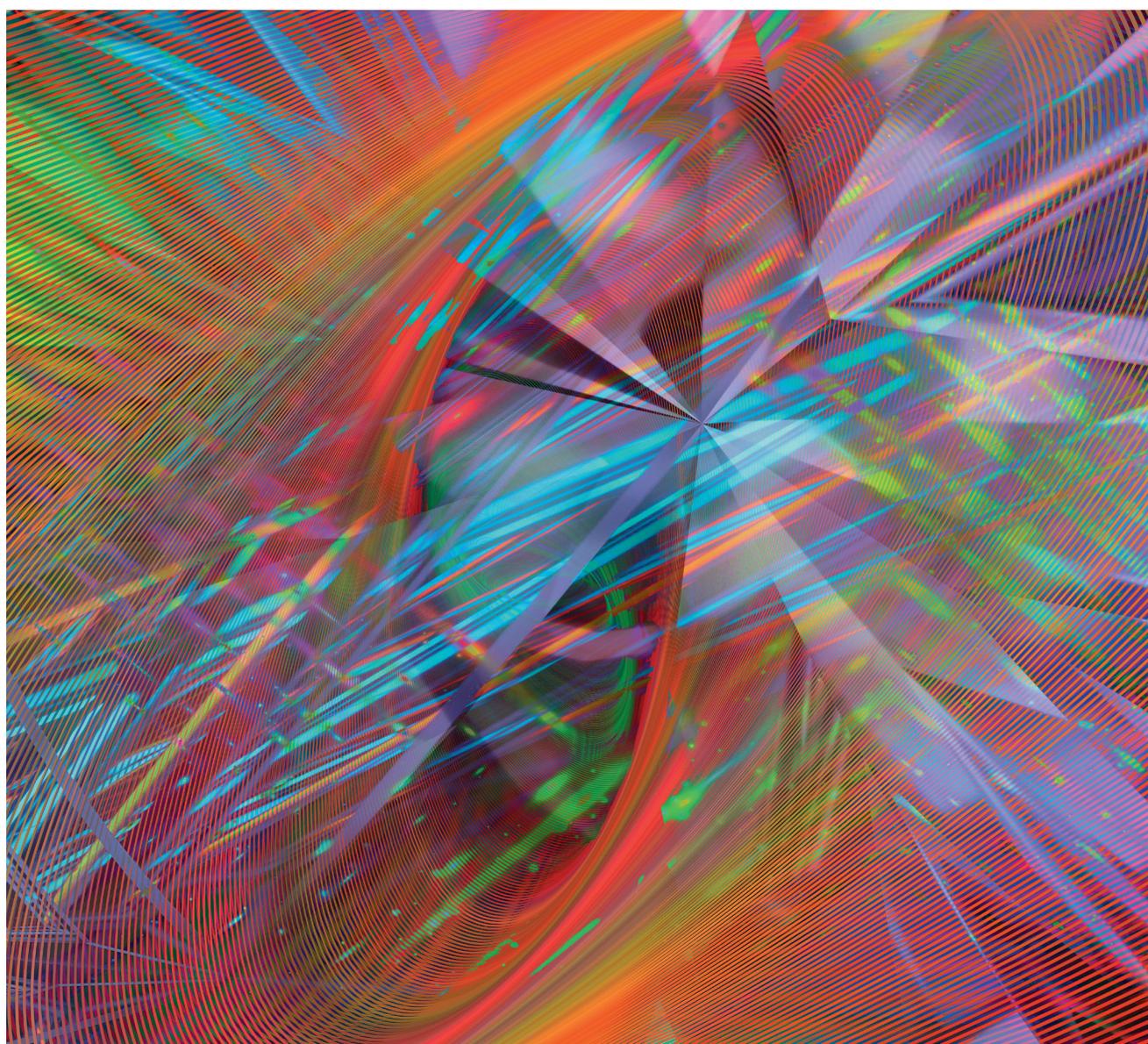




**XXXIII МЕНДЕЛЕЕВСКАЯ  
ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
16-20 АПРЕЛЯ, 2023 ГОДА  
ИВАНОВО**

**ПРОГРАММА  
СБОРНИК ТЕЗИСОВ**



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Ивановский государственный химико-технологический университет



## ПРОГРАММА

**XXXIII МЕНДЕЛЕЕВСКОЙ  
ШКОЛЫ-КОНФЕРЕНЦИИ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

16-20 АПРЕЛЯ

2023 ГОДА, ИВАНОВО

УДК [54 + 66] (061.3)

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

### **РУКОВОДИТЕЛИ СЕКЦИЙ:**

кандидат химических наук, научн. сотр. **Д.И. Бугаенко**

доктор технических наук, профессор **М.А. Ваниев**

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**

доктор технических наук, профессор **А.К. Фролкова**

доктор химических наук, вед. научн. сотр. **О.А. Шляхтин**

**ISBN 978-5-9616-0588-4**

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

В I туре конкурса участвовало 178 работ студентов из 37 вузов 25 городов РФ, Казахстана и КНР. На основании независимых рецензий жюри определило 98 работ, которые прошли во II тур. Им предстоит защищать свои работы на XXXIII школе-конференции молодых учёных в Иваново.

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.

© ФГБОУ ВО «Ивановский государственный  
химико-технологический  
университет», 2023

## ОРГАНИЗАТОРЫ:



Некоммерческое партнерство «Содействие химическому и экологическому образованию»



Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова



Ивановский государственный химико-технологический университет

## ПАРТНЕРЫ:

- Российская академия наук
- Институт органической химии имени Н.Д. Зелинского РАН
- МИРЭА – Российский технологический университет
- Институт химии растворов имени Г.А. Крестова РАН
- Ивановский государственный университет
- Ивановский государственный политехнический университет
- Лаборатория ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований, Дубна.
- Российское химическое общество имени Д.И. Менделеева
- Центр «НаукаПресс» (журнал «Химия и жизнь»)
- Правительство Ивановской области

## СПОНСОРЫ:



## УВАЖАЕМЫЙ КОЛЛЕГА!

Мы рады приветствовать Вас на ежегодном форуме лучших студентов-химиков России, Казахстана и КНР – Менделеевской школе-конференции молодых ученых, в рамках которой проводятся заключительные этапы

**XXXIII Всероссийского Менделеевского конкурса студентов-химиков.**

XXXIII Менделеевскую школу-конференцию принимает у себя  
Ивановский государственный химико-технологический университет (ИГХТУ)

Адрес ИГХТУ: Иваново, Шереметевский проспект, д.7

**Желаем Вам успешной и плодотворной работы на конференции,  
новых друзей и новых идей!**

*Оргкомитет*

## СВЯЗЬ С ОРГКОМИТЕТОМ:

8-905-108-67-90 **Ларина Юлия Николаевна**  
ynlarina@inbox.ru

8-996-516-89- 93 **Гусев Григорий Игоревич**  
ynlarina@inbox.ru

8-926-688-6886 **Татьяна Борисовна Волкова**  
mendelev.konkurs@mesol.ru

8-910-473-6621 **Елена Сергеевна Ротина**  
Elena.rotina@mail.ru

## ОРГКОМИТЕТ

**Калмыков Степан Николаевич**

**председатель**

академик РАН, вице-президент РАН, научный руководитель Химического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова

**Гордина Наталья Евгеньевна**

**сопредседатель**

д.т.н., профессор, ректор Ивановского государственного химико-технологического университета (ИГХТУ)

**Койфман Оскар Иосифович**

**сопредседатель**

д.х.н., академик РАН, научный руководитель ИГХТУ

**Гущин Андрей Андреевич**

**зам. председателя**

д.х.н., проректор по науке и инновациям ИГХТУ

**Захаров Олег Николаевич**

**зам. председателя**

к.т.н., проректор по молодежной политике и социальным вопросам ИГХТУ

**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»

**Кобелева Наталья Александровна**

**ответственный секретарь**

Начальник управления научно-исследовательских работ ИГХТУ

**Волкова Татьяна Борисовна**

**ответственный секретарь**

к.х.н., Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

## ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА

**Базлова Ирина Юрьевна**

ведущий программист к.х.н., ИГХТУ

**Гусев Григорий Игоревич**

технический секретарь  
к.х.н., научный сотрудник ИГХТУ

**Ларина Юлия Николаевна**

Секретарь локального организационного комитета к.х.н., старший преподаватель ИГХТУ

**Малясова Алёна Сергеевна**

к.х.н., старший научный сотрудник ИГХТУ

**Путятин Андрей Владимирович**

Руководитель отдела маркетинга химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

# ПРОГРАММА

---

## 16 АПРЕЛЯ (ВОСКРЕСЕНЬЕ)

---

Гостиница «Турист», г. Иваново, ул. Набережная, д. 9  
Контактный телефон: +7 (4932) 26-01-65

- 08.00—20.00** **Заезд участников конференции в Иваново**  
Встреча, размещение и регистрация участников
- 12.00—15.00** **Обед**
- 15.00—18.00** Прогулки-экскурсии по Иваново небольшими группами.  
Экскурсии проводят студенты ИвГУ
- 17.00—19.00** **Ужин**
- 

## 17 АПРЕЛЯ (ПОНЕДЕЛЬНИК)

---

Главный корпус ИГХТУ, Шереметевский проспект, д. 7,  
аудитория Г-203

- 09.00—10.30** **Регистрация участников, размещение стендовых докладов**
- 10.00—10.30** **Торжественное открытие конференции**
- 10.30—11.00** **Кофе-пауза**
- 11.00—14.00** **Стендовая сессия**
- 14.00—14.30** «Карьера в ФосАгро». **Представитель компании ФосАгро**
- 14.30—15.30** **Обед**
- 15.30—16.30** **Заседание жюри.** Обсуждение и подведение итогов  
стендовой сессии
- 15.30—16.30** **Лекция** «Материалы солнечной энергетики: "рабочие  
лошадки" и битва за Олимп». **Алексей Борисович Тарасов**,  
к.х.н., заведующий лабораторией новых материалов для  
солнечной энергетики, Факультет наук о материалах  
МГУ имени М.В. Ломоносова
- 16.15—17.00** **Кофе-пауза**
- 17.00—18.00** **Знакомство с ИГХТУ**
- 18.00—18.30** **Объявление результатов стендовой сессии**  
Ответы жюри на вопросы участников конференции
- 18.30—19.00** **Ужин**
- 19.00—20.00** **Мастер-класс** «Как делать доклады»  
**Леонид Владимирович Ромашов**, к.х.н. научный сотрудник  
ИОХ имени Н.Д. Зелинского РАН

# ПРОГРАММА

## 18 АПРЕЛЯ (ВТОРНИК)

Главный корпус ИГХТУ, Шереметевский проспект, д. 7,  
аудитория Г-203

09.00—09.40	<b>Лекция.</b> «Карьера химика». <b>Алексей Валерьевич Лесив</b> , директор по развитию компании «СОЛЬВЕКС»
09.40—10.20	<b>Лекция.</b> «Новые высокотехнологичные знания как основа для формирования профессии будущего и устойчивых производственных цепочек». <b>Представитель компании ФосАгро</b>
10.20—11.20	<b>Устные доклады</b>
11.20—11.40	<b>Кофе-пауза</b>
11.40—13.40	<b>Устные доклады</b>
13.40—14.40	<b>Обед</b>
14.40—16.00	<b>Устные доклады</b>
16.00—16.20	<b>Кофе-пауза</b>
16.20—17.40	<b>Устные доклады</b>
18.00—19.00	<b>Ужин</b>
19.00—21.00	<p><b>1) Мастер-класс:</b> «Ментальные ловушки метакогнитивной эффективности» (Как перестать лениться и начать думать)» <b>Михаил Евгеньевич Торшинин</b>, к.пед.н., доцент. Руководитель Центра психолого-педагогической помощи «ХИМ-ЭРА: Рост. Созидание. Вера»</p> <p><b>2) Интеллектуальная игра:</b> «Междисциплинарный прорыв» <b>Юлия Геннадьевна Кириллова</b>, к.х.н., доцент. Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова — РТУ МИРЭА; <b>Михаил Александрович Маслов</b>, д.х.н., директор Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова — РТУ МИРЭА</p>

## 19 АПРЕЛЯ (СРЕДА)

Главный корпус ИГХТУ, Шереметевский проспект, д. 7,  
аудитория Г-203

09.00—09.40	<b>Лекция.</b> «Прогрессивные «зеленые» технологии крашения и отделки текстиля». <b>Наталья Петровна Пророкова</b> , д.т.н., профессор, главный научный сотрудник Института химии растворов имени Г.А. Крестова РАН
09.40—11.20	<b>Устные доклады</b>
11.20—11.40	<b>Кофе-пауза</b>
11.40—13.40	<b>Устные доклады</b>

# ПРОГРАММА

---

## 19 АПРЕЛЯ (СРЕДА)

---

13.40—14.40	<b>Обед</b>
14.40—16.00	<b>Устные доклады</b>
16.00—16.20	<b>Кофе-пауза</b>
16.20—18.00	<b>Заседание жюри.</b> Подведение итогов Менделеевского конкурса.
16.20—17.20	«Какова химия, такова жизнь!» <b>Юлия Германовна Горбунова</b> , д.х.н., академик РАН, главный научный сотрудник Института физической химии имени А.Н. Фрумкина
17.20-18.00	<b>Лекция.</b> «Лидерство в науке и несколько советов начинающим исследователям». <b>Румянцев Евгений Владимирович</b> , д.х.н., ректор Ивановского государственного политехнического университета
19.30—22.00	<b>Праздничный Ужин</b>

## 20 АПРЕЛЯ (ЧЕТВЕРГ)

---

	Главный корпус ИГХТУ, Шереметевский проспект, д. 7, Хим-Холл
09.30—14.00	<b>Автобусная экскурсия в Палех</b>
14.00—15.00	<b>Обед</b>
16.00—18.00	<b>Торжественное закрытие</b> Объявление победителей XXXIII Всероссийского Менделеевского конкурса студентов-химиков
18.00	<b>Отъезд участников</b>



**Ивановский государственный химико-технологический университет** берет своё начало от Химического факультета Иваново-Вознесенского политехнического университета – первого технического вуза Советской России, созданного в 1918 году. В 1930 году на базе Химического факультета ИВПИ был создан самостоятельный вуз – Ивановский химико-технологический институт, в 1993 году переименованный в академию, а в 1998 году – в университет. В 2023 году ИГХТУ отмечает свое 105-летие.

ИГХТУ – многопрофильное высшее учебное заведение с высококвалифицированными кадрами и современной материально-технической базой, осуществляющее качественную подготовку специалистов по широкому спектру технических, технологических, естественнонаучных направлений и IT-индустрии для предприятий и организаций Российской Федерации.

За годы своего существования вуз подготовил свыше 60 000 инженеров, более 1 200 кандидатов наук и около 200 докторов наук. Выпускники Ивановского Химтеха успешно работают во многих отраслях промышленности: химической, оборонной, машиностроительной, приборостроительной, текстильной и других; именно они стояли у истоков создания новых отраслей – производства пластмасс, химических волокон, электронной техники. Сегодня химтеховцы составляют основу инженерного корпуса большинства предприятий химической промышленности России. Научные кадры, подготовленные в ИГХТУ, успешно трудятся в преподавательских коллективах вузов, академических и отраслевых научных институтах.

ИГХТУ осуществляет подготовку студентов более чем по 50 программам бакалавриата, магистратуры и аспирантуры.

Вуз идет в ногу со временем: внедрены сетевые, дистанционные, электронные формы обучения; активно используются в учебном процессе практико-ориентированные модели образования, созданы базовые кафедры, проводится подготовка кадров для предприятий оборонно-промышленного комплекса.

Университет имеет тесные контакты с промышленными предприятиями и фирмами – около 300 предприятий-партнеров! Выпускники ИГХТУ – это люди думающие, умеющие бороться за успех, работать в команде, работать на результат. Востребованность выпускников ИГХТУ в последние годы значительно превышает численность выпуска.

Университет является крупным центром фундаментальной и прикладной науки в области химии, химической технологии и химического машиностроения. На базе университета зародились и успешно работают всемирно известные научные школы в области термодинамики и строения растворов, энергетики и структуры молекул в газовой фазе, химии макрогетероциклических соединений и порфиринов, научных основ катализа и текстильной химии, физикохимии плазмы и плазмохимических процессов. В структуре вуза 2 научно-исследовательских института, 20 подразделений научно-производственного и научно-исследовательского характера, 8 научно-образовательных и инновационных центров.

Эффективно работают 4 диссертационных совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и доктора наук.

В вузе издаются высокорейтинговые научные журналы – «Известия вузов. «Химия и химическая технология»» (включенные в мировую базу данных Web of Science и Scopus), «Макрогетероциклы», «Российский химический журнал» РХО им. Д.И. Менделеева, «Известия вузов. Проблемы экономики, финансов и управления производством», а также региональное приложение к журналу «Современные наукоемкие технологии» РАЕ.

Университет поддерживает долгосрочные научные контакты с научными центрами и ведущими международными университетами в рамках межправительственных соглашений, прямых договоров и договоров о сотрудничестве, участвует в программах обмена студентами и преподавателями.

За свою историю ИГХТУ завоевал высокое и заслуженное признание в стране и за рубежом. В 1980 году вуз награжден орденом Трудового Красного Знамени. В 1987 году Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР Ивановский химико-технологический институт отнесен к ведущим вузам СССР, как вуз, выполняющий научные исследования важного народнохозяйственного значения. В 2005 году Распоряжением Президента РФ ИГХТУ объявлена благодарность за большой вклад в развитие науки и подготовку высококвалифицированных специалистов.

ИГХТУ занимает лидирующие позиции среди российских вузов в рейтингах Минобрнауки РФ РИНЦ, SCImago World Report, Web of Science, Scopus, Webometrix и других российских и зарубежных рейтинговых агентств и баз данных.

ИГХТУ активно живет и развивается. Ведь на гербе его написано «Chimia est vita», что означает «Химия – это жизнь».

**НОМИНАЦИЯ I  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ**



**СЕКЦИЯ  
«ФИЗИЧЕСКАЯ И  
АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ»**

# ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ИМПРИТИРОВАННОГО 2-МЕТОКСИАНИЛИНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМОКСИЦИЛЛИНА

Студент 3 курса Абдуллин Я.Р.

Руководитель доцент Яркаева Ю.А.

Уфимский университет науки и технологий

freepoison258@gmail.com

Антибиотики являются одним из важнейших терапевтических классов, которые используются для лечения и профилактики бактериальных инфекций человека. Чрезмерное их использование привело к распространению этих соединений в экосистемах и продуктах питания, что привело к снижению их эффективности из-за развития бактерий, устойчивых к антибиотикам. Это дополнительно стимулирует развитие методов анализа антибиотиков.

В нашей работе для определения амоксициллина (АМХ) был разработан сенсор на основе стеклоуглеродного электрода (СУЭ), модифицированный оксидом графена (ОГ) и молекулярно-импринтированным 2-метоксианилином (МИПМОА).

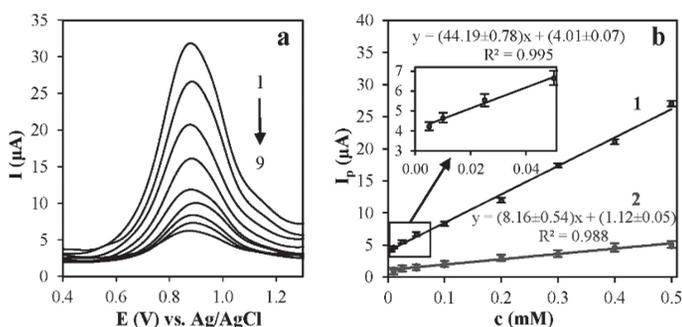


Рис. 1. КВВ на СУЭ/ОГ/МИПМОА раствора АМХ с различной концентрацией; (b) соответствующие градуировочные графики на МИП (1) и НИП (2) сенсорах (ФБР, 20 мВ/с, n = 5, P = 0.95)

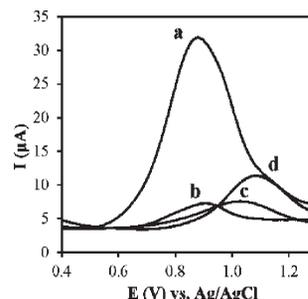


Рис. 2. КВВ на СУЭ/ОГ/МИПМОА в 0.5 мМ растворах АМХ (а), цефтриаксона (b), бензилпенициллина (с) и ампициллина (d)

На рис. 1а в виде квадратно-волновых вольтамперограмм (КВВ) в растворе амоксициллина различных концентраций. На рис. 2 КВВ на СУЭ/ОГ/МИПМОА в 0.5 мМ растворах амоксициллина (а), цефтриаксона (b), бензилпенициллина (с) и ампициллина (d). Результаты демонстрируют высокую чувствительность и селективность разработанного сенсора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Yarkaeva Yu.A., Maistrenko V.N., Dymova D.A., Zagitova L.R., Nazrov M.I. *Electrochimica Acta*. 2022. Vol. 433. 141222.

# СОСТОЯНИЕ В РАСТВОРАХ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ ХЛОРИНОВОГО И ФОРБИНОВОГО ТИПА С МИЦЕЛЛЯРНЫМИ И ПОЛИМЕРНЫМИ НОСИТЕЛЯМИ

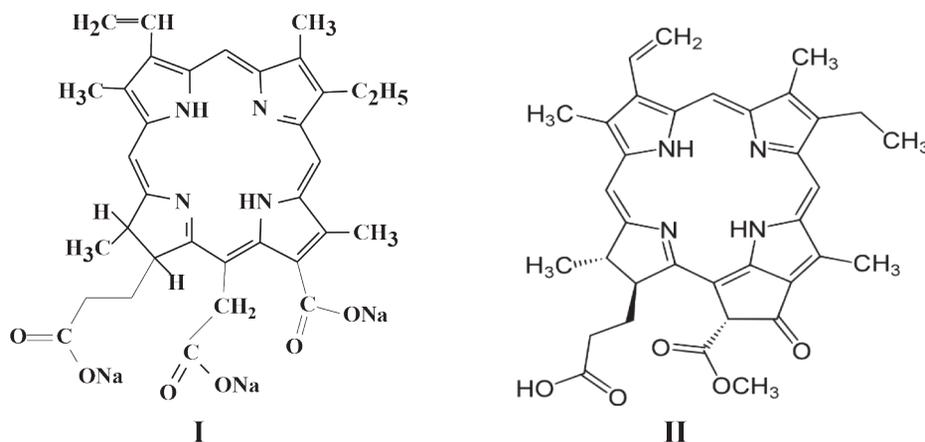
Студентка 2 курса Бондарева Т.В.

Руководитель доцент Шухто О.В.

Ивановский государственный химико-технологический университет

tanabondareva203@gmail.com

Метод фотодинамической терапии (ФДТ) используется для лечения опухолевых заболеваний и устойчивых бактериальных инфекций. Для реализации этого метода необходимы фотосенсибилизатор (ФС), селективно накапливающийся в атипичной клетке, видимый свет и молекулярный кислород. Наряду со способностью к генерации синглетного кислорода, перекисей и различного вида радикальных форм, одним из важнейших факторов, определяющих эффективность действия фотосенсибилизаторов (ФС), является их способность преодолевать липидные мембраны и накапливаться в органеллах клеток, либо непосредственно в цитозоле [1]. Один из недостатков известных фотосенсибилизаторов – низкая растворимость в воде и, соответственно, склонность образовывать агрегированные формы при терапевтических концентрациях, что существенно снижает эффективность метода ФДТ.



В работе представлено сравнительное исследование сольватации, агрегации и взаимодействия ФС I и II с биосовместимыми мицеллярными неионогенными (Твин 80, Pluronic P123, ПВП, ПЭГ) поверхностно-активными веществами (ПАВ). Согласно математической модели [2] спектрофотометрически рассчитаны константы связывания ФС-ПАВ, методом тушения флуоресценции определены сайты локализации ФС в мицелле.

Результаты и выводы приводятся в докладе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kustov A.V., Krestyaninov M.A., Kruchin S.O., Shukhto O.V., Kustova T.V., Belykh D.V., Khudyaeva I.S., Koifman M.O., Razgovorov P.B., Berezin D.B., Mendelev Communications, **2021**, **31**, **1**, 65–672.
2. Berezin D.B., Kustov A.V., Krest'yaninov M.A., Shukhto O.V., Batov D.V., Kukushkina N.V., J. Mol. Liq. **2019**, **263**, 49.

## ВЫБОР УСЛОВИЙ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ДИАЛИЗНОЙ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЙ ОКСИДА ГРАФЕНА

**Студентка 3 курса Бывшева С.М.**

Руководитель доцент Михеев И.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет

sophia.byvsheva@gmail.com

Оксид графена имеет широкий спектр потенциальных применений в биомедицине и экологии. Ввиду особенностей получения, этот материал загрязнен окислителями (перманганат калия, серная кислота и др.). При работе с коммерчески доступными образцами заранее неизвестен способ их получения, поэтому невозможно заранее предсказать состав загрязнителей. В оксиде графена присутствуют также побочные загрязнители – компоненты используемых для расслоения погружных зондов попадают в дисперсию. Удаление неорганических примесей из реакционного раствора реализуется путем диализа и фильтрации-центрифугирования.

Обычная фильтрация оксида графена затруднена вследствие обширного гелеобразования и сильного набухания материала в воде. Применение методов ультрафильтрации может решить часть этих проблем, при этом значительно повысив эффективность в сравнении с диализом.

Нами разработан эффективный способ очистки водных дисперсий оксида графена путем ультрафильтрации в течение 9 ч в варианте центрифужного концентрирования, что в 14 раз более эффективно в сравнении с диффузным диализом при использовании коммерчески доступных мембран с отсечкой по молекулярной массе 3 кДа. На основании полученных данных составлены методические рекомендации. Выявлена необходимость проведения предварительной активации центрифужных концентраторов (мембран) для отмывки от тяжелых металлов. Предложены оптимальные условия очистки (количество циклов очистки и отмывки), а также выбраны реагенты для снижения степени загрязнения дисперсий тяжелыми металлами (10 %  $H_2O_2$  и 0.1 М ЭДТА).



Рис. Этапы ультрафильтрации для очистки водных дисперсий оксида графена.

Методом ИСП-АЭС установлено, что применение предложенных методик очистки дисперсий оксида графена снизило общее содержание переходных металлов (Mn и Ti) до уровня десятков мкг/л, что позволяет использовать дисперсию для дальнейшего биомедицинского применения как *in vitro*, так *in vivo*.

# ДАВЛЕНИЕ ПАРА И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СУБЛИМАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОФОРМЕРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СОКРИСТАЛЛОВ

Студентка 2 курса Вигурская Т.А.<sup>1</sup>

Руководитель к.х.н. Волкова Т.В.<sup>2</sup>

*Ивановский государственный химико-технологический университет<sup>1</sup>*

*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН<sup>2</sup>*

*vigurskaya4@gmail.com*

Важнейшим аспектом разработки новых фармацевтических препаратов является исследование физико-химических свойств потенциальных кандидатов в лекарственные соединения, в том числе в кристаллическом состоянии. Хорошо известно, что процессы сольватации играют важную роль на каждой стадии переноса и доставки лекарственного средства, они определяют биофармацевтические свойства, такие как растворимость, пассивная абсорбция, мембранную проницаемость и выведение из организма. Сольватационные параметры не могут быть измерены непосредственно, но могут быть получены из экспериментов по сублимации и растворению. Энтальпия и энтропия процесса сублимации относятся к числу важнейших характеристик органических соединений в твердом виде и позволяют оценивать термодинамические свойства вещества в различных его состояниях.

Методом переноса нами впервые получены величины давления насыщенного пара для изученных веществ, являющихся потенциальными коформерами для фармацевтических сокристаллов. (Сокристалл – это многокомпонентный кристалл, в ячейке которого присутствуют молекулы двух или более различных веществ). Полученные данные открывают возможность не только исследовать их сольватационные свойства в индивидуальном состоянии, но и прогнозировать их для сокристаллов с участием различных активных фармацевтических ингредиентов. Лекарственные препараты на основе сокристаллов находят широкое применение в фармацевтике.

Метод транспирации инертного газа использовался для измерения давления паров следующих соединений: 2-(1H-имидазол-2-ил) пиридин, 2-этоксibenзамид, 3-гидроксипиридин, феноксиуксусная кислота, пиперониловая кислота, ванилиновая кислота. Для получения температуры и термодинамических характеристик плавления веществ был применен метод дифференциальной сканирующей калориметрии. Термодинамические параметры сублимации: энтальпия, энтропия и энергия Гиббса были получены из температурных зависимостей давления насыщенного пара.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zielenkiewicz X., Perlovich G., Wszelaka-Rylik M. J. of thermal analysis and calorimetry. 1999. T. 57. № 1. С. 225–234.

# ПРИРОДА ХИМИЧЕСКОГО СВЯЗЫВАНИЯ N-ОКСИДОВ ПИРИДИНА С ТРИФТОРИДОМ БОРА И КОНФОРМАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСОВ

**Студент 3 курса Викторчук Н.А.**

Руководитель профессор Белова Н.В.

*Ивановский государственный химико-технологический университет  
n\_viktorchuk@mail.ru*

Интерес к гетероциклам, содержащим N-оксидную группу вызван их биологической активностью [1], которая согласно многочисленным исследованиям, обусловлена процессами комплексообразования с металлопорфиринами в живых организмах [2]. Свойства N-оксидов зависят от природы заместителя в пиридиновом кольце [3]. В литературе обсуждается вопрос о природе взаимодействия N-оксидов с  $\nu$ -акцепторами [4]. Для комплекса 4-Me-PyO-BF<sub>3</sub> авторами [5] отмечена противоречивость структурных данных <sup>1</sup>H ЯМР в растворе DMSO-d<sub>6</sub> и PCA. Конформационное многообразие комплексов авторы связывают с возможной перегибридизацией атома кислорода sp<sup>3</sup>→sp<sup>2</sup> при переходе комплексов из одного состояния в другое.

Нами изучены комплексы 4-метилпиридин-N-оксида, 4-нитропиридин-N-оксида и 4-метоксипиридин-N-оксида с трифторидом бора (4-R-PyOBF<sub>3</sub>, R=-CH<sub>3</sub>, -NO<sub>2</sub>, -OCH<sub>3</sub>). Квантово-химическое исследование комплексов проводилось методами теории функционала плотности в приближениях M062X, B3LYP/aug-cc-pVTZ. Анализ распределения электронной плотности проведён в рамках теории Бэйдера «атомы в молекуле» QTAIM в сочетании с анализом NBO.

Получены кривые ППЭ, установлен конформационный состав и структура конформеров для комплексов N-оксидов с BF<sub>3</sub> в свободном состоянии. Установлено, что наличие акцепторного заместителя в пиридиновом кольце с одной стороны приводит к проявлению N-оксидами конформационного многообразия, а с другой стороны делает связь N—O более жёсткой и поэтому снижает комплексообразующую способность N-оксидов. Сделан вывод о преимущественно ионной природе связи между N-оксидом и  $\nu$ -акцептором. Показано, что природа заместителя не влияет на состояние гибридизации атома кислорода комплексообразующей группы, которая во всех изученных комплексах близка к sp<sup>3</sup>, независимо от реализуемой конформации. Искажение геометрии основного конформера и образование «скошенных» конфигураций, по всей вероятности, связано с возникновением внутримолекулярной водородной связи между атомом водорода пиридинового остова и атомом фтора, входящим в состав  $\nu$ -акцептора.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (грант FZZW-2020-0007).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Albini A., Pietra S., CRC Boca Raton. **1991**.
2. Arata H., Shimizu M., Takamiya K., J. Biochem. **1992**. V. 112. P. 470–475.
3. Belova N.V., Sliznev V.V., Oberhammer H., J. Mol. Struct. **2022**. V. 1255 P. 132409–132422.
4. Андреев В.П., Нижник Я.П., Координационная химия. **2007**. Т. 33 №9. С. 703–708.
5. Андреев В.П., Тафеев В.А., Ивашевская С.Н., ЖОХ. **2014**. Т. 84. С. 262–265.

# РАСПОЗНАВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНАНТИОМЕРОВ НАПРОКСЕНА С ПОМОЩЬЮ СЕНСОРА НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГРАФЕНА И МОДИФИЦИРОВАННОГО ХИТОЗАНА

**Студентка 3 курса Гайнанова С.И.**

Руководитель к.х.н. Загитова Л.Р.

*Уфимский университет науки и технологий*

*svetlanaga07@gmail.com*

Химический анализ хиральных соединений представляет особую важность в связи с различными физиологическими и терапевтическими свойствами энантиомеров лекарственных средств. В нашей работе описан новый сенсор на основе восстановленного оксида графена (rGO) и хитозана, функционализированного N-тозилпролином (TsPro-Cs) для вольтамперометрического распознавания энантиомеров нестероидного противовоспалительного лекарственного препарата – напроксена (Nap). Каждый компонент чувствительного слоя сенсора способствует улучшению его аналитических и эксплуатационных характеристик.

В ходе эксперимента были изучены электрохимические и аналитические возможности сенсора с помощью ИК-Фурье спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии, вольтамперометрии и спектроскопии электрохимического импеданса [1].

Электрохимическое распознавание и количественное определение энантиомеров Nap проводили в режиме дифференциально-импульсной вольтамперометрии (ДИВ) в диапазоне потенциалов от +0,3 В до +1,6 В. Соотношение пиков окисления по току ( $I_{R/IS}$ ) при измерениях ДИВ на конечном сенсоре достигает 1,6, а разница пиковых потенциалов (ER-ES) – 40 мВ. Предполагается, что хиральное распознавание происходит за счет стерического эффекта между TsPro-Cs и энантиомерами Nap. Согласно молекулярно-динамическому моделированию было выяснено, что энергия связи хирального селектора с молекулой аналита у R-Nap выше, чем у S-Nap на 9,5 ккал/моль. Линейный диапазон концентраций был определен в интервале от 20 до 500  $\mu\text{M}$  для обоих энантиомеров, а пределы обнаружения 0,4  $\mu\text{M}$  и 0,9  $\mu\text{M}$  были получены для R- и S-Nap соответственно. Сенсор показал хорошую воспроизводимость и правильно определил концентрации энантиомеров Nap в биологических жидкостях – урине и плазме крови человека с RSD менее 4,7 %. Также разработанный сенсор позволяет определять соотношение энантиомеров Nap в рацемической смеси. Таким образом предложенный сенсор может успешно использоваться в качестве экспресс-устройства для мониторинга на стадии производства лекарственных средств, а также мониторинга воздействия энантиомеров Nap на экосистемы и здоровье населения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 21-13-00169.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zagitova L.R., Yarkaeva Yu.A., Zagitov V.V. et al. J. of Electroanalytical Chemistry. 2022. Vol. 922. Article ID 116744.

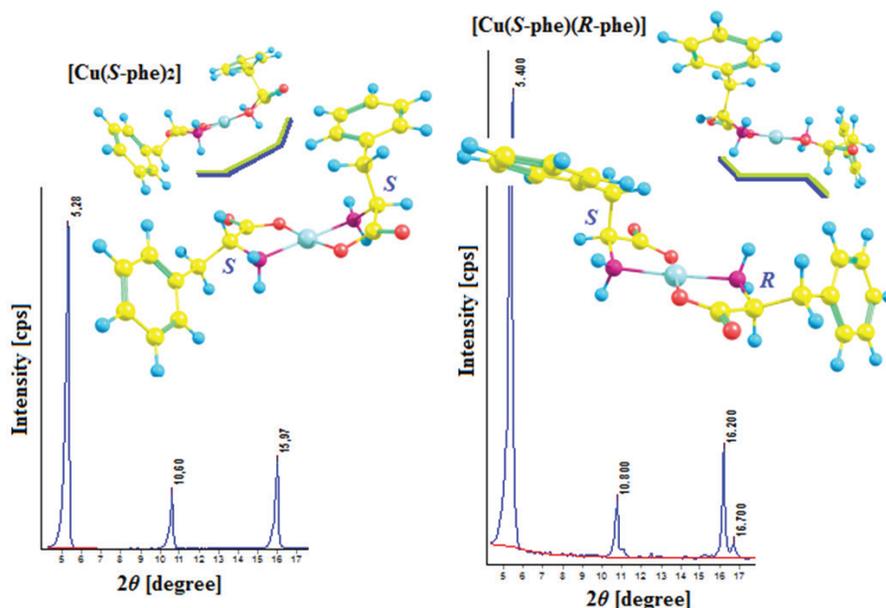
# КОНФОРМАЦИОННАЯ ИЗОМЕРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ХЕЛАТНЫХ ФЕНИЛСОДЕРЖАЩИХ АМИНОКИСЛОТНЫХ N,O-КОМПЛЕКСОВ Cu(II)

Студент 4 курса Галимов М.Н.

Руководитель доцент Берестова Т.В.  
Уфимский университет науки и технологий  
miras200181@gmail.com

Фенилсодержащие комплексы переходных металлов применяются в фармакологии и медицине, а также перспективны в качестве хиральных сенсоров и сорбентов для разделения изомеров. Поэтому целью нашей работы стал синтез, установление структуры и изучение свойств фенилаланинсодержащих комплексов переходных металлов.

Установлено, что фенильный заместитель и абсолютная конфигурация хирального центра лиганда оказывают существенное влияние на конформационный состав образующихся соединений [1–3].



Так, вовлечение в реакцию комплексообразования S-фенилаланина приводит к единственному конформеру, в котором один из лигандов располагается в аксиальной, а другой в экваториальной плоскости. А использование в реакции рацемической смеси приводит к получению смешанно-лигандного комплекса в виде двух конформеров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Berestova T.V., Khursan S.L., Mustafin A.G., J. Spectrochim. Acta, Part A. 2020, 229, 117950.
2. Berestova T.V., Gizatov R.R., Galimov M.N., Mustafin A.G., J. Molecular. Struct. 2021, 1236, 130303.
3. Zilberg R.A., Berestova T.V., Gizatov R.R., Teres Y.B., Galimov M.N., Bulysheva E.O., Inorganics, 2022, 10, 117.

## КИНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РОСТА НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА В МЕТОДЕ ИНДУКЦИОННОЙ ПОТОКОВОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Студент 4 курса Емельянов А.В.

Руководитель к.х.н. Воротынцев А.В.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
artem.emelyanov36@gmail.com

В современных исследованиях, где необходимо использовать металлические наночастицы, ставятся высокие требования к чистоте продукта, размеру частиц и их распределению по размерам. В нашей работе описан кинетический анализ роста наночастиц в потоке, построена зависимость координаты реакции роста наночастиц от среднего размера и создана модель роста зародышеобразования в реакторе индукционной потоковой левитации.

Исходя из данных ПЭМ, можно сделать вывод, что рост наночастиц происходит волнообразно. Получившиеся зародыши из сконденсированных атомов агрегируют с последующей перекристаллизацией в более крупные наночастицы, что связано со стремлением к уменьшению свободной энергии системы.

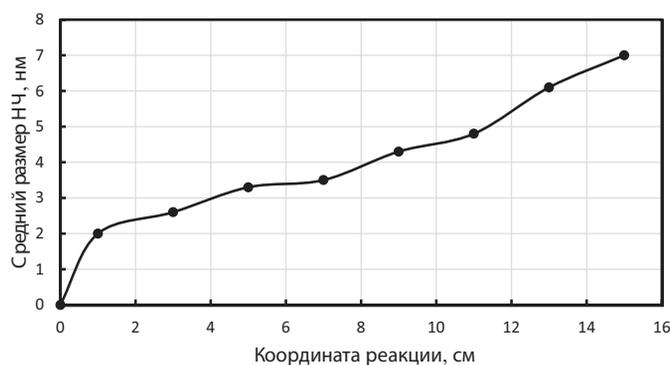


Рис. 1. Зависимость среднего размера наночастиц от координаты реакции роста наночастиц золота

Задача решалась применительно к испарению сферической капли золота, обдуваемой потоком аргона. Экспериментальное и расчетное распределение по размерам частиц удовлетворительно совпадают по форме, положению, величине максимума распределения и значению полуширины линии. В расчете учитывались только те частицы, которые получают в ламинарном пограничном слое. Часть аэрозольных частиц образуется в вихревой зоне за каплей. Эти частицы несколько удлиняют хвост распределения по размерам в сторону крупных частиц.

Нами разработана методика изучения процесса роста наночастиц «*in situ*». Созданная математическая модель позволяет получать наночастицы с заранее известными характеристиками.

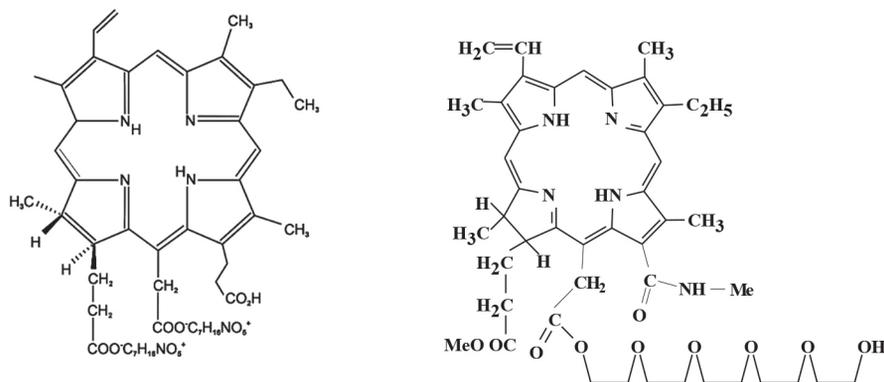
# АГРЕГАЦИЯ В РАСТВОРАХ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ХЛОРИНОВЫХ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ КОНЬЮГИРОВАННЫЙ ПЕНТАЭТИЛЕНГЛИКОЛЕВЫЙ ФРАГМЕНТ, ЛИБО АНИОННЫЕ ГРУППЫ, С МИЦЕЛЛЯРНЫМИ И ПОЛИМЕРНЫМИ НОСИТЕЛЯМИ

**Студентка 4 курса Золоткова С.М.**

Руководитель доцент Шухто О.В.

