако при увеличении содержания висмута она снижалась лишь незначительно. Полученные нанопорошки  $Y_{1-x}Bi_xFeO_3$  с гексагональной структурой можно рассматривать как перспективные фотокатализаторы окисления органических загрязнителей воды.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 21-13-00260*

### Литература

1. Popkov V.I., Almjashaeva O.V., Gusarov V.V. Russian Journal of Applied Chemistry, 2014. Vol. 87. N 10. P. 1417–1421.
2. Ismael M., Elhaddad E., Taffa D.H., Wark M.. Catalysts. 2017. Vol. 7. N 11. P. 326-338.
3. Shang M., Zhang C., Zhang T., Yuan L., Ge L., Yuan H., Feng S. Applied physics letters, 2013, Vol. 102. N 6. P. 062903.

## СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ЭПСИЛОН-ОКСИДА ЖЕЛЕЗА

Студент 2 курса Сошников М.В.

Руководитель к.х.н., доцент Трусов Л.А.

*МГУ им. М.В.Ломоносова, Факультет наук о материалах*

*miroslav.soshnikov@gmail.com*

Эпсилон-оксид железа ( $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) – единственный оксидный наноматериал с коэрцитивной силой более 20 кЭ при комнатной температуре. Он перспективен для высокочастотных 5G и 6G устройств, для магнитной записи с высокой плотностью и т.д. [1,2] Синтез наночастиц  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  проводят путем кристаллизации ксерогеля  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ , полученного гидролизом тетраэтоксисилана (ТЭОС) [3] в водно-спиртовом растворе нитрата железа (III) [4,5]. Продолжительность гидролиза ТЭОС, как правило, составляет четыре недели, что является одной из причин ограниченности использования  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  в промышленности. Кроме этого, в научной литературе отсутствуют работы по исследованию ферромагнитного резонанса наночастиц эпсилон-оксида железа в зависимости от их размера.

Таким образом, цель нашей работы – изучение магнитостатических и магнитодинамических свойств наночастиц  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  в зависимости от размера, полученных путём быстрого гидролиза тетраэтоксисилана в водно-спиртовом растворе нитрата железа (III). Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: 1) получить гель гидролизом ТЭОС; 2) получить стеклокерамику путем отжига ксерогеля; 3) отмыть частицы от немагнитной матрицы; 4) определить фазовый состав образцов и морфологию частиц в зависимости от температуры отжига; 5) изучить полевые зависимости намагниченности и спектры ферромагнитного резонанса порошков  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ .

Последовательность синтеза: 1) четырёхчасовой гидролиз ТЭОС в водно-спиртовом растворе нитрата железа (III); 2) выдержка геля в сушильном шкафу до образования ксерогеля; 3) термическая обработка ксерогеля до температуры выдержки выше 1000 °С; 4) отмывание от немагнитной матрицы  $\text{SiO}_2$  путём её растворения в концентрированном водном растворе NaOH.

При росте температуры отжига от 1000 до 1150 градусов увеличивается содержание  $\epsilon$ -фазы за счёт спекания наночастиц гамма-оксида, а при температуре 1200 градусов и выше эпсилон-оксид переходит в альфа-фазу. При повышении температуры отжига монотонно возрастает коэрцитивная сила образцов  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с 0,1 до 21 кЭ и диаметр частиц с 7 до 38 нм, соответственно, при этом частота ферромагнитного резонанса возрастает с 162 до 170 ГГц, а ширина линии поглощения снижается с 40 до 2 ГГц, соответственно.

### Литература

1. Ohkoshi S.-I. et al. *Angewandte Chemie*. 2016. Vol. 128, № 38. P. 11575–11578.
2. Namai A. et al. *Journal of the American Chemical Society*. 2009. Vol. 131, № 3. P. 1170–1173.
3. Cornell R.M., Schwertmann U. *The iron oxides*. 2003.
4. Jolivet J.P., Tronc E., Chanéac C. *The European Physical Journal – Applied Physics*. 2000. Vol. 10, № 3. P. 167–172.
5. Tronc E. et al. *Hyperfine interactions*. 1998. Vol. 112, № 1/4. P. 97–100.

## ВЫДЕЛЕНИЕ КСЕНОНА ИЗ УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ СМЕСЕЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НАПРАВЛЕННОЙ ГАЗОГИДРАТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Студентка 1 курса магистратуры Степанова Е.А.

Руководитель доцент Петухов А.Н.

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
stepanova.k1999@mail.ru*

Ксенон (Xe) – газ, который находит применение в медицинской, космической, электронной и автомобильной промышленности [1]. В настоящее время единственный промышленный метод добычи Xe – низкотемпературная ректификация воздуха. Задачей данной работы было исследование возможности выделения ксенона из природного газа с помощью метода направленной газогидратной кристаллизации. Содержание ксенона в природном газе на 4 порядка выше, чем в воздухе.

Первым шагом было математическое моделирование процесса образования газовых гидратов на модельных смесях, по составу приближенных к природному газу, для определения влияния состава газовой смеси на коэффициент газогидратного распределения при давлениях 40 и 80 бар (диапазон давлений, при которых природный газ поступает на перерабатывающие установки [2]). Максимальные теоретически смоделированные коэффициенты распределения Xe лежат в пределах от 5,30 до 5,94.

Экспериментальная верификация проводилась на газовой смеси  $\text{CH}_4/\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_3\text{H}_8/n\text{-C}_4\text{H}_{10}/\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}/\text{N}_2/\text{Xe}$  с соотношением 75,677/ 7,410/ 4,534/ 2,469/ 5,396 / 1,389/ 3,013/ 0,113 мол. % при  $T=280,15\text{ K}$ . В ходе эксперимента исследовалась скорость образования газовых гидратов. Выяснилось, что пик гидратообразования наблюдается в области 18 минут, далее скорость гидратообразования падает. При росте газовых гидратов молекулы газа переходят из газовой фазы в жидкую, при этом они плотно упакованы в газогидратной ячейке. Скорость образования газовых гидратов постепенно уменьшается и становится постоянной к концу процесса, так как происходит потребление молекул воды и гостевых молекул. Экспериментальный коэффициент распределения имеет близкое значение к смоделированному (2,81 и 3,23 соответственно) при 4,20 МПа и температуре 280,15 К, а степень выделения Xe составляет около 75%.

Таким образом, можно сделать вывод, что Xe эффективно концентрируется в газогидратной фазе при направленной газогидратной кристаллизации, поэтому в дальнейшем будет изучаться непрерывная газогидратная кристаллизация, которая наиболее приближена к промышленной технологии.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 17-79-20286.*

Литература

1. Hassanpouryouzband et al. Gas hydrates in sustainable chemistry. Chem. Soc. Rev. 2020. Vol. 49. P. 5225–5309.
2. Фык М.И., Хрипко Е.И. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. Харьков: Фолио, 2015. 301 с.

# СИНТЕЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НОВЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА ФТОРОТРИФТОРОАЦЕТАТОМЕТАЛЛАТОВ КАЛИЯ ДЛЯ РЯДА РЗЭ

Студент 2 курса Стешенко Д.А.

Руководители старший преподаватель Глазунова Т.Ю., студент 4 курса Болтков Е.Д.

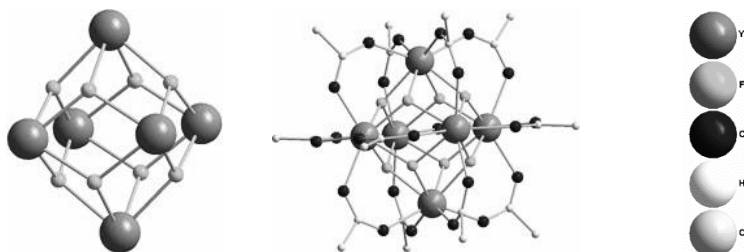
*МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет*

*dmitrii.steshenko@chemistry.msu.ru*

Несколько лет назад в нашей лаборатории были впервые синтезированы и структурно изучены представители семейства фторотрифтороацетатометаллатов натрия для ряда РЗЭ, общей формулы  $\text{Na}_2[\text{Ln}_6(\mu_3\text{-F})_8(\text{TFA})_{12}\text{L}_6]$ , где  $\text{L} = \text{CF}_3\text{COOH}$  (ТФАН),  $\text{H}_2\text{O}$ . Представители данного семейства, благодаря отсутствию гасящей люминесценции связей  $\text{O-N}$  и  $\text{C-N}$ , являются перспективными люминофорами. В результате исследований было обнаружено, что во время одного синтеза всегда формируются несколько, вплоть до пяти, полиморфных модификаций фторотрифтороацетатометаллатов натрия для различных РЗЭ, что затрудняет исследование люминесцентных свойств полученных соединений. Таким образом, перед нами встала задача путем модификации условий синтеза и состава исходных соединений получить монофазные образцы. В нашей работе мы исследовали образцы, полученные замещением натрия на калий. В результате для ряда РЗЭ было получено новое семейство фторотрифтороацетатометаллатов калия. Структуры полученных соединений были установлены методом РСА. Обнаружено, что во время одного синтеза для некоторых лантанидов также происходило образование нескольких полиморфных модификаций фторотрифтороацетатометаллатов калия, но теперь максимум двух. Для образца европия методом РФА доказано образование только моноклинной модификации:

Сингония	Формула соединения
Триклинная	$\text{K}_2[\text{Nd}_6(\mu_3\text{-F})_8(\text{TFA})_{12}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{HTFA})_2]$
Триклинная	$\text{K}_2[\text{Ln}_6(\mu_3\text{-F})_8(\text{TFA})_{10}(\text{TFA})_2(\text{H}_2\text{O})_6]$ , Ln= Dy, Er, Yb, Lu
Моноклинная	$\text{K}_2[\text{Ln}_6(\mu_3\text{-F})_8(\text{TFA})_{12}(\text{H}_2\text{O})_6]$ , Ln= Eu, Dy, Yb

В структурах всех соединений присутствуют анионные фрагменты  $[\text{Ln}_6(\mu_3\text{-F})_8(\text{TFA})_{12}\text{L}_6]$ ,  $\text{L} = \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HTFA}$ . Их ядро образовано шестью независимыми атомами лантанида, расположенными на вершинах почти правильного октаэдра, над каждой гранью которого располагается тридентатный атом фтора. Каждые два атома металла также связаны анионами трифторуксусной кислоты.



Анионные фрагменты в обеих модификациях соединяются через ионы калия, образуя в триклинной модификации цепи, а в моноклинной – слои.

## Литература

1. Болтков Е.Д., Глазунова Т.Ю., Белоусов Ю.А., Кискин М.А., *Актуальные проблемы неорганической химии. Москва. 13-15 Ноября 2020. Стр. 170-171*



## СИНТЕЗ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ОДНОДОМЕННЫХ ЧАСТИЦ ГЕКСАФЕРРИТА, ЛЕГИРОВАННЫХ ГАЛЛИЕМ

Студентка 2 курса Султановская А.С.

Руководитель к.х.н. доцент Трусов Л.А.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет наук о материалах*

*Sult\_alex@mail.ru*

Материалы, способные создавать собственные магнитные поля, имеют широкое применение в различных областях промышленности. Важной характеристикой таких материалов является коэрцитивная сила [1]. Гексагональные ферриты М-типа (далее – гексаферриты), соединения с общей формулой  $MFe_{12}O_{19}$  ( $M = Ba, Sr, Pb$ ) являются важным классом промышленных магнитных материалов. Из-за химической устойчивости и низкой стоимости они используются в производстве магнитных лент, а также являются альтернативой сплавам редкоземельных элементов, используемых для производства постоянных магнитов. Гексаферриты обладают относительно высокой коэрцитивной силой и частотами поглощения в миллиметровом диапазоне. Эти характеристики определяются химическим составом соединения: при частичном замещении ионов железа на другие ионы можно добиться увеличения этих параметров, что улучшает свойства материалов на основе гексаферритов [2]. Примером успешного увеличения данных параметров является введение в структуру ионов  $Al^{3+}$  [3, 4]. Так как галлий находится в той же подгруппе, что и алюминий, можно предположить, повышение коэрцитивной силы и частот естественного ферромагнитного резонанса при частичном замещении ионов железа ионами галлия. На момент начала исследования не было представлено достоверной информации, касающейся магнитных свойств и кристаллической структуры гексаферритов, замещённых ионами галлия.

Целью представленного исследования является синтез однофазных однодоменных частиц состава  $SrFe_{12-x}Ga_xO_{19}$  (от  $x = 0$  до  $x = 6$ ), исследование их кристаллической структуры, магнитных свойств и поглощения электромагнитного излучения в миллиметровом диапазоне.

Согласно данным РФА и СЭМ были получены однофазные однодоменные частицы с общей формулой  $SrFe_{12-x}Ga_xO_{19}$  (от  $x = 0$  до  $x = 6$ ) методом самовозгорания цитратно-нитратных расплавов и последующих отжигах при  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В соответствии с данными магнитных измерений введение  $Ga^{3+}$  в структуру гексаферрита до степени замещения  $x = 4$  приводит к увеличению коэрцитивной силы, при дальнейшем увеличении  $x$  коэрцитивная сила уменьшается. Впервые было установлено, что ионы галлия замещают ионы железа преимущественно в позициях 2a, 4f<sub>1</sub>, 12k и 2b в структуре гексаферрита. Согласно терагерцовым спектроскопическим измерениям все образцы характеризуются резонансным поглощением в диапазоне 49-56 ГГц. Значения частот лежат в 5G диапазоне, поэтому полученные соединения могут иметь широкое применение в сфере развития беспроводных технологий.

### Литература

1. Coey J.M.D, Engineering, 2019. Vol. 6, N 2. P. 119 – 131.
2. Gorbachev E.A., Russ. Chem. Rev. 2021, Vol. 90. N 10. P. 1287 – 1329.
3. Gorbachev E.A., Trusov L.A., Sleptsova A.E., Materials Today, 2019. Vol. 32. P. 13 – 18.
4. Trusov L.A., Gorbachev E.A., Chem. Comm., 2017. Vol. 54. P. 479 – 482.

# СИНТЕЗ И МЕССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СЕМЕЙСТВА ПИРОКСЕНОВ СОСТАВА $AFeX_2O_6$ ( $A = Li, Na; X = Si, Ge$ )

Студент 4 курса Чжан Цзяцзе

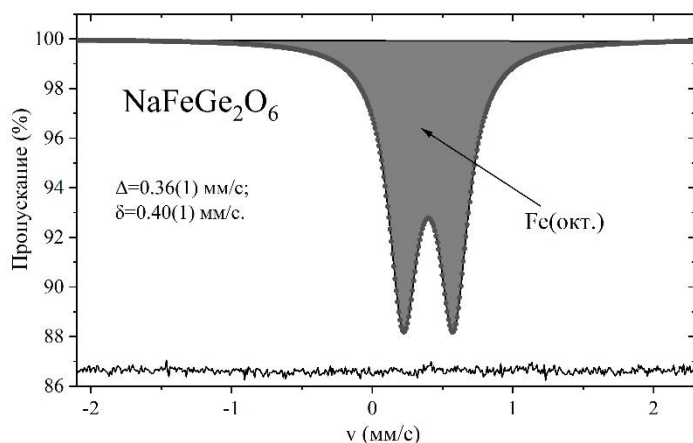
Руководители к.х.н., доц. Соболев А.В., к.х.н. Глазкова Я.С.

Университет МГУ-ППИ, Шэньчжэнь, Китай

2271390453@qq.com

Высокая степень геометрической фрустрации спинов атомов железа в оксидах  $AFeX_2O_6$  со структурой типа пироксена может приводить к формированию сложных (пространственно- и амплитудно-модулированных) магнитных структур. Необычный магнетизм в совокупности с появлением электрической поляризации обуславливает мультиферроэлектрические свойства многих пироксенов. В результате эти соединения являются перспективными для создания новых материалов для современной электроники. Однако до сих пор нет единого подхода к предсказанию мультиферроэлектрического поведения таких систем, и для расширения информации необходимо использование новых методов исследования, которые позволяют изучать соединения на микроскопическом уровне. Одним из таких локальных подходов является метод мессбауэровской спектроскопии (МС), основанный на анализе сверхтонких параметров резонансных ядер  $^{57}Fe$ .

Настоящая работа посвящена синтезу ряда сложных оксидов  $AFeX_2O_6$  ( $A = Li, Na; X = Si, Ge$ ) со структурой пироксена и последующему изучению их локальной кристаллографической структуры методом МС на ядрах  $^{57}Fe$ . Составы  $AFeX_2O_6$  были получены твердофазным методом из стехиометрической смеси оксидов и карбонатов и охарактеризованы с помощью РФА на порошках. Мессбауэровские спектры пироксенов при  $T = 300$  К представляют собой единственный квадрупольный дублет (рис.), указывая, что катионы железа в структуре  $AFeX_2O_6$  занимают один тип катионных позиций и находятся в формальной степени окисления «+3» в высокоспиновом ( $HS$ ) состоянии в кислородных октаэдрах.



В работе проведен количественный анализ величин экспериментальных квадрупольных расщеплений  $\Delta$ , который включал расчеты параметров  $(V_{ij})$  градиента электрического поля (ГЭП) на ядрах  $^{57}Fe$ .

Рис. Мессбауэровский спектр ядер  $^{57}Fe$  в пироксене  $NaFeGe_2O_6$  ( $T = 300$  К)

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ СЛОИСТОГО ГИДРОКСИДА ИТТРИЯ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА

Студент 4 курса Чжао Чжиюань

Руководитель Япрынцев А.Д. и Голодухина С.В

Университет МГУ-ППИ, Шэньчжэнь, ИОНХ им. Н.С. Курнакова

2283266092@qq.com

Среди слоистых неорганических соединений существует два класса соединений, состоящих из положительно заряженных слоев и анионов между ними: слоистые двойные гидроксиды (LDH) металлов и слоистые гидроксиды РЗЭ (LREN). Благодаря такому строению слоистые гидроксиды обладают анионообменными свойствами, что активно используется для создания сорбентов, средств доставки лекарств, нанореакторов и др. Уникальным свойством слоистых гидроксидов является их «эффект памяти». Он заключается в том, что продукты их отжига при температурах 400- 800 °С при контакте с воздухом или водой регидратируются с образованием исходных структур. Отжиг LREN позволяет получать оксиды, оксофториды, оксосульфаты с улучшенными люминесцентными свойствами. «Эффект памяти» LREN был показан только на примере гидроксохлоридов Sm и Gd.

Целью нашей работы стало исследование возможности восстановления слоистой структуры гидроксохлорида  $Y_2(OH)_5Cl \cdot 1.5H_2O$  (Y-LREN-Cl) после отжига. Для достижения этой цели работы был изучен процесс термического разложения Y-LREN-Cl; методами РФА, термического анализа и ИКС определен состав продуктов, получаемых при различной температуре. Показано, что при нагревании до 200-500°С сохраняется слоистая структура, характерная для слоистого гидроксида, однако происходит потеря молекул воды из межслоевого пространства гидроксида, что влияет на кристаллическую структуру. Показано, что в отличие от слоистых гидроксидов Gd и Sm, при температуре 600°С образуется только фаза  $Y_2O_3$ , частицы которой имеют форму исходного Y-LREN-Cl. Мы обнаружили, что продукты, образующиеся при температуре 600-700°С демонстрируют изменение массы при прокаливании. Эта потеря массы уменьшается с увеличением температуры до 900°С и размера кристаллитов Y-LREN-Cl.

Мы показали, что восстановление слоистой структуры Y-LREN-Cl в растворе 1M NaCl возможно из фазы оксида  $Y_2O_3$ , полученного после отжига при 600°С, а восстановление после прокаливании при 700°С не происходит. Изменение температуры восстановления в указанном интервале не изменяло возможности восстановления частиц. В зависимости от температуры восстановления (25, 60, 120°С) возможно получение продуктов с различной степенью кристалличности. Таким образом впервые показана возможность восстановления слоистой структуры гидроксохлорида LREN-Cl из фазы оксида, полученной при прокаливании.

# СИНТЕЗ, КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ НИТРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ КОБАЛЬТА И МАРГАНЦА

Студент 2 курса **Чистяков Г.Д.**

Руководитель профессор, д.х.н. Морозов И.В.  
МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет,  
*chistyakov.gd2002@gmail.com*

Нитратные комплексы переходных металлов представляют большой интерес благодаря своему уникальному кристаллическому строению, обусловленному геометрическими особенностями нитратной группы, способной проявлять переменную дентатность в сочетании с разнообразными мостиковыми функциями. Так, в нитратах Mn(II) и, особенно, Co(II) часто реализуются необычные полиэдры, в которых ионы-комплексообразователи проявляют аномально высокие КЧ 7 и 8. Нитратометаллаты способны образовывать структуры различной размерности, в которых могут присутствовать как изолированные анионы, так и полиядерные координационные полимеры (цепи, ленты, слои или трехмерные каркасы). Большой интерес представляет изучение магнитных свойств полученных соединений: суперобменного взаимодействия в случае протяженных структур [1] и проявлений мономолекулярного магнетизма для островных [2]. В ряде соединений при понижении температуры наблюдаются структурные фазовые переходы. В настоящей работе описан синтез и кристаллическое строение семи нитратных комплексов состава  $(A)_n[TM_m(NO_3)](HNO_3)_y$ , где  $A$  – катион нитрозония ( $NO^+$ ), пиридиния ( $PyH^+$ ), нитропиридиния ( $N-NO_2Py^+$ ), бензимидазолия ( $NO_2-BzIm^+$ );  $TM = Mn(II, III), Co(II)$ . У четырех соединений изучены магнитные свойства.

**Таблица.** Нитратные комплексы кобальта и марганца.

<b>Co(II)</b>	$(NO_2-BzIm)[Co(NO_3)_3]^{6\alpha} 1D$	<b>Mn(II)</b>	$NO[Mn_6(NO_3)_{13}]^{a\alpha}$	$3D$
	$(NO_2-BzIm)_2[Co(NO_3)_4]^{6\beta} 0D$		$(PyH)[Mn(NO_3)_3]^{6\delta}$	$2D$
	$(PyH)_2[Co(NO_3)_4]^{6\beta} 0D$		$(PyH)_2[Mn(NO_3)_4]^{6\delta}$	$0D$
		<b>Mn(III)</b>	$(PyH)_{0.5}(N-NO_2Py)_{0.5}[Mn(NO_3)_4]^{6\delta} 0D$	

<sup>a</sup> синтез в системе  $\{N_2O_5+N_2O_4+HNO_3\}$ ,

<sup>6</sup> синтез в вакуумированном эксикаторе над  $P_2O_5$ ,

<sup>α</sup> изучены свойства низкоразмерного магнетизма,

<sup>β</sup> охарактеризованные мономолекулярные магнетики.

## Литература

1. Danilovich I.L., Deeva E.B., Bukhteev K.Y. et al. // Physical Review B. 2020. Vol. 102. 094429.
2. Chen L., Hui-Hui Cui, Stavretis Shelby E., et. al. // Inorg.Chem. 2016. Vol. 55. 12603.

# ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРНО-ЗАВИСИМОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ НОВОГО МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКОГО КАРКАСА

Студентка 3 курса Шаульская М.Д.

Руководители: асп. Гребенюк Д.И., к.х.н. Цымбаренко Д.М.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет

shaulskaya.m@inbox.ru

Смешанно-лантанидные металл-органические каркасы (Metal-Organic Frameworks, MOFs) перспективны в качестве люминесцентных термометров за счёт структурного разнообразия и настраиваемых люминесцентных свойств. Относительно высокая термическая устойчивость (до 400-500°C) позволяет использовать каркасы при достаточно высоких температурах, но большинство работ посвящено исследованию температурно-зависимой люминесценции в более ограниченных сверху областях.

В нашей работе изучено термическое поведение нового анионного металл-органического каркаса и возможности его применения в качестве люминесцентного термометра. Цель – создание люминесцентного термометра в области относительно высоких температур. В качестве объектов исследования выступают изоструктурные Ce, Eu, Tb-MOFs нового семейства анионных каркасов  $((\text{CH}_3)_2\text{NH}_2)_2[\text{Ln}_2(\text{bdc})_4(\text{DMF})_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , где H<sub>2</sub>bdc – терефталевая кислота, DMF – диметилформамид.

Использование MOFs в условиях выше 100°C невозможно без подробного изучения процессов термического разложения и его влияния на структуру. Для этого использованы методы *in situ* порошковой рентгеновской дифракции,

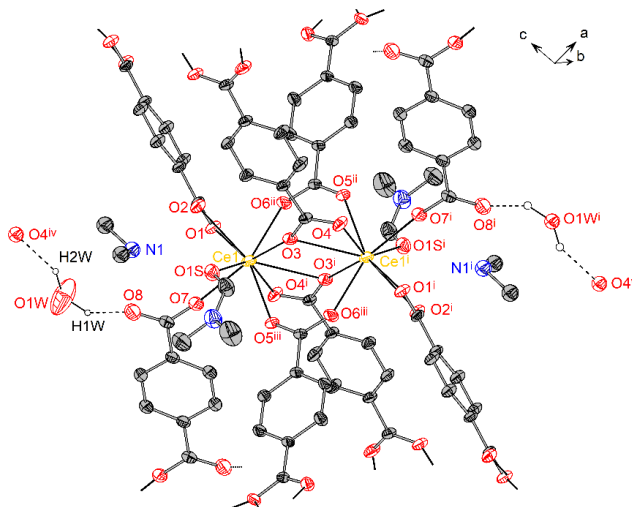


Рис. Фрагмент кристаллической структуры Ce-MOF

термогравиметрического анализа с масс-спектрометрией отходящих газов и метод полного рентгеновского рассеяния с анализом функции парного распределения (PDF, pair distribution function). Регистрация спектров люминесценции при нагревании осуществлялась на оригинальной установке. Научная новизна полученных результатов состоит в использовании дополнительного фактора формирования люминесцентного отклика – термическое удаление молекул-гостей из пор каркаса.

Номинация 1 «Исследования по химии»

Секция «Органическая, биоорганическая и  
элементоорганическая химия»

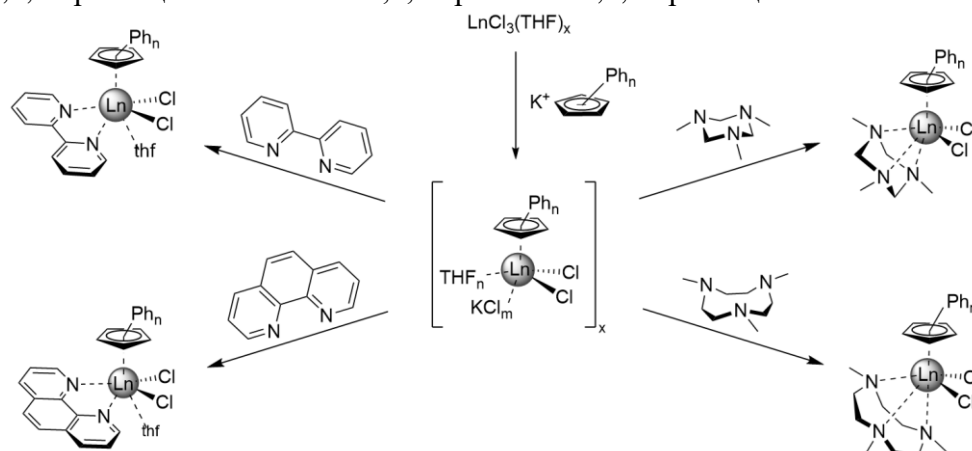
# ПОЛИФЕНИЛЦИКЛОПЕНТАДИЕНИЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИМИ N-ДОНОРНЫМИ ЛИГАНДАМИ

Студент 3 курса Бардонов Д.А.

Руководитель Ройтерштейн Д. М.

Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН, Москва, Россия  
daniil.bardonov@yandex.ru

Соединения РЗЭ находят применение в различных областях современной химической промышленности – от катализаторов полимеризации непредельных соединений до контрастных веществ для МРТ и люминесцентных материалов. Большинство РЗЭ способны к люминесценции за счет запрещенных по симметрии, а потому малоинтенсивных, f-f переходов. Одним из способов повышения интенсивности люминесценции РЗЭ является введение в координационную сферу металла органических лигандов, способных поглощать УФ-излучение, что обеспечивает не прямое возбуждение иона  $\text{Ln}^{3+}$ . Традиционно в качестве таких «антенн» используются N- и O-донорные лиганды, образующие  $\sigma$ -связи с ионом  $\text{Ln}^{3+}$ . Недавно было показано, что анионы фенилзамещенных циклопентадиенов могут служить в качестве  $\pi$ -связанных «антенн» [1]. Полифенилциклопентадиенильные комплексы РЗЭ зачастую образуют полиядерные структуры, что осложняет поиск корреляции между структурой и фотофизическими и каталитическими свойствами. Целью данной работы был синтез моноядерных полифенилциклопентадиенильных комплексов РЗЭ, не обремененных дополнительными внутримолекулярными взаимодействиями. Эта задача была успешно решена с помощью объемных хелатирующих N-донорных лигандов: бипиридина, фенантролина, 1,3,5-триметил-1,3,5-триазаациклогексана и 1,4,7-триметил-1,4,7-триазаациклононана.



Строение полученных соединений установлено методом рентгеноструктурного анализа, комплексы тербия и неодима демонстрируют люминесценцию в видимой и в ближней ИК-областях, соответственно. В работе рассмотрены синтез, молекулярное строение и фотофизические свойства моноядерных полифенилциклопентадиенильных комплексов РЗЭ, а также каталитическая активность комплексов неодима в олигомеризации этилена.

## Литература

1. D. M. Roitershtein et al., *Inorg. Chem.* 2018. Vol. 57. P. 10199.

# ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИТРИАЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ НОВЫХ АМФИФИЛЬНЫХ ННС-ПРОИЗВОДНЫХ КАЛИКС[4]АРЕНОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОКСИЭТИЛАЗИДНЫЕ/ПРОПАРГИЛЬНЫЕ ФРАГМЕНТЫ

Студент 4 курса **Богданов И. М.**

Руководитель: к.х.н., доцент Бурилов В. А.

*Казанский Федеральный Университет», Химический институт им. А. М. Бутлерова  
ilshat.bogdanov.2018@mail.ru*

В последние 20–30 лет N-гетероциклические карбеновые (ННС) лиганды получили широкую популярность в координационной и металлоорганической химии. В частности, комплексные соединения палладия с азотсодержащими гетероциклическими карбеновыми лигандами являются превосходными каталитическими системами в реакциях кросс-сочетания. Среди N-гетероциклических карбенов особого внимания заслуживают политопные лиганды, содержащие в своем составе более одного фрагмента ННС. Столь большой интерес к данным системам обусловлен повышенной устойчивостью образующихся комплексов за счет хелатного эффекта и возможностью регулирования стерических/электронных свойств лиганда. Частным случаем политопных ННС являются полимерные N-гетероциклические карбены, которые образуются сополимеризацией ННС-содержащего мономера. Такие системы одновременно сочетают в себе высокую каталитическую активность и селективность с возможностью их повторного использования.

Каликс[4]арены являются перспективными строительными блоками для создания подобных полимерных систем благодаря возможности модификации верхнего и нижнего ободов гидрофильными/гидрофобными заместителями. Наличие ННС фрагментов с азидными и алкинильными группами на макроциклической платформе позволяет получать методом клик-химии политриазольные частицы, которые образуют с палладием устойчивые каталитически активные системы.

В нашей работе разработана методика синтеза новых амфифильных оксиэтилированных ННС-производных каликс[4]аренов, содержащих азидные и алкинильные фрагменты в полярной части молекулы. На основе макроциклов путем их последовательной супрамолекулярной самосборки и ковалентного сшивания в условиях медь-катализируемой реакции азид-алкинового циклоприсоединения получены политриазольные частицы (рис.). Методом статистического рассеяния света было установлено, что в состав полимерного агрегата входят до шести единиц макроциклов.

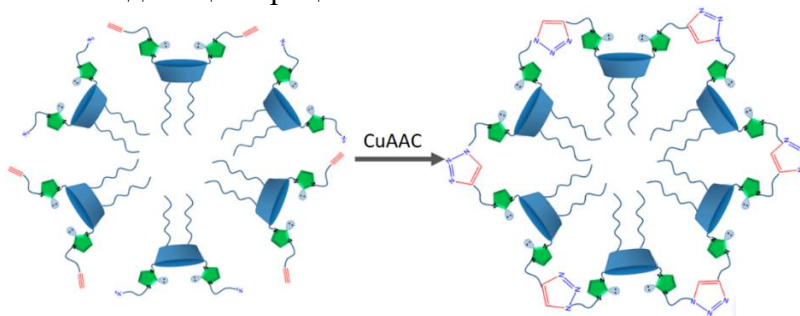


Рис. Получение полимерного ННС-носителя.

Было показано, что добавление ацетата палладия совместно с полученным полимерным агрегатом, приводит одновременно как к увеличению конверсии *p*-иоднитробензола, так и к снижению образования симметричного бифенила в модельной реакции кросс-сочетания Сузуки-Мияуры.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 21–73–10062*



## НЕОБЫЧНАЯ ДИМЕРИЗАЦИЯ 3-ДИАЗО-2-АРИЛИДЕНСУКЦИНИМИДОВ

Студентка 4 курса Вепрева А. С.

Руководитель проф., д.х.н. Дарьин Д. В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии  
nasya\_vepreva15@mail.ru

3-Диазо-2-арилиденсукцинимиды (ДАС) **1** представляют собой класс винил-замещенных диазочастиц, обладающий большим синтетическим потенциалом и уникальными химическими свойствами, обусловленными сближенным расположением арильного заместителя и диазогруппы. [1, 2]. При взаимодействии ДАС с кетонами [3] в некоторых случаях наряду с целевым продуктом реакции – 2-бензоксепином, наблюдалось образование необычного соединения типа **2**, получающегося при взаимодействии двух молекул ДАС.

Настоящая работа посвящена изучению этого интересного превращения. Димеризация ДАС протекает при их каталитическом разложении комплексом Rh(II). В большинстве случаев димеры **2** были получены в виде единственного диастереомера с высокими выходами для широкого круга ДАС (схема). В отдельных случаях реакция сопровождалась образованием побочного продукта – индена **3**. Полученные димеры **2** в настоящий момент проходят тестирование на антипролиферативную активность – способность останавливать рост раковых клеток.

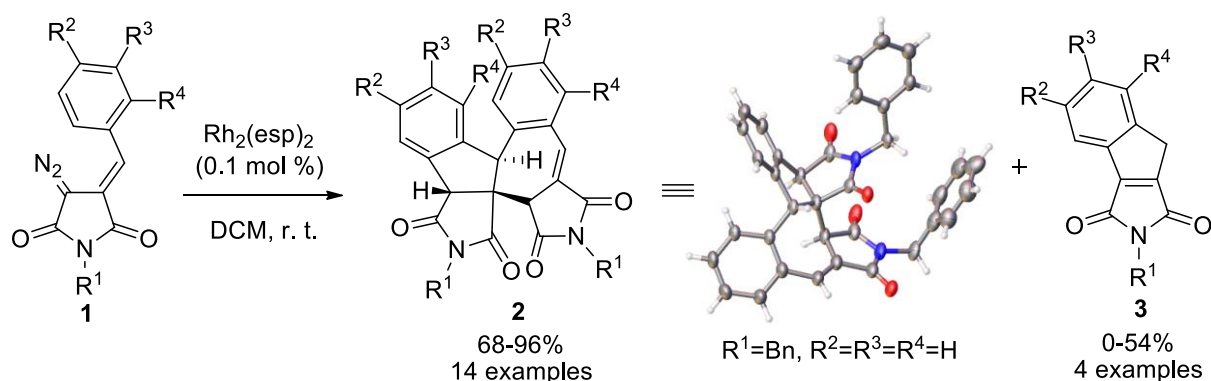


Схема. Димеризация 3-диазо-2-арилиденсукцинимидов.

### Литература

1. Inyutina A., Dar'in D., Kantin G. and Krasavin M.. *Org. Biomol. Chem.*, 2021, Vol. 19. P. 5068.
2. Inyutina A., Kantin G., Dar'in D. and Krasavin M.. *J. Org. Chem.* 2021, Vol. 86. N 19. P. 13673-13683.
3. Vepreva A., Kantin G., Krasavin M. and Dar'in D. *Synthesis*, 2022, published on-line, DOI: 10.1055/s-0037-1610790.

# СЭНДВИЧЕВЫЕ КОМПЛЕКСЫ (18-КРАУН-6)СТИЛЬБЕНА С АЛКАНДИАММОНИЙНЫМИ ИОНАМИ: ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И ФОТОХИМИЯ

Студент 4 курса **Ворожцов А.П.**

Руководитель к.х.н. **Мартьянов Т.П.**

*МГУ им. М.В.Ломоносова, Факультет фундаментальной физико-химической инженерии*

*Институт проблем химической физики РАН*

*artem2001qaz@gmail.com*

Реакции [2+2]-фотоциклоприсоединения (ФЦП) непредельных соединений широко используются в органическом синтезе [1], химии полимеров и прикладной физике [2]. Однако межмолекулярные реакции ФЦП в растворах часто протекают с низкой эффективностью из-за коротких времен жизни электронно-возбужденных состояний и приводят к образованию смесей изомерных циклобутанов. Эти проблемы могут быть решены благодаря использованию супрамолекулярных подходов, которые позволяют объединить молекулы непредельных соединений в пары с необходимыми взаимными ориентациями двойных связей.

В данной работе сближение двух молекул производного стильбена и их специфическая ориентация были достигнуты за счет самосборки молекул (18-краун-6)стильбена (*E*)-**1** в псевдосэндвичевые комплексы с ионами алкандиаммония  $^+H_3N(CH_2)_nNH_3^+$  ( $C_n$ ),  $n = 2-4$ .

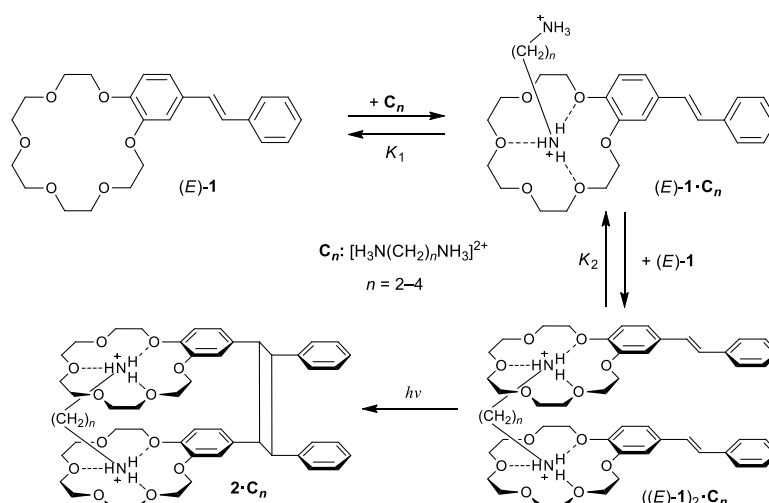


Схема. Комплексообразование (18-краун-6)стильбена с алкандиаммонийными ионами и последующая реакция ФЦП.

Была установлена зависимость констант устойчивости ( $K_1$  и  $K_2$ , схема) комплексов разной стехиометрии и квантового выхода реакции ФЦП, протекающей в псевдосэндвичевых комплексах ((E)-**1**) $_2$ · $C_n$ , от количества метиленовых звеньев в дикатионе.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-13-00020).*

## Литература

1. Bach T., Hehn J. *Angew. Chem., Int. Ed.* 2011, Vol. 50, P. 1000.
2. Wang Y., Liu Q., Lia J. *Polymer* 2019, Vol. 172, P. 187.

# СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОИЗВОДНЫХ ТИАЗОЛО[3,2-А]ПИРИМИДИНОВ И ТРИАЗОЛО[4,3-А]ПИРИМИДИНОВ

Студентка 4 курса Габитова Э.Р.

Руководители ассистент Агарков А.С., д.х.н. Соловьева С.Е.

Казанский Федеральный Университет, Химический институт им. А. М. Бутлерова

elina81100@gmail.com

Тиазоло[3,2-а]пиримидины и триазолопиримидины – перспективные структурные фрагменты для разработки лекарственных веществ, в том числе и противораковых препаратов. В молекуле тиазоло[3,2-а]пиримидина основным реакционным центром является метиленовая группа во втором положении тиазолидинового фрагмента, обладающая повышенным С-кислотными свойствами, что позволяет проводить реакции с различными электрофилами.

Работа посвящена синтезу, характеристике, изучению структуры и биологических свойств производных тиазоло[3,2-а]пиримидина и триазоло[4,3-а]пиримидина (см. рис.). 2-Фенилгидразоновые производные были получены реакцией тиазолопиримидиновых производных с фенилдиазоний хлоридом. 2-Арилметиленовые производные были получены из производных тиазоло[3,2-а]пиримидина путем взаимодействия с ароматическими альдегидами в присутствии каталитических количеств пирролидина. Производные триазоло[4,3-а]пиримидинов были получены восстановлением 2-арилгидразона тиазоло[3,2-а]пиримидинов с помощью восстановительной системы  $\text{NaBH}_4/\text{V}_2\text{O}_5/\text{EtOH}$ .

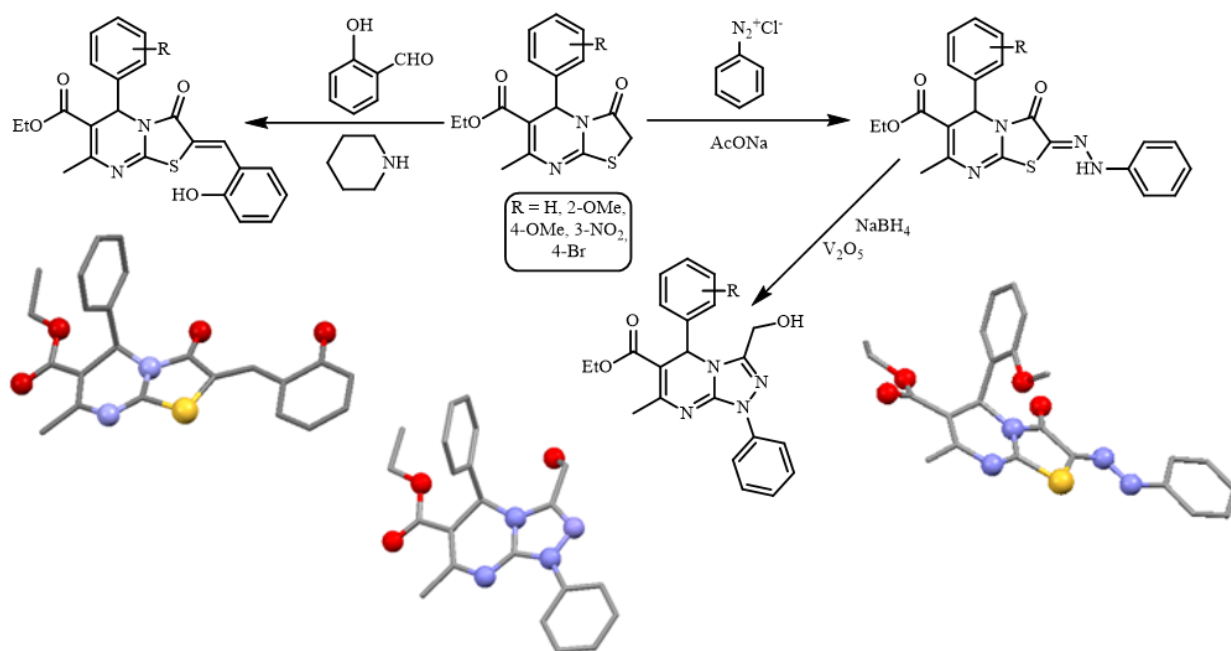


Рис. Общая стратегия синтеза

Строение полученных соединений подтверждено комплексом физико-химических методов (ИК, ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  спектроскопия, MALDI TOF масс-спектрометрии, PCA) анализа. Изучена цитотоксическая активность синтезированных соединений.

# РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К СИНТЕЗУ ДВУХПАЛУБНЫХ ГЕТЕРОЛЕПТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ИТТРИЯ(III) С ТЕТРА-15-КРАУН-5-ОКТАБУТОКСИОКСАНТРЕНОЦИАНОМ

Студентка 1 курса Гусева А.И.

Научный руководитель Сафонова Е.А.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева  
seaanastasia7@gmail.com

Целью данной работы является разработка подходов к синтезу двухпалубных гетеролептических комплексов иттрия с тетра-15-краун-5-октабуктоксиоксандреноцианом.

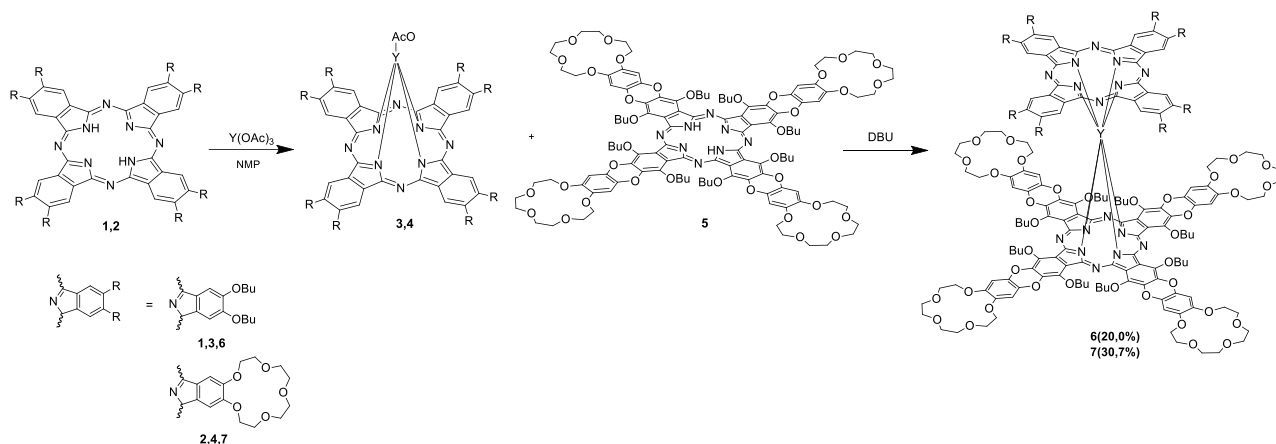


Схема синтеза двухпалубных гетеролептических комплексов Y(III) с тетра-15-краун-5-октабуктоксиоксандреноцианом.

Для получения целевых комплексов **6** и **7** нами был предложен двухстадийный метод синтеза (схема). На первом этапе были синтезированы монофталоцианинаты иттрия **3** и **4** с помощью реакции прямого металлизации соответствующих лигандов **1** и **2** ацетатом иттрия  $Y(OAc)_3$ . В качестве растворителя и одновременно основания выступал NMP. Полученные комплексы были использованы в дальнейшем без дополнительной очистки. На следующей стадии, полученные монозамещенные комплексы **3** и **4** вводились в реакцию с оксандреноцианином **5** в присутствии DBU. Целевые двухпалубные гетеролептические комплексы **6** и **7** выделялись методом колоночной хроматографии, выходы при этом составили 20,0% и 30,7% соответственно. Полученные соединения были охарактеризованы методами MALDI TOF масс-спектрометрии и электронной спектроскопии поглощения (ЭСП).

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №18-73-10174).

# НОВАЯ СТРАТЕГИЯ СБОРКИ ЭЛЕКТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ЦИКЛОГЕПТАТРИЕНОВ С ПОМОЩЬЮ КАСКАДНЫХ ПРОЦЕССОВ

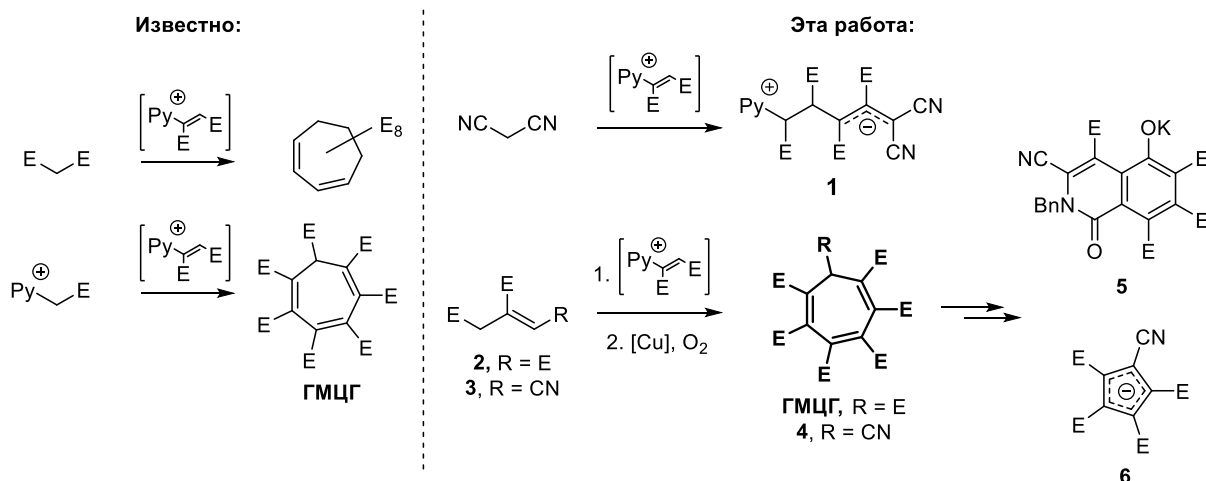
Студент 4 курса Ильющенко М.К.

Руководитель к.х.н. Саликов Р.Ф.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет  
motissyat@gmail.com

Гепта(метоксикарбонил)циклогептатриен, или ГМЦГ, демонстрирует уникальную реакционную способность, а также является предшественником самых разнообразных соединений. Нашей задачей стал поиск новой более универсальной стратегии синтеза циклогептатриенов с семью акцепторными группами.

Один из способов синтеза неперелых семичленных систем заключается в проведении каскадной реакции между различными СН-кислотами и генерируемым *in situ* 1,2-(метоксикарбонил)винилпиридинием. Проблема данного протокола заключается в чувствительности реакции к кислотности исходного субстрата. Например, наши попытки провести реакцию с малононитрилом закончились лишь выделением устойчивого цвиттер-ионного полупродукта **1**.



Переход к аллильным СН-кислотам позволил варьировать заместители в исходном субстрате с целью достижения оптимальной СН-кислотности. Нами был разработан двустадийный синтез целевых циклогептатриенов, комбинируя каскадную реакцию с соединениями **2** и **3** с последующим окислением солями меди в присутствии кислорода воздуха. В результате был получен новый электронодефицитный циклогептатриен **4**, а также разработан синтез ГМЦГ напрямую из соединения **2** без выделения промежуточного продукта с высоким выходом.

Данное исследование дополнено проведением спектрофотометрического титрования, в ходе которого были получены значения рКа для растворов в ДМСО, равные 7,4 и 5,1, для ГМЦГ и **4** соответственно. Также была изучена реакционная способность полученных соединений. Найдено, что анион **4**, также, как и ГМЦГ, способен образовывать замещенный изохинолон **5** в реакции с бензиламином, а промежуточный продукт каскадной реакции с нитрильной СН-кислотой **3** в основных условиях претерпевает ретро-[2+2]-циклоприсоединение с образованием циклопентаденильного аниона **6**.

# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МУЛЬТИКОМПОНЕНТНЫЙ СИНТЕЗ СПИРОЦИКЛОПРОПИЛПИРАЗОЛОНОВ

Студентка 3 курса Калашникова В.М.

Руководитель к.х.н. Рыжкова Ю.Е.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН

*p.varvara2001@gmail.com*

Циклопропильный фрагмент - важный структурный скаффолд во многих синтетических и природных соединениях, обладающих широким спектром биологической активности, включая фунгицидную, антибиотическую, противоопухолевую и противовирусную [1].

Функционально замещенные пиразолин-5-оны известны своей биомедицинской активностью. Так, например, различные типы 3-метил-2-пиразолин-5-онов или их таутомеры проявляют противосудорожные, антигипергликемические, нейролептические, противоопухолевые свойства [2]. Таким образом, спироциклопропилпиразолон представляет особый интерес для фармацевтической химии, поскольку в них присутствует спиро-сочлененный циклопропановый и пиразолин-5-оновый фрагменты.

В нашей работе было проведено исследование электрокаталитической реакции альдегидов **1a-m**, малонитрила и пиразолин-5-онов **2a,b** в замещенные спироциклопропилпиразолон **3a-o** в метаноле в бездиафрагменном электролизере (Схема).

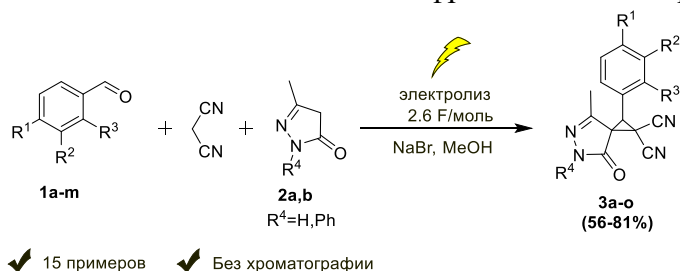


Схема. Электродаталитическая многокомпонентная сборка арилальдегидов **1a-m**, малонитрила и пиразолин-5-онов **2a,b**

Установлено, что электрокаталитическая многокомпонентная трансформация альдегидов **1**, малонитрила и пиразолин-5-онов **2** в метаноле в присутствии бромида натрия в качестве медиатора в бездиафрагменном электролизере приводит к образованию замещенных спироциклопропилпиразолонов **3** с выходом 56-81%.