*Ивановский государственный химико-технологический университет  
svetlana.zolotkova21@yandex.ru*

Фотодинамическая терапия (ФДТ) – эффективный и безопасный метод лечения как злокачественных новообразований кожи и полых органов различной этиологии, так и антибиотико-резистентных микробных инфекций. В настоящее время поиск новых фотосенсибилизаторов (ФС) третьего поколения направлен не только на усовершенствование химической структуры предполагаемых препаратов с оптимальным гидрофильно-липофильным балансом, но и оптимизацию их взаимодействия с носителями, обеспечивающими адресную доставку в пораженные органы и ткани. Несмотря на большой успех клинической ФДТ, у применяемых в настоящее время ФС имеются существенные недостатки: невысокая селективность накопления ФС в опухолевой ткани, агрегация ФС порфиринового и хлоринового типов в терапевтических концентрациях, ограниченная глубина проникновения красного света через ткани и др. Известно, что конъюгация ФС с различными молекулами, нацеленными на опухоль, или применение соответствующего пассивного носителя увеличивает эффективность ФДТ.



В нашей работе изучено состояние в водных растворах и взаимодействие потенциальных ФС хлоринового типа, содержащих анионные функциональные группы либо конъюгированный фрагмент пентаэтиленгликоля, обеспечивающий значительное сродство к полярным средам, с Твин 80 и Pluronic P123; рассчитаны константы связывания ПАВ-ФС; оценена глубина проникновения макрогетероцикла в мицеллу.

# ПОЛНОСТЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

**Студент 4 курса Козлов К.С.**

Руководитель Бойко Д.А.

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

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

*Kozlov1517@mail.ru*

Масс-спектрометрия высокого разрешения (МСВР) является одним из важнейших методов исследования сложных смесей. Высокое разрешение дает возможность получать большой объем данных, полная обработка которых позволила бы значительно увеличить количество новых результатов во многих областях науки. Но возможности МСВР ограничены низкой скоростью ручной интерпретации спектров. Алгоритм, позволяющий определять молекулярную формулу по сигналам молекулярного иона в спектре – очень важная задача для исследователей. В нашей работе [1] мы представили новый подход к автоматической интерпретации масс-спектров высокого разрешения, основанной на деизотопировании (выделении групп пиков, соответствующих одинаковым ионам) с помощью ансамблевых алгоритмов машинного обучения и нейронной сети, которая генерирует молекулярные формулы на основе тонкой изотопной структуры, позволяя решать так называемую “обратную задачу масс-спектрометрии” – определения состава смеси по её спектру. Дополнительно были реализованы алгоритмы, позволяющие осуществлять автоматизированную дифференциацию масс-спектров и проверять наличие конкретных изотопных распределений по заданным брутто-формулам. Методы были успешно протестированы в анализе фрагментных ионов в *de novo* секвенировании пептидов, хемометрическом анализе образцов чая и масс-спектрометрическом изучении каталитической системы реакции кросс-сочетания. Весь функционал находится в открытом доступе в рамке пакета MEDUSA.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Boiko D.A., Kozlov K.S., Burykina J.V., Ilyushenkova V.V., and Ananikov V.P., *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 32, 14590.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ПРОЦЕССОВ ПРОТОНИРОВАНИЯ БОРИЛИРОВАННЫХ  
КАРБОКСОНИЕВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ОБЩЕГО ВИДА  $[2,6\text{-B}_{10}\text{H}_8\text{O}_2\text{CR}]^-$

Студентка 4 курса Колбунова А.В.

Руководитель к.х.н. Ключин И.Н.

НИУ Высшая школа экономики

*zdimchi391@mail.ru*

В нашей работе были изучены протонированные комплексы производных клозо-декаборатного аниона с экзо-полиэдрическими связями В–О. В качестве объектов для исследования процессов переноса протона нами были взяты 2,6-дизамещенные карбоксоновые производные  $[2,6\text{-B}_{10}\text{H}_8\text{O}_2\text{CR}]^-$  ( $R=\text{CH}_3, \text{C}_6\text{H}_5$ ). Трифторметансульфокислота  $\text{CF}_3\text{SO}_3\text{H}$  была использована как источник протонов. Контроль за ходом процесса осуществляли на основе данных ЯМР-спектроскопии на ядрах  $^{11}\text{B}$ ,  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ . В результате эксперимента было установлено, что процесс протонирования полностью завершается при добавлении пятикратного избытка кислоты.

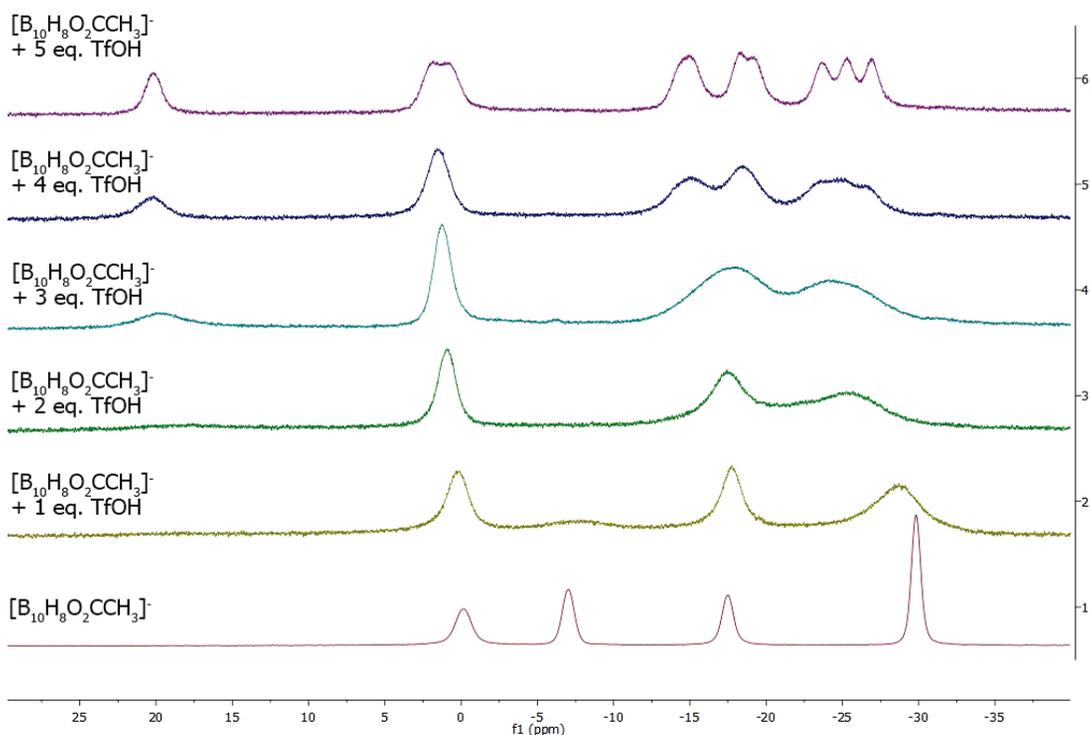


Рис. 1.  $^{11}\text{B}\text{-}\{^1\text{H}\}$  ЯМР спектр  $[2,6\text{-B}_{10}\text{H}_8\text{O}_2\text{CCH}_3]^-$  в присутствии разных количеств  $\text{CF}_3\text{SO}_3\text{H}$

С помощью методов квантово-химического моделирования удалось однозначно установить структуру молекулярных комплексов между кластерным анионом бора и электрофильной частицей, что может быть использовано в дальнейших исследованиях аналогичных систем. Подобные комплексы могут выступать удобными синтонами для получения полизамещенных производных клозо-боратных анионов с заданными свойствами.

## ВЛИЯНИЕ ВОДНО-ЭТАНОЛЬНОГО И ВОДНО-ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДНОГО РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА СОЛЬВАТАЦИЮ $\gamma$ -ЦИКЛОДЕКСТРИНА

Студент 3 курса Кушнир Р.А.

Руководитель Куранова Н.Н.

Ивановский государственный химико-технологический университет  
kushnir.chem@gmail.com

Циклодекстрины (CD) способны образовывать молекулярные комплексы включения с гидрофобными молекулами и, тем самым увеличивать их растворимость. Наибольшей растворимостью в воде, наибольшим размером полости и наиболее благоприятным токсикологическим профилем обладает  $\gamma$ -циклодекстрин ( $\gamma$ -CD). Использование CD в качестве солюбилизаторов в составе лекарственных препаратов требует определения термодинамических параметров их сольватации.

В нашей работе методом межфазного распределения вещества между двумя несмешивающимися фазами (вода или смешанный растворитель и *n*-гексан) определены коэффициенты распределения  $\gamma$ -CD в воде и ее смесях с этанолом (EtOH) и диметилсульфоксидом (DMSO), рассчитаны изменения энергии Гиббса переноса  $\gamma$ -CD из воды в смешанные растворители H<sub>2</sub>O-EtOH и H<sub>2</sub>O-DMSO. Проведен сравнительный анализ влияния растворителей H<sub>2</sub>O-EtOH и H<sub>2</sub>O-DMSO на изменения в сольватном состоянии  $\beta$ -CD, гидроксипропил- $\beta$ -циклодекстрина (HP- $\beta$ -CD) и  $\gamma$ -CD.

На рис. приведены изменения энергии Гиббса при переносе  $\beta$ -циклодекстрина [1, 2], гидроксипропил- $\beta$ -циклодекстрина [2, 3] и  $\gamma$ -CD из воды в ее смеси с этанолом (а) и диметилсульфоксидом (б).

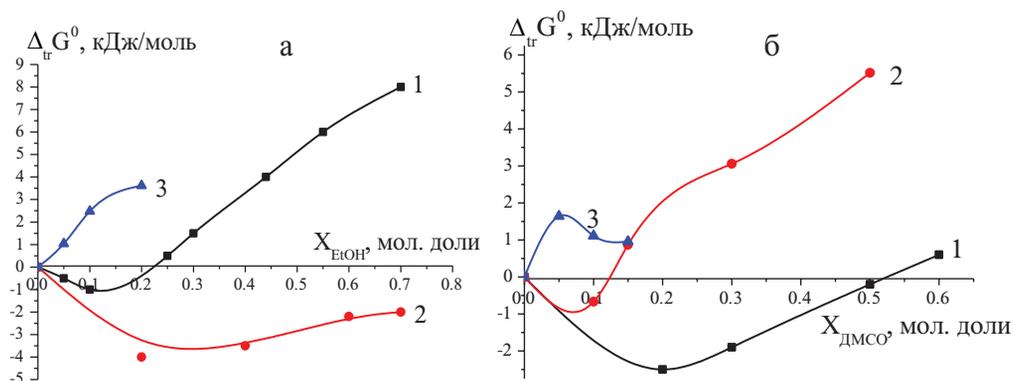


Рис. Зависимость энергии Гиббса переноса  $\beta$ -циклодекстрина (1), гидроксипропил- $\beta$ -циклодекстрина (2),  $\gamma$ -циклодекстрина (3) из воды в ее смеси с этанолом (а), диметилсульфоксидом (б)

Сольватация  $\gamma$ -циклодекстрина при первых добавках соразтворителя (до  $X = 0,2$  мол. д.) ослабляется, а  $\beta$ - и гидроксипропил- $\beta$ -циклодекстрина увеличивается.

Исследование проведено при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект FZZW-2020-0009).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Фам Т.Л. и др., ЖФХ. 2021. Т. 95. № 5. С. 692–699.
2. Кузьмина И.А. и др., ЖФХ. 2020. Т. 94. № 10. С. 1501–1504.
3. Pham T.L. et al, J. Mol. Liquids. 2020. V. 318. 114308.

## ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ ВИТАМИНА В6 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФТОРИД-ИОНОВ В РАСТВОРЕ

Студент 2 курса Никитин Г.А.

Руководитель к.х.н. Завалишин М.Н.

Ивановский государственный химико-технологический университет  
glebalekseev@hotmail.com

Определение анионов с высокой селективностью – актуальная задача в химии и экологии. Ионы фтора обладают специфическими химическими и биологическими свойствами. Повышенное содержание фторид-иона в воде и пище приводит к флюорозу, пародонтозу и остеосаркоме. Помимо биологической роли, фтор является сильным основанием Льюиса и может быть потенциальным катализатором для ряда неорганических и органических синтезов. Поэтому разработка хемосенсоров, способных обнаруживать  $F^-$  в питьевой воде и биологических образцах, представляет значительный интерес.

Цель нашей работы – синтез, определение сенсорных свойств на  $F^-$  ионы гидразона пиридоксаль-5-фосфата и 2-гидразинилбензотиазола (PLP-BTZ).

Синтез гидразона был проведен в водно-этанольном растворе. Строение сенсора подтверждено методами ИК-спектроскопии,  $^1H$ ,  $^{13}C$  ЯМР и MALDI TOF масс-спектрометрии. Сенсор PLP-BTZ селективно усиливает флуоресценцию в присутствии  $F^-$  ионов (рис.) в ДМСО.

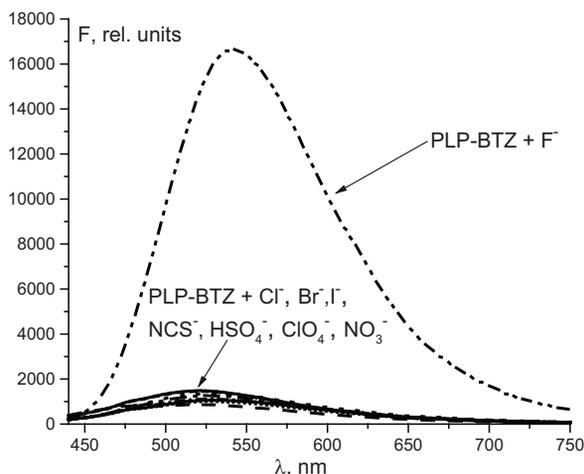


Рис. Флуоресцентные спектры сенсора PLP- BTZ (50  $\mu M$ ) с различными анионами (250  $\mu M$ ) в растворе ДМСО

Установлено, что ионы  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$ ,  $NCS^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $ClO_4^-$ ,  $HSO_4^-$  не являются интерферирующими анионами для качественного и количественного определения фторид-ионов в растворе. Предел обнаружения фторид-ионов составляет 0,22  $\mu M$ . Усиление флуоресценции в присутствии ионов фтора основано на депротонировании хемосенсора и его последующей агрегации в ДМСО. Сенсор успешно испытан на тестовых образцах, содержащих фторид-ионы.



## КОНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛЫ КАРНОЗИНА

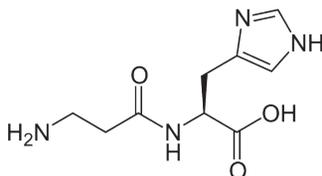
**Студентка 2 курса Павлова Э.А.**

Руководитель д.х.н Белова Н.В.

*Ивановский государственный химико-технологический университет  
elvira.pavlova18@mail.ru*

Интерес к карнозину вызван, в первую очередь, тем, что он является геропротектором – препаратом, защищающим от старения, а также лекарственным веществом. Кроме того, наличие в молекуле карнозина имидазольного цикла обуславливает ряд специфических свойств карнозина, таких как способность вступать в реакцию азосочетания, усиление основных свойств соединения. Сведения о конформационных особенностях и электронном строении молекул карнозина необходимы для понимания механизмов биологических процессов, протекающих с его участием.

Карнозин – дипептид, состоящий из остатков аминокислот  $\beta$ -аланина и гистидина.



Нами выполнен конформационный анализ молекулы карнозина; распределение электронной плотности было изучено в рамках теории Бэйдера «атомы в молекуле» в сочетании с анализом NBO.

Установлено, что для молекулы карнозина в свободном состоянии возможно существование трех устойчивых конформеров, структура которых отличается от структуры молекулы в виде цвиттер-иона в кристалле. Предпринятая нами оптимизация цвиттер-иона карнозина привела к значению относительной энергии 276,0 кДж/моль (M062X/aug-cc-pVTZ), что существенно выше энергии нейтральной молекулы. Очевидно, существование цвиттер-иона в кристаллической фазе обусловлено межмолекулярными взаимодействиями и особенностями кристаллической упаковки. В свободном состоянии данная форма энергетически менее выгодна.

Получены параметры устойчивой ядерной конфигурации. Сделан вывод о том, что наибольшими стабилизирующими эффектами являются эффекты  $\pi$ -сопряжения внутри имидазольного и карбоксильного фрагментов в молекуле. Это объясняет планарное геометрическое расположение ядер в заместителях. Нециклическая часть молекулы в свободном состоянии является менее протяженной, чем в случае кристалла. Такое строение карнозина стабилизируется за счет образования трех внутримолекулярных водородных связей.

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРИГОТОВЛЕНИЯ И УСЛОВИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КАТАЛИЗАТОРОВ PdFe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> НА ГИДРОДЕХЛОРИРОВАНИЕ ДИКЛОФЕНАКА В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

**Студент 2 курса Песоцкий М.Д.**

Руководитель профессор Локтева Е.С.

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

*mpesotskiy2003@gmail.com*

Противовоспалительное средство 2-(2,6-дихлоранилино)-фенилацетат (диклофенак, ДКФ) устойчиво к биоразложению; системы очистки питьевой воды не справляются с его деструкцией [1]. Перспективным методом утилизации ДКФ в сточных водах является каталитическое гидродехлорирование (ГДХ), для него нужны эффективные и стабильные катализаторы [2]. Мы приготовили PdFe катализаторы последовательной (Fe, затем Pd – PdFe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-п) или совместной (PdFe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-с) пропиткой  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> растворами нитратов (1,26 масс.% Pd, 0,52 и 0,40 масс.% Fe в PdFe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-п и PdFe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-с, соответственно).

Методом низкотемпературной адсорбции N<sub>2</sub> показано, что диаметр пор (8,2 нм) и S<sub>вент</sub> (примерно 175 м<sup>2</sup>/г) катализаторов сходны. СЭМ-ЭДА не выявило особых различий в морфологии, однако на поверхности FePd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-п имеются места, обогащенные Pd.

На профилях ТПВ обоих катализаторов наблюдается пик выделения H<sub>2</sub> при температуре около 60 °С, связанный с разложением PdH<sub>x</sub>. Однако на профиле FePd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-п видно, что часть PdO восстанавливается при 65 °С. Это свидетельствует о присутствии в этом катализаторе частиц Pd малых размеров, не способных образовывать PdH<sub>x</sub>.

Эти результаты показали, что катализаторы можно активировать путем мягкого восстановления. Действительно, по данным РФЭС восстановление H<sub>2</sub> в водной суспензии при 30 °С в течение 2 ч обеспечивает присутствие 55 ат.% Pd<sup>0</sup> на поверхности FePd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-п и 20 ат.% Pd<sup>0</sup> на поверхности FePd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-с. Расчет Al:Pd показал некоторое обеднение поверхности FePd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-с палладием. За счет этого в реакторе периодического действия (30 °С, H<sub>2</sub> 0,6 л/ч, 2 ч, C<sub>0</sub>(ДКФ) = 150 мкг/л, m<sub>cat</sub> = 0,05 г, анализ продуктов методом ВЭЖХ) катализатор FePd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-п обеспечил повышенную скорость ГДХ ДКФ. Основным продуктом был полностью дехлорированный 2-анилинофенилацетат (рис.).

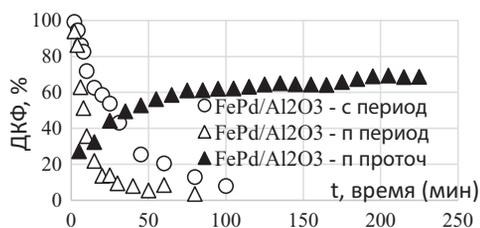


Рис. ГДХ ДКФ при 30 °С на PdFe катализаторах в проточном и периодическом режиме

После восстановительной обработки при 320 °С содержание Pd<sup>0</sup> на поверхности обоих катализаторов существенно выше (90 ат.%), но скорость превращения ДКФ увеличивается незначительно. Поскольку условия каталитического эксперимента были близки к условиям мягкого восстановления, то можно полагать, что в ходе каталитических испытаний возможно дополнительное восстановление палладия.

Стабильность катализатора FePd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-п после мягкого восстановления подтверждена в проточном эксперименте (30 °С, H<sub>2</sub> 0,6 л/ч, C<sub>0</sub>(ДКФ) = 75 мкг/л, 0,7 мг/мин, m<sub>cat</sub> = 0,1 г) (рис. 1). Результаты работы показывают возможность эффективной утилизации ДКФ на PdFe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> катализаторах после мягкого энергосберегающего восстановления в условиях каталитического эксперимента (30 °С, водная среда).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ayscan İ.Ö. et al. *Food Chem. Toxicol.* 2018, **118**, 795.
2. Nieto-Sandoval J. et al. *J. Hazard. Mater. Adv.* 2022, **5**, 100047.

## АНОДНЫЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОКСИДА ГРАФЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА: СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТА

**Студентка 4 курса Ратова Д.-М.В.**

Руководитель доцент Михеев И.В.

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

*darrrat@gmail.com*

Оксид графена (ГО) представляет собой углеродный материал на основе графена, состоящий из  $sp^2$  кластеров, окруженных  $sp^3$  атомами углерода, соединенными с кислородсодержащими группами. Благодаря своим уникальным свойствам ГО вызывает большой интерес, так он успешно используется в электрохимических и биосенсерах для детектирования перекиси водорода, глюкозы, нуклеиновых кислот, белковых маркеров и других биологически значимых молекул. ГО перспективен как материал для обнаружения раковых опухолей, например использование наноллистов и нанолент ГО *in vivo* для визуализации раковых клеток и фототермической терапии.

Обзор известных данных по электрохимическому синтезу оксида графена показывает, что подобный подход обладает преимуществами по сравнению с химическими методами получения: (1) более экологичная методика синтеза; (2) меньшее количество дефектов в структуре и разрывов С–С связей внутри графеноподобной плоскости.

В ходе работы найдены условия анодного электрохимического синтеза водных дисперсий оксида графена, позволяющие получить седиментационно и агрегационно устойчивые дисперсии ( $>2.5$  месяцев). Для этого использовали анодное окисление графита в присутствии электролита с близкой подвижностью ионов  $(NH_4)_2SO_4$  1,0 М, постоянное напряжение 30 В и силу тока 90 мА в течение 5 ч, с разделенным катодноанодным пространством, с дополнительной ультразвуковой обработкой. Методы спектроскопии ИК-НПВО с преобразованием Фурье и УФ спектроскопии в видимой области подтверждают наличие структуры оксида графена (совмещенное катодноанодное пространство) и восстановленного оксида графена (разделенное катодноанодное пространство).

Выбраны условия работы титанового зонда, обеспечивающие минимальное его разрушение (оценены методом ИСП-АЭС). Оптимальным соотношением времени импульсной модуляции ко времени релаксации (тработа/отдых) является 4/2 с, что соответствует наименьшей степени коррозии УЗ зонда ( $c(Ti) = 14.3$  мг/л), при оптимальной температуре эксперимента (25–30 °С).

Впервые показана возможность применения метода флуоресцентной спектроскопии в режиме регистрации контурных карт возбуждения флуоресценции для анализа синтезированного оксида графена.

## ОЦЕНКА ПОДВИЖНОСТИ БИМОЛЕКУЛ ПРИ ПОМОЩИ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ФОТОКОНВЕРСИИ EGFP

**Студентка 3 курса Сопова Н.С.**

Руководитель к.ф.-м.н., в.н.с. Боченков В.Е.  
МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет  
*ninasopova@mail.ru*

Информация о динамике белковых молекул чрезвычайно важна для понимания функционирования клетки. В настоящее время самыми распространенными методами измерения коэффициента диффузии биомолекул в живых клетках являются релаксационные методы, которые основаны на создании неравновесной концентрации флуорофора путем его фотообесцвечивания в части образца с последующим наблюдением за ее выравниванием в процессе диффузии [1]. При этом фотообесцвечивание требует достаточно больших доз облучения, что может приводить к повреждению клетки. В настоящей работе предлагается новый подход для оценки подвижности белков в водных растворах, основанный на окислительной фотоконверсии зеленого флуоресцентного белка EGFP в присутствии окислителя, что требует меньших доз облучения.

Для апробации метода провели оценку коэффициента диффузии EGFP в водном растворе. После облучения области капли раствора, содержащего EGFP и  $K_3FeCN_6$ , светом лазерного диода с длиной волны 462 нм, в центре облученного пятна регистрировали кинетику затухания флуоресценции методом времякоррелированного счета одиночных фотонов. Флуоресценцию возбуждали фемтосекундными лазерными импульсами с длиной волны 510 нм, регистрировали фотоны с длиной волны  $630 \pm 5$  нм. Кривые затухания флуоресценции аппроксимировали суммой двух экспонент. Полученные характеристические времена 2,7 нс и 1,0 нс соответствуют исходной и окисленной форме EGFP. По изменению амплитуд судили об изменении концентрации соответствующих форм белка. Решение диффузионной задачи для модельной системы позволило автоматически аппроксимировать полученные экспериментальные данные с помощью программы, написанной в среде MATLAB. Рассчитанное с помощью созданной модели значение коэффициента диффузии составило  $92 \pm 4$   $\mu\text{m}^2/\text{s}$ , что согласуется с литературными данными ( $87 \pm 2$   $\mu\text{m}^2/\text{s}$  [2]) для EGFP в водных растворах. Результаты работы опубликованы в статье [3].

*Экспериментальные исследования проводили на оборудовании ЦКП ФИЦ ХФ (№ 506694).*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Miyawaki A., Nat. Rev. Mol. Cell Biol. 2011. 12. 656–668.
2. Bogdanov A.M., Mishin A.S., Yampolsky I.V., Belousov V.V., Chudakov D.M., Subach F. V., Verkhusha V.V., Lukyanov S., Lukyanov K.A. Nat. Chem. Biol. 2009. 5. 459–461.
3. Bochenkov V.E., Sopova N.S., Shakhov A.M., Astafiev A.A., Bochenkova A.V., J. Phys. Chem. B, 2022, 126, 23, 4184–4188.

# СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СОЧЕТАНИИ С АЛГОРИТМАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЙ ОКСИДА ГРАФЕНА

Студент 4 курса Филатов Д.М.

Руководитель доцент Михеев И.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет

dim020202@mail.ru

Оксид графена представляет собой материал с потенциально широкими областями применения, однако, получение чистого оксида графена с известным соотношением О/С затруднительно.

Методы машинного обучения в последнее время все чаще показывают хорошие результаты в научных исследованиях, они могут быть также использованы и при решении задачи разделения образцов оксида графена по свойствам – в частности, по чистоте и химическому составу.

В работе предложен подход кластерного анализа к аналитическим сигналам методов молекулярной спектроскопии для водных дисперсий оксида графена посредством алгоритмов машинного обучения без учителя, включающий изучение структуры спектральных данных, поиск оптимальных параметров для разделения выборки на классы и построения модели машинного обучения.

Первичный анализ спектров на наличие кластерной структуры проводили с использованием трех алгоритмов понижения размерности – метода главных компонент (PCA), стохастического вложения соседей с  $t$ -распределением (t-SNE) и метода UMAP. Использование этих алгоритмов на ИК-спектрах НПВО показало результат, свидетельствующий о возможности применения кластерного анализа (Рис.).

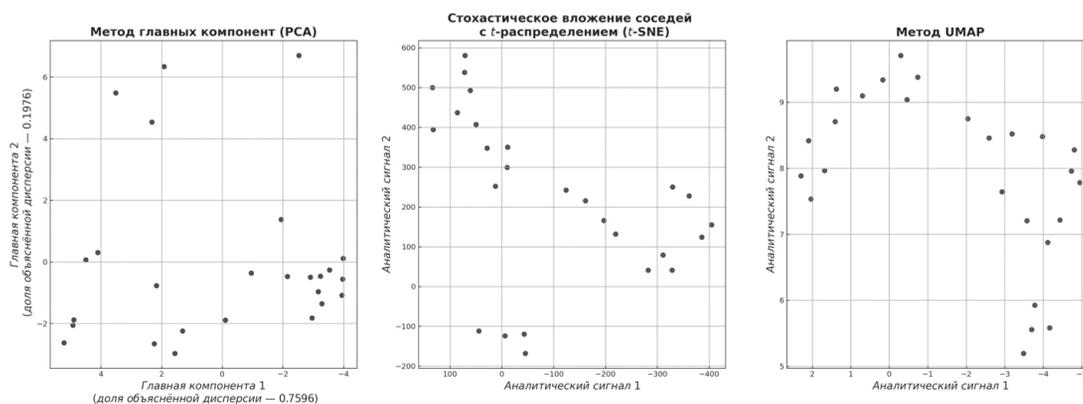


Рис. Графики ИК-спектров образцов водных дисперсий оксида графена, полученные методами понижения размерности PCA (слева), t-SNE (посередине), UMAP (справа)

Подобранные оптимальные параметры для разделения выборки на группы по свойствам позволили успешно провести кластерный анализ, включающий оптимизацию выбора количества кластеров в исследуемой выборке и сам процесс кластеризации методом  $k$ -средних. Показана возможность методов молекулярной спектроскопии в сочетании с алгоритмами МО без учителя в дифференциации и разделении на группы образцов водных дисперсий оксида графена по их свойствам, что является важным шагом для дальнейшего развития методов описания и классификации водных дисперсий оксида графена.

## КВАНТОВЫЙ ВЫХОД ФОТОКОНВЕРСИИ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ БЕЛКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Студент 4 курса Хайбрахманов А.И.

Руководитель к.ф.-м.н. Боченкова А.В.

МГУ им. М. В. Ломоносова Химический факультет

*blackwood168@gmail.com*

Зеленый флуоресцентный белок (GFP) может подвергаться окислительной фотоконверсии, протекающей вследствие переноса электрона с анионной хромофорной группы белка на молекулы окислителя при возбуждении в видимом диапазоне [1]. На сегодняшний день низкий квантовый выход фотоконверсии не позволяет использовать белок GFP в качестве биосенсора на различные окислители в живых клетках. Однако благодаря неадиабатическому характеру процесса появляется возможность влиять на его скорость за счет возбуждения определенных колебательных мод. Цель нашей работы – развитие теоретических подходов для изучения механизма фотопереноса электрона в зависимости от длины волны возбуждения и повышение квантового выхода окислительной фотоконверсии белка GFP.

Нами разработан и реализован метод расчета вибронных спектров в модели линейной связи с учетом термической заселенности колебательных мод в основном электронном состоянии, а также метода расчёта неравновесной заселённости колебательных уровней различных мод в электронно-возбужденном состоянии в зависимости от длины волны возбуждения. С помощью разработанных методов рассчитаны спектр поглощения белка GFP при переходе  $S_0 \rightarrow S_1$  и средние неравновесные заселенности колебательных мод хромофорной группы в белковом окружении в зависимости от длины волны возбуждения (рис.).

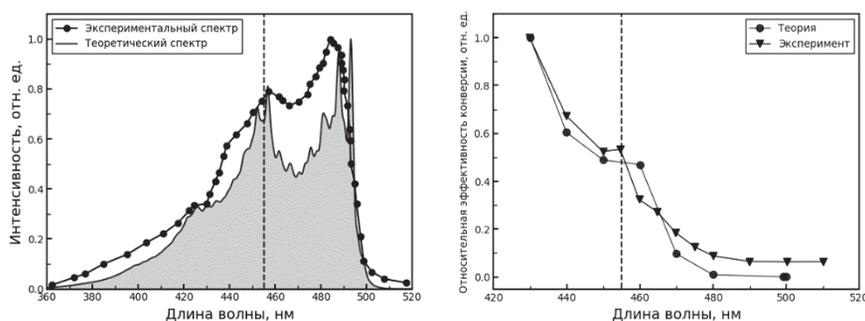


Рис. Рассчитанный и экспериментальный [2] спектры поглощения анионного хромофора в белке GFP (слева) и эффективность фотоконверсии белка GFP в зависимости от длины волны возбуждения (справа)

Показано, что наиболее активным при фотовозбуждении и переносе электрона является высокочастотное валентное колебание с частотой  $1614 \text{ см}^{-1}$ . Константа скорости переноса электрона при 455 нм оказывается на порядок больше, чем при облучении в максимуме поглощения при 490 нм, что совпадает с энергией возбуждения первого колебательного уровня активной моды. Таким образом, предложен способ увеличения квантового выхода фотоконверсии белка GFP при селективном возбуждении колебания, активного при переносе электрона из  $S_1$  состояния.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Bogdanov A. M. et al. *Nat Chem Biol.* **2009.** Vol. 5. P. 459–461.
2. Lossau H. et al. *Chemical Physics.* **1996.** Vol. 213. P. 1–16.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
АКТИВНЫХ ФОРМ АЗОТА И ИНГИБИТОРОВ  
СВОБОДНОРАДИКАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ  
НА ПРИМЕРЕ ОКСИДА ГРАФЕНА

**Студент 2 курса Чермашенцев Г.Р.**

Руководитель к.х.н. Михеев И. В.

*МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет  
chermashentsev96@mail.ru*

Оксид графена (GO) – сравнительно недавно получивший распространение углеродный наноматериал. Он является перспективным для использования во многих отраслях науки и техники: химии, биологии, оптике, электронике и медицине.

Учитывая возможность применения GO как антиоксидантного агента и потенциального фармпрепарата, становится важным изучение его влияния на продукты клеточного метаболизма, в частности, по отношению к активным формам (АФ) – высоко реакционноспособным частицам, нарушающим внутриклеточные процессы. Поэтому разработка аналитической модели генерации АФ и изучение в этих моделях про- и антиоксидантных свойств GO являются важными целями для медико-биологической науки и практики.

В представленной работе была оптимизирована хемилюминиметрическая методика определения оксидантной активности в системе «люминол/NO(в.)/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>» и проведен анализ радикал-перехватывающих свойств водных дисперсий оксида графена (метод Хаммерса). На оксидантную активность влияла степень очистки конкретной фракции. Неочищенные от кластеров большого размера (>3.5 кДа) фракции имели ярко выраженную прооксидантную активность, фракции с кластерами от 0.5 до 3.5 кДа ингибировали действие активных форм в системе.

Таким образом, нам удалось с помощью доступного метода *in situ* генерации оксида азота (II) проанализировать влияние оксида графена на активные формы азота в системе люминол/NO/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/GO.

**НОМИНАЦИЯ I  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ**



**СЕКЦИЯ  
«НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ  
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»**

# СИНТЕЗ, СПЕКТРАЛЬНЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТЕТРАЭДРИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ КОБАЛЬТА

Студент 4 курса Аничкин А.А.

Руководитель к.х.н. Юрьева Е.А.

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

ФИЦ Проблем химической физики и медицинской химии  
anichkin\_artem@mail.ru

Мономолекулярные магниты (МММ) – перспективные соединения в области квантовых вычислений, спинтроники и устройств хранения информации сверхвысокой плотности. МММ представляют собой соединения на основе d и f элементов и проявляют медленную магнитную релаксацию. Среди всего множества 3d-МММ, наиболее изучены соединения на основе кобальта (II) [1]. Это обусловлено электронной структурой иона кобальта, обеспечивающей его существование в двух устойчивых спиновых состояниях  $M_s = \pm 3/2$  и сохранение сильного орбитального момента, не погашенного кристаллическим полем.

В настоящей работе получены три новых моноядерных комплекса кобальта (II) общего состава  $[\text{CoI}_2\text{L}_2]$ , где L = 3,5-диметилпиразол (dmpz), 2,4-лутидин (lut), 1,2-диметилимидазол (dmim). Методом РСА установлена их кристаллическая структура, методом диффузного отражения получены спектры поглощения в УФ-видимом и ближнем ИК диапазонах, а также исследованы магнитные свойства в статическом и динамическом поле.

Комплексы имеют искаженное тетраэдрическое строение. Аппроксимацией оптических спектров определены энергии двух наблюдаемых d-d переходов, на основании которых выполнена оценка параметров кристаллического поля. Несмотря на полученные близкие параметры, магнитные свойства комплексов значительно отличаются. Так, в комплексе  $[\text{CoI}_2(\text{dmpz})_2]$  наблюдается медленная магнитная релаксация в нулевом постоянном поле (рис. 1), в комплексе  $[\text{CoI}_2(\text{lut})_2]$  – только в приложенном поле, а комплекс  $[\text{CoI}_2(\text{dmim})_2]$  не обладает свойствами МММ.

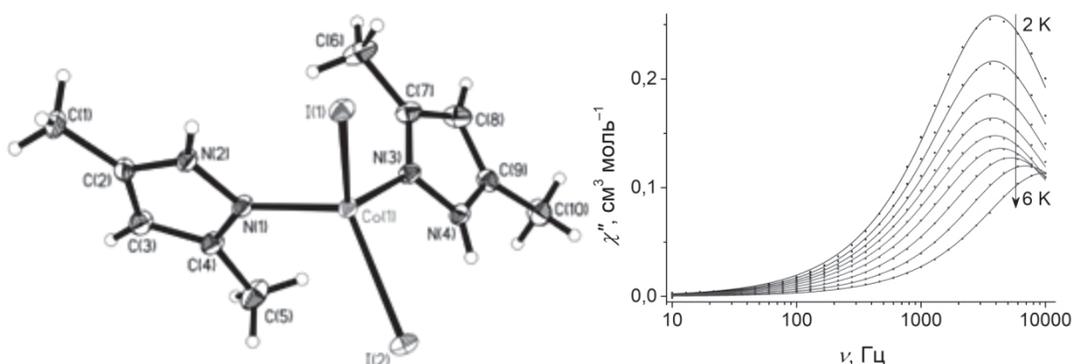


Рис. Молекулярная структура комплекса  $[\text{CoI}_2(\text{dmpz})_2]$ , частотные зависимости мнимой части магнитной восприимчивости для комплекса  $[\text{CoI}_2(\text{dmpz})_2]$  в отсутствие постоянного поля при температурах от 2.0 до 6.0 К

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания ИПХФ РАН (№ АААА-А19-119092390079-8).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Tong M.L., Chem. Eur. J. 2018, 24, 7574.

# СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНО-СТРУКТУРИРОВАННОГО КОМПОЗИТА ГРАФЕН- $\text{CeO}_2$

**Студентка 4 курса Артемова А.Д.**

Руководитель к.х.н. Трусова Е.А. (ИМЕТ РАН)

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

*artemova.anna.dm@gmail.com*

Графен- $\text{CeO}_2$  композиты, благодаря сочетанию уникальных физико-химических свойств бескислородного графена и нано- $\text{CeO}_2$ , обладают большим потенциалом для изготовления компонентов различных устройств, востребованных в медико-биологической, химической, космической и особенно энергетической областях промышленности [1]. В работе проведено исследование физико-химических свойств наноструктурированного композита графен- $\text{CeO}_2$ , синтезированного разработанным в ИМЕТ РАН способом, в основу которого положено сочетание золь-гель и сонохимического методов. Се-содержащий золь и суспензию бескислородного графена, содержащие в своем составе додециламин в качестве стабилизатора, соединяли в водно-органической среде и тщательно перемешивали для достижения равномерного распределения компонентов в объеме образующегося коллоида.

По данным ПЭМ, композит состоял из агломератов, образованных кристаллитами  $\text{CeO}_2$  с размерами менее 20 нм, соединенными «кружевом» из листов графена. В отличие от нанопорошка чистого  $\text{CeO}_2$ , полученного из того же Се-содержащего золя, что и композит, кристаллиты не упакованы плотно, а разделены полупрозрачными прослойками графена толщиной 1–2 нм. По данным рентгеновской дифракции, кристаллиты  $\text{CeO}_2$  в составе композита имели средний размер 13 нм. Сравнительный анализ результатов адсорбции-десорбции азота показал, что удельная площадь поверхности композита графен- $\text{CeO}_2$  составляла 30 м<sup>2</sup>/г, тогда как для чистого нано- $\text{CeO}_2$  – 68 м<sup>2</sup>/г. Уменьшение удельной поверхности практически в два раза, по-видимому, обусловлено тем, что лист графена, обволакивающий нанокристаллы  $\text{CeO}_2$ , экранирует часть пор и препятствует адсорбции молекул азота в них.

Композит графен- $\text{CeO}_2$  является ван-дер-ваальсовой системой, о чем свидетельствует отсутствие химического взаимодействия между графеном и  $\text{CeO}_2$ . В результате графен сохраняет свои уникальные электронные свойства, будучи зафиксированным в структуре композита и защищенным от окисления. Это позволяет рассматривать композит графен- $\text{CeO}_2$  в качестве перспективного исходного материала для электродов суперконденсаторов с увеличенными емкостью и числом рабочих циклов.

*Работа выполнена в ИМЕТ РАН по государственному заданию № 075-00715-22-00.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Nemati F., Rezaie M., Tabesh H. et al, Environ. Res. 2022, 208, 112685.

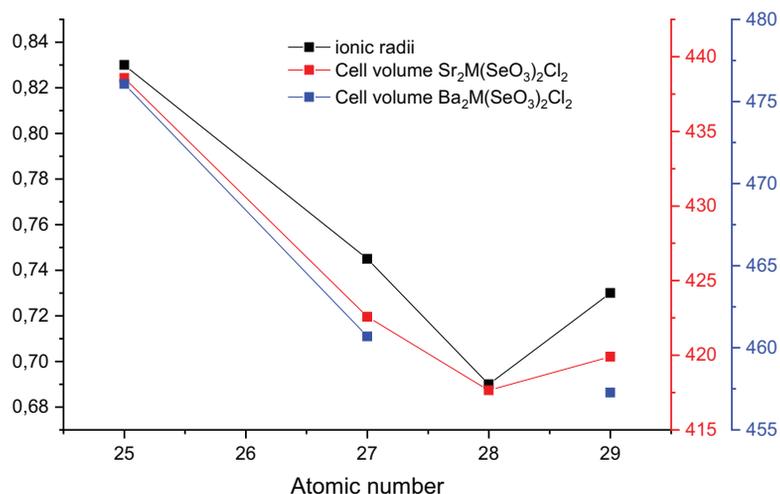
## НОВЫЕ СЕЛЕНИТ-ХЛОРИДЫ СОСТАВА $M_2D(SeO_3)_2Cl_2$ ( $M=ЩЗМ$ , $D=3d$ МЕТАЛЛ) КАК ВОЗМОЖНЫЕ НИЗКОРАЗМЕРНЫЕ МАГНЕТИКИ

Студент 2 курса бакалавриата Астахов Н.В.