В этом электрокаталитическом процессе используется простое оборудование и доступный медиатор - бромид натрия. Этот процесс не сложен в реализации, полученные соединения кристаллизуются непосредственно из реакционной смеси и выделение целевого вещества представляет собой простую фильтрацию. Таким образом, этот простой и эффективный электрокаталитический метод перспективен для использования в промышленности для получения биологически активных структур.

## Литература

1. Talele T. J. *Med. Chem.* 2016. Vol. 59. P. 8712.
2. Brackmann F., de Meijere A. *Chem. Rev.* 2007. Vol. 107. P. 4538.

# ФОТОРЕДОКС-КАТАЛИЗИРУЕМОЕ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЕ ТИОЛ-ИН-ЕН СОЧЕТАНИЕ

Студент 4 курса Кобелев А.Д.

Руководители: к.х.н. Буркина Ю.В., асп. 3 г/о Шлапаков Н.С.

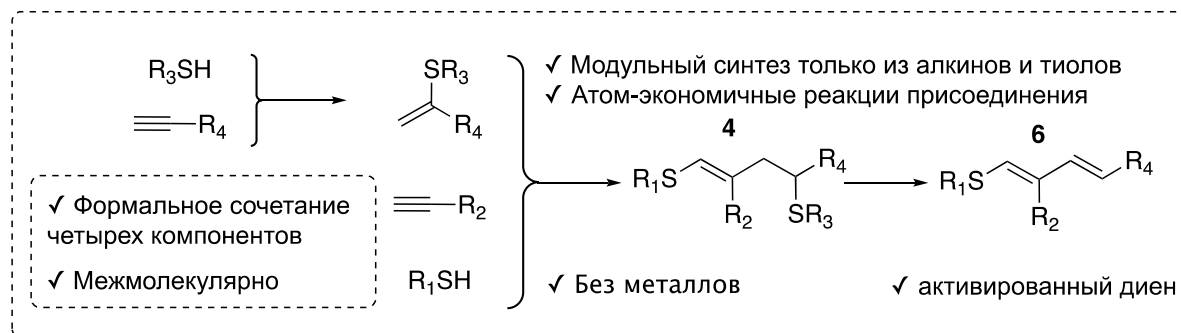
*МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет*

*Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН,*

*andrei.kobelev@chemistry.msu.ru*

Увеличение атом-экономичности реакций – одна из важнейших задач органической химии, решение которой позволяет уменьшать количество отходов; затрачиваемых временных и материальных ресурсов. Эффективным с такой точки зрения способом создания связи С-С являются реакции присоединения алкенов к алкинам (ин-ен реакции). Возможности металлокомплексного катализа позволяют осуществлять реакции такого типа с высокими выходами. Однако даже такие методики не лишены недостатков. Во-первых, для достижения значительной хемо- и региоселективности субстраты должны сильно отличаться по своим донорно-акцепторным свойствам. Во-вторых, использование металлов во многих промышленных процессах (например, в фармакологии) подразумевает стадии дополнительной очистки продукта от металлов. Фоторедокс-катализ позволяет проводить такие реакции без металлов, однако, проблема гомосочетаний в этой области также не решена. Изученные реакции позволяют проводить только внутримолекулярные ин-ен реакции.

В настоящей работе показана возможность проведения трехкомпонентной тиол-ин-ен реакции в фотокаталитических условиях без использования переходных металлов. Подавление нежелательных процессов переноса атома водорода и ап-конверсии электрона позволило получить тридцать восемь различных новых продуктов с выходами до 76%. Показана возможность дальнейшего использования полученных продуктов, а также предложен механизм тиол-ин-ен реакции на основе набора физико-химических экспериментов.



## Литература

1. Burykina J.V., Kobelev A.D. Shlapakov N.S. et al. *Angew. Chemie Int. Ed.* 2022, 202116888.
2. Gordeev E.G., Erokhin K.S., Kobelev A.D. et al. *Sci. Rep.* 2022. Vol. 12. N 1. P. 1–10.

# СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЕНЗИЛИДЕНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТИАЗОЛО[3,2-А]ПИРИМИДИН-2,3-ДИОНОВ

Студент 4 курса Кожихов А.А.

Научный руководитель профессор, д.х.н. Соловьёва С.Е.

Казанский Федеральный Университет, Химический институт им. А.М. Бутлерова.

andreykozhikhov2000@gmail.com

Гетероциклические соединения – очень важный класс органических соединений. К подобным структурам относятся производные тиазолопиримидинов, которые показали себя как вещества с потенциально полезными терапевтическими свойствами. Тиазолопиримидины являются одним из перспективных структурных фрагментов для разработки лекарственных веществ, в том числе и противораковых препаратов [1, 2].

Наша работа посвящена получению новых бензилиденовых производных тиазоло[3,2-а]пиримидинов, подробному изучению структуры полученных соединений, а также их взаимодействию с катионами d-металлов, такими как  $Fe^{3+}$  и  $Co^{2+}$ .

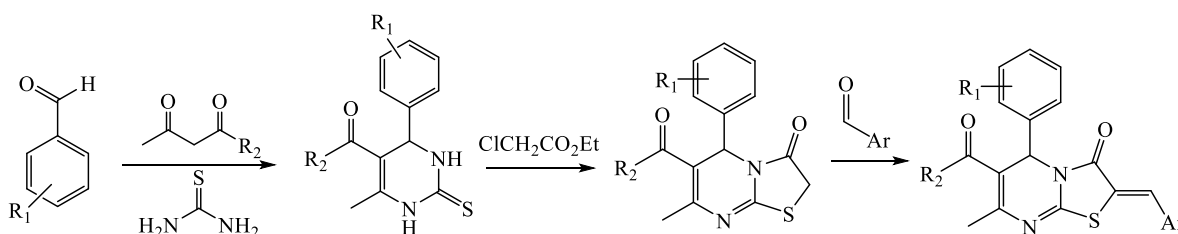


Рис. 1. Стратегия синтеза целевых производных тиазоло[3,2-а]пиримидинов.

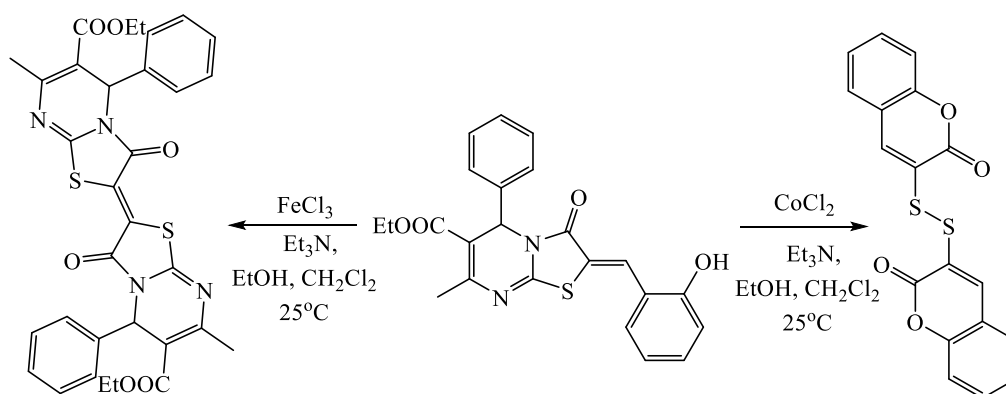


Рис. 2. Взаимодействие бензилиденовых производных тиазоло[3,2-а]пиримидин-2,3-дионов с катионами d-металлов.

## Литература

1. Lashmanova E.A., Agarkov A.S. Chem. Heterocycl. Comp., 2019. Vol. 55. P. 1217-1221.
2. Ragab F.A., Heiba H.I., Nissan Y.M., Ghorab W.M. Archives of Pharmacol Research. 2012. №35. P. 1335–1346.



# НАНОНОСИТЕЛЬ, ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЙ ПО ПОВЕРХНОСТИ МЕТИЛУРАЦИЛОВЫМИ И ВИОЛОГЕНОВЫМИ ФРАГМЕНТАМИ ДЛЯ ВЕКТОРНОЙ ДОСТАВКИ ДОКСОРУБИЦИНА

Студентка 4 курса Мансурова Э.Э.

Научный руководитель к.х.н. Зиганшина А. Ю.

Казанский Федеральный Университет, Химический институт им. А.М. Бутлерова,

Одним из активно развивающихся направлений современной химии является создание и исследование наносистем, которые могут быть использованы в качестве переносчиков лекарств в поврежденные клетки и ткани организма [1]. Адресная доставка химиотерапевтического агента может быть достигнута за счет включения в структуру наноносителя фрагментов, нацеленных на рецепторы раковых клеток, а также чувствительных к изменениям в биологической среде опухолей [2]. Многофункциональные наноразмерные частицы с контролируемым освобождением способны избирательно распознавать пораженные клетки и, таким образом, повышать безопасность, фармакологические свойства и биодоступность вводимых лекарств.

Цель нашей работы – создание полимерного редокс-управляемого наноконтейнера, способного удерживать во внутренней полости доксорубицин. Методом предорганизации амфифильного кавитанда в трехмерную структуру с последующей сшивкой ее стимул-чувствительными мостиками был получен наноноситель, функционализированный по поверхности метилурацилвиологеновыми фрагментами. Предыдущие исследования показали, что наноносители с виологеновыми фрагментами облегчают проникновение препаратов в клетку вследствие взаимодействия с рецепторами на поверхности клеток. Введение на поверхность носителя производного урацила способствует его большей биодоступности и снижению влияния токсичных фрагментов.

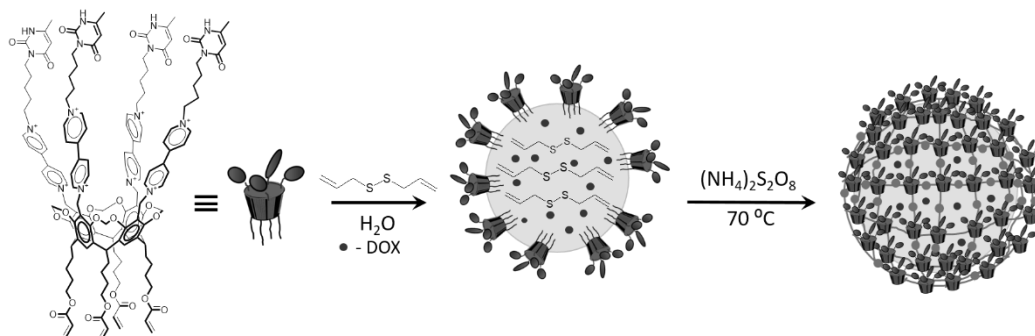


Схема синтеза полимерного наноносителя на основе метилурацилвиологен кавитанда.

Работа выполнена за счет субсидии, выделенной КФУ для выполнения государственного задания (№ 0671-2020-0063).

## Литература

1. Patra J.K., *Nanobiotechnol.* 2018. Vol. 16. P. 71.
- 2.. Montané X, *Molecules.* 2020. Vol. 25. P. 1605.

# ПОЛУЧЕНИЕ ГИБРИДНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КАТИОННОГО ПОРФИРИНА И СИЛИКАГЕЛЯ

Студент 2 курса Никулин В.О.

Руководитель к.х.н. Бирин К.П.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

vonikulin@edu.hse.ru

Иммобилизация порфиринов на неорганических подложках позволяет получать каталитически активные гибридные материалы, использование которых упрощает регенерацию катализатора из реакционной массы. Целью данной работы была разработка подхода к получению имидазопорфирината никеля(II) и модельного гибридного материала на его основе.

Нуклеофильное аминирование порфирина **1** позволило получить 2-амино-3-нитропорфирин **2**. Порфириновый комплекс **4** (Схема) был получен с использованием разработанного в нашей лаборатории метода синтеза имидазопорфиринов путем конденсации ароматических альдегидов и  $\beta,\beta'$ -диаминопорфиринов [1,2], получаемых восстановлением 2-амино-3-нитропроизводных. Введение соединения **5**, продукта тозилрования вещества **4**, в реакцию с триэтиламино дало целевой катионный порфирин **6**. Добавление коммерчески доступного хроматографического силикагеля к раствору **6** в дихлорметане при комнатной температуре привело к образованию целевого гибридного материала, содержащего 13 масс.% порфирина и стабильного в дихлорметане. Сравнение данных ЭСП порфирина **6** и спектра диффузного отражения полученного гибридного материала выявило наличие близких наборов полос поглощения, соответствующих порфирину **6**, что свидетельствует о сохранении макроцикла порфирина при иммобилизации. Термогравиметрический анализ показал, что материал термически стабилен до температуры около 170°C.

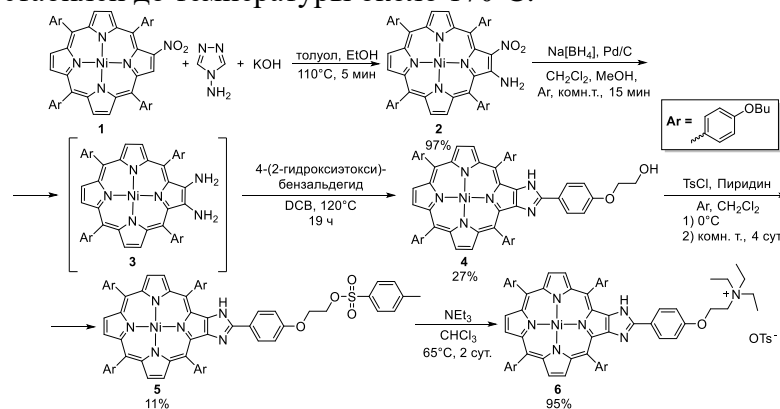


Схема. Получение порфирината никеля(II) **6**, содержащего аммонийную якорную группу.

Таким образом, был разработан удобный метод иммобилизации порфирина на поверхности силикагеля, эффективность и простота которого указывают на его перспективность для получения новых гибридных материалов. Были также изучены особенности синтеза порфиринов, имеющих периферийную аммонийную группу.

## Литература

1. Birin K.P., Poddubnaya A.I., Abdulaeva I.A. et al., Dye. Pigment. 2018. Vol. 156, P. 243.
2. Abdulaeva I.A., Birin K.P., Polivanovskaia D.A. et al., RSC Adv. 2020, Vol. 10, 42388.

# СИНТЕЗ И КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ИНДЕНИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РОДИЯ

Студент 4 курса Харитонов В.Б.

Руководитель д.х.н. Логинов Д.А.

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева

kharitonov55@yandex.ru

В настоящее время, комплексы родия широко распространены в гомогенном катализе. Большинство из этих катализаторов содержат в своей структуре циклопентаденильный фрагмент или изолиобальный ему лиганд, выполняющий стабилизирующую функцию в ходе каталитического цикла [1,2]. Варьирование заместителей в стабилизирующем лиганде и самого стабилизирующего лиганда открывает широкие возможности для тонкой настройки каталитических систем под интересующий процесс, позволяет открывать новые пути протекания уже известных каталитических реакций, а также увеличивать их эффективность и селективность [3].

Инденил-анион – ароматическая анионная система, изолиобальная циклопентаденильной. Согласно исследованиям [4], наличие инденильного лиганда способствует увеличению химической активности его комплексов. На первой стадии исследования нами была синтезирована серия родиевых комплексов на основе незамещённого инденил-аниона. Для полученных соединений была изучена каталитическая активность в реакциях С-Н активации и реакции восстановительного аминирования [5] (Схема 1а). В результате исследования были сделаны выводы о необходимости модификации структуры инденильного лиганда. Второй этап исследования включал в себя модификацию инденильного лиганда и синтез комплексов родия на его основе. Результаты каталитических испытаний показали, что наша модификация позволила существенно увеличить эффективность катализатора и расширить круг катализируемых им реакций [6] (Схема 1б).

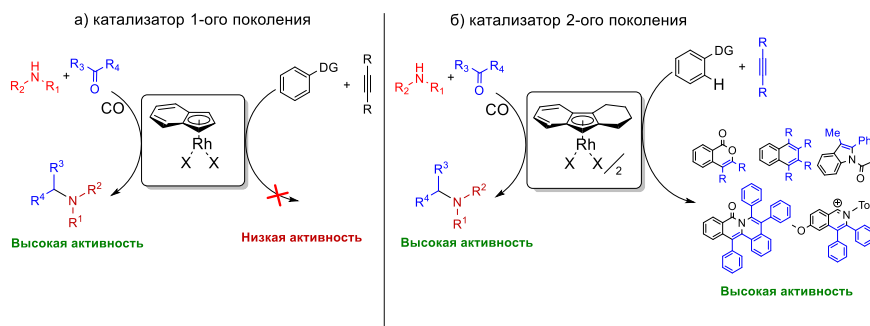


Схема. Каталитическая активность инденильных комплексов родия.

## Литература

1. Molotkov A P., Arsenov M.A., Kapustin D.A. et al. Chem Plus Chem. 2020. Vol. 85. P. 334.
2. Arsenov M. A., Loginov D. A. // INEOS OPEN, 2021, Vol. 4. P. 133.
3. Kharitonov V.B., Muratov D.V., Nelyubina Y.V., Loginov D.A Synthesis, DOI:10.1055/s-0041-1737342
4. Hart-Davis A J., Mawby, R. J. J. Chem. Soc. A 1969, 0, 2403
5. Runikhina S.A., Arsenov M.A., Kharitonov V.B. et al. JOMC, 2018, Vol. 867, p.106.
6. Kharitonov V.B., Runikhina S.A., Nelyubina Y.V. et al, Chem. Eur. J., 2021. Vol. 27. 10903

# β-ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ МАКРОЦИКЛА ПОРФИРИНА КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ТИПОВ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ

Студентка 3 курса Шремзер Е.С.

Руководитель к.х.н. Бирин К.П.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

esshremzer@edu.hse.ru

Порфирины являются хорошими фотосенсибилизаторами, поэтому они используются в процессах генерации синглетного кислорода и находят применение в медицине, катализе и материаловедении. Возможность модификации молекулы порфирина позволяет управлять ее физико-химическими свойствами. Один из способов функционализации состоит в расширении ароматической системы с сохранением стабильности полученных соединений. Это может быть достигнуто через сочетание порфиринов с различными гетероциклическими соединениями, которое позволяет получить широкий ряд различных типов конденсированных систем.

Для получения гетероцикл-аннелированных порфиринов был использован ранее разработанный подход, предполагающий восстановление 2-нитро-3-аминопорфирина **1a** до 2,3-диаминопорфирина **2a** и его последующая конденсация с α-диоами [1]. На основании данного подхода был получен ряд новых пиазинопорфиринов с расширенной ароматической системой (Схема).

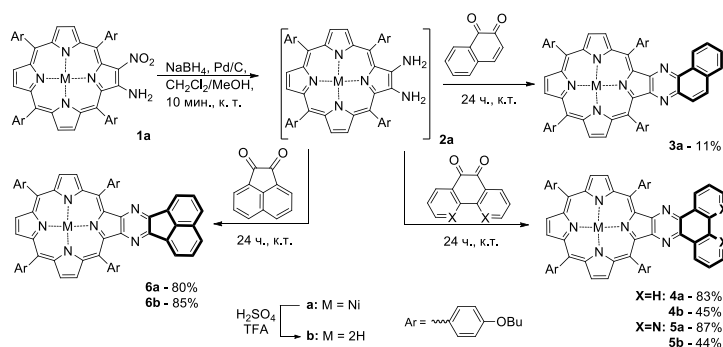


Схема. Синтез пиазин-аннелированных порфиринов и их металлокомплексов.

Было изучено влияние модификации макроцикла порфирина путем расширения ароматической системы на спектры поглощения, в частности на смещение длин волн. Выявлено, что для пиазин-аннелированных порфиринов **3a-6a** по мере увеличения количества бензольных колец в аннелированном фрагменте наблюдается батохромный сдвиг основных полос поглощения.

Анализ каталитической активности полученных свободных фотоактивных порфиринов **4a-6a** в реакции окисления тиоанизола показал, что эти катализаторы проявляют высокую активность при крайне малой загрузке – 10<sup>-3</sup> моль%, обеспечивая конверсию субстрата 42-100%. Также наблюдается высокая селективность катализаторов с преимущественным образованием целевого продукта – сульфоксида.

## Литература

1. Birin K.P. et al., Dye. Pigment. 2018.Vol. 156. P. 243–249.

Номинация 1 «Исследования по химии»

Секция «Химия полимеров и коллоидных систем»

# ОСОБЕННОСТИ ТРАВЛЕНИЯ И МОДИФИКАЦИИ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН 3-АМИНОПРОПИЛТРИЭТОКСИСИЛАНОМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИОСЕНСОРОВ

Студент 3 курса Гринь К.Н.

Руководитель к.т.н. Фадейкина И.Н.

Государственный университет «Дубна»

Объединенный институт ядерных исследований

grinkostya@mail.ru

Трековые мембраны (ТМ) – особый вид полимерных материалов, обладающих уникальными фильтрующими свойствами. Высокомолекулярная структура этих материалов позволяет их модифицировать. На поверхность ТМ можно осаждать наночастицы, их можно модифицировать праймерами с последующей иммобилизацией антител и других веществ для биологического анализа в различных средах.

В нашей работе исследовано травление полиэтилентерефталатных пленок (ПЭТФ) в растворе гамма-аминопропилтриэтоксисилана (АПТЭС) с последующим сшиванием с ПЭТФ подложкой. В работе использованы методы сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и ИК-спектроскопии.

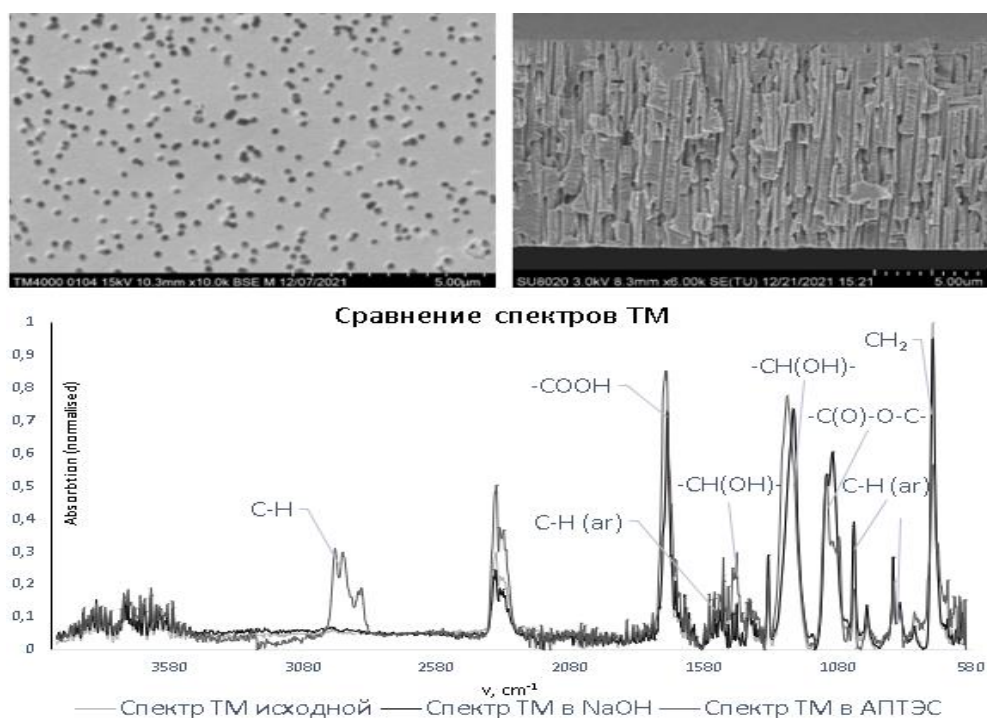


Рис. Снимки СЭМ ТМ и скола ТМ (вверху), ИК-спектры ТМ в разных условиях травления (внизу)

Из снимков СЭМ следует, что изменение диаметра пор происходит при травлении в щелочном растворе, а не в результате действия АПТЭС. Методами РФЭС и ИКС показано, что АПТЭС не сшивается с поверхностью ПЭТФ, вследствие отсутствия характеристических полос поглощения для Si и групп Si-O, Si-C на ИК-спектрах.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛИГНИНА ДВУДОЛЬНЫХ ТРАВ МЕТОДАМИ ДВУМЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ЯМР

Студент 4 курса Гришанович И.А.

Руководитель к.х.н Фалёва А.В.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

Grilandr@gmail.com

Лигнин – это структурный компонент травянистых и древесных растений, образующийся путем полимеризации кониферилового, синапового и *n*-кумарового спиртов [1]. Он рассматривается как возобновляемое сырье для получения ценных ароматических низкомолекулярных соединений. Однако ввиду сложности структуры он до сих пор не полностью изучен. Наиболее детально исследованы лигнины древесных пород и лигнины соломы злаков, в то время как лигнины двудольных трав изучены недостаточно.

Наиболее перспективным в исследовании структуры лигнина на сегодняшний день является метод спектроскопии ЯМР. Преимущества этого метода по сравнению с другими спектроскопическими методами заключается в том, что он обладает гораздо более высоким разрешением, благодаря которому возникает возможность получать больший объем информации и соответственно более точно определить химическую структуру лигнина [2].

В данной работе с помощью методов двумерной спектроскопии ЯМР получены новые фундаментальные знания о химической структуре лигнинов двудольных трав на примере препаратов диоксанлигнина, выделенных из стеблей кипрея, крапивы и борщевика. Установлено, что все исследуемые лигнины относятся к классу SGH-лигнинов и преимущественно содержат фрагменты β-арилового эфира, за которыми (на основании количественной оценки) следуют структуры резинола и в меньшем количестве фенилкумарана. Однако они имеют ряд особенностей. В частности, следует отметить, что не все из исследуемых нами лигнинов двудольных трав, а только ДЛ крапивы характеризуется наличием *n*-кумаровой кислоты – характерный структурный фрагмент лигнина трав. В свою очередь, согласно полученным спектральным данным препараты ДЛ борщевика и кипрея содержат в своем составе незначительное количество фрагментов дибензодиоксицина, что в совокупности с отсутствием *n*-кумаровой кислоты делает их схожими с лигнином древесных растений.

Научная новизна полученных результатов состоит в получении новых фундаментальных знаний об особенностях химической структуры малоизученных лигнинов двудольных травянистых растений, которые имеют большое значение для развития теоретических основ структурной организации природных лигнинов различного биологического происхождения. Кроме того, полученные результаты показывают, что лигнины двудольных трав также, как и лигнины соломы злаков могут служить источником ценных ароматических соединений.

## Литература

1. Heitner C., Dimmel D., Schmidt J. (ed.), Lignin and lignans: advances in chemistry, CRC press. 2016, 683 p.
2. Wen J.L., Sun S.L., Xue B.L et al., Materials. 2013, Vol. 1. P. 359.

# ИНКАПСУЛЯЦИЯ ФОСФОРЕСЦЕНТНОГО КОМПЛЕКСА ПЛАТИНЫ(II) В ПОЛИМЕРНЫЕ МИЦЕЛЛЫ: НОВЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ОПТИЧЕСКИХ ИК-СЕНСОРОВ НА КИСЛОРОД

Студентка 2 курса Жарская Н.А.

Руководители к.х.н. Соломатина А.И., к.х.н. Челушкин П.С.

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии  
st087745@student.spbu.ru

В настоящее время информативными инструментами в биомедицинских исследованиях становятся наноразмерные биосенсоры кислорода, поскольку они предоставляют возможность количественного картирования кислорода как *in vitro*, так и *in vivo* [1]. Для биовизуализации тканей необходимы водорастворимые люминофоры, излучающие в красной и ближней инфракрасной области спектра (оптимальный диапазон 600–900 нм, так называемое «окно прозрачности» тканей), интенсивность и время жизни люминесценции которых чувствительны к молекулярному кислороду.

Перспективными кандидатами для биоимиджинга являются циклометаллированные комплексы платины(II) – металлоорганические соединения, включающие хелатирующие лиганды, которые образуют по меньшей мере одну ковалентную связь углерод-металл [2]. Эти соединения проявляют эффективную фосфоресценцию и чувствительность к молекулярному кислороду. Также привлекательна их способность к  $\pi$ -стекингу при концентрировании – образованию самосборных структур благодаря их плоской геометрии, допускающей эффективные межмолекулярные нековалентные взаимодействия. Такие взаимодействия приводят к изменению характера излучательного возбужденного состояния с красным смещением фотоэмиссии и другим интересным фотофизическим свойствам. Эффективную растворимость и концентрирование платиновых комплексов, а также защиту от нежелательных контактов с биомолекулами можно обеспечить их инкапсуляцией в мицеллы блок-сополимеров, способных к селективному концентрированию и солубилизации в ядре малорастворимых молекул.

Здесь мы сообщаем о синтезе и фотофизических свойствах полимерных мицелл, загруженных  $C^*N^*N^*C$ -циклометаллированным плоско-квадратным комплексом платины(II). Полученные водорастворимые полимерные мицеллы, люминесцирующие в ближней ИК области на 700–900 нм, были охарактеризованы методом динамического светорассеяния, а также были изучены спектры поглощения, излучения и возбуждения, квантовые выходы и времена жизни возбужденного состояния их водных дисперсий. Фотофизические свойства мицелл зависят от присутствия молекулярного кислорода: квантовый выход при дегазации водного раствора возрастает в 2 раза. Таким образом, полученные мицеллы являются перспективными объектами для дальнейшего использования в качестве сенсоров на молекулярный кислород в биологических объектах.

Работа поддержана грантами РФФ №19-73-20055 и РФФИ + МОСТ №20-53-S52001. Авторы благодарны Научному парку СПбГУ.

## Литература

1. Papkovsky D.B. and Dmitriev R.I., Chem. Soc. Rev. 2013. Vol. 42. N 22. P. 8700.
2. Aliprandi A., Genovese D., Mauro M., De Cola L., Chem. Lett. 2015, Vol. 44.N 9. P.1152.



## ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА В ПРИСУТСТВИИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Студентка 2 курса Каракчиева А.О.

Руководитель к.ф.-м.н. Карпушкин Е.А.

МГУ им. М.В.Ломоносова, Химический факультет

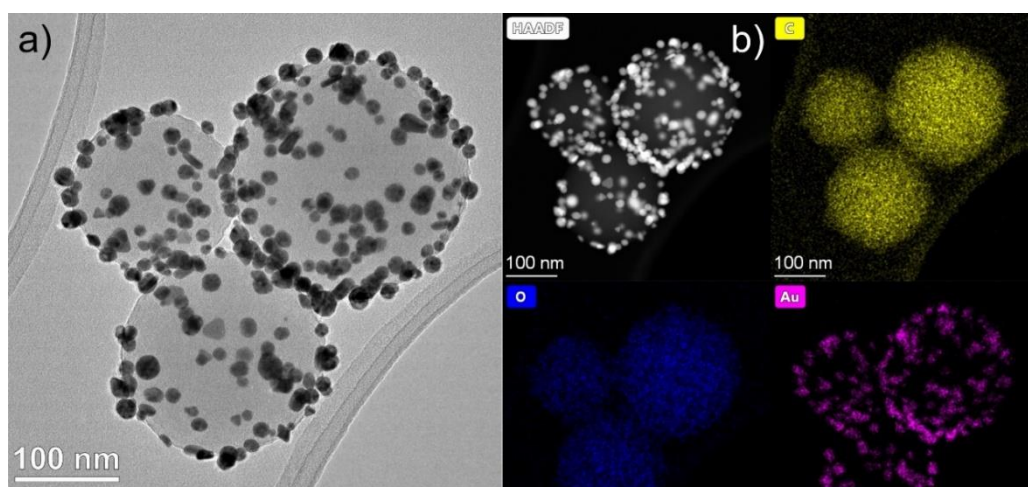
*karakchievaa21@gmail.com*

Наночастицы золота широко применяются в катализе и при создании биосенсоров благодаря уникальным физико-химическим свойствам. Недавно была продемонстрирована возможность синтеза наночастиц золота в присутствии углеродных наноточек (наночастиц, состоящих из углеродного ядра, и содержащих различные функциональные группы на поверхности), однако механизм этого процесса и роль в нём углеродных наночастиц пока остаются малоизученными.

Мы синтезировали углеродные наночастицы гидротермальной обработкой органических прекурсоров – аскорбиновой кислоты, глюкозы и гидрохлорида глюкозамина – и охарактеризовали их методами колебательной и электронной спектроскопии поглощения, а также динамического светорассеяния и флуориметрии. Водные дисперсии полученных углеродных наночастиц при взаимодействии с  $\text{HAuCl}_4$  в течение нескольких минут приобретали характерную красно-фиолетовую окраску, свидетельствующую об образовании наночастиц золота.

Увеличение содержания углеродных наночастиц в реакционной смеси приводит к уменьшению размера наночастиц золота, образующихся в результате восстановления, а также повышает устойчивость композитных частиц против седиментации. Полученный образец по данным ПЭМ содержал многочисленные С,О-содержащие наночастицы размером до 100 нм, несущие на поверхности множество наночастиц золота размером около 10 нм (см. рис.).

Следует отметить, что исходная глюкоза в тех же условиях не восстанавливает  $\text{HAuCl}_4$ , то есть восстановительные свойства углеродных наночастиц, полученных термоллизом глюкозы, связаны с присутствием функциональных групп, образующихся в результате термолиза. Кроме того, было доказано, что побочные низкомолекулярные продукты гидротермального синтеза не проявляют восстановительных свойств по отношению к золоту(III).



## СИНТЕЗ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦ В ЛИПОСОМАХ

Студентка 2 курса Лившиц С.О.

Руководитель к.х.н. Заборова О.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет

s.livshitz05@gmail.com

Наночастицы меди и других металлов, таких как золото и серебро, могут быть использованы в биомедицинских целях для доставки лекарств и диагностики. Медные наночастицы также обладают антибактериальными свойствами. Известны разные способы получения металлических наночастиц, и самыми распространенными являются восстановление в растворах и электрохимический метод. Вне зависимости от того, какой метод был выбран, полученные наночастицы необходимо стабилизировать, чтобы не допустить седиментацию и агрегацию. Также необходимо предотвратить окисление наночастиц меди.

Один из способов стабилизации медных наночастиц – это включение их в липосомы – липидные бислойные везикулы. Существуют два подхода, позволяющие включить наночастицы в липосомы. Можно добавить к липосомам заранее полученные наночастицы; однако у этого метода есть ряд недостатков. Во-первых, раствор необходимо очистить от пустых липосом и от свободных наночастиц, во-вторых, крупные наночастицы могут разрушить липидный бислой. Второй подход заключается в получении металлических наночастиц сразу во внутренней полости липосом.

В нашей работе изучалось образование наночастиц меди в липосомах. Для этого к раствору  $\text{CuSO}_4$  добавили различные восстановители (гидразин и цитрат натрия). Образование наночастиц меди было зафиксировано методом спектрофотометрии и методом дифракции электронов, полученной на просвечивающем электронном микроскопе.

*Работа была выполнена при поддержке гранта РФФ 21-73-20144*

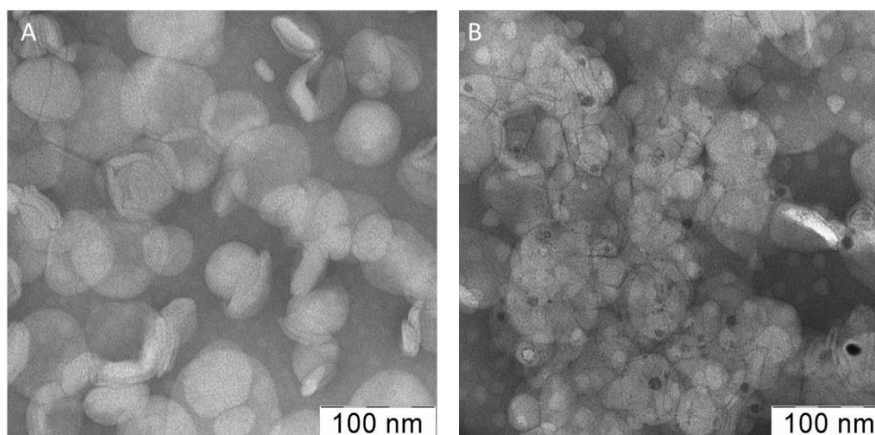


Рис. Микрофотографии ПЭМ липосом, заполненных раствором сульфата меди до (А) и после (В) добавления восстановителя

### Литература

1. Vargas K.M., Shon Y.-S. J. Mater. Chem. B, 2019. Vol. 7. P. 695–708.
2. Lee J-H., Shin Y., Lee W. et al, Sci. Adv. 2016. Vol. 2, e1601838

Номинация 2 «Исследования и разработки по химической технологии»

Секция «Общая химическая технология, основной органический и нефтехимический синтез»

# ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВЫХОД ФРАКЦИЙ С ТЕМПЕРАТУРОЙ КИПЕНИЯ ДО 400°С

Студент 1 курса магистратуры Андронов К.С.

Руководитель д.т.н. Пешнев Б.В.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА  
kostya.andronov.88@mail.ru*

На сегодняшний день особый интерес в нефтеперерабатывающей промышленности вызывают способы снижения углеродного следа. Этого можно достигнуть при помощи увеличения глубины переработки нефти (ГПН). Одним из перспективных способов увеличения ГПН являются кавитационные технологии.

В последние годы проведено много исследований, направленных на изучение явления кавитации. Было обнаружено, что кавитационная обработка нефтепродуктов изменяет их свойства. Важнейшие изменения связаны с уменьшением температуры кипения, снижением вязкости и увеличением выхода лёгких фракций [1,2].

Однако не было проведено работ с целью обобщения экспериментальных результатов при помощи выявления связи между выходом лёгких фракций и физико-химическими характеристиками исходного сырья. Другой проблемой является отсутствие данных о том, какое из условий проведения кавитационного воздействия (давление или число циклов) больше влияет на повышение выхода фракций Тнк-400°С.

Таким образом, цели данной работы:

- 1) Поиск взаимосвязи между физико-химическими характеристиками сырья и выходом целевых фракций при помощи математической модели;
- 2) Сравнительный анализ влияния условий проведения кавитационной обработки на выход целевых фракций.

Проведённый анализ показал, что при повышении градиента давления, возникающего в диффузоре, линейно увеличивается выход фракций Тнк-400°С. Зависимость выхода от количества циклов обработки описывается моделью роста с насыщением.

При помощи математического моделирования, было предложено уравнение, которое описывает влияние условий обработки на выход целевых фракций (при проведении более 6 циклов воздействия):

$$R = 0,25 \times p + 0,85 \times R_0 + 7,4,$$

где R – выход целевых фракций после обработки, p – создаваемое давление, R<sub>0</sub> – выход лёгких фракций до обработки.

Применение предложенного уравнения позволяет предварительно оценить какой выход целевых фракций может быть достигнут после кавитационного воздействия при различном давлении, создаваемом в диффузоре.

После расчёта энергозатрат и их сопоставления было выявлено, что для достижения большего выхода фракций Тнк-400°С эффективнее повышать давление обработки, чем увеличивать количество циклов воздействия на нефтепродукт.

## Литература

1. Askarin M., Vatani A., Edalat M, J. of Petroleum Sci. and Eng., 2017. Vol. 151. P. 55.
2. Промтов М.А., Вестник ТГТУ. 2017. Том 23. № 3. С. 412.

# ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ 4,4-ДИМЕТИЛ-1,3-ДИОКСАНА ПО ПРИНСУ В ПРИСУТСТВИИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Магистрант 1 года Исмагилов Р.Р.  
Руководитель доцент Тухватшин В.С.

Б  
*hero201371a@gmail.com*

и

Основным промышленным способом получения изопрена-мономера является «диоксанный» метод, основанный на термодинамическом разложении 4,4-диметил-1,3-диоксана (ДМД). В свою очередь, ДМД на первой стадии получают конденсацией изобутилена или *трет*-бутанола с водным формальдегидом в присутствии фосфорной кислоты [1].

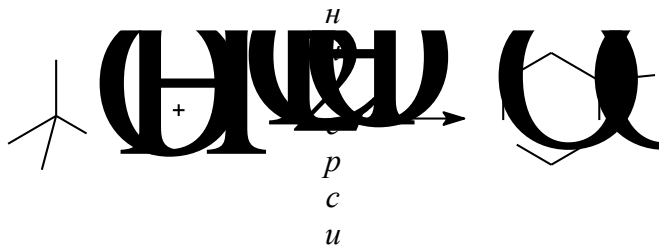
Значительным недостатком указанного метода получения изопрена является невысокая селективность процесса, обусловленная образованием на первой стадии до 30 % по массе побочных продуктов (пираны, диолы-1,3 и т. д.).

Ранее было показано, что пористые материалы способны селективно стабилизировать переходное состояние реакции образования 1,3-диоксанов и, как следствие, избирательно катализировать реакцию их образования [2].

Целью представленной работы является линейная оптимизация параметров получения 4,4-диметил-1,3-диоксана при конденсации формальдегида с изобутиленом в присутствии углеродсодержащих пористых материалов.

Нами показано влияние времени реакции, температуры, соотношения реагентов, содержания фосфорной кислоты и углеродсодержащего пористого материала – углеродных нанотрубок и стеклоуглерода [3] – на селективность и выход целевого ДМД. По каждому из параметров были составлены таблицы «оптимизируемый параметр – выход (избирательность) ДМД» (остальные параметры при этом оставались неизменными). Далее по экстремуму зависимостей устанавливали оптимальное значение каждого из параметров.

В результате проведенных исследований установлено, что при использовании углеродсодержащих пористых материалов оптимальными параметрами проведения реакции водного формальдегида с изобутиленом в присутствии фосфорной кислоты являются следующие: время реакции (150-180 мин), температура реакции (75-80°C), содержание фосфорной кислоты (5-7% масс.) и пористого материала (5-6 % масс.), соотношение реагентов указанных условиях селективность образования ДМД достигает 97-99%.



## Литература

- Платэ Н.А., Сливинский Е.В., Основы химии и технологии мономеров. 2002, М: Наука.
- Kupova O.Y., Vakulin I.V., Talipov R.F., Computational and Theoretical Chemistry, 2013. 1013, 57.
- Крайкин В.А., Егоров А.Е., Салазкин С.Н., Пластические массы, 2008. № 4. С.17.

# РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ МЕТИЛЭТИЛКЕТОНА НА ОСНОВЕ ДОСТУПНОГО НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Студентка 5 курса Кабанова В.С.

Руководители профессор Курганова Е.А., доцент Фролов А.С.

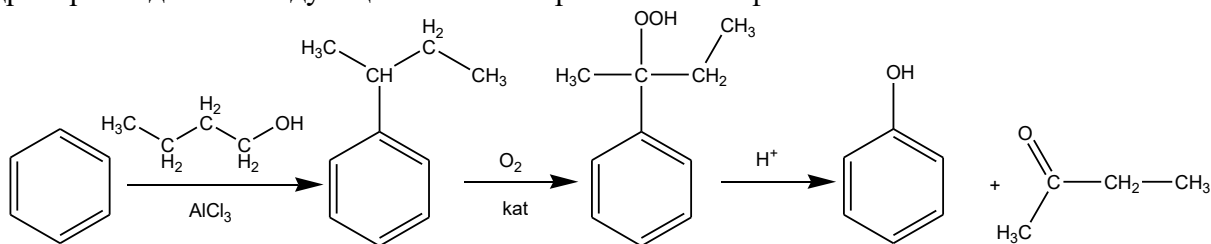
Ярославский государственный технический университет

viktoriya.kabanova.1999@mail.ru

Метилэтилкетон (МЭК) является коммерчески важным продуктом органического и нефтехимического синтеза; находит широкое применение в качестве растворителя при производстве лакокрасочных материалов и покрытий, клея, магнитных лент; совместно со спиртом МЭК используется для получения антисептиков и лосьонов [1, 2].

Реализованные в промышленности технологии синтеза МЭК [3, 4] заключаются в получении на основе бутиленовых фракций *втор*-бутилового спирта, который подвергается дегидрированию или окислению. Данные методы имеют существенные недостатки: использование дорогостоящих и низкостабильных катализаторов, проведение процесса в жестких условиях (температура 550 °С) и невысокая селективность (выход МЭК составляет не более 80 %). В связи с этим актуальной задачей является разработка эффективного метода получения метилэтилкетона.

В работе предложен способ получения МЭК, включающий три стадии: алкилирование бензола *n*-бутиловым спиртом с образованием *втор*-бутилбензола, его окисление до гидропероксида и последующее кислотное разложение в фенол и метилэтилкетон:



Алкилированием бензола *n*-бутиловым спиртом в присутствии серной кислоты при полной конверсии спирта был получен *втор*-бутилбензол. Найдены условия, позволяющие получать *в*-ББ с выходом 96,7 % масс. Исследованы закономерности жидкофазного окисления *в*-ББ до гидропероксида в присутствии фталимидных катализаторов. Установлено, что проведение процесса при температуре 150 °С и в присутствии *N*-гидроксифталимида позволяет получить ГП *в*-ББ с выходом 39,8 % масс. Исследован процесс кислотного разложения ГП *в*-ББ в фенол и МЭК.

Структура синтезированного соединения подтверждена методами ГЖХ, ИК- и ЯМР  $^1\text{H}$ -спектроскопии.

## Литература

1. Пат. РФ 2230612. Катализатор и способ получения метилэтилкетона: заявл. 19.08.2004; опубл. 10.05.2006;
2. Адельсон С.В., Вишнякова Т.П., Паушкин Я.М.. Технология нефтехимического синтеза: учебник для вузов – М.: Химия, 1985 г. – 608 с;
3. Пат. РФ 2243818. Катализатор и способ получения метилэтилкетона: заявл. 31.03.2003; опубл. 10.01.2005;
4. Пат. СССР 482434. Способ получения алифатических насыщенных кетонов: заявл. 02.02.1973; опубл. 30.08.1975.

# ТИТАНСИЛИКАЛИТЫ – КАТАЛИЗАТОРЫ ЭПОКСИДИРОВАНИЯ АЛКЕНОВ

Студентка 4 курса Расторгуева М.С.

Руководитель к.х.н. Пастухова Ж.Ю.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА*

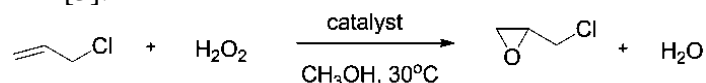
*masharas16@gmail.com*

Титансодержащий цеолит TS-1 обладает прекрасными каталитическими свойствами и широко используется в реакциях частичного окисления алканов, эпоксирирования алкенов, гидроксилрировании ароматических соединений и т.д. [0,0]. Основная структура TS-1 – силикалитная MFI-решетка с 12 кристаллографическими T-позициями, в которые в процессе синтеза катализатора встраиваются ионы титана.

Основной целью работы являлось определение связи «распределение титана между 12 возможными позициями в узлах кристаллической решетки цеолита – показатели каталитического процесса», так как на данный момент эта проблема не решена. Выяснение этого вопроса позволит осуществить направленный синтез титансиликалитных катализаторов, который не реализован до сих пор.

Различие в показателях процесса эпоксирирования для разного образцов катализатора может быть связано с целым рядом факторов: удельной поверхностью, числом кислотных центров, количеством аморфных соединений в образцах, силикатным модулем (Si/Ti), распределением ионов титана по T-позициям в каркасе и его локальным окружением, содержанием в структуре гидроксильных групп и воды.

Для изучения связи «структура-свойства» образцов нами были проведены эксперименты по эпоксирированию аллилхлорида с использованием образцов катализатора: TS-1, TS-1N, TS-1G. С помощью различных физико-химических методов анализа для этих образцов определили положения титана в T-узлах [3].



По результатам серии экспериментов были определены параметры реакции и каталитические свойства для каждого образца. Анализ полученных данных позволил выдвинуть две гипотезы о природе каталитической активности: 1) каталитические свойства не зависят от распределения ионов титана по T-позициям, определяющими факторами являются общее содержание структурного титана и силикатный модуль материала; 2) каталитическая активность образца зависит не только от содержания титана, но и от его распределения по T-позициям, т.е. локального окружения и занятия ионами Ti соседствующих между собой положений в структуре.

В зависимости от того, какая гипотеза верна, реакция эпоксирирования может идти по двум разным механизмам [4]. Вероятно, оба механизма реализуются параллельно. Для дальнейшего обсуждения вопроса необходимо проведение дополнительного эксперимента.

## Литература

1. Патент US 4410501. Taramasso A.M., Perego G., Notari B.
2. Zhang F. Li, Zong L., Wang X., & Wei H. Catalysts. 2021. Vol. 11. N 1. P.113.
3. Kuz'micheva G.M., Svetogorov R.D, Khramov E.V., Microporous and Mesoporous Materials. 2021. Vol. 326. 111377.
4. Пастухова Ж.Ю., Левитин В.В., Кацман Е.А., Брук Л.Г. Кин. и кат. 2021.Vol. 62. N 5.

## СОВМЕСТНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПРЯМОГОННОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ И ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА НА ЦЕОЛИТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ

Студентка 1 курса магистратуры Соснина Д.В.

Руководитель к.т.н. Киргина М.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*dariasosna@mail.ru*

Разработка процессов совместной переработки растительных масел и углеводов, цель которых получение низкозастывающих и экологически чистых компонентов дизельных топлив, является актуальным направлением развития топливно-энергетической отрасли. Важный этап реализации процесса переработки – подбор катализатора.

Большую популярность в качестве катализаторов приобрели цеолиты различного строения и модификаций. В работе использован отечественный цеолитный катализатор типа ZSM-5 марки КН-30 производства ПАО «Новосибирский завод химконцентратов». Эксперименты проводили с прямогонным дизельным топливом и дизельным топливом с добавлением 10 % об. подсолнечного масла при двух температурах 375 °С и 475 °С (давление 0,35 МПа, скорость подачи сырья 0,5 ч<sup>-1</sup>).

Выявлены закономерности влияния температуры переработки и вовлечения подсолнечного масла в переработку на цеолитном катализаторе на состав и свойства полученных продуктов. Показано, что закономерности влияния вовлечения подсолнечного масла в переработку зависят от температуры процесса. Установлено, что продукты совместной переработки подсолнечного масла и дизельного топлива на цеолитном катализаторе по низкотемпературным свойствам соответствуют: полученные при температуре 375 °С – арктической марке товарного дизельного топлива, при температуре 475 °С – зимней марке товарного дизельного топлива. Показано, что полученные продукты переработки на цеолитном катализаторе являются перспективными смесевыми компонентами низкозастывающих дизельных топлив. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности совместной переработки растительных масел и дизельной фракции на цеолитном катализаторе для получения низкозастывающих топлив. Важно отметить, что вовлечение растительных масел позволит расширить сырьевой пул возобновляемым, экологически чистым сырьем для производства дизельных топлив.



# ВЫДЕЛЕНИЕ КСЕНОНА ИЗ УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ СМЕСЕЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НАПРАВЛЕННОЙ ГАЗОГИДРАТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Студентка 1 курса магистратуры Степанова Е.А.

Руководитель доцент Петухов А.Н.

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
stepanova.k1999@mail.ru*

Ксенон (Xe) – газ, который находит применение в медицинской, космической, электронной и автомобильной промышленности [1]. В настоящее время единственный промышленный метод добычи Xe – низкотемпературная ректификация воздуха. Задачей данной работы было исследование возможности выделения ксенона из природного газа с помощью метода направленной газогидратной кристаллизации. Содержание ксенона в природном газе на 4 порядка выше, чем в воздухе.

Первым шагом было математическое моделирование процесса образования газовых гидратов на модельных смесях, по составу приближенных к природному газу, для определения влияния состава газовой смеси на коэффициент газогидратного распределения при давлениях 40 и 80 бар (диапазон давлений, при которых природный газ поступает на перерабатывающие установки [2]). Максимальные теоретически смоделированные коэффициенты распределения Xe лежат в пределах от 5,30 до 5,94.

Экспериментальная верификация проводилась на газовой смеси  $\text{CH}_4/\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_3\text{H}_8/n\text{-C}_4\text{H}_{10}/\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}/\text{N}_2/\text{Xe}$  с соотношением 75,677/ 7,410/ 4,534/ 2,469/ 5,396 / 1,389/ 3,013/ 0,113 мол. % при  $T=280,15\text{ K}$ . В ходе эксперимента исследовалась скорость образования газовых гидратов. Выяснилось, что пик гидратообразования наблюдается в области 18 минут, далее скорость гидратообразования падает. При росте газовых гидратов молекулы газа переходят из газовой фазы в жидкую, при этом они плотно упакованы в газогидратной ячейке. Скорость образования газовых гидратов постепенно уменьшается и становится постоянной к концу процесса, так как происходит потребление молекул воды и гостевых молекул. Экспериментальный коэффициент распределения имеет близкое значение к смоделированному (2,81 и 3,23 соответственно) при 4,20 МПа и температуре 280,15 К, а степень выделения Xe составляет около 75%.

Таким образом, можно сделать вывод, что Xe эффективно концентрируется в газогидратной фазе при направленной газогидратной кристаллизации, поэтому в дальнейшем будет изучаться непрерывная газогидратная кристаллизация, которая наиболее приближена к промышленной технологии.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 17-79-20286.*

Литература

1. Hassanpouryouzband et al. Gas hydrates in sustainable chemistry. Chem. Soc. Rev. 2020. Vol. 49. P. 5225–5309.
2. Фык М.И., Хрипко Е.И. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. Харьков: Фолио, 2015. 301 с.

## КИНЕТИКА ЭТЕРИФИКАЦИИ ЯБЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ *n*-БУТАНОЛОМ В УСЛОВИЯХ ГОМОГЕННОГО И ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗА

Студентка 4 курса Филёва М.Н.

Руководитель аспирант Кузьмина Н.С.