Руководители доцент Бердоносов П.С., н.с. Козлякова Е.С.  
Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова  
*nickavit@yandex.ru*

В последние годы внимание ученых обращено на соединения с экзотическими магнитными подсистемами. В таких соединениях могут наблюдаться различные квантовые явления, вызванные группами атомов с магнитными подсистемами низкой размерности (от 0 до 2): магнитные фрустрации, волны зарядовой плотности, спиновые жидкости и др. Примером таких соединений могут выступать  $M_2D(SeO_3)_2Cl_2$  ( $M = Sr, Ba, D = Mn, Co, Ni, Cu$ ). Для соединения с никелем показано, что эта фаза обладает антиферромагнитной цепочечной подсистемой со спином  $S = 1$ . Особый интерес возникает в исследовании возможности получения и изучения магнитных свойств аналогичных фаз, содержащей в качестве d-металла марганец (II), спин которого  $S = \frac{5}{2}$  или медь (II), спин которой  $S = \frac{1}{2}$ .

В нашей работе проведен поиск и синтез фаз состава  $Sr_2Mn(SeO_3)_2Cl_2$  и  $Ba_2Cu(SeO_3)_2Cl_2$  твердофазным синтезом, а также осуществлена характеристика фазы  $Sr_2Mn(SeO_3)_2Cl_2$  методами структурного анализа и спектроскопии. Магнитное поведение  $Sr_2Mn(SeO_3)_2Cl_2$  указывает, что в этой фазе наблюдается антиферромагнитное упорядочение и существует магнитный обмен пониженной размерности.



На рисунке показаны закономерности объемов фаз и радиусов ионов. Новые фазы хорошо встраиваются в наблюдаемые зависимости.

## ТЕРМОФОТОСТАБИЛЬНОСТЬ ПЕРОВСКИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ФТАЛОЦИАНИНОМ МЕДИ В КАЧЕСТВЕ ДЫРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО СЛОЯ

Студентка 4 курса Баранова М.В.

Руководители к.х.н. Ивлев П.А., к.х.н. Петров А.А.

Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне

maria.baran14@yandex.ru

Перовскитные солнечные элементы (ПСЭ) – перспективное направление в области современной фотовольтаики, что обусловлено низкой стоимостью материалов для их изготовления, а также высокими значениями КПД, сопоставимыми с рекордными значениями КПД СЭ на основе монокристаллического кремния.

Повышение стабильности ПСЭ – одна из главных задач в области перовскитной фотовольтаики, которая может быть решена за счет использования более стабильных составов транспортных слоев. В качестве дырочно-транспортного слоя (ДТС) в ПСЭ, как правило, используется органический полупроводник Spiro-OMeTAD (2,2',7,7'-Тетраakis[N,N-ди(4-метоксифенил)амино]-9,9'-спиробифлуорен). Он обладает высокой дырочной проводимостью, однако отличается высокой стоимостью, обусловленной сложностью многостадийного синтеза, и невысокой стабильностью. Эффективной заменой Spiro-OMeTAD могут стать фталоцианины (Pc), также обладающие высокими показателями дырочной проводимости. Их достоинства – низкая стоимость, термо- и фотоустойчивость, легкость управления свойствами за счет замены металлического центра и заместителей [1]. Pc, в отличие от Spiro-OMeTAD, могут быть использованы без легирующих добавок, которые негативно влияют на стабильность ПСЭ [2].

Нами были изготовлены солнечные элементы на основе гибридных галогенидных перовскитов с использованием Pc в качестве ДТС с различной толщиной. Были собраны инкапсулированные ПСЭ с прямой планарной архитектурой (Стекло/FTO/c-TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>/MA<sub>0,25</sub>FA<sub>0,75</sub>PbI<sub>3</sub>/(Spiro-OMeTAD или CuPc)/Au). Для нанесения Pc использовался метод термического вакуумного напыления, обладающий рядом существенных преимуществ: относительной простотой регулирования толщины наносимого слоя Pc, возможностью промышленного применения на подложках большого размера, отсутствием необходимости использовать токсичные растворители. Варьированием толщины слоя Pc (10, 20, 30, 40 нм), наносимого в условиях высокого вакуума, на основании анализа вольт-амперных характеристик и сравнения степени деградации элементов, предварительно подверженных нагреванию и облучению, установлено, что оптимальное значение для незамещенного CuPc составляет 30 нм.

Для оценки и сравнения термофотостабильности собранные ПСЭ были помещены под симулятор солнечного света ( $100 \pm 10$  мВт/см<sup>2</sup>) с возможностью отслеживания точки максимальной мощности. Спустя 140 часов непрерывного облучения и нагрева (65 °С) элементы со Spiro-OMeTAD потеряли 61,4 % от начального КПД, полученного сразу после сборки, в то время как для ПСЭ с CuPc потери составили только 51,7 %. Таким образом, было показано, что элементы с CuPc в качестве ДТС обладают большей термофотостабильностью, что позволит сделать процесс сборки ПСЭ экономически более выгодным за счет меньшей стоимости ДТС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Yu Z., Wang L., Mu X. et al. *Angewandte Chemie*. 2021. Vol. 133, № 12. P. 6364–6369.
2. Wang S., Huang Z., Wang S. et al. *Nano Lett.* 2016. Vol. 16, № 9. P. 5594–5600.

## ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИХ СЛОЁВ ПЕРОВСКИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Студент 4 курса Ван Мэнцзе**

Руководитель ст. преподаватель Петров А.А.

*Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне*

*120190072@smbu.edu.cn*

Перовскитные солнечные элементы в настоящее время являются одними из наиболее перспективных фотоэлектрических устройств для высокоэффективного и экономичного производства солнечной энергии. Всего за несколько лет беспрецедентный прогресс в развитии методов получения и выбора составов материалов позволил создать устройства лабораторного масштаба, которые в настоящее время достигли рекордной эффективности преобразования энергии (PCEs), превышающей 25 %, конкурируя с большинством известных материалов для солнечных элементов, таких как кремний, CIGS и CdTe.[1]

Целью нашей работы было получение тонких плёнок полупроводниковых материалов на основе соединений со структурой перовскита растворными методами, поверхностная модификация полученных плёнок и изучение влияния различных модификаторов на функциональные свойства и стабильность слоя перовскита для применения в солнечных элементах.

Актуальность выбранной темы заключается в перспективности применения перовскитных солнечных элементов и необходимости развития методов пассивации для повышения их стабильности и эффективности.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые проведён сравнительный анализ влияния выбранных пассиваторов на свойства получаемых плёнок светопоглощающих материалов и характеристик устройств на их основе.

В ходе работы было исследовано влияние пяти типов пассиваторов: иодид фенилэтиламмония, иодид бутиламмония, бензиламин, этилендиамин и гексаметилендиамин. Установлено, что добавление 5 % бензиламина и иодида фенилэтиламмония к раствору прекурсоров  $\text{MABrI}_3$  приводят к увеличению интенсивности рефлексов на дифрактограмме плёнки  $\text{MABrI}_3$ , свидетельствуя о повышении кристалличности перовскита и увеличению интенсивности фотолюминесценции, а также о снижении концентрации дефектов в слое перовскита, в то время как добавление 5 % пассиваторов иодида бутиламмония, этилендиамина и гексаметилендиамина приводят к противоположному эффекту.

С использованием бензиламина и иодида фенилэтиламмония были изготовлены солнечные элементы. Установлено, что добавление 5 % бензиламина в раствор прекурсоров приводит к повышению Voc с 1,05 В до 1,11 В.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Saliba M. et al. Chemistry of Materials. American Chemical Society, 2018. Vol. 30, № 13. P. 4193–4201.

# ОСОБЕННОСТИ МОДИФИКАЦИИ АПТЭС ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ДЛЯ СОЗДАНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ СЕНСОРОВ, РАБОТАЮЩИХ НА ЭФФЕКТЕ ГИГАНТСКОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Студент 4 курса Гринь К.Н.<sup>1</sup>

Руководитель к.т.н. Фадейкина И.Н.<sup>1,2</sup>

Государственный университет «Дубна»<sup>1</sup>

Объединенный институт ядерных исследований<sup>2</sup>

grinkostya@mail.ru

Рассмотрена методика модификации полиэтилентерефталатных (ПЭТФ) трековых мембран (ТМ) якорными группами на основе  $Al^{3+}$  и гамма-аминопропильтриэтоксисилана (АПТЭС), с последующей иммобилизацией наночастиц (НЧ) Ag, с целью создания сенсоров, проявляющих эффект гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) света. Для анализа модифицированных ТМ использовались методы сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), УФ-спектроскопии, определения величины  $\zeta$ -потенциала ТМ и КР света с использованием 4-аминотиофенола (4-АТФ)  $10^{-5}$  моль/л, в качестве тестового вещества.

Таблица. Расчеты дзета-потенциала ТМ

	ТМ	ТМ+Al <sup>3+</sup>	ТМ+Al <sup>3+</sup> +АПТЭС
$\zeta$ , мВ	-35,6	-5,3	-1,8
$\sigma$ , Кл/м <sup>2</sup>	0,0090	0,0012	0,0004

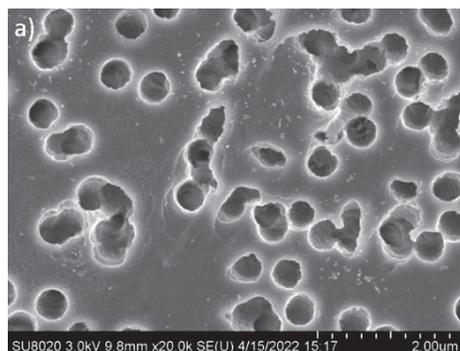
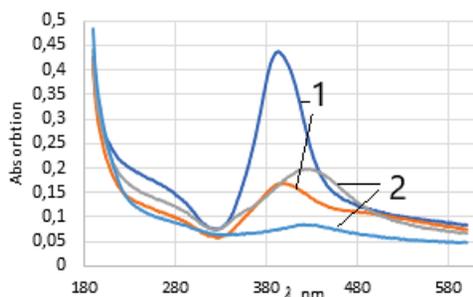


Рис. 1. Спектры поглощения растворов НЧ Ag до и после фильтрации через ТМ (1 – неочищенные, 2 – очищенные) и микрофотография СЭМ поверхности модифицированной ТМ после осаждения НЧ серебра

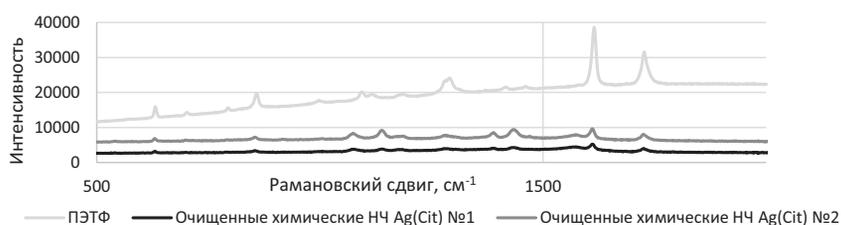


Рис. 2. Спектр ГКР ТМ с иммобилизованными НЧ Ag и 4-аминотиофенолом

Для 4-АТФ обнаружен эффект ГКР света на характеристических полосах области  $1430$  и  $1572$   $cm^{-1}$ . Полученный результат позволит улучшить методику модификации ТМ.

## ФОТОАКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МАРГАНЕЦ(III) ПОРФИРИНОВ И ЗАМЕЩЁННОГО АНТРАЦЕНА

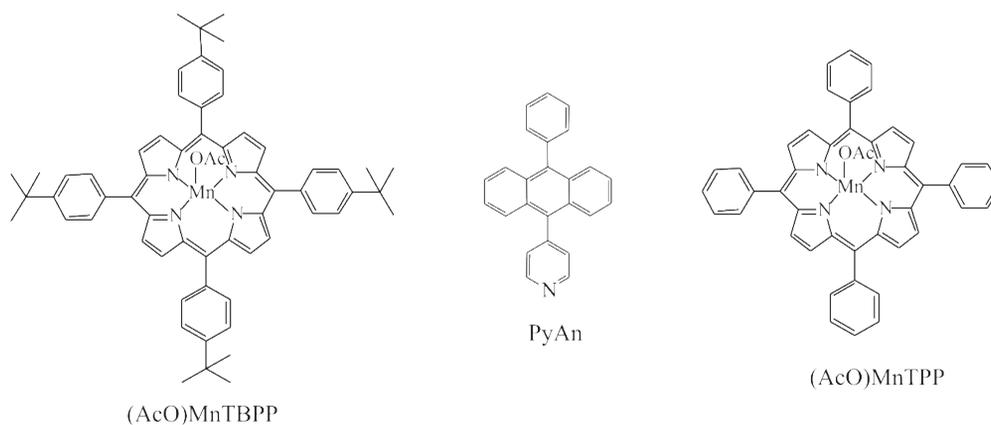
Студентка 2 курса Елховикова А.А.

Руководитель к.х.н. Овченкова Е.Н.

Ивановский государственный химико-технологический университет

*elhovikovaanna@gmail.com*

Донорно-акцепторные системы на основе порфиринов/металлопорфиринов и акцепторов различной природы находят применение в различных областях науки и техники. В последние годы значительные усилия ученых направлены на разработку нефуллереновых акцепторов, которые благодаря низкой стоимости, термической и химической стабильности и простоте их функционализации могут быть использованы для улучшения характеристик органических солнечных элементов. Среди нефуллереновых акцепторов можно выделить перилендиимид [1], антрацен [2]. Цель нашей работы – синтез и изучение фотофизических свойств новых донорно-акцепторных систем на основе марганца(III)порфиринов (AcO)MnTBPP, (AcO)MnTRP и 4-(10-фенилантрацен-9-ил)пиридина (PyAn), способных к фотоиндуцированному разделению зарядов. Реакция их самосборки была изучена методом флуоресцентной спектроскопии в толуоле при постоянной концентрации PyAn и различных концентрациях (AcO)MnTBPP/(AcO)MnTRP, что приводит к тушению флуоресценции PyAn с образованием комплексов состава 1:1 с константами стабильности  $(2.4 \pm 0.6) \times 10^5$  л/моль и  $(1.5 \pm 0.4) \times 10^5$  л/моль для PyAn-(AcO)MnTBPP и PyAn-(AcO)MnTRP систем, соответственно.



Методом время-разрешенной флуоресцентной спектроскопии обнаружено, что при добавлении (AcO)MnTBPP/(AcO)MnTRP время жизни флуоресценции PyAn уменьшается. Методом фемтосекундной абсорбционной спектроскопии установлено, что координация PyAn на марганец(III)порфирине увеличивает время жизни  $\pi$ -катион-радикальной формы (AcO)MnTBPP<sup>•+</sup>, что важно при рассмотрении полученных комплексов в качестве компонентов различных молекулярных материалов.

*Работа выполнена на оборудовании ФИЦ химической физики РАН и Центра коллективного пользования научным оборудованием «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований» и при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, Грант РФФ № 21-73-20090.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Park M., Jung J.W., *Dyes and Pigments*. 2017, 143, 301.
2. Edhborg F., Kűcűkűz B., Gray V., Albinsson B., *J. Phys. Chem. B*. 2019, 123, 9934.

# СИНТЕЗ, СТРУКТУРА, ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА И ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ КОМПЛЕКСОВ ЛАНТАНИДОВ(III) С АРОМАТИЧЕСКИМИ N-ДОНОРАМИ

Студент 4 курса Жернаков М.А.

Руководитель доцент Штырлин В.Г.

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

Создание устойчивых лантанидных комплексов актуально во многих областях исследования – люминесценции, магнетизме, термометрии и фотовольтаике. Каждая из областей определяет особые требования к материалам, которые будут в них использоваться, но термическая стабильность и устойчивость к влаге воздуха должны присутствовать всегда. Хлоридные комплексы лантанидов с N-донорными лигандами не пользуются особой популярностью, так как склонны к деградации при атмосферных условиях, требуют инертных условий синтеза и хранения, что затрудняет их использование, несмотря на выдающиеся фотофизические параметры. Помимо люминесцентных термометров стабильные твёрдые комплексы с высоким квантовым выходом необходимы в качестве стандартов для квантового выхода фотолюминесценции (КВФЛ), твердотельного освещения, мономолекулярных магнетиков и лазерных системах [1].

DPQ и MeDPQ показали себя хорошими фотосенсибилизаторами эмиссии  $Yb^{3+}$ , который является  $f-f$  эмиттером в ближней инфракрасной области спектра, что даёт возможность создания люминесцентных материалов ИК-диапазона на основе этих комплексов. Изучение люминесцентных свойств с типичными эмиттерами видимой области ( $Sm^{3+}$ ,  $Eu^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$ ) представляет интерес, так как существует проблема правильного определения КВФЛ в твердом состоянии, что важно для таких областей применения, как люминесцентная термометрия, твердотельное освещение или разработка люминофоров [2].

Комплексы общего состава  $[LnL_2Cl_3]$ , где  $Ln^{3+} = Sm, Eu, Gd, Tb, Dy$  и  $Y, L = DPQ$  ( $Ln-1$ ) и MeDPQ ( $Ln-2$ ) были получены реакцией замещения воды в кристаллогидратах хлоридов лантанидов  $LnCl_3 \cdot 6H_2O$  соответствующим лигандом с выходом  $\geq 89\%$  и охарактеризованы совокупностью физико-химических методов. Соединения  $Ln-2$  обладают исключительной термической стабильностью и устойчивы к влаге воздуха, что нетипично для хлоридсодержащих координационных соединений лантанидов с органическими N-донорными лигандами. Синтезированные соединения имеют большие перспективы практического применения.

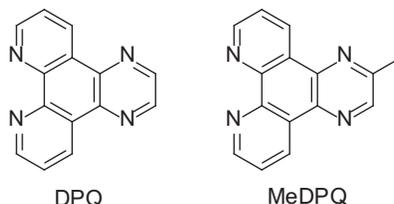


Рис. Используемые в работе органические лиганды

## ЛИТЕРАТУРА

1. Sedykh A.E., ChemPhotoChem **2022**, e202200244.
2. Zhernakov M.A., Zeitschrift fur Anorg. und Allg. Chemie **2022**, 648 (18), e202200230.

НОВЫЙ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИЙ КАРКАСНЫЙ  
КООРДИНАЦИОННЫЙ ПОЛИМЕР  $\{(\text{NMe}_2\text{H}_2)$   
 $[\text{Sm}(\text{TDA})(\text{HCOO})]\}$ : СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И ВЛИЯНИЕ  
ИЗОМОРФНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ САМАРИЯ ИОНАМИ  $\text{Gd}^{3+}$   
И  $\text{Tb}^{3+}$  НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА

Студентка 4 курса Иванова А.А.

Руководитель доцент Белоусов Ю.А.

МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет

*anna.ivanova@chemistry.msu.ru*

Путем взаимодействия  $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3$  ( $\text{Ln} = \text{Sm}, \text{Gd}, \text{Tb}$ ) и 1,2,3-триазол-4,5-дикарбоновой кислоты ( $\text{H}_3\text{TDA}$ ) в смеси вода–ДМФ (1:1) синтезированы новые комплексы РЗЭ  $[\text{NMe}_2\text{H}_2][\text{Sm}_x\text{Ln}_{1-x}(\text{TDA})(\text{HCOO})]$ , ( $\text{Ln}: \text{Gd}, \text{Tb}$ ). Были определены оптимальные условия получения монокристаллов  $\{(\text{NMe}_2\text{H}_2)\}[\text{Ln}(\text{TDA})(\text{HCOO})] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , что позволило изучить кристаллическую структуру комплексов с  $\text{Ln} = \text{Sm}^{3+}$  и  $\text{Gd}^{3+}$ . Эти соединения представляют собой трехмерные каркасные координационные полимеры, содержащие молекулы воды и катионы диметиламония в полостях.

Были изучены люминесцентные свойства полученных соединений. Спектры люминесценции образцов серии  $\text{Sm}_x\text{Gd}_{1-x}\text{-TDA}$  содержат полосы излучения как лиганда, так и самария, что связано с недостаточно эффективной передачей энергии возбуждения от лиганда к иону  $\text{Sm}^{3+}$ . Это можно объяснить высоким энергетическим зазором между триплетным уровнем лиганда и резонансным уровнем иона  $\text{Sm}^{3+}$ , хотя в случае изученного ранее комплекса европия, фосфоресценции лиганда не наблюдалось [1]. Также была описана кинетика затухания люминесценции самария в  $\text{Sm}_x\text{Gd}_{1-x}\text{-TDA}$  при помощи биэкспоненциальной модели.

В спектрах люминесценции соединений серии  $\text{Sm}_x\text{Tb}_{1-x}\text{-TDA}$  наблюдается излучение ионов  $\text{Sm}^{3+}$  и  $\text{Tb}^{3+}$ . Излучение лиганда тушится и его интенсивность быстро уменьшается с увеличением относительной концентрации  $\text{Tb}^{3+}$ . Присутствие в спектрах возбуждения люминесценции ионов  $\text{Sm}^{3+}$  полос, соответствующих переходам  $\text{Tb}^{3+}$ , указывает на сенсбилизацию люминесценции ионов самария ионами тербия. Для люминесценции самария существует начальный период роста, который мы ранее наблюдали в биметаллических комплексах тербий-европий. Наличие этого периода роста затрудняет определение времени жизни излучения ионов  $\text{Sm}^{3+}$ , но подтверждает наличие сенсбилизации люминесценции ионов самария ионами  $\text{Tb}^{3+}$ .

Были измерены времена жизни для самария в смешаннометаллических комплексах и показано, что время жизни возбужденного состояния иона  $\text{Sm}^{3+}$  увеличивается с увеличением доли  $\text{Gd}^{3+}$ . Это говорит об ингибировании концентрационного тушения [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов Ю.А., Гончаренко В.Е., Лунев А.М., Сидорук А.В., Беззубов С.И., Тайдаков И.В., Координационная Химия, 2020, Т. 46, №6, С. 349–356.
2. Ivanova A.A. et al., Inorganics, 2022. Vol. 10, no. 8, p. 104.

## СИНТЕЗ И КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА

**Студентка 4 курса Ильина А.А., студент 2 курса магистратуры Гурьев Н.В.**

Руководитель доцент Исаева Е.И.

*Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена  
inasty2001@mail.ru*

Наноконпозиты на основе диоксида церия, модифицированного наночастицами золота и серебра, перспективны в качестве фотокатализаторов деструкции органических красителей и поллютантов, катализаторов низкотемпературного дожига выхлопных газов, СО и сажи, а также селективного окисления органических веществ, например, формальдегида и бензилового спирта.

Нами разработаны методики фотохимической модификации поверхности диоксида церия наночастицами золота и серебра и исследована каталитическая активность полученных структур Au/CeO<sub>2</sub> и Ag/CeO<sub>2</sub> на примере реакций фотодеструкции метилоранжа и фенола и каталитического окисления сажи.

Модификацию диоксида церия наночастицами золота и серебра проводили фотохимическим восстановлением соединений золота(III) и серебра(I) в присутствии волокнистого диоксида церия, полученного темплатным способом.

В качестве прекурсора для синтеза наночастиц золота использовали H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> водно-этанольный раствор которого облучали монохроматическим светом ( $\lambda_{\text{возб}}$  254 нм) в присутствии волокнистого диоксида церия [1]. В результате облучения в течение 30 минут происходит формирование наночастиц золота сферической формы с размерами в диапазоне 15–18 нм на поверхности CeO<sub>2</sub>.

Модификацию диоксида церия наночастицами серебра осуществляли фотолизом раствора AgNO<sub>3</sub> в диметилформамиде в течение 3–5 минут. Образующиеся частицы серебра, средний размер которых составляет 25–30 нм, в зависимости от условий синтеза осаждаются преимущественно на поверхности диоксида церия (процент заполнения поверхности 33–40 %). По результатам рентгенодифракционного анализа образцы CeO<sub>2</sub>/Au и CeO<sub>2</sub>/Ag содержат рефлексы характерные для кристаллической структуры CeO<sub>2</sub>, Au и Ag.

Исследованы спектральные характеристики полученных Au/CeO<sub>2</sub> и Ag/CeO<sub>2</sub> наноструктур, их фазовый состав и морфология, а также кинетические закономерности формирования частиц золота и серебра в зависимости от природы растворителя и морфологии частиц диоксида церия. Изучена каталитическая активность диоксида церия до и после модификации наночастицами золота и серебра в реакциях фотодеструкции метилоранжа и фенола. Показано, что модификация наночастицами переходных металлов приводит к увеличению фотокаталитической активности образцов при облучении УФ-светом по сравнению с немодифицированным CeO<sub>2</sub>.

Методами дифференциально-сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа изучена каталитическая активность частиц CeO<sub>2</sub> и CeO<sub>2</sub>/Ag в реакциях окисления сажи. Показано, что наибольшей каталитической активностью в реакциях окисления сажи обладает образец CeO<sub>2</sub>, модифицированный наночастицами серебра (n(CeO<sub>2</sub>):n(Ag) = 10:1).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Волков А.А., Бойцова Т.Б., Стожаров В.М., Исаева Е.И. // ЖОХ. 2020. Т. 90. Вып. 2. С. 308.

## СИНТЕЗ НАНОПОРОШКОВ $\text{Li}_{1+x}\text{Al}_x\text{Ti}_{2-x}(\text{PO}_4)_3$ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ Li-ПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКИ

**Студентка 4 курса Кирьянова А.В.**

Руководители аспирант Сую С.О., к.х.н. Капитанова О.О.

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

*Vov-lena2010@yandex.ru*

Повышение удельных электрохимических характеристик перезаряжаемых источников тока – актуальная задача в особенности для таких приложений как портативная электроника и электромобили. Одним из важных направлений является разработка и оптимизация свойств электролитов. В настоящее время используют жидкие электролиты на основе неводных растворителей и литиевых солей. Однако, значимые недостатки жидких электролитов, такие как воспламеняемость при высоких нагрузках в процессе эксплуатации, необходимость хранения в безводной атмосфере затрудняют их применение. Керамический электролит термически стабилен вплоть до экстремальных условий ( $\sim 500$  °C), не воспламеняется и устойчив на воздухе. Одним из перспективных материалов для твердотельных электролитов является проводящая керамика  $\text{Li}_{1.4}\text{Al}_{0.4}\text{Ti}_{1.6}(\text{PO}_4)_3$  (LATP) с кристаллической структурой NASICON. Подходы к синтезу электрокерамики можно разделить на твердотельные и жидкофазные. Однако, ни один метод не позволяет эффективно получить наночастицы с контролируемым размером менее 50 нм. При этом снижение размера частиц открывает возможности понижения температур синтеза и спекания керамики, а также позволяет повысить ее относительную плотность. Поэтому в данной работе представлен новый подход к синтезу керамических порошков LATP на основе модификации золь-гель и растворного методов.

Так, на первом этапе синтеза проводили растворение тетрабутоксититана в 8 М растворе азотной кислоты при 60 °C и постоянном перемешивании. Далее  $\text{Ti}^{4+}$  комплексовали раствором пероксида водорода (30 %) с образованием ярко-алого раствора. После этого в реакционную смесь добавляли соли прекурсоров ( $\text{LiNO}_3$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) в стехиометрических соотношениях. Стоит отметить, что после этого этапа раствор оставался прозрачным, что указывает на полное отсутствие побочных реакций осаждения. Для образования полимерной матрицы, которая зафиксирует равномерное распределение растворенных прекурсоров, использовали сополимеризацию акриламида и N,N'-Метилен-бис-акриламида в присутствии смеси неорганических прекурсоров. В результате были получены прозрачные полимерные композиты желтого цвета с равномерным распределением  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ -солей, которые затем термически обрабатывали при 700–800 °C.

Нам удалось получить наночастицы с размером в диапазоне от 100 до 15 нм в зависимости от соотношения компонентов композита и температуры синтеза. Размер частиц оценивали методом динамического светорассеяния и статистической обработкой изображений электронной микроскопии. Достигнутый минимальный латеральный размер ранее не был отмечен в литературе. Предложенная полимерная матрица обеспечивает равномерное распределение неорганических прекурсоров в полимере.

Апробация предложенного подхода позволила снизить энергетические затраты в процессе синтеза наночастиц LATP в сравнении с известными методами за счет понижения температуры синтеза до 700 °C.

# OLED С ДВОЙНОЙ ЭМИССИЕЙ НА ОСНОВЕ СМЕШАННО-ЛИГАНДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЕВРОПИЯ- ИТТЕРБИЯ ДЛЯ ОКСИМЕТРИИ

**Студент 4 курса Корников А.И.**

Руководитель студент 2 курса магистратуры Козлов М.И.  
*МГУ им. М.В. Ломоносова химический факультет*  
*andrey.kornikov@mail.ru*

Координационные соединения (КС) лантанидов являются перспективными материалами для эмиссионных слоёв органических светоизлучающих диодов (OLED), благодаря ряду уникальных оптических свойств. Одним из применений OLED устройств является оксиметрия – неинвазивный спектрофотометрический метод определения степени насыщения крови кислородом. Однако оксиметрия требует создания OLED, обладающих люминесценцией как в видимом, так и в ближнем ИК диапазонах. Ионы европия и иттербия обладают узкими полосами люминесценции с идеальными для оксиметрии длинами волн, однако оксиметры на их основе до сих пор не были получены. Кроме того, использование твёрдых растворов КС европия и иттербия, а не индивидуальных монометаллических КС, позволит упростить структуру оксиметра и создать устройство с одним светодиодом вместо двух. Поэтому целью нашей работы стало изучение люминесцентных свойств биметаллических комплексов европия и иттербия и создание OLED на их основе.

В качестве нейтрального лиганда был выбран батофенантролин (BPhen), способный сенсibilизировать люминесценцию  $\text{Eu}^{3+}$  и обеспечить высокую электронную подвижность [1]. В качестве анионного лиганда был выбран дибензоилметанат-анион ( $\text{dbm}^-$ ), КС европия с которым обладают эффективной люминесценцией, в том числе в OLED. Таким образом, объектами исследования стали разнолигандные комплексы  $\text{Eu}_x\text{Yb}_{1-x}(\text{dbm})_3\text{BPhen}$ , а также  $\text{Eu}_x\text{La}_{1-x}(\text{dbm})_3\text{BPhen}$  и  $\text{La}_x\text{Yb}_{1-x}(\text{dbm})_3\text{BPhen}$  ( $x = 0; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 1$ ).

Состав полученных КС был определён методами ТГА, РФА, ИК-спектроскопии,  $^1\text{H}$ -ЯМР-спектроскопии, масс-спектрометрии MALDI и рентгеноспектрального микроанализа. Квантовые выходы фотолюминесценции иттербия и европия в полученных индивидуальных КС достигли 0,9 % и 31 % соответственно, что является высокими значениями для КС этих ионов. Полученные КС  $\text{Eu}_x\text{Yb}_{1-x}(\text{dbm})_3\text{BPhen}$  ( $x = 0; 0,01; 0,05; 0,1; 1$ ) были протестированы в OLED, которые продемонстрировали интенсивную электролюминесценцию и в видимой, и в ближней ИК-области, а также высокие значения яркости и энергоэффективности. Энергоэффективность КС  $\text{Eu}_{0,05}\text{Yb}_{0,95}(\text{dbm})_3\text{BPhen}$  достигла 147 мкВт/Вт, что является одним из самых высоких значений для OLED на основе иттербия, превосходя энергоэффективность OLED с монометаллическим КС. Таким образом, КС  $\text{Eu}_{0,05}\text{Yb}_{0,95}(\text{dbm})_3\text{BPhen}$  является перспективным соединением для применений в оксиметрии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kozlov M.I. et al. *Dalt. Trans. Royal Society of Chemistry*, 2019. Vol. 48, № 46. P. 17298–17309.

## УЛУЧШЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАТОДОВ $\text{LiFePO}_4$ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИТОВ С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ

**Студентка 2 курса Минакова П.В.**

Руководитель д.х.н. Стенина И.А.

*НИУ Высшая школа экономики*

*Институт общей и неорганической химии им.Н.С. Курнакова РАН*

*pvtinakova@edu.hse.ru*

Литий-ионные аккумуляторы занимают лидирующее положение на мировом рынке уже около 30 лет. Однако они требуют совершенствования. К перспективным катодным материалам относят фосфат лития-железа  $\text{LiFePO}_4$  (LFP) [1]. Его преимущества: невысокая стоимость, экологическая безопасность и долговечность. Однако LFP характеризуется низкими величинами электронной и литиевой проводимости, что ограничивает его практическое использование. Для улучшения электрохимических характеристик известны следующие подходы: применение наноматериалов, гетеровалентное допирование, нанесение высокопроводящего покрытия [2, 3]. Цель нашей работы – модификация  $\text{LiFePO}_4$  высокопроводящим углеродным нанопокрывтием и исследование электрохимических характеристик полученных композитов.

Композиты  $\text{LiFePO}_4/\text{C}$  с углеродными наноматериалами (УНМ) (углеродными нанотрубками (УНТ) или наночешуйками (УНЧ)) получали путем механической обработки в планетарной мельнице или ступке. Количество УНМ составляло 10 % (масс.). Полученные материалы были охарактеризованы рентгенофазовым анализом, сканирующей электронной микроскопией, элементным анализом, измерением электропроводности и удельной поверхности.

Полученные композиты характеризуются уменьшением размера частиц и повышением электронной проводимости, наибольшие значения которой наблюдаются для композита с УНЧ. Композиты имеют существенно большие величины обратной разрядной емкости по сравнению с исходным образцом за счет формирования сетки высокопроводящих контактов между частицами катодного материала. Обработка образцов в ступке приводит к лучшим результатам по сравнению с образцами, подвергшимися обработке в планетарной мельнице. Предположительно, это связано с частичным разрушением УНТ в планетарной мельнице. Наилучшие результаты показали композиты с УНТ: значения емкости достигали 169 мАч/г, что близко к теоретической. Материалы отличаются высокой стабильностью. Предлагаемый нами подход перспективен для синтеза катодных материалов литий-ионных аккумуляторов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-08-00769).*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Padhi A.K., Nanjundaswamy K.S., Goodenough J.B., J. Electrochem. Soc., **1997**, **144**, 1188.
2. Бурмистрова Н.А., Сычева В.О., Чураков А.В., Иванничева И.А. Электрохимическая энергетика. **2009**. 9, № 4, С. 188-198.
3. Stenina I.A., Shaydullin R.R., Desyatov A.V., Kulova T.L., Yaroslavtsev A.B. Electrochim. Acta. **2020**. V. 364. N137330.

## ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МЕМРИСТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГРАФЕНА И УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Студент 3 курса Митюшев Н.Д.<sup>1</sup>

Руководитель к.х.н. Баранов А.Н.<sup>2</sup>

МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах<sup>1</sup>

МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет<sup>2</sup>

*nikita.mit55@gmail.com*

Двумерные (2D) материалы, такие как восстановленный оксид графена (GO), позволяют получить переключающиеся резистивные структуры в планарном исполнении. 2D Материалы, модифицированные с помощью углеродных наночастиц (УНЧ), позволяют контролировать резистивные состояния таких структур с помощью света в видимом диапазоне. Целью нашей работы было определение возможных путей создания фоторезистивных структур путем восстановления и модифицирования оксида графена УНЧ. Такого рода структуры необходимы при конструировании ячеек с кратковременной или долгосрочной энергонезависимой резистивной памятью.

На первой стадии изготовления структур проводили восстановление ОГ гидразином или аскорбиновой кислотой в присутствии HF. Полученные восстановленные пленки ОГ совместно с коллоидным раствором УНЧ наносили на кремниевые подложки с нанесенной металлизированной измерительной структурой.

На рис. 1 (А и Б) приведены вольтамперные характеристики (ВАХ) полученных структур, где ОГ восстанавливали аскорбиновой кислотой и гидразином, при прямой и обратной развертке напряжения. Структура (А) резистивно переключается при облучении светом, то есть напряжение переключения зависит от длины волны возбуждаемого света, что позволяет использовать ее как универсальную ячейку памяти, переключаясь между различными состояниями проводимости с помощью света, при этом память структуры краткосрочная, поскольку состояния высокой и низкой резистивности (СВС и СНС на рисунке), сбрасываются после прохождения 0 напряжения. Структура (Б), изготовленная тем же методом, но с другим более сильным восстановителем – гидразином. В этом случае происходит расширение диапазона токов (на 2–3 порядка), и состояние резистивности после прохождения 0 сохраняется, поэтому структуру можно считать энергонезависимой.

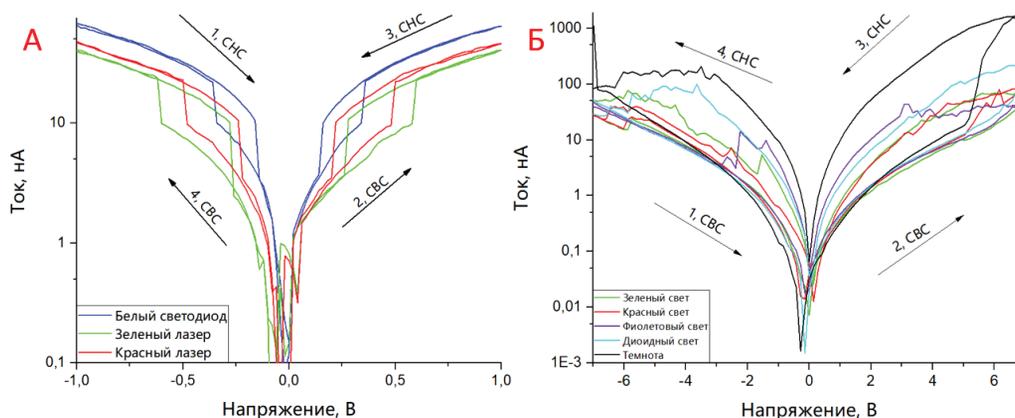


Рис. ВАХ структуры с нанесенным GO, восстановленным аскорбиновой кислотой, в виде пленки, с УНЧ (А), ВАХ структуры с нанесенным GO, восстановленный гидразином, в виде пленки, с УНЧ (Б)

# СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАРБОКСИЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПАЛЛАДИЯ(II) И ПЛАТИНЫ(II)

Студентка 4 курса Огаркова Н.К.

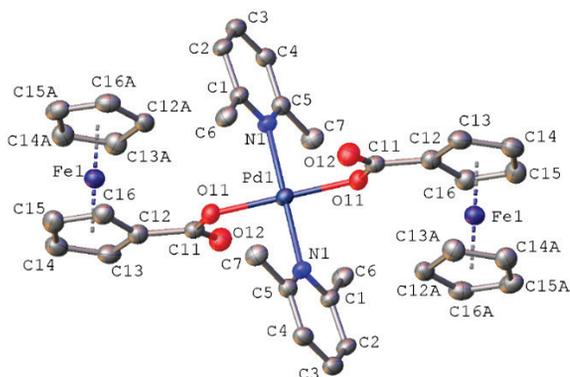
Руководитель к.х.н. Якушев И.А.

Российский университет дружбы народов

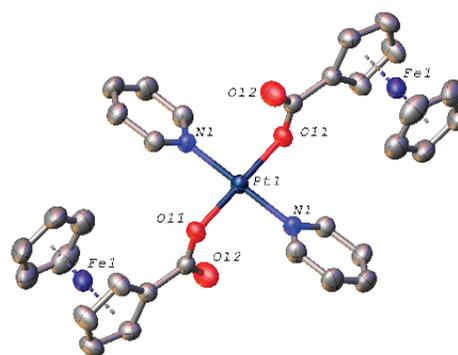
ogarkova-nadya00@mail.ru

Интерес к гетерометаллическим комплексам палладия и платины обусловлен возможностью применения их в качестве катализаторов гомогенного гидрирования углеводородов [1], а также прекурсоров нанесенных гетерогенных катализаторов [2]. Цель нашей работы – синтез и исследование каталитических свойств ферроценкарбоксилатных комплексов палладия и платины с N-донорными лигандами как симметричного, так и асимметричного строения.

Полученные ранее соединения  $[\text{Pd}(\text{Py})_2(\text{FcCOO})_2]$  и  $[\text{Pd}(\text{Phen})(\text{FcCOO})_2]$  [3] обладают низкой растворимостью и их использование для гомогенного катализа затруднено, поэтому в данной работе найдены подходы к получению хорошо растворимых комплексов *транс*- $[\text{Pd}(\text{L})_2(\text{FcCOO})_2]$  (где L – 3,4-лутидин, 2,6-лутидин, 3,5-лутидин). Также разработана синтетическая схема получения биметаллического комплекса *транс*- $[\text{PtPy}_2(\text{FcCOO})_2]$ , структурного аналога *транс*- $[\text{Pd}(\text{L})_2(\text{FcCOO})_2]$ . Взаимодействие ацетатных комплексов палладия и платины с  $\text{FcCOOH}$  в различных условиях приводит к образованию разнообразных гетерометаллических структур с различной ориентацией ферроценкарбоксилатных анионов.



Структура кристалла  $\text{Pd}(\text{Me}_2\text{Py})_2(\text{FcCOO})_2$



Структура кристалла *транс*- $[\text{PtPy}_2(\text{FcCOO})_2]$

В результате работы методом рентгеноструктурного анализа установлена структура комплексных соединений палладия(II) и платины(II) с ферроценкарбоновой кислотой *транс*-строения  $[\text{Pd}(\text{L})_2(\text{FcCOO})_2]$  и  $[\text{PtPy}_2(\text{FcCOO})_2]$ . Изучены каталитические свойства гетерометаллических карбоксилатных комплексов Pd и Pt в реакции окисления дифенилацетилена.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-73-10206).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Stolarov I.P., Yakushev I.A., Churakov A.V. et al., *Inorg. Chem.*, **2018**, *57*, 11482–11491.
2. Smirnova N., Khramov E., Stolarov I.P., et al. *Intermetallics*, **2021**, vol. 132, p. 107160.
3. Якушев И.А., Дюжева М.А., Стеблецова И.А. и др. *Координационная химия*, **2022**, т. 48, № 3, стр. 157–167.

## ПОВЫШЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛЕНОК СПЛАВА Pt-Rh ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ $ZrO_2$

**Студент 2 курса Плешаков Г.А.**

Руководители к.х.н. Росляков И.В. и студент 2 курса магистратуры Калинин И.А.  
*МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах*  
*georgij.pleshakov.03@mail.ru*

Планарные полупроводниковые и термokatалитические сенсоры горючих и ядовитых газов в наше время имеют огромное значение. Важной частью таких сенсоров является тонкопленочный нагревательный элемент резистивного типа, работающий при температуре 400–600 °С. Материалом такого элемента служит платина, преимуществами которой являются высокая температура плавления (1768 °С), высокое удельное сопротивление ( $10,6 \cdot 10^{-8}$  Ом·м), высокий температурный коэффициент сопротивления ( $3,9 \cdot 10^{-3}$  1/°С при 0–700 °С) и химическая стабильность. Однако тонкие пленки платины деградируют при температурах работы сенсоров в результате рекристаллизации. Предотвратить деградацию можно легированием тугоплавкими металлами и внедрением в пленку тугоплавких оксидов. В качестве легирующей добавки широко используется Rh (10–20 ат. %), который образует с платиной твердые растворы с температурой плавления выше, чем у чистой Pt. Тугоплавкие оксиды металлов (в частности, Zr) располагаются на границах зерен платины, вследствие чего рекристаллизация протекает менее интенсивно.

Целью работы стало исследование термической устойчивости тонких пленок сплава платины с 19 ат. % родия ( $Pt_{81}Rh_{19}$ ) и многослойных тонкопленочных структур, состоящих из слоев  $Pt_{81}Rh_{19}$  и  $ZrO_2$  ( $Pt_{81}Rh_{19}/ZrO_2$ ) для создания на их основе микронагревателей, имеющих большой срок эксплуатации.

В качестве подложек для тонких пленок использовали пористые пленки анодного оксида алюминия (АОА) толщиной 30 мкм, полученные анодным окислением алюминия в 0,3 М растворе щавелевой кислоты при 100 В при температуре  $1 \pm 1$  °С. Далее на АОА методом магнетронного напыления послойно наносили сплав  $Pt_{81}Rh_{19}$  и Zr. Для получения пленок  $Pt_{81}Rh_{19}/ZrO_2$  поочередно наносили Zr и сплав  $Pt_{81}Rh_{19}$  при соотношении толщин слоев 7:13. Общая толщина пленок составила 200 нм, что соответствует 10 слоям каждого из используемых материалов в обоих случаях.

Толщина пленок уточнялась методом атомно-силовой микроскопии и составила для каждого случая  $200 \pm 15$  нм. Данные РЭМ подтверждают слоистую структуру нанесенных пленок, при этом наблюдается значительная анизотропия формы зерен. Кристаллиты материала пленки имеют столбчатую структуру, высота кристаллита совпадает с толщиной пленки (200 нм), а средний диаметр поперечного сечения столбчатого зерна составил 15 нм. После отжига полученных пленок при 900 °С в течение 12 часов средний диаметр поперечного сечения зерен для состава  $Pt_{81}Rh_{19}$  составил  $496 \pm 120$  нм, для  $Pt_{81}Rh_{19}/ZrO_2$  –  $198 \pm 69$  нм.

Рекристаллизация пленок, содержащих  $ZrO_2$ , приводит к формированию двух слоев: поверхностный слой, представляющий собой островковую непроводящую структуру, и нижний мелкокристаллический сплошной слой. По данным РСМА крупные кристаллиты на поверхности пленки обогащены платиной, а сплошной мелкокристаллический слой цирконием. Данные РФА указывают на то, что отжиг пленок  $Pt_{81}Rh_{19}/Zr$  при 900 °С приводит к образованию кристаллической фазы  $ZrO_2$  тетрагональной сингонии, а при 1000 °С – тетрагональной и моноклинной, что не согласуется с фазовой диаграммой системы Zr-O, но объясняется возникновением механических напряжений при отжиге слоистых тонких пленок.

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ $\text{Na}_{2/3}\text{Ni}_{1/3-x}\text{Mg}_x\text{Mn}_{2/3}\text{O}_2$ КАК КАТОДНОГО МАТЕРИАЛА НАТРИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА

Студент 2 курса Погиба А.А.<sup>1</sup>

Руководитель Захарченко Т.К.<sup>2,3</sup>

*МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах<sup>1</sup>*

*МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет<sup>2</sup>*

*ФИЦ химической физики РАН<sup>3</sup>*

*rogibaаа@ty.msu.ru*

Для развития альтернативных источников энергии необходимы стационарные безопасные, недорогие и высокоёмкие накопители энергии. Наиболее распространённые на сегодняшний день литий-ионные аккумуляторы не подходят для этих целей из-за высокой стоимости их производства, поэтому в качестве альтернативы рассматриваются ячейки с более распространённым и простым в добыче натрием [1]. В связи с этим становится актуальным вопрос поиска материалов для натрий-ионных аккумуляторов. В качестве перспективного катодного материала рассматривается фаза  $\text{Na}_{2/3}\text{Ni}_{1/3-x}\text{Mn}_{2/3}\text{O}_2$ , демонстрирующая высокие показатели удельной электроёмкости, достигающие 173 мАч/г. Однако, в процессе циклирования ёмкость фазы значительно снижается из-за окислительно-восстановительных процессов с участием кислорода, способствующих деградации структуры. Одним из предложенных методов решения проблемы является частичное замещение никеля на магний, который позволил бы стабилизировать данную структуру [2]. При этом в литературе не было обнаружено информации о термодинамической устойчивости данной фазы, которая уже была исследована для ряда перспективных катодных материалов [3].

В ходе нашей работы был проведён твердофазный синтез образцов  $\text{Na}_{2/3}\text{Ni}_{1/3-x}\text{Mg}_x\text{Mn}_{2/3}\text{O}_2$  с  $x = (0; 1/9; 1/6; 2/9)$  из соответствующих оксидов и карбоната натрия. Были оптимизированы условия механической гомогенизации, которые позволили получить однофазные образцы. На основе полученных веществ были изготовлены электроды путем нанесения катодной пасты, полученной в результате смешивания оксидной фазы с сажей и поливинилиденфторидом при растворении в N-метилпирролидоне. Для проведения электрохимических испытаний были собраны полужайчки с анодом из металлического натрия и раствором  $\text{NaPF}_6$  в 0.5 М пропиленкарбонате в качестве электролита.

Составы фаз были подтверждены методом рентгенофазового анализа, при этом с увеличением содержания магния увеличивались параметры кристаллических решёток. Все образцы были закристаллизованы в пространственной группе  $R\bar{6}_3/mmc$ . Согласно данным гальваностатического циклирования, максимальное значение удельной ёмкости при среднем значении удельного тока 0,053 А/г составило 142 мАч/г. Дифференциальная сканирующая калориметрия и последующий рентгенофазовый анализ незаряженных катодных материалов показали, что с материалом имеет примеси сторонних фаз, что предположительно связано с постепенным старением материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kubota K., Chem. Rec. 2018. Т. 18, № 4. С. 459–479.
2. Tapia-Ruiz N., Energy Environ. Sci. 2018. Т. 11, № 6. С. 1470–1479.
3. Samigullin R.R., ACS Appl. Energy Mater. 2022. Т. 5, № 1. С. 14–19.

# СИНТЕЗ НОВЫХ ГИБРИДНЫХ АЭРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ $WO_3$

**Студент 4 курса Попков М.А.**

Руководитель к.х.н. Каменева С.В.

*МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах  
popkovma2001@mail.ru*

Природные полимеры – целлюлоза и хитозан – обладают рядом полезных характеристик, таких как биоразлагаемость и нетоксичность, они легко поддаются химической модификации, способны образовывать водные дисперсии, гибкие пленки, гели и аэрогели, эффективно адсорбировать катионы металлов и неорганические наночастицы [1]. Перечисленные качества делают целлюлозу и хитозан удобными матрицами для создания гибридных композиционных материалов. В качестве модификаторов полимеров был выбран нанодисперсный оксид  $WO_3$  обладающий низкой токсичностью к тканям человека и оказывающий противовоспалительные, антибактериальные и антиоксидантные эффекты [2].

В нашей работе была поставлена цель получить композитные пленки и аэрогели на основе природных полимеров и их производных, модифицированных наночастицами  $WO_3$ . Карбоксилированная нанокристаллическая целлюлоза была получена путем кислотного гидролиза целлюлозы и последующего ТЕМПО-окисления. Водные дисперсии полимеров смешивали с золей оксида для получения устойчивых гидрогелей. Гелирование происходит за счет электростатического взаимодействия поликатионов ТЕМПО-целлюлозы, полианионов хитозана и наночастиц оксида. Аэрогели получили сушкой в сверхкритическом  $CO_2$ .

Впервые были получены композитные аэрогели состава  $WO_3$ /(целлюлоза и/или хитозан) методом сушки в сверхкритическом  $CO_2$ . Образцы были охарактеризованы методами РФА, РЭМ, ИК- и УФ-спектроскопии. По данным измерений низкотемпературной сорбции азота, аэрогели обладают развитой поверхностью (удельная площадь 200–260  $m^2/g$ ). Геометрическая плотность аэрогелей составляет от 20 до 60  $mg/cm^3$ . Были исследованы механизмы реакций окрашивания и обесцвечивания аэрогелей, содержащих  $WO_3$ . Антиоксидантные свойства композитов были исследованы методом люминол-активированной хемилюминесценции.

*Каменева С.В. благодарит Совет по грантам Президента Российской Федерации за поддержку исследования (№ СП-4398.2021.4).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Abdul Khalil, H.P.S. et al. Carbohydr. Polym. **2016**. Vol. 150, P. 216–226.
2. Duan G. et al. Chem. Res. Toxicol. **2019**. Vol. 32, No. 7, P. 1357–1366.

## РЕАКЦИОННО-СВЯЗАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОКТАКАЛЬЦИЕВОГО ФОСФАТА ДЛЯ ОСТЕОПЛАСТИКИ

**Студентка 2 курса Рассолова Ю.Р.**

Руководители Мурашко А.М., Филиппов Я.Ю.  
МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах  
*rassolovayr@nu.msu.ru*

В последние годы стремительными темпами растет статистика по заболеваниям, связанным с опорно-двигательной системой, в связи с чем увеличивается интерес к материалам, предназначенным для регенерации костной ткани. Наиболее перспективными считаются биосовместимые прочные имплантаты, которые способны растворяться под действием межтканевой жидкости. Перспективными являются материалы на основе октакальциевого фосфата (ОКФ), который в сочетании с оптимальной биодegradацией отличается биосовместимостью, а также способствует усилению нового костеобразования. Несмотря на уникальные свойства ОКФ, его прочностные характеристики невелики. Однако их можно улучшить путем реакционного связывания, в результате которого происходит упрочнение материала. Таким образом, целью данной работы стала разработка метода получения реакционно-связанного материала (РСМ) на основе октакальциевого фосфата и исследование его механических и биологических характеристик.

Для синтеза ОКФ использовали двухстадийный подход с образованием материала на основе брусита в качестве промежуточной фазы. При осуществлении такого подхода брусит синтезировали гидролизом  $\beta$ -ТКФ и МКФМ в водном растворе. В дальнейшем, полученный образец гидролизировали на протяжении 24 часов в ацетатном буфере при pH = 6.5 и температуре 60 °C с образованием ОКФ. Данные растровой электронной микроскопии согласуются с литературными данными, так как наблюдаются крупные кристаллы для РСМ на основе брусита и мелкие для РСМ на основе ОКФ.

Предел прочности для материала на основе брусита и на основе ОКФ составил  $10.7 \pm 2.6$  МПа и  $6.3 \pm 1.0$  МПа соответственно, что достаточно для медицинского применения. Модуль Юнга:  $1.1 \pm 0.3$  ГПа и  $0.7 \pm 0.1$  ГПа, что не превышает жесткость костной ткани – 1–20 ГПа, следовательно, материалы не будут экранировать механическую нагрузку.

Значения pH, формируемого в растворе материалами лежит в допустимом для биологического применения диапазоне. Исследование растворимости в трибуфере при pH = 7.4 показало меньший уровень pCa для бруситового образца, что согласуется с его большей растворимостью. РСМ на основе брусита и РСМ на основе ОКФ являются биоактивными, так как после 72-х часовой выдержки в растворе 5×SBF при 37,7 градусах данные РЭМ подтверждают выпадение на поверхности образцов мелких кристаллов гидроксипатита. Определение цитотоксичности полученных образцов было проведено с помощью сокультивирования первичной культуры стромальных клеток. Уже после 24-х часов после посева клеток было обнаружено, что количество живых клеток на поверхности ОКФ больше, чем на поверхности брусита, что свидетельствует о меньшей токсичности данного материала.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-79-10210.*

ПЬЕЗОФОТОТРОННЫЙ ЭФФЕКТ, УПРАВЛЯЕМЫЙ  
УЛЬТРАЗВУКОМ И ПОТОКОМ ВОДЫ  
В САМОПОЛЯРИЗОВАННОЙ ГИБКОЙ ПЛЕНКЕ  
ИЗ НАНОВОЛОКОН ПВДФ, СОДЕРЖАЩИХ  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  
ДЛЯ УСИЛЕННОГО КАТАЛИТИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ

**Студент 4 курса Селимов Д.А.**

Руководитель к.х.н. Оруджев Ф.Ф.  
Дагестанский Государственный Университет  
*daud-selimov@live.com*

Накопление загрязняющих веществ в воздухе, почве и воде угрожает природной среде. Устранение загрязнений окружающей среды сегодня является настоятельной необходимостью. Среди используемых методов рекультивации важное место занимают фотоокислительные процессы. Они представляют собой класс методов, основанных на генерации *in situ* высокоактивных радикалов, которые могут разрушать большинство органических загрязнителей. Установлено, что эти генерируемые светом радикалы наиболее эффективны для очистки сточных вод особенно в регионах, где много солнечного света.

Удаление органических загрязнений с помощью полупроводниковых фотокатализаторов широко исследовано. Однако низкая подвижность носителей заряда и быстрая рекомбинация электронно-дырочных пар являются общими проблемами, ограничивающими фотокатализ на основе полупроводников [1]. В связи с этим предложена новая концепция, в которой встроенное пьезоэлектрическое поле используется для усиления разделения фотоиндуцированных носителей заряда в фотокаталитических наночастицах [2].

Новизна нашего исследования состоит в уникальном дизайне материала, в котором наночастицы оксида железа довольно однородно встроены внутри нановолокон ПВДФ. Это позволило совместить фотокаталитические свойства оксида железа и пьезоэлектрические свойства ПВДФ. За счет пьезофототронного эффекта удалось добиться высокой степени разложения красителя метиленового синего, как в условиях ультразвукового возбуждения пьезопотенциала, так и в условиях турбулентного потока воды.

Состав, морфология и структура мембран из нановолокон ПВДФ, содержащих оксид железа  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , были исследованы с помощью СЭМ, рентгеноструктурного анализа, спектроскопии комбинационного рассеяния, ИК-Фурье спектроскопии, РФЭС и ДСК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Iervolino G., et al. Heterogeneous photocatalysis. 2020.
2. Wang Z.L. J. Phys. Chem. Lett. 2010,1.

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ГЕТЕРОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАРБОКСИЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЛАТИНЫ С *S*- И *D*- ЭЛЕМЕНТАМИ НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКСОВ Pt-Ca И Pt-Cu

Студент 2 курса Сосунов Е.А.

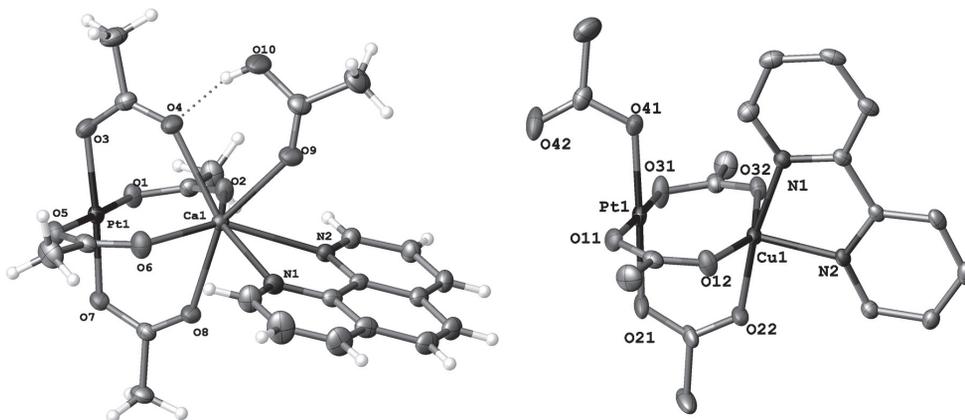
Руководитель к.х.н. Якушев И.А.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева  
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН  
boulderax159@gmail.com

Гетерометаллические карбоксилатные комплексы металлов платиновой группы с атомом дополнительного металла, имеющие строение «китайского фонарика» являются перспективными соединениями для использования их в гомогенном катализе [1], а также в качестве прекурсоров нанесенных катализаторов [2]. Исследование реакционной способности гетерометаллических карбоксилатных комплексов платины с атомом дополнительного металла позволяет глубже изучить исходные соединения, а также получить соединения с варьируемым соотношением металлов в комплексе.

При реакции бидентатных N-донорных лигандов (1,10-фенантролин и 2,2'-бипиридин) с  $\text{Pt}(\text{OAc})_4\text{Ca}(\text{HOAc})_4$  происходит координация лиганда на атом кальция без разрушения исходной структуры китайского фонарика. Эти результаты являются неожиданными, так как они противоречат модели жестких и мягких кислот и оснований. Исходя из этой теории, лиганд должен атаковать атом платины с разрушением исходной структуры и образованием моноядерного ацетатного производного платины. Однако это не наблюдается даже при нагревании.

При реакции гетерометаллического комплекса  $(\text{Pd}(\text{OAc})_4\text{Cu})_2$  с 2,2'-бипиридином, происходит координация лиганда на атом меди с отрывом одного из карбоксилатного мостика. Общая структура полученного соединения  $(\text{OAc})\text{Pt}(\text{OAc})_3\text{Cu}(\text{bipy})$ . Соединение остаётся стабильным несмотря на то, что атомы двух металлов связаны лишь тремя мостиковыми карбоксилатами.



Кристаллические структуры комплексов  $\text{Pt}(\text{OAc})_4\text{Ca}(\text{phen})$  и  $(\text{OAc})\text{Pt}(\text{OAc})_3\text{Cu}(\text{bipy})$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Stolarov I. P. et al. *Inorg. chem.* **2018**, Vol. 57, P 11482–11491.
2. Smirnova N. S. et al. *Intermetallics* **2021**, Vol. 132, 107160.

# ОДНОДОМЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ ГЕКСАФЕРРИТОВ М-ТИПА, ЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОМ: СИНТЕЗ, МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА, ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

Студентка 3 курса Султановская А.С.

Руководитель к.х.н. Горбачев Е. А.

МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах  
sult\_alex@mail.ru

Гексаферриты М-типа – твердые оксидные соединения общей формулы  $MFe_{12}O_{19}$  ( $M = Ba, Sr, Pb$ ). Это важный класс промышленных магнитных материалов; они химически и термически стабильны, являются диэлектриками и не дороги [1]. Гексаферриты обладают относительно высокой коэрцитивной силой и частотами поглощения в миллиметровом диапазоне. Производство гексаферритов отлажено: они активно используются для создания магнитных лент. Любое улучшение функциональных характеристик этих соединений обеспечивает значительный экономический эффект. Магнитные свойства гексаферритов могут быть прецизионно настроены путем замещения ионов железа в кристаллической структуре. Примером значительного улучшения магнитных характеристик гексаферритов является легирование ионами  $Al^{3+}$ , за счет которого можно увеличить коэрцитивную силу от 5 кЭ для незамещенного гексаферрита до 36 кЭ для замещенного [2]. Такое рекордное значение вызвало большой интерес к легированию гексаферритов трехвалентными ионами. В работе [3] было изучено замещение гексаферрита стронция ионами  $Ga^{3+}$ . Несмотря на то, что галлий ближайший аналог алюминия, коэрцитивная сила замещенных образцов была ниже по сравнению с частицами однодоменных незамещенных гексаферритов. На момент начала исследования не было опубликовано достоверной информации о влиянии ионов хрома на функциональные свойства гексаферритов. Поскольку  $Cr^{3+}$  парамагнетик и обладает меньшим магнитным моментом, чем  $Fe^{3+}$ , можно предположить, что легирование ионами хрома приведет к уменьшению намагниченности насыщения и увеличению коэрцитивной силы.

Цель нашего исследования – синтез однофазных однодоменных частиц гексаферритов с высокой степенью замещения ионов железа на ионы хрома (с общим химическим составом  $SrFe_{12-x}Cr_xO_{19}$ ), установление взаимосвязи между особенностями кристаллической структуры, микроструктуры и магнитными свойствами.

С помощью метода самовозгорания цитратно-нитратных расплавов с последующим отжигом при 1200 °С были впервые получены однодоменные однофазные частицы общей формулы  $SrFe_{12-x}Cr_xO_{19}$  ( $x = 0-5,5$ ). Было установлено, что ионы хрома замещают ионы железа преимущественно в октаэдрических позициях 2a, 12k и 4f<sub>2</sub>. Введение  $Cr^{3+}$  в структуру гексаферрита до степени замещения  $x = 5,5$  приводит к увеличению коэрцитивной силы до 14,5 кЭ и повышению частоты естественного ферромагнитного резонанса до 129 ГГц.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Pullar R.C. Prog. Mater. Sci. Elsevier Ltd, **2012**. Vol. 57, № 7. P. 1191–1334.
2. Trusov L.A., Gorbachev E.A., Lebedev V.A., Sleptsova A.E., Roslyakov I.V., Kozlyakova E.S., Vasiliev A.V., Dinnebiec R.E., Kazin P.E. ChemComm. **2018**, 54, 479–482.
3. Gorbachev E.A. et al. Royal Society of Chemistry, **2021**. September.

## ЗЕЛЁНЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СУЛЬФИДА ЦИНКА НА ВОССТАНОВЛЕННОМ ОКСИДЕ ГРАФЕНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

**Студент 4 курса Фазлиев Т.М.**

Руководитель д.х.н. Приходченко П.В.

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

*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова*

*goldygopher@mail.ru*

Композиционные материалы на основе халькогенидов металлов используются при производстве Na- и Li-ионных аккумуляторов. Композиционный материал на основе ZnS был предложен в качестве активного материала анода в Na- и Li-ионных аккумуляторах ввиду его высокой теоретической удельной ёмкости. Недостатки ZnS (низкая электропроводность – около  $10^{-3} \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ ) и большое объёмное расширение при электродном разряде [1] устраняются путём введения проводящих компонентов, например, восстановленного оксида графена.

Настоящая работа [2] связана с поиском, «зеленого» метода синтеза композиционного материала на основе сульфида цинка на восстановленном оксиде графена (ZnS-rGO) и оценкой электрохимических характеристик полученного материала в качестве анода в Na-ионных аккумуляторах.

Материал ZnS-rGO был синтезирован с применением двух подходов. Первый заключался в осаждении частиц пероксида цинка ( $\text{ZnO}_2$ ) на поверхность частиц оксида графена из аммиачного раствора соли цинка путем добавления 30 % р-ра  $\text{H}_2\text{O}_2$ , последующей химической модификации и термической обработке [3]. Второй подход заключался в формировании наночастиц  $\text{ZnO}_2$  из раствора соли цинка в 1 %  $\text{H}_2\text{O}_2$  путем титрования раствором NaOH с дальнейшей химической модификацией путём обработки  $\text{H}_2\text{S}$ . Термообработка выделенного твердого продукта привела к образованию наночастиц ZnS и восстановлению оксида графена. Вторым методом синтеза соответствует принципам «зеленой химии». Новый синтез обеспечивает количественный выход Zn, а также легко масштабируется.

Электрод на основе ZnS-rGO продемонстрировал высокую удельную зарядную емкость, хорошие скоростные характеристики, а также отличную стабильность при длительном циклировании. Удельная ёмкость после 100 циклов при плотности тока 100 мА/г составила 550 мАч/г, что на сегодняшний день является лучшим показателем для материалов на основе ZnS в натрий-ионных аккумуляторах при длительном циклировании.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Sharma S.V., Singh R.J. Bull. Mater. Sci. **14** (1991) 71–75.
2. Mikhaylov A.A., Medvedev A.G., Buldashov I.A., Fazliev T.M., Mel'nik E.A., Tripol'skaya T.A., Sladkevich S., Nikolaev V.A., Lev O., Prihodchenko P.V., J. of Alloys and Comp., **910**, (2022), article 164769.
3. Wolanov Y., Prihodchenko P.V., Medvedev A.G., Pedahzur R., Lev O. Environ. Sci. Technol. **47** (2013) 8769–8774.

## ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ НИКЕЛАТОВ ЛАНТАНА С ПЕРОВСКИТОПОДОБНОЙ СТРУКТУРОЙ

Студентка 4 курса Хуан Шуци

Руководитель к.х.н. Малышев С.А.  
Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне  
Факультет Наук о материалах  
1480328968@qq.com

Развитие современной химической промышленности невозможно без создания гетерогенных катализаторов – материалов, обеспечивающих эффективное протекание важных химических реакций. Никелат лантана  $\text{LaNiO}_3$  широко обсуждается в литературе как перспективный материал для получения катализаторов большого количества реакций [1, 2].

В нашей работе получение  $\text{LaNiO}_3$  и  $\text{La}_2\text{NiO}_4$  проводили с помощью цитратного метода. Чтобы изучить особенности фазообразования этих сложных никелатов, проводили отжиг цитратных ксерогелей при различных температурах – 800, 900 и 1000 °С. Установлено, что в данной работе оптимальная температура синтеза  $\text{LaNiO}_3$  составила 800 °С, а получение чистого  $\text{La}_2\text{NiO}_4$  возможно при 1000 °С. Изучение микроструктуры полученных никелатов проводили с помощью метода растровой электронной микроскопии (РЭМ).  $\text{LaNiO}_3$  отличается существенно меньшим размером кристаллитов – около 100–200 нм, тогда как порошок  $\text{La}_2\text{NiO}_4$  состоит из частиц размером около 500 нм.

Для изучения восстановительного разложения никелатов в работе применялся метод термогравиметрического анализа в токе газовой смеси 5 %  $\text{H}_2$  + 95 %  $\text{Ar}$  ( $\text{TГ} + \text{H}_2$ ). Было определено, что восстановление как  $\text{LaNiO}_3$ , так и  $\text{La}_2\text{NiO}_4$  протекает в две стадии, причём температуры восстановления фазы  $\text{La}_2\text{NiO}_4$  заметно выше, что может говорить о большей устойчивости структуры данного соединения. Для изучения химических и морфологических превращений, протекающих при восстановлении  $\text{LaNiO}_3$  и  $\text{La}_2\text{NiO}_4$ , были получены образцы с помощью восстановления этих никелатов при различных температурах. Помимо химических превращений, в данной работе также изучали изменения микроструктуры материалов при восстановлении. Для этого образцы, полученные восстановлением  $\text{LaNiO}_3$  и  $\text{La}_2\text{NiO}_4$  в условиях первой и второй стадий, исследовали методом РЭМ. восстановление никелатов лантана как со структурой перовскита, так и со структурой  $\text{K}_2\text{NiF}_4$ , происходит в две выраженные стадии. На первой наблюдается частичное восстановление  $\text{Ni}^{3+} \rightarrow \text{Ni}^{2+}$ , что не приводит к разрушению перовскитоподобной структуры сложного оксида. Вторая же стадия в обоих случаях – полное восстановление с образованием композита  $\text{Ni}/\text{La}_2\text{O}_3$ . Вследствие того, что  $\text{LaNiO}_3$  характеризуется как меньшей температурой синтеза, так и меньшей температурой восстановления, его применение выглядит более перспективным для получения композитных катализаторов низкотемпературных реакций.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Santos M, Neto R., Noronha F.B. et al. Catal. Today, 299, 2018, 229–241.
2. Lim H.S., Kim G., Kim Y. et al. Chem. Eng. J., 412, 2021, 127557.



**НОМИНАЦИЯ I  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ**



**СЕКЦИЯ «ОРГАНИЧЕСКАЯ,  
БИООРГАНИЧЕСКАЯ  
И ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКАЯ  
ХИМИЯ»**

## ОЗОНОЛИЗ АЛКЕНОВ В ПРИСУТСТВИИ ГИДРОПЕРОКСИДОВ. СИНТЕЗ ТРУДНОДОСТУПНЫХ НЕСИММЕТРИЧНЫХ БИСПЕРОКСИДОВ

**Студент 4 курса Будехин Р.А.**

Руководители к.х.н. Виль В.А., асп. Фоменков Д.И.

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева ВХК РАН  
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН,  
budekhin.r@yandex.ru*

Озонолиз алкенов, открытый более 200 лет назад, к настоящему моменту стал классическим процессом, который используется как для определения структур исходных олефинов, так и для синтеза альдегидов и карбоновых кислот. Кроме того, озонолиз применяется для получения различных органических пероксидов – соединений, широко востребованных в различных отраслях промышленности, например, в качестве инициаторов радикальной полимеризации, взрывчатых веществ, топливных добавок, а также лекарственных средств.

Ключевым интермедиатом в озонолизе алкенов является пероксикарбениевый цвиттер-ион (карбонил оксид, интермедиат Криге), постулированный Рудольфом Криге в 1949 году. На основе взаимодействия данного интермедиата с карбонильными соединениями или его димеризации основаны методы синтеза циклических органических пероксидов, таких как 1,2,4-триоксоланы или 1,2,4,5-тетраоксаны [1].

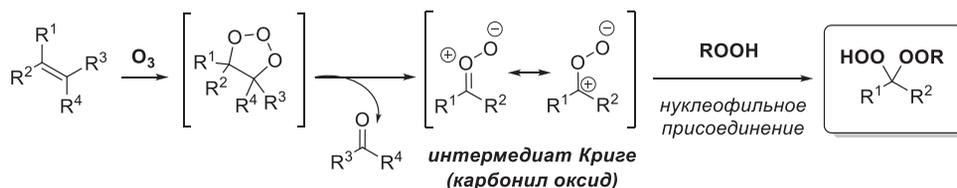


Схема. Озонолиз алкенов в присутствии гидропероксидов

В настоящей работе обнаружено, что проведение озонолиза алкенов в присутствии гидропероксидов приводит к образованию труднодоступных геминальных несимметричных биспероксидов, селективный синтез которых из соответствующих карбонильных соединений и пероксидов не представляется возможным. На основе обнаруженного процесса разработан селективный метод синтеза геминальных несимметричных биспероксидов с выходами целевых продуктов от хороших до высоких. Кроме того, в работе исследовано влияние электронных эффектов на стабильность и реакционную способность интермедиата Криге – ключевой промежуточной частицы озонолиза.

### ЛИТЕРАТУРА

- Hassan Z., Stahlberger M., Rosenbaum N., Bräse S., *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *60*, 15138–15152.

## МАКРОЦИКЛЫ И МАКРОБИЦИКЛЫ, СОДЕРЖАЩИЕ СТРУКТУРНЫЕ ФРАГМЕНТЫ АНТРАЦЕНА И АНТРАХИНОНА

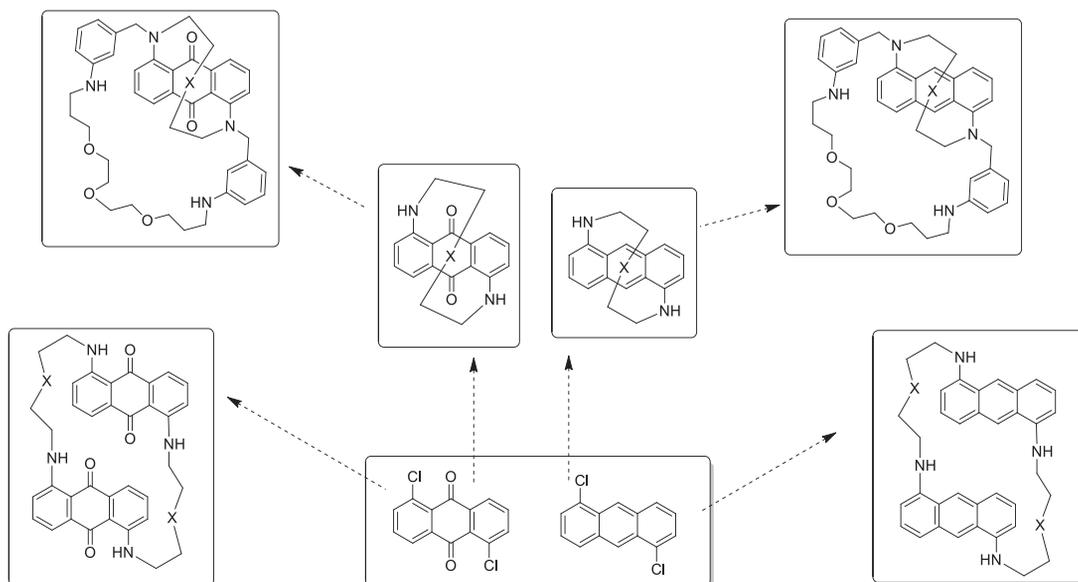
Студент 4 курса Гусев Д.И.

Руководитель д.х.н. Аверин А.Д.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева ВХК РАН  
danya.gusev@gmail.com

Одной из актуальных задач современной химии является создание и совершенствование высокочувствительных и надежных методов определения различных объектов, таких как катионы металлов, органические и неорганические анионы, малые органические молекулы, энантимеры хиральных соединений.

В нашей работе были синтезированы различные макроциклические соединения на основе 1,5- и 1,8-производных антрацена и антрахинона, содержащие в своем составе фрагменты различных диаминов, оксодиаминов и полиаминов. Установлена зависимость выходов макроциклов от строения оксодиаминов и полиаминов; наиболее эффективными в макроциклизации являются длинноцепные диокса- и триоксодиамины. Макроциклы, включающие в своей состав один структурный фрагмент 1,5-дизамещенного антрацена или антрахинона и одну оксодиаминовую или полиаминовую цепь, являются планарно-хиральными, а использование при макроциклизации хирального фосфинового лиганда Josiphos позволяет получать их с энантимерным избытком до 60 %. На основе данных макроциклов возможно получение макробициклических криптандов с элементами планарной хиральности.



Полученные соединения были исследованы в качестве флуоресцентных детекторов на катионы 21 металла и индивидуальные энантимеры 7 модельных аминокислот. Некоторые из полученных соединений показали высокую эффективность при определении катионов меди, галлия, алюминия, а также при распознавании индивидуальных энантимеров ряда аминокислот.

## КРОСС-ДИМЕРИЗАЦИЯ ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫХ ЦИКЛОПРОПАНОВ

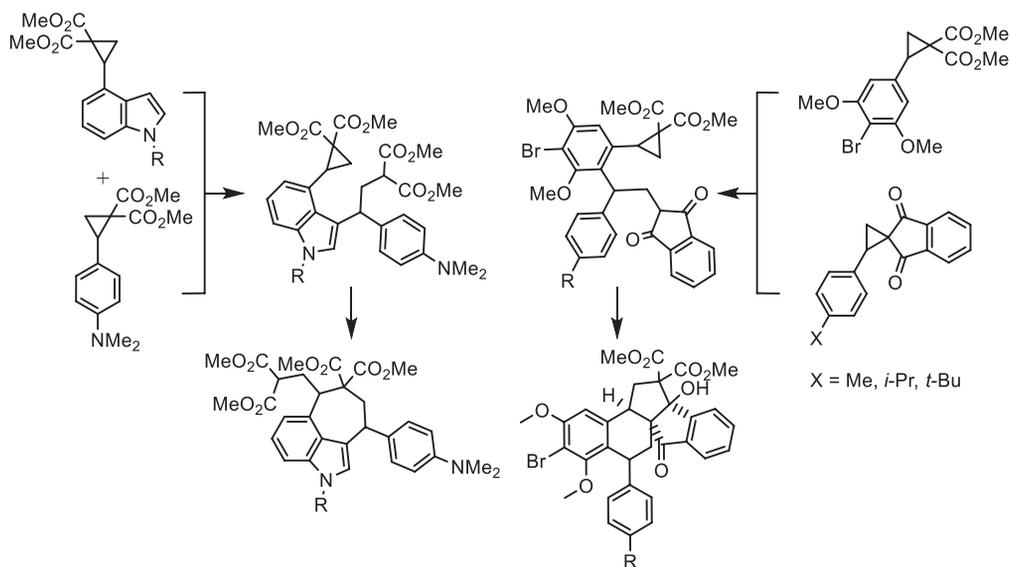
**Студентка 4 курса Демидовская А.В.**

Руководитель д.х.н. Трушков И.В.

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева ВХК РАН  
demidovskayaa@gmail.com*

В последнее десятилетие стали активно изучаться реакции димеризации донорно-акцепторных (ДА) циклопропанов – необычный процесс, позволяющий превратить одну и ту же молекулу в разнообразные ациклические и циклические соединения. К настоящему моменту обнаружено большое количество направлений димеризации ДА циклопропанов. В то же время, реакции направленной кросс-димеризации двух разных ДА циклопропанов ограничиваются двумя типами примеров, основанными на предварительной модификации одного ДА циклопропана.

В нашей работе осуществлена ранее неописанная направленная кросс-димеризация двух разных ДА циклопропанов при их прямом взаимодействии в присутствии кислоты Льюиса. Новый метод основан на использовании субстратов с принципиально разной реакционной способностью в процессах раскрытия малого цикла, с одной стороны, и с принципиально разной способностью выступать в качестве нуклеофильной компоненты, с другой. В этих реакциях один из ДА циклопропанов выступает в роли *S*-нуклеофила, атакуя электрофильный атом малого цикла в другом ДА циклопропане с образованием продукта алкилирования по Фриделю-Крафтсу.



Показано, что полученные продукты могут вступать в дальнейшую внутримолекулярную циклизацию с образованием полициклических соединений, недоступных иными методами.

*Работа выполняется в рамках проекта РНФ 21-13-00395.*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ S-ЦЕНТРИРОВАННЫХ РАДИКАЛОВ В СИНТЕЗЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

**Студентка 3 курса Заикина Л.А.**

Руководитель к.х.н. Мулина О.М.

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева ВХК РАН*

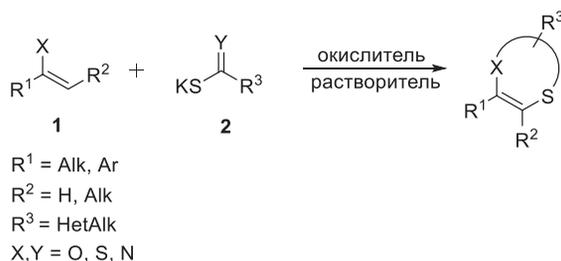
*Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН*

*zaikinalaal@gmail.com*

В современной химии существует множество способов получения новых связей углерод-углерод и углерод-гетероатом. Одним из основных является кросс-сочетание с использованием солей переходных металлов в качестве катализаторов. В последние десятилетия набирает популярность метод окислительного сочетания, протекающий без введения дополнительных функциональных групп на подготовительных стадиях, что делает этот метод экологичным и эффективным [1].

В настоящее время активно развивается химия сера-центрированных радикалов. Они активно вступают в окислительные процессы, открывая синтетический путь к множеству различных продуктов, недоступных при использовании других методов [2].

В процессе нашей работы удалось обнаружить процесс окислительного сочетания между соединениями **1** и источниками серосодержащих радикалов **2** под действием одноэлектронного окислителя.



Нами было исследовано влияние типа растворителя и времени реакции, соотношения исходных реагентов, и количества окислителя на выход полученного гетероцикла. В оптимизированных условиях был получен широкий ряд соединений с выходами от умеренных до высоких. Реакция оказалась применима для соединений **1** как ароматического, так и алифатического типа.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Krylov I.B., Vil V.A., Terent'ev A.O.; *J. Org. Chem.* **2015**, *11*, 92–146.
2. Samir Z. Zard; *Helv. Chim. Acta* **2019**, *102*, e1900134.

# ХЕМОДИВЕРГЕНТНАЯ СПИРОЦИКЛИЗАЦИЯ БЕНЗИЛИДЕНИМИДАЗОЛОНОВ – НОВЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Студент 4 курса Иванов Д.С.<sup>1,2</sup>

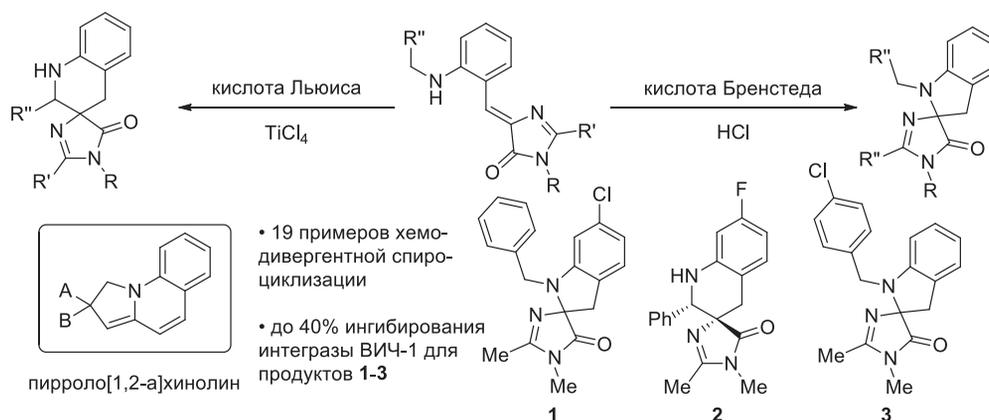
Руководитель к.х.н. Смирнов А.Ю.<sup>1</sup>

Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН<sup>1</sup>

МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет<sup>2</sup>

*d-ivanov.dmitry@yandex.ru*

Поиск и изучение ранее неизвестных биологически активных соединений требует разработки новых химических процессов, открывающих дорогу к заданным структурам через доступные одностадийные синтезы. Примером такого процесса может служить хемодивергентная спироциклизация бензилиденимидазолонов – структурных аналогов хромофора зеленого флуоресцентного белка, содержащих в орто-положении вторичную аминогруппу. Под воздействием кислотных реагентов различной природы циклизация субстрата происходит по разным направлениям. Обработка кислотами Льюиса (тетрахлоридом титана) приводит к образованию спиропроизводных тетрагидрохинолина. Данная реакция является первым примером C-N активации 1,5-гидридного сдвига на вторичных аминах. Кислоты Бренстеда (хлороводорода) направляют циклизацию в сторону производных индолина. Особое внимание к продуктам циклизации вызвано их структурным сходством с производными пирроло[1,2-А]хинолина – эффективного ингибитора интегразы ВИЧ-1.



В нашей работе продемонстрирована возможность проведения спироциклизации на 19 субстратах по обоим направлениям, изучено электронное и стерическое влияние заместителей в молекуле исходного (бензилиден)имидазолонa, определены механизмы циклизации. В результате были достигнуты высокие выходы, вплоть до количественных. Полученная библиотека соединений была подвергнута исследованиям по ингибированию интегразы ВИЧ-1, и три вещества продемонстрировали высокий процент ингибирования (до 40 %). В будущих исследованиях эти соединения могут быть модифицированы для улучшения их активности против интегразы ВИЧ-1. Результаты работы были опубликованы в журнале *Advanced Synthesis & Catalysis*.

## СИНТЕЗ ЦИРКОНОЦЕНОВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ОЛИГОМЕРИЗАЦИИ ДЕЦЕНА-1, ПОЛУЧЕНИЕ ОСНОВ ДЛЯ НИЗКОВЯЗКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Студент 4 курса Киселев А.В.

Руководитель профессор Нифантьев И.Э.  
НИУ Высшая школа экономики факультет химии  
metra77@mail.ru

Гидрированные олигомеры высших  $\alpha$ -олефинов (в первую очередь, децена-1) представляют собой основу высококачественных полиолефиновых масел (ПАОМ). Известные коммерческие катализаторы не обеспечивают высокий выход целевой олигомерной фракции низковязких ПАОМ и их структурную однородность. Разработка термически стабильных одноцентровых катализаторов, высокоэффективных при низких соотношениях  $[Al]_{MAO}/[Zr]$  или в отсутствие метилалюмоксана (MAO), является актуальной задачей.

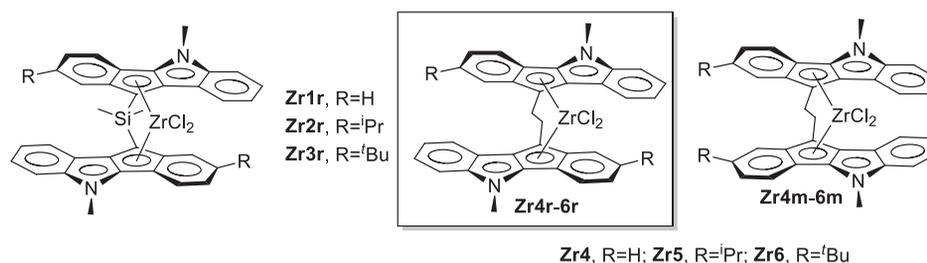


Рис. Полученные ранее (Zr1–Zr3) и новые (Zr4–Zr6) гетероцены, исследованные в олигомеризации децена-1

*Анса*-цирконоцены с  $-CH_2CH_2-$  мостиком, производные 5,10-дигидроиндено [1,2-*b*]индола Zr4–Zr6, были синтезированы и охарактеризованы методами спектроскопии ЯМР и РСА. Новые «гетероцены» Zr4–Zr6 и известные «гетероцены» с  $-SiMe_2-$  мостиком Zr1–Zr3 исследованы в олигомеризации децена-1 с использованием активаторов MMAO-12 и  $[PhNMe_2H][B(C_6F_5)_4]$ . *Рау*-формы Zr4r–Zr6r при соотношениях [децен-1]/[Zr] до  $4 \cdot 10^5$  в атмосфере молекулярного водорода эффективно катализировали олигомеризацию децена-1 без протекания скелетных перегруппировок, выход низкомолекулярных олигомеров децена-1 (C30–C50) составлял не менее 50%. При исследовании активации Zr6 <sup>i</sup>Bu<sub>3</sub>Al и  $[PhNMe_2H][B(C_6F_5)_4]$  был выделен новый катионный комплекс Zr6r–Al, содержащий фрагмент  $Zr-(\mu-Cl)_2-Al^iBu_2$  (РСА). Гидрированные олигомеры децена-1 (C30 и C40 фракции) по своим физико-химическим характеристикам превосходили базовые ПАОМ, производимые ведущими зарубежными нефтехимическими компаниями.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант 21-73-30010.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Nifant'ev I.E., Vinogradov A.A., Bagrov V.V., Churakov A.V., Minyaev M. E., Kiselev A.V., Salakhova I.I., Ivchenko P.V., Mol. Catal. 2022, 529, 112542.

## НОВАЯ РЕАКЦИЯ РАДИКАЛЬНОГО C-S СОЧЕТАНИЯ: ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИДРОПЕРОКСИДОВ С ДИТИОКАРБАМАТАМИ И КСАНТОГЕНАТАМИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

**Студентка 2 курса Комарова О.А.**

Руководитель аспирант Фоменков Д.И.

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева ВХК РАН*

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

*okomarova802@yandex.ru*

Серосодержащие органические соединения широко востребованы в химической и резинотехнической промышленности, сельском хозяйстве и представляют большой интерес для создания на их основе лекарственных препаратов. Не менее важно, что такие соединения широко распространены в природе и играют важную роль в биохимических процессах. В основном серосодержащие соединения встречаются в нефти, углях, природном газе, а также входят в состав аминокислот, таких как метионин, цистеин и цистин, и витаминов: биотин, тиамин, кофермент А. Широкая представленность серосодержащих соединений в различных сферах деятельности человека делает актуальной разработку эффективных методов их синтеза, а также разработку новых подходов к реакциям C-S сочетания.

Основной особенностью органических пероксидов является способность к образованию реакционноспособных радикалов. Алкоксильные радикалы, предшественниками которых являются гидропероксиды, благодаря процессам  $\beta$ -распада, зарекомендовали себя в качестве отличных источников вторичных C-центрированных радикалов [1]. Как следствие, исследование процессов распада алкоксильных радикалов является удобным инструментом для разработки различных процессов сочетания.

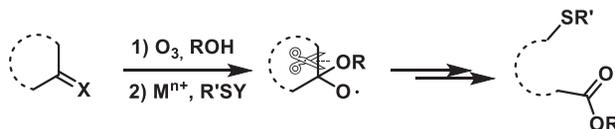


Схема. Двухстадийный синтез  $\omega$ -функционализованных сложных эфиров

В нашей работе было обнаружено нетипичное взаимодействие алкоксигидропероксидов с дитиокарбаматными и ксантогенатными комплексами металлов переменной валентности, приводящее к образованию продуктов C-S сочетания и протекающее по радикальному механизму. Стоит также отметить, что данная работа открывает новое направление в химии соответствующих комплексов, так как ранее для них не было описано взаимодействий, протекающих по радикальному механизму.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Murakami M., Ishida N., Chem. Lett., 2017. 46(12), 1692–1700.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ЛИГАНДОВ В КАТАЛИЗИРУЕМОМ РУТЕНИЕМ ВОСТАНОВИТЕЛЬНОМ АМИНИРОВАНИИ

**Студент 2 курса Лосев М.А.**

Руководитель профессор Чусов Д.А.

*НИУ Высшая школа экономики*

*mibaillosev5@gmail.com*

Амины — важнейший класс органических соединений, получивших применение в различных областях [1]. Одним из классических и давно известных способов получения аминов является восстановительное аминирование (Схема) [2]. Реакция позволяет получать вторичные и третичные амины из карбонильных соединений. Ранее в нашей лаборатории был разработан метод одностадийного восстановительного аминирования без использования дополнительного источника водорода, с монооксидом углерода в качестве восстановителя. Преимущество данного подхода заключается в высокой толерантности условий к легко восстанавливаемым группам и атом-экономичности процесса.

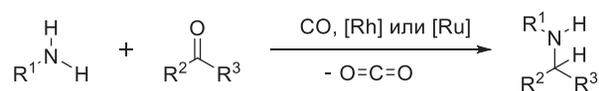


Схема восстановительного аминирования  
без использования дополнительного источника водорода

Реакция протекает в присутствии катализаторов на основе соединений благородных металлов VIII и IX групп. Среди них рутений-содержащие катализаторы представляют наибольший интерес ввиду относительно низкой стоимости металла. Ранее было показано, что добавление фосфиновых лигандов к рутениевому комплексу  $[(n\text{-цимол})\text{RuCl}_2]_2$  приводит к значительному повышению активности катализатора [3]. Другим распространённым классом лигандов являются амины. Поэтому представляло интерес изучить влияние на протекание реакции *N*-содержащих добавок.

В ходе работы было изучено влияние на активность рутениевого катализатора различных ароматических, гетероциклических и алифатических добавок, их концентрации в реакционной смеси. Обнаружено значительное ускорение модельной реакции в присутствии каталитических количеств пиридина. Ещё больший эффект активации наблюдался в реакции с менее активным морфолиновым субстратом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Roose P., Eller K., Henkes E., Rossbacher R. and Höke H., in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, Weinheim, 2015.
2. Afanasyev O.I., Kuchuk E., Usanov D.L., Chusov D., Chem. Rev. 119 (2019) 11857–11911.
3. Makarova M., Afanasyev O.I., Kliuev F., Nelyubina Y.V, Godovikova M. Chusov D., J. Organomet. Chem., 2021, 941, 121806.

# ФОТОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАФТО[1',2':4,5]ФУРО[1,3-С]ХИНОЛИНОВ. ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ И ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Студент 3 курса Мекеда И.С.

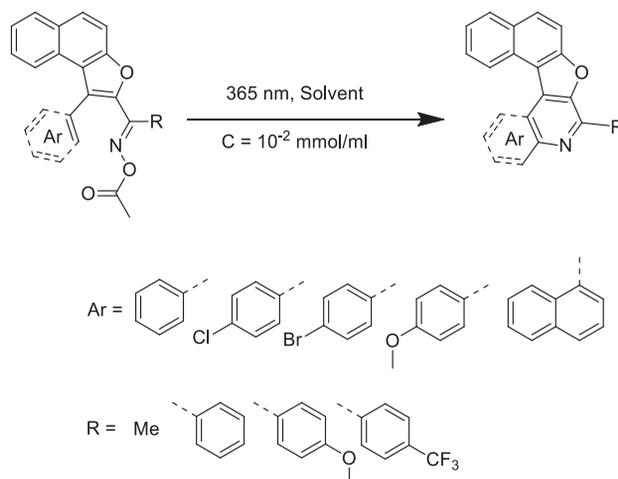
Руководители асп. Балахонов Р.Ю., д.х.н. Ширинян В.З.

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

Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН

mekeda.i@bk.ru

Использование фотохимических реакций широко распространено в современном органическом синтезе для создания полиароматических соединений. В основном эти превращения протекают за счёт бл-электроциклизации гексатриеновой системы, которая приводит к образованию новой С–С связи. Попытки фотохимического создания связи С–N реализовывались гораздо реже. Для этих целей нами были выбраны ацилоксимы нафтофуранового ряда, являющиеся фоточувствительными субстратами и удобными моделями для подробного изучения процесса С–N сочетания [1]. Подбор различных условий фотоциклизации (длина волны, растворитель, уходящая группа, сенсibilизаторы, фотокатализаторы) позволил изучить особенности протекания реакции. На основе разработанного синтетического протокола был получен ряд нафтофуорохинолинов, ранее не описанных в литературе. Полученные пиридин-аннелированные соединения, а также их соли, обладают флуоресценцией с квантовыми выходами от низких до высоких (4–73 %).



Синтезированные полигетероциклические соединения представляют интерес для потенциального применения в качестве основы для различных флуоресцентных материалов [2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Walton J.C., Acc. Chem. Res. **2014**, *47*, 4, 1406.
2. Eltyshv A.K., Dzhumaniyazov T. H., Suntsova P.O. et al., Dyes Pigm. **2021**, *184*, 108836.

## НОВАЯ СТРАТЕГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПИРРОЛИЗИДИНОНОВ НА ОСНОВЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ ДОМИНО-РЕАКЦИЙ ЦИКЛИЧЕСКИХ НИТРОНАТОВ

Студент 3 курса **Окладников И.В.**<sup>1,2</sup>

Руководитель д.х.н Сухоруков А.Ю.<sup>1,2</sup>

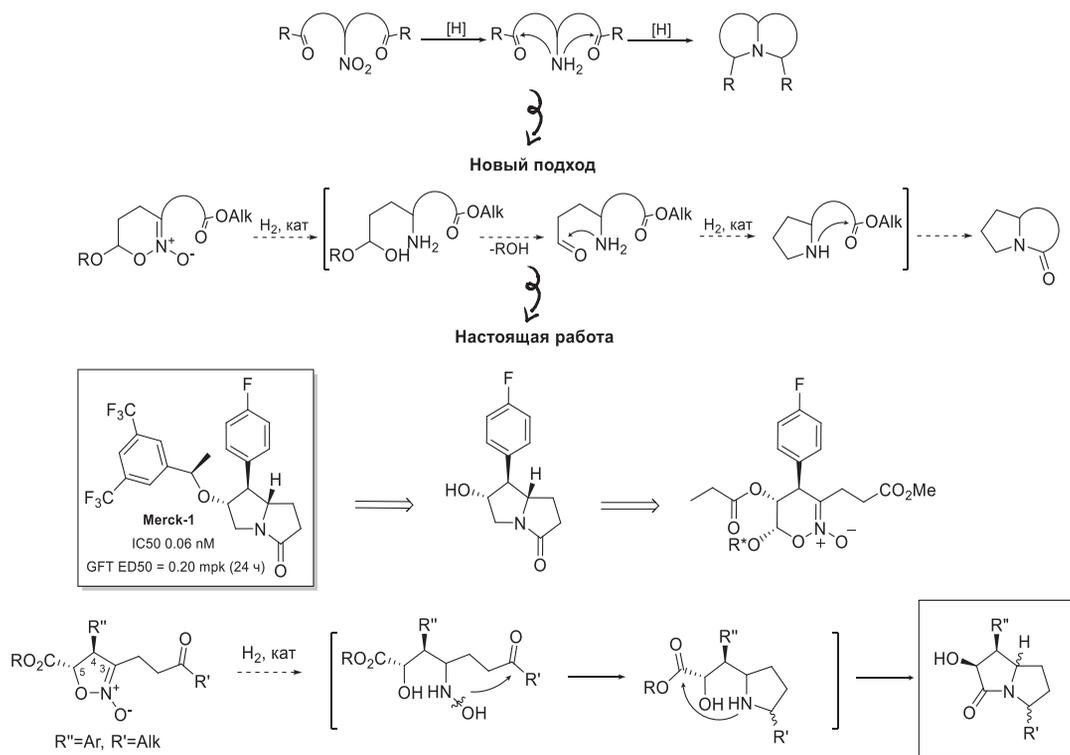
Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН<sup>1</sup>

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева<sup>2</sup>

*ivo-03@yandex.ru*

Концепция домино-реакций в настоящее время рассматривается как один из основных способов упрощения синтеза сложных органических молекул. Перспективны домино-превращения, в основе которых лежит внутримолекулярная реакция восстановительного аминирования.

Ранее в нашей лаборатории был предложен новый подход к стереоселективному синтезу пирролизидинонового фрагмента, основанный на получении соответствующего шестичленного циклического нитроната и его последующей восстановительной домино-рециклизации в атмосфере водорода [1]. На базе предложенной домино-стратегии был разработан регио- и стереоселективный асимметрический синтез высокоактивного hNK<sub>1</sub> антагониста Merck-1.



Похожая домино-рециклизация была разработана и реализована в ряду изоксазолин-N-оксидов.

### ЛИТЕРАТУРА

- Sukhorukov A.Y., Boyko Y.D., Tartakovsky V.A., J. Org. Chem. **2012**, *77*, 5465.

# СТЕРИЧЕСКИ ЗАТРУДНЁННЫЕ НИТРОКСИЛЬНЫЕ РАДИКАЛЫ ПИРРОЛИДИНОВОГО РЯДА С 3-(4,5-ДИКАРБОКСИ-1Н-1,2,3-ТРИАЗОЛИЛ-1)-ПРОПИЛЬНЫМ ЗАМЕСТИТЕЛЕМ

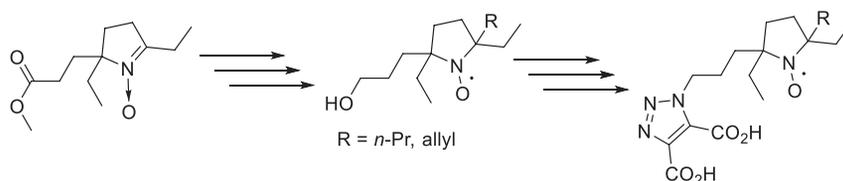
Студентка 4 курса Трахинина С.Ю.

Руководитель к.х.н. Таратайко А.И.

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет  
s.trakhinina@g.nsu.ru

Нитроксильные радикалы – один из самых распространённых классов стабильных органических радикалов. Одной из областей применения нитроксильных радикалов в биофизических и биомедицинских исследованиях является их использование в качестве спиновых меток в SDSL-PELDOR экспериментах и контрастирующих агентов в ЭПР- и ЯМР-томографии [1, 2]. Для проведения подобных исследований в живых объектах и биологических системах необходимо использовать стерически затрудненные нитроксильные радикалы, содержащие четыре объёмных заместителя в ближайшем окружении нитроксильного фрагмента, поскольку эти соединения обладают повышенной стабильностью по отношению к биогенным восстановителям и ферментативным системам [3]. Однако подобные радикалы, как правило, обладают высокой липофильностью, что затрудняет их использование в водных средах.

В нашей работе осуществлен синтез ряда стерически затрудненных нитроксильных радикалов, производных пирролидина – наиболее устойчивого к восстановлению класса нитроксильных радикалов. Для увеличения гидрофильных свойств полученных соединений, в боковую цепь радикалов был введен фрагмент триазол-дикарбоновой кислоты.



Для полученных радикалов методом ЭПР определены константы скорости восстановления аскорбатом, а также коэффициенты распределения в системе октанол-вода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bleicken S. et al. *ChemistryOpen*, **2019**, *8*, 1–10.
2. Nguyen H. V.-T. et al. *ACS Cent. Sci.*, **2017**, *3*, 7, 800–811.
3. Jagtap A. P. et al. *Free radical research*, **2015**, *49*, 78–85.

## СИНТЕЗ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСОВ ОЛОВА (IV) С МИМЕТИКАМИ ВИТАМИНА Е

Студент 2 курса Федоров С.А.

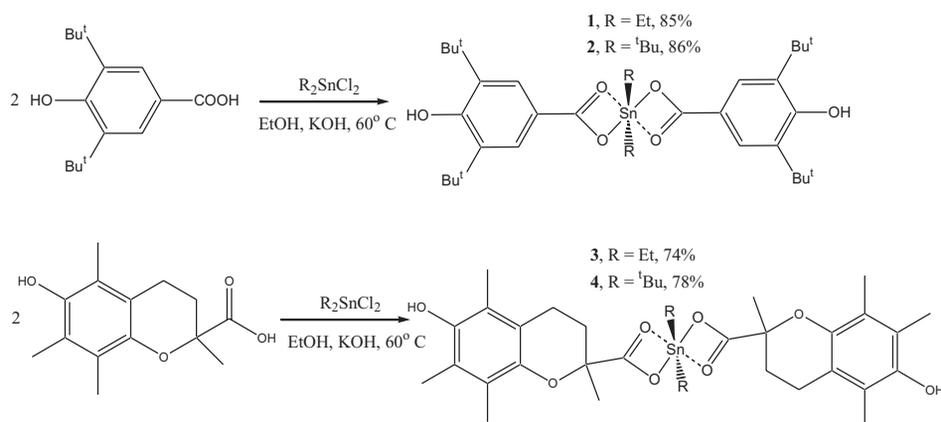
Руководитель к.х.н. Никитин Е.А.

МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет

fa-stas@mail.ru

Химиотерапия на основе препаратов платины – распространённый метод лечения онкологических заболеваний, не лишенный, однако, массы недостатков. Ведётся поиск новых противоопухолевых препаратов на основе других металлов, в частности олова. Препятствием для применения оловоорганических соединений (ООС) является низкая селективность, которую можно повысить за счет модуляции токсичности. Одним из механизмов цитотоксического действия ООС на клетку является индукция окислительного стресса, поэтому повысить селективность можно введением в молекулу антиоксидантных фрагментов.

Цель работы – синтез и первичный скрининг антиоксидантных свойств комплексов олова с лигандами, проявляющими антиоксидантную активность (Схема).



Нами получены карбоксилаты ООС, содержащие фрагмент 2,6- диалкилфенолов (**1–4**). Соединения охарактеризованы методами  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{119}\text{Sn}$  ЯМР и ИК спектроскопии, а также элементным анализом. Исследованы антиоксидантные свойства комплексов **1–4** с помощью ДФПГ-, CUPRAC-, NBT-тестов, а также ингибирования липоксигеназы (Таблица).

Табл. Антиоксидантная активность соединений **1–4**.

Соед.	IC <sub>50</sub> , μM	TEAC	Ингибирование, %	
			NBT	LOX 1-B
1	51.96 ± 1.16	2.25 ± 0.07	-73.5 ± 3.6	-24.6 ± 1.2
2	110.55 ± 3.42	1.40 ± 0.04	-25.6 ± 1.1	19.7 ± 0.8
3	15.94 ± 0.45	1.79 ± 0.04	24.1 ± 1.2	-43.6 ± 2.1
4	14.36 ± 0.41	2.12 ± 0.06	72.1 ± 3.5	36.3 ± 1.8

Обнаружены выраженные антиоксидантные свойства соединений **1–4**, а также установлено аномальное действие некоторых комплексов на процессы с участием ферментативных тестовых систем. Полученные данные позволяют предложить синтезированные соединения для дальнейших биологических испытаний.

# СИНТЕЗ АДАМАНТИЛИРОВАННЫХ ФУРАНОВ КАК ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ АГЕНТОВ ПРОТИВ НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Студентка 4 курса Храповицкая К.С.

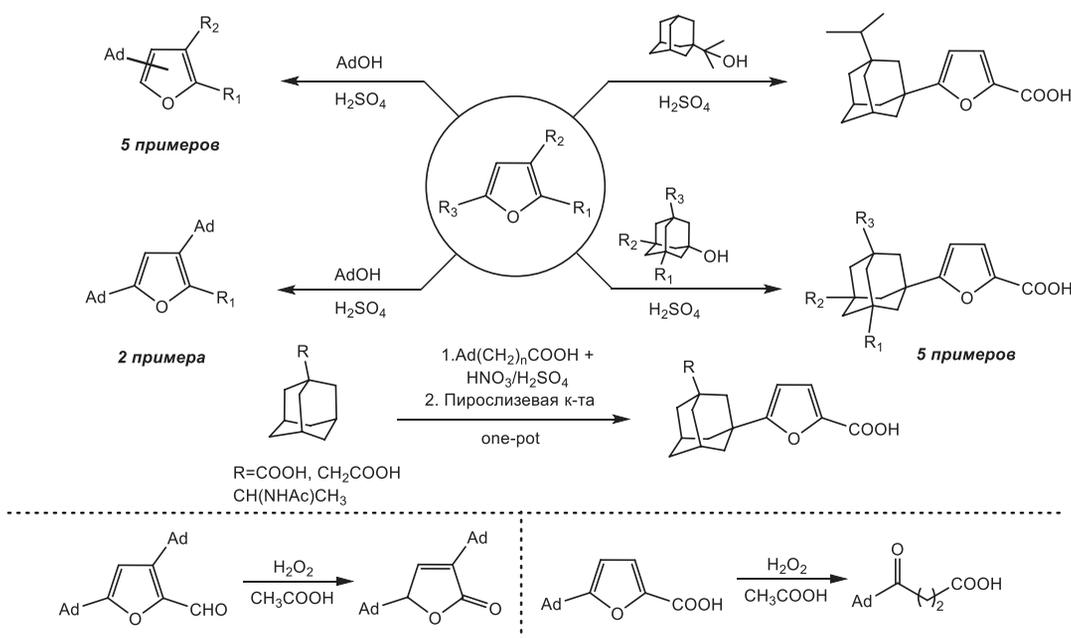
Руководитель к.х.н. Ткаченко И.М.

Самарский государственный технический университет

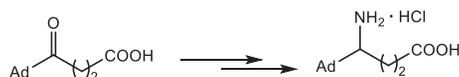
kriss.laab69@gmail.com

Поиск новых лекарственных средств против неврологических заболеваний – важная задача. Производные фурана можно рассматривать как синтетический эквивалент замещенных 4-оксобутановых кислот. Последние могут быть использованы в синтезе потенциальных лекарственных препаратов – искусственных аналогов  $\gamma$ -аминомасляной кислоты.

Нами предложен метод, позволяющий получать адамантилированные карбоновые кислоты, альдегиды и кетоны фуранового ряда. Также была показана возможность получения  $\gamma$ -оксикарбоновых кислот из синтезированных дизамещенных фуранов. В случае тризамещенного фурана с двумя адамантильными заместителями реакция останавливается на стадии образования фуран-2(5H)-она как полупродукта окисления.



Данный метод открывает доступ к широкому разнообразию аналогов ГАМК, среди которых был выявлен перспективный кандидат в лекарственные средства [1].



## ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев Н.С., Бакулин Д.А., Куркин Д.В. и др., 2021, *Соврем. пробл. науки и образ.*, С. 57.

## НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА 2-ФОСФОРИЛЗАМЕЩЕННЫХ БЕНЗИМИДАЗОЛОВ И БЕНЗОТИАЗОЛОВ

Студент 4 курса Чурсин А.Ю.

Руководитель к.х.н. Волкова Ю.А.

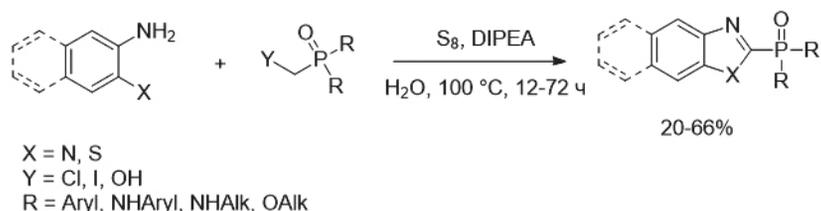
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН

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

chursin11@yandex.ru

Фосфорилзамещенные гетероциклы – один из ключевых классов элементоорганических соединений, играющий важную роль в медицине, агрохимии и металлокомплексном катализе [1]. Все известные синтетические подходы к их синтезу основаны преимущественно на фосфорилировании функционализированных гетероциклов и имеют серьезные недостатки, поскольку требуют использования дорогостоящих металлических и фотокатализаторов, жестких условий проведения реакций (высокая температура, присутствие сильных оснований и кислот) и применения токсичных и нестабильных на воздухе реагентов. В связи с этим, актуальна разработка новых подходов к синтезу фосфорилзамещенных гетероциклов [2].

Нами впервые систематически изучено взаимодействие ( $\alpha$ -замещенных метил) фосфориллов в отношении *o*-замещенных анилинов ( $X = \text{NH}_2, \text{SH}$ ) в условиях реакции Вильгеродта-Киндлера. Найдено, что в присутствии молекулярной серы и основания основными продуктами их взаимодействия являются 2-фосфорилзамещенные 1H-бензо[*d*]имидазолы и бензо[*d*]тиазолы. В зависимости от природы основания, заместителя в *o*-положении анилина и фосфорильного остатка, температурного режима реакции и природы уходящей группы выходы продуктов варьировались в диапазоне от 20 % до 66 %.



Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-13-00161.

### ЛИТЕРАТУРА

- (a) Alexandre F.-R., Amador A., Bot S., Caillet C., Convard T., Jakubik J., Dousson C.B. *J. Med. Chem.*, **2011**, *54*(1), 392. (b) Eto M., *Organophosphorus Pesticides*. CRC press: 2018. (c) Queffelec C., Petit M., Janvier P., Knight D. A., Bujoli B. *Chem. Rev.*, **2012**, *112*(7), 3777.
- (a) Kozlov M., Kozlov A., Komkov A., Lyssenko K., Zavarzin I., Volkova Y. *Adv. Synth. Catal.*, **2019**, *361*, 2904. (b) Kozlov M., Komkov A., Losev T., Tyurin A., Dmitrenok A., Zavarzin I., Volkova Y. *J. Org. Chem.*, **2019**, *84*, 11533. (c) Komkov A.V., Komendantova A.S., Menchikov L.G., Chernoburova E.I., Volkova Y.A., Zavarzin I.V. *Org. Lett.*, **2015**, *17*, 3734.

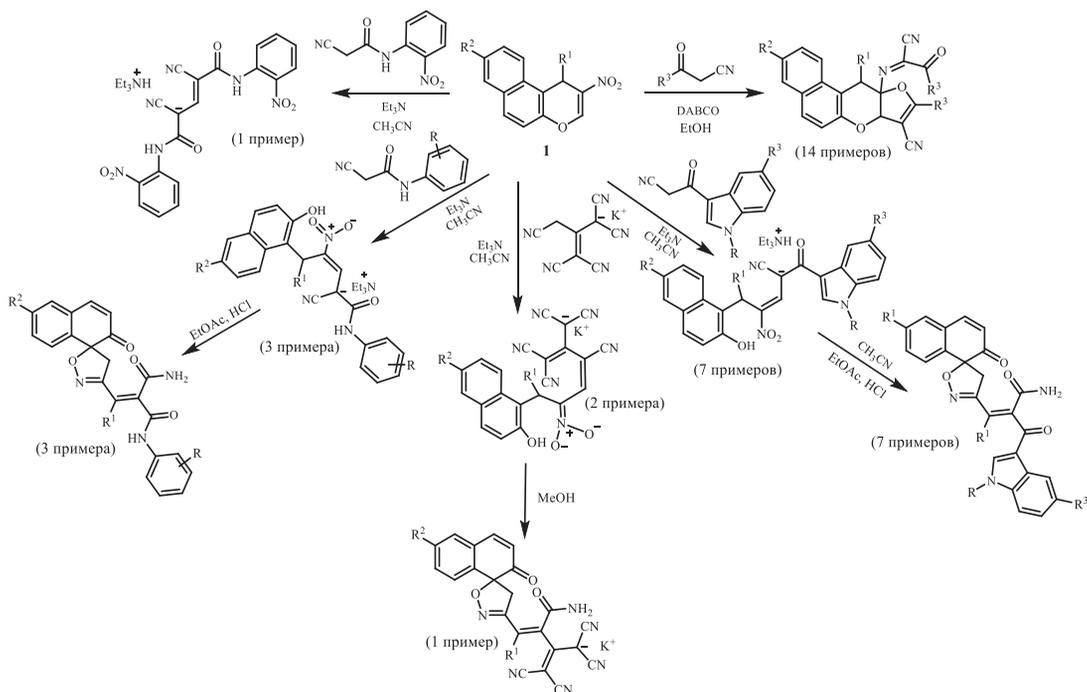
## РЕАКЦИИ 3-НИТРО-4*H*-ХРОМЕНОВ С С<sub>N</sub>-КИСЛОТАМИ: СИНТЕЗ N- И O-ГЕТЕРОЦИКЛОВ

Студентка 4 курса Юшкова А.С.

Руководитель профессор Осянин В.А.  
Самарский государственный технический университет  
chemistnumber1@mail.ru

Цель работы – исследование химических свойств 2-нитро-1*H*-бензо[*f*]хроменов и их производных, создание новых подходов к синтезу гетероциклических соединений на основе реакций с С<sub>N</sub>-кислотами. С позиции выбора универсального и доступного субстрата, который может быть вовлечен в различные типы гетероциклизации, хромены, содержащие в β-положении к гетероатому нитрогруппу, представляются подходящими для введения в разнообразные реакции сопряженного присоединения и перициклические процессы.

Показано, что взаимодействие 2-нитро-1*H*-бензо[*f*]хроменов с β-кетонитрилами алифатического ряда приводит к образованию дигидрофурановой системы. Было установлено, что взаимодействие электронодефицитных 2-нитро-1*H*-бензо[*f*]хроменов с 3-(1*H*-индол-3-ил)-3-оксопропаннитрилом и его производными на первом этапе синтеза приводит к раскрытию пиранового цикла и образованию (*E*)-2-циано-5-(2-гидроксинафталин-1-ил)-1-(1*H*-индол-3-ил)-4-нитро-1-оксопент-3-ен-2-елида триэтиламмония с получением на следующей стадии спироизоксазола.



В результате исследования подобраны оптимальные условия и разработан общий подход к получению гетероциклов с использованием нитрилов различного строения в качестве метиленактивной компоненты.

**НОМИНАЦИЯ I  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ**



**СЕКЦИЯ «ХИМИЯ  
ПОЛИМЕРОВ И  
КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ»**

## ПОЛУЧЕНИЕ РАНЕЗАЖИВЛЯЮЩИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ N-СУКЦИНИЛХИТОЗАНА С ПОЛИ-N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ

**Студент 4 курса Алмаев Б.Ф.**

Руководитель доцент Бабунова М. В.  
*Уфимский университет науки и технологий*  
*almaevbulat@yandex.ru*

В настоящее время предложено множество ранезаживляющих материалов в качестве альтернативы традиционным текстильным повязкам. Среди них особо примечательны плёнки на основе природных полимерных материалов, например, хитозана и его производных. Однако предложенные полимерные ранезаживляющие плёнки обладают недостатками, затрудняющими их активное применение. Одним из способов устранения этих недостатков может служить модификация пленок путем добавления стороннего полимера, способного к образованию полимерного комплекса. Целью работы было получение пленки на основе полиэлектролитных комплексов N-сукцинилхитозана (СХТЗ) с поли-N-винилпирролидоном (ПВП), с оптимальными для использования пленки в качестве ранезаживляющих покрытий характеристиками.

Были получены пленки с массовым содержанием ПВП в СХТЗ от 10:90, 20:80, 50:50 % масс. соответственно. Термодинамическую совместимость полимеров в пленке оценивали методом дифференциально-сканирующей калориметрии и посредством изучения сорбции паров воды пленкой. На термограммах первого сканирования пленок СХТЗ-ПВП для образца состава 50:50 отмечается наличие фазового перехода при 59,4 °С, что может соответствовать температуре стеклования СХТЗ. На термомеханических кривых повторного сканирования для смесей ПВП-СХТЗ не появляются дополнительных эндотерм в области температур стеклования индивидуальных СХТЗ и ПВП; отмечается появление единственного перехода при температуре 112,7 °С. С повышением содержания ПВП в системе данная температурная область для пленочного образца состава 50:50 не регистрируется, видны переходы, соответствующие индивидуальным компонентам. Эти результаты свидетельствуют о наличии термодинамической совместимости компонентов в смеси вплоть до содержания ПВП 20 % масс. Из данных о сорбции воды полимерами пленки был рассчитан параметр Флори-Хатгинса, отрицательное значение которого подтверждает совместимость полимеров в пленках с содержанием ПВП не выше 20 % масс. Оценка деформационно-прочностных свойств показала в совместимых пленках рост модуля Юнга на 130–170 % и прочности пленки на 7–28 %, по сравнению с пленками на основе индивидуального СХТЗ. Оценка поверхностных свойств показала рост среднеквадратичной шероховатости с  $40,0 \pm 2,2$  нм до  $64,6 \pm 3,7$  нм и краевого угла смачивания с  $55,0 \pm 1,6$  град до  $71,0 \pm 2,8$  для системы с содержанием ПВП 10 % мас. Также наблюдался рост плотности пленок для совместимых соотношений полимеров. Кинетические кривые выхода лекарственного вещества из плёнок свидетельствуют о пролонгировании выхода лекарства в пленках по сравнению с пленками индивидуального СХТЗ, как для ионогенных, так и для неионогенных лекарств.

Таким образом, было доказано наличие совместимости N-сукцинилхитозана с поли-N-винилпирролидоном в смесях с содержанием ПВП от 10 до 20 % масс. Характеристики полученных плёнок позволяют использовать их в качестве материала для ранезаживляющих покрытий.

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СВЕРХРАЗВЕТВЛЁННЫХ ПОЛИОРГАНОСИЛОКСАНОВ

**Студентка 4 курса Гордионов Е.С.**

Руководители к.х.н. Темников М.Н., асп. Хасяк Я.К.

*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН  
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева ВХК РАН  
plotnik.katya@yandex.ru*

Сверхразветвлённые полимеры (СРП), по сравнению с известными линейными полимерами аналогичного химического состава, имеют разветвлённую трехмерную структуру и большое количество концевых групп, что обеспечивает уникальные физико-химические свойства, такие как низкая вязкость, высокая растворимость, способность инкапсулировать чужеродные молекулы, высокое содержание реакционноспособных функциональных групп. Таким образом, СРП могут применяться в различных областях.

Полиорганосилоксаны нашли широкое применение в качестве модифицирующих добавок и наполнителей в производстве электроизоляционных материалов, плёнок, лаков, термостойких пластмасс, резин, герметиков. Благодаря высокой термоокислительной стабильности и диэлектрическим свойствам, они имеют широкий температурный диапазон работоспособности, а покрытия на их основе не подвержены растрескиванию. Тем не менее, в литературе мало примеров получения и исследования свойств сверхразветвлённых полиорганосилоксанов. Цель нашей работы – синтез и исследование свойств сверхразветвленных органосилоксанов.

СРП в нашем случае были получены гетерофункциональной поликонденсацией мономеров АВ<sub>2</sub> типа по реакции Пирса-Рубинштейна. Ранее мы установили, что при использовании мономеров  $\text{RSi(H)(OEt)}_2$ , где  $\text{R} = \text{Me}$ , происходит образование СРП. В то же время использование мономеров, где  $\text{R} = \text{Et, Ph}$ , приводило к образованию линейных полимеров. Поэтому, в рамках данной работы, мы изменили структуры исходных мономеров добавлением диметилсилоксанового спейсера. Это позволило получать сверхразветвленные полисилоксаны (Рис.).

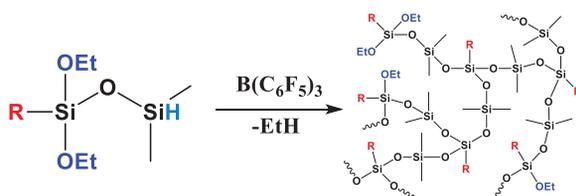


Рис. Схема получения сверхразветвленных полиорганосилоксанов в условиях реакции Пирса-Рубинштейна

В настоящей работе представлены результаты оптимизации условий получения СРП реакцией Пирса-Рубинштейна.  $\text{R} = \text{Vin, Ph}$ .

На основе данных ГПХ и <sup>1</sup>H, <sup>29</sup>Si ЯМР определены структурные и молекулярно-массовые характеристики СРП: сверхразветвлённая структура, степень ветвления, и молекулярно-массовые характеристики полученных полимеров.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Rubinsztajn S., Cella, J.A. *Polymer Preprints (American Chemical Society, Division of Polymer Chemistry)* **2004**, *45(1)*, 635–636.

## НОВЫЙ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СИЛОКСАНОВЫХ АЭРОГЕЛЕЙ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Студент 2 курса Кубрин Г.Е.

Руководители м.н.с. Холодков Д.Н. и к.х.н. Арзуманян А.В.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева  
Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН  
kubringl@yandex.ru

Аэрогели за счет своих уникальных свойств, таких как высокая удельная площадь поверхности (500–1200 м<sup>2</sup>/г), пористость (80–99.8%) и низкая плотность (0.003–0.3 г/мл), представляют собой материал с высоким потенциалом применения в различных областях науки, техники и медицины [1]. Однако существуют научные и технологические проблемы, связанные с получением аэрогелей с заданными свойствами, а также с дороговизной и длительностью производства, которые препятствуют применениям силиконовых аэрогелей.

Получение аэрогелей включает несколько последовательных стадий: (1) зольгель синтез – формирование геля, для которого необходимо использовать избыточные количества катализаторов и жесткие условия; (2) старение геля – созревание и образование прочного геля, что вместе со стадией образования геля занимает от нескольких дней до недель; (3) обработка – подготовка геля к сушке (включая замену одного растворителя на другой, удаление катализатора и побочных продуктов и т.д.), которая является дополнительной и нежелательной ввиду экономических и временных затрат; (4) сушка – изготовление аэрогеля из влажного геля.

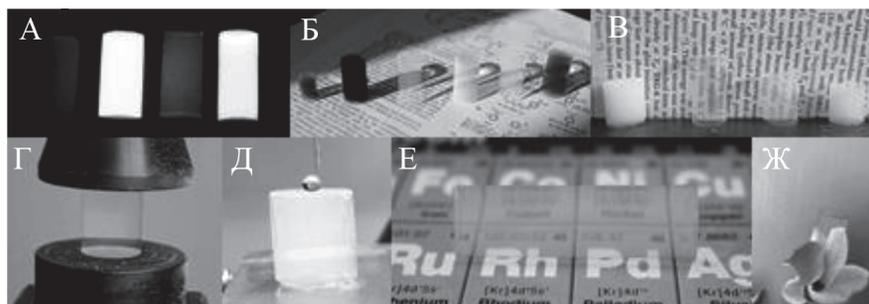


Рис. Прозрачные (в, г, е, ж), супергидрофобные (а) и флуоресцентные (а, б) аэрогели.

Наша работа направлена на создание нового метода получения аэрогелей на основе высокоэффективной, простой, коммерчески доступной и дешевой каталитической системы [2]. Эта система сократит количество и продолжительность технологических стадий процесса и позволит получать аэрогели с регулируемой прозрачностью, гидрофобностью и механической прочностью (рис.).

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-73-10172-П.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Pierre A.C., Pajonk G.M., Chem. Rev. 2002, 102, 4243–4265.
2. Kholodkov D.N., Arzumanyan A.V., Novikov R.A. et. al., Macromolecules, 2021, 54, 4, 1961-1975.

## ПОЛУЧЕНИЕ НАНЕСЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОЦЕНОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В (СО)ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭТИЛЕНА

Студентка 4 курса Садртдинова Г.И.

Руководитель профессор Нифантьев И.Э.