Самарский государственный технический университет

*punjahin@rambler.ru*

Сложные эфиры широко используются в производстве косметической, пищевой, фармацевтической продукции, применяются в качестве пластификаторов и мономеров. Значительное число исследований посвящено получению сложных эфиров гидроксикарбоновых кислот, содержащих одну или две карбоксильные группы (гликолевая, молочная, яблочная, винная), поскольку они представляют коммерческий интерес.

В ранних исследованиях реакцию этерификации проводили с использованием гомогенных катализаторов, таких как неорганические кислоты. Однако применение кислот обуславливает потери продукта при разделении и утилизации. На смену гомогенным катализаторам пришли ионообменные смолы, поскольку они экологичны, не вызывают коррозию, обладают достаточной термической стабильностью и селективностью. Их можно повторно использовать, применяя механическое отделение от реакционной массы. Целью нашей работы был выбор катионообменного катализатора для этерификации яблочной кислоты *n*-бутанолом.

Для сравнительного изучения активности и производительности катализаторов использовали гомогенный катализатор – *n*-толуолсульфоокислоту, и два гетерогенных катализатора КУ-23 и Amberlyst 15. Кинетические закономерности реакции получения дибутилового эфира яблочной кислоты исследованы в интервале температур 348-378 К при 7-кратном избытке спирта, количество катализатора – 1% масс.

Было установлено, что Amberlyst 15 обладает большей активностью, чем КУ-23. Энергии активации  $E_a$  найдены по соотношению Аррениуса –  $24,3 \pm 1,3$ ,  $42,8 \pm 5,2$  и  $61,9 \pm 4,2$  кДж/моль для *n*-толуолсульфоокислоты, Amberlyst-15, КУ-23 соответственно.

Катализатор	Кинетическое уравнение
<i>n</i> -Толуол- сульфоокислота	$r = (1,6 \cdot 10^2 \pm 1,5) \cdot \exp(-24258 \pm 1299/RT) \cdot C_{\text{ЯК}} \cdot C_{\text{ОН}} \cdot C_{\text{кат}}$
КУ-23	$r = (3,9 \cdot 10^6 \pm 4,1) \cdot \exp(-61921 \pm 4255/RT) \cdot C_{\text{ЯК}} \cdot C_{\text{ОН}} \cdot m_{\text{кат}}$
Amberlyst 15	$r = (9,9 \cdot 10^3 \pm 5,7) \cdot \exp(-42823 \pm 9913/RT) \cdot C_{\text{ЯК}} \cdot C_{\text{ОН}} \cdot m_{\text{кат}}$

Кинетические параметры этерификации яблочной кислоты *n*-бутанолом, исследовали с использованием псевдогомогенной кинетической модели. Было обнаружено, что моделируемые значения по предложенным кинетическим уравнениям хорошо согласуются с экспериментальными значениями.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ СТОЙКИХ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Студентка 1 курса магистратуры Чайкина Я.И.

Руководитель к.х.н, доцент Бешагина Е.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
yana.chaykina.99@mail.ru*

Поскольку на всех этапах добычи и подготовки нефть смешивается с водой, образуя водонефтяные эмульсии, проблема разделения водонефтяных эмульсий является актуальной и востребованной. Для преодоления этой проблемы в последние годы усилился интерес к малоэнергетическим воздействиям [1]. Энергия магнитного поля является одним из самых эффективных, экономичных и доступных видов энергии, с помощью которой возможно разрушение водонефтяных эмульсий.

Цель работы заключалась в повышении эффективности процесса разделения стойких водонефтяных эмульсий за счет применения постоянного магнитного поля. Объектом исследования были образцы высокообводненной нефти, объемное содержание воды в которых составляло 40 %. В качестве источников постоянного магнитного поля использовали магнитную систему, состоящую из высокоэнергетических постоянных магнитов. Длина магнитной системы составляла 58 см, индукция варьировалась в пределах от 160 до 200 мТл. Образцы нефтяной эмульсии объемом 100 мл пропускали через магнитную систему при 20 °С. В эксперименте реализовывался динамический режим движения эмульсий, соответствующий реальному движению нефти в трубопроводе. Оценку результатов эксперимента проводили визуально по объёму воды, отделившейся от нефти.

В результате эксперимента доказано, что постоянное магнитное поле ускоряет процесс деэмульгирования нефти. Установлено, что при однократной обработке магнитной системой длиной 58 см отделяется 40 мл воды, и повышается эффективность процесса разделения на 43 %.

Данное исследование имеет практическое значение для развития нефтедобывающей отрасли в Российской Федерации. Предложенная магнитная система обладает большим потенциалом для разделения стойких водонефтяных эмульсий на промысле. Полученные результаты могут быть использованы для анализа и обоснования выбора процесса магнитной обработки водонефтяных эмульсий с различными физико-химическими свойствами при промысловой подготовке нефти.

## Литература

1. Сергеев А.А. Применение магнитного поля в процессах разрушения водонефтяной эмульсии // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых – Пермь, 2016. – №1. с. 319-323.

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УЗЛА ГИДРИРОВАНИЯ ФРАКЦИИ C<sub>5</sub> ПИРОЛИЗА

Студент 1 курса магистратуры **Чикалин В.Ю.**

Руководитель к.т.н. доцент Семенов И. П.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА*

*mg4242@mail.ru*

Пиролиз углеводородов – основной способ получения этилена и пропилена. На установках пиролиза выделяется и фракция углеводородов C<sub>5</sub>, переработка которой в продукты зачастую нецелесообразна из-за небольшого её количества. Привлекательным путем использования фракции C<sub>5</sub> является её полное гидрирование с целью дальнейшего использования в качестве сырья для пиролиза.

В нашей работе проведено моделирование процесса полного гидрирования фракции C<sub>5</sub> пиролиза, которое проводилось в программе Aspen HYSIS v10. Было смоделировано четыре варианта данной схемы, отличающиеся способами организации процессов нагрева/охлаждения потоков, и рассчитаны основные показатели (см. таблицу).

Таблица. Сравнение показателей по схемам

Вариант	1	2	3	4
Выход, %	98,97	98,95	93,24	98,90
Расход пара, т/ч	8,161	8,190	0	0
Расход воды, т/ч	995,23	996,52	529,25	537,09
Расход рецикла, т/ч	183,0	183,4	182,4	181,9
Энергопотребление	516,64	515,41	512,35	512,32

В вариантах 1 и 2 самые большие выходы, но высокие энерго- и ресурсозатраты. В схеме 3 в два раза меньше расход оборотной воды и не требуется греющий пар. Однако, на 5% меньше выход. В варианте 4 выход сопоставим с первыми двумя вариантами, при этом расход воды ниже и не требуется нагрев.

В результате расчетов и сравнительного анализа предложен оптимальный вариант организации технологической схемы (Рисунок).

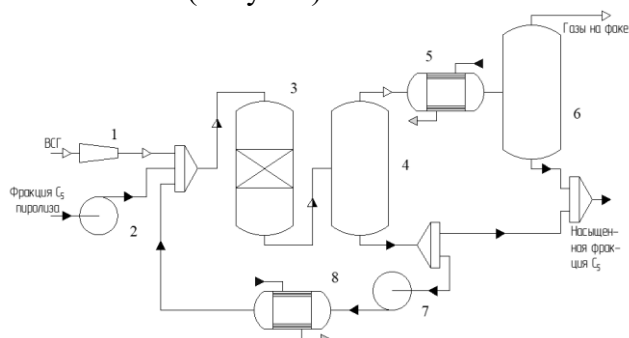


Рис. Оптимальный вариант технологической схемы гидрирования фракции C<sub>5</sub>

1 – компрессор, 2 сырьевой насос, 3 – реактор, 4 – сепаратор высокого давления, 5 – охладитель «сдувки», 6 – сепаратор низкого давления, 7 – насос рецикла, 8 охладитель рецикла.

Оптимальный вариант схемы отличается тем, что охлаждению подвергается не весь поток после реактора, а только поток «сдувки» из сепаратора высокого давления, поток рецикла охлаждается только до той температуры, которая необходима, чтобы обеспечить температуры сырья на входе в реактор 75 °С. В результате в схеме не требуется подвод греющего пара и потери сырья со «сдувкой» минимизированы.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РЕАКЦИИ ЭТЕРИФИКАЦИИ МОНОКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ НЕОПЕНТИЛГЛИКОЛЕМ

Студентка 4 курса Чичева Д.С.

Руководитель д.х.н., доц. Красных Е.Л.

Самарский государственный технический университет  
dasha00529@gmail.com

В настоящее время сложные эфиры составляют около 90% продуктов на рынке пластификаторов для полимерных композиций [1]. Наибольшее применение находит ди-(2-этилгексил)фталат (ДОФ) благодаря своим свойствам [2]. Однако, фталатные пластификаторы обладают ароматической структурой и относятся ко 2 классу опасности, являясь экологически небезопасным продуктом. В связи с повышающимися экологическими требованиями производство фталатов в настоящее время строго регламентируется, что заставляет производителей пластификаторов активно развивать альтернативные сырьевые источники и варианты получения новых экологически чистых пластификаторов.

Интересным и экономически выгодным может являться пластификатор на основе сложных эфиров неополиолов, полученный на основе кислородсодержащих продуктов оксосинтеза природного газа – высших алифатических и многоатомных спиртов.

Цель настоящей работы состоит в получении сложных эфиров неопентилгликоля (рис.) на основе monocarboxylic acids, изучении кинетики процесса, сравнении свойств полученных диэфиров неопентилгликоля и сложноэфирного пластификатора ДОФ, для создания отечественной технологии получения экологически чистых пластификаторов.

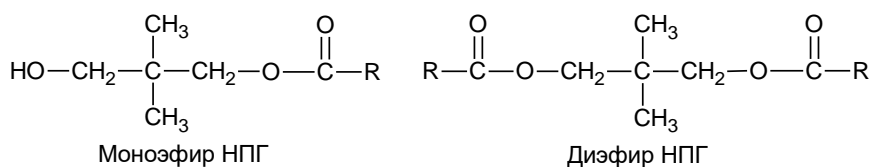


Рис. Сложные эфиры неопентилгликоля

Суть работы заключается в исследовании кинетических закономерностей реакции этерификации неопентилгликоля уксусной и 2-этилгексановой кислотами, проводимой в открытой реакторной системе идеального смешения – трехгорлой колбе. Анализ реакционной массы осуществляли хроматографически.

Задачи для реализации поставленной цели:

- провести кинетические исследования реакции этерификации monocarboxylic acids неопентилгликолем;
- на основе полученных данных определить константы скорости реакции, энергию активации и предэкспоненциальный множитель уравнения Аррениуса.

## Литература

1. Лакеев С.Н. Майданова И.О., Муллахметов Р.Ф., Давыдова О.В. Журнал прикладной химии. 2016. Т. 89. Вып. 1
2. Тиниус К. Пластификаторы. – М.: Химия, 1964.– 915 с.

Номинация 2 «Исследования и разработки по химической технологии»

Секция «Технология неорганических веществ и материалов»

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГЛИЦИН-НИТРАТНОГО ГОРЕНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА СЛОЖНООКСИДНЫХ СМЕСЕЙ В ВЯЖУЩИХ СИСТЕМАХ. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ

Студент 4 курса Барабанов Н.М.

Руководитель профессор Пантелеев И.Б.

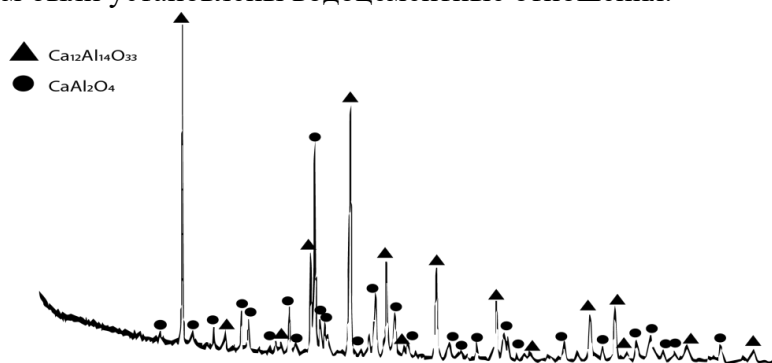
Санкт-Петербургский Государственный Технологический Институт  
*barabanovnikita14@gmail.com.*

В последние годы серьезно выросли запросы промышленности на материалы из сложных оксидов и их смесей. Смеси сложных оксидов позволяют совместно использовать разные по химическому составу соединения для получения более совершенных материалов.

В качестве перспективной альтернативы классической технологии спекания порошков для производства смесей сложных оксидов в нашей работе предлагается метод глицин-нитратного горения, относящийся к методам самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Несмотря на то, что этот метод известен уже давно, глубокого изучения его технологических параметров пока не проведено, что затрудняет внедрение метода в промышленность.

Цель работы состоит в получении двух смесей сложных оксидов заданного состава в системе  $CaO/Al_2O_3$  методом глицин-нитратного горения. Для исследования были выбраны смеси состоящие из: 1)  $CaO \cdot Al_2O_3/CaO \cdot 2Al_2O_3$ ; 2)  $CaAl_2O_4/Ca_{12}Al_{14}O_{33}$ . Синтез таких смесей требует глубокого изучения процессов горения, составления модели реакций, выбор температурного режима и обоснование глицин-нитратного соотношения. Добиться этого можно, рассматривая процесс горения, как ряд последовательных реакций спекания. Установить порядок реакций можно аналитически, используя термодинамические свойства соединений.

В работе отражена методика расчета концентрации глицина, которая может использоваться и для другого органического топлива. Помимо этого, была показана важность параметра G/N (глицин-нитратного соотношения) и новый подход к его использованию. Параметр G/N связан с фазовым составом смеси, а поскольку с помощью этого параметра можно изменять температуру синтеза и скорость распространения волны горения, то возможно установить связь между этими параметрами и составом продуктов. Для синтезированных систем были установлены водоцементные отношения.



На рисунке показана дифрактограмма смеси  $CaAl_2O_4/Ca_{12}Al_{14}O_{33}$ . Такая смесь перспективна как высокоактивная и коррозионно-стойкая добавка к клинкеру из портландцемента для повышения его прочности в первые трое суток.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАНТОВОЙ ХИМИИ КАК ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ВАНАДИЙОКСИДНЫХ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНЕЗЁМА

Студентка 1 курса магистратуры Бузина Д.В.

Руководитель доцент Дроздов Е.О.

*Санкт-Петербургский Государственный Технологический Институт  
dasha\_99.09@mail.ru*

Ванадийсодержащие покрытия на кремнеземе используются в качестве катализаторов окисления, индикаторов влажности, адсорбентов различных газов и паров [1]. Одним из наиболее перспективных методов их синтеза является метод молекулярного наслаивания (МН, ALD), в процессе которого на состав и строение продуктов синтеза совместно влияет ряд факторов, таких как температура на различных стадиях процесса и концентрация реагента в газовой фазе. Традиционные эмпирические подходы к изучению подобных систем требуют проведения большого объёма опытов, тогда как квантовохимические подходы позволяют заранее оценивать тенденции влияния условий. Это способствует сокращению материальных, трудовых и временных затрат.

Цель нашей работы - квантовохимический прогноз состава и спектральных характеристик ванадийсодержащих покрытий при обработке поверхности кремнезема парами  $\text{VOCl}_3$  в зависимости от температуры процесса и мольной доли реагента в газовой фазе и сопоставление полученных расчетных данных с результатами эксперимента.

На основании квантовохимических расчетов сформулированы основные закономерности влияния температуры и концентрации реагентов на локальное строение ванадийоксидных структур на поверхности кремнезема при проведении первого и второго циклов МН. Показано, что температура является основным управляющим фактором по сравнению с концентрацией  $\text{VOCl}_3$  в газовой фазе.

Состав синтезированных образцов на полуколичественном уровне соответствует квантовохимическим расчетам. Показано согласие между расчетными частотами колебаний ванадийоксидных центров и результатами спектрального и химического анализа. Формирование полифункциональных центров сопровождается снижением прироста содержания ванадия на каждом последующем цикле в сравнении с предыдущим.

Представленные результаты свидетельствуют о возможностях использования квантовохимического моделирования и анализа продуктов синтеза методом МН как с точки зрения фундаментальных задач идентификации локального строения и состава формируемых центров, так и в практическом отношении – для выбора условий синтеза, обеспечивающих получение систем с заданным строением и свойствами.

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации режимов синтеза и конструирования функциональных материалов (катализаторов, сорбентов).

*Работа выполнена при поддержке Первого всероссийского инженерингового центра технологии молекулярного наслаивания СПбГТИ(ТУ) (Соглашение Минобрнауки России № 075-15-2021-028).*

Литература

1. Дроздов Е.О., Дубровенский С.Д.,.. Малыгин А.А, ЖОХ. 2016.Том 86. № 10.



# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Студент 2 курса магистратуры Изварин А.И.

Руководитель доцент, к.т.н. Храменкова А.В.

*Южно-Российский государственный политехнический  
университет им. М.И. Платова, Новочеркасск*

*andre.izvarin@yandex.ru*

Тенденция современной электроники – переход к интеллектуальным, миниатюрным и максимально экономичным устройствам – обуславливают создание новых альтернативных источников электропитания. Так, развитие электронных и оптоэлектронных устройств требует создания новых источников питания – суперконденсаторов, сочетающих в себе высокую удельную мощность, долговечность, а также характеризующихся быстрыми процессами разряда–заряда и длительной циклической стабильностью [1]. Наша работа посвящена синтезу гибких гибридных электродных материалов для суперконденсаторов на основе молибдена, ванадия и металлов группы железа на поверхности углеродной ткани, исследованию их структуры и электрохимических свойств.

Синтез гибких электродных материалов проводили на поверхности углеродной ткани из водных растворов солей, содержащих сульфат железа (II); сульфат кобальта; гептамолибдат аммония  $((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O})$ ; сульфат никеля; борную и лимонную кислоты, при поляризации переменным асимметричным током. Коэффициент асимметрии составил 2,2; температура 60-65 °С; pH – 4, время электролиза 40 мин.

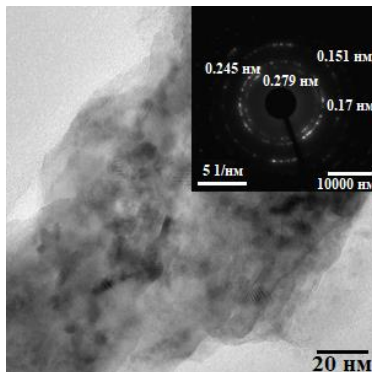


Рис. Результаты ПЭМ, совмещенные с микродифракционной электронограммой.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности применения метода нестационарного электролиза для получения гибких гибридных электродных материалов для суперконденсаторов. Результаты просвечивающей электронной микроскопии показали, что основными фазами полученного гибридного материала являются FeO, MoO<sub>2</sub>, CoO, Mo<sub>4</sub>O<sub>11</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MoO<sub>3</sub>. По зарядно-разрядным кривым была определена удельная ёмкость электродного материала, при плотности тока 5 мА·см<sup>-2</sup> она составила 995 мФ·см<sup>-2</sup>.

Литература

Бурашникова М.М. Электрохимическая энергетика. 2019. Том 19.

1.

## ПРЯМОЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ Cu, Cu@Cu<sub>2</sub>O И CuO ИЗ ОБЪЕМНОГО ОБРАЗЦА МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОЙ ПОТОКОВОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Студент 2 курса магистратуры Капинос А.А., студент 2 курса Грачев П.П.

Руководитель к.х.н. Воротынцев А.В.

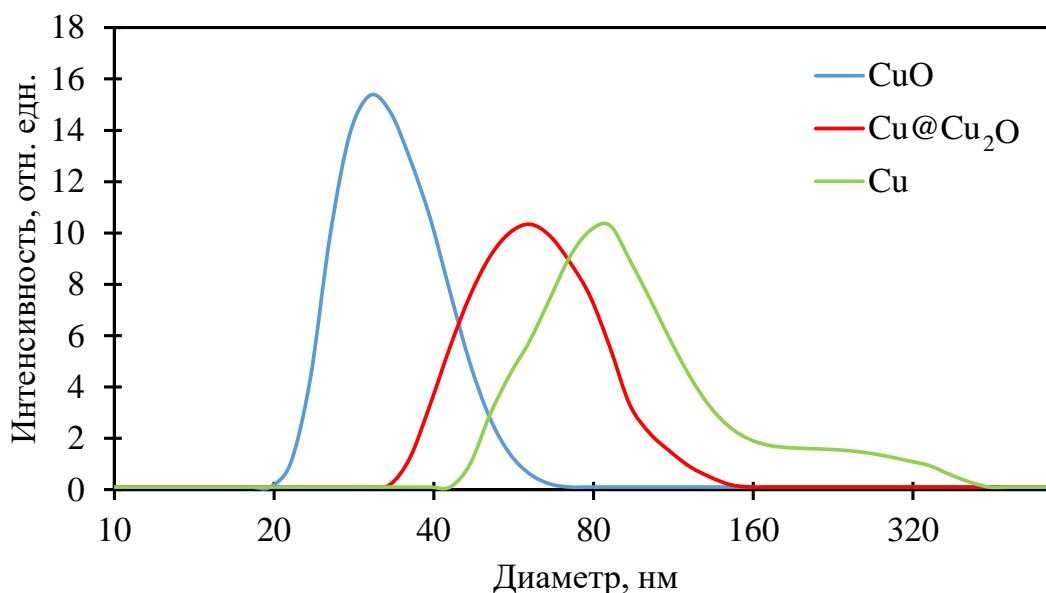
Нижегородский государственный технический университет им П.Е. Алексеева

kapinos98@gmail.com

В связи с развитием нанотехнологий с каждым годом возрастает потребность в высокочистых наночастицах различного состава и размера, а, следовательно, очевидна необходимость удешевления их производства. Кроме того, развитие различных областей науки и техники приводит к увеличению спроса и ведет к увеличению производственных мощностей, что ухудшает экологическую ситуацию при использовании традиционных реагентов для получения наночастиц: этиленгликоля, этанола и других органических растворителей. Таким образом, важно внедрять и разрабатывать новые методы получения наночастиц, которые могли бы устранить существующие проблемы.

Целью данной работы было получение наночастиц меди высокой степени чистоты и однородности методом индукционной потоковой левитации. Актуальность работы заключается в получении наночастиц высокой чистоты непосредственно из объемных образцов металла, без использования вспомогательных реагентов. Данная технология позволяет снизить себестоимость продукта за счет снижения энергопотребления. При использовании этого метода не происходит вредных выбросов в атмосферу, что определяет его экологическую безопасность.

Для получения наночастиц со структурой ядро-оболочка и оксида меди, кислород был подан в различные области реактора. Полученные наночастицы были охарактеризованы методами: ПЭМ, РФА, БЭТ, STSA, ВЖН, ДРС. Наночастицы оксида меди имели наименьший размер (19 нм) среди трех образцов.



Гистограмма распределения по размерам полученная ДРС для наночастиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 20-79-10097)

## РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИИ СТЕАТИТОВОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ПРЕКУРСОРОВ ФТОРИРОВАННОГО ТАЛЬКА

Студент 3 курса Меженин А.В.

Руководитель профессор Верещагин В.И.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*avm106@tpu.ru*

Перспективным материалом для получения современных диэлектриков ВЧ- и СВЧ-диапазонов является стеатитовая керамика на основе метасиликата магния  $MgSiO_3$ , обладающая ценными электрофизическими свойствами [1]: низкими значениями диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь, температурного коэффициента резонансной частоты и высокой добротностью.

Ключевой недостаток стеатитовых материалов – их склонность к старению за счёт обратимых полиморфных переходов  $MgSiO_3$ , а также наличие в большинстве традиционных составов значительного количества стеклофазы, ухудшающей их диэлектрические свойства. С целью решения этих проблем был применён альтернативный метод синтеза [2], который заключается в низкотемпературном фторировании исходного силикатного сырья гидродифторидом аммония (ГДФА)  $NH_4HF_2$  для получения химически активированных прекурсоров заданного фазового состава.

Полученные в нашей работе с помощью фтораммонийной обработки онотского талька  $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$  порошкообразные прекурсоры отличаются повышенной активностью при спекании и позволяют получать стабилизированный стеатитовый материал. Установлено, что оптимальным при этом является прекурсор с исходным соотношением ГДФА/тальк = 3 моль/моль, обеспечивающий мольное отношение  $MgO/SiO_2 = 1$  в продуктах обработки. Для составов на его основе исследовано влияние добавок  $BaO$ ,  $Al_2O_3$  и  $ZnO$  на микроструктуру и свойства стеатитовой керамики.

Керамика с добавкой 10 % мас.  $BaO$  спекается по жидкофазному механизму при температуре 1225 °С. Дополнительное введение в состав 2 % мас.  $Al_2O_3$  увеличивает температуру спекания до 1275 °С и повышает прочность при сжатии со 150 до 350 МПа за счёт образования кристаллизующейся из расплава фазы цельзиана  $BaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ . Полученный материал с фарфороподобной структурой имеет кажущуюся плотность 2,71 г/см<sup>3</sup> и тангенс угла диэлектрических потерь, равный  $1,6 \cdot 10^{-4}$  при частоте 1 МГц.

Добавка 10 % мас.  $ZnO$  к прекурзору позволяет получать мелкокристаллический материал без стеклофазы, спекающийся по твердофазному механизму при температуре 1325 °С за счёт образования твёрдых растворов состава  $(Mg,Zn)_2SiO_4$ . Полученная керамика характеризуется высокой относительной плотностью (97 %) при кажущейся плотности 3,13 г/см<sup>3</sup>, отличается высокой прочностью при сжатии порядка 660 МПа и низким тангенсом угла диэлектрических потерь, равным  $1,2 \cdot 10^{-4}$  при частоте 10 ГГц.

На основании проведённых исследований предложена технологическая схема производства высокочастотных стеатитовых диэлектриков, включающая следующие стадии: получение прекурсора фторированием тонкодисперсного талька гидродифторидом аммония; смешение прекурсора с добавками оксидов-модификаторов; формование изделий (полусухое прессование, литьё тонких плёнок); окончательный обжиг.

### Литература

1. Kim Song J. et al, J. Am. Ceram. Soc. 2008. Vol. 91. N 8.
2. Sharafeev Sh.M, Ref. and Ind. Ceram. 2020. Vol. 61. N 2.

## ПОЛУЧЕНИЕ СПЛАВОВ ПОЛУ-ГЕЙСЛЕРА НА ОСНОВЕ TiNiSn МЕТОДОМ МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Студентка 1 курса магистратуры Пашкова Д.С.

Руководитель к.ф.-м.н. Новицкий А.П.