НИУ Высшая школа экономики

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН

sadrtdinova2001@bk.ru

Наиболее массовыми продуктами нефтехимии в наши дни являются полиэтилен (в частности, линейный полиэтилен низкой плотности – LLDPE) и полипропилен, их мировое производство приближается к 200 млн тонн в год. LLDPE представляет собой сополимер этилена с небольшими количествами  $\alpha$ -олефинов – бутена-1, гексена-1 или октена-1. Его производство основано на использовании гетерогенных катализаторов Циглера-Натта, нанесенных одноцентровых металлоценовых или постметаллоценовых катализаторах. Однако, объемы отечественного производства  $\alpha$ -олефинов не покрывают потребности в этих мономерах, вследствие чего перспективна разработка тандемных технологий производства LLDPE, основанных на использовании этилена в качестве сырья (Рис. 1А).

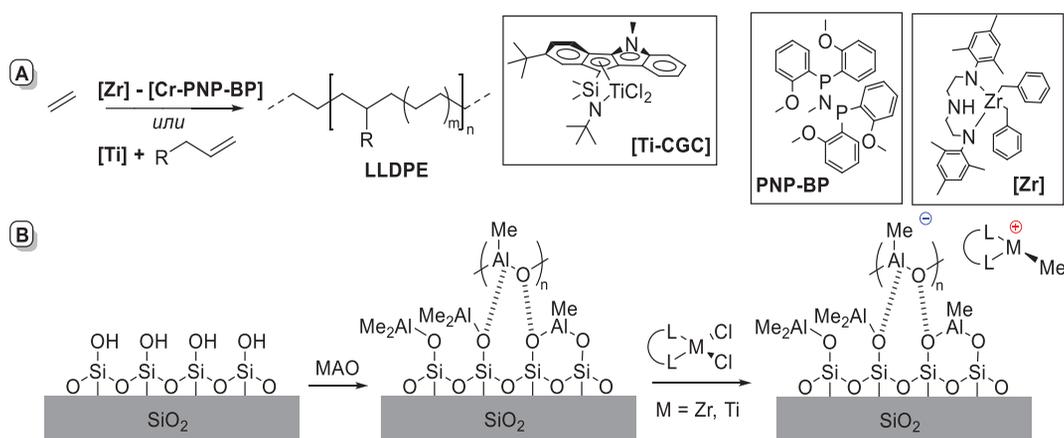


Рис. 1. Тандемная реакция получения LLDPE (А),  
схема приготовления нанесенного катализатора (В)

Целью данной работы является получение LLDPE с использованием нанесенных каталитических систем (Рис. 1В). Изучены параметры носителей, получены и проанализированы активирующие фазы SiO<sub>2</sub>-метилалюмоксан (MAO). Впервые в мягких условиях получен LLDPE на нанесенных Ti-CGC в реакции сополимеризации этилена с гексеном-1 [1]. Предложена новая тандемная каталитическая система на основе комплексов хрома и циркония для генерации  $\alpha$ -олефинов *in situ* для получения LLDPE. Найдены оптимальные условия для получения сополимеров на ее основе. Внедрение гексена-1 изучено и подтверждено различными методами.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант 21-73-30010.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Nifant'ev I.E., Vinogradov A.A., Vinogradov A.A., Sadrtidinova G.I., Komarov P.D., Minyaev M.E., Ilyin S.O., Kiselev A.V., Samurganova T.I., Ivchenko P.V., Eur.Polym.J. 176 (2022) 111397.

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА 3D-ПЕЧАТНОЙ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ МАЛОСЛОЙНЫМ ГРАФЕНОМ

Студентка 4 курса Титова С.И.

Руководитель к.х.н. Возняковский А.А.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
sofia.titova@internet.ru

DIGITAL LIGHT PROCESSING (DLP) – метод 3D-печати, основанный на отверждении фотополимерной смолы (ФС) под воздействием света, позволяет получать изделия с высокой детализацией по сравнению с другими способами печати. Однако, изделия из фотополимерных смол характеризуется низкими значениями прочностных характеристик, что не позволяет использовать их во множестве отраслей.

Учитывая, что набор доступных фотополимерных смол довольно ограничен, исследователи часто прибегают к созданию композиционных материалов. Сочетание разнородных веществ (матрицы и наполнителя) приводит к созданию нового материала (композита). Варьированием их соотношения можно получать широкий спектр материалов с требуемым набором прочностных и теплофизических свойств.

Цель нашей работы – изучение влияния добавок малослойного графена (МГ) на теплофизические и прочностные характеристики изделий, изготовленных DLP методом 3D-печати из ФС.

Модифицированную ФС получали постепенным добавлением навески МГ (0,025–4 масс. %) в нагретую до 50 °С смолу, при постоянном перемешивании в ультразвуковой ванне в течение 0,5 ч. Композиты получали на 3D-принтере марки Anycubic Photon S (Китай). Измерения (1) проводили на твердомере марки Метротест ИТБ-3000-АМ, (2) на гидравлическом прессе ПМ-МГ4 и (3) на установке DFX-200 (США) (см. рис.).

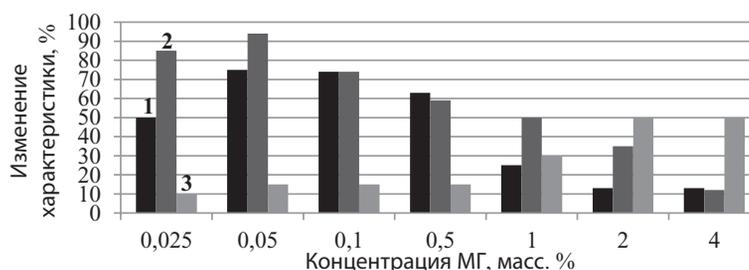


Рис. Изменение твердости (1), прочности на изгиб (2), теплопроводности (3) по сравнению с исходным фотополимером

Наибольший прирост твердости по Бринеллю (75 %) и прочности на изгиб (94 %) достигается при малой концентрации МГ – 0,05 масс. %. Однако, увеличение доли наполнителя (до 4 масс. %) приводит к постепенному снижению прочностных характеристик до значений чистого фотополимера. При концентрациях 1–4 масс. % прирост теплопроводности максимален – 50 %.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования МГ в качестве наполнителя фотополимерной матрицы для повышения ее прочностных и теплофизических свойств. Они позволяют рассчитывать на применение изделий, полученных DLP методом 3D-печати, в качестве материала корпусов приборов.

**НОМИНАЦИЯ II  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**



СЕКЦИЯ «ОБЩАЯ  
ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ,  
ОСНОВНОЙ ОРГАНИЧЕСКИЙ  
И НЕФТЕХИМИЧЕСКИЙ  
СИНТЕЗ»

## РАЗРАБОТКА МИКРО-МЕЗОПОРИСТЫХ КОМПОЗИТНЫХ НОСИТЕЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И НЕФТЕХИМИИ

**Студентка 1 курса магистратуры Елизарова В.И.**

Руководитель к.х.н. Пимерзин А.А.

*Самарский государственный технический университет*

*nicka.elizarova@yandex.ru*

В условиях импортозамещения растет потребность в отечественных катализаторах, которые должны удовлетворять спрос на высококачественные нефтепродукты и обеспечивать получение топлив, соответствующих строгим экологическим требованиям. Кроме того, нужны катализаторы пригодные для переработки утяжеленного и остаточного сырья.

Процесс гидроочистки позволяет эффективно удалять из перерабатываемого сырья нежелательные компоненты, в частности, серосодержащие соединения. Основное направление повышения эффективности гидроочистки – совершенствование применяемых катализаторов. Традиционный состав каталитических систем гидроочистки основан на универсальной композиции –  $\text{Co(Ni)Mo(W)S/Al}_2\text{O}_3$ .

Использование в процессе гидроочистки модифицированных цеолитами сульфидных катализаторов позволяет значительно увеличить активность катализатора в реакциях гидрогенолиза стерически-затрудненных молекул, таких как 4,6-диметилдобензотиофен. Кислотная природа цеолитных добавок способствует протеканию реакций изомеризации и трансалкилирования, что решает проблему экранирования атома серы в подобных молекулах. Однако, микропористая структура цеолита приводит к диффузионным ограничениям, особенно по отношению к крупным молекулам, что не позволяет в полной мере раскрыть потенциал использования цеолитных добавок. Одним из возможных способов снятия диффузионных ограничений является использование мезопористых цеолитов.

Цель работы состояла в исследовании влияния мезопористых цеолитных добавок на активность каталитических систем в процессе гидроочистки смесового сырья. Были приготовлены носители с обычной и мезопористой цеолитсодержащей добавкой, на основе которых были получены  $\text{CoMo}$ -катализаторы. Полученные носители и катализаторы были проанализированы набором аппаратурных методов: низкотемпературная адсорбция азота, рентгеновская дифракция, ИК-спектроскопия адсорбированного пиридина,  $\text{NH}_3$ -ТПД, ТПВ, ПЭМ и РФЭС. Катализаторы были исследованы в реакции гидроочистки смесовой дизельной фракции.

Выявлено, что добавление 10 % мезопористого цеолита в носитель  $\text{CoMo}$ -катализатора гидроочистки значительно увеличивает активность катализатора в реакциях гидродесульфуризации, что обусловлено повышенной активностью цеолитов в реакциях изомеризации и трансалкилирования.

Мезопористые цеолиты в составе катализаторов гидроочистки позволяют расширить сырьевую базу процесса за счет переработки смесового сырья, а именно сырья с вовлечением газойлей вторичных процессов, содержащих большое количество серы.

## ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ АЛЬДОЛЬНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ НА ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ

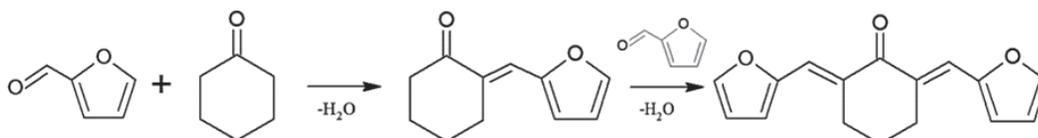
**Студентка 4 курса Керенцева А.В.**

Руководитель к.х.н. Пимерзин А.А.

*Самарский государственный технический университет,  
alina63564@gmail.com*

Масштабы добычи природных горючих ископаемых в последние десятилетия растут, что в перспективе может привести к их истощению. Возникает потребность в использовании возобновляемых источников сырья. Одно из направлений решения этой проблемы – использование биомассы, в качестве сырья для получения востребованной нефтехимической продукции и синтез различных органических веществ на основе соединений, полученных в результате её переработки.

Цель нашей работы – расширение сырьевой базы для производства топлив и нефтехимической продукции. Мы рассмотрели реакцию фурфурола с циклогексаноном. По результатам анализа литературы было установлено, что эта реакция протекает по основному механизму. В качестве катализатора обычно используют растворы щелочей, однако выделение щелочей из реакционной смеси требует дополнительных затрат. Необходима замена гомогенных катализаторов на гетерогенные.



Были исследованы следующие гетерогенные катализаторы: оксидные ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZnO}$ ), соосажденные и реконструированные состава  $\text{Zn-Al}$ ,  $\text{Ba-Al}$  и  $\text{Mg-Al}$  и нанесенные катализаторы состава  $\text{Mg-Al}$  и  $\text{Zn-Al}$ , пропитанные растворами  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  соответственно.

По результатам эксперимента установлено, что  $\text{Mg-Al}$  и  $\text{Zn-Al}$  катализаторы обладают большей активностью, чем  $\text{Ba-Al}$ .

При прочих равных условиях нанесенные катализаторы обеспечивают большую конверсию по сравнению с соосажденными. Селективность процесса по целевым продуктам выше при использовании соосажденных катализаторов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ershov M. A. et al. J. of Applied Chemistry. **2017**. Т. 90. № 9. С. 1402–1411.
2. Kikhtyanin O. et al. Using Mg-Al Chem. Cat. Chem. **2018**. Т. 10. № 6. С. 1464–1475.
3. Kikhtyanin O. et al. Chem. Cat. Chem. **2018**. Т. 10. № 6. С. 1464–1475.
4. Yutthalekha T. et al. Chem. Communications. **2017**. Т. 53. № 90. С. 12185–12188.

## ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ИБУПРОФЕНА В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ БАРЬЕРНОМ РАЗРЯДЕ

**Студентка 1 курса магистратуры Котова Ю.В.**

Руководитель к.х.н. Квиткова Е.Ю.

*Ивановский государственный химико-технологический университет  
julu\_cat4@mail.ru*

Особое место среди веществ, загрязняющих водную среду, занимают лекарственные препараты. Их присутствие в питьевой воде (даже в микроколичествах) потенциально опасно для здоровья. Кроме того, загрязнение водных объектов фармпрепаратами оказывает негативное влияние на жизнь гидробионтов.

К перспективным способам обработки воды относят окислительные методы, в частности с применением диэлектрического барьерного разряда (ДБР) [1]. Наша работа посвящена изучению возможности использования ДБР для очистки воды от фармацевтических соединений (на примере ибупрофена).

Эксперимент проводился на установке, основным элементом которой является плазмохимический реактор с коаксиальным расположением электродов. Барьерный разряд возбуждался от высоковольтного трансформатора, значение переменного напряжения между электродами составляло 15 кВ. В качестве плазмообразующего газа использовался технический кислород (расход 3 см<sup>3</sup>/с). Объёмный расход раствора, подаваемого на очистку, варьировался от 0,04 до 0,3 мл/с.

В ДБР обрабатывались модельные растворы ИБ с начальными концентрациями ( $C_{н}$ ) 8,6 и 21,4 мг/л. Для определения концентрации ибупрофена использовался спектрофотометрический метод с предварительной экстракцией ибупрофена дихлорметаном. Было установлено, что степень деструкции ибупрофена в ДБР зависит от времени контакта раствора с зоной разряда и достигает 96–98 % при его максимально возможном в условиях эксперимента значении ( $\tau = 5,7$  с).

Установлено, что продуктами окисления ибупрофена в ДБР являются альдегиды и карбоновые кислоты, а также СО<sub>2</sub>. Выход альдегидов в пересчете на формальдегид составлял всего 0,25 % (для  $C_{н} = 21,4$  мг/л) и 2,7 % (для  $C_{н} = 8,6$  мг/л) от начального содержания «углерода» в системе, а выход карбоновых кислот (в пересчёте на уксусную кислоту) и диоксида углерода в условиях эксперимента достигал 11 и 74,2 % соответственно. Образованием слабых органических кислот можно объяснить кислую среду обработанных в ДБР модельных растворов ибупрофена (значение рН находилось в диапазоне 3,6 ÷ 5,5).

Высокая степень минерализации ИБ свидетельствует об эффективности протекающих окислительных процессов, что позволяет сделать вывод о возможности использования рассматриваемого метода очистки воды.

*Работа выполнялась в рамках государственного задания на выполнение НИР: тема № FZZW-2020-0009.*

### ЛИТЕРАТУРА

Krause H. et al. Journal of Electrostatics. 2011. Т. 69. №4. С. 333–338.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ БИОРЕАКТОРА ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МЕТАНОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ

**Студент 2 курса Кочетков В.В.**

Руководитель аспирант Гаганов И.С.

ООО «ГИПРОБИОСИНТЕЗ»

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА  
vvkochetkov@bk.ru*

В условиях импортозамещения актуальна разработка отечественного оборудования для получения кормов на основе белковых добавок, синтезируемых микробиологическим методом из природного газа. Получение белка может быть реализовано путем культивирования метанокисляющих бактерий в биореакторах специальной конструкции. Для обеспечения развития этого направления требуется разработка лабораторных, пилотных, а затем и опытно-промышленных установок, которые позволят обеспечить переход к современным и конкурентоспособным промышленным производствам.

Цель нашей работы – оптимизация ферментационного оборудования, разработанного компанией ООО «ГИПРОБИОСИНТЕЗ» [1], посредством разработки способа извлечения углекислого газа из газовой фазы биореактора. Внедрение прототипа системы очистки газовой фазы от углекислого газа позволит обеспечить увеличение производительности системы ферментации.

Разработана технологическая схема ферментационной установки, включающая систему очистки от углекислого газа, в которой для транспортировки газа в зону его удаления и возврата в биореактор используется существующая аппаратура. Это позволяет исключить дополнительные затраты на приобретение и установку дополнительного компрессорного оборудования. Предложенный подход может быть реализован в биореакторах рабочим объемом свыше 1 м<sup>3</sup>.

Нами подобран селективный по углекислому газу адсорбент AmsorbPlus®, определены и рассчитаны габаритные характеристики адсорберов, используемых в составе опытной ферментационной установки. Изготовлены и установлены на ферментационной установке с биореактором рабочим объемом 15 литров два адсорбера с неподвижным слоем адсорбента.

Разработанная методика испытаний системы очистки от углекислого газа в составе ферментационной установки и метод отбора пробы культуральной жидкости позволяют провести испытания, результаты которых могут быть использованы для масштабирования интегрированной системы удаления углекислого газа для биореакторов рабочим объемом свыше 1 м<sup>3</sup>.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кочетков В.М., патент РФ 2769129 (2022).

## ЭКСТРАКТИВНАЯ РЕКТИФИКАЦИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ С СУЛЬФОЛАНОМ

**Студентка 1 курса магистратуры Новрузова А.Н.**

Руководитель доцент Раева В.М.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА  
albina.novruzova2018@yandex.ru*

Экстрактивная ректификация (ЭР) применяется в промышленности для разделения многокомпонентных азеотропных смесей углеводородов [1]. Оценка селективных свойств агентов является обязательным этапом разработки энергоэффективных вариантов ЭР. Сульфолан (СФ) проявляет групповую селективность в отношении предельных углеводородов и входит в состав смешанных разделяющих агентов в процессах экстракции и ЭР. В работе изучена возможность использования СФ как индивидуального экстрактивного агента при разделении смесей бензол (Б) – циклогексан (ЦГ) – толуол (Т) и Б – ЦГ – гептан (Г) – Т.

Проведено моделирование фазовых равновесий «жидкость – жидкость» и «жидкость – жидкость – пар» для 4- и 5-компонентных систем. Для расчетов фазовых равновесий применяли модель NRTL. Расчеты относительной летучести компонентов проведены с учетом особенностей фазового равновесия в многокомпонентных системах с сосуществующими жидкими фазами. СФ является более селективным агентом по сравнению с растворителями, которые образуют с разделяемыми углеводородами гомогенные жидкие смеси.

Проведены расчеты схем ЭР различной структуры для разделения смеси Б–ЦГ–Т эквимолярного состава с анилином, СФ и бинарным агентом СФ+N-МП (состав 0,75; 0,25 мол. д). Использование СФ обеспечивает снижение энергозатрат на разделение на 3–13 % и снижение капитальных затрат (суммарное число теоретических тарелок в ректификационных колоннах схемы) в сравнении с бинарным агентом.

Поскольку СФ проявляет групповую селективность не только при ЭР, но и при экстракции, рассмотрена схема разделения (сепаратор + ректификационные колонны), учитывающая наличие сосуществующих жидких фаз в системе Б–ЦГ–Т–СФ. В сепаратор подают смесь Б–ЦГ–Т и СФ. После сепаратора жидкие слои направляют в разные колонны: слой с небольшим содержанием ЦГ – в колонну выделения Б, а другой слой – в колонну автоэкстрактивной ректификации (выделение ЦГ), куда дополнительно вводят СФ. Энергозатраты на разделение в этом варианте на 18 % выше, чем при ЭР.

Для разделения смеси Б – ЦГ – Г – Т впервые предложена принципиальная технологическая схема разделения с индивидуальным экстрактивным агентом СФ. В первой колонне схемы проводится ЭР смеси углеводородов с СФ. В дистиллатном потоке концентрируются ЦГ и Г. Дальнейшее разделение предусматривает последовательное выделение компонентов из неазеотропных смесей в трех ректификационных колоннах.

Для всех схем разделения определены статические параметры работы колонн и наименьшие количества агентов, обеспечивающие получение практически чистых веществ.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (проект № 19-19-00620-н).*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гайле А.А., Сомов В.Е., Сульфолан. Получение, свойства и применение в качестве селективного растворителя. 2014, 392 с.

## РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ЭПОКСИДА ЦИКЛОГЕКСЕНА, ЦИКЛОГЕКСАНОЛА И ЦИКЛОГЕСАНОНА

**Студентка 1 курса магистратуры Смурова А.А.**

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

*Ярославский государственный технический университет*

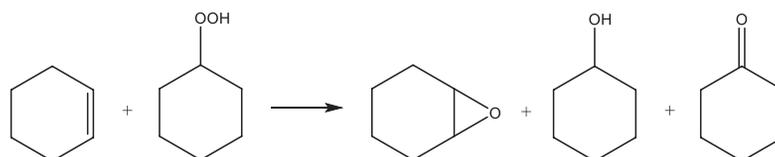
*smirovaaa@mail.ru*

Эпоксид циклогексена коммерчески важный продукт органического синтеза. Он находит широкое применение в производстве эпоксидных смол, фотореактивных полимеров, акарицидов, поверхностно-активных веществ, лекарственных препаратов и добавок к резине. Получение эпоксиды циклогексена в промышленности не реализовано, так как обработка циклогексена надкислотами [1] и эпоксидирование циклогексена перекисью водорода [2] характеризуются длительностью процесса и низкими выходами целевого продукта.

Циклогексанон – крупнотоннажный продукт основного органического синтеза и находит применение в производстве капролактама, различных полимерных волокон [3]. Циклогексанол применяется в органическом синтезе, в производстве пластификаторов, как реагент при флотации сальвинитовой руды, как растворитель.

Основной метод совместного получения циклогексанола и циклогексанона гомогенно-каталитическое окисление циклогексана кислородом воздуха. Однако промышленный процесс характеризуется малой скоростью и низким выходом целевых продуктов: конверсия циклогексана не превышает 4–5 %.

В связи с этим актуальной задачей является разработка эффективного метода получения эпоксиды циклогексена, циклогексанола и циклогексанона. В работе предложен способ совместного получения эпоксиды циклогексена, циклогексанола и циклогексанона, заключающийся в эпоксидировании циклогексена гидропероксидом циклогексана:



Циклогексен синтезирован дегидратацией циклогексанола с выходом около 80 %; его структура была подтверждена методом ИК-спектроскопии. Исследованы закономерности жидкофазного окисления циклогексана до его гидропероксида; определены оптимальные условия проведения процесса. Изучено влияние температуры, продолжительности реакции и содержания катализатора на процесс эпоксидирования циклогексена гидропероксидом циклогексана.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. США 2745848А. Preparation of cyclohexene oxide: заявл. 25.02.1953; опубл. 15.05.1956.
2. Пат. Китай 101020669. The no-solvent process of epoxidizing cyclohexene with hydrogen peroxide to prepare cyclohexane epoxide: заявл. 02.02.2007; опубл. 17.11.2010.
3. Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. М. Химия, 1988. С. 522.

## НОВЫЙ ГИБРИДНЫЙ КАТАЛИЗАТОР ГИДРОФОРМИЛИРОВАНИЯ ОЛЕФИНОВ

Студент 5 курса Соколов Д.В.

Руководители к.х.н. Кардашева Ю.С., к.х.н. Теренина М.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет

Daniil-01.10@yandex.ru

Реакция гидроформилирования – взаимодействие олефинов с синтез-газом в присутствии катализатора – основа процессов получения альдегидов как в крупнотоннажной промышленности, так и в тонком органическом синтезе [1].

Сегодня большое количество работ посвящено изучению катализаторов на основе фосфорсодержащих органических носителей, но мало внимания уделено исследованиям иммобилизации металла на азотсодержащих носителях [2].

Цель нашей работы – синтез нового родиевого гетерогенного катализатора на основе гибридного кремнийорганического материала, получаемого путём совместной конденсации мочевино-формальдегидного преполимера и тетраэтоксисилана, и изучение его каталитической активности в гидроформилировании. Нами были получены и охарактеризованы комплексом физико-химических методов композитный носитель и гетерогенный катализатор на его основе.

Активность полученного катализатора была изучена в модельной реакции гидроформилирования октена-1. Исследовано влияние температуры на выход и состав продуктов. Показано, что повышение температуры с 80 до 140 °С позволяет добиться количественной конверсии субстрата за 5 часов и ведет к увеличению выхода альдегидов с изомеризованным углеродным скелетом.

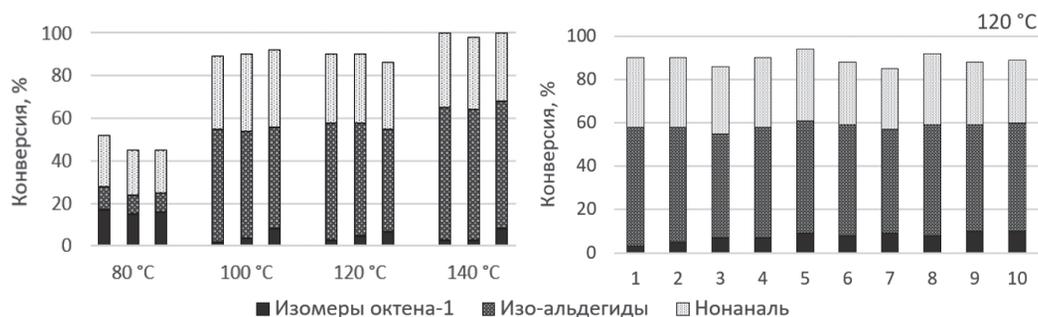


Рис. Гидроформилирование октена-1 (5 МПа, 5 часов)

Установлено, что катализатор не теряет активности при многократном использовании при различных условиях проведения реакции. При 120 °С и 5 МПа продемонстрирована стабильность работы катализатора на протяжении 10 рециклов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Tudor R., Ashley M., *Platinum Met. Rev.*, **2007**, *51*, (3), 116–126.
2. Gorbunov D.N. et al., *Applied Catalysis A*, **2022**, *647*, 118891.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕМБРАНЫ В ПРОЦЕССЕ ГАЗОГИДРАТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ КСЕНОНА ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА

**Студентка 2 курса магистратуры Степанова Е.А.**

Руководитель доцент Петухов А.Н.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»  
stepanova.k1999@mail.ru*

В настоящее время традиционным методом получения ксенона является низкотемпературная ректификация, которая позволяет выделять ксенон из атмосферы.

Нами предложен метод газогидратной кристаллизации для выделения ксенона из природного газа, который может стать экологичной, экономичной и эффективной заменой существующего метода. Газовые гидраты – твердые кристаллические соединения, в которых молекула газа заключена в полый каркас, состоящем из молекул  $H_2O$ . Метод газогидратной кристаллизации заключается в том, что часть исходной газовой смеси при соблюдении необходимых термобарических условий сорбируется в газогидратные полости (в зависимости от давления диссоциации каждого компонента), а часть остается в газовой фазе.

Было предложено модифицировать этот метод и включить в него мембранный модуль. Мембранная технология основана на растворении-диффузии, в ходе чего молекулы газа в зависимости от своих проницаемостей проходят через мембрану с разной проницаемостью. Комбинация мембранного и газогидратного методов, различных по своей физико-химической природе, позволит повысить процент извлечения ксенона из природного газа.

В нашей работе сравнивались концентрирование ксенона при газогидратной кристаллизации и газогидратно-мембранной кристаллизации для газовой смеси, по составу схожей с природным газом ( $CH_4$  (75.677 мол.%) –  $C_2H_6$  (7.410 мол.%) –  $C_3H_8$  (4.534 мол.%) –  $n-C_4H_{10}$  (2.469 мол.%) –  $CO_2$  (5.396 мол.%) –  $H_2S$  (1.389 мол.%) –  $N_2$  (3.013 мол.%) –  $He$  (0.113 мол.%)).

Используя расчеты селективностей и проницаемостей компонентов модельной газовой смеси, была выбрана мембрана из полиэфиримида + полиимид, которая наиболее селективна по ксенону.

Далее были рассчитаны молярные доли компонентов, перешедших в газогидратную фазу, полученные экспериментально, а также теоретические, рассчитанные в программе Aspen Plus. При схожих потоках сброса содержание ксенона в газогидратной фазе повысилось на 19 %. Так как сероводород и ксенон обладают близкими давлениями диссоциации газового гидрата ( $P_{\text{дис}}(He) = 1,90$  бар,  $P_{\text{дис}}(H_2S) = 1,11$  бар), и оба занимают большие полости, они конкурируют между собой. Поэтому использование мембраны со смесевой селективностью 8,2 позволило уменьшить концентрацию сероводорода в газовом гидрате на 30 %. Так как смесевая селективность для диоксида углерода еще выше чем у сероводорода, а давление диссоциации отличается на порядок ( $P_{\text{дис}}(CO_2) = 13,85$  бар,  $P_{\text{дис}}(He) = 1,90$  бар), использование мембраны позволило снизить концентрацию  $CO_2$  в газогидратной фазе на 60 %. Стоит отметить, что смесевая селективность пропана составила всего 1,2 (идеальная селективность 2,2), его концентрация в газовом гидрате при использовании мембраны значительно не изменилась. Концентрация пропана снизилась на 3 %.

Таким образом, использование мембраны позволило увеличить концентрирование ксенона в газогидратной фазе и повысить его на 19 %.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 22-79-10222.*

## ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ НЕКОНДИЦИОННЫХ ОСТАТКОВ УСТАНОВКИ «VEBA COMBI CRACKING»

**Студентка 1 курса магистратуры Штолина Т.В.**

Руководитель к.х.н. Остах О.С.

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

*shtolinat@bk.ru*

В настоящее время на нефтеперерабатывающих заводах все чаще происходит внедрение новых комплексов глубокой переработки нефти, позволяющие перерабатывать тяжелое нефтяное сырье. Функционирование комплекса глубокой переработки нефти сопровождается образованием многотоннажных отходов, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Поэтому одной из приоритетных задач является утилизация некондиционных остатков.

Цель нашей работы – применение ультразвуковой обработки для утилизации некондиционных остатков установки гидрокрекинга и предложение технологической схемы. Объектом исследований послужили некондиционные остатки комплекса глубокой переработки тяжелых остатков установки «Veba Combi Cracking» ().

В работе было проведено три опыта: с использованием ультразвука при различных параметрах, а также с добавлением поверхностно-активного вещества.

Было установлено, что наибольший эффект достигается за счет комплексной обработки с применением моющего биоразлагаемого ПАВ с дезмульгирующими свойствами при одновременном воздействии ультразвука в течение 5 минут – 50 Вт и 20 минут – 90 Вт. Такое сочетанное действие позволяет достичь максимальной гомогенизации, уменьшения температуры затвердевания (размягчения), перевод из твердого в пастообразное текучее состояние, а также невысокой адгезии к металлическим и стеклянным поверхностям.

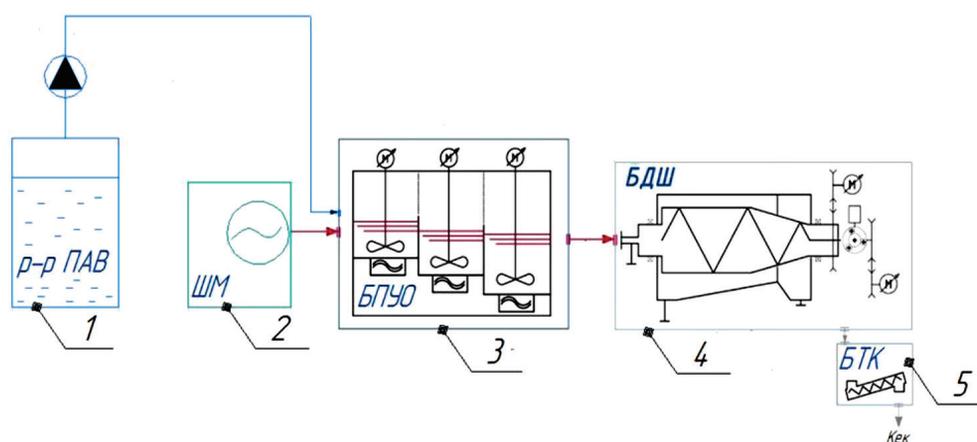


Рис. Предлагаемая схема утилизации некондиционных остатков КППГО,  
где: 1 – блок подготовки раствора ПАВ; 2 – шламмовый насос;  
3 – блок промывки и ультразвуковой обработки; 4 – блок дещламинзации;  
5 – блок транспортировки кека

**НОМИНАЦИЯ II  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**



**СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИЯ  
НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ  
И МАТЕРИАЛОВ»**

## РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ЖИДКОСТЕКЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПРОТИВОПОЖАРНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ

**Студентка 1 курса магистратуры Беляева А.В.**

Руководитель профессор Казьмина О.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*Avb109@tpu.ru*

В современном мире проблемы противопожарной безопасности, повышенные требования к безопасности жизнедеятельности людей чрезвычайно актуальны. Одно из направлений решения этих проблем состоит в использовании противопожарных стеклянных конструкций. Особое внимание уделяется гелям, имеющим неорганическую природу, так как в большинстве случаев органические соединения в процессе горения выделяют токсичные соединения. Жидкое стекло представляет собой экологически безопасный и легкодоступный продукт, применяемый во многих технологических сферах. При высоких температурах жидкое стекло способно не разрушаясь образовывать плотную пену, а модифицирование жидкого стекла различными добавками способствует улучшению физических и огнезащитных свойств образующейся пены [1].

Цель нашего исследования – разработка состава и получение жидкостекляной композиции, используемой в качестве геля для противопожарной конструкции. Нами установлен базовый состав синтезируемого жидкого стекла и оптимальное соотношение компонентов (таблица).

Таблица – Компонентный состав синтезируемого жидкого стекла

Компонент	Содержание, % масс.
КОН	16
SiO <sub>2</sub> (аморф.)	24
H <sub>2</sub> O (дист.)	60

В качестве модифицирующих добавок были опробованы глицерин, ПЭГ 2000, ПЭГ 600, ПЭГ 400, ПВС.

Мы получили оптически прозрачный гель, способный к вспениванию при нагревании в диапазоне температур 150–400 °С с образованием теплоизолирующей твердой пены. Также установлено влияние химического состава композиции на её эксплуатационные свойства. Экспериментальным путем установлен технологический режим изготовления противопожарной жидкостекляной композиции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Корнеев В.И., Растворимое и жидкое стекло СПб: Стройиздат, 1996. 216 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ КАРКАСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ, ПОДВЕРГНУТЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКЕ

**Студентка 2 курса магистратуры Грачёва А.А.**

Руководитель доцент Власова Е.А.

*Ивановский государственный химико-технологический университет  
nastenagracheva1303@mail.ru*

Производство растительных масел составляет 75 % от общего объема продукции масложировой отрасли. В настоящее время одна из актуальных задач отечественной масложировой промышленности состоит в повышении качества растительных масел. Повышение качества растительных масел может быть достигнуто путем их очистки от вредных примесей. Растительное масло, использованное всего один раз для жарки продуктов, как правило, не пригодно для дальнейшего применения, поскольку содержит вредные вещества (альдегиды, кетоны, органические перекиси, гетероциклические амины, низкомолекулярные жирные кислоты).

Известно, что металлсодержащие каркасные структуры (МОКС) обладают высокой удельной площадью поверхности, однородным распределением пор по размерам, высокой пористостью, гидрофильностью, богатыми возможностями модификации как органической, так и неорганической составляющих [3]. МОКС рассматриваются как перспективные сорбенты веществ самой разной природы [1, 2].

В нашей работе получены материалы – кальций- и магнийсодержащие каркасные соединения и изучена их сорбционная активность в отношении свободных жирных кислот, красящих веществ и перекисных соединений, присутствующих в нерафинированных растительных маслах, в том числе в маслах, подвергнутых высокотемпературной обработке. Установлено, что с течением времени и ростом концентрации обоих МОКС степень сорбции указанных примесей увеличивается.

Методом атомно-абсорбционной спектроскопии показано, что синтезированные адсорбенты отсутствуют в маслах после извлечения примесей.

Установлено, что оба исследуемых МОКС сохраняют высокую работоспособность не менее пяти циклов (с учетом регенерации путем трехкратной обработки этанолом) без каких-либо изменений в структуре.

Таким образом, МОКС могут быть рекомендованы к использованию в масложировой промышленности в качестве эффективных и регенерируемых сорбентов для очистки от вредных примесей как натуральных нерафинированных растительных масел, так и подвергнутых высокотемпературной обработке.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Dietzel P., Georgiev P., Frøseth M., Johnsen R., Fjellvag H., Blom R., *Chemistry*, **2020**, *26*, 13523.
2. Chapman E., Ullah S., Wang H., Feng L., Wang K., Zhou H., Li J., Thonhauser T., Tan K., *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2021**, *13*, 43661.
3. Jiao L., Seow J., Skinner W.S., Wang Z.U., Jiang H.L., *Materials Today*, **2019**, *27*, 43.

## ФАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС И ЭЛЕМЕНТЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ $\text{Li}^+, \text{Na}^+, \text{Rb}^+ \parallel \text{CrO}_4^{2-}$

**Студентка 1 курса магистратуры Гришина Е.А.**

Руководитель доцент Бурчаков А.В.

*Самарский государственный технический университет*

*edgeiscool.228@gmail.com*

Цель работы: изучить фазовый комплекс трехкомпонентной системы  $\text{Li}^+, \text{Na}^+, \text{Rb}^+ \parallel \text{CrO}_4^{2-}$  и выявить функциональные свойства материалов на основе компонентов этой системы.

Методы исследования: экспериментальные исследования выполнены методом дифференциального термического анализа (ДТА). Моделирование фазовых комплексов систем проводилось в программе КОМПАС-3D.

В результате выполнения работы была построена 3D модель системы  $\text{Li}_2\text{CrO}_4\text{-Na}_2\text{CrO}_4\text{-Rb}_2\text{CrO}_4$ . Модель позволяет спрогнозировать последовательности кристаллизующихся фаз и приблизительные температуры фазовых переходов.

Методом ДТА [1,2] были изучены системы  $\text{Na}_2\text{CrO}_4\text{-Rb}_2\text{CrO}_4$ ,  $\text{Li}_2\text{CrO}_4\text{-Na}_2\text{CrO}_4\text{-Rb}_2\text{CrO}_4$ . В двухкомпонентной системе  $\text{Na}_2\text{CrO}_4\text{-Rb}_2\text{CrO}_4$  выявлен минимум  $\text{min } 615$ . В стабильной секущей  $\text{LiNaCrO}_4\text{-LiRbCrO}_4$  выявлен двойной минимум  $\text{min } 343$  и в трехкомпонентной системе  $\text{Li}_2\text{CrO}_4\text{-Na}_2\text{CrO}_4\text{-Rb}_2\text{CrO}_4$  определены состав и температура плавления тройных минимумов  $\text{Min } 338$  и  $\text{Min } 342$ .

Исходя из характеристик точки минимума ( $\text{Min } 342$ ) системы  $\text{Li}_2\text{CrO}_4\text{-Na}_2\text{CrO}_4\text{-Rb}_2\text{CrO}_4$  (малого значения удельной энтальпии плавления и относительно низкой температуры плавления) состав, отвечающий этой точке, можно рекомендовать в качестве расплавляемого электролита для среднетемпературного химического источника тока (ХИТ) [3].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Егунов В.П. Введение в термический анализ. Самара: СамВен, 1996. 270 с.
2. Берг Л.Г. Введение в термографию. М.: Наука, 1969. 395 с.
3. Коровин Н.В., Скундин А.М. (ред.). Химические источники тока: Справочник. М.: издательство МЭИ. 2003. 704 с.

## ЛАЗЕРНЫЙ СИНТЕЗ КОМПОЗИТОВ Au-Ru ДЛЯ БЕСФЕРМЕНТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДРЕНАЛИНА

**Студент 2 курса магистратуры Захаров А.П.**

Руководитель старший преподаватель Панов М.С.  
*Санкт-Петербургский государственный университет*  
*st097474@student.spbu.ru*

Цель нашей работы – синтез биметаллических композитов Au-Ru, обладающих электрокаталитическими свойствами, подходящими для электрохимического определения концентрации адреналина в биологических жидкостях.

Адреналин играет важную роль во множестве биохимических процессов; он электрохимически активен и может быть обнаружен с помощью электрохимических методов [1]. Однако, анализ осложнён рядом проблем. Адреналин гидрофобен, поэтому его концентрация в биологических жидкостях находится на уровне нМ [1]. В биологических жидкостях присутствуют и другие электроактивные соединения, имеющие близкие значения потенциалов окисления, что осложняет селективный анализ [2]. Конечный продукт окисления, адренохром, легко полимеризуется и блокирует поверхность электрода [1].

Особого внимания заслуживают нанокompозиты на основе благородных металлов из-за их высокой электрокаталитической активности, обусловленной наличием большого количества активных центров на их поверхности и синергетическим эффектом двух различных металлов [3].

Композит Au-Ru был синтезирован методом двухстадийного лазерного осаждения металлов из раствора. Судя по снимкам сканирующей электронной микроскопии, он обладает высокоразвитой поверхностью. Согласно данным энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, он в основном состоит из золота (53 мас. %) и рутения (21 мас. %), остальные элементы можно отнести к материалу подложки. Согласно данным рентгенофазового анализа, в полученном нами композите присутствуют металлические фазы золота и рутения.

Для исследования электрохимических свойств композита применялись циклическая вольтамперометрия, дифференциальная импульсная вольтамперометрия и прямая амперометрия. Полученный сенсор Au-Ru имеет два линейных диапазона обнаружения адреналина: 0,01–10 мкМ и 10–1000 мкМ. Расчетная чувствительность в этих двух диапазонах составляет 32,8 и 3,3 мкА·мкМ<sup>-1</sup>·см<sup>-2</sup>, тогда как соответствующие пределы обнаружения составили 0,009 и 0,02 мкМ соответственно. Наш сенсор также обладает хорошей стабильностью и воспроизводимостью, а также высокой селективностью в отношении обнаружения адреналина в присутствии мешающих веществ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Panahi Z. *Sensors and Actuators Reports*. **2021**, *3*, 100051.
2. Beitollahi H. J. of *Electrochemical Science and Engineering*. **2019**, *9*, 27.
3. Dong W. J. of *colloid and interface science*. **2018**, *512*, 812.

## ПОЛУЧЕНИЕ СВЕТОДИОДОВ НА ОСНОВЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЛЕГИРОВАНИЕМ СТРУКТУРЫ $KMeY(BO_3)_2$ ИОНАМИ $Eu^{3+}$

**Студентка 2 курса магистратуры Кайрова А.Б.**

Руководитель PhD старший научный сотрудник Болатов А.К.