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСЦ»*

*m1704312@edu.misis.ru*

Термоэлектрические материалы представляют собой широкий класс материалов, обеспечивающих прямое преобразование тепловой энергии в электрическую. Эффективность данного преобразования прямо пропорциональна безразмерному коэффициенту термоэлектрической добротности  $zT$ , который зависит от электрических и тепловых свойств материала и определяется как  $zT = \alpha^2 \sigma T / (\kappa_{\text{реш}} + \kappa_{\text{эл}})$ , где  $\alpha$ ,  $\sigma$ ,  $T$ ,  $\kappa_{\text{реш}}$  и  $\kappa_{\text{эл}}$  - коэффициент Зеебека, электропроводность, абсолютная температура, решеточная и электронная составляющие общей теплопроводности, соответственно.

Сплавы полу-Гейслера являются одними из наиболее перспективных материалов для термоэлектрических генераторов в среднетемпературном диапазоне благодаря их химической стабильности в широком диапазоне температур, высоким прочностным характеристикам и относительно высоким термоэлектрическим характеристикам, в основном связанным с уникальным набором электрических свойств. На сегодняшний день группа под руководством австрийского профессора П. Рогла сообщила о самом высоком значении термоэлектрической добротности  $zT_{\text{max}} = 1,5$  при 825 К для соединения номинального состава  $\text{Ti}_{0,5}\text{Zr}_{0,25}\text{Hf}_{0,25}\text{NiSn}$  для полу-Гейслеров n-типа проводимости [1].

Хотя в последние годы соединения полу-Гейслеров активно исследуются учеными во всем мире, значение  $zT$ , полученное в данной работе не было превзойдено. Однако в контексте широкомасштабного применения, значения  $zT$  не так важны, как разработка промышленно масштабируемой технологии производства термоэлектрических материалов. Разработка быстрой и масштабируемой технологии изготовления позволит на один шаг приблизить термоэлектрические материалы класса полу-Гейслеров к расширению области их применения.

В данной работе представлены результаты, демонстрирующие образование мелкозернистого однофазного образца номинального состава  $\text{Ti}_{0,5}\text{Zr}_{0,25}\text{Hf}_{0,25}\text{NiSn}$  в течение 30 минут. Суммарное время получения объемного поликристаллического образца не превышает 7 часов в сравнении с 3 неделями при получении аналогичных соединений традиционным методом. Более того, ожидается, что мелкозернистая структура позволит уменьшить значения теплопроводности данных соединений за счет дополнительного рассеяния фононов на границах зерен, и как следствие – увеличит эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую. Механизмы фазообразования и подробности синтеза представлены в работе.

### Литература

1. Rogl G., Acta Mater., 2017. Vol. 131. P. 336–348.

# МОСVD МУЛЬТИФЕРРОИДНЫХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО ФЕРРИТА ЛЮТЕЦИЯ

Студент 1 курса магистратуры Ратовский В.Ю.

Руководители д.х.н., профессор Кауль А.Р. и диссертант Нигаард Р.Р.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет наук о материалах*

*vratovskiy@bk.ru*

Гексагональный феррит лютеция ( $h\text{-LuFeO}_3$ ) – фаза, термодинамически неустойчивая в автономном виде, но доступная в форме тонких пленок, благодаря явлению эпитаксиальной стабилизации на структурно когерентных монокристаллических подложках. Это соединение вызывает большой интерес за счет своих магнитоэлектрических свойств – одновременного наличия связанных между собой слабого ферромагнитного и сегнетоэлектрического упорядочений. Проблема заключается в том, что магнитный момент  $h\text{-LuFeO}_3$  очень мал и проявляется лишь при низкой температуре, однако недавно показано, что способность  $h\text{-LuFeO}_3$  образовывать слоистые эпитаксиальные гетероструктуры с ферромагнитными фазами может послужить основой для создания композитных мультиферроиков с высоким коэффициентом магнитоэлектрической связи.

Осаждение пленок проводили на монокристаллических подложках YSZ(111) и YSZ(100) при  $900^\circ\text{C}$  методом МОСVD низкого давления в установке с вертикальным горячестеночным реактором и с принципиально новым питающим устройством, основанном на протяжке хлопчатобумажной нити через раствор прекурсора и дальнейшем испарении последнего с переносом его паров в зону осаждения, что позволяет осуществлять получение гетероструктур в едином цикле осаждения за счет замены стакана с раствором прекурсоров [1]. Исследование влияния межфазных напряжений на структуру и свойства тонких пленок было проведено путем осаждения фазы  $h\text{-LuFeO}_3$  на монокристаллические YSZ(111), YSZ(100), а также на эти монокристаллы с нанесенными эпитаксиальными буферными слоями  $\text{CeO}_2$ . На основе данных РФА и ПЭМ нами впервые показано большее стабилизирующее действие подслоя  $\text{CeO}_2$ , что выражается как в большем структурном совершенстве пленок  $h\text{-LuFeO}_3$ , так и в увеличении их критической толщины по сравнению с пленками на YSZ.

Для получения гетероструктур с мультиферроидными свойствами на первом этапе было проведено осаждение гетероструктур с чередующимися слоями  $h\text{-LuFeO}_3$  и оксида железа. В результате на данном этапе работы нами впервые продемонстрирована возможность эпитаксиальной стабилизации полиморфной модификации  $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$  на поверхности  $\text{LuFeO}_3$ . Полученные гетероструктуры  $h\text{-LuFeO}_3/\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$  отжигали при  $900^\circ\text{C}$  в условиях низкого  $p\text{O}_2$ , при этом одновременно с восстановлением  $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$  до  $\text{FeO}$  происходило твердофазное взаимодействие последнего с  $h\text{-LuFeO}_3$ , приводившее к образованию фазы  $\text{LuFe}_2\text{O}_4$ . Методами РФА и ПЭМВР доказано эпитаксиальное срастание  $h\text{-LuFeO}_3$  и  $\text{LuFe}_2\text{O}_4$ , а из литературных данных известно, что подобные гетероструктуры обладают сегнетоэлектрическими и ферромагнитными свойствами [2].

Литература

1. Kaul A.R. et al. Condensed Matter and Interphases. 2021. Vol. 23. P. 3.
2. Mundy Julia A et al. Nature. 2016. Vol. 537. P. 7621.

# ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ ХОЛОДНОКАТАННЫХ ПАЛЛАДИЕВО-МЕДНЫХ МЕМБРАН, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХЧИСТОГО ВОДОРОДА

Магистрант 2 курса Сидякина Л.Е.

Руководитель доцент Морозова Н.Б.

*Воронежский государственный университет,  
sidykina\_lidia98@mail.ru*

Процесс проникновения атомарного водорода вглубь металлической фазы в начальный момент времени осложнен фазограничным переходом со стороны жидкой и/или газовой фазы. В связи с этим предъявляются дополнительные требования к чистоте поверхности металлов и сплавов. Цель данной работы: выявление влияния предварительной подготовки поверхности с применением импульсов фотонов и циклирования потенциала в широком интервале на параметры водородопроницаемости металлических холоднокатанных мембран Cu52Pd.

В качестве объектов исследования выбраны гомогенные палладиево-медные фольги состава 52Pd48Cu (ат.%) толщиной 10 и 16 мкм, полученные методом холодной прокатки. Исследования проводили в растворе 0,1М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ос.ч.) методами циклической вольтамперометрии и двухступенчатой катодно-анодной хроноамперометрии. Очистка поверхности проводилась с применением комплекса методов: промывка в ацетоне, а также воздействие ультразвука при t = 30 мин. Различия в способе предподготовки образцов происходили на этапе импульсного фотонного отжига (ИФО). Перед началом получения хроноамперограмм фольги подвергались 4-кратному циклированию потенциала в широком интервале значений. Анализ чистоты поверхности образцов проводили путем расчета и сравнения параметров водородопроницаемости, полученных из катодных и анодных спадов тока с применением математических моделей. Первая модель [1] применима для образцов с l > 10 мкм, а вторая - описывает закономерности пленочных электродов с l < 10 мкм [2].

Установлено, что для тонких металлических холоднокатанных сплавов Pd52Cu обработка поверхности ИФО вносит значительный вклад в очистку поверхности. При этом происходит не только её очистка, но и развитие поверхности в результате обратного осаждения сплава на поверхность образца, что также приводит к росту скорости процесса. Коэффициент диффузии атомарного водорода оказался нечувствительным к предварительной обработке поверхности ультразвуком и ИФО, тогда как константа скорости инжекции атомарного водорода, характеризующая фазограничный переход, возрастает после ИФО. Данный факт говорит о том, что облегчаются процессы внедрения и ионизации вследствие освобождения активных центров поверхности.

Электрохимическая очистка поверхности, путем проведения 4-кратного циклирования потенциала, имеет большое значение в общем комплексе методов. В то же время электрохимические методы позволяют оценить степень чистоты поверхности металлических мембран, полученных методом холодной прокатки.

## Литература

1. Морозова Н.Б., Введенский А.В., Береди́на И.П., Физикохимия поверхности и защита материалов. 2014. Том 50. С. 573
2. Морозова Н.Б., Введенский А.В., Максименко А.А. и др., Электрохимия. 2018. Том 54. С. 395.

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИЗАТОРА-ХЕМОСОРБЕНТА ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ СЕРНИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Студент 2 курса Усов В.В.

Руководитель профессор Ильин А.А.

Ивановский Государственный Химико-Технологический Университет

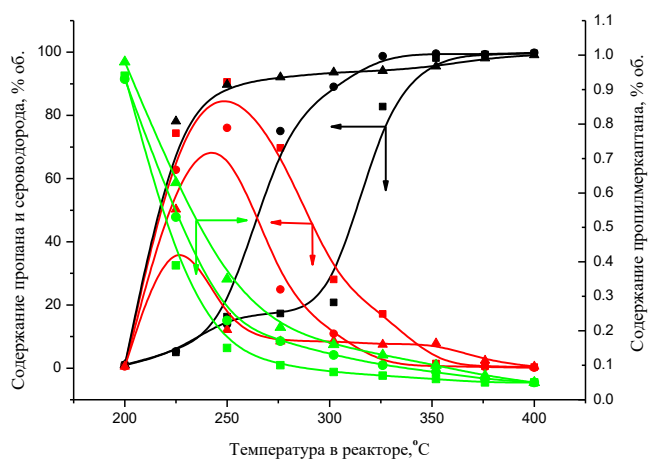
vladus1202@gmail.com

Модернизация узла сероочистки природного газа позволяет сократить количество стадий производства, снизить себестоимость готовой продукции, уменьшить расходы на обслуживание и эксплуатацию аппаратуры.

В данной работе исследуется возможность получения катализатора-хемосорбента для комплексной, одностадийной очистки природного газа от соединений серы. В настоящее время аналогичных исследований не проводится ни в России, ни за рубежом.

Первая часть работы посвящена получению поглотителя на основе высокодисперсного оксида цинка. Для улучшения химико-реологических характеристик серопоглотителя на основе нанодисперсного ZnO в работе использовали механическую обработку системы с поверхностно-активными добавками растворов карбоксиметилцеллюлозы и гидроксипропилцеллюлозы, что позволило снизить долю пластических деформаций, повысить эластичность и получить прочные гранулы адсорбента.

Во второй части была синтезирована серия образцов катализатора-хемосорбента, изучена их морфология, фазовый состав, определена удельная поверхность, пористость. Установлено, что с возрастанием содержания оксида цинка в контактной массе наблюдается снижение максимальной концентрации сероводорода в газовой смеси, а также смещение этого максимума в область более низких температур.



Зависимость объемных концентраций пропана, сероводорода и пропилмеркаптана от температуры.

## Литература

1. Акопян А.В. и др. Химическая технология. 2021. Том 22. № 6. С. 267-273.
2. Афанасьев С.В., Садовников А.А., Гартман В.Л., Промышленный катализ в газохимии, 2018, 160 с.

## ПОЛУЧЕНИЕ КАТАЛИЗАТОРА СИНТЕЗА МЕТАНОЛА МЕХАНОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Студентка 3 курса Цымбалист И.Н.

Руководитель доцент Румянцев Р.Н.

*Ивановский государственный химико-технологический университет*

*tsymbalist.iria@yandex.ru*

В химической промышленности метанол применяют для производства формальдегида, метилформиата, уксусной и муравьиной кислот, аминов, уротропина, диметилового и метилтретбутилового эфиров. Из-за истощения запасов нефти метанол считается идеальным альтернативным топливом. Для производства метанола из синтез-газа применяются катализаторы системы  $ZnO-CuO-Al_2O_3$ .

Цель нашей работы – получение методом механохимической активации и исследование свойств катализаторов низкотемпературного синтеза метанола на основе системы  $ZnO-CuO-Al_2O_3$ .

В качестве сырья для приготовления катализаторов использовалась смесь из кристаллогидратов нитратов меди, цинка и алюминия; активирующие добавки – карбонат аммония и щавелевая кислота. Механохимическая активация выполнялась в вибрационной ролико-кольцевой мельнице (VM-4), где мелющие тела воздействуют на материал посредством удара, совмещенного со сдвигом в течение 5–60 мин с частотой колебания  $930 \text{ мин}^{-1}$ , с величиной подводимой энергии  $0,146 \text{ кДж/г}\cdot\text{с}$ .

В работе проведено комплексное исследование и сравнение физико-химических характеристик образцов  $CuO-ZnO-Al_2O_3$  катализатора. Выявлено, что наибольшей каталитической активностью обладает катализатор, полученный посредством механохимической активации из смеси нитратов со щавелевой кислотой в течение 15 мин., что объясняется его развитой поверхностью и пористостью. Показано, что катализатор обладает мезопористой структурой с размером пор 4–40 нм. Производительность полученного катализатора по метанолу составляет 98–99%.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых, более эффективных катализаторов процесса синтеза метанола. Научная новизна наших результатов состоит в разработке катализаторов с повышенной реакционной способностью, низкой энерго- и капиталоемкостью, с малым числом стадий производства.

*Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда №21-73-10210 и ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).*



# ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ИНТЕРКОННЕКТОРОВ ТВЁРДОКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕМЕННОГО АСИММЕТРИЧНОГО ТОКА

Студентка 4 курса Яковенко А.А.

Руководитель доцент, к.т.н. Храменкова А.В.

*Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, Новочеркасск*

*yakovenko.nastya2000@mail.ru*

Перспективными устройствами преобразования химической энергии в электрическую являются твёрдооксидные топливные элементы (ТОТЭ). Их отличает высокая эффективность, экологичность и возможность гибкого подхода к выбору топлива [1]. Важной проблемой, ограничивающей широкое распространение ТОТЭ, является окисление интерконнекторов, изготовленных из нержавеющей стали. Это приводит к отравлению пористого катода соединениями хрома и снижению срока службы ТОТЭ.

Цель нашей работы – получение защитных покрытий на основе оксидов кобальта и марганца на поверхности нержавеющей стали марки AISI 304 с использованием переменного асимметричного тока и исследование их структурных особенностей.

Защитные покрытия на поверхности нержавеющей стали получали из водного раствора электролита, содержащего кристаллогидраты нитратов кобальта, никеля, хлорида никеля, сульфата марганца и борной кислоты, при поляризации переменным асимметричным током промышленной частоты (50 Гц). Коэффициент асимметрии составил 1,25; температура 40°C; pH – 4, время электролиза 60 мин.

Данные рентгеноспектрального анализа показали, что основными элементами полученного покрытия являются марганец, кобальт, никель и кислород, а структура покрытия имеет трещинообразный характер (рис.).

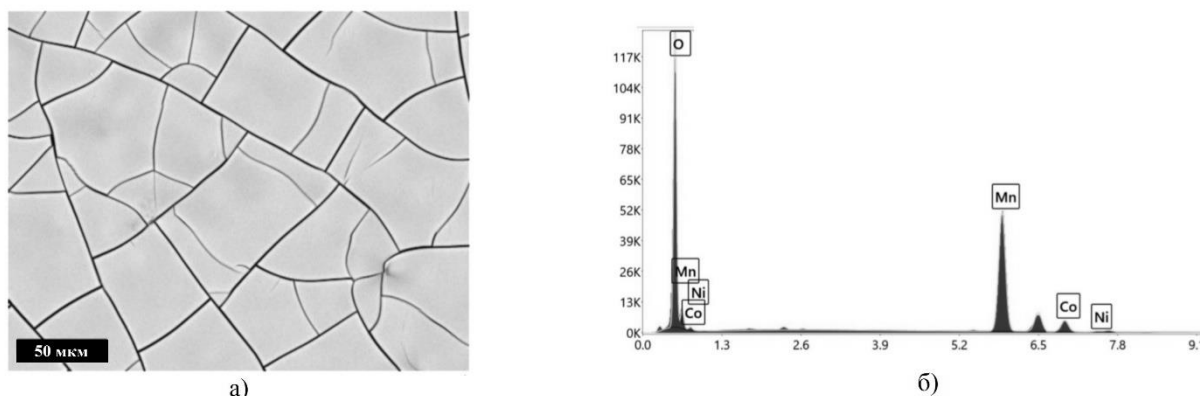


Рис. СЭМ-изображение и EDAX-спектр с поверхности покрытия

Таким образом, показана возможность использования переменного асимметричного тока для получения на поверхности нержавеющей стали защитных оксидных покрытий для интерконнекторов ТОТЭ.

## Литература

1. Hosseini S.N., Solid State Ionics. 2016. Vol. 289. P. 95–105.

Номинация 2 «Исследования и разработки по химической технологии»

Секция «Технология полимеров и материалов на их основе»

# МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ КЕРАТИНСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

Студент 2 курса магистратуры Быков Ф.А.

Руководитель д.т.н. Владимирцева Е.Л.

*Ивановский государственный химико-технологический университет*

*baiii1@mail.ru*

Работа относится к области междисциплинарных исследований. Основной ее целью является оценка эффективности использования природных глинистых материалов и минералов, направленно обогащенных ионами металлов (пилларированных), для модификации свойств природных полимеров, к которым относится шерстяное волокно.

Специфика строения шерстяного волокна, имеющего поверхностный чешуйчатый слой, амфотерный аминокислотный состав кератина обуславливает возможность фиксации на его поверхности мелкодисперсной фракции алюмосиликатов, что создает условия для получения качественно новых технологических эффектов. На кафедре ХТВМ ИГХТУ разработан способ обработки шерстяных материалов водной дисперсией нерастворимых алюмосиликатов. Их предварительно измельчают, погружают шерсть в дисперсию и с помощью шейкер-установки при комнатной температуре добиваются равномерного распределения и фиксации микрочастиц на поверхности волокна.

Проведенные ранее исследования показали, что придаваемые шерстяному волокну характеристики определяются не только свойствами самих алюмосиликатов, но и природой содержащихся в них примесей - соединений металлов. Установлено, что хорошие протекторные свойства по отношению к волокнам проявляют те глинистые минералы, которые в качестве примесей содержат до 20 % оксида титана ( $TiO_2$ ). Поэтому для придания шерсти новых функциональных свойств была предпринята обработка ее дисперсией модифицированных минералов, т.е. искусственно обогащенных необходимыми элементами. Был взят  $TiO_2$ -пилларный монтмориллонит, полученный интеркаляционными методами с гидротермальным воздействием и механической активацией исходной слоистой матрицы.

В работе проведена оценка гранулометрического состава нативных и пилларных минералов, определен размер частиц в водной дисперсии как сразу после приготовления, так и после длительного отстаивания. Установлено, что любая из дисперсий содержит частицы, сопоставимые по размеру с микропорами шерстяного волокна (250-600 нм). Однако «поведение» пилларных минералов при отстаивании отличается от природных глин: если природный минерал ожидаемо «роспускается», заметно уменьшая размер частиц, у пилларных глин количество крупных частиц при отстаивании может увеличиваться.

Сравнение сорбции пилларных и природных глин шерстяным волокном методом СЭМ-анализа показало, что порошки природных минералов фиксируются в основном по краям и сколам чешуек шерстяного волокна. В отличие от них, модифицированный диоксидом титана монтмориллонит равномерно распределяется по всей поверхности шерсти. Доказано прочное закрепление частиц минералов на шерстяном волокне. Установлено, что обработка шерсти  $TiO_2$ -монтмориллонитом позволяет в большей степени повысить ее устойчивость к гниению и инсоляции, чем обработка природными глинами. Протекторные свойства алюмосиликатов зависят от способа их изготовления.

Полученные в ходе работы результаты имеют важное практическое значение и могут быть использовано для производства технических изделий из натуральной шерсти, фильтровальных и защитных материалов.

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ХЛОПКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА СОРБЦИЮ ИОНОВ $\text{Cu(II)}$

Студентка 1 курса магистратуры Вокурова Д.А.

Руководитель профессор, д.х.н. Никифорова Т.Е.

Ивановский государственный химико-технологический университет

*fresh-limon@mail.ru*

Загрязнение биосферы в результате деятельности человека приводит к увеличению выбросов тяжелых металлов, вызывая серьезное беспокойство во всем мире [1]. Увеличение содержания тяжелых металлов в сточных водах выше предельно допустимых концентраций ведет к повышению опасности для флоры и фауны. Поэтому для обеспечения безопасности сточные воды необходимо очищать [2]. Существующие методы очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов включают химическое осаждение, электрофлотацию, ионный обмен и обратный осмос [3]. В последние годы сорбционный метод рекомендуется в качестве экономичной технологии очистки сточных вод, а сорбенты на основе целлюлозы проявляют селективность, легко регенерируются, обладают высокоразвитой поверхностью.

Цель работы состояла в исследовании процесса сорбции ионов  $\text{Cu(II)}$  химически модифицированным целлюлозным волокном из водных растворов.

Процесс модифицирования целлюлозы углеродными нанотрубками представлен на схеме.

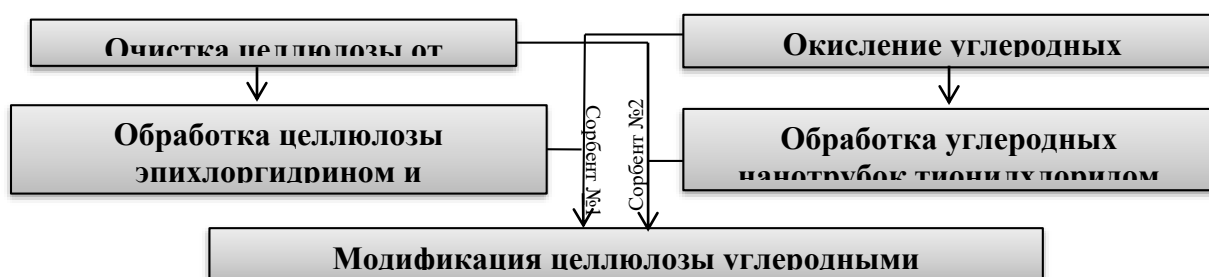


Схема. Модифицирование целлюлозы углеродными нанотрубками.

Об успешной прививке углеродных нанотрубок на целлюлозу свидетельствует изменение окраски целлюлозы. Для обнаружения изменений, возникающих в процессе модифицирования целлюлозы углеродными нанотрубками, были использованы ИК-спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, элементный анализ, метод динамического рассеяния света. Сорбцию ионов меди(II) в водном растворе сульфата меди до и после сорбции определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе VGP. Разработанные сорбенты могут быть предложены в качестве альтернативы промышленным катионитам для доочистки водных растворов от ионов тяжелых металлов.

### Литература

1. Рогозин М.Ю., Бекетова Е.А., Молодой ученый. 2018, 25 (211), С. 1–4.
2. Селюкова С.В., Достижения науки и техники АПК. 2020. Том 34. № 8. С. 85 – 93.
3. Семенов А.Ф., Либерман Е.Ю., Колесников В.А., Успехи в химии и химической технологии. 2020. Том 34. № 4. С. 83–86.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ДОЛИ НАПОЛНИТЕЛЯ В ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ ПО МАСЛО- И ОЛИГОМЕРОЁМКОСТИ

Студентка 1 курса магистратуры Дергунова Е.Р.

Руководитель профессор Симонов-Емельянов И.Д.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА*  
*dergunova.kat2017@yandex.ru*

В настоящее время основной задачей при производстве дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов (ДНПКМ) является получение композиций с заданным комплексом свойств. При производстве ДНПКМ важно учитывать основные характеристики наполнителей: удельную поверхность ( $S_{уд.}$ ), форму ( $k_e$ ) и размер частиц ( $d$ ), максимальное содержание наполнителя ( $\varphi_m$ ) [1].

Параметр  $\varphi_m$  можно определить несколькими методами: по данным насыпной плотности, по кривые уплотнения дисперсных частиц под давлением, по пористости ДНПКМ (метод трех концентраций). Однако, каждый из этих методов имеет недостатки, связанные с образованием прочных структур частицами  $<50$  мкм, а также с трудоёмкостью и необходимостью использования дорогостоящего оборудования [1].

Нашей целью является разработка новой универсальной методики для определения максимального содержания наполнителя по масло- ( $X$ ) и олигомероемкости ( $Y$ ).

В качестве дисперсных частиц в работе были исследованы наполнители на основе частиц диоксида кремния разного размера (белая сажа марки БС-50; SIKRON SF800; диоксид кремния марки Ковелос 35/05; кварц молотый пылевидный марок Кварц-10, Кварц 20, и Кварц А; микрошарик стеклянный полнотелый марки МСП – 55). В качестве связующего использовались: эпоксидная смола DER-330 (Dow Chemical Company, США); масло льняное техническое (ГОСТ 5791-81, Россия).

В работе представлена новая методика определения максимального содержания наполнителя ( $\varphi_m$ ) по масло- и олигомероемкости, основанная на ГОСТ 21119.8-75. В качестве критерия получение пасты заменяется формированием из дисперсного наполнителя и масла монолитного шара с матовой поверхностью (см. рис.).

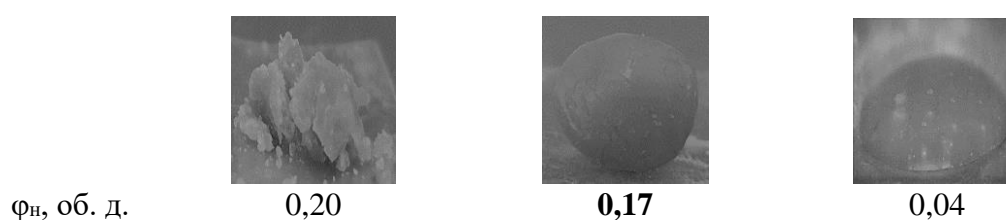


Рис. Фото формирования монолитного шара из дисперсного наполнителя и льняного масла с  $d = 9$  мкм

Проведен сравнительный анализ значений ( $\varphi_m$ ), установленных разными способами (по кривым уплотнения, по насыпной плотности, по маслоёмкости и по олигомероемкости). Установлены зависимости масло – ( $X$ ), олигомероемкости ( $Y$ ) и параметра ( $\varphi_m$ ) от диаметра частиц ( $d$ ) различных дисперсных наполнителей, на основе диоксида кремния.

## Литература

1. Simonov-Emelyanov I.D., Kharlamova K.I, Theor. Found. Chem. Eng, 2020. Vol. 54. N 6.

# НОВЫЙ ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ С НАПОЛНИТЕЛЯМИ, СТИМУЛИРУЮЩИМИ БИОРАЗЛОЖЕНИЕ

Студент 2 курса магистратуры Дмитриев К.Е.

Руководитель доцент Коротнева И.С.

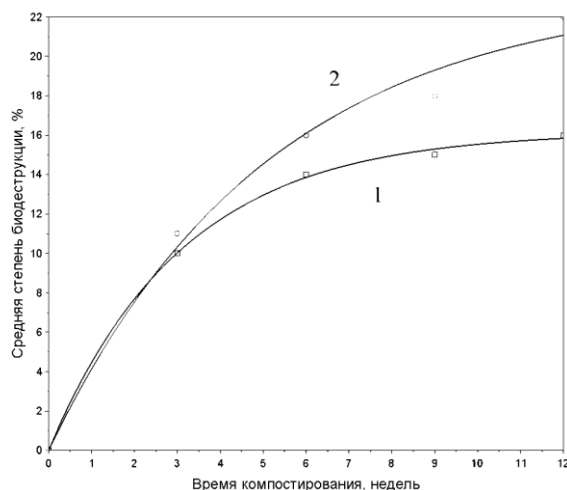
Ярославский государственный технический университет

*kirill1998d@gmail.com*

Перчатки, упаковочные материалы, одноразовые медицинские приспособления имеют короткий срок применения, иногда исчисляющийся минутами. За последнее десятилетие на мусорных полигонах в Российской Федерации скопилось около 4 млн. т. полимерных отходов [1], а на переработку была направлена лишь малая доля из указанного количества.

Для решения этой задачи предлагается технология получения нового полимерного композиционного материала (ПКМ) для изготовления маканых изделий, способного биоразлагаться после использования с образованием экологически приемлемых соединений.

В ходе исследования разработан способ изготовления биодеструктируемых полимерных пленок на основе искусственного латекса цис-1,4-полиизопрена, который позволяет получать ПКМ с регулируемым временем эксплуатации. Создана рецептура латексной композиции для изготовления маканых изделий, разработана методика их получения и вулканизации. Получены образцы полимерных пленок с различным содержанием наполнителей, стимулирующих биоразложение ПКМ.



1 – ПКМ без наполнителя; 2 – ПКМ с био-наполнителем

Рис. Зависимость биодеструкции ПКМ от времени компостирования.

Используя методику ГОСТ Р 57225-2016, показана возможность биодеструкции ПКМ (рис.), доказано отсутствие токсического воздействия продуктов разложения полимерного материала на рост высших растений в соответствии с ГОСТ Р ИСО 18763-2019. Микробиологический анализ почвы до и после экспозиции полимерного материала в соответствии с МУК 4.2.3695-21 показал, что биоразложение ПКМ происходит с участием микровицетов – деструкторов.

Литература

1. Васильева Н.Г. Вестник КТУ, 2013. Том. 58.

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЧАСТИЦ ПРИ ГЕТЕРОФАЗНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ВИНИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ В ПРИСУТСТВИИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ПАВ

Студентка 1 курса магистратуры Кун А.Д.

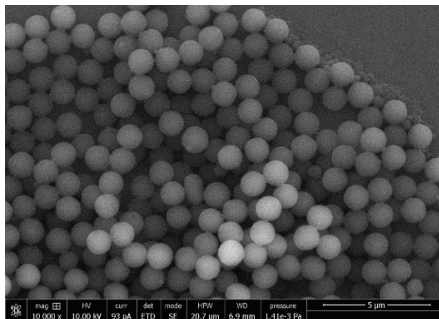
Руководитель профессор д.х.н. Грицкова И.А.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА  
alyona.kunb@gmail.com*

Функциональные полимерные микросферы широко используют в различных областях деятельности, в том числе медицине и биотехнологии. Для возможности практического использования полимерных микросфер они должны иметь определенный набор свойств. Поэтому в настоящее время остается актуальной проблема синтеза функциональных полимерных микросфер с заданными свойствами.

В ранее опубликованных работах было показано, что объемное соотношение фаз мономер/вода, концентрация ПАВ и инициатора, а также природа ПАВ существенно влияют на кинетические закономерности полимеризации виниловых мономеров и свойства полученных полимерных суспензий [1-3]. Можно думать, что температура полимеризации тоже является очень важным параметром, от которого зависит время формирования частиц, их устойчивость, диаметр, и молекулярная масса полимера, определяющая прочность межфазного слоя, образованного на их поверхности частиц, однако таких данных в литературе нет.

Цель нашей работы состояла в изучении влияния температуры полимеризации в присутствии кремнийорганических ПАВ различного строения на диаметр полимерных частиц, их распределение по размерам, агрегативную устойчивость и формирование полимерно-мономерных частиц в процессе полимеризации.



Фотографии частиц ПММА при 100% конверсия мономера и температуре 50-70°C

В работе показано, что при изменении температуры полимеризации от 50 до 70 диаметр полистирольных и полиметилметакрилатных суспензий изменяется от 0,4 до 1,1 мкм, при этом сохраняется их агрегативная устойчивость и узкое распределение частиц по размерам. Таким образом, при полимеризации виниловых мономеров в присутствии кремнийорганических ПАВ можно регулировать диаметр полимерных частиц и их распределение по размерам путем контроля температуры на начальной стадии полимеризации.

## Литература

1. Gritskova I.A., Ezhova A.A., Chalykh A.E., Colloid and Polymer Science, 2021. P. 299.
2. Гомзяк В.И., Артамонова Н.Е., Ковтун И.Д., Высокомол. соед., Б, 2020. Том 62. С. 1.
3. Gritskova I.A., Kopylov V.V., Milushkova E.V., Silicon, 2015. Vol. 7. N 2.

# ОГНЕТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ ЭЛАСТОМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНДИЕНОВОГО КАУЧУКА, СОДЕРЖАЩИЕ АППРЕТИРОВАННЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ МИКРОВОЛОКНА

Студентка 5 курса Мальнева А.Д.

Руководители профессор Новопольцева О.М., инженер Крюкова Д.А.  
*Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного  
технического университета*  
*dasha.antarius@yandex.ru*

В настоящее время в огнетеплозащитных эластомерных композициях (ОТЗМ) широко используются волокнистые наполнители различной природы. Их отличительная характеристика – усиление процессов коксообразования на границе раздела «волоконно–эластомерная матрица» и формирование прочной структуры коксового слоя. Однако в литературе отсутствуют систематические исследования влияния природы минеральных волокон на эксплуатационные свойства эластомерных композиций. Поэтому предпринято исследование влияния природы минеральных микроволокон (каолиновых, керамических, кварцевых, кремнезёмных, базальтовых, углеродных и асбестовых) на вулканизационные и эксплуатационные свойства эластомерных ОТЗМ. В ходе работы микроволокна аппретировали боратом метилфосфита и фосфорхлорсодержащим диметакрилатом, которые являются высокоэффективными антипиренами, а также продуктом взаимодействия дициандиамина и диметилфосфита.

Целью данной работы является разработка огнетеплозащитного эластомерного материала на основе СКЭПТ-40, содержащего минеральные микроволокна (МВ), аппретированные фосфорсодержащими соединениями.

С введением микроволокон повышается важнейший показатель ОТЗМ – термо- и эрозионностойкость: время прогрева поверхности образца до 100 °С увеличивается в среднем на 20-40 %, а потеря массы образцов после воздействия высокотемпературных скоростных газовых потоков снижается в среднем на 35 %, что можно объяснить эффектом микроармирования. Однако вулканизаты, содержащие кремнезёмные, кварцевые и базальтовые волокна, характеризуются относительно бóльшим значением потери массы, что вероятно связано с отсутствием в их составе коксо- и порообразующих оксидов, например, оксида бора. Материал, содержащий каолиновые микроволокна (КаВ), характеризуется наибольшей эффективностью по комплексу упруго-прочностных и теплозащитных свойств. Это можно объяснить тем, что отличительной особенностью КаВ является меньшее значение аспектного соотношения, что повышает степень диспергирования микроволокон в объёме материала.

Аппретирование МВ замедляет скорость прогрева образца при высокотемпературных испытаниях за счёт образования более равномерной коксовой структуры с меньшим диаметром пор по сравнению с образцом, содержащим неаппретированные волокна. Средний диаметр пор в предпиролизной зоне уменьшается с 320-470 мкм до 90-100 мкм. Образцы, содержащие аппретированные микроволокна, имеют меньший диаметр пор и более узкое распределение пор по диаметрам. Стойкость, образовавшегося пенокоса, к эрозионному уносу с введением микроволокон в состав ОТЗМ повышается за счет армирующего эффекта.

*Работа финансирована Минобрнауки РФ (гос. задание FZUS-2021-0013), а также стипендией Президента РФ молодым учёным и аспирантам (СП-1507.2022.1).*



## СИНТЕЗ ПОЛИМЕРОВ И СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПЕРФТОРЭФИРОВ ДИЦИКЛОПЕНТАДИЕНА

Студентка 1 курса магистратуры Манзюк К.Е.

Руководитель доцент к.х.н. Мананкова А.А.

*Национальный исследовательский томский политехнический университет  
kem3@tpu.ru*

Полидициклопентадиен (ПДЦПД) – это пространственно сшитый полимер, получаемый метатезисной полимеризацией с раскрытием цикла из дициклопентадиена. ПДЦПД обладает уникальной жесткостью и ударной прочностью, а также низкой плотностью и находит применение в автомобильной и тракторной промышленности, авиа- и судостроении. По физико-механическим свойствам немодифицированный ПДЦПД представляет собой полимерный материал с выраженным пределом текучести при растяжении, подверженный пластическим деформациям. Введение в мономер модифицирующих добавок позволяет варьировать физико-механические характеристики исходной полимерной матрицы, что, в свою очередь, позволяет расширить возможности применения материалов на основе ПДЦПД. Композитные материалы на основе ПДЦПД обладают более низким водопоглощением и значительно более высокой химической стойкостью в агрессивных средах по сравнению с эпоксидными и полиэфирными матрицами [1,2].

Полимеры, модифицированные фторированными соединениями, благодаря повышенной прочности и низкому коэффициенту трения, широко применяются в качестве конструкционных материалов для изготовления различных деталей. Стойкость к химическим агентам и старению обусловила возможность их применения в химической промышленности и строительстве в качестве антигерметических, водоотталкивающих, химически стойких, смазочных и электроизоляционных материалов [3].

Целью нашей работы является синтез перфторэфиров дициклопентадиена, полимеров и сополимеров на их основе. Нами разработана методика синтеза 7-трифторацетил-бицикло-[3,2,1]-дек-1-ена – продукта взаимодействия ДЦПД и трифторуксусной кислоты.

Проведена очистка полученного продукта реакции от непрореагировавших компонентов и смолистых веществ методом экстракции органическим растворителем. С помощью методов ТСХ, ГХМС, ЯМР-<sup>1</sup>H и ИК-спектроскопии установлена и подтверждена структура продукта, выход которого составляет 78,9 %.

### Литература

1. Зайкова А.Г. Актуальные проблемы науки и полимерах. 2020. С. 20.
2. Афанасьев В.В. Высокомолекулярные соединения. Серия С, 2019. №1. С. 20-31.
3. Toyoko Imae. Fluorinated polymers, 2003. Vol. 8. N 3. P. 307-314.

## РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ СОЛЯМИ АЛЮМИНИЯ

Студентка 2 курса магистратуры Павленко Е.В.

Борисов С.В., к.т.н., доцент

*Волгоградский государственный технический университет  
pavlenkoew@mail.ru*

Объектом исследования являются композиции на базе смесей реакционноспособных эпоксидных олигомеров, фосфата алюминия и активного разбавителя Лапроксид – 201Б.

Цель работы заключается в разработке рецептуры связующего для создания полимерных композитов на основе эпоксидных олигомеров, модифицированных фосфатом алюминия.

В результате физико-механических испытаний полученных образцов выявлено, что наилучшими характеристиками обладают материалы, в рецептуре которых содержание фосфата алюминия находится в пределах 1,10 – 3,85 масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидной смолы ЭД-20. Максимальные значения разрушающего напряжения и модуля упругости при статическом изгибе составляют 57,0 МПа и 3,1 ГПа, соответственно. В зависимости от содержания ФА значения других показателей для полимерных композитов находятся в пределах: кислородный индекс 21,5 – 24,5 % об., деформационная теплостойкость по Вика 86,5 – 91,0 °С, плотность 1181 – 1183 кг/м<sup>3</sup>, твердость (Шор Д) 73 – 86 единиц.

Для увеличения технологичности связующего в его рецептуру было введено 10 масс. ч. активного разбавителя Лапроксид – 201Б, характеризуются твердостью по Шор Д 61 – 75, значениями кислородного индекса 22 – 24 % об. В ходе физико-механических испытаний определено, что разрушающее напряжение и модуль упругости при статическом изгибе составили 56,3 МПа и 3,1 ГПа соответственно. При этом время жизнеспособности полученной композиции возросло втрое. Для связующего отмечено снижение вязкости, что может оказать положительный эффект в ходе получения полимерных композиционных материалов, например методом вакуумной инфузии.

Комплекс достигаемых показателей предопределяет перспективу применения эпоксидных смол, модифицированных фосфатами алюминия, в технологии изготовления полимерных композиционных материалов.

## РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ ЭМБОЛИЗАЦИИ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ

Студентка 1 курса магистратуры Решетняк Д.В.

Руководитель д.х.н. Жаворонок Е.С.

Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА

*y.darach@yandex.ru*

Эмболизация – малоинвазивная процедура, которую применяют для лечения различных сосудистых патологий, остановки кровотечений, предоперационной подготовки пациентов, а также используют в противоопухолевой терапии. При проведении эмболизации осуществляют направленную окклюзию кровеносного сосуда специальными материалами [1, 2].

Среди современных эмболизирующих материалов особый интерес представляют жидкие агенты, в состав которых входят нерастворимый в воде биосовместимый полимер и биосовместимый водорастворимый органический растворитель. При попадании такой композиции в кровь происходит формирование твердого эмбола за счет экстрагирования органического растворителя в водную среду. Полученный эмбол в процессе застывания глубоко проникает в кровеносное русло и эффективно закупоривает сосуды разного диаметра. Визуализацию эмбола в организме пациента и контроль процедуры чаще всего осуществляют рентгенологически, за счет наличия специальных рентгеноконтрастных добавок.

Зарубежные эмболизирующие жидкие агенты, представленные на рынке (например, Опух®, РНП<sup>TM</sup> и др.), имеют высокую стоимость и постоянную рентгеноконтрастность, которая не всегда необходима. Российские же аналоги таких составов отсутствуют. Поэтому целью нашего исследования стала разработка и изучение отечественного препарата для эмболизации кровеносных сосудов со временной рентгеноконтрастностью *in vivo*.

В качестве полимерной основы был выбран ацетат целлюлозы фармацевтического качества; в качестве рентгеноконтрастного вещества использовали органорастворимые йодированные производные растительных масел, разрешенные ко внутрисосудистому применению. В качестве водорастворимого органического растворителя использовали диметилсульфоксид.

Исследования проводили методами ротационной и капиллярной вискозиметрии, УФ-видимой спектрофотометрии, рентгеноскопии и сканирующей электронной микроскопии.

В результате исследований показано, что растворы ацетата целлюлозы с концентрацией полимера ниже 10 мас.% проявляют ньютоновское поведение. Определены оптимальные концентрации ацетата целлюлозы (3 и 6 мас.%) и рентгеноконтрастного вещества (10 мас.%) в составе эмболизирующего агента. Установлено, что модельные составы сохраняют рентгеноконтрастность *in vivo* в течение 7 суток, а в сосуде формируют сплошной плотный эмбол, надежно блокирующий кровоток.

### Литература

1. Lord J., Britton H., Spain S.G., Lewis A.L. J. Mater. Chem. 2020. Vol. 8. P. 8207.
2. Ayad M., Eskioglu E., Mericle R. Expert Review of Medical Devices. 2006. Vol. 3. N 6. P.705.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОГЕЛЕЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ АРИЛ-ЗАМЕЩЕННЫМИ ПОРФИРИНАМИ

Студент 1го курса магистратуры Смирнов А.С.

Руководитель: к.х.н. Печникова Н. Л.

*Ивановский государственный химико-технологический университет*

*aleksa-smr@mail.ru*

Благодаря своим уникальным свойствам гидрогели широко применяются в различных отраслях науки и техники. Высокое содержание воды в гидрогелях делает их совместимыми с большинством биологических тканей, а их вязкоупругая природа сводит к минимуму повреждения окружающих тканей при имплантации в организм. Кроме того, благодаря высоким сорбционным характеристикам гидрогели успешно применяются в промышленности для очистки сточных вод, а также в сельском хозяйстве.

Целью исследования является синтез гидрогелей на основе акриламида (АА), имеющих в своем составе 5,10,15,20-тетракис-(5-(4'-аллилокси)-фенил)-порфирин или 5-(4'-аллилокси)-фенил)-10,15,20-трифенилпорфирин. Гидрогели были получены реакцией радикальной сополимеризации акриламида с тетра- или моно-*мезо*-замещенными порфиринами в растворе с использованием микроволнового излучения. В качестве сшивающего агента применяли N,N'-метилен-*бис*-акриламид (МБА).

Одной из основных характеристик гидрогелей является содержание гель-фракции в синтезированных соединениях. Было показано, что в зависимости от количества, вводимого МБА и природы порфиринового мономера получают гидрогели с различным содержанием гель-фракции. При использовании тетра-*мезо*-замещенного порфирина получают гидрогели с большим содержанием низкомолекулярных фракций по сравнению с гидрогелями, имеющими в своем составе моно-*мезо*-замещенный порфирин.

Так как сорбция воды и других жидкостей является основным свойством гидрогелей, было проведен сравнительный анализ сорбционной способности полученных гидрогелей в зависимости от количества сшивающего агента и от природы вводимого порфирина. В качестве параметров оценки сорбционных свойств синтезированных соединений использовали «содержание воды» (WC, %) и «коэффициент набухания» (SR, %). Было установлено, что при увеличении содержания МБА в гидрогелях наблюдается уменьшение значений WC и SR. Введение порфиринов в гидрогели также приводит к уменьшению данных параметров в сравнении с немодифицированными гидрогелями. При этом использование тетра-*мезо*-замещенного порфирина оказывает большее влияние на коэффициент набухания по сравнению с моно-*мезо*-замещенным порфирином, а значения WC синтезированных порфиринсодержащих гидрогелей находятся практически на одном уровне независимо от количества и природы используемого порфирина.

Таким образом, варьирование природы порфиринов и соотношения исходных компонентов позволяет целенаправленно получать разнообразные гидрогели, обладающие различными сорбционными свойствами, которые в дальнейшем можно использовать в качестве специфических сорбентов.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания (проект № FZZW-2020-0008).*

# РАЗРАБОТКА ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СКИ-3 С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Студент 2 курса магистратуры Чернышов С.В.

Руководитель д.т.н., профессор Люсова Л.Р.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА  
chernyshov\_s@mirea.ru*

Синтетический изопреновый каучук марки СКИ-3 является незаменимым полимером для изготовления большого количества изделий из эластомеров. Он является аналогом натурального каучука (НК), но по структуре полимера, а не по свойствам. Основным недостатком промышленного синтетического изопренового каучука по сравнению с НК является низкая когезионная прочность резиновых смесей, которая важна при заготовительно-сборочных операциях в производстве шин или других резиновых изделий. Поэтому разработка отечественного материала, способного заменить импортный натуральный каучук в эластомерных композиционных материалах, является своевременной и актуальной задачей [1,2].

Нашей целью является разработка резиновых смесей с улучшенными технологическими свойствами, в том числе когезионной прочности, и резин с повышенной усталостной выносливостью на основе отечественного изопренового каучука СКИ-3 путем совмещения каучуков СКИ-3 с СКД-777, а также изучение влияния технологических параметров смешения на когезионную прочность.

На основании проведенных исследований разработаны эластомерные материалы на основе смеси каучуков СКИ-3 с СКД-777 с соотношением 80:20, которые характеризуются повышенной когезионной прочностью и повышенной усталостной выносливостью (табл.).

Таблица. Основные полученные показатели эластомерных материалов.

	НК	СКИ-3	СКИ-3+СКД-777
Когезионная прочность, МПа	0,65	0,11	0,54
Усталостная выносливость, тыс. циклов	8,37	11,89	18,38

На основе анализа проведенных исследований была определена технология и режим изготовления наполненных резиновых смесей на основе смеси каучуков СКИ-3 с СКД-777. Показано, что при изготовлении резиновой смеси в резиносмесителе максимальная когезионная прочность достигается при температуре 107 °С.

Таким образом, показана возможность улучшения свойств эластомерных материалов на основе синтетического изопренового каучука и возможность импортозамещения натурального каучука в изделиях, особенно, эксплуатирующихся в условиях динамических нагрузок.

## Литература

1. Аксенов В.И., Каучук и резина. 2021, Том 80. № 2. С. 86-97.
2. Чернышов С.В., Люсова Л.Р., Золотарев В.Л., Тезисы докладов XXVI научно-практической конференции «Резиновая промышленность. Сырье. Материалы. Технологии». - М.: ООО "НИЦ "НИИШП". 2021. - С. 73-74.

Номинация 2 «Исследования и разработки по химической технологии»

Секция «Технология биологически активных соединений»

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ СКРИНИНГА, ПОЛУЧЕНИЯ И АНАЛИЗА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КРИСТАЛЛОВ**

**Студент 2 курса магистратуры Бойцов Д.Е.**

Руководитель к.х.н. Манин А.Н.

*Ивановский государственный химико-технологический университет*

*denboycov11@gmail.com*

Поскольку большинство лекарственных веществ состоят из неполярных органических молекул, они плохо растворяются в воде и ограниченно проникают сквозь клеточные мембраны. С целью улучшения растворимости лекарственных веществ в воде используют различные подходы, в частности применение комплексов с циклодекстринами, образование аморфных форм, получение солей и сокристаллов. Сокристалл – это твёрдое тело, которое представляет собой однородную кристаллическую фазу, состоящую из двух или более молекулярных, или ионных компонентов в стехиометрическом соотношении.

Известно большое число методов скрининга и получения многокомпонентных кристаллов: суспензионный метод, перемалывание, сублимационный метод и другие. Важная группа методов скрининга солей и сокристаллов – термические методы. К основным методам термического скрининга солей и сокристаллов относят дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК-скрининг) и термомикроскопию. Главные преимущества этой группы заключаются в быстроте проведения скрининга и отсутствии вредных растворителей, что позволяет отнести термические методы к экологически безопасным.

В нашей работе на примере модельных соединений был проведен скрининг термическими методами и проанализирована их применимость. Было обнаружено, что термические методы дают однозначные результаты и могут быть использованы как обособленные подходы для скрининга сокристаллов и солей. Кроме того, было отмечено, что, если в системе образуются только сольватированные формы солей, ДСК-скрининг не может применяться. Эта особенность термических методов обусловлена тем, что при их использовании отсутствует растворитель. Несмотря на упомянутое ограничение применимости термических методов, они позволяют однозначно установить образуется ли в системе несольватированная форма.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-73-10005*

# СИНТЕЗ НОВЫХ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ 1,4-ДИАЗАБИЦИКЛО [2.2.2]ОКТАНА И ЦИПРОФЛОКСАЦИНА

Студент 5 курса Задворных Д.А.

Руководитель к.х.н. Королева Л.С.

Новосибирский государственный университет

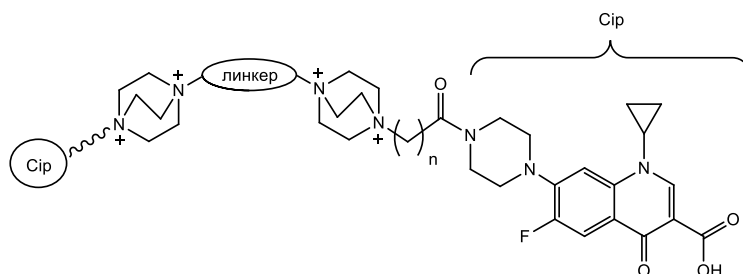
Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН

[d.zadvornykh@g.nsu.ru](mailto:d.zadvornykh@g.nsu.ru)

В связи с появлением и распространением штаммов бактерий, устойчивых практически ко всем известным антибиотикам, в настоящее время резко возросла потребность в новых антибактериальных препаратах, способных воздействовать на антибиотикоустойчивые штаммы микроорганизмов.

Ранее в Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН были получены поликатионные амфифильные соединения на основе 1,4-дизабцикло[2.2.2]октана (DABCO), которые показали высокую противомикробную активность путем воздействия на две мишени: расщепление РНК и нарушение целостности бактериальных мембран [1–3]. Широко используемый антибиотик ципрофлоксацин подавляет репликацию ДНК бактерий путем ингибирования каталитической активности ДНК-гиразы и топоизомеразы IV. Для снижения вероятности возникновения резистентности бактерий в рамках данной работы предлагается синтезировать серию конъюгатов поликатионных амфифильных соединений с ципрофлоксацином, способных воздействовать на три принципиально разные мишени одновременно.

Были разработаны методы синтеза и получены целевые соединения, содержащие два остатка DABCO и ципрофлоксацина. Соединения отличаются длиной и природой линкерной группы между остатками DABCO и расстоянием между остатками DABCO и остатком антибиотика.



Общая структура целевых соединений

Структуры подтверждены методами ЯМР и масс-спектрометрии. Исследована биологическая активность полученных веществ на грамположительных и грамотрицательных штаммах бактерий, и изучена кинетика действия наиболее эффективного соединения.

## Литература

1. Burakova E. et al., Bioorg. Chem. 2014. Vol. 57. P. 127–131.
2. Yarinich L. et al., Eur. J. Med. Chem. 2015. Vol. 95. P. 563–573.
3. Burakova E. et al., Bioorg. Med. Chem. 2016. Vol.24. P. 6012–6020.



# ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОРЕАКТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИНТЕЗЕ СОЛИ АЛКИЛЕНГУАНИДИНОВОГО РЯДА ФАРМАКОПЕЙНОГО КАЧЕСТВА

Студентка 4 курса Кириллова Д.Д.

Руководитель ассистент Айдакова А.В.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА  
tabletka757@gmail.com*

Одной из особо важных проблем в современной медицине является прогрессирующая устойчивость микробов к большинству антибактериальных препаратов [1]. Резистентность микроорганизмов стремительно нивелирует достижения в лечении таких тяжелых заболеваний, как пневмонии различной этиологии, грипп и множество бактериальных инфекций. Это привело к необходимости поиска новых антимикробных агентов и к исследованию возможности применения антисептических средств для борьбы с патогенной микрофлорой.

В качестве активного соединения предложены производные олигогексаметиленгуанидина (ОГМГ), которые обладают выраженной бактерицидной активностью и имеют несколько существенных преимуществ по сравнению с полигуанидиновыми производными.