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби*

*Aigerimkai2445@gmail.com*

Разработка высокоэффективных энергосберегающих осветительных приборов – актуальная проблема. Белые светодиоды на основе неорганических люминофоров обладают такими преимуществами, как экологичность, энергоэффективность, долговечность, термическая стабильность, низкая себестоимость и высокая светоотдача.

Люминесцентные материалы на основе сложных боратов с общей формулой  $KMeY(BO_3)_2$  (где Me – Sr, Ba) со слоистой кристаллической структурой являются подходящими матрицами для различных легирующих ионов, благодаря наличию соответствующих люминесцентных центров. Кроме того, использование  $KMeY(BO_3)_2$  боратов может обеспечить высокий выход люминесценции за счет наличия в составе одно- и двухвалентных катионов [1]. Большие расстояния между редкоземельными атомами R и высокая прозрачность в диапазоне 250–900 нм делают их перспективными для применения в оптике.

Цель настоящей работы: на базе комплексного подхода, включающего кристаллохимический дизайн, синтез и изучение оптических свойств, получить новые эффективные люминофоры, используя в качестве матриц сложные щелочно-редкоземельные бораты  $KMeY(BO_3)_2$ , (где Me – Sr или Ba).

Методом высокотемпературного твердофазного синтеза были получены бораты:  $KMeY_{1-x}A_x(BO_3)_2: aEu^{3+}$  (Me – Sr, Ba). Рентгеновские дифрактограммы полученных соединений сравнивали с расчетной дифрактограммой  $KBaY(BO_3)_2$ . Обнаружено, что синтезированные образцы изоструктурны  $KBaY(BO_3)_2$  и кристаллизуются в тригональной системе с пространственной группой  $R\bar{3}m$ . В кристаллической структуре  $KMeY(BO_3)_2$  (Me – Sr, Ba) каждый атом Y соединен с тремя атомами O, образуя треугольник  $YO_3$ . Плоские группы  $(BO_3)_3$  распределены послойно в плоскости.

Для определения оптимальной концентрации ионов  $Eu^{3+}$  в матрицах  $KBaY(BO_3)_2$  и  $KSrY(BO_3)_2$  при возбуждении излучением длиной волны 396 нм были приготовлены серии соединений  $KBaY(BO_3)_2: xEu^{3+}$  ( $x = 0,1-1,0$  с шагом 0,1) и  $KSrY(BO_3)_2: 0,2Eu^{3+}$ . В спектрах фотолюминесценции доминирует красное излучение с центром 614 нм, возникающее при переходе  ${}^5D_0 - {}^7F_2$ , что соответствует красному цвету. Также в спектрах фотолюминесценции наблюдалось несколько относительно слабых полос излучения, расположенных в районе 592 нм, 653 нм и 701 нм, которые относятся к 4f переходам ионов  $Eu^{3+}$   ${}^5D_0 - {}^7F_1$ ,  ${}^5D_0 - {}^7F_3$  и  ${}^5D_0 - {}^7F_4$ , соответственно. В работе на основе синтезированных соединений был изготовлен светодиод с ярко-красным излучением путем объединения люминофора  $KSrY(BO_3)_2: 0,2Eu^{3+}$  с УФ-лампой 365 нм. Определенные характеристики для полученного светодиода: цветовые координаты CIE ( $x = 0,2570$ ,  $y = 0,1691$ ) с индексом цветопередачи (Ra) 52,9 и с чистотой 49,6 %.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Kuznetsov A.B., Kokh K.A., Sagatov N., Gavryushkin P.N., Molokeev M.S., Svetlichnyi V.A., Lapin I.N., Kononova N.G., Shevchenko V.S., Bolatov A., Uralbekov B., Goreiavcheva A.A., and Kokh A.E., *Inorganic Chemistry* **2022** 61 (19), 7497–7505.

## ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ НА МАТРИЦЕ ПРИ ПОМОЩИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Студент 5 курса Кашанский В.С.

Руководитель доцент Ткаченко Т.Б.

Кемеровский государственный университет

*vladkashansky@gmail.com*

Цель нашей работы – получение безлигандного катализатора для реакции Хека, содержащего наночастицы металла, нанесенные на матрицу путем восстановления углеродными материалами в микроволновом излучении.

Применение в качестве катализатора переходных металлов 4-го периода на матрице, которая представляет собой оксид металла или углеродный материал, вместо дорогого палладия может позволить удешевить процессы, в основу которых положена реакция Хека. Нами предлагается получение катализатора при помощи термического разложения  $\text{Me}(\text{OAc})_x$  или  $\text{Me}(\text{NO}_3)_x$ , на матрице под действием микроволнового излучения [1]. Достоинства этого метода: относительная простота; доступность; возможность использования дешевого сырья. Ещё одно преимущество метода – возможное образование твердого раствора или интерметаллида из-за быстрого нагрева смеси солей металлов. Такие соединения могут обладать повышенной каталитической активностью.

Работа базируется на двух исследованиях: в статье [1] описано применение микроволнового излучения для синтеза наночастиц на углеродных материалах; в [2] обнаружена каталитическая активность наночастиц (Ni, Co, Ni-Co), нанесенных на матрицу ZnO методом восстановления солей металлов боргидридом натрия.

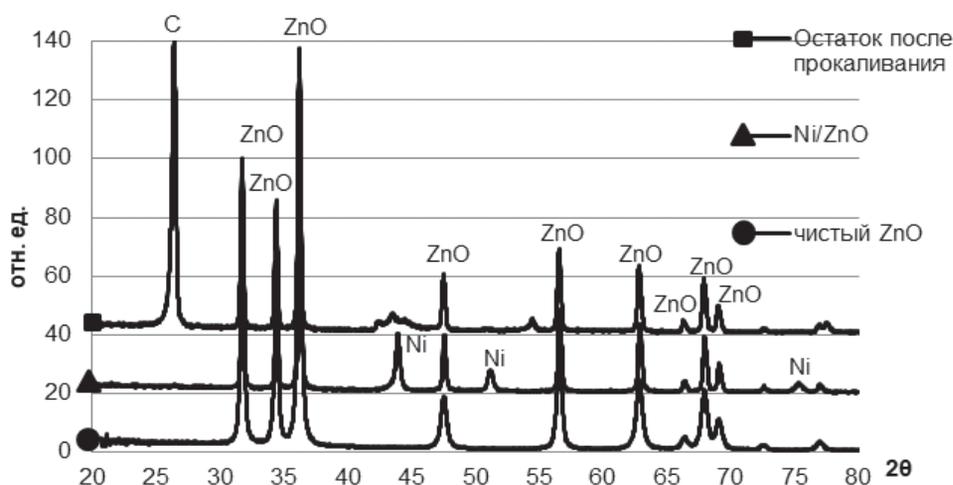


Рис. Дифрактограмма полученного катализатора

Нами были получены наночастицы никеля на оксиде цинка. Фазовый состав охарактеризован при помощи XRD. Размер наночастиц оценивали по формуле Шеррера, он составил 51 нм.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Pentsak E. O. et al., ACS Catal. 2014, 4, 3806–3814.
2. Bankar D. B. et al., Arab. J. Chem. 2020, 13, 9005–9018.

## ПРЯМОЙ СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУРНОГО И НАНОСФЕРИЧЕСКОГО КРЕМНЕЗЁМА С ПОМОЩЬЮ ЛЕВИТАЦИИ ИНДУКЦИОННОЙ СТРУИ: СИНТЕЗ, РАЗРАБОТКА И КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

**Студент 1 курса магистратуры Клейман Г.М.**

Руководитель к.х.н. Воротынцев А.В.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского*

*ubbif1990@mail.ru*

В связи с развитием нанотехнологий, в частности микро- и наноэлектроники, возрастает потребность в высокочистых наночастицах различного состава и размера, а, следовательно, существует потребность снижения их себестоимости. В нашей работе предлагается получение наноструктурного и наносферического кремнезёма методом индукционной потоковой левитации (ИПЛ).

Согласно температурной кривой, кремний может взаимодействовать с ЭДС, начиная с температуры 800 °С, когда его удельное сопротивление уменьшается до 0,018 Ом·см. Для реализации возможности индукционной левитации кремния была разработана двухступенчатая система нагрева объемного образца. На первом этапе кремний нагревали омическим нагревателем до температуры ~ 900 °С, после чего объемный образец кремния с помощью плунжера перемещали в противотоочный индуктор и подвергали индукционному нагреву в состоянии левитации.

В работе представлен новый метод прямого синтеза пористых сорбентов на основе диоксида кремния методом ИПЛ. Структура полученных образцов диоксида кремния была изучена различными физико-химическими методами. На основе полученных кремнезёмов, синтезированы каталитические системы, содержащие ионные жидкости, показавшие высокую каталитическую активность в реакции диспропорционирования (основная реакция процесса «Союз-карбид» производства поли- и монокристаллического кремния).

Разработанный метод позволяет получать нанопорошки диоксида кремния производительностью до 100 г/ч в непрерывном бесконтактном режиме, что значительно превышает показатели ранее разработанных методов синтеза кремнезёма. Метод перспективен в производстве носителей катализаторов с большой площадью поверхности и возможностью функционализации органическими и неорганическими активными центрами для гетерогенного катализа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-79-10097), Министерства науки и высшего образования РФ в рамках научного проекта «Лаборатория ионных материалов» (проект ФССМ-2021-0014) и академического руководства (Программа «Приоритет 2030» УНН, проект Н-474-99\_2021-2023).*

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ПОРОШКОВОГО ГИДРОКСИАПАТИТА В СРЕДЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

**Студент 4 курса Кучеряев К.А.**

Руководитель Антонова О.С.

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева  
Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН  
k\_kucheryaev@mail.ru*

Гидроксиапатит (ГА) – это фосфат кальция, который по своей морфологии и составу близок к натуральной костной ткани. ГА обладает биосовместимостью, биоактивностью, нетоксичностью и невоспалительным характером, вследствие чего является привлекательным материалом для регенеративной медицины. В настоящее время проводится много исследований, направленных на получение новых материалов с заданным набором свойств. Материал медицинского назначения должен обладать достаточной прочностью, близкой к прочности костной ткани. Поэтому для лучшего спекания, и как следствие большей плотности, порошок должен быть наноразмерным. Также материалу необходимо иметь достаточно большую открытую пористость, поры должны быть взаимосвязанными для обеспечения биологических потоков.

Цель нашей работы – получение мезопористого наноразмерного порошкового ГА в среде поливинилового спирта (ПВС).

Синтез порошка ГА проводили методом соосаждения из растворов нитрата кальция и фосфата аммония в среде ПВС с концентрацией полимера 0, 5 и 10 мас. % на воздухе при комнатной температуре при постоянном контроле pH на уровне 9–12 с последующим старением в течение 7 суток, фильтрованием и сушкой. В результате были получены порошки со структурой гидроксиапатита, с уменьшением степени закристаллизованности при увеличении концентрации ПВС в растворе синтеза. Все порошки являются наноразмерными, с увеличением удельной площади поверхности со временем старения. Обладают мезопористостью, причем для материалов, полученных в среде ПВС, значение объема пор возрастает вследствие операции старения. Максимальный рост наблюдается для материала, полученного при 10 % ПВС.

## ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ СОДОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Студентка 1 курса магистратуры Николаева А.Д.**

Руководитель доцент Логинов С.В.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт*

*nkvitova@list.ru*

На производство соды по методу Сольве приходится около 80 % от всего производства кальцинированной соды, но, несмотря на достаточно хорошую изученность процесса, этот метод имеет немало недостатков и сопровождается образованием большого количества отходов: на 1 тонну соды образуется 9–10 м<sup>3</sup> дистиллерной жидкости состава 110–120 г/л CaCl<sub>2</sub>, 54–58 г/л NaCl, 21–26 г/л взвеси Ca(OH)<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub> и CaCO<sub>3</sub> [1]. Учитывая большие объемы отходов, остро встает вопрос об их переработке.

В ходе исследований на модельных образцах, а также на карбонизированной и не карбонизированной жидкости, полученной от «Башкирской содовой компании», были получены различные силикаты кальция. По результатам анализа зависимости структуры силикатов кальция от соотношения исходных компонентов, предложен способ получения волластонита, востребованного при производстве композитных материалов, пластмасс, шин, красок, керамики, а также в цветной металлургии, без применения высоких температур и давлений. Состав полученных образцов был исследован с помощью различных методов анализа, которые подтвердили возможность получения волластонита из дистиллерной жидкости. Полученное вещество по кристаллическому строению схоже с природным аналогом, но отличается от него низким содержанием примесей (рис.).



Рис. Иллюстрация игольчатой формы кристаллов образца

По результатам эксперимента разработаны технологические схемы производства волластонита из дистиллерной жидкости. Утилизация отхода содового производства путем переработки в силикаты кальция позволяет:

- Перерабатывать дистиллерную жидкость в промышленных масштабах. Для получения 1 млн. т. волластонита потребуется 58,6 млн. т. дистиллерной жидкости.
- Получать дешевый чистый волластонит без применения высоких температур и давлений.
- Возвращать раствор, содержащий хлорид натрия, в производство по методу Сольве.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тульянова Ш.Н. Наука и техника Казахстана. 2020, 2, 75.

## КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НИТРАТОВ ЦИНКА И ГАЛЛИЯ С АМИДНЫМИ ЛИГАНДАМИ: СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА

**Студентка 1 курса магистратуры Понкрашина С.С.**

Руководитель профессор Савинкина Е.В.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА  
ponkrashina-sofiya@mail.ru*

Перспективным методом получения оксидов металлов является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). В методе СВС органические вещества используются в роли топлива, а нитраты металлов – в роли окислителя. Для оптимизации условий СВС необходимо исследовать химические превращения, протекающие в ходе получения продуктов, в том числе формирование и разложение комплексных соединений, образующихся из используемых реагентов. Такие соединения получаются, в частности, при взаимодействии нитратов цинка или галлия с амидными соединениями.

В нашей работе изучены координационные соединения нитратов цинка и галлия с карбамидом, синтез которых осуществлялся из водных растворов путем смешивания кристаллогидратов и амидного лиганда в различных мольных соотношениях. Кристаллизацию соединений осуществляли при температуре 23–25 °С.

Состав, фазовую чистоту и строение выделенных соединений определяли совокупностью методов физико-химического анализа: элементный анализ, РФА, ИК-спектроскопия, РСА, термический анализ (термогравиметрия и дифференциальная сканирующая калориметрия). Было показано, что полученные соединения отвечают формулам:  $[\text{Ga}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{ur})_2](\text{NO}_3)_3$ ,  $[\text{Ga}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{ur})_4](\text{NO}_3)_3$ ,  $[\text{Ga}(\text{ur})_6](\text{NO}_3)_3$ ,  $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{ur})_2](\text{NO}_3)_2$ ,  $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{ur})_4](\text{NO}_3)_2$ ,  $[\text{Zn}(\text{ur})_6](\text{NO}_3)_2$ . Из данных РФА следует, что все полученные соединения представляют собой однофазные продукты. С помощью ИК-спектроскопии были сделаны предварительные выводы о характере координации лиганда в полученных соединениях: смещение полос поглощения валентных колебаний связи С–О в сторону больших значений длин волн указывает на координацию амидных лигандов через донорный атом кислорода амидной группы. Методом РСА была определена кристаллическая структура комплекса  $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{ur})_2](\text{NO}_3)_2$  при двух температурах (296 и 100 К). Термический анализ, РФА, ПЭМ подтвердили, что конечными продуктами термодеструкции комплексов являются наночастицы  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  и  $\text{ZnO}$ , средний размер которых находится в диапазоне от 20 до 50 нм. Показана возможность применения комплекса  $[\text{Ga}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{ur})_4](\text{NO}_3)_3$  и наноразмерного оксида  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  в качестве катализаторов в реакции эпоксицирования аллилового спирта в глицидол.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ РЕГЕНЕРИРУЕМЫХ СОРБЕНТОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

**Студенты 4 курса Талипова Ж.Р., Беляков Н.А., Никитин И.Д.**

Руководитель доцент Мальцева Н.В.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
nfbkgidf7890@mail.ru.*

Настоящее исследование выполняется с целью обоснованного выбора сорбента для промышленной установки очистки газовоздушного потока (ГВП), в частности, блока, который отвечает за улавливание  $\text{CO}_2$  из влажного ГВП. Актуальность работы обусловлена направленностью на улучшение экологической ситуации и на вторичное использование  $\text{CO}_2$ , сконцентрированного после десорбции. Для достижения поставленной цели было необходимо испытать перспективные регенерируемые адсорбенты.

Нами рассмотрены следующие регенерируемые адсорбенты  $\text{CO}_2$ : цеолиты (NaX-шм, CaY-шм, NaX-ГДО, CaA-шм), углеродсодержащие материалы (шунгизиты, графен, терморасширенный графит ТРГ, активные угли марок АКТ-ЗИК, СКТ-4, СКТ-6), а также металлорганические каркасные структуры (МОФ).

Для каждого образца предварительно определяются: равновесная величина адсорбции паров воды и  $\text{CO}_2$  при  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  и относительной влажности среды 99 %, время удерживания  $\text{CO}_2$  слоем сорбента при его продувке ГВП и изменения сорбционных свойств после регенерации.

После проведения перечисленных испытаний сорбентов предварительно был выбран цеолит CaA-шм, который имеет наибольшее время удерживания  $\text{CO}_2$  среди всех исследованных образцов. Проведена серия испытаний цеолита CaA-шм на адсорбционной установке в динамических условиях, приближенных к технологическим: объемная скорость потока  $(3,0 \pm 0,2) \text{ дм}^3/\text{мин}$ , температура  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ , на сухом потоке и при варьируемой влажности 5–10, 40–50 и 80–90 % отн., концентрация  $\text{CO}_2$   $1,6 \pm 0,1$  % об., слой гранул образца имеет размеры  $D \times L = 28 \times 300$  мм. Регенерация слоя адсорбента производится нагревом адсорбера до  $250^\circ\text{C}$  под вакуумом 0,01 атм.

При проведении испытаний установлено, что цеолит CaA-шм хорошо сорбирует  $\text{H}_2\text{O}$ , что понижает сорбцию  $\text{CO}_2$ . Для повышения эффективности сорбции необходимо осушать ГВП перед подачей в адсорбционную колонну. Для этого используется осушитель KA-шм, дегидратированный. Предварительно можно сделать вывод о том, что осушка потока привела к повышению времени удержания  $\text{CO}_2$  цеолитом CaA-шм и увеличению количества сорбированного им  $\text{CO}_2$  с его последующей десорбцией.

На данном этапе работы определен конкретный сорбент, который будет использоваться в промышленной установке, а именно цеолит CaA-шм. Проводятся циклы адсорбции-десорбции для того, чтобы оценить изменения свойств исследуемого образца после регенерации и понять, как он будет вести себя в реальных технологических условиях.

## АЛЮМООКСИДНЫЕ НОСИТЕЛИ С ОПТИМИЗИРОВАННЫМИ ТЕКСТУРНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**Студентка 1 курса магистратуры Тетерина Е.В.**

Руководитель доцент Мальцева Н.В.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
katya.teterina58@mail.ru*

Носители катализаторов гидрогенизационных процессов должны обладать строго определенными свойствами для последующего нанесения активного компонента. Среди перспективных носителей катализатора гидроочистки выделяют мезопористый  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , обладающий возможностью создания нужной пористой структуры и высокой механической прочностью [1].

Цель работы состоит в получении алюмооксидных носителей сложной формы (трилистник, четырехлистник) с возможностью регулирования их структурно-прочностных характеристик.

В ходе исследования выполнялось изучение влияния условий приготовления алюмооксидных носителей на их текстурно-прочностные характеристики. Проводилось варьирование количества кислоты-пептизатора (азотной кислоты). Установлено, что при увеличении пептизационного эквивалента от 0 до 0,1 моль  $\text{HNO}_3$ /моль  $\text{Al}_2\text{O}_3$  уменьшается суммарный объем пор  $V_\Sigma$  (от 0,88  $\text{см}^3/\text{г}$  до 0,54  $\text{см}^3/\text{г}$ ) и объем макропор  $V_{\text{ма}}$  (от 0,28  $\text{см}^3/\text{г}$  до 0,02  $\text{см}^3/\text{г}$ ), также наблюдается увеличение механической прочности гранул на раздавливание  $P_0$  (для трилистников с  $d_{\text{о.ок}} = 1,7$  мм от 1,5 кг/мм до 3,4 кг/мм). Распределение пор по размерам по адсорбционным данным показало, что при добавлении кислоты с пептизационным эквивалентом 0,05 моль  $\text{HNO}_3$ /моль  $\text{Al}_2\text{O}_3$  происходит снижение среднего диаметра пор ( $d_{\text{cp}}$ ) с 7,6 нм до 6,6 нм.

При изменении влажности формовочных паст наблюдался широкий диапазон оптимальных значений  $\Phi_{\text{оптим}}$  при различных коэффициентах пептизации, при которых найденные реологические характеристики определенным образом соотносятся между собой; наблюдается хорошая формуемость (без потери экструдатом формы, задаваемой фильерой), достигается развитая пористая структура с высокой удельной поверхностью гранул, достаточно высокая механическая прочность гранул (не менее 2,1 кг/мм для трилистника с  $d_{\text{о.ок}} = 1,7$  мм).

С целью изменения параметров пористой структуры выполнялось введение активного оксида алюминия на этапе приготовления экструдруемых паст. Выбран состав носителя, обеспечивающий  $S_{\text{уд}}$ , равную 250  $\text{м}^2/\text{г}$ ;  $V_\Sigma = 0,73$   $\text{см}^3/\text{г}$ ; объем сорбирующих пор 0,50  $\text{см}^3/\text{г}$ ;  $P_0$  не менее 2,1 кг/мм. Установлено, что термообработка в токе осушенного воздуха приводит к значительному росту удельной поверхности (на 50–70  $\text{м}^2/\text{г}$ ) до 325  $\text{м}^2/\text{г}$ .

Разработанные методики приготовления паст и формования гранул в виде 3- и 4-листников были апробированы при изготовлении носителей из гидроксидов алюминия отечественного производства (АО «АЗКиОС», г. Ангарск, ЗАО «Промышленные катализаторы», г. Рязань и АО СКТБ «Катализатор», г. Новосибирск). Получены механически прочные гранулы сложной формы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Коноплин Р.Р., Кондрашева Н.К., Парфенова Л.В., Изв. СПбГИ(ТУ). 2020. 53(79). 35–42.



**НОМИНАЦИЯ II  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**



**СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИЯ  
ПОЛИМЕРОВ И МАТЕРИАЛОВ  
НА ИХ ОСНОВЕ»**

## ПОЛУЧЕНИЕ НИЗКОЗАМЕЩЕННЫХ НИТРАТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНОГО ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ

**Студентка 1 курса Абдулина М.У.**

Руководитель доцент Гибадуллин М.Р.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет»*

*Margo12345a@mail.ru*

Целлюлоза представляет собой наиболее широко используемый природный полимер, ресурсы которого ежегодно восполняются за счет биохимического синтеза в растениях. Целлюлоза является сырьём для синтеза различных сложных эфиров на её основе, в том числе низкозамещенных нитратов целлюлозы, которые применяются для производства лакокрасочных и флексографических материалов, мембран и другой продукции.

Основной источник сырья для низкозамещенных нитратов целлюлозы – хлопковая целлюлоза, которая производится за рубежом. Зачастую импортный хлопок не соответствует требуемым характеристикам. На территории Российской Федерации хлопок не выращивается, поэтому необходим поиск альтернативных источников сырья [1].

В качестве новых источников для получения низкозамещенных нитратов целлюлозы рассматриваются различные виды природного сырья: техническая конопляная целлюлоза, сульфатная древесная целлюлоза из лиственных и хвойных пород древесины.

Целью нашей работы было получение низкозамещенных нитратов целлюлозы из различных видов природного сырья и изучение их свойств

В ходе исследования получены низкозамещенные нитраты целлюлозы методом этерификации смесью кислот ( $\text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ ). Образцы были охарактеризованы ИК-спектрами, рентгенограммами, термограммами. Определены содержание азота, а также вязкость синтезированных нитратов целлюлозы [2].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гибадуллин М.Р., Петров В.А., Глазырина Е.С., Аверьянова Н.В., Кузнецова Н.В., Панкратов А.А., Мишунин П.А. Вестник технологического университета. 2018, т. 21, в. 2, с. 74–79.
2. Аверченко-Антонович И.Ю., Бикмулин Р.Т. Методики исследования структуры и свойств полимеров. Учеб. пособие. КГТУ. Казань, 2002. 604 с.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ МЕДИ (II) В ГЕТЕРОФАЗНОЙ СИСТЕМЕ «ВОДНЫЙ РАСТВОР – МОДИФИЦИРОВАННАЯ ЦЕЛЛЮЛОЗА»

**Студентка 2 курса магистратуры Вокурова Д.А.**

Руководитель профессор Никифорова Т.Е.

*Ивановский государственный химико-технологический университет  
fresh-limon@mail.ru*

Цель работы: получение нового сорбента путем модифицирования целлюлозы углеродными нанотрубками и исследование процесса сорбции ионов  $\text{Cu(II)}$  из водных растворов. Актуальность выбранной темы заключается в применении доступного, недорогого, экологически чистого, биоразлагаемого природного полисахаридного материала – целлюлозы и углеродных нанотрубок для очистки водных сред от ионов тяжелых металлов.

Для сорбции ионов тяжелых металлов используются различные целлюлозосодержащие материалы: отходы агропромышленного комплекса, продукты переработки морских водорослей, биомассы бактерий, дрожжей, грибов, и др. Природные материалы извлекают ионы тяжелых металлов из водных растворов с разной эффективностью, которая, однако, уступает промышленным катионитам.

Для повышения сорбционной емкости целлюлозу и материалы на ее основе модифицируют различными способами. В нашей работе предложено использовать в качестве модифицирующего агента углеродные нанотрубки (УНТ), представляющие собой продукт пиролиза углеводородного сырья на никелевом катализаторе.

Синтез сорбентов проводили следующим образом: целлюлозу, предварительно очищенную от примесей в растворе  $\text{NaOH}$ , функционализировали эпихлоргидрином и этилендиамином. УНТ окисляли 0,1 н раствором  $\text{KMnO}_4$  или  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  в кислой среде. Окисленные УНТ предварительно диспергировали в толуоле, а затем обрабатывали ими модифицированную целлюлозу.

Исследована кинетика сорбции ионов меди из водных растворов образцами исходной и модифицированной целлюлозы. В ходе кинетического эксперимента определено время достижения равновесия в гетерофазной системе «модифицированная целлюлоза – водный раствор  $\text{CuSO}_4$ ». Для модифицированного образца сорбента время установления сорбционного равновесия составляет 15 мин. Кинетические кривые сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  обработаны с использованием моделей псевдо-первого и псевдо-второго порядков. Установлено, что кинетика сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  исследуемыми сорбентами наиболее адекватно (коэффициент корреляции 0,999) описывается моделью кинетики псевдо-второго порядка. Экспериментальные изотермы сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  обработаны в рамках модели Ленгмюра. Установлено, что предельная сорбционная емкость образца целлюлозы, модифицированного углеродными нанотрубками, составляет 1,4 моль/кг. Микроскопические исследования методом SEM показывают изменения структуры УНТ на поверхности сорбента. Обнаружено, что в процессе окисления линейный размер УНТ уменьшается, при этом несколько большее влияние оказывает  $\text{KMnO}_4$ .

# СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БНКС-28 АМН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ НАНОДИСПЕРСНОГО ЛЕГИРОВАННОГО ОКСИДА ЦИНКА

**Студентка 1 курса магистратуры Козлова А.О.**

Руководитель доцент Ковалева Л.А.

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

*anast.coz2010@yandex.ru*

Экспериментально показано, что порошки оксида цинка, легированные различными металлами, обладают низким удельным сопротивлением и высоким коэффициентом пропускания в видимой области [1]. Описано применение таких композиций как наполнителей для антистатических материалов [2]. В качестве одного из перспективных направлений можно отметить применение оксида цинка, легированного алюминием, как защитного материала от электромагнитных помех за счет введенного при синтезе алюминия [3].

Цель работы заключалась в обосновании возможности применения оксида цинка, легированного алюминием ( $ZnO:Al$ ), в качестве электропроводящего наполнителя эластомерных материалов.

Образцы наполнителя были исследованы с использованием анализатора размеров частиц Fritsch Analysette 22, анализатора удельной площади поверхности и пористости Quantachrome Nova 4200e, системы энергодисперсионного рентгено-спектрального микроанализа, сканирующего электронного микроскопа Quanta 3D FEG. У изготовленных резиновых смесей и резин определены вулканизационные (на безроторном реометре D-MDR 3000), физико-механические (разрывная машина Gotech AI-3000U) и электрические (прибор МТ423) характеристики.

На основании полученных данных образцы исследованного наполнителя были охарактеризованы гранулометрическим и элементным составом; даны рекомендации по необходимости корректировки состава вулканизирующей группы; установлено влияние степени легирования на упруго-прочностные и электрические свойства резин.

Степень легирования оксида цинка в большинстве случаев является ключевым показателем, варьирование которого позволит в широких пределах изменять свойства резиновых смесей. При выборе оптимальной степени легирования необходимо отдавать приоритет либо показателям, имеющим первостепенное значение, либо основываться на сбалансированности всего комплекса свойств эластомерных материалов.

Полученные результаты позволяют сформировать направление дальнейших исследований синтеза наполнителей с более высокими (по сравнению с рассмотренными) степенями легирования и их поведения в эластомерах различной природы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гуль В.Е., Шенфиль Л.З. Электропроводящие полимерные композиции. М.: Химия, 1984. 240 с.
2. Zhang P. et al. Powder Technol. Elsevier, 2014. Vol. 253. P. 360–367.
3. Zhang P. et al. J. Mater. Sci. Mater. Electron. 2014. Vol. 25, №2. P. 678–692.

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОРГАНИЧЕСКИХ СТЁКЛАХ

**Студентка 1 курса магистратуры Плоцких М.О.**

Руководитель профессор Марков А.В.

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

В настоящее время широкое распространение получили органические стёкла, производимые из поликарбоната (ПК). Интерес к этому полимеру обусловлен его высокими оптическими свойствами, которые соответствуют обычному стеклу, и его высокой прочностью. Однако у ПК оргстёкол имеется существенный недостаток: при их эксплуатации могут появляться трещины, которые снижают качество материала, ухудшают его прочностные и оптические характеристики [5]. Главной причиной растрескивания оргстёкол являются внешние напряжения, возникающие при монтаже, и внутренние, остаточные, возникающие при формовании заготовок органического стекла.

Объектами нашего исследования были образцы листового монолитного бесцветного светостабилизированного ПК толщиной 3 мм «Новаттро», (ООО «Саф-Пласт», Казань) и листового монолитного бесцветного светостабилизированного ПК толщиной 3 мм «Моногаль», (ООО «Полигаль Восток», Куровское). Была определена оптимальная температура термообработки ПК листов – 170 °С. ПК отжигали при разном времени нагрева и фиксировали полученные изменения. Образцы исследовали поляризационно-оптическими методами. Измеряли двойное лучепреломление (по ГОСТ 3519-69) до и после термообработки и интерференционные изображения образцов в скрещенных поляроидах [1, 2]. Далее рассчитали остаточные напряжения в образцах и времена релаксации. Также была изучена зависимость долговечности от напряжений в поликарбонатных оргстёклах.

Выводы. 1. Показана эффективность количественной оценки остаточных напряжений в ПК оргстёклах поляризационно-оптическими методами испытаний [4]. 2. Определены величины двойного лучепреломления и рассчитаны остаточные напряжения  $\sigma_{ост} = 11\,000(\Delta n)$ , МПа в ПК стёклах «Novattro» и «Monogal» основных отечественных производителей. Величины остаточных напряжений изменялись в диапазоне от 1,8 до 7 МПа (на краях листа). 3. Расчётные времена начала растрескивания превышают установленные производителями гарантийные сроки эксплуатации (5–10 лет). Однако при вероятной внешней нагрузке при монтаже более 2–3 МПа образцы с наибольшими остаточными напряжениями по краям листа могут не выдержать гарантийные требования. 4. Интерференционные изображения образцов в скрещенных поляроидах позволяют визуализировать ориентационные эффекты и оценить распределение остаточных напряжений в оргстёклах [3]. 5. Показано влияние термообработки ПК на остаточные напряжения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Марков А.В., Дериволков Д.И., Дуванов Д.С. Пластические массы, **2019**. № 3–4. С. 21.
2. Марков А.В., Лобанов В.Н. Тонкие химические технологии, **2022**. Т. 17. № 1. С. 18–23.
3. Власов С.В., Марков А.В. Ориентационные явления в процессах переработки полимерных материалов. М. Изд. МИТХТ, **2014**. 138 с.
4. Марков А.В., Семеняк П.А. Тонкие химические технологии, **2018**. Т. 13. № 3. С. 72–78.
5. Дуванов Д.С., Марков А.В. Сб. тезисов XLV Международная молодёжная научная конференция «Гагаринские чтения», 16–19 апреля 2019 г. Москва: МАИ, С. 843–844.

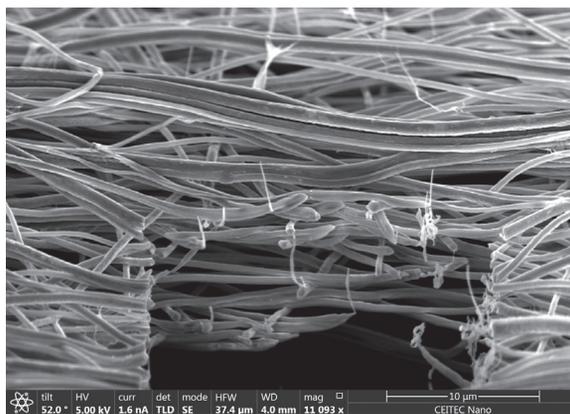
## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЬЕЗО-, ФОТО- И ПЬЕЗОФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОФОРМОВАННОЙ ВОЛОКНИСТОЙ МЕМБРАНЫ PVDF/СТАВ

**Студентка 3 курса Рабаданова А.А.**

Руководитель к.х.н. Оруджев Ф.Ф.  
*Дагестанский государственный университет*  
*rabadanova.alinka@mail.ru*

Загрязнение воды многочисленными стойкими органическими красителями представляет собой серьезную экологическую проблему, для решения которой активно развиваются так называемые передовые окислительные методы, среди которых важное место занимают фотокатализ, фотоэлектрокатализ и др. [1]. Однако высокая скорость рекомбинации фотоиндуцированных носителей зарядов ограничивает применение этих методов. Пьезоэлектрические материалы, использующие внутреннее электрическое поле, способствуют разделению фотогенерированных электронно-дырочных пар, тем самым увеличивая пьезофотокаталитическую эффективность [2]. В последние годы интенсивно исследуются композиционные материалы, на основе поливинилиденфторида (ПВДФ) и полупроводниковых наночастиц.

Цель нашей работы заключалась в придании новых функциональных свойств мембране из ПВДФ, за счет её модификации поверхностно-активным веществом бромидом цетила триметиламмония (ЦТАБ).



СЭМ-изображение нановолокон ПВДФ/ЦТАБ

В работе была синтезирована композитная мембрана из нановолокон ПВДФ/ЦТАБ методом коаксиального электропрядения. Показано, что полимерная мембрана проявляет высокую пьезокаталитическую и фотокаталитическую активность при разложении органического красителя МС (метиленового синего) [3].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ma D., Yi H., Lai C., Liu X., Huo X., An Z., Yang L. *Chemosphere*, **2021**. Vol 275.
2. Mondal D. et al., *Dalton Transactions*, **2022**.
3. Rabadanova A., Abdurakhmanov M., Gulakhmedov R., Shuaibov A., Selimov D., Sobola D., Částková K., Ramazanov S., & Orudzhev F., *Chimica Techno Acta*, **2022**. Vol 9(4).

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ МЕДИ СОРБЕНТОМ НА ОСНОВЕ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО L-АРГИНИНОМ

Студент 2 курса магистратуры Софронов А.Р.

Руководитель профессор Никифорова Т.Е.

Ивановский государственный химико-технологический университет  
artemijsofronov@gmail.com

Современные сорбенты ионов тяжелых металлов дороги и недостаточно эффективны, что вызывает потребность в разработке новых более дешевых и эффективных сорбентов. В нашей работе исследованы свойства нативного и модифицированного L-аргинином льняного волокна. В результате получен новый сорбент, который может быть использован для очистки водных растворов от ионов тяжелых металлов.

Способ включает окисление целлюлозы льна метaperиодатом натрия с образованием диальдегидцеллюлозы и последующую обработку L-аргинином [1, с. 17].

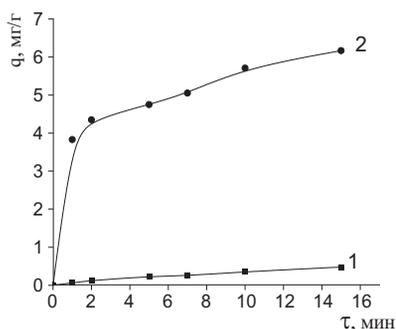


Рис. 1. Кинетика сорбции ионов Cu(II) из водных растворов льняным волокном:  
1 — немодифицированным; 2 — модифицированным L-аргинином

Для определения максимальной сорбционной ёмкости исходного и модифицированного льна были получены изотермы сорбции ионов Cu(II) из водного раствора.

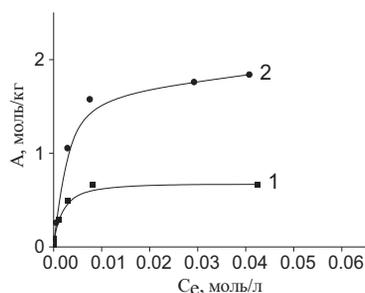


Рис. 2. Изотермы сорбции ионов Cu(II) льняным волокном:  
1 — исходным; 2 — модифицированным L-аргинином

Модифицированное льняное волокно обладает более высокими равновесно-кинетическими свойствами и может быть использовано в качестве сорбента для очистки водных растворов от ионов тяжелых металлов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Никифорова Т.Е., Вокурова Д.А., Софронов А.Р. От химии к технологии шаг за шагом. 2022. Т. 3. Вып. 3. С. 17–26.  
URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2022tom3no3>

## ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ОГНЕСТОЙКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ШТОР

**Студентка 1 курса магистратуры Яцун А.В.**

Научные руководители д.т.н., Кейбал Н.А., д.т.н., Каблов В.Ф.,  
аспирант Степанова А.Г.

*Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ*  
*Alla\_yatsun133@mail.ru*

Одним из актуальных способов борьбы с распространением пожара в производственных помещениях является его локализация, в том числе делением здания на пожарные отсеки, что позволяет минимизировать последствия воздействия открытого огня и провести эвакуацию людей. Для успешного использования этого метода необходима надежная защита строительных и технологических проемов с помощью специальных преград с нормируемым пределом огнестойкости. Согласно ФЗ от 22.07.2008 г. № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» установлены виды противопожарных преград, среди которых упомянуты противопожарные шторы. Такие шторы обладают рядом преимуществ: относительно низкая стоимость, компактность, малая масса, простота обслуживания, удобные варианты монтажа, соответствие архитектурным требованиям.

Основной элемент противопожарной шторы – полотно, изготавливаемое из тонкого металла, кремнеземной или стеклянной ткани [1–3]. Применение пластизольных композиций в качестве компонентов защитных покрытий имеет ряд преимуществ, среди которых невысокая стоимость и хорошие адгезионные характеристики.

Цель нашей работы заключалась в разработке защитного покрытия на основе пластизоля для повышения огнестойкости стеклянной ткани.

Была проанализирована возможность применения в качестве антипиренирующих добавок в поливинилхлоридные пластизоли микроуглеродных волокон, базальтовых волокон, алюмосиликатных микросфер, терморасширенного графита (ТРГ).

Наилучшими результатами по огнезащитным функциям обладают образцы, содержащие базальтовые волокна. В процессе сушки покрытия расстояния между волокнами сокращаются, они, соприкасаясь между собой, образуют контакты. Поскольку частицы порошкообразных ингредиентов оседают в гелеподобных слоях пластизоля, формирующихся на поверхности базальтового волокна, они оказываются внутри своеобразной матрицы и хорошо удерживаются в ней, что обеспечивает однородность структуры получаемого огнезащитного материала, повышает его огнезащитные свойства.

Таким образом установлено, что разработанный состав поливинилхлоридного пластизоля обладает улучшенными огнезащитными, физико-механическими показателями и может быть использован в качестве защитного покрытия для стеклоткани.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Корольченко А.Я., Гетало Д.П. Пожаровзрывобезопасность. 2015, т. 24, № 4, с. 56–65.
2. Ляпин А.В. В. Пожаровзрывобезопасность. 2008, т. 17 № 6, с. 49–56.
3. Гравит М.В., Недрышкин О.В. IX Всероссийская научно-практическая конференция «Сервис безопасности: опыт, проблемы, перспективы». 2017. С. 45–49.

**НОМИНАЦИЯ II  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**



**СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИЯ  
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ  
СОЕДИНЕНИЙ»**

## ИННОВАЦИОННЫЙ БИОКОМПЛЕКС НИКЕЛЬ-ЦИНКОВЫЙ ФЕРРИТ/ ГРИБНОЙ ХИТОЗАН

**Студентка 4 курса Беляева И.Д.**

Руководитель доцент Няникова Г.Г.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
*belyaevairina97@gmail.com*

На основе ферритов создаются СВЧ-керамика различного назначения; катализаторы и фотокатализаторы; адсорбенты ионов металлов, красителей, пестицидов, инсектицидов и других поллютантов; медицинские функциональные материалы – антимикробные раневые покрытия, энтеро- и гемосорбенты, контрастные агенты для магнитно-резонансной томографии, а также биосенсоры [1–2].

Целью работы было получение нового биокомплекса на основе феррита-шпинели и хитозана грибного происхождения (использован впервые), который сможет найти применение в качестве антимикробного материала, а также его характеристика.