Был предложен вариант получения производного ОГМГ с использованием микрореакторного аппаратного оснащения, которое позволяет работать с малыми объемами реагентов, делая процесс более безопасным, а также способствует более точному контролю молекулярно-массовых характеристик получаемого продукта. Описаны последовательные стадии синтеза ОГМГ гидроцитрата из ОГМГ дигидрокарбоната, полученного с использованием микрофлюидного реактора.

При получении химических веществ крайне важен процесс очистки, особенно если в дальнейшем планируется использование продукта в качестве лекарственного средства в соответствии с требованиями Государственной Фармакопеи Российской Федерации. Для оптимизации процесса очистки не всегда целесообразно проводить множество экспериментов, так как они непременно связаны с расходом реактивов, серьезными затратами времени. Во многих случаях можно прибегнуть к математическому моделированию, которое позволяет с помощью аналитической зависимости предсказать возможный исход опытов. Для моделирования процесса очистки нами был использован метод многокритериального анализа многофакторной оптимизации, в основе которого лежат экспериментальные данные. Была выдвинута гипотеза о зависимости содержания примесей, от количества растворителя и времени отстаивания, определены параметры этой зависимости и рассчитаны оптимальные значения.

В результате было установлено, что тетрахлорметан и метилхлорид не могут быть применены из-за недопустимого количества остаточных примесей. Для очистки производных ОГМГ следует использовать либо хлороформ, либо, что предпочтительней, ацетон. Данные, полученные с использованием математической модели, были подтверждены экспериментально.

## Литература

1. Свистушкин В.М., Никифорова Г.Н., Артамонова П.С., Consilium Medicum. 2020. Vol. 22. N 11. P.10-15.

## ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ АЦИКЛИЧЕСКИХ 1,2,4-ТРИАЗОЛСОДЕРЖАЩИХ АНАЛОГОВ НУКЛЕОЗИДОВ

Студентка 4 курса Михина Е.А.

Руководитель к.х.н. доцент Матвеев А.В.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА  
mik.hi@mail.ru*

Вирусные инфекции широко распространены по всему миру из-за разнообразия и изменчивости их возбудителей. В связи с этим, существует острая потребность в новых противовирусных агентах. На эту роль могут претендовать аналоги нуклеозидов, поскольку механизм их действия во многом обусловлен их структурным сходством с природными нуклеозидами. В частности, значительный интерес представляют производные рибавирин, модифицированные по 3-му положению триазольного кольца и по углеводному фрагменту.

Ключевой стадией синтеза ациклических аналогов нуклеозидов является региоселективное введение в 1,2,4-триазольное кольцо (ТК) аналогов углевода. Поэтому цель работы заключается в исследовании стадии введения ациклического углеводного фрагмента в ТК и в выявлении синтетически значимых закономерностей на примере введения метоксиметильной группы.

Алкилирование эфиров 1,2,4-триазол-3-карбоновой кислоты проводили тремя известными методами: 1) алкилирование хлорметилметиловым эфиром, с обработкой 1,2,4-триазол-3-карбоновой кислоты гидридом натрия; 2) алкилирование метоксиметилацетатом в присутствии кислого катализатора *n*-толуолсульфокислоты (TsOH); 3) алкилирование силильного производного эфиров 1,2,4-триазол-3-карбоновой кислоты метоксиметилацетатом в присутствии кислоты Льюиса. В результате оценки этих методик введения ациклических фрагментов первая и вторая методики были модернизированы. В первом случае гидрид натрия заменен на более слабые органические основания. В метод с использованием кислого катализатора, *n*-толуолсульфокислота заменена на гидрохлорид эфира 1,2,4-триазол-3-карбоновой кислоты.

В результате работы были изучены методы введения ациклического углеводного фрагмента в 1,2,4-триазольное кольцо и их региоселективность на примере двух эфиров 1,2,4-триазол-3-карбоновых кислот. Изменением условий введения оксиметильных групп удалось предложить способ, позволяющий преимущественно синтезировать эфиры N<sup>2</sup>-метоксиметил-1,2,4-триазол-3-карбоновой кислоты при алкилировании эфиров 1,2,4-триазол-3-карбоновой кислоты DIPEA хлорметилметиловым эфиром. В случае силирования и алкилирования метоксиметилацетатом солей эфиров 1,2,4-триазол-3-карбоновой кислот преобладающим изомером является N<sup>1</sup>. На модели показано, что в случае метилового и бензилового эфиров 1,2,4-триазол-3-карбоновой кислоты размер заместителя по 3-му положению 1,2,4-триазольного кольца слабо влияет на региоселективность алкилирования. Только при алкилировании эфиров 1,2,4-триазол-3-карбоновой кислоты метоксиметилацетатом в присутствии TsOH выявлено увеличение доли изомера N<sup>1</sup> в случае мало затрудненного метилового эфира.

Для препаративного применения нами предложен удобный в использовании способ введения 2-(гидроксиэтокси)метильного заместителя для синтеза ациклических аналогов нуклеозидов – метод, где в качестве катализатора применяется гидрохлорид эфира 1,2,4-триазол-3-карбоновой кислоты.

## РАЗРАБОТКА МАКРОЦИКЛИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОНОВ КАК КОМПОНЕНТОВ РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ

Студентка 1 курса магистратуры Тарасенко О.В.

Руководители к.х.н. Зубенко А.Д., аспирантка Щукина А.А.

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

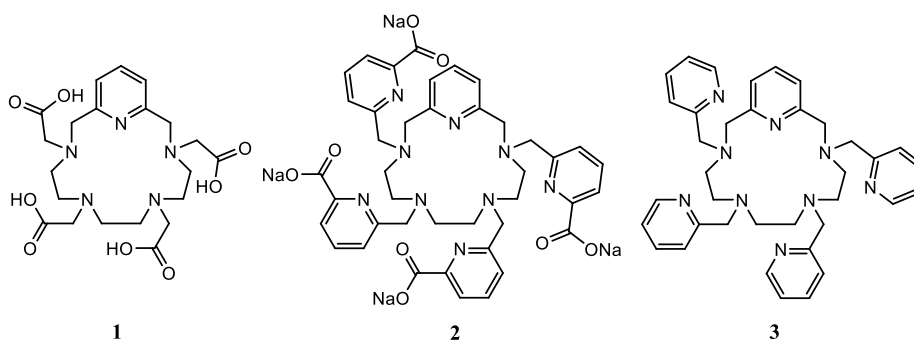
Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН

taraseoksana@yandex.ru

Одним из передовых способов лечения и диагностики онкологических заболеваний является применение радиофармпрепаратов, которые представляют собой прочные комплексы ионов радионуклидов с лигандами, пришитые к векторной биомолекуле. В настоящее время не существует комплексов, удовлетворяющих всем предъявляемым к ним требованиям, поэтому разработка новых лигандов для катионов радионуклидов является актуальной задачей. Использование пиридинсодержащих азакраун-соединений в качестве комплексонов способно обеспечить высокую термодинамическую стабильность полученных комплексных соединений, а также их химическую инертность в физиологических условиях [1].

Целью нашей работы является разработка новых хелатных производных пиридинсодержащих азакраун-соединений, способных эффективно связывать ионы различных металлов. Жесткость лиганда, влияющая на скорость комплексообразования и стабильность получившегося комплекса, обеспечена наличием в структуре пиридинского фрагмента; способность комплексона связывать ионы определенных металлов осуществляется за счет введения различных хелатирующих групп в состав азакраун-эфира.

В результате работы нами были получены три целевых макроциклических лиганда с карбоксильными, пиколиновыми и пиридинскими хелатирующими группами, структура которых была подтверждена с помощью ЯМР-спектроскопии, масс-спектрометрии и элементного анализа. Комплексообразование лиганда 1 с катионами  $Pb^{2+}$  и  $Bi^{3+}$  было изучено методом ЯМР-спектроскопии. С помощью масс-спектрометрии было доказано образование комплексов состава 1:1 лиганда 1 с  $Bi^{3+}$ , а также комплексов 3 с  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ . Были также получены константы протонирования и устойчивости комплексона 3 с катионами  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  методом спектрофотометрического титрования.



Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 18-73-10035-П.

### Литература

1. Le Fur M., Beyler M., Molnar E. Chemical Communications, 2017. Vol. 53. P. 9534-9537.

## СПИСОК ДОКЛАДОВ

### Номинация I. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ

#### Секция «Физическая и аналитическая химия»

- I-1 **Александрович Анна Станиславовна** (1 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Проточный электросинтез синтетических рецепторов на основе наночастиц боронат-замещенного полианилина для сенсоров на сахара и гидроксикислоты
- I-2 **Бышева София Михайловна** (2 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Оценка эффективности автоматизации диализной очистки водных дисперсий оксида графена
- I-3 **Жилкин Максим Вадимович** (3 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Высокоэффективные биосенсоры на основе нанозимов берлинская лазурь-гексацианоферрат никеля для неинвазивной диагностики гликемии
- I-4 **Касимовская Валерия Сергеевна** (1 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Импульсная хроноамперометрия для носимых устройств мониторинга метаболитов
- I-5 **Ларчева Екатерина Игоревна** (3 курс, Государственный университет "Дубна"). Рост кристаллов и изучение предела вхождения примесных элементов в пентландиты
- I-6 **Малюшина Полина Юрьевна** (2 курс, Государственный университет "Дубна"). Экспериментальное изучение распределения железа в системе Cu-Zn-Sn-S
- I-7 **Мацкан Полина Андреевна** (3 курс, Томский Государственный университет). Синтез композита MIL-100(Fe)/диатомит с иерархической пористой структурой и исследование его свойств
- I-8 **Машукова Юлия Андреевна** (4 курс, Санкт-Петербургский государственный университет). Термодинамическая модель для описания процесса сорбции редкоземельных металлов
- I-9 **Нотфуллин Айрат Альбертович** (3 курс, Казанский (Приволжский) федеральный университет). Термодинамические характеристики испарения сложных эфиров нормальных алифатических спиртов и бензойной кислоты
- I-10 **Осипов Артем Сергеевич** (3 курс, Санкт-Петербургский горный университет). Кинетические и термодинамические характеристики сорбции сероводорода железомарганцевыми материалами
- I-11 **Попов Егор Андреевич** (4 курс, Государственный университет "Дубна"). Изучение фазовых отношений в системе Ru-As-Te при температурах 350°C, 450°C и 550°
- I-12 **Рыжов Игорь Витальевич** (3 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Строение и энергетика металлокомплексов на основе тетрапиррольных макроциклов
- I-13 **Сидоров Евгений Александрович** (4 курс, Государственный университет "Дубна"). Исследование гидрофильных квантовых точек физико-химическими методами анализа
- I-14 **Смирнова Арина Викторовна** (4 курс, Государственный университет "Дубна"). Синтез перовскитных кристаллов различного состава для оптоэлектронных устройств

I-15 **Шокова Мария Андреевна** (3 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Эффективность усиления флуоресценции анизотропными наночастицами с несколькими плазмонными модами при двухфотонном возбуждении

#### Секция «Неорганическая химия и материаловедение»

I-16 **Артамонов Кирилл Александрович** (3 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Получение фотокаталитически активных материалов на основе нитрида углерода с гептазиновой структурой

I-17 **Бешкарева Татьяна Сергеевна** (2 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Синтез золь твердых растворов на основе диоксида церия, стабилизированных тетрапиррольными макроциклами

I-18 **Васильев Арсений Андреевич** (2 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Синтез иодоантимонатов (III) и полииодидов гидроксипиперидинов

I-19 **Гладких Арсений Юрьевич** (1 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Использование эффекта плазмонного резонанса для увеличения электролюминесцентных свойств комплексов тербия

I-20 **Жернаков Максим Александрович** (3 курс, Казанский (Приволжский) федеральный университет). Синтез, структура, люминесцентные свойства и термическая стабильность комплексов иттербия (III) с ароматическими дииминами

I-21 **Каберник Никита Сергеевич** (3 курс, МИРЭА – Российский технологический университет). Комплексные соединения цинка с тиосемикарбазидом: синтез, свойства и цитотоксичность.

I-22 **Карпов Иван Андреевич** (3 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Лактаты 3d металлов как прекурсоры для получения пленок ZnO по методу MOCSO: изучение комплексообразования с диэтилентриамином

I-23 **Коробков Степан Михайлович** (3 курс, Химический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова). Функционализированные порфирины для новых гибридных материалов

I-24 **Ли Кэшу** (4 курс, Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне). Синтез замещенных ванадатов железа с катионами Sc, Al и Ga и изучение распределения легирующих добавок методом мессбауэровской спектроскопии.

I-25 **Ли Цзяли** (4 курс, Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне). Получение композитного материала на основе целлюлозы и слоистых гидроксидов Gd и Tb

I-26 **Манин Андрей Дмитриевич** (2 курс, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»). Селективный перенос одновалентных анионов гибридными мембранами с частицами фосфата церия

I-27 **Михеева София Романовна** (2 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Синтез и свойства ионной жидкости состава тетрахлороманганат (II) 2-(метиламмония)этанола

- I-28 **Москаленко Александра Константиновна** (2 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Химическая модификация гибридных йодоплюмбатов йодидом 1,4-бутандиаммония для повышения их стабильности
- I-29 **Муравьев Денис Вадимович** (2 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Высококоэрцитивные наночастицы гексаферрита стронция, замещенного марганцем и коллоидные растворы на их основе
- I-30 **Пермякова Анастасия Евгеньевна** (4 курс, Уральский федеральный университет). Синтез и каталитические свойства сложнооксидных материалов  $\text{LaO.9MO.1MnO}_3$  (M - щелочной металл)
- I-31 **Разворотнева Лада Сергеевна** (2 курс, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»). Методы синтеза сложных оксидов в системе  $\text{La}_2\text{O}_3\text{-CoO-Sb}_2\text{O}_5$  с различной структурой и изучение их каталитических свойств
- I-32 **Соколова Анастасия Николаевна** (3 курс, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Фотокаталитические свойства наночастиц  $\text{Y}_{1-x}\text{V}_x\text{FeO}_3$  ( $0 \leq x \leq 0.15$ )
- I-33 **Сошников Мирослав Вадимович** (2 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Синтез наночастиц эpsilon-оксида железа
- I-34 **Степанова Анна Владимировна** (3 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова).  $\text{Fe}_5\text{AsTe}_2$  – новый слоистый теллурид на основе железа: синтез, кристаллическая структура и магнитные свойства
- I-35 **Стешенко Дмитрий Александрович** (2 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Синтез и кристаллическая структура новых представителей семейства фторотрифтороацетатометаллатов калия для ряда РЗЭ (Nd-Lu)
- I-36 **Султановская Александра Станиславовна** (2 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Синтез и магнитные свойства однодоменных частиц гексаферрита, легированных галлием
- I-37 **Чжан Цзяцзе** (4 курс, Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне). Синтез и мессбауэровское исследование локальной кристаллографической структуры семейства пироксенов состава  $\text{AFeX}_2\text{O}_6$  (A = Li, Na, X = Si, Ge)
- I-38 **Чжао Чжюань** (4 курс, Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне). Восстановление структуры слоистого гидроксида иттрия после термического отжига
- I-39 **Чистяков Григорий Дмитриевич** (2 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Синтез, кристаллическое строение и магнитные свойства новых нитратных комплексов кобальта и марганца
- I-40 **Шаульская Мария Денисовна** (3 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Изучение термического поведения и температурно-зависимой люминесценции нового металлоорганического каркаса

### Секция «Органическая, биоорганическая и элементоорганическая химия»

- I-41 **Бардонов Даниил Аркадьевич** (3 курс, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»). Полифенилциклопентадиенильные комплексы редкоземельных элементов с гетероциклическими N-донорными лигандами
- I-42 **Богданов Ильшат Медхатович** (4 курс, Казанский (Приволжский) федеральный университет). Получение политриазольных частиц на основе новых амфифильных ННС-производных каликс[4]аренов, содержащих оксиэтилазидные/пропаргильные фрагменты
- I-43 **Вепрева Анастасия Сергеевна** (4 курс, Санкт-Петербургский государственный университет). Необычная димеризация 3-диазо-2-арилиденсукцинимидов
- I-44 **Ворожцов Артем Павлович** (4 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Сэндвичевые комплексы (18-краун-6)стильбена с диаммонииоалканами: термодинамическая устойчивость и фотохимия
- I-45 **Габитова Элина Ринатовна** (4 курс Казанский (Приволжский) федеральный университет). Синтез, структура и биологические свойства производных тиазоло[3,2-а]пиримидинов и тиазоло[4,3-а]пиримидинов
- I-46 **Гусева Анастасия Ильинична** (1 курс, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева). Разработка подходов к синтезу двухпалубных гетеролептических комплексов иттрия (III) с (тетра-(15-краун-5)-октабутоксид)-оксантреноцианином.
- I-47 **Ильющенко Матвей Кириллович** (4 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Новая стратегия сборки электронодефицитных циклогептатриенов с использованием каскадных процессов
- I-48 **Калашникова Варвара Михайловна** (3 курс, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева). Электрохимический мультикомпонентный синтез спироциклопропилпиразолонов
- I-49 **Кобелев Андрей Дмитриевич** (4 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Фоторедокс-катализируемое трехкомпонентное тиол-ин-ен сочетание
- I-50 **Кожихов Андрей Александрович** (4 курс, Казанский (Приволжский) федеральный университет). Синтез, структура и свойства бензилиденовых производных тиазоло[3,2-а]пиримидин-2,3-дионон
- I-51 **Мансурова Элина Эльшатовна** (4 курс, Казанский (Приволжский) федеральный университет). Наноситель, функционированный по поверхности метилурациловыми и виологеновыми фрагментами для векторной доставки доксорубина
- I-52 **Никулин Всеволод Олегович** (2 курс, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»). Получение гибридного материала на основе катионного порфирина и силикагеля

- I-53 **Харитонов Владимир Борисович** (4 курс, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева). Синтез и каталитическая активность инденильных комплексов родия
- I-54 **Шремзер Екатерина Сергеевна** (3 курс, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»).  $\beta$ -Функционализация макроцикла порфирина как перспективное направление создания новых типов фотокатализаторов

#### **Секция «Химия полимеров и коллоидных систем»**

- I-55 **Гринь Константин Николаевич** (3 курс, Государственный университет "Дубна"). Особенности травления и модификации АПТЭС трековых мембран для дальнейшего использования при изготовлении биосенсоров
- I-56 **Гришанович Илья Андреевич** (4 курс, Северный (Арктический) федеральный университет). Определение особенностей химической структуры лигнина двудольных трав методами двумерной спектроскопии ЯМР
- I-57 **Жарская Нина Александровна** (2 курс, Санкт-Петербургский государственный университет). Инкапсуляция фосфоресцентного комплекса платины(II) в полимерные мицеллы: новый подход к созданию оптических ИК-сенсоров на кислород
- I-58 **Каракчиева Анастасия Олеговна** (2 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Получение наночастиц золота в присутствии углеродных наночастиц
- I-59 **Лившиц Софья Олеговна** (2 курс, МГУ имени М.В. Ломоносова). Синтез медьсодержащих наночастиц в липосомах

#### **Номинация II. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

##### **Секция «Общая химическая технология, основной органический и нефтехимический синтез»**

- II-1 **Андронов Константин Сергеевич** (1 курс магистратуры, МИРЭА-Российский технологический университет). Влияние условий проведения кавитационной обработки нефтепродуктов на выход фракций с температурой кипения до 400 С
- II-2 **Исмагилов Руслан Радикович** (1 курс магистратуры, Башкирский государственный университет). Оптимизация условий получения 4,4-диметил-1,3-диоксана по Принсу в присутствии углеродсодержащих пористых материалов
- II-3 **Кабанова Виктория Сергеевна** (5 курс специалитета, Ярославский государственный технический университет). Разработка эффективного способа получения метилэтилкетона на основе доступного нефтехимического сырья
- II-4 **Расторгуева Мария Сергеевна** (4 курс, МИРЭА-Российский технологический университет). Титансиликалиты - катализаторы эпоксидирования алкенов
- II-5 **Соснина Дарья Вячеславовна** (1 курс магистратуры, Национальный исследовательский Томский политехнический университет). Совместная переработка прямогонной дизельной фракции и подсолнечного масла на цеолитном катализаторе



- II-6 **Степанова Екатерина Александровна** (1 курс магистратуры, Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева). Выделение ксенона из углеводородсодержащих газовых смесей с помощью метода направленной газогидратной кристаллизации
- II-7 **Филева Мария Николаевна** (4 курс, Самарский государственный технический университет). Кинетика этерификации яблочной кислоты н-бутанолом в условии гомогенного и гетерогенного катализа
- II-8 **Чайкина Яна Игоревна** (1 курс магистратуры, Национальный исследовательский Томский политехнический университет). Магнитная система для разделения стойких и аномальностойких водонефтяных эмульсий
- II-9 **Чикалин Владимир Юрьевич** (1 курс магистратуры, МИРЭА-Российский технологический университет). Разработка принципиальной технологической схемы узла гидрирования фракции с5 пиролиза
- II-10 **Чичева Дарья Сергеевна** (4 курс, Самарский государственный технический университет). Исследование кинетических закономерностей реакции этерификации монокарбоновых кислот неопентилгликолем

#### **Секция «Технология неорганических веществ и материалов»**

- II-11 **Барabanов Никита Максимович** (4 курс, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)). Использование метода глицин-нитратного горения для синтеза сложнооксидных смесей в вяжущих системах и их применение. Моделирование и описание процессов горения.
- II-12 **Бузина Дарья Витальевна** (1 курс магистратуры, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)). Использование квантовой химии как технологического инструмента для разработки процесса синтеза ванадийоксидных структур на поверхности кремнезема
- II-13 **Изварин Андрей Игоревич** (2 курс магистратуры, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова). Синтез и исследование электрохимических свойств гибридных электродных материалов для суперконденсаторов
- II-14 **Капинос Александр Александрович** (2 курс магистратуры, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева). Прямой синтез наночастиц Cu, Cu@Cu<sub>2</sub>O и CuO из объемного образца методом индукционной потоковой левитации.
- II-15 **Меженин Александр Владимирович** (3 курс, Томский политехнический университет). Разработка составов и технологии стеатитовой керамики на основе прекурсоров фторированного талька

- II-16 **Пашкова Дарья Сергеевна** (1 курс магистратуры, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»). Получение сплава полу-Гейслера на основе tinisn методом механохимического синтеза
- II-17 **Ратовский Вадим Юрьевич** (1 курс магистратуры, Химический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова). МОСVD мультиферроидных эпитаксиальных гетероструктур на основе гексагонального феррита лютеция
- II-18 **Сидякина Лидия Евгеньевна** (2 курс магистратуры, Воронежский государственный университет). Очитка поверхности холоднокатаных палладиево-медных мембран, используемых в технологии получения сверхчистого водорода
- II-19 **Усов Владислав Вадимович** (2 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Синтез и исследование катализатора-хемосорбента очистки природного газа от сернистых соединений.
- II-20 **Цымбалист Ирина Николаевна** (3 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Получение катализатора синтеза метанола механохимическим способом
- II-21 **Яковенко Анастасия Андреевна** (4 курс, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова). Получение оксидных покрытий для интерконнекторов твердооксидных топливных элементов с использованием переменного асимметричного тока

#### **Секция «Технология полимеров и материалов на их основе»**

- II-22 **Быков Федор Андреевич** (2 курс магистратуры, Ивановский государственный химико-технологический университет). Модификация свойств кератин содержащих полимеров с применением алюмосиликатов
- II-23 **Вокурова Дарья Андреевна** (1 курс магистратуры, Ивановский государственный химико-технологический университет). Влияние химического модифицирования хлопковой целлюлозы на сорбцию ионов Cu(II)
- II-24 **Дергунова Екатерина Романовна** (1 курс магистратуры, МИРЭА-Российский технологический университет. Определение максимальной доли наполнителя в дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалах по масло- и олигомероемкости
- II-25 **Дмитриев Кирилл Евгеньевич** (2 курс магистратуры, Ярославский государственный технический университет). Новый полимерный композиционный материал со стимулирующими биоразложение наполнителями
- II-26 **Кун Алена Дмитриевна** (1 курс магистратуры, МИРЭА-Российский технологический университет). Влияние температуры на формирование частиц при гетерофазной полимеризации виниловых мономеров в присутствии кремнийорганических ПАВ
- II-27 **Мальнева Анастасия Дмитриевна** (5 курс, Волжский политехнический институт (*филиал*) *Волгоградского государственного технического университета*). Огнетеплозащитные

эластомерные материалы на основе этиленпропилендиенового каучука, содержащие аппретированные минеральные микроволокна

- II-28 **Манзюк Карина Евгеньевна** (1 курс магистратуры, Национальный исследовательский Томский политехнический университет). Синтез полимеров и сополимеров на основе перфторэфиров дициклопентадиена
- II-29 **Павленко Екатерина Викторвна** (2 курс магистратуры, Волгоградский государственный технический университет). Разработка полимерных композитов на основе эпоксидных олигомеров, модифицированных солями алюминия
- II-30 **Решетняк Дарья Владимировна** (1 курс магистратуры, МИРЭА-Российский технологический университет). Разработка отечественного препарата на основе ацетата целлюлозы для эмболизации кровеносных сосудов
- II-31 **Смирнов Александр Сергеевич** (1 курс магистратуры, Ивановский государственный химико-технологический университет). Исследование сорбционных характеристик гидрогелей, модифицированных арил-замещенными порфиринами
- II-32 **Чернышов Сергей Вячеславович** (2 курс магистратуры, МИРЭА-Российский технологический университет). Разработка эластомерных материалов на основе СКИ-3 с улучшенными технологическими и эксплуатационными свойствами

#### **Секция «Технология биологически активных соединений»**

- II-33 **Бойцов Денис Евгеньевич** (2 курс магистратуры, Ивановский государственный химико-технологический университет). Применение термических методов для скрининга, получения и анализа многокомпонентных кристаллов
- II-34 **Задворных Данила Андреевич** (5 курс специалитета, Новосибирский государственный университет). Синтез новых антибактериальных препаратов на основе 1,4-диазабицикло[2.2.2]октана и ципрофлоксацина
- II-35 **Кириллова Дарья Дмитриевна** (4 курс, МИРЭА-Российский технологический университет). Применение микрореакторного оборудования и математического моделирования в синтезе соли алкиленгуанидинового ряда фармакопейного качества
- II-36 **Михина Екатерина Алексеевна** (4 курс, МИРЭА-Российский технологический университет). Подходы к синтезу ациклических 1,2,4-триазолсодержащих аналогов нуклеозидов
- II-37 **Тарасенко Оксана Владимировна** (1 курс магистратуры, Российский химико-технологический университет имени Д.И.Менделеева). Разработка макроциклических комплексонов как компонентов радиофармпрепаратов



XXXII МЕНДЕЛЕЕВСКАЯ  
ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
11–13 МАЯ 2022  
МОСКВА

Сборник тезисов

Подписано к использованию 19.05.2022.  
Объем 8,7 Мбайт. Электрон. текстовые данные.