Синтез феррита состава  $Ni_{0,7}Zn_{0,3}Fe_2O_4$  проводили методом растворного горения (глицин-нитратный синтез) в две стадии [2]. Изучали его физико-химические свойства с использованием рентгенофазового и рентгеноструктурного анализов, ИК-спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии и др.

Биосинтез хитозана проводили биотехнологически с использованием гриба *Rhizopus oryzae*, имеющего в составе своей клеточной стенки хитин-хитозановый комплекс [3]. Изучали его физико-химические свойства: степень деацетилирования, массовую долю хитозана, молекулярную массу, растворимость и др.

Для создания биокompозита феррит-хитозан применяли метод последовательного смешения компонентов с использованием 0,5 М раствора NaOH – 10 % глутарового альдегида. Проводили первичную оценку полученного комплекса сканирующей электронной микроскопией и просвечивающей электронной микроскопией, исследовали его антимикробные свойства.

Установлено, что процесс модификации феррита грибным хитозаном прошёл успешно: на хитозане наблюдаются агломераты от 100 до 150 нм, представляющие собой скопления частиц феррита размером 5–10 нм. Также синтезированный комплекс проявляет антимикробную активность в отношении *Bacillus cereus* (грамположительная), *Escherichia coli* (грамотрицательная) и *Candida tropicalis* (дрожжи) и может быть рекомендован в качестве перспективного антимикробного материала.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 20-03-00976.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Thakur P. et al. *J. Magn. Magn. Mater.* **2021**, *530*, 167925.
2. Martinson K.D. et al. *Water*, **2022**, *14*(3), 454.
3. Беляева А.Д. и др. *Бутлеровские сообщения*, **2021**, *68*(12), 112–119.

## ПОЛУЧЕНИЕ ЭНАНТИОМЕОРОВ ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО ЛИПОФИЛЬНОГО ПОЛИАМИНА

Студент 1 курса магистратуры Греков К.А.

Руководитель Ничуговский А.И.

Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА  
grekov.kirill2018@yandex.ru

В последние годы объектом интенсивных исследований стали низкомолекулярные поликатионные органические соединения – полиамины. В нормальных клетках полиамины стабилизируют структуру мРНК, регулируют ионные каналы, синтез белков и нуклеиновых кислот и др. Однако, в опухолевых клетках метаболизм полиаминов нарушается, что позволяет использовать полиамины как мишени для противоопухолевой терапии [1]. Одной из стратегий является применение аналогов полиаминов. Ключевая идея заключается в том, что аналоги полиаминов используют транспортную систему биогенных полиаминов для проникновения в клетку. Их накопление в клетке приводит к истощению биогенных полиаминов, в следствие чего замедляется рост клетки или наступает апоптоз.

Ранее в нашей лаборатории были получены аналоги полиаминов [2], которые показали высокую противоопухолевую активность в микромолярном диапазоне концентраций. Дизайн наших конъюгатов сочетает липофильную часть, представленную *rac*-диалкилглицерином с коротким и длинным алкильными заместителями, и поликатионный участок, представленный природными и синтетическими полиаминами. Поскольку энантиомеры могут проявлять разную активность в хиральных средах таких как биомолекулярные системы, было предложено осуществить стереоселективный синтез данных полиаминов (рис. 1) для более точной противоопухолевой активности.

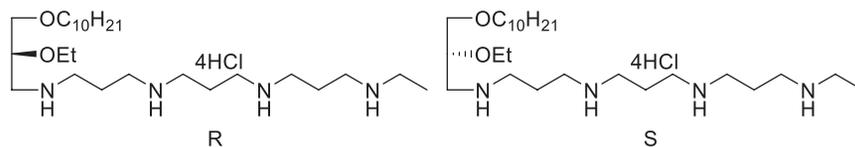


Рис. Энантиомеры противоопухолевого полиамина

В первом этапе синтеза нами было осуществлено расщепление *rac*-*O*-бензилглицидилового эфира на два энантиомера с помощью энантиоселективного катализатора Якобсена [3]. В ходе дальнейших превращений были получены бромпроизводные диалкилглицерина, после чего осуществляли конденсацию в условиях реакции Фукуямы с 2-нитробензолсульфонамидным производным норспермина, получая монозамещённые производные. В ходе последующего деблокирования защитных групп получены липофильные полиамины в виде гидрохлоридов.

### ЛИТЕРАТУРА

- Novita Sari I., Setiawan T., Seock Kim K., Toni Wijaya Y., Won Cho K., Young Kwon H, *Cancer Lett.* **2021**, *519*, 91.
- Perevoshchikova K.A., Nichugovskiy A.I., Isagulieva A.K., Morozova N.G., Ivanov I.V., Maslov M.A., Shtil A.A., Mendeleev Commun. **2019**, *29* (6), 616.
- Schaus S.E., Brandes B.D., Larrow J.F., Tokunaga M., Hansen K.B., Gould A.E., Furrow M.E., Jacobsen E.N., *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124* (7), 1307.

## НОВЫЙ ГЛИЦЕРОЛИПИДНЫЙ КОНЪЮГАТ С АНТИ-ВИЧ АКТИВНОСТЬЮ

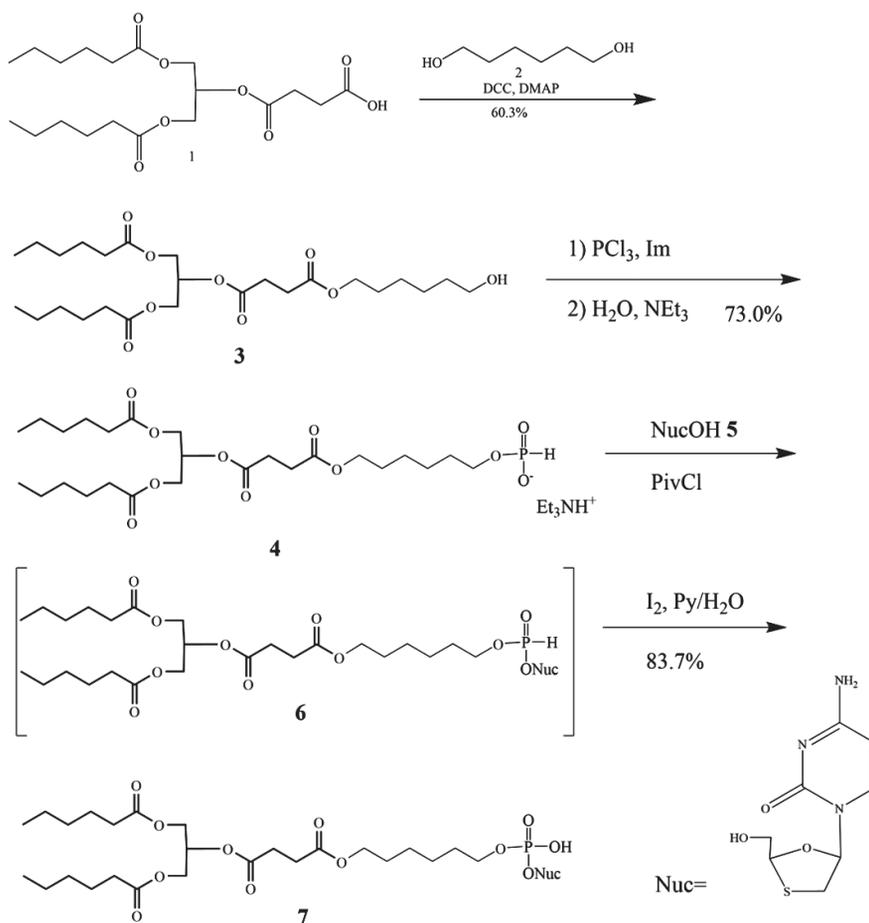
Студентка 1 курса магистратуры Карпова Ю.С.

Руководитель доцент Шастина Н.С.

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

В настоящее время для лечения пациентов с ВИЧ-инфекцией применяется высокоактивная антиретровирусная терапия (ВААРТ), нацеленная на нарушение различных стадий жизненного цикла вируса. Основные препараты терапии – нуклеозидные и нуклеозидные ингибиторы обратной транскриптазы (НИОТ, ННИОТ), конкурируют с природными субстратами ревертазы вируса.

С целью снижения отрицательного воздействия терапии разработан новый пролекарственный подход, заключающийся в трансформации терапевтического препарата путем создания их конъюгата с веществами липидной природы. В качестве гидрофобного вектора выбирают жирные кислоты, фосфолипиды, диацилглицерины, а присоединение анти-ВИЧ-активного нуклеозида проводят путем создания фосфоэфирной или сложноэфирной связи. Нуклеозидные анти-ВИЧ-препараты отличаются незначительными лимфотропными и мембранотропными свойствами, а также низкой биодоступностью из-за первичной деградации в печени.



В нашей работе был получен конъюгат 2',3'-дидезокси-3'-тиацитидина и производного 1,3-дикапроноилглицерина, исследована его чувствительности к рН-зависимому и ферментативному гидролизу, а также его анти-ВИЧ-активность.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СИНТЕЗА И ИЗУЧЕНИЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ КАТИОННЫХ МЕЗО-АРИЛПОРФИРИНОВ ДЛЯ АНТИМИКРОБНОЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

Студент 2 курса магистратуры Усанёв А.Ю.

Руководитель профессор Брагина Н.А.

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

В связи с появлением у микроорганизмов множественной лекарственной устойчивости необходимо разрабатывать альтернативные методы лечения инфекционных заболеваний. Антимикробная фотодинамическая терапия (аФДТ) является перспективным подходом для преодоления резистентности. Преимуществами аФДТ являются низкая токсичность используемых хромофоров – фотосенсибилизаторов (ФС), короткое время, необходимое для достижения терапевтического эффекта, а также то, что ингибирующий эффект не зависит от вида микроорганизма.

Нами разработан дизайн, а также получены новые катионные ФС типа А4 и АВВВ, содержащие положительно заряженные пиридиновые группы и их комплексы с металлами ( $Zn^{2+}$ ,  $Pd^{2+}$ ). Соединения типа А4 были синтезированы монопиррольной конденсацией по методу Линдсея с последующей модификацией терминальных групп. Порфирины типа АВВВ получали конденсацией [2 + 2] с использованием дипирролиметанов.

В работе была изучена светоиндуцированная активность целевых катионных порфиринов типа АВВВ в отношении штамма *Staphylococcus aureus* 78. Было установлено, что цинковый комплекс проявляет антибактериальное действие во всём исследованном диапазоне концентраций при минимальной дозе излучения  $2,3 \text{ Дж/см}^2$  по сравнению с безметалльным, который показал меньшую эффективность даже при максимальной дозе излучения. Палладиевый комплекс не проявил активности из-за плохой растворимости в водной среде.

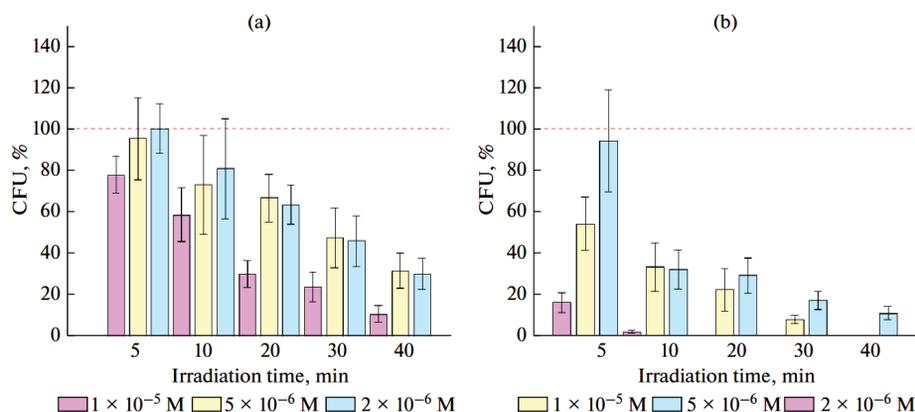


Рис. Фотоинактивация *Staphylococcus aureus* 78 ( $\text{КОЕ/мл} \cdot 10^8$ ) порфиринами АВВВ без металла (а) и с  $Zn(II)$  (б) относительно выживших бактерий в контроле при облучении светоизлучающим диодом с длиной волны 420 нм [1]

### ЛИТЕРАТУРА

- Zhdanova K.A., Savel'eva I.O., Usanev A.Y., Usachev M.N., Shmigol T.A., Gradova M.A., Bragina N.A. Russian Journal of Inorganic Chemistry, 2022, 67(11), 1756–1762.

## ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ЦИКЛИЗАЦИИ β-N-АЦИЛЭТИЛОКСАМИДРАЗОНОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОСТЕРОВ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЙ НУКЛЕОЗИДОВ

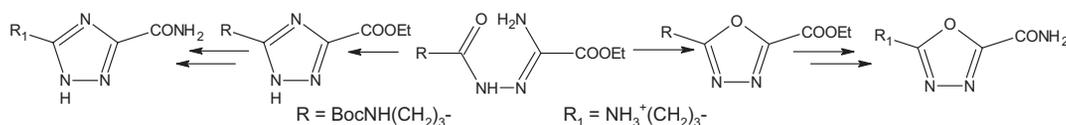
**Студентка 4 курса Шмарина А.А.**

Руководитель доцент Матвеев А.В.

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

*annashmarina01@yandex.ru*

1,2,4-Триазолы могут рассматриваться в качестве базовых структур для получения новых аналогов гетероциклических оснований нуклеозидов с биологической активностью. В частности, для 5-алкоксиметил-1,2,4-триазол-3-карбоксамидов имеются данные о корреляции ингибирования цитопатического эффекта вируса *in vitro* с установленным *in silico* преимущественным связыванием соединений в аллостерических центрах рецептора ACE2, ответственного за вход вируса SARS-CoV-2 в клетку. Исследование *in silico* для изостерных 5-алкоксиметил-1,2,4-триазол-3-карбоксамидов – 5-аминометил-1,2,4-триазол-3-карбоксамидов и 5-аминометил-1,3,4-оксадиазол-2-карбоксамидов показало большее сродство таких соединений к аллостерическому сайту рецептора. 1,2,4-Триазольный и 1,3,4-оксадиазольный гетероциклы изостерны, однако для доказательства их биоизостеризма необходимо сравнение биологических свойств соединений на основе 1,2,4-триазолов и 1,3,4-оксадиазолов с одинаковыми боковыми радикалами. В связи с чем, значительный интерес представляет синтез таких изостерных пар из единого предшественника. Ключевой стадией их получения могла бы быть, исходя из анализа литературных данных, термическая циклизация β-N-ацилэтилоксамида, выступающего в роли единого предшественника. В рамках настоящего исследования мы решили провести реакцию для получения одной модельной изостерной пары соединений. Так, целью данной работы является оценка применимости этилβ-N-(2-{4-[(т-бутоксикарбонил)амино]бутаноил})оксамида (ациламидазон) в качестве исходного соединения для получения 5-(3-аминопропил)-1,2,4-триазол-3-карбоксамид и изостерного ему 5-(3-аминопропил)-1,3,4-оксадиазол-2-карбоксамид.



В работе было изучено влияние условий проведения реакции, в частности, присутствия кислоты или основания, на направление циклизации ациламида в сторону образования производных 1,2,4-триазола или 1,3,4-оксадиазола, а также на их соотношение. Оба продукта циклизации были выделены и охарактеризованы комплексом физико-химических методов анализа. В результате проведенной работы, были предложены наиболее подходящие условия циклизации ациламида, позволяющие преимущественно получать один из продуктов – этиловый эфир 5-[N-(трет-бутилоксикарбонил)аминопропил]-1,3,4-оксадиазол-2-карбоновой кислоты или этиловый эфир 5-[N-(трет-бутилоксикарбонил)аминопропил]-1,2,4-триазол-3-карбоновой кислоты. Выбранные условия циклизации были положены в основу цепочки синтетических превращений, в результате которых в препаративных количествах были получены целевые соединения 5-(3-аминопропил)-1,2,4-триазол-3-карбоксамид и 5-(3-аминопропил)-1,3,4-оксадиазол-2-карбоксамид с выходами 37 % и 16 % соответственно.

## НОМИНАЦИЯ I. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ

## Секция «Физическая и аналитическая химия»

- Абдуллин Ярослав Ренатович** (3 курс, Уфимский университет науки и технологий). Вольтамперометрический сенсор на основе молекулярно импринтированного 2-метоксианилина для определения амокцициллина 12
- Бондарева Татьяна Викторовна** (2 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Состояние в растворах и взаимодействие потенциальных фотосенсибилизаторов хлоринового и форбинового типа с мицеллярными и полимерными носителями 13
- Бывшева София Михайловна** (3 курс, Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова). Выбор условий и оценка эффективности ультрафильтрации для диализной очистки водных дисперсий оксида графена 14
- Вигурская Татьяна Анатольевна** (2 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Давление пара и термодинамические параметры сублимации потенциальных коформеров для получения фармацевтических сокристаллов 15
- Викторчук Никита Александрович** (3 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Природа химического связывания N-оксидов пиридина с трифторидом бора и конформационные особенности комплексов 16
- Гайнанова Светлана Ильдаровна** (3 курс, Уфимский университет науки и технологий). Распознавание и определение энантимеров напроксена с помощью сенсора на основе оксида графена и модифицированного хитозана 17
- Галимов Мирас Наилевич** (4 курс, Уфимский университет науки и технологий). Конформационная изометрия и моделирование структуры хелатных фенилсодержащих аминокислотных N,O-комплексов Cu(II) 18
- Емельянов Артем Владимирович** (4 курс, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева). Кинетический анализ роста наночастиц золота в методе индукционной потоковой левитации 19
- Золоткова Светлана Михайловна** (4 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Агрегация в растворах и взаимодействие хлориновых фотосенсибилизаторов, содержащих конъюгированный пентаэтиленгликолевый фрагмент либо анионные группы, с мицеллярными и полимерными носителями 20
- Козлов Константин Сергеевич** (4 курс, Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова). Полностью автоматизированный неограниченный анализ масс-спектрометрических данных высокого разрешения с использованием машинного обучения 21
- Колбунова Анастасия Викторовна** (4 курс, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»). Теоретическое и экспериментальное исследование процессов протонирования борилированных карбоксониевых производных общего вида  $[2,6-B_{10}H_8O_2CR]^-$  R = CH<sub>3</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> 22
- Кушнир Роман Андреевич** (3 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Влияние водно-этанольного и водно-диметилсульфоксидного растворителей на сольватацию  $\gamma$ -циклодекстрина 23
- Никитин Глеб Алексеевич** (2 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Флуоресцентный сенсор на основе витамина B<sub>6</sub> для определения фторид-ионов в растворе 24

<b>Нотфуллин Айрат Альбертович</b> (4 курс, Казанский (Приволжский) федеральный университет). Термодинамика испарения органических жидких кристаллов М-24, ВСН-52 и НР-53	25
<b>Павлова Эльвира Александровна</b> (2 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Конформационный анализ и электронное строение молекулы карнозина	26
<b>Песоцкий Михаил Денисович</b> (2 курс, Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова). Влияние способа приготовления и условий восстановления катализаторов PdFe/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> на гидродехлорирование диклофенака в водном растворе	27
<b>Ратова Дарья-Мария Вадимовна</b> (4 курс, Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова). Анодный электрохимический синтез оксида графена с использованием ультразвука: спектральные характеристики продукта	28
<b>Сопова Нина Сергеевна</b> (3 курс, Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова). Оценка подвижности биомолекул при помощи окислительной фотоконверсии EGFP	29
<b>Филатов Дмитрий Михайлович</b> (4 курс, Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова). Спектроскопические методы в сочетании с алгоритмами машинного обучения для кластерного анализа водных дисперсий оксида графена	30
<b>Хайбрахманов Артур Ильнурович</b> (4 курс, Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова). Квантовый выход фотоконверсии флуоресцентных белков в зависимости от длины волны возбуждения	31
<b>Чермашенцев Григорий Романович</b> (4 курс, Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова). Аналитические системы для хемилюминесцентного определения активных форм азота и ингибиторов свободнорадикальных реакций на примере оксида графена	32
<b>Секция «Неорганическая химия и материаловедение»</b>	
<b>Аничкин Артем Александрович</b> (4 курс, ФФФХИ, МГУ им. М.В. Ломоносова). Синтез, спектральные и магнитные свойства тетраэдрических комплексов кобальта	34
<b>Артемова Анна Дмитриевна</b> (4 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Синтез и физико-химические свойства наноструктурированного композита графен-SeO <sub>2</sub>	35
<b>Астахов Никита Витальевич</b> (2 курс, Факультет наук о материалах, МГУ им. М.В. Ломоносова). Новые селенит хлориды состава M <sub>2</sub> D(SeO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (M = ЦЗМ, D = 3d металл) как возможные низкоразмерные магнетики	36
<b>Баранова Мария Владимировна</b> (4 курс, Университет МГУ-ППИ в Шеньчжэне). Термофотостабильность перовскитных солнечных элементов с фталоцианином меди в качестве дырочно-транспортного слоя	37
<b>Ван Мэнцзе</b> (4 курс, Университет МГУ-ППИ в Шеньчжэне). Поверхностная модификация и характеристика светопоглощающих слоев для перовскитных солнечных элементов	38
<b>Гринь Константин Николаевич</b> (4 курс, Университет «Дубна»). Особенности модификации АПТЭС трековых мембран для создания на их основе сенсоров, работающих на эффекте гигантского комбинационного рассеяния света	39
<b>Елховикова Анна Андреевна</b> (2 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Фотоактивные системы на основе марганец(III)порфиринов и замещенного антрацена. Самосборка и фотофизические свойства	40

- Жернаков Максим Александрович** (4 курс, Казанский (Приволжский) федеральный университет). Синтез, структура, люминесцентные свойства и термическая стабильность комплексов лантанидов(III) с ароматическими N-донорами 41
- Иванова Анна Александровна** (4 курс, Химический факультет, МГУ им. М. В. Ломоносова). Новый металлоорганический каркасный координационный полимер  $\{(NMe_2H_2)[Sm(TDA)(HCOO)]\}$ : синтез, структура и влияние изоморфного замещения самария ионами  $Gd^{3+}$  и  $Tb^{3+}$  на люминесцентные свойства 42
- Ильина Анастасия Александровна** (4 курс, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена). Синтез и каталитическая активность диоксида церия, модифицированного наночастицами золота и серебра 43
- Кириянова Алина Владимировна** (4 курс, Факультет наук о материалах, МГУ им. М.В. Ломоносова). Синтез керамических порошков на основе  $Li_{1+x}Al_xTi_{2-x}(PO_4)_3$  с контролируемой морфологией для твердых электролитов 44
- Корников Андрей Ильич** (4 курс, Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова). OLED с двойной эмиссией на основе смешанно-литандных комплексов европия-иттербия для оксиметрии 45
- Минакова Полина Викторовна** (2 курс, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»). Улучшение электрохимических характеристик катодов  $LiFePO_4$  для литий-ионных аккумуляторов путем создания композитов с углеродными наноматериалами 46
- Митюшев Никита Дмитриевич** (3 курс, Факультет наук о материалах, МГУ им. М.В. Ломоносова). Фоточувствительные мемристивные структуры на основе оксида графена и углеродных наночастиц 47
- Огаркова Надежда Константиновна** (4 курс, Российский университет дружбы народов). Синтез, структура и каталитическая активность биметаллических карбоксилатных комплексов палладия(II) и платины(II) 48
- Плешаков Георгий Андреевич** (2 курс, Факультет наук о материалах, МГУ им. М.В. Ломоносова). Повышение высокотемпературной устойчивости пленок сплава Pt-Rh за счет внедрения  $ZrO_2$  49
- Погиба Артем Александрович** (2 курс, Факультет наук о материалах, МГУ им. М.В. Ломоносова). Синтез и исследование  $Na_{2/3}Ni_{1/3-x}Mg_xMn_{2/3}O_2$  как катодного материала натрий-ионного аккумулятора 50
- Попков Матвей Андреевич** (4 курс, Факультет наук о материалах, МГУ им. М.В. Ломоносова). Синтез новых фотохромных аэрогелей на основе биополимеров, модифицированных наночастицами триоксида вольфрама 51
- Рассолова Юлия Романовна** (2 курс, Факультет наук о материалах, МГУ им. М.В. Ломоносова). Реакционно-связанные материалы на основе октакальциевого фосфата для остеопластики 52
- Селимов Дауд Агамуратович** (4 курс, Дагестанский государственный университет). Пьезофототронный эффект, управляемый ультразвуком и потоком воды в самополяризованной гибкой пленке из нановолокон ПВДФ содержащих  $\alpha-Fe_2O_3$ , для усиленного каталитического окисления 53
- Сосунов Егор Александрович** (2 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Синтез и исследования способов химической модификации гетерометаллических карбоксилатных комплексов платины с s- и d- элементами на примере комплексов Pt-Sa и Pt-Cu 54

<b>Султановская Александра Станиславовна</b> (3 курс, Факультет наук о материалах, МГУ им. М.В. Ломоносова). Одномоментные частицы гексаферрита М-типа, легированных хромом: синтез, магнитные свойства, особенности кристаллической структуры	55
<b>Фазлиев Тимур Мансурович</b> (4 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Зеленый метод синтеза композиционного материала на основе сульфида цинка на восстановленном оксиде графена, и его применение в натрий-ионных аккумуляторах	56
<b>Хуан Шуци</b> (4 курс, Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне). Особенности восстановительного разложения никелатов лантана с перовскитоподобной структурой	57
<b>Секция «Органическая, биорганическая и элементоорганическая химия»</b>	
<b>Будехин Роман Алексеевич</b> (4 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Озонолиз алкенов в присутствии гидропероксидов. Синтез труднодоступных несимметричных биспероксидов	60
<b>Гусев Даниил Ильич</b> (4 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Макроциклы и микробициклы, содержащие структурные фрагменты антрацена и антрахинона	61
<b>Демидовская Анастасия Владимировна</b> (4 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Кросс-димеризация донорно-акцепторных циклопропанов	62
<b>Зайкина Лада Алексеевна</b> (3 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Использование S-центрированных радикалов в синтезе гетероциклических соединений	63
<b>Иванов Дмитрий Сергеевич</b> (4 курс, Химический факультет, МГУ им. М. В. Ломоносова). Хемодивергентная спироциклизация имидазолонов - новый подход к синтезу биологически активных соединений	64
<b>Киселев Артем Витальевич</b> (4 курс, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»). Синтез цирконоценовых катализаторов для олигомеризации децена-1, получение основ для низковязких моторных масел	65
<b>Комарова Ольга Андреевна</b> (2 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Реакция радикального C-S сочетания: взаимодействие гидропероксидов с дитиокарбаматами и ксантогенатами переходных металлов	66
<b>Лосев Михаил Андреевич</b> (2 курс, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»). Исследование влияния азотсодержащих лигандов в катализируемом рутением восстановительном аминировании	67
<b>Мекеда Игорь Сергеевич</b> (3 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Фотохимический синтез нафто[1',2':4,5]фуоро[1,3- <i>d</i> ]хинолинов. Изучение спектральных и фотофизических свойств	68
<b>Окладников Илья Владимирович</b> (3 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Новая стратегия получения пирролизидинонов на основе каталитических домино-реакций циклических нитронатов	69
<b>Трахинина Софья Юрьевна</b> (4 курс, Новосибирский государственный университет). Стерически затрудненные нитроксильные радикалы пирролидинового ряда с 3-(4,5-дикарбокисил-1Н-1,2,3-триазолил-1)-пропильным заместителем	70

- Федоров Станислав Алексеевич** (2 курс, Химический факультет, МГУ им. М. В. Ломоносова). Синтез и антиоксидантная активность комплексов олова (IV) с миметиками витамина E 71
- Храповицкая Кристина Сергеевна** (4 курс, Самарский государственный технический университет). Синтез адамантилированных фуранов как предшественников потенциальных терапевтических агентов против нейродегенеративных заболеваний 72
- Чурсин Анатолий Юрьевич** (4 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Новый метод синтеза 2-фосфорилазамещенных бензимидазолов и бензотиазолов 73
- Юшкова Анастасия Сергеевна** (4 курс, Самарский государственный технический университет). 3-Нитро-4*H*-хромены как ценные билдинг-блоки в синтезе N- и O-гетероциклов 74

### Секция «Химия полимеров и коллоидных систем»

- Алмаев Булат Флоритович** (4 курс, Уфимский университет науки и технологий). Получение ранезаживляющих пленок на основе полимерных комплексов N-сукцинилхитозана с поли-N-винилапирролидоном 76
- Гординок Екатерина Сергеевна** (4 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Получение и изучение свойств сверхразветвленных полиорганосилоксанов 77
- Кубрин Глеб Евгеньевич** (2 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Новый высокоэффективный метод получения силоксановых аэрогелей с заданными свойствами 78
- Садрtdинова Гузелия Ильясовна** (4 курс, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»). Синтез нанесенных катализаторов на основе металлоценов и их использование в (CO)полимеризации этилена 79
- Титова Софья Ивановна** (4 курс, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)). Теплофизические и прочностные свойства 3D-печатной фотополимерной матрицы, модифицированной малослойным графеном 80

## НОМИНАЦИЯ II. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

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

- Елизарова Вероника Игоревна** (1 курс магистратуры, Самарский государственный технический университет). Разработка микро-мезопористых композитных носителей в качестве основы высокоэффективных катализаторов нефтепереработки и нефтехимии 82
- Керенцева Алина Владимировна** (4 курс, Самарский государственный технический университет). Изучение реакции альдольной конденсации продуктов переработки биомассы на гетерогенных катализаторах 83
- Котова Юлия Вадимовна** (1 курс магистратуры, Ивановский государственный химико-технологический университет). Окислительная деструкция водных растворов ибупрофена в диэлектрическом барьерном разряде 84
- Кочетков Владимир Владимирович** (2 курс, МИРЭА – Российский технологический университет). Разработка системы извлечения углекислого газа из газовой фазы биореактора для культивирования метанокисляющих бактерий 85

<b>Новрузова Альбина Назимовна</b> (1 курс магистратуры, МИРЭА – Российский технологический университет). Экстрактивная ректификация многокомпонентных смесей углеводов с сульфоланом	86
<b>Смурова Алина Александровна</b> (1 курс магистратуры, Ярославский государственный технический университет). Разработка эффективного метода получения эпоксида циклогексана, циклогексанола и циклогексанона	87
<b>Соколов Даниил Васильевич</b> (5 курс специалитета, Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова). Новый гибридный катализатор гидроформилирования олефинов	88
<b>Степанова Екатерина Александровна</b> (2 курс магистратуры, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева). Использование мембраны в процессе газогидратной кристаллизации для выделения ксенона из природного газа	89
<b>Штолина Татьяна Вадимовна</b> (1 курс магистратуры, Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова). Применение ультразвуковой обработки для утилизации некондиционных остатков установки «Veba Combi Cracking»	90
<b>Секция «Технология неорганических веществ и материалов»</b>	
<b>Беяева Арина Викторовна</b> (1 курс магистратуры, Национальный исследовательский Томский политехнический университет). Разработка экологически безопасной жидкостекольной композиции для противопожарного остекления	92
<b>Грачева Анастасия Александровна</b> (2 курс магистратуры, Ивановский государственный химико-технологический университет). Применение металлосодержащих каркасных соединений для очистки растительных масел, подвергнутых высокотемпературной обработке	93
<b>Гришина Екатерина Андреевна</b> (1 курс магистратуры, Самарский государственный технический университет). Фазовый комплекс и элементы ограничения трехкомпонентной системы $Li^+$ , $Na^+$ , $Rb^+$   $CrO_4^{2-}$	94
<b>Захаров Алексей Павлович</b> (2 курс магистратуры, Санкт-Петербургский государственный университет). Лазерный синтез композитов Au-Ru для бесферментного определения адреналина	95
<b>Кайрова Айгерим Бердигаликызы</b> (2 курс магистратуры, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби). Получение светодиодов на основе люминесцентных материалов легированием структуры $KMeY(VO_3)_2$ ионами $Eu^{3+}$	96
<b>Кашанский Владислав Сергеевич</b> (5 курс специалитета, Кемеровский государственный университет). Получение металлических наночастиц на матрице при помощи микроволнового излучения	97
<b>Клейман Григорий Михайлович</b> (1 курс магистратуры, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского). Прямой синтез наноструктурного и наносферического кремнезема методом индукционной потоковой левитации: синтез, разработка и каталитическое применение	98
<b>Кучеряев Кирилл Алексеевич</b> (4 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Получение и исследование свойств порошковых материалов на основе гидроксипатита в среде поливинилового спирта	99
<b>Николаева Анастасия Дмитриевна</b> (1 курс магистратуры, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)). Разработка способов переработки отходов содового производства	100
<b>Понкрашина София Сергеевна</b> (1 курс магистратуры, МИРЭА — Российский технологический университет). Координационные соединения нитратов цинка и галлия с амидными лигандами: синтез, структура и свойства	101

**Талипова Жанна Ренатовна** (4 курс, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)). Исследование свойств твердотельных регенерируемых сорбентов диоксида углерода 102

**Тетерина Екатерина Викторовна** (1 курс магистратуры, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)). Алюмооксидные носители с оптимизированными текстурными характеристиками 103

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

**Абдулина Маргарита Ураловна** (1 курс магистратуры, Казанский национальный исследовательский технологический университет). Получение низкозамещенных нитратов целлюлозы из возобновляемого биополимерного сырья различного происхождения 106

**Вокурова Дарья Андреевна** (2 курс магистратуры, Ивановский государственный химико-технологический университет). Закономерности распределения ионов меди (II) в гетерофазной системе «водный раствор – модифицированная целлюлоза» 107

**Козлова Анастасия Олеговна** (1 курс магистратуры, МИРЭА – Российский технологический университет). Создание электропроводящих эластомерных материалов на основе БНКС-28 АМН с использованием в качестве наполнителя нанодисперсного легированного оксида цинка 108

**Плоцких Мария Олеговна** (1 курс магистратуры, МИРЭА – Российский технологический университет). Оценка остаточных напряжений в органических стеклах 109

**Рабаданова Алина Абдусаламовна** (3 курс, Дагестанский Государственный Университет). Синтез и исследование пьезо-, фото- и пьезофотокаталитической активности электроформованной волокнистой мембраны ПВДФ/ЦТАБ 110

**Софронов Артемий Романович** (2 курс магистратуры, Ивановский государственный химико-технологический университет). Извлечение ионов меди сорбентом на основе льняного волокна, модифицированного L-аргинином 111

**Яцун Алла Вадимовна** (1 курс магистратуры, Волжский политехнический институт). Влияние природы наполнителя на огнестойкие свойства поливинилхлоридного покрытия для производства противопожарных штор 112

#### Секция «Технология биологически активных соединений»

**Беляева Ирина Дмитриевна** (4 курс, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)). Инновационный биокомплекс никель-цинковый феррит/ грибной хитозан 114

**Греков Кирилл Алексеевич** (1 курс магистратуры, МИРЭА – Российский технологический университет). Получение энантиомеров противоопухолевого липофильного полиамина 115

**Карпова Юлия Сергеевна** (1 курс магистратуры, МИРЭА – Российский технологический университет). Новый глицеролипидный конъюгат с анти-ВИЧ активностью 116

**Усанев Алексей Юрьевич** (2 курс магистратуры, МИРЭА – Российский технологический университет). Разработка методов синтеза и изучение антибактериальной активности катионных мезо-арилпорфиринов для антимикробной фотодинамической терапии 117

**Шмарина Анна Александровна** (4 курс, МИРЭА – Российский технологический университет). Изучение условий циклизации  $\beta$ -N-ацилэтилоксаламидразонов для получения изостеров гетероциклических оснований нуклеозидов 118

**А**

Абдуллина М.У.	106
Абдуллин Я.Р.	12
Алмаев Б.Ф.	76
Аничкин А.А.	34
Артемова А.Д.	35
Астахов Н.В.	36

**Б**

Баранова М.В.	37
Беляева А.В.	92
Беляева И.Д.	114
Беляков Н.А.	102
Бондарева Т.В.	13
Будехин Р.А.	60
Бывшева С.М.	14

**В**

Ван Мэнцзе	38
Вигурская Т.А.	15
Викторчук Н.А.	16
Вокурова Д.А.	107

**Г**

Гайнанова С.И.	17
Галимов М.Н.	18
Гордионок Е.С.	77
Грачёва А.А.	93
Греков К.А.	115
Гринь К.Н.	39
Гришина Е.А.	94
Гурьев Н.В.	43
Гусев Д.И.	61

**Д**

Демидовская А.В.	62
------------------	----

**Е**

Елизарова В.И.	82
Елховикова А.А.	40
Емельянов А.В.	19

**Ж**

Жернаков М.А.	41
---------------	----

**З**

Заикина Л.А.	63
Захаров А.П.	95
Золоткова С.М.	20

**И**

Иванова А.А.	42
Иванов Д.С.	64
Ильина А.А.	43

**К**

Кайрова А.Б.	96
Карпова Ю.С.	116
Кашанский В.С.	97
Керенцева А.В.	83
Кирьянова А.В.	44
Киселев А.В.	65
Клейман Г.М.	98
Козлова А.О.	108
Козлов К.С.	21
Колбунова А.В.	22
Комарова О.А.	66
Корников А.И.	45
Котова Ю.В.	84
Кочетков В.В.	85
Кубрин Г.Е.	78
Кучеряев К.А.	99
Кушнир Р.А.	23

**Л**

Лосев М.А.	67
------------	----

**М**

Мекеда И.С.	68
Минакова П.В.	46
Митюшев Н.Д.	47

**Н**

Никитин Г.А.	24
Никитин И.Д.	102
Николаева А.Д.	100
Новрузова А.Н.	86
Нотфуллин А.А.	25

**О**

Огаркова Н.К.	48
Окладников И.В.	69

**П**

Павлова Э.А.	26
Песоцкий М.Д.	27
Плешаков Г.А.	49
Плоцких М.О.	109
Погиба А.А.	50
Понкрашина С.С.	101
Попков М.А.	51

**Р**

Рабданова А.А.	110
Рассолова Ю.Р.	52
Ратова Д.-М.В.	28

**С**

Садртдинова Г.И.	79
Селимов Д.А.	53
Смунова А.А.	87
Соколов Д.В.	88
Сопова Н.С.	29
Сосунов Е.А.	54
Софронов А.Р.	111
Степанова Е.А.	89
Султановская А.С.	55

**Т**

Талипова Ж.Р.	102
Тетерина Е.В.	103
Титова С.И.	80
Трахинина С.Ю.	70

**У**

Усанёв А.Ю.	117
-------------	-----

**Ф**

Фазлиев Т.М.	56
Федоров С.А.	71
Филатов Д.М.	30

**Х**

Хайбрахманов А.И.	31
Храповицкая К.С.	72
Хуан Шуци	57

**Ч**

Чермашенцев Г.Р.	32
Чурсин А.Ю.	73

**Ш**

Шмарина А.А.	118
Штолина Т.В.	90

**Ю**

Юшкова А.С.	74
-------------	----

**Я**

Яцун А.В.	112
-----------	-----

*Научное издание*

**XXXIII Менделеевская конференция молодых ученых  
16–20 апреля 2023 г., Иваново  
Сборник тезисов  
под ред. проф. Г.В. Лисичкина**

*Ответственный редактор А.А. Гуцин  
Компьютерная вёрстка И.Ю. Базловой*

Материалы публикуются в авторской редакции

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный  
химико-технологический университет  
[www.isuct.ru](http://www.isuct.ru)

Подписано к печати 06.04.2023. Формат бумаги 60×84 1/8.  
Бумага мелованная. Печать офсетная. Объем 14,88 усл.-печ. л.  
Тираж 135 экз.



**ФосАгро** ([www.phosagro.ru](http://www.phosagro.ru)) – российская вертикально-интегрированная компания, занимающая одну из лидирующих позиций в мире по объемам выпуска фосфорсодержащих минеральных удобрений и высокосортного апатитового концентрата.

Удобрения **ФосАгро** отличаются высокой эффективностью, не содержат опасных для здоровья человека и почв концентраций кадмия и других токсичных веществ, обеспечивают экологичность производимой сельхозпродукции. Они востребованы в порядка 100 странах мира.

Стратегическим приоритетом для компании является рынок России, где она многие годы является лидером по суммарным поставкам всех видов удобрений и выступает гарантом национальной продовольственной безопасности.

В 2022 году компания почти в 2,5 раза нарастила поддержку социальных и благотворительных проектов - до рекордных 12,9 млрд рублей. Кроме того, в 1,5 раза – до более 59 млрд рублей – увеличились налоговые отчисления **ФосАгро**.

В ближайшие 5 лет **ФосАгро** намерена направить на инвестиции более 250 млрд рублей, в том числе почти 67 млрд в 2023 году – на 6% больше, чем рекордные капвложения прошлого года.

ФосАгро является членом Глобального договора ООН и активно участвует в обсуждении актуальных вопросов международной повестки. Представители компании входят в состав рабочих и экспертных групп по вопросам, связанным с изменением климата и обеспечением устойчивого развития.

С 2018 года **ФосАгро** принимает участие в Глобальном почвенном партнерстве ФАО, на площадке которого обсуждаются актуальные вопросы, в том числе о снижении загрязнения почв, и проходит обмен опытом по надлежащему использованию удобрений. Специалисты **ФосАгро** приняли участие в разработке «Международного Кодекса поведения в вопросах управления удобрениями» (Code of Conduct for the Management of Fertilizers). Кодекс рекомендует правительствам установить нормы для тяжелых металлов в удобрениях, при превышении которых ограничивается применение удобрений из-за высокой вероятности загрязнения почвы.

**«Зеленая химия для жизни»** – научно-образовательный проект, запущенный в 2013 году по инициативе ЮНЕСКО и **ФосАгро** при поддержке Международного союза теоретической и прикладной химии (IUPAC). Проект «Зеленая химия для жизни» предоставляет гранты молодым ученым, работающим над применением передовых химических технологий в таких областях, как охрана окружающей среды, рациональное использование природных ресурсов и вторичная переработка отходов. За 10 лет существования программы международное научное жюри, в составе которого 13 учёных из 11 стран мира, рассмотрело более 800 заявок от молодых учёных из 120 стран мира. Гранты получили более 40 учёных из 29 стран.

**«Зеленая химия для жизни»** – первый проект в истории ЮНЕСКО и ООН, реализуемый за счёт российского бизнеса.